
**Inauguraldissertation
zur Erlangung des akademischen Doktorgrades (Dr. phil.)
im Fach Sportwissenschaft
an der Fakultät für Verhaltens- und
Empirische Kulturwissenschaften
der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg**

Titel der publikationsbasierten Dissertation
*Die Dokumentation und Analyse von körperlicher Aktivität, motorischer
Leistungsfähigkeit und Sturzangst sowie die Entwicklung und Evaluation
spezifischer Assessmentstrategien im Rahmen der poststationären,
rehabilitativen Nachsorge bei multimorbiden, hochbetagten Menschen
mit motorischer und kognitiver Einschränkung*

vorgelegt von
Bastian Abel

Jahr der Einreichung
2021

Dekan: Prof. Dr. Dirk Hagemann
Berater: Prof. Dr. Klaus Hauer
Prof. Dr. Gerhard Huber

In Erinnerung an meine Oma

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	III
Abkürzungsverzeichnis	IV
Liste der Manuskripte zur publikationsbasierten Dissertation	V
Anmerkung	VI
Zusammenfassung	VIII
Abstract	XI
Einleitung und Überblick	XIII
1. Theoretischer Hintergrund	1
1.1. Demografischer Wandel	1
1.2. Funktionelle Leistungsfähigkeit im höheren Lebensalter	2
1.3. Kognitive Leistungsfähigkeit im höheren Lebensalter	3
1.4. Motorische Leistungsfähigkeit im höheren Lebensalter	6
1.4.1. Motorische Leistungsfähigkeit und Kognition	7
1.4.2. Die Folge verringerter motorischer Leistungsfähigkeit.....	8
1.4.3. Training motorischer Fähigkeiten	9
1.4.4. Methoden zur Dokumentation motorischer Leistungsfähigkeit	10
1.5. Körperliche Aktivität im höheren Lebensalter.....	13
1.5.1. Die Folge körperlicher Inaktivität	13
1.5.2. Positive Wirkung körperlicher Aktivität.....	16
1.5.3. Körperliche Aktivität und Kognition	17
1.5.4. Steigerung von körperlicher Aktivität	17
1.5.5. Steigerung von körperlicher Aktivität bei kognitiver Beeinträchtigung.....	18
1.5.6. Methoden zur Dokumentation der körperlichen Aktivität	19
1.6. Sturzangst im höheren Lebensalter	23
1.6.1. Sturzangst und Kognition	24
1.6.2. Methoden zur Dokumentation der Sturzangst	24
2. Ziele und Fragestellungen	26
3. Publikationsübersicht und Zusammenfassungen	29
3.1. Manuskript I: Die Steigerung der körperlichen Aktivität bei Menschen mit Demenz: Eine randomisierte kontrollierte Studie	29
3.2. Manuskript II: Die Tag-zu-Tag-Variabilität verschiedener, sensorgestützter Parameter der körperlichen Aktivität bei älteren Menschen mit Demenz.....	32

3.3. Manuskript III: Der Übergang aus einer stationären geriatrischen Rehabilitation ins häusliche Umfeld bei kognitiv eingeschränkten, älteren Menschen nach einer Hüft- und/oder Beckenfraktur.....	36
3.4. Manuskript IV: Die psychometrischen Eigenschaften der deutschen Version des <i>Fear of Falling Questionnaire-Revised</i> in einer Stichprobe von älteren Erwachsenen nach Hüft- und/oder Beckenfraktur	39
3.5. Manuskript V: Die Qualität und Quantität der habituellen körperlichen Aktivität von multimorbiden, alten Menschen mit kognitiver Einschränkung.....	41
4. Einordnung der Studienergebnisse in den Forschungszusammenhang	46
5. Schlussfolgerung und Ausblick	52
Literaturverzeichnis.....	55
Kongressbeiträge und sonstige Publikationen.....	79
Lehr- und Gutachtertätigkeiten	82
Forschungspreis	83
Danksagung.....	84
Anhang A: Erklärung gemäß § 8 Abs. (1) c) und d) der Promotionsordnung der Fakultät.....	XVI
Anhang B: Manuskripte zur publikationsbasierten Dissertation	XVII

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Grafische Übersicht des thematischen Zusammenhangs der für diese Dissertation relevanten Manuskripte (I-V). Körperliche Aktivität, motorische Leistungsfähigkeit und Sturzangst bei multimorbiden, alten Menschen mit kognitiver Einschränkung im Rahmen der poststationären, rehabilitativen Nachsorge.	XV
Abbildung 2: Bevölkerungsentwicklung und Altersstruktur in Deutschland von 1970 bis 2060.	1
Abbildung 3: Funktionelle Leistungsfähigkeit im Laufe des Lebens.....	2
Abbildung 4: Kognitive Leistungsfähigkeit im Verlauf des Alterns.....	4
Abbildung 5: Prävalenz und Inzidenz demenzieller Erkrankungen in Deutschland	5
Abbildung 6: Zusammenhang motorischer Leistungsfähigkeit und körperlicher Aktivität	15

Abkürzungsverzeichnis

5-STTS	Five Times Sit to Stand Test
ADL	„activities of daily living“, Aktivitäten des täglichen Lebens
FES-I	Falls Efficacy Scale-International
FFQ	Fear of Falling Questionnaire
FFQ-R	Fear of Falling Questionnaire-Revised
h	Stunde(n)
HeiKE	Heimtraining nach stationärer Rehabilitation bei geriatrischen Patientinnen und Patienten mit kognitiven Einschränkungen
ICC	Intraklassenkorrelationskoeffizient
ICF	International Classification of Functioning, Disability and Health
IG	Interventionsgruppe
KG	Kontrollgruppe
m/s	Meter pro Sekunde
MET	Metabolic Equivalent of Task
MMSE	Mini-Mental Status Examination
PAQE	Physical Activity Questionnaire for the Elderly
POMA	Performance-Oriented Mobility Assessment
PROFinD	Prevention and Rehabilitation of Osteoporotic Fractures in Disadvantaged Populations
RCT	Randomisierte, kontrollierte Studie
s	Sekunde(n)
SGB	Sozialgesetzbuch
SPPB	Short Physical Performance Battery
TUG	Time „Up and Go“ Test
WHO	„World Health Organization“, Weltgesundheitsorganisation

Liste der Manuskripte zur publikationsbasierten Dissertation

Manuskript I:

Pomiersky, R., **Abel, B.**, Werner, C., Lacroix, A., Pfeiffer, K., Schäufole, M., & Hauer, K. (2020). Increasing Physical Activity in Persons With Dementia: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Aging and Physical Activity*, 28(4), 588-597. <https://doi.org/10.1123/japa.2019-0183>

Manuskript II:

Abel, B., Pomiersky, R., Werner, C., Lacroix, A., Schäufole, M., & Hauer, K. (2019). Day-to-day variability of multiple sensor-based physical activity parameters in older persons with dementia. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 85, 103911. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2019.103911>

Manuskript III:

Abel, B., Eckert, T., Pomiersky, R., Dautel, A., Schäufole, M., Pfeiffer, K., Hauer, K., & the PROFinD2 Study Group (2020). Transition from inpatient rehabilitation to the home environment in cognitively impaired older persons after hip fracture. *Journal of Rehabilitation Medicine* 52(11), jrm00130. <https://doi.org/10.2340/16501977-2757>

Manuskript IV:

Dautel, A., Gross, M., **Abel, B.**, Pomiersky, R., Eckert, T., Hauer, K., Schäufole, M., Büchele, G., Becker, C., & Pfeiffer, K. (2021). Psychometric properties of the German version of the Fear of Falling Questionnaire-revised (FFQ-R) in a sample of older adults after hip or pelvic fracture. *Aging Clinical and Experimental Research* 33(2), 329–337. <https://doi.org/10.1007/s40520-020-01657-2>

Manuskript V:

Abel, B., Bongartz, M., Eckert, T., Ullrich, P., Beurskens, R., Mellone, S., Bauer, J.M., Lamb, S.E. & Hauer, K. (2020). Will We Do If We Can? Habitual Qualitative and Quantitative Physical Activity in Multi-Morbid, Older Persons with Cognitive Impairment. *Sensors* 20(24), 7208. <https://doi.org/10.3390/s20247208>

Anmerkung

Die vorliegende publikationsbasierte Dissertation vereint die Fachdisziplinen Sportwissenschaft, Gerontologie und Geriatrie an der Schnittstelle zwischen stationärer Rehabilitation und poststationärer Versorgung von geriatrischen Patientinnen und Patienten mit motorischer und kognitiver Einschränkung. Die in diesem Zusammenhang verfassten Manuskripte basieren auf Daten aus inhaltlich verwandten und aufeinander aufbauenden Forschungsprojekten, die am AGAPLESION Bethanien Krankenhaus Heidelberg (geriatrisches Zentrum der Universität Heidelberg) unter der Leitung von Herrn Prof. Dr. Klaus Hauer durchgeführt wurden.

Der Verfasser dieser Arbeit war im 3. Teilprojekt des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Forschungskonsortiums PROFinD2 (Prevention and Rehabilitation of Osteoporotic Fractures in Disadvantaged Populations 2) angestellt (Mai 2015 bis Dezember 2019). Die Aufgabe des Forschungskonsortiums war die Entwicklung neuer Konzepte hinsichtlich der Prävention, Therapie und Rehabilitation von osteoporotischen Frakturen bei benachteiligten Populationen (z. B. Personen in ländlichen Regionen oder mit kognitiver Einschränkung). Der Inhalt des Teilprojekts 3 war die Durchführung einer randomisierten, kontrollierten Studie durch zwei Studienzentren, mit dem Ziel die Effekte einer poststationären, multifaktoriellen Intervention bei Patientinnen und Patienten mit Hüft- und/oder Beckenfraktur sowie kognitiver Einschränkung zu untersuchen. Die Inhalte der Intervention umfassten ein durch freiwillige Helferinnen und Helfer angeleitetes körperliches Training im häuslichen Umfeld sowie eine durch Sozialarbeiterinnen und Sozialarbeiter angeleitete Pflegeberatung. Primäre Endpunkte dieser Studie waren die motorische Leistungsfähigkeit und die körperliche Aktivität. Neben der Forschungsabteilung des AGAPLESION Bethanien Krankenhauses Heidelberg waren die Abteilung Klinische Geriatrie und Geriatrische Rehabilitation des Robert-Bosch-Krankenhauses Stuttgart sowie die Fakultät für Sozialwesen der Hochschule Mannheim weitere Projektpartner.

In diesem Projekt war der Verfasser dieser Arbeit maßgeblich und zum großen Teil hauptverantwortlich an der Konzeptionierung der Trainingsintervention, der Trainingsschulung der freiwillige Helferinnen und Helfer sowie der Anfertigung von Trainingsmaterialien (z. B. Trainingshandbuch zur Unterstützung der freiwilligen Helferinnen und Helfer bei der Trainingsdurchführung mit den Studienteilnehmenden; Trainingsdokumentationsbogen) beteiligt. Darüber hinaus fielen folgende Projektaufgaben ebenfalls in den Aufgabenbereich des Verfassers: Screening von Patientinnen und Patienten hinsichtlich definierter Einschlusskriterien; Rekrutierung potenzieller Studienteilnehmenden; Organisa-

tion, Durchführung sowie Vor- und Nachbereitung von Trainingsterminen mit Studienteilnehmenden, deren Angehörigen und den freiwilligen Helferinnen und Helfern; Durchführung standardisierter Assessments und Screenings sowie die Einarbeitung von neuen Projektmitarbeitenden und wissenschaftlichen Hilfskräften in diese Verfahren; Aufbereitung von sensorbasierten Rohdaten motorischer Assessments; Organisation, Koordination und Betreuung des externen Studienmonitorings im Sinne der „good clinical practice“; Generierung, Dokumentation, Pflege und Sicherung von Studiendaten mittels verschiedener Softwaretools und Datenbanken; Mitarbeit bei der Aufbereitung eines Masterdatensatzes in Kooperation mit beteiligten Projektzentren; Datenanalyse und Dissemination von Studienergebnissen in Form von wissenschaftlichen Postern und Vorträgen auf nationalen und internationalen Kongressen sowie die Erstellung wissenschaftlicher Publikationen in Erst- (Manuskript III) und Koautorschaft (Manuskript IV).

Die empirischen Daten zur Erstellung der für diese Dissertation relevanten Manuskripte stammen nicht nur aus dem Teilprojekt 3 des Konsortiums PROFinD2, sondern auch aus dem sehr ähnlichen Parallelprojekt HeikE (*„Heimtraining nach stationärer Rehabilitation bei geriatrischen Patientinnen und Patienten mit kognitiven Einschränkungen“*, Manuskript V) und zwei wichtigen, vorausgehenden Forschungsprojekten (*„Wirksamkeit körperlichen Trainings bei Personen mit leichten bis moderaten kognitiven Beeinträchtigungen: eine randomisierte kontrollierte Studie“* [Manuskript I] und *„Bewertung eines demenzspezifischen Trainings bei Patientinnen und Patienten mit leichter bis moderater Demenz“* [Manuskript II]). Ein Teil der Erkenntnisse aus diesen beiden vorherigen Projekten bildeten die Basis für die Konzeption und Entwicklung der Forschungsprojekte PROFinD2 und HeikE. Alle fünf Manuskripte widmen sich im weiten Sinne der Nachsorge von multimorbiden, älteren Menschen mit kognitiver Einschränkung im Anschluss an eine stationäre geriatrische Rehabilitation.

Die Manuskripte II, III und V erstellte der Verfasser dieser Dissertation als Erstautor. In diesem Zusammenhang entwickelte er die bearbeiteten Forschungsfragen, bereitete die auf Fragebogen oder sensorbasierten Messungen beruhenden Daten auf, wählte und führte die entsprechenden statistischen Analysen aus und fertigte jeweils den Originalentwurf der wissenschaftlichen Artikel an. Bei der Entstehung der Manuskripte I und IV wirkte der Verfasser als Koautor mit. Hierbei überarbeitete er die Artikel und prüfte diese kritisch in Bezug auf ihre Inhalte und Methoden. Bedingt durch die Elternzeit der Erstautorin des Manuskripts I war er außerdem für die Einreichung dieses Artikels in einem Peer-Review Journal sowie einen Großteil der endgültigen Erstellung dieses Artikels im Verlauf des Peer-Review-Prozesses mitverantwortlich.

Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war die Dokumentation und Analyse von körperlicher Aktivität, motorischer Leistungsfähigkeit und Sturzangst von multimorbiden, alten Menschen mit motorischer und kognitiver Einschränkung im poststationären, rehabilitativen Setting sowie die Entwicklung und Evaluation methodischer Grundlagen, die zur Optimierung zukünftiger Studien und Therapiemaßnahmen in diesen drei Bereichen beitragen und dadurch potenziell zu einer besseren Versorgung führen.

Manuskript I untersucht die Effekte und Nachhaltigkeit eines spezifischen Programms zur Förderung der körperlichen Aktivität im Rahmen eines motorischen Trainings bei alten Menschen mit leichter bis moderater Demenz. Es zeigt sich, dass die körperliche Aktivität einer solchen vulnerablen Population mithilfe eines speziell konzipierten demenzspezifischen Ansatzes, der die charakteristischen Einschränkungen der betroffenen Personen minimiert, signifikant gesteigert werden kann. Die körperliche Aktivität wird in dieser Studie mittels eines Fragebogens erhoben, einer Methode die aufgrund des dynamischen, technologischen Fortschritts allmählich durch eine Vielzahl objektiver, sensorbasierter Messmethoden verdrängt wird. Damit die Beeinträchtigung durch das Tragen eines Aktivitätsmonitors vermindert und die Akzeptanz und Kosteneffizienz einer sensorbasierten Aktivitätsdokumentation gesteigert wird, ist es wichtig den Erhebungszeitraum so kurz wie möglich zu halten.

Aus diesem Grund analysiert Manuskript II erstmals die Tag-zu-Tag-Variabilität mehrerer sensorbasierter Aktivitätsparameter bei multimorbiden, älteren Menschen mit leichter bis moderater Demenz. Zwei aufeinanderfolgende Tage sind dabei ausreichend, um Parameter, die nicht mit dem Gehen in Zusammenhang stehen, reliabel zu dokumentieren. Gleichzeitig stellt sich heraus, dass die Tag-zu-Tag-Variabilität von Parametern, die mit dem Gehen zusammenhängen, sowohl vom Erhebungstag (Wochen- vs. Wochenendtag) als auch teilweise von unterschiedlichen Begleitfaktoren beeinflusst wird. Die motorische Leistungsfähigkeit hat zwar keinen Einfluss auf die Tag-zu-Tag-Variabilität der verschiedenen Aktivitätsparameter, ist aber ein entscheidender Faktor hinsichtlich der Fähigkeit in der eigenen Häuslichkeit leben zu können. Infolge einer akuten Erkrankung oder Verletzung kommt es häufig zu einem Rückgang der motorischen Leistungsfähigkeit, der insbesondere ältere Menschen mit dem Verlust ihrer Autonomie bedroht. Dieses Risiko steigt, wenn bei den Betroffenen zusätzlich noch eine kognitive Einschränkung vorliegt.

Deshalb untersucht Manuskript III die kurzfristige Entwicklung der motorischen Leistungsfähigkeit und weiterer klinisch relevanter Parameter im Anschluss an eine stationäre

Rehabilitation bei kognitiv eingeschränkten, alten Menschen nach Hüft- und/oder Beckenfraktur. Die geringe bis moderate Verbesserung der motorischen Leistungsfähigkeit, die sich ohne standardisierte Intervention innerhalb einer durchschnittlich knapp drei Wochen dauernden Übergangsphase ins häusliche Umfeld zeigt, deutet auf ein hohes Potenzial für weitere Verbesserungen in dieser vulnerablen Population hin. Ein fortgeführtes, körperliches Training und die Förderung von körperlicher Aktivität im häuslichen Umfeld können demnach die Rehabilitation bei multimorbiden, älteren Patientinnen und Patienten weiter unterstützen. Da es im selben Zeitraum zu einer geringen Zunahme der Sturzangst und der sturzassoziierten Selbstwirksamkeit kommt und sich eine vermehrte Sturzangst am Ende der Rehabilitation als limitierender Faktor für die Steigerung der motorischen Leistungsfähigkeit herausstellt, ist die valide und zuverlässige Dokumentation von Sturzangst bei alten Menschen mit motorischer und kognitiver Einschränkung von großer Bedeutung.

Vor diesem Hintergrund bewertet Manuskript IV die psychometrischen Eigenschaften der deutschen Übersetzung des Sturzangstfragebogens *Fear of Falling Questionnaire-Revised* bei motorisch beeinträchtigten, älteren Personen mit und ohne kognitive Einschränkung. Eine moderate Konstruktvalidität und gute Reliabilität verdeutlichen, dass dieser Fragebogen ein geeignetes Assessmentinstrument zur Beurteilung der Sturzangst in dieser vulnerablen Zielgruppe darstellt.

Um die zunehmend hervortretenden und auf Sensoren beruhenden Assessmentstrategien auch in vulnerablen Gruppen erkenntnisgewinnbringend einzusetzen, analysiert Manuskript V die sensorbasierte körperliche Aktivität bei multimorbiden, älteren Erwachsenen mit motorischer und kognitiver Einschränkung. Neben etablierten, quantitativen Aktivitätsparametern werden erstmals innovative, qualitative Variablen des Geradeaus- und Kurvengehens mit validen Methoden unter habituellen Bedingungen in solch einer vulnerablen Population erhoben. Hierbei zeigen sich durchschnittlich ungefähr drei Wochen nach Entlassung aus einer stationären Rehabilitation eine geringe körperliche Aktivität sowie eine verminderte Gangqualität. Zusammenhangsuntersuchungen identifizieren verschiedene innovative, qualitative Aktivitätsvariablen des Geradeaus- und Kurvengehens sowie in einem Einzelfall auch eine Variable der motorischen Leistungsfähigkeit als unabhängige Determinanten von quantitativen Parametern der körperlichen Aktivität. Demnach scheinen spezifische qualitative Variablen des habituellen Gehens für die Steigerung der Aktivitätsquantität relevant zu sein.

Zusammengefasst verdeutlichen die Studienergebnisse das große Potenzial von motorisch und kognitiv beeinträchtigten, älteren Menschen sowohl ihre körperliche Aktivität

als auch ihre motorische Leistungsfähigkeit steigern zu können. Des Weiteren leisten die vorliegenden Studien wesentliche methodische Beiträge zur sensorbasierten Dokumentation von körperlicher Aktivität sowie zur validen Beurteilung der sich auf die Aktivität negativ auswirkenden Sturzangst. In Anbetracht einer alternden und zunehmend inaktiven Gesellschaft liefert diese Dissertationsschrift bedeutende Grundlagen für zukünftige Untersuchungen und körperliche Interventionsprogramme bei multimorbiden, hochbetagten Menschen mit motorischer und kognitiver Einschränkung.

Abstract

The aim of the present work was the documentation and analysis of physical activity, physical capacity, and fear of falling in multi-morbid, older persons with motor and cognitive impairment in the context of post-discharge rehabilitation, as well as the development and evaluation of methodological basics that contribute to the optimization of future studies and therapies in these three areas and thereby potentially lead to better care.

Manuscript I investigates the effectivity and sustainability of a specific program to promote physical activity as part of a motor training program in older adults with mild to moderate dementia. It becomes apparent that the physical activity of such a vulnerable population can be significantly increased by means of a specifically designed dementia-specific approach, that minimizes the characteristic restrictions of the affected persons. The physical activity in this study is recorded by a questionnaire, a method that is gradually being replaced by a large number of objective sensor-based measurement methods due to dynamic technological progress. In order to reduce the burden of wearing an activity monitor and to increase the acceptance and cost efficiency of sensor-based activity measurements, it is important to keep the wear time as short as possible.

For this reason, manuscript II analyzes the day-to-day variability of various sensor-based activity parameters in multi-morbid, older persons with mild to moderate dementia for the first time. Two consecutive days are sufficient to reliably document non-walking parameters, while a higher day-to-day variability of walking parameters is influenced by the type of assessment day (weekday vs. weekend day) and partly by different concomitant factors. Although a better physical capacity does not influence the day-to-day variability of various activity parameters, it is a decisive factor with regard to the ability to live at home. An acute illness or injury often leads to a decline in physical capacity, which particularly threatens older persons with the loss of their autonomy. If the affected persons are also cognitively impaired, this risk increases.

Therefore, manuscript III examines the short-term development of physical capacity and further clinically relevant parameters following inpatient rehabilitation in cognitively impaired, older persons after hip and/or pelvic fracture. The low to moderate improvement in physical capacity, which occurs within a transition period to the home environment of almost three weeks on average without standardized intervention, indicates a high potential for further improvements in this vulnerable population. Continuation of physical training and promotion of physical activity in the home environment may therefore further support the rehabilitation of multi-morbid, older patients. As fear of falling and fall-related self-efficacy slightly increase during the same period and an increased fear of falling at the end of

rehabilitation turns out to be a limiting factor for the increase in physical capacity, a valid and reliable assessment of fear of falling in older persons with motor and cognitive impairment is of great importance.

Against this background, Manuscript IV evaluates the psychometric properties of the German translation of the *Fear of Falling Questionnaire-Revised* in older persons with motor impairment as well as with and without cognitive impairment. A moderate construct validity and good reliability indicate that this questionnaire is an appropriate assessment instrument for evaluating fear of falling in this vulnerable target group.

In order to use the increasingly emerging sensor-based assessment strategies and thereby obtain profitable knowledge also in vulnerable groups, manuscript V analyzes the sensor-based physical activity in multi-morbid, older adults with motor and cognitive impairment. In addition to established, quantitative parameters of physical activity, innovative, qualitative variables of straight walking and turning while walking are recorded by valid methods under habitual conditions in such a vulnerable population for the first time. The results reveal a low level of physical activity and reduced gait quality on average approximately three weeks after discharge from inpatient rehabilitation. Regression analyses identify innovative, qualitative activity parameters of straight walking and turning while walking as well as in an individual case a variable of physical capacity as independent determinants for the quantity of physical activity. According to this, specific qualitative variables of habitual walking seem to be relevant for increasing the quantity of physical activity.

In summary, the study results show the high potential of older persons with motor and cognitive impairment to increase both their physical activity and their physical capacity. Furthermore, the present studies make significant methodological contributions to the sensor-based documentation of physical activity as well as to the valid evaluation of fear of falling, which negatively affects physical activity. In view of an aging and increasingly inactive society, this dissertation provides important basics for future investigations and physical intervention programs in multi-morbid, older persons with motor and cognitive impairment.

Einleitung und Überblick

Im Zuge des demografischen Wandels kommt es zu einer zunehmenden Alterung der weltweiten Bevölkerung. Insbesondere die westlichen Industrienationen werden durch die Veränderungen in der Altersstruktur ihrer Bevölkerungen mit neuen Herausforderungen konfrontiert. Aufgrund des mit steigendem Lebensalter einhergehenden erhöhten Risikos für funktionelle, kognitive und motorische Beeinträchtigungen, Erkrankungen und den Verlust der Selbstständigkeit (Barnett et al., 2012; Hall et al., 2017; Luppá et al., 2009; Petersen et al., 2018), wird der Bedarf an präventiven und kurativen Maßnahmen sowie an geriatrischer Rehabilitation stetig zunehmen (Robert Koch-Institut, 2015). Hinsichtlich der Versorgung von alten Menschen mit mehreren behandlungsbedürftigen Erkrankungen ist die geriatrische Rehabilitation eine bedeutende Komponente (Sozialministerium Baden-Württemberg, 2014). Entsprechend des in § 31 Elftes Buch Sozialgesetzbuch (SGB XI) festgehaltenen Prinzips „Vorrang der Rehabilitation vor Pflege“ verfolgt die geriatrische Rehabilitation das Ziel, älteren Personen ein selbstständiges und langes Leben zu ermöglichen. Nach § 40 Absatz 1 und 2 in Verbindung mit § 11 Absatz 2 SGB V besteht ein Rechtsanspruch auf Rehabilitation, sofern eine ambulante Behandlung nicht genügt, um schwerwiegende Beeinträchtigungen oder den Verlust der Autonomie zu verhindern. Wesentliche Kriterien für eine Rehabilitation gemäß § 40 SGB V sind die positive Rehabilitationsprognose, die Rehabilitationsfähigkeit und die Rehabilitationsbedürftigkeit. Diese Bedürftigkeit ist gegeben, wenn die zugrundeliegenden, gesundheitlichen Beschwerden die Teilhabe gefährden oder bereits beeinträchtigen, eine kurative Behandlung unzureichend ist und ein mehrdimensionaler, interdisziplinärer Versorgungsansatz benötigt wird (Sozialministerium Baden-Württemberg, 2014).

Die Wirksamkeit von stationären, geriatrischen Rehabilitationsprogrammen hinsichtlich einer Verbesserung der Funktionalität sowie einer Verringerung des Autonomieverlusts und der Sterblichkeit hat sich bisher vielfach gezeigt. Hierbei waren die langfristigen Effekte zwischen drei und zwölf Monaten nach Entlassung allerdings weniger ausgeprägt als die kurzfristigen Effekte zum Zeitpunkt der Entlassung (Bachmann et al., 2010). Da Patientinnen und Patienten einer geriatrischen Rehabilitation neben einer reduzierten körperlichen Belastbarkeit häufig auch unter kognitiven Defiziten leiden (Dutzi et al., 2013) und speziell ältere Menschen mit kognitiver Einschränkung innerhalb des ersten Jahres nach Entlassung aus stationärer Rehabilitation zur Hochrisikogruppe für eine Rehospitalisierung, Pflegeheimweisung oder höhere Sterblichkeit zählen (Bellelli et al., 2008), ist die poststationäre, rehabilitative Nachsorge bei multimorbiden, alten Menschen mit moto-

rischer und kognitiver Einschränkung ein essenzieller Bestandteil der Gesundheitsversorgung. Dennoch wird die ambulante geriatrische Rehabilitation in Deutschland zu einem großen Teil nicht konsequent umgesetzt und auch die Überleitung aus stationären in ambulante oder mobile Rehabilitationsformen funktioniert häufig nicht (Becker et al., 2020).

In Anbetracht dieser Tatsachen war es die Intention der vorliegenden Arbeit, die körperliche Aktivität, motorische Leistungsfähigkeit und Sturzangst von multimorbiden, alten Menschen mit motorischer und kognitiver Einschränkung im Zuge der poststationären, rehabilitativen Nachsorge zu analysieren sowie methodische Grundlagen in diesem Zusammenhang zu evaluieren und zu entwickeln. Hiermit soll an der Schnittstelle zwischen stationärer, geriatrischer Rehabilitation und poststationärer Versorgung ein wesentlicher Beitrag zur Optimierung von Studien und Therapiemaßnahmen geleistet werden, der für die Konzipierung neuer Versorgungsmodelle in dieser vulnerablen Zielgruppe hilfreich sein kann.

Die Struktur der vorliegenden Dissertationsschrift ist wie folgt: Kapitel 1 beschreibt den auf dem aktuellen Stand der Forschung basierenden theoretischen Hintergrund und erläutert die Relevanz des Themas anhand des demografischen Wandels, der funktionellen, kognitiven und motorischen Leistungsfähigkeit sowie der körperlichen Aktivität und Sturzangst im höheren Lebensalter. Beruhend auf den hierbei aufgezeigten Forschungslücken sind in Kapitel 2 die Ziele und Fragestellungen der für diese Dissertation berücksichtigten Publikationen formuliert und kohärent miteinander verknüpft. In Form von konventionellen Abstracts beinhaltet Kapitel 3 die Zusammenfassungen der einzelnen Manuskripte, deren inhaltliche Schwerpunkte größtenteils miteinander in Zusammenhang stehen (vgl. Abbildung 1). Kapitel 4 ordnet die Ergebnisse der einzelnen Publikationen in den allgemeinen Forschungskontext ein, bevor abschließend in Kapitel 5 Schlussfolgerungen gezogen und Ausblicke auf weitere Forschungsfragen gegeben werden.

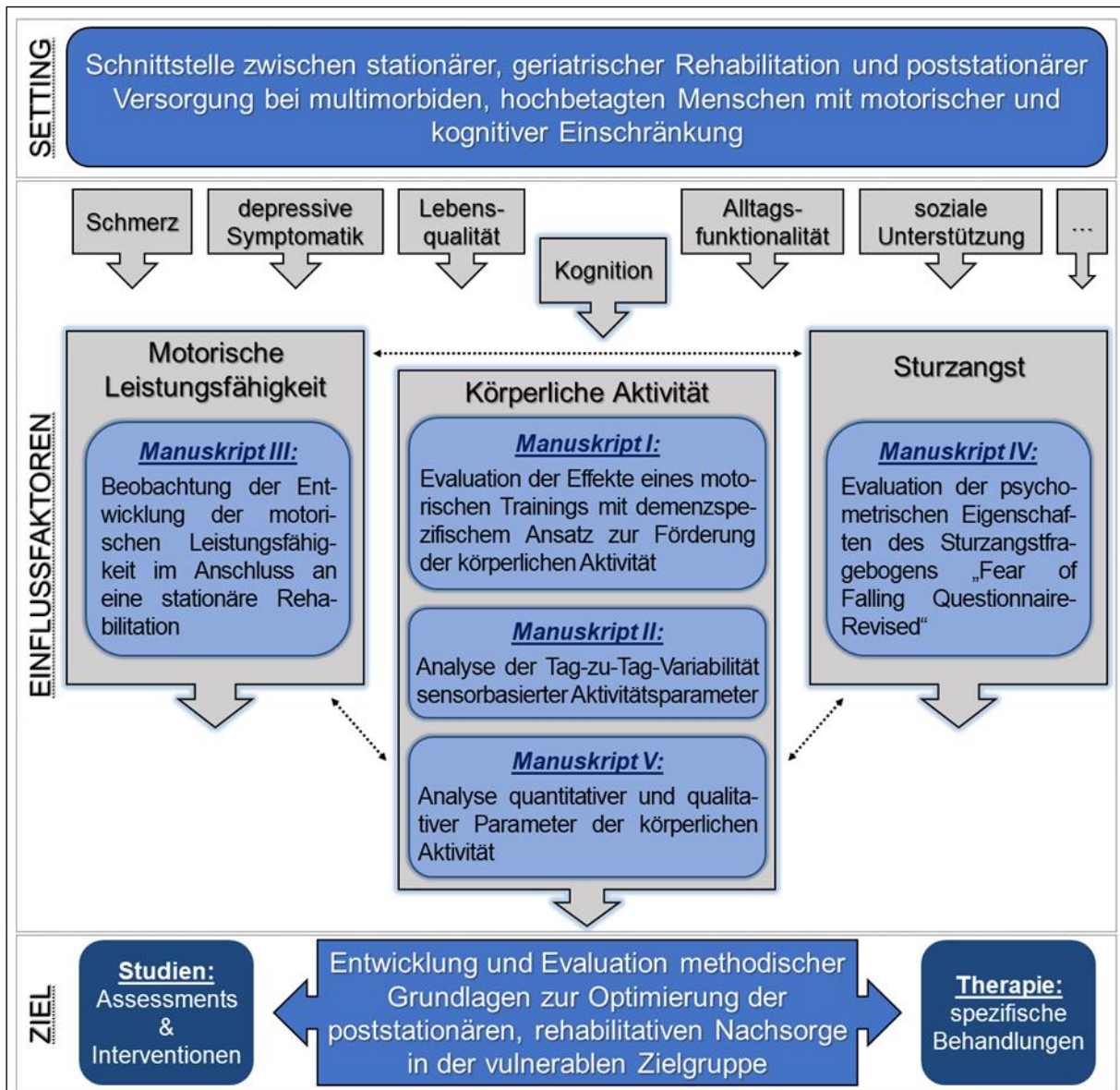


Abbildung 1: Grafische Übersicht des thematischen Zusammenhangs der für diese Dissertation relevanten Manuskripte (I-V). Körperliche Aktivität, motorische Leistungsfähigkeit und Sturzangst bei multimorbiden, alten Menschen mit kognitiver Einschränkung im Rahmen der poststationären, rehabilitativen Nachsorge.

1. Theoretischer Hintergrund

1.1. Demografischer Wandel

Nach Angaben der United Nations (2017) ist die weltweite Bevölkerung der über 60-Jährigen in den vergangenen vierzig Jahren um mehr als das Doppelte gewachsen. Schätzungen zufolge soll sich die Anzahl dieser älteren Personen bis ins Jahr 2050 erneut verdoppeln und mit 2,1 Milliarden Menschen dann größer sein als die Gruppe der Kinder, Jugendlichen und jungen Erwachsenen zwischen 10 und 24 Jahren zusammen. Gleichzeitig soll die Zahl der über 80-Jährigen im selben Zeitraum um mehr als das Dreifache auf etwa 425 Millionen ansteigen. Die Gründe für diesen demografischen Wandel sind eine steigende Überlebensrate sowie eine sinkende Geburtenhäufigkeit (United Nations, 2017).

In Deutschland ist die Zahl der Personen im Alter von 67 Jahren oder älter in den Jahren 1990 bis 2018 um 5,5 Millionen auf 15,9 Millionen Menschen gestiegen, was im Jahr 2018 etwa 19 % der deutschen Bevölkerung entsprach (Statistisches Bundesamt, 2019). Laut Statistischem Bundesamt (2019) wird erwartet, dass diese Gruppe älterer Menschen weiterhin wächst und im Jahr 2038 mindestens 20,9 Millionen Personen umfassen wird. Im Jahr 2040 soll der Anteil der Erwachsenen im Alter von 67 Jahren oder älter dann bei ungefähr 25 bis 27 % der deutschen Bevölkerung liegen und sich bis ins Jahr 2060 nochmals auf bis zu 30 % erhöhen (vgl. Abbildung 2) (Statistisches Bundesamt, 2019).

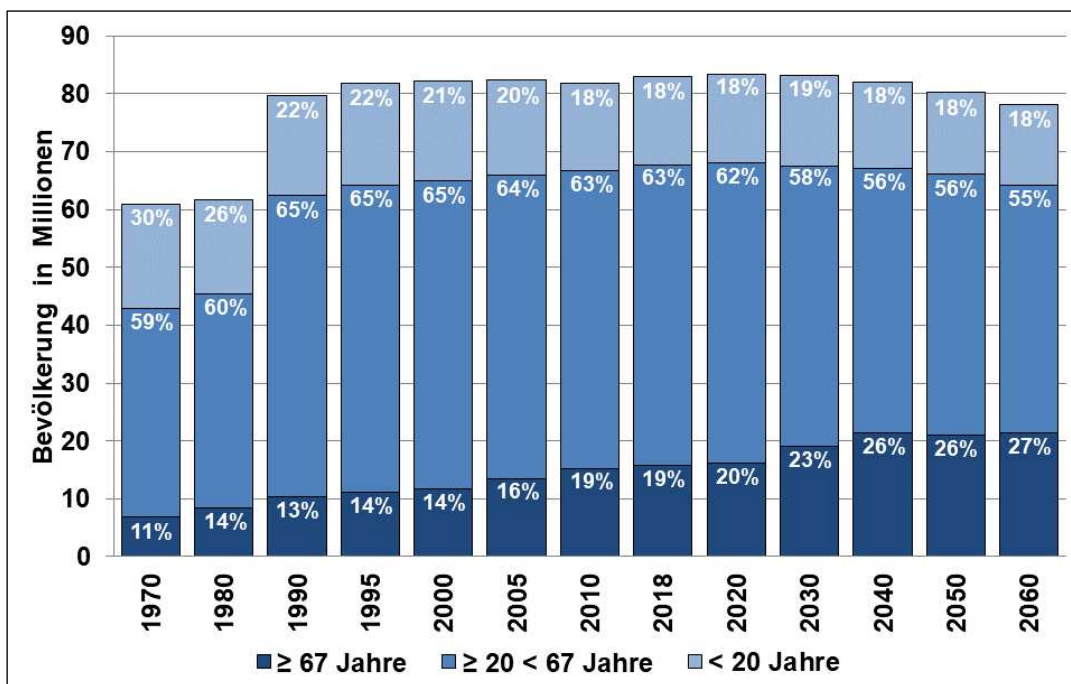


Abbildung 2: Bevölkerungsentwicklung und Altersstruktur in Deutschland von 1970 bis 2060 (eigene Darstellung; Quelle: Statistisches Bundesamt, 2019).

Die Altersgruppe der Hochbetagten ab 80 Jahren wird im Jahr 2022 in Deutschland ungefähr 6,2 Millionen Menschen einschließen und bis ins Jahr 2050 auf schätzungsweise 8,9 bis 10,5 Millionen Personen anwachsen (Statistisches Bundesamt, 2019). Zu den Hauptursachen dieser Entwicklung zählen die gestiegene Lebenserwartung und die fortschreitende Alterung der sogenannten Babyboomer. Diese geburtenstarken Jahrgänge der 1950er und 1960er Jahre treten derzeit und in den kommenden Jahren ins Rentenalter ein und werden in den 2030er und 2040er Jahren die Altersgrenze von 80 Jahren überschreiten (Robert Koch-Institut, 2015).

1.2. Funktionelle Leistungsfähigkeit im höheren Lebensalter

Mit steigendem Lebensalter kommt es aus biologischer Sicht zu einer zunehmenden Schädigung zellulärer und molekularer Strukturen, die nicht nur ein erhöhtes Risiko für Erkrankungen darstellen, sondern auch mit einem Rückgang der funktionellen Leistungsfähigkeit bis hin zum Tod einhergehen. Nachdem die funktionelle Leistungsfähigkeit in der Chronologie der Alterung ihren Höhepunkt normalerweise im frühen Erwachsenenalter erreicht, kommt es in den darauffolgenden Lebensphasen zu einem anhaltenden Rückgang, der jedoch durch interne (z. B. biologische Prozesse, die genetisch bestimmt sind) und externe Faktoren (z. B. Lebensstil/Verhalten, Umwelteinflüsse) beschleunigt oder verlangsamt werden kann (vgl. Abbildung 3) (Kalache & Kickbusch, 1997; World Health Organization, 2002).

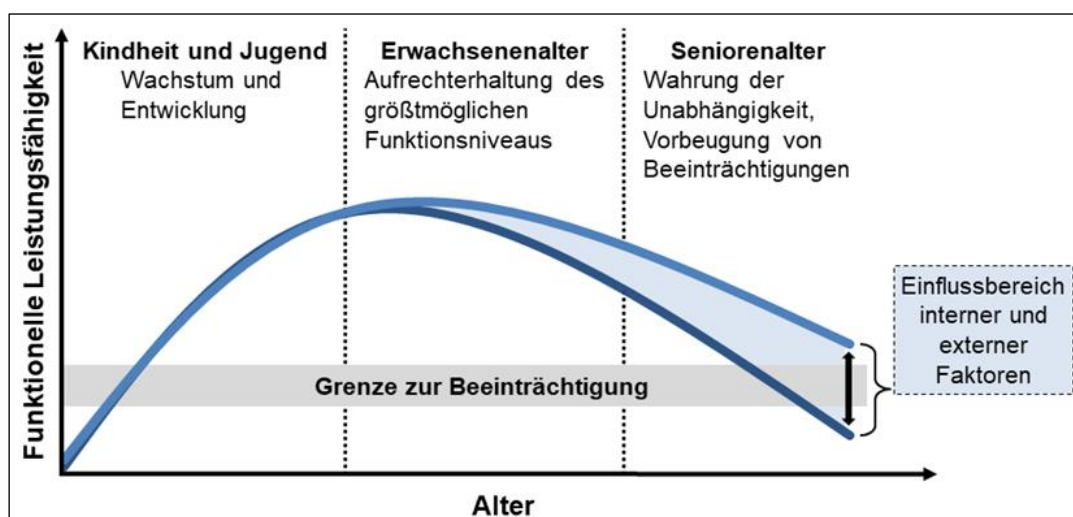


Abbildung 3: Funktionelle Leistungsfähigkeit im Laufe des Lebens (eigene Darstellung in Anlehnung an Kalache & Kickbusch, 1997 und World Health Organization, 2002).

In ihrem im Jahr 2015 veröffentlichten Weltbericht über Altern und Gesundheit definiert die Weltgesundheitsorganisation („World Health Organization“ = WHO) die Entwicklung und Aufrechterhaltung funktioneller Fähigkeiten als „*gesundes Altern*“ und sieht diese als Basis des Wohlbefindens im Alter. Die funktionelle Leistungsfähigkeit wird dabei durch die intrinsische Kapazität des Individuums, sein Lebensumfeld und die Interaktion zwischen den darin enthaltenen Faktoren abgebildet (World Health Organization, 2015). Während unter intrinsischer Kapazität die Zusammensetzung aller physischen und psychischen Fähigkeiten eines Individuums zu verstehen ist, umfasst das Lebensumfeld alle externen Faktoren, die den Lebenskontext eines Individuums bilden (World Health Organization, 2015). Ein ausreichendes Maß an funktionellen Fähigkeiten ermöglicht die Erfüllung von Grundbedürfnissen, das selbstständige Treffen von Entscheidungen, Mobilität, den Aufbau und die Pflege sozialer Kontakte sowie die Teilhabe an der Gesellschaft. Die funktionelle Leistungsfähigkeit ist demnach ein entscheidender Faktor der Lebensqualität, der die tatsächliche oder potenzielle Befähigung einer Person zur Ausführung von Aufgaben oder Aktivitäten beschreibt und mit der psychischen und physischen Gesundheit korreliert ("Functional Ability," 2008).

1.3. Kognitive Leistungsfähigkeit im höheren Lebensalter

Basierend auf einem Rückgang der psychischen Gesundheit im höheren Lebensalter steigt mit zunehmender Alterung der weltweiten Bevölkerung auch die Anzahl kognitiv beeinträchtigter Menschen (Alzheimer's Association, 2020a; World Health Organization, 2020a). Der alterungsbedingte Abbau der kognitiven Leistungsfähigkeit variiert allerdings in seinem Ausmaß und seiner Geschwindigkeit. Neben der normalen Alterung des Gehirns kann es auch zu leichten kognitiven Störungen bis hin zur Entstehung von Demenzerkrankungen kommen (vgl. Abbildung 4) (Sperling et al., 2011).

Leichte kognitive Einschränkungen zeichnen sich durch Beeinträchtigungen der Konzentrations-, Lern- und Gedächtnisleistungen aus, die über den altersbedingten Leistungsrückgang hinausgehen und nicht die Kriterien einer Demenzdiagnose erfüllen (Winblad et al., 2004). Einem Bericht der Amerikanischen Akademie für Neurologie aus dem Jahr 2018 zufolge liegt die Prävalenz leichter kognitiver Störungen für Personen zwischen 65 und 69 Jahren bei 8,4 %, für Personen zwischen 70 und 74 Jahren bei 10,1 %, für Personen zwischen 75 und 79 Jahren bei 14,8 % sowie für Hochbetagte zwischen 80 und 84 Jahren bei 25,2 % (Petersen et al., 2018). Neben dem höheren Lebensalter ist auch ein geringeres Bildungsniveau für eine größere Anzahl an Fällen leichter kognitiver Beeinträchtigungen mitverantwortlich (Petersen et al., 2018). Obwohl leichte kognitive Einschränkungen

sich nicht automatisch zu einer Demenzerkrankung entwickeln, ist das Risiko bei Menschen mit leichten kognitiven Störungen im Vergleich zu gesunden, älteren Personen erhöht (Roberts et al., 2014). Bei etwa 12 bis 15 % der älteren Erwachsenen, die an einer leichten kognitiven Störung leiden, kommt es in den darauffolgenden ein bis zwei Jahren zu einer Progression der Erkrankung hin zu einer nicht näher bezeichneten Demenz oder einer Demenz bei Morbus Alzheimer (Petersen et al., 2014).

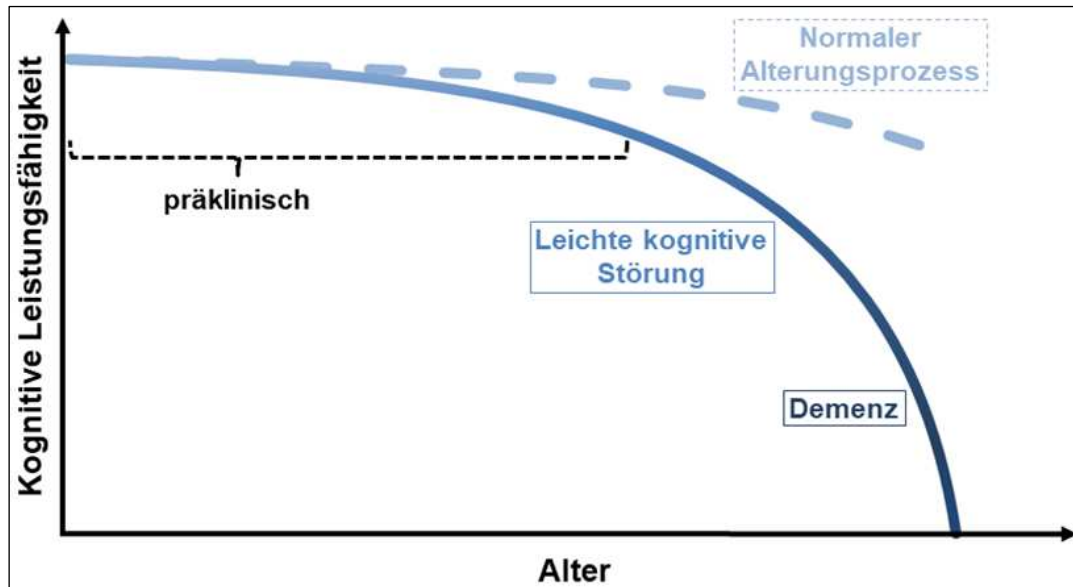


Abbildung 4: Kognitive Leistungsfähigkeit im Verlauf des Alterns (eigene Darstellung in Anlehnung an Sperling et al., 2011).

Demenzielle Erkrankungen sind die meistverbreiteten neuropsychiatrischen Erkrankungen bei alten Menschen (Weyerer & Bickel, 2007). Sie sind gekennzeichnet durch einen Rückgang kognitiver Fähigkeiten sowie einen zunehmenden Verlust von Gedächtnis, Orientierung und Sprache. Einhergehend mit dem Abbau kognitiver Funktionen kommt es bei den Betroffenen häufig zu psychologischen Problemen und Veränderungen im Sozialverhalten, wie etwa Depression, Agitation, Apathie oder aggressivem Verhalten (Müller-Spahn, 2003). Die degenerativen Prozesse der demenziellen Erkrankungen führen bei betroffenen Personen schrittweise zu immer größer werdenden Einschränkungen im Alltag bis hin zu einem vollständigen Verlust der Autonomie. Aus dem Pflege-Report 2018 des Wissenschaftlichen Instituts der AOK geht hervor, dass je nach Versorgungskontext und Pflegegrad bis zu 82 % der pflegebedürftigen Menschen in Deutschland kognitiv eingeschränkt sind und diese Häufigkeit mit zunehmender Schwere der Beeinträchtigungen ansteigt (Schwinger & Tsiasioti, 2018). Die Prävalenz und Inzidenz von Demenzerkrankungen nehmen insbesondere nach dem 65. Lebensjahr exponentiell zu (Busch, 2011) (vgl. Abbildung 5).

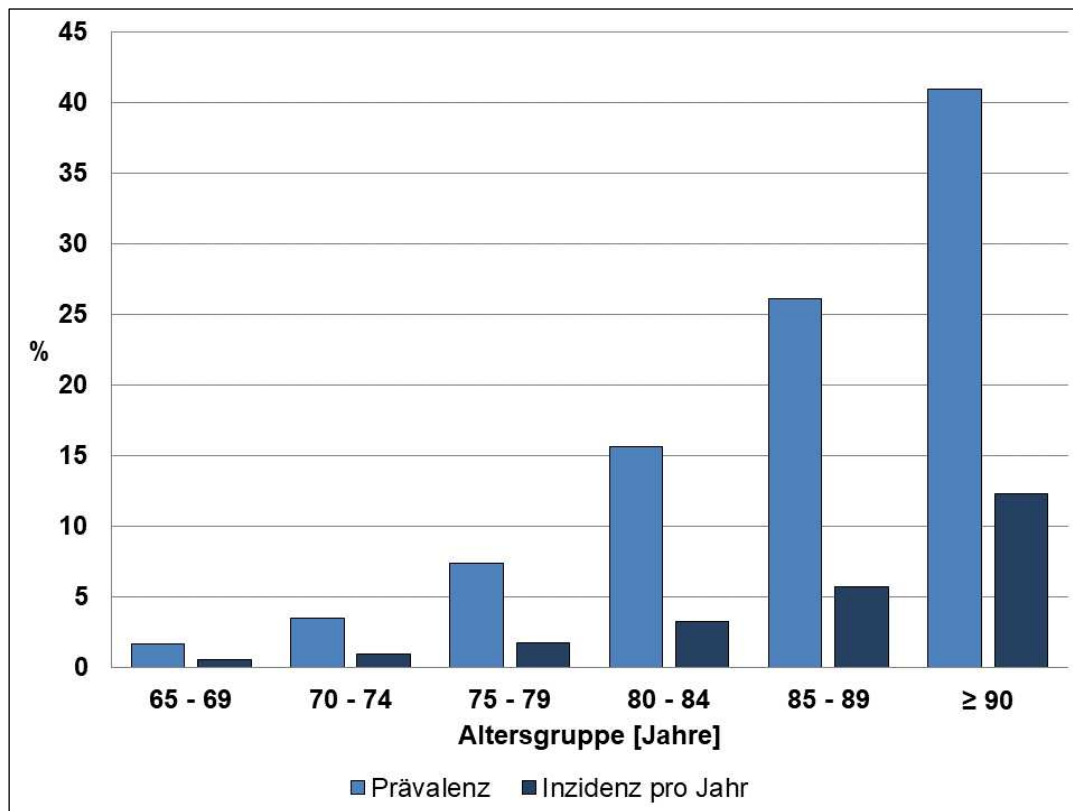


Abbildung 5: Prävalenz und Inzidenz demenzieller Erkrankungen in Deutschland (eigene Darstellung; Quelle: Bickel, 2018. Deutsche Alzheimer Gesellschaft e.V.).

Weltweit gibt es derzeit ungefähr 50 Millionen Menschen, die von einer Demenz betroffen sind. Die jährliche Inzidenz beträgt knapp 10 Millionen Fälle, weshalb Schätzungen zufolge die Zahl der an Demenz erkrankten Menschen im Jahr 2030 bei etwa 80 Millionen und im Jahr 2050 bei ungefähr 152 Millionen liegen wird (World Health Organization, 2020a). In Deutschland leiden gegenwärtig etwa 1,7 Millionen Menschen an einer demenziellen Erkrankung. Als Folge des demografischen Wandels steigt auch hier die Zahl der Betroffenen fortwährend an. Experten gehen davon aus, dass sich die Zahl der demenziell erkrankten Personen in Deutschland jährlich um etwa 40.000 erhöhen und im Jahr 2050 bei ungefähr 3 Millionen liegen wird (Bickel, 2018).

Die häufigste Form der demenziellen Erkrankungen ist Morbus Alzheimer (60 bis 80 %), gefolgt von gefäßbedingten (vaskulären) Demenzen (5 bis 30 %) und einer Mischform dieser beiden Demenztypen (~15 %). Die Häufigkeit weiterer Demenzerkrankungen, wie etwa Lewy-Körper-Demenz oder Frontotemporale Demenz, liegt bei ungefähr 5 bis 15 % (Alzheimer's Association, 2020b; Bundesministerium für Gesundheit, 2020). Demenzielle Erkrankungen sind weitestgehend irreversibel und bis zum Tod fortschreitend. Ein höhe-

res Alter bei Krankheitsbeginn, eine stärkere Symptomatik und eine größere Zahl an Begleiterkrankungen wirken sich negativ auf die noch verbleibende Lebensdauer aus (Brodaty et al., 2012). Durchschnittlich liegt die Überlebenszeit für einen Krankheitsbeginn zwischen dem 65. und 75. Lebensjahr bei etwa sieben Jahren, für einen Krankheitsbeginn zwischen dem 75. und 85. Lebensjahr bei ungefähr fünf Jahren und für einen Krankheitsbeginn nach dem 84. Lebensjahr bei zirka drei Jahren (Bickel, 2018).

Zusätzlich zu den allgemeinen gesundheitlichen Beeinträchtigungen der Betroffenen führen kognitive Einschränkungen und demenzielle Erkrankungen zu hohen finanziellen Belastungen des Gesundheitswesens. Eine im Jahr 2019 veröffentlichte Metaanalyse zur ökonomischen und gesellschaftlichen Herausforderung in Deutschland beziffert die gesamtgesellschaftlichen Kosten von über 65-Jährigen mit Demenz für das Jahr 2016 mit 73 Milliarden Euro (Michalowsky et al., 2019). Das entspricht einem Anteil von 36 % der gesamtgesellschaftlichen Kosten in dieser Altersgruppe. Für das Jahr 2060 prognostizieren Vorausberechnungen einen Anstieg dieser Kosten auf 195 Milliarden Euro und einen prozentualen Anteil von 48 % (Michalowsky et al., 2019).

Um dieser negativen Entwicklung entgegenzuwirken und dabei gleichzeitig die Gesundheit, Lebensqualität, Autonomie, Teilhabe und viele weitere mit kognitiver Einschränkung oder demenzieller Erkrankung einhergehende Faktoren bei den betroffenen Menschen zu verbessern, sind präventive, kurative und rehabilitative Maßnahmen erforderlich. Die Wiedererlangung, der Erhalt und die Steigerung der motorischen Leistungsfähigkeit sowie körperlichen Aktivität durch zielgerichtete Versorgungskonzepte (beispielsweise orientiert an § 45c Absatz 1 Satz 1 Nummer 3 SGB XI) sind dabei ein zentraler Bestandteil.

1.4. Motorische Leistungsfähigkeit im höheren Lebensalter

Neben der kognitiven Leistungsfähigkeit als Komponente der psychischen Gesundheit spielt auch die motorische Leistungsfähigkeit als Teil der physischen Gesundheit eine entscheidende Rolle bei der Entstehung funktioneller Beeinträchtigungen mit zunehmendem Lebensalter. Die motorische Leistungsfähigkeit umfasst energetisch determinierte (konditionelle) und informationsorientierte (koordinative) Fähigkeiten, die auf den Eigenschaften Kraft, Ausdauer, Schnelligkeit und Koordination basieren und für die körperliche Haltung und Bewegung essenziell sind (Bös, 1994; Bös & Mechling, 1983). Gemäß der International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF) ist die motorische Leistungsfähigkeit als „*capacity*“ („Leistungsfähigkeit“) definiert, die das höchstmögliche Niveau der Funktionsfähigkeit darstellt, welches ein Mensch in einer von Umgebungseinflüssen bereinigten „*standardisierten Umwelt*“ zu einem bestimmten Zeitpunkt erreichen kann (z. B. im Rahmen eines Tests) (World Health Organization, 2001).

Der Rückgang der motorischen Leistungsfähigkeit mit zunehmendem Alter ist die Folge körperlicher Inaktivität, krankheitsbedingter Funktionseinschränkungen durch katabole Prozesse chronischer Erkrankungen (z. B. Herzinsuffizienz) sowie altersbedingter funktioneller, metabolischer und struktureller Veränderungen der Skelettmuskulatur und der neuromotorischen Kontrolle (Tieland et al., 2018). Deutlich sichtbar wird die verringerte motorische Leistungsfähigkeit älterer Personen bereits bei grundlegenden Voraussetzungen einer selbstständigen Lebensführung, wie dem Aufstehen von einem Stuhl oder dem Hinauf- und Hinabsteigen einer Treppe, die auch gesunde ältere Erwachsene an die Grenzen ihrer maximalen Leistungsfähigkeit bringen können (Hortobágyi et al., 2003). Dementsprechend ist es naheliegend, dass eine geringe motorische Leistungsfähigkeit bei alten Menschen mit einer erhöhten Wahrscheinlichkeit für Autonomieverlust, Stürze, Hospitalisierung und Sterblichkeit in Zusammenhang steht (Abellan van Kan et al., 2009; Guralnik et al., 1994; Legrand et al., 2014; Rolland et al., 2006; Volpato et al., 2011).

1.4.1. Motorische Leistungsfähigkeit und Kognition

Die motorische und die kognitive Leistungsfähigkeit stehen in einer wechselseitigen Beziehung zueinander. Dies bedeutet, dass eine reduzierte motorische Leistungsfähigkeit und eine verminderte kognitive Leistungsfähigkeit sowohl einen Risikofaktor als auch eine mögliche Folge des jeweils anderen Faktors darstellen (Bahureksa et al., 2017; Basile & Sardella, 2020; Di Carlo et al., 2016; Grande et al., 2019; Savica et al., 2017). Im Verlauf eines fortschreitenden Verfalls der kognitiven Leistungsfähigkeit kommt es daher häufig zu einem gestaffelten Verlust motorischer Fähigkeiten, der von einem Rückgang in den Aktivitäten des täglichen Lebens („activities of daily living“ = ADL) begleitet wird (Njegovan et al., 2001). Beginnend mit einer Verminderung oder einem Ausfall vielschichtiger instrumenteller ADL, die neben motorisch komplexeren Aufgaben auch kognitive Anforderungen beinhalten (z. B. das Bezahlen von Rechnungen, das Bedienen von Haushaltsgeräten, die Zubereitung von Mahlzeiten), kann es im weiteren Verlauf des kognitiven Verfalls zu erheblichen Einbußen bei grundlegenden ADL kommen (z. B. beim An- und Auskleiden, der Körperpflege, dem Toilettengang, der Nahrungsaufnahme) (Marshall et al., 2015; Sauvaget et al., 2002). Solch eine sukzessive Abnahme spezifischer motorischer Fähigkeiten beruht zu einem großen Teil auf Störungen der Exekutivfunktionen, der Orientierung oder der Aufmerksamkeit, die bei einer voranschreitenden kognitiven Einschränkung vermehrt auftreten, aber für die Ausführung von ADL von großer Bedeutung sind (de Paula et al., 2015; Martyr & Clare, 2012; Perry & Hodges, 1999).

Weitere wichtige Komponenten der ADL, die durch eine Zunahme kognitiver Defizite beeinträchtigt sein können, sind die motorischen Schlüsselleistungen Stehen, Gehen und

Transfer (Aufstehen und Hinsetzen) (Allan et al., 2005; Auyeung et al., 2008; van Iersel et al., 2004). Während des Stehens weisen ältere Erwachsenen mit kognitiver Einschränkung ein Defizit in ihrer Gleichgewichtsfähigkeit auf, das sich durch eine verringerte Muskelkraft zusätzlich vergrößert (Lauretani et al., 2018). Eine simultane Bewältigung von kognitiven und motorischen Anforderungen (Dual-Task-Aufgaben), die wie viele Situationen im Alltag eine geteilte Aufmerksamkeit erfordern, führt bei alten Menschen mit kognitiver Einschränkung ebenfalls zu einer Verringerung der statischen Gleichgewichtsfähigkeit (Hauer et al., 2003). Eine Verschlechterung der Gehfähigkeit bei Menschen mit kognitivem Defizit zeigt sich durch Veränderungen des Gangbildes (z. B. verkürzte Schrittlänge, verlängerte Zweibeinstandphase, verlangsamte Gehgeschwindigkeit, erhöhte Schrittvariabilität) (Boripuntakul et al., 2014; Peel et al., 2019; van Iersel et al., 2004) und ist zumeist auf eine gestörte Koordination und Planung von Bewegungen bei den betroffenen Personen zurückzuführen (Zhang et al., 2019). Eine solche verringerte Bewegungsplanung und -kontrolle ist bei älteren Personen mit kognitiver Einschränkung auch in den Transferleistungen Aufstehen und Hinsetzen zu beobachten, was sich in einer inadäquaten Bewegungsausführung äußert (z. B. fehlende Vorwärtsverschiebung des Rumpfes und der Oberschenkel zur optimalen Positionierung des Körperschwerpunkts innerhalb der Unterstützungsfläche beim Aufstehen) (Manckoundia et al., 2006).

1.4.2. Die Folge verringerter motorischer Leistungsfähigkeit

Ein Verlust der zuvor erwähnten motorischen Schlüsselleistungen wird von einem deutlich erhöhten Risiko für Stürze begleitet. Deutlich erkennbar wird dies beispielsweise in einer epidemiologischen Studie bei Pflegeheimbewohnenden, die in ihren Ergebnissen zeigt, dass sich 41 % der in einem Jahr dokumentierten Stürze beim Transfer und 36 % beim Gehen ereigneten (Rapp et al., 2012). Stürze zählen zu den Hauptverletzungsursachen bei älteren Erwachsenen (Verma et al., 2016) und kommen in dieser Population gehäuft und wiederholt vor (Nevitt et al., 1989; Tinetti & Speechley, 1989). Die häufigsten durch Stürze verursachten und zu Krankenhauseinweisung führenden Verletzungen sind hierbei die Hüft- und Beckenfrakturen (World Health Organization, 2007). Etwa 90 % aller sturzbedingten Einlieferungen ins Krankenhaus bei alten Menschen sind auf eine Fraktur zurückzuführen, wovon sich mehr als die Hälfte im Bereich der Hüfte ereignen (Peel et al., 2002). Postoperativ sterben 5 bis 10 % der Betroffenen innerhalb der ersten dreißig Tage und 33 % innerhalb des ersten Jahres (Keene et al., 1993; Roche et al., 2005). Ältere Erwachsene mit demenzieller Erkrankung haben ein 75 % höheres Risiko innerhalb des ersten Jahres nach einer Hüftfraktur zu sterben als ältere Erwachsene ohne demenzielle Erkrankung (Fansa et al., 2016). Im Vergleich zu Personen ohne kognitive Einschränkung

weisen alte Menschen mit Demenz sowohl ein größeres Risiko für als auch eine höhere Anzahl an Hüftfrakturen auf (Kasai et al., 2017; Wang et al., 2014). Hinzu kommt, dass sich eine kognitive Einschränkung negativ auf den gesundheitlichen Erholungsprozess auswirkt (Benedetti et al., 2015; Tarazona-Santabalbina et al., 2015). Während nur knapp die Hälfte aller über 65-Jährigen nach einer Hüftfraktur wieder das ursprüngliche Mobilitätsniveau erreicht, bleibt etwa jede fünfte betroffene Person dauerhaft immobil (Vochteloo et al., 2013) und etwa jeder dritte ältere Erwachsene lebt ein Jahr nach dem zugrundeliegenden Sturzereignis sogar im Pflegeheim (Leibson et al., 2002). Aufgrund dessen sind nicht nur die stationäre Rehabilitation infolge einer Hüft- und/oder Beckenfraktur, sondern insbesondere die ersten Wochen nach der Entlassung in die eigene Häuslichkeit sehr entscheidende Phasen für alte Menschen mit kognitiver Einschränkung hinsichtlich der Entwicklung ihrer motorischen Leistungsfähigkeit. In diesen beiden Zeiträumen entscheidet sich, ob die Betroffenen in der Lage sind ihre Autonomie größtenteils zu wahren und zu Hause wohnen zu bleiben oder ob sie auf eine dauerhafte und stationäre Pflege angewiesen sind.

Um ältere Personen mit motorischer und kognitiver Einschränkung bei der Aufrechterhaltung ihrer Selbstständigkeit zu unterstützen, versuchen weiterführende, poststationäre Versorgungsmodelle die Effekte einer stationären Rehabilitation über die Entlassung hinaus zu konsolidieren oder zu erweitern (Bongartz et al., 2017; Dautel et al., 2019). Obwohl die Entwicklung der motorischen Leistungsfähigkeit und weiterer klinisch relevanter Faktoren (z. B. Sturzangst) in der poststationären Phase eine wesentliche Grundlage für die Konzeptionierung derartiger Versorgungsmodelle in dieser vulnerablen Zielgruppe darstellen, mangelt es bisher an umfassenden Erkenntnissen hierzu. Aus diesem Grund war es ein Teilziel der vorliegenden Arbeit, die Veränderung der motorischen Leistungsfähigkeit und sonstiger gesundheitsrelevanter Parameter bei kognitiv beeinträchtigten, alten Menschen nach einer Hüft- und/oder Beckenfraktur im Übergang von einer stationären Rehabilitation ins häusliche Umfeld zu untersuchen (► Manuskript III, Kapitel 3.3.).

1.4.3. Training motorischer Fähigkeiten

Ein Hauptelement von poststationären, rehabilitativen Versorgungsmodellen ist das Training motorischer Fähigkeiten. Dieses führt auch bei älteren Personen zu einer Steigerung der Muskelkraft, der Gleichgewichtsfähigkeit, der Mobilität und der ADL (Liu et al., 2014) sowie zu einer Verringerung der Sturzhäufigkeit und des Sturzrisikos (Hamed et al., 2018). Körperliches Training ist somit ein entscheidender Faktor, der den altersbedingten Rückgang der motorischen Leistungsfähigkeit verlangsamen, aufhalten oder sogar bis zu einem gewissen Grad umkehren und dadurch die Autonomie von alten Menschen stärken

kann. Auch bei älteren Personen mit kognitiver Einschränkung wirkt sich körperliches Training positiv auf die motorische Leistungsfähigkeit aus (Bossers et al., 2015; Hauer et al., 2012; Pitkälä et al., 2013; Potter et al., 2011; Zieschang et al., 2013). Ähnlich wie bei kognitiv intakten Personen führt das Training motorischer Fähigkeiten bei älteren Menschen mit kognitiver Einschränkung zu Verbesserungen in den ADL, der Muskelkraft, der Gleichgewichtsfähigkeit, der Gangqualität und Gehgeschwindigkeit sowie der Transferleistungen Aufstehen und Hinsetzen (Hauer et al., 2012; Hauer et al., 2017; Vreugdenhil et al., 2012; Yoon et al., 2018; Zieschang et al., 2013). Vereinzelt zeigt körperliches Training sogar positive Effekte auf die allgemeine kognitive Leistungsfähigkeit, exekutive Funktionen oder die Gedächtnisleistung (Guitar et al., 2018; Law et al., 2020; Loprinzi et al., 2019; Song et al., 2018; Vreugdenhil et al., 2012; Yoon et al., 2018), was die Relevanz solcher Trainingsprogramme bei Menschen mit kognitiver Einschränkung und Demenz zusätzlich hervorhebt. Gleichwohl gibt es auch heute noch Studien und/oder Trainingsprogramme für ältere Erwachsene, die Personen mit kognitiven Einschränkungen explizit von einer Teilnahme ausschließen. Die Ursachen hierfür sind meist spezifische Defizite, wie beispielsweise Gedächtnisprobleme, Orientierungsschwierigkeiten, Mobilitätseinschränkungen oder Änderungen im Sozialverhalten, die einen besonderen Umgang mit den betroffenen Personen erfordern. Gezielte Vermittlungsstrategien, die auf noch erhaltene Fähigkeiten und vorhandene Beeinträchtigungen bei Menschen mit kognitiver Einschränkung und Demenz abgestimmt sind (z. B. langsames und deutliches Sprechen, einfache und strukturierte Anweisungen, Vermeidung komplexer Erklärungen, Unterstützung durch haptische Reize), verbessern die Trainingsanleitung und führen zu einer Steigerung der funktionellen und motorischen Leistungsfähigkeit bei diesen Personen (Hauer et al., 2012; Hauer et al., 2017).

1.4.4. Methoden zur Dokumentation motorischer Leistungsfähigkeit

Wie zuvor beschrieben ist der fortschreitende Rückgang der motorischen Leistungsfähigkeit bei älteren Personen mit einer negativen Entwicklung zahlreicher gesundheitlich relevanter Faktoren assoziiert. Damit diese nachteiligen Prozesse vermieden, behoben, oder in ihrer Progression verlangsamt werden können, ist es wichtig die motorische Leistungsfähigkeit älterer Erwachsener frühzeitig und umfassend zu bestimmen. Zu diesem Zweck gibt es verschiedene zuverlässige und valide Assessmentmethoden, mit deren Hilfe unterschiedliche Faktoren der motorischen Leistungsfähigkeit, wie etwa Gleichgewichtsfähigkeit, Gehfähigkeit oder Kraft, erfasst werden können. Diese Tests eignen sich sowohl zur Bestimmung der aktuellen motorischen Leistungsfähigkeit als auch zur Unter-

suchung von Veränderungen im Zeitverlauf. Zum besseren Verständnis werden im folgenden Abschnitt die Methoden zur Dokumentation der motorischen Leistungsfähigkeit erläutert, die in den für diese Dissertation berücksichtigten Publikationen zum Einsatz kamen.

Short Physical Performance Battery

Die Short Physical Performance Battery (SPPB) ist eine objektive Methode zur Bewertung der Funktionalität der unteren Extremität bei älteren Personen (Guralnik et al., 1994). Sie ist ein valides und reliables Assessment (Braun et al., 2019; Corsonello et al., 2012; Fisher et al., 2009; Fox et al., 2014; Freire et al., 2012; Gazzotti et al., 2020; Gómez et al., 2013; Olsen & Bergland, 2017), das aus Tests der statischen Gleichgewichtsfähigkeit, der habituellen Gehgeschwindigkeit sowie der Transferleistungen Aufstehen und Hinsetzen besteht. Zeitliche Ergebnisse dieser drei Subtests werden jeweils anhand etablierter Grenzwerte in eine Punktbewertung von 0 Punkte (schlechteste Leistung) bis 4 Punkte (beste Leistung) überführt, sodass 12 Punkte das beste und maximal mögliche Ergebnis für die SPPB darstellen. Zehn oder weniger Punkte in der SPPB deuten bei älteren Erwachsenen auf einen anstehenden Mobilitätsverlust und ein erhöhtes allgemeines Sterblichkeitsrisiko hin (Pavasini et al., 2016; Vasunilashorn et al., 2009). Bei akut erkrankten älteren Personen, die am Ende eines stationären Krankenhausaufenthaltes eine SPPB-Gesamtpunktzahl ≤ 7 Punkte aufweisen, ist das Risiko einer erneuten Hospitalisierung oder im darauffolgenden Jahr zu versterben größer als bei Personen mit einem SPPB-Wert > 7 Punkte (Odds Ratio: 5,38) (Volpato et al., 2011).

Five Times Sit to Stand Test

Der Five Times Sit to Stand Test (5-STS) ist ein Bestandteil der SPPB (Guralnik et al., 1994), wird aber auch als eigenständiges Assessment zur Erhebung der Transferleistungen Aufstehen und Hinsetzen verwendet. Dieser valide und reliable Test (Bohannon et al., 2007; Schaubert & Bohannon, 2005; Tiedemann et al., 2008) dient nicht nur zur Identifizierung von Bewegungsstrategien, mit denen ältere Personen aufstehen und sich hinsetzen, sondern auch zur Quantifizierung der Kraft der unteren Extremitäten. Je geringer die benötigte Zeit, desto besser die motorische Leistungsfähigkeit. Zur besseren Interpretation der Ergebnisse des 5-STS bei alten Menschen haben wissenschaftliche Studien diese im Zusammenhang mit gesundheitsrelevanten Faktoren wie etwa Stürzen untersucht (Buatois et al., 2010; Tiedemann et al., 2008). Hierbei hat sich gezeigt, dass ältere Erwachsene mit einer Dauer von ≥ 12 s im 5-STS ein etwa doppelt so hohes Risiko für wiederkehrende Stürze aufweisen als Personen mit einer Dauer von < 12 s. (Buatois et al., 2010; Tiedemann et al., 2008).

Gehgeschwindigkeit

Die Gehgeschwindigkeit als Maß der motorischen Leistungsfähigkeit wird zumeist auf einer flachen und geraden Strecke zwischen zweieinhalb und zehn Metern in habitueller oder maximaler Form erhoben. Sie ist ein einfach umzusetzender, zuverlässiger und valider Test (Braun et al., 2019; Fernández-Huerta & Córdova-León, 2019; Goldberg & Schepens, 2011; Higuera-Fresnillo et al., 2018; Kon et al., 2013; McGough et al., 2013; Ries et al., 2009; Tappen et al., 1997), der zur Dokumentation der motorischen Leistungsfähigkeit bei alten Menschen weit verbreitet ist (Bruyère et al., 2016). Die habituelle Gehgeschwindigkeit ist bei älteren Personen ein guter Prädiktor für körperliche und kognitive Beeinträchtigungen, Stürze, Institutionalisierung sowie Mortalität (Abellan van Kan et al., 2009). Während bereits bei einer habituellen Gehgeschwindigkeit von $\leq 1,0$ m/s die Wahrscheinlichkeit für Stürze um mehr als das doppelte erhöht ist (Montero-Odasso et al., 2005), stellt eine habituelle Gehgeschwindigkeit von $\leq 0,8$ m/s meist einen deutlichen Hinweis auf eine schwere Sarkopenie (Cruz-Jentoft et al., 2019) und eine habituelle Gehgeschwindigkeit von $\leq 0,6$ m/s ein hohes Risiko für eine Hospitalisierung sowie Abhängigkeit in den ADL dar (Studenski et al., 2003).

Timed „Up and Go“ Test

Der Timed „Up and Go“ Test (TUG) ist eine einfach anzuwendende Methode zur Dokumentation der funktionellen Mobilität und motorischen Leistungsfähigkeit bei älteren Erwachsenen (Podsiadlo & Richardson, 1991). Er ist ein valider und zuverlässiger Test (Braun et al., 2019; Brooks et al., 2006; Nightingale et al., 2019; Nordin et al., 2006; Podsiadlo & Richardson, 1991; Ries et al., 2009; Rolenz & Reneker, 2016; Steffen et al., 2002), der das Gehen, Drehen und den Transfer (Aufstehen und Hinsetzen) als wichtige, alltagsrelevante Faktoren beinhaltet. Eine Dauer des TUG von < 20 s ist ein Hinweis auf eine vollständige Unabhängigkeit bei den Transferleistungen Aufstehen und Hinsetzen, wohingegen ein TUG von ≥ 30 s auf erhebliche Einschränkungen bei der Alltagsbewältigung und einen gesteigerten Unterstützungsbedarf hindeutet (Podsiadlo & Richardson, 1991). Obwohl der TUG in mehreren Studien als geeignete Methode zur Identifikation von Personen mit erhöhtem Sturzrisiko angeführt wird, ist die Varianz der angegebenen Grenzwerte sehr hoch (13,5 bis 24 s) (Kristensen et al., 2007; Nightingale et al., 2019; Rolenz & Reneker, 2016; Shumway-Cook et al., 2000). In diesem Zusammenhang zeigen ein systematisches Review und eine Metaanalyse, dass die Sturzprädiktion des TUGs begrenzt ist und dieser nicht als alleinige Methode zur Identifikation des Sturzrisikos angewendet werden sollte (Barry et al., 2014).

Performance-Oriented Mobility Assessment

Das Performance-Oriented Mobility Assessment (POMA) nach Tinetti ist ein weit verbreitetes klinisches Testverfahren, das speziell für die Untersuchung der Gehfähigkeit und der Gleichgewichtsfähigkeit bei alten Menschen entwickelt wurde (Tinetti, 1986). Es ist ein auf Fremdbeurteilung basierendes, reliables und valides Assessment aus sechzehn Elementen (Braun et al., 2019; Canbek et al., 2013; Faber et al., 2006; Raïche et al., 2000; Thomas & Lane, 2005; Tinetti, 1986), von denen neun die Gleichgewichtsfähigkeit und sieben die Gehfähigkeit bewerten. Die Maximalpunktzahl beträgt 28 Punkte, wobei eine höhere Punktzahl auf eine bessere motorische Leistungsfähigkeit und ein geringeres Sturzrisiko hindeuten. Da die in bisherigen Studien ermittelten Grenzwerte des POMA zur Unterscheidung zwischen älteren Personen mit und ohne Sturzrisiko allerdings sehr stark variieren (15 bis 26 Punkte), gibt es bisher keinen etablierten Grenzwert anhand dessen das Sturzrisiko älterer Erwachsener eindeutig beurteilt werden kann (Jahantabi-Nejad & Azad, 2019).

1.5. Körperliche Aktivität im höheren Lebensalter

Körperliche Aktivität umfasst jegliche durch die Skelettmuskulatur hervorgerufene Bewegung, die zu einem über den Grundumsatz hinausgehenden Anstieg des Energieverbrauchs führt (Caspersen et al., 1985; World Health Organization, 2020b). Sie beschreibt demnach jede Form der Bewegung, die im Alltag durchgeführt wird; unabhängig davon, ob diese geplant, strukturiert und zielorientiert ist oder eher zufällig entsteht. Folglich sind nicht nur sportliche Aktivitäten zur Steigerung der körperlichen Fitness, sondern auch alltägliche Aktivitäten, die während der Arbeit, bei der Hausarbeit oder bei Freizeitaktivitäten durchgeführt werden, ein Teil der körperlichen Aktivität. In Anlehnung an die ICF ist körperliche Aktivität als „*performance*“ (‘Leistung’) anzusehen, die beschreibt was ein Mensch in seiner „*gegenwärtigen, tatsächlichen Umwelt*“ de facto durchführt (World Health Organization, 2001). Körperliche Aktivität kennzeichnet daher habituelle ‚Leistung‘, die durch multiple Faktoren der eigenen Person (z. B. Motivation, Lebensstil oder Gewohnheiten) und der Umwelt (z. B. Vorschriften, Gesetze, die eigene Wohnung oder der Kontakt zu anderen Personen) beeinflusst wird und den Kontrast zur (motorischen) ‚Leistungsfähigkeit‘ in einer „*standardisierten Umwelt*“ bildet.

1.5.1. Die Folge körperlicher Inaktivität

Der Mangel an körperlicher Aktivität ist einer der größten Risikofaktoren für Übergewicht, Adipositas und nicht übertragbare Krankheiten, wie beispielsweise Herz-Kreislauf-

Erkrankungen, Diabetes, Krebs, psychische Störungen oder chronische Atemwegserkrankungen (World Health Organization, 2009). Schätzungsweise 21 bis 25 % der Brust- und Darmkrebserkrankungen, 27 % der Erkrankungen an Diabetes und 30 % der Herz-Kreislauf-Erkrankungen sind auf körperliche Inaktivität zurückzuführen (World Health Organization, 2009). Hinter arterieller Hypertonie, erhöhtem Tabakkonsum und Diabetes, aber noch vor Adipositas, ist körperliche Inaktivität auf dem vierten Platz der relevantesten Mortalitätsrisiken und die Ursache für weltweit 3,2 Millionen Todesfälle pro Jahr (World Health Organization, 2009). Die in diesem Zusammenhang global verursachten direkten Gesundheitskosten liegen geschätzt bei mehr als 50 Milliarden US-Dollar pro Jahr (ca. 53,8 Milliarden \$ für das Jahr 2013) (Ding et al., 2016).

Um negativen Auswirkungen körperlicher Inaktivität vorzubeugen oder diese zu verringern, gibt es offizielle Empfehlungen zur körperlichen Aktivität. Die Leitlinien für körperliche Aktivität der WHO sind hierbei sicherlich die bekanntesten und dienen vielen nationalen Empfehlungen als Vorlage (World Health Organization, 2020c). Älteren Erwachsenen ab 65 Jahren wird in den WHO-Leitlinien empfohlen mindestens 150 Minuten pro Woche mit moderater Intensität oder mindestens 75 Minuten pro Woche mit höherer Intensität ausdauerorientiert körperlich aktiv zu sein. Die körperliche Aktivität soll dabei in Einzeleinheiten von mindestens 10 Minuten erfolgen. Zur Erzielung zusätzlicher positiver Auswirkungen soll die körperliche Aktivität auf 300 Minuten pro Woche ausgeweitet werden. Personen mit Mobilitätseinschränkungen sollen an mindestens drei Tagen pro Woche Übungen zur Verbesserung der Gleichgewichtsfähigkeit durchführen, um Stürze zu vermeiden. Übungen zur Kräftigung großer Muskelgruppen sollen an mindestens zwei Tagen pro Woche ausgeführt werden. Falls ältere Personen aus gesundheitlichen Gründen die empfohlene Menge an körperlicher Aktivität nicht ausführen können, sollen sich diese so viel bewegen, wie es ihre Fähigkeiten und ihre Gesundheit zulassen (World Health Organization, 2020b, 2020c).

Obwohl die Varianz hinsichtlich der Einhaltung der WHO-Leitlinien zur körperlichen Aktivität bei alten Menschen hoch ist, zeigt sich zwischen dem 65. und 85. Lebensjahr ein klar rückläufiger Trend in der Prävalenz von körperlicher Aktivität gemäß den Empfehlungen der WHO (Keadle et al., 2016; Sun et al., 2013; Taylor, 2014). Eine potenzielle Ursache hierfür ist wahrscheinlich der mit zunehmendem Lebensalter einhergehende Verlust an funktioneller und motorischer Leistungsfähigkeit (vgl. Kapitel 1.2. und 1.4.), der die Ausübung von körperlicher Aktivität beeinträchtigt (vgl. Abbildung 6) (Hauer, 2000; Jansen et al., 2019; Jantunen et al., 2016) und dazu führt, dass ältere Personen einen Großteil ihres Tages in einer sitzenden oder liegenden Position verbringen (Harvey et al., 2013).

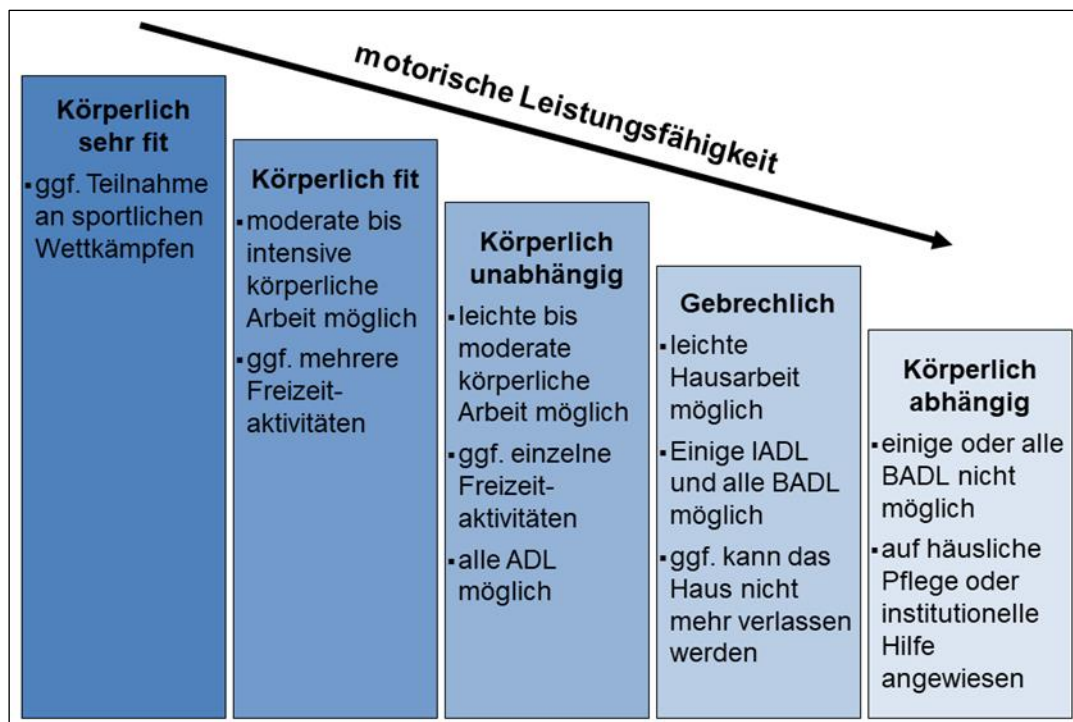


Abbildung 6: Zusammenhang motorischer Leistungsfähigkeit und körperlicher Aktivität. (eigene Darstellung in Anlehnung an Hauer, 2000). ADL = Aktivitäten des täglichen Lebens, IADL = instrumentelle Aktivitäten des täglichen Lebens, BADL = grundlegende Aktivitäten des täglichen Lebens.

Bei Personen mit kognitiver Einschränkung oder Demenz ist die Inaktivität im Vergleich zu älteren Menschen ohne kognitive Einschränkung erhöht (Hartman et al., 2018) und beläuft sich auf ungefähr zwei Drittel eines Tages (van Alphen, Volkens, et al., 2016). Neben einer kognitiven Beeinträchtigung sind eine schlechte allgemeine Gesundheit, Schmerzen, Sturzangst, Depression, Trägheit, geringe soziale Unterstützung, mangelnde Transportmöglichkeiten oder fehlendes Interesse weitere Gründe für das Nichterfüllen der allgemein anerkannten Aktivitätsempfehlungen sowie den altersbedingten Rückgang der körperlichen Aktivität (Baert et al., 2011; Bethancourt et al., 2014; Hobson et al., 2019; Lees et al., 2005; Moschny et al., 2011; Schutzer & Graves, 2004; van Alphen, Hortobágyi, et al., 2016; Watts et al., 2018). Viele dieser limitierenden Faktoren sind allerdings nicht nur die Ursache, sondern auch die Folge einer zu geringen körperlichen Aktivität. Durch die positive Rückkopplung zwischen körperlicher Inaktivität und den zumeist negativen gesundheitlichen Auswirkungen befinden sich inaktive alte Menschen sehr schnell in einem Circulus vitiosus, der zu einer fortschreitenden Verschlechterung ihres Gesundheitszustandes führt.

1.5.2. Positive Wirkung körperlicher Aktivität

Eine Steigerung des Aktivitätsverhaltens hilft die zuvor erwähnte Abwärtsspirale zu verlangsamen oder im besten Fall sogar zu durchbrechen. Körperliche Aktivität verringert bei älteren Menschen das Risiko für funktionelle Einschränkungen, schwere Erkrankungen (z. B. Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Stoffwechselerkrankungen) oder vorzeitige Mortalität (Earnest et al., 2013; Mensink et al., 1999; Rillamas-Sun et al., 2018; Taylor, 2014). Diese positiven Effekte sind auf Anpassungsprozesse in verschiedenen physiologischen Systemen zurückzuführen, die durch eine gesteigerte körperliche Aktivität initiiert werden und es älteren Personen ermöglichen, ihre motorische und funktionelle Leistungsfähigkeit länger aufrechtzuerhalten. Zu diesen Anpassungsprozessen zählen eine verbesserte Bewegungskoordination durch das neuromuskuläre System, eine effektivere Verteilung von Sauerstoff und Nährstoffen im Körper durch das kardiopulmonale System und eine bessere Regulation des Energiestoffwechsels (McPhee et al., 2016). Die körperliche Aktivität beeinflusst somit den motorischen und funktionellen Verlust bei älteren Erwachsenen unmittelbar (Tak et al., 2013). Da sich sowohl moderate körperliche Bewegung (Taylor, 2014) als auch gesteigerte Aktivitätsniveaus unterhalb der WHO-Empfehlungen positiv auf die Gesundheit älterer Menschen auswirken (Brown et al., 2007; Hupin et al., 2015; Mensink et al., 1999; Wen et al., 2011), wird deutlich, dass jede noch so kleine Menge an körperlicher Aktivität zum erfolgreichen und gesunden Altern beiträgt. Entsprechend einer Dosis-Wirkungs-Beziehung ist das Krankheits- und Mortalitätsrisiko geringer, je mehr oder intensiver die körperliche Aktivität verrichtet wird (Earnest et al., 2013; Manini et al., 2006; Mensink et al., 1999). Darüber hinaus reduziert regelmäßige körperliche Aktivität, insbesondere wenn sie bereits während des gesamten Lebens und mit höherer Intensität ausgeführt wird, die Verringerung funktionierender motorischer Einheiten (Motoneurone inklusive der davon innervierten Muskelfasern), die Sturzneigung sowie das Risiko für Osteoporose (Joakimsen et al., 1997; Kannus, 1999; Power et al., 2010). Letzteres geht mit einer verminderten Frakturwahrscheinlichkeit im Falle eines Sturzes einher (Joakimsen et al., 1997). Sogar ein später Wandel hin zu einem aktiven Lebensstil kann die Entstehung potenzieller Einschränkungen noch reduzieren und an die positiven Gesundheitseffekte heranreichen, die bei regelmäßig aktiven, älteren Erwachsenen auftreten (Berk et al., 2006). Die Förderung von körperlicher Aktivität ist daher bis ins hohe Lebensalter relevant (Stessman et al., 2009) und wird umso wichtiger, je älter und gebrechlicher eine Person ist (Bauman et al., 2016).

1.5.3. Körperliche Aktivität und Kognition

Zusätzlich zu den physiologischen Vorteilen, die körperliche Aktivität mit sich bringt, gibt es immer mehr Untersuchungen, die auch einen positiven Effekt auf den kognitiven Status von älteren Menschen nachweisen (Aarsland et al., 2010; Bauman et al., 2016; Carvalho et al., 2014; Colcombe & Kramer, 2003; Taylor, 2014). Obwohl belegt ist, dass körperliche Aktivität die Entstehung und Progression einer kognitiven Einschränkung bei älteren Personen verzögern oder verhindern kann (Carvalho et al., 2014; Geda et al., 2010; Lü et al., 2016; Paterson & Warburton, 2010; Smith et al., 2010), bleibt unklar, welche Intensität, Frequenz oder Art der Aktivität ausreichend ist, um diese Effekte zu erzielen (Beckett et al., 2015; Jia et al., 2019; Paterson & Warburton, 2010; Sofi et al., 2011). Eine langjährige körperliche Aktivität gemäß der WHO-Leitlinien (≥ 5 Jahre, moderate bis intensive Bewegung > 150 Minuten pro Woche) mindert bei alten Menschen mit und ohne kognitive Einschränkung die Wahrscheinlichkeit an Morbus Alzheimer zu erkranken um 40 % (Santos-Lozano et al., 2016). Gleichwohl erzielt auch eine deutlich kürzere Aktivitätsdauer von nur 60 Minuten pro Woche bereits ähnlich gute Effekte und verringert das Risiko von älteren Erwachsenen an einer allgemeine Demenz oder Morbus Alzheimer zu erkranken um 23 % beziehungsweise 32 % (Lee, 2018). Die positiven Auswirkungen von körperlicher Aktivität auf die Erhaltung und Steigerung der kognitiven Leistungsfähigkeit wird durch eine Kombination mit kognitiver Aktivität zusätzlich verbessert (Gheysen et al., 2018; Hughes et al., 2015). Mögliche Erklärungen für die vorteilhafte Wirkung der körperlichen Aktivität auf den kognitiven Status sind ein direkter Einfluss auf neurodegenerative Krankheitsmechanismen, eine Begünstigung von Neuroplastizität und neurotrophen Faktoren sowie eine Reduktion zerebrovaskulärer Risikofaktoren, die insbesondere durch die Erkrankung kleinerer Blutgefäße zum Risiko einer kognitiven Einschränkung beitragen (Ahlskog et al., 2011).

1.5.4. Steigerung von körperlicher Aktivität

Wissenschaftliche Untersuchungen zeigen, dass das Aktivitätsverhalten von älteren Erwachsenen durch vielfältige Interventionsansätze positiv beeinflusst werden kann (Chase, 2014; Kassavou et al., 2013; Morelhao et al., 2017; Talbot et al., 2003; Wellman et al., 2007). Diese Interventionen sind insbesondere dann erfolgreich, wenn sie in Gruppen durchgeführt werden, im Zusammenhang mit bereits bestehenden Einrichtungen realisiert werden (z. B. Sportvereinen oder Fitnessstudios), eine Komponente der Selbstkontrolle beinhalten (z. B. Aktivitätstagebuch), an Personen mit spezifischen gesundheitlichen Problemen adressiert sind (z. B. Herz-Kreislauf-Erkrankungen) und sich ausschließlich auf die Förderung von körperlicher Aktivität konzentrieren (ohne eine zusätzliche allgemeine

Gesundheits- oder Ernährungsberatung) (Conn et al., 2003; Conn et al., 2002). Da Verhaltensänderungen jedoch nicht einfach zu erzielen sind, stellt die Gestaltung von effektiven Trainingsprogrammen zur Förderung der körperlichen Aktivität von alten Menschen eine große Herausforderung dar (Conn et al., 2002).

Aufgrund eines guten Nutzen-Risiko-Verhältnisses sollen Trainingsinterventionen bei älteren Erwachsenen ihren Fokus auf ausdauerorientierte, moderate körperliche Aktivitäten legen, aber im Idealfall auch Komponenten aus Kraft-, Gleichgewichts- und Flexibilitätstraining beinhalten (Conn et al., 2003; Cress et al., 2006). Damit solche Interventionen zur Aktivitätsförderung möglichst erfolgreich sind, sollen diese den Präferenzen und Anforderungen der Teilnehmenden entsprechen, individuell anpassbar sein und Spaß machen (Arnautovska et al., 2018). Weitere Methoden, die gezielt zur Steigerung der körperlichen Aktivität eingesetzt werden, finden auf der Kognitions- oder Verhaltensebene statt und zeigen insbesondere in Kombination eine hohe Effektivität (Chase, 2014; Morelhao et al., 2017). Während Selbstkontrolle, Zielsetzung oder die Aufforderung aktiv zu werden als Bausteine der Verhaltensänderung imstande sind alte Menschen dazu zu motivieren ihr Aktivitätsverhalten zu steigern (Arnautovska et al., 2018; Chase, 2014; Conn et al., 2003; Cress et al., 2006; Morelhao et al., 2017), fördern die kognitiven Elemente Bildung, Beratung und Problemlösung die Veränderung von Ansichten, Überzeugungen und kognitiven Prozessen (Chase, 2014; Morelhao et al., 2017). Da verschiedene Methoden zur Verhaltensänderung für alte Menschen jedoch zu komplex und kognitiv anspruchsvoll sind oder aufgrund abweichender Interessen und Ziele nur bedingt akzeptiert werden, kommt es zu unterschiedlichen Wirkungsgraden zwischen jüngeren und älteren Senioren (McKay et al., 2018) mit einer potenziell geringeren Effektivität bei älteren Personen (French et al., 2014). Grundsätzlich gilt, dass sich relevante Einflussfaktoren aus der Lebenswelt (z. B. soziale Unterstützung, Umweltfaktoren, Freude an körperlicher Aktivität) besser zur Aktivitätsförderung von älteren Erwachsenen eignen als rein kognitive Strategien oder Methoden der Verhaltensänderung (Zubala et al., 2017).

1.5.5. Steigerung von körperlicher Aktivität bei kognitiver Beeinträchtigung

Die erhöhte kognitive Anforderung im Zusammenhang mit einer Verhaltensänderung ist eine der Ursachen, warum die Initiierung eines nachhaltig aktiveren Bewegungsverhaltens bei Menschen mit kognitiver Einschränkung schwierig ist (Nyman et al., 2018). Die genaue Wirksamkeit der Methoden zur Verhaltensänderung sowie die Wechselwirkung zwischen fördernden und hemmenden Faktoren bei älteren Erwachsenen mit kognitiver Einschränkung oder Demenz ist bislang noch weitgehend unklar (van der Wardt et al.,

2020). Ebenso ist kaum geklärt, welche sonstigen Faktoren das körperliche Aktivitätsverhalten von älteren Personen mit kognitivem Defizit beeinflussen und daher ein potenzielles Ziel für Trainingsinterventionen darstellen.

Frühere Untersuchungen bei alten Menschen mit Demenz identifizierten zwar Zusammenhänge zwischen körperlicher Aktivität und verschiedenen Faktoren (z. B. motorische Leistungsfähigkeit, ADL oder depressive Symptomatik), allerdings basieren diese Erkenntnisse lediglich auf Querschnittsanalysen und sind über die verschiedenen Studien hinweg nicht eindeutig (Stubbs et al., 2014). Bisher untersuchten Interventionsstudien bei älteren Personen mit Demenz eher die Effekte auf demenzspezifische Symptome (Forbes et al., 2015; Groot et al., 2016) oder die Einhaltung von Trainingsinterventionen (Teri et al., 2008) und weniger die Auswirkungen auf das Aktivitätsverhalten. Die Erkenntnisse zur Effektivität von Trainingsprogrammen auf die körperliche Aktivität von älteren Erwachsenen mit kognitivem Defizit stammen deshalb überwiegend aus Studien, die gemischte Stichproben von Personen mit und ohne kognitive Einschränkung untersuchten (Jansen et al., 2015; Olanrewaju et al., 2016). Hierbei zeigte sich, dass an die Zielgruppe angepasste, angeleitete körperliche Gruppentrainings in Kombination mit Strategien der Verhaltensänderung und Motivation größere Effekte auf das Aktivitätsverhalten erzielen als unspezifische, nicht angeleitete Einzeltrainings (Olanrewaju et al., 2016). Studien, die die Auswirkungen eines körperlichen Trainings auf das Aktivitätsverhalten bei ausschließlich alten Menschen mit kognitiver Einschränkung oder Demenz untersuchten, gibt es bislang nur sehr wenige (Hauer et al., 2017; Regan et al., 2019). Da diese Studien zudem methodische Mängel aufweisen, wie etwa das Fehlen einer Kontrollgruppe (Regan et al., 2019) oder eine fehlende Analyse zur Nachhaltigkeit der Trainingsintervention (Hauer et al., 2017; Regan et al., 2019), war es ein Ziel dieser Arbeit, die Effektivität und Nachhaltigkeit eines motorischen Trainings mit demenzspezifischem Ansatz zur Förderung von körperlicher Aktivität im poststationären Setting bei älteren Personen mit Demenz zu untersuchen (► Manuskript I, Kapitel 3.1.).

1.5.6. Methoden zur Dokumentation der körperlichen Aktivität

Wie zuvor erläutert besteht zwischen der körperlichen Aktivität und verschiedenen Gesundheitsfaktoren von älteren Erwachsenen ein unmittelbarer, positiver Zusammenhang. Damit potenziell nachteilige Auswirkungen auf die Gesundheit frühzeitig erkannt werden, sind valide und zuverlässige Methoden zur Dokumentation der körperlichen Aktivität erforderlich. Die Erhebung der körperlichen Aktivität beruht entweder auf fragebogenbasierten Assessmentverfahren oder auf sensorgestützten Messsystemen. Beide Methoden haben

Vor- und Nachteile, die im Rahmen wissenschaftlicher Studien stets berücksichtigt werden müssen.

Die Validität und Reliabilität von Fragebogen zur Dokumentation von körperlicher Aktivität ist unter anderem auch bei älteren Personen mit geringer bis moderater kognitiver Einschränkung nachgewiesen (Hauer, Lord, et al., 2011). Dennoch bleibt die Aktivitätserhebung mit dieser Art des Assessments bei älteren Erwachsenen mit kognitiven Defiziten eine Herausforderung und erfordert spezifische Interviewtechniken (Altschuler et al., 2009; Hauer, Lord, et al., 2011). Da es mit Fragebogen schwierig sein kann, die typischerweise sehr geringe und fragmentierte körperliche Aktivität von alten Menschen mit kognitiver Einschränkung abzubilden, sind Bodeneffekten nicht auszuschließen (Tudor-Locke & Myers, 2001). Außerdem erfordert die Dokumentation des Aktivitätsverhaltens mit Fragebogen relevante kognitive Fähigkeiten (Ainsworth et al., 2015; Warm, 2006), wie etwa die Erinnerungsfähigkeit oder das Arbeitsgedächtnis, die bei kognitiv beeinträchtigten Personen eingeschränkt sind. Infolgedessen und aufgrund einer subjektiven Überbewertung der tatsächlichen körperlichen Aktivität (Harvey et al., 2015) kann es im Zusammenhang mit fragebogenbasierten Assessmentverfahren zu Fehleinschätzungen des Aktivitätsverhaltens kommen.

Durch eine andauernde technologische Entwicklung werden fragebogenbasierte Assessmentverfahren sukzessive um sensorbasierte Aktivitätsmessungen erweitert. Diese sensorgestützten Methoden ermöglichen es, einige Schwächen der subjektiven, fragebogenbasierten Verfahren zu kompensieren und auch in einem niedrigen Intensitätsbereich objektive Daten zur körperlichen Aktivität zu generieren (z. B. Gehdauer, Schrittzahl). Die rasante Entwicklung objektiver Messsysteme führt mit einer Vielzahl verschiedener Sensoren und Analysealgorithmen zu einer wachsenden Fülle an Ergebnisparametern (Hubble et al., 2015), deren unterschiedliche Auswertungsmöglichkeiten methodische Probleme mit sich bringen (Schrack et al., 2016). In einem systematischen Review von 134 Studien, die mittels sensorbasierter Methoden die körperliche Aktivität von älteren Erwachsenen dokumentierten, zeigt sich für den Beurteilungszeitraum der Aktivität eine außerordentlich große Spannweite von 2 bis 450 Tagen, mit einer Woche als die am häufigsten berichtete Erhebungsdauer (in 56 Studien) (Taraldsen et al., 2012). Die Zeitspanne der sensorgestützten Aktivitätsmessungen bei alten Menschen ist in bisherigen Studien nicht oder nur unzureichend begründet. Damit jedoch die durch das Tragen eines Aktivitätsmonitors möglicherweise entstehende Belastung reduziert und gleichzeitig die Compliance und Kosteneffizienz erhöht werden kann, ist es wichtig, die Assessmentdauer so gering wie möglich zu halten (Troost et al., 2005).

Frühere Studien, die sich mit der Frage nach der notwendigen Dauer für Aktivitätserhebungen bei älteren Personen auseinandersetzten und in diesem Zuge die Tag-zu-Tag-Variabilität verschiedener Aktivitätsparameter analysierten, berichten einen Zeitraum von zwei bis fünf Tagen als ausreichend, je nach sensorbasiertem Parameter und untersuchter Stichprobe (de la Cámara et al., 2019; Hart et al., 2011; Rowe et al., 2007; van Schooten, Rispens, et al., 2015). Da ältere Menschen mit Demenz häufig von Funktions- und Mobilitätseinschränkungen oder psychischen Problemen und Verhaltensauffälligkeiten betroffen sind (Aalten et al., 2007; Njegovan et al., 2001; van Iersel et al., 2004; Verghese et al., 2002), die das Aktivitätsverhalten beeinflussen (David et al., 2012; Sabia et al., 2017; van Alphen, Volkens, et al., 2016) und damit potenziell auch die Tag-zu-Tag-Variabilität der dazugehörigen Parameter, stellen diese Personen eine eigene Gruppe älterer Erwachsener dar. Bislang gibt es keine Studie, die die Tag-zu-Tag-Variabilität diverser sensorgestützter Aktivitätsparameter in einer solch spezifischen Stichprobe älterer Menschen mit Demenz untersucht hat. Um spezifische Assessmentstrategien für eine belastungsarme und effiziente Dokumentation der körperlichen Aktivität im Rahmen wissenschaftlicher Studien oder einer erweiterten gesundheitlichen Diagnostik bei alten Menschen mit Demenz zu generieren, war die Analyse der Tag-zu-Tag-Variabilität diverser sensorgestützter Aktivitätsparameter in dieser vulnerablen Personengruppe ein Teilziel der vorliegenden Arbeit (→ Manuskript II, Kapitel 3.2.).

Die technische Weiterentwicklung der zur Aktivitätserhebung eingesetzten Sensorsysteme ermöglicht es, die etablierten, quantitativen Aktivitätsvariablen um innovative und überwiegend qualitative Parameter der körperlichen Aktivität zu ergänzen. Diese innovativen Variablen umfassen Merkmale des Geradeaus- und Kurvengehens (z. B. Gangsymmetrie, Winkelgeschwindigkeit), die eine qualitative Analyse des habituellen Gehens möglich machen; einem Hauptaugenmerk der körperlichen Aktivität. Labormessungen von qualitativen Gangparametern stehen bei alten Menschen im Zusammenhang mit Sturzangst und Aktivitätseinschränkungen (Donoghue et al., 2013), was deren Sensitivität für psychologische Faktoren und das Aktivitätsverhalten zeigt. Unter Alltagsbedingungen dokumentiert, eignen sich einzelne derartiger qualitativer Gangparameter bei älteren Erwachsenen zur Vorhersage von Stürzen (Mancini et al., 2016; van Schooten, Pijnappels, et al., 2015). Die besondere Bedeutung innovativer, qualitativer Aktivitätsparameter wird beim Vergleich zwischen motorisch fitten und motorisch beeinträchtigten, älteren Personen erkennbar, die sich zwar in ihrer habituellen Bewegungsqualität voneinander unterscheiden, aber nicht in ihrer Aktivitätsquantität (Leach et al., 2018; Mancini et al., 2015; Mancini et al., 2016; Weiss et al., 2013). Bei alten Menschen mit kognitiver Einschränkung

basieren die bisherigen Kenntnisse zur Qualität von habitueller körperlicher Aktivität ausschließlich auf Subgruppenanalysen vereinzelter, qualitativer Aktivitätsparameter. Diese verdeutlichen, dass Personen ohne kognitive Beeinträchtigung eine bessere Gangqualität unter Alltagsbedingungen vorzuweisen haben als ältere Erwachsene mit kognitiver Beeinträchtigung (Hausdorff et al., 2018; Hillel et al., 2019; Taylor et al., 2019; Xie et al., 2019).

Damit multimorbide, alte Menschen mit kognitiver Einschränkung den bereits dargestellten gesundheitlichen Benefit von quantitativer körperlicher Aktivität erfahren und insbesondere im Kontext einer poststationären, rehabilitativen Versorgung davon profitieren können, bedarf es gezielter Interventionsmaßnahmen. Hierzu ist nicht nur die Deskription der Quantität und Qualität von habitueller körperlicher Aktivität in dieser Zielgruppe erforderlich, sondern auch das Wissen über potenzielle Determinanten der quantitativen Aktivitätsmaße Dauer, Häufigkeit und Intensität. Frühere Studien, die darauf abzielten die Quantität von körperlicher Aktivität zu determinieren, zeigen geringe bis moderate Zusammenhänge mit soziodemografischen, medizinischen, psychologischen und kognitiven Parametern (Buchman et al., 2008; Elhakeem et al., 2018; Jantunen et al., 2016; Kujala et al., 2019; McMurdo et al., 2012) sowie moderate bis hohe Zusammenhänge mit Variablen der motorischen Leistungsfähigkeit (Bongartz et al., 2019; Giannouli et al., 2016). Da die motorische Leistungsfähigkeit normalerweise unter standardisierten Voraussetzungen erhoben wird und daher von der tatsächlichen Leistungsfähigkeit im Alltag abweicht, stellt sich die Frage, ob qualitative Aktivitätsparameter, die faktisch diese habituelle Leistungsfähigkeit abbilden, besser zur Vorherbestimmung von quantitativer körperlicher Aktivität geeignet sind. Ein Zusammenhang zwischen Qualität und Quantität der habituellen körperlichen Aktivität hätte unmittelbare Auswirkungen auf die Entwicklung zukünftiger Therapiekonzepte in der poststationären, rehabilitativen Versorgung. Aufgrund dessen war es ein Ziel dieser Arbeit, etwaige Determinanten quantitativer Aktivitätsparameter bei vulnerablen, älteren Erwachsenen mit kognitiver Einschränkung zu ermitteln sowie etablierte, quantitative und innovative, qualitative Variablen der habituellen körperlichen Aktivität für diese Zielgruppe zu beschreiben (→ Manuskript V, Kapitel 3.5.).

Exemplarisch für fragebogen- und sensorbasierte Methoden zur Dokumentation der körperlichen Aktivität werden nachfolgend kurz die Messinstrumente erklärt, die in den für diese Dissertation relevanten Publikationen verwendet wurden.

Physical Activity Questionnaire for the Elderly

Der Physical Activity Questionnaire for the Elderly (PAQE) ist ein zuverlässiger und valider Fragebogen, mithilfe dessen das Aktivitätsverhalten von alten Menschen als geringe, mittlere oder hohe körperliche Aktivität eingestuft werden kann (Voorrips et al.,

1991). Im Rahmen eines Interviews wird retrospektiv die körperliche Aktivität der Befragten dokumentiert. Durch Fragen zu Haushaltsaktivitäten, Sportaktivitäten und sonstigen Freizeitaktivitäten lässt sich ein Gesamtergebnis der körperlichen Aktivität ermitteln. Die Fragen zu den Haushaltsaktivitäten können mit vier bis fünf Bewertungsmöglichkeiten von inaktiv bis sehr aktiv beantwortet werden. In Bezug auf die Sport- und Freizeitaktivitäten wird nach der Art, dem Umfang und dem Zeitraum gefragt, in dem die körperliche Aktivität üblicherweise ausgeführt wurde. Die Beantwortung des Fragebogens dauert etwa 30 Minuten.

PAMSys™-Sensor und uSense-Aktivitätsmonitor

Der PAMSys™ ist ein kleiner (5,1 cm × 3 cm × 1,6 cm) und leichter (24 g) Bewegungssensor der Firma BioSensics (Newton, MA, USA) mit einer Abtastfrequenz von 40 Hz und einer Akkulaufzeit von bis zu 200 Stunden. Der auf dem Brustbein getragene Sensor ist mittels eines dreiachsigen Akzelerometers in der Lage, die körperliche Aktivität sowie Haltungs- und Gangparameter bei älteren Erwachsenen valide und zuverlässig zu dokumentieren (Najafi et al., 2003). Der uSense ist ein ebenfalls kleiner (6,8 cm × 4,2 cm × 1,0 cm) und leichter (36 g), jedoch nicht kommerzieller Aktivitätsmonitor mit einer Abtastrate von 100 Hz, der im Rahmen eines großen EU-Projekts (FARSEEING) entwickelt wurde. Der auf dem unteren Rücken zu tragende Aktivitätsmonitor enthält eine neunachsige Trägheitsplattform mit drei verschiedenen Arten von Sensoren (Akzelerometer, Gyroskope und Magnetometer). Hierdurch werden mit dem uSense im Vergleich zum PAMSys nicht nur etablierte, quantitative Parameter der körperlichen Aktivität erfasst (z. B. Schrittzahl oder Dauer von Gehen, Stehen, Liegen und Sitzen), sondern auch eine Vielzahl von innovativen, qualitativen Aktivitätsvariablen (z. B. Variabilität, Symmetrie und Regelmäßigkeit des Geradeausgehens oder Drehdauer, Winkel und Winkelgeschwindigkeit des Kurvengehens). Die Dokumentation der körperlichen Aktivität mithilfe des uSense ist eine valide, zuverlässige und praktikable Methode zur Darstellung des Aktivitätsverhaltens von älteren Personen mit kognitiver Einschränkung (Bongartz et al., 2019; Fleiner et al., 2016).

1.6. Sturzangst im höheren Lebensalter

Da die Angst vor einem Sturz mit der Einschränkung und Vermeidung von körperlicher Aktivität sowie mit einem verminderten funktionellen Rehabilitationsergebnis in Verbindung steht (Delbaere et al., 2009; Denkinger et al., 2010; Jellesmark et al., 2012; Lachman et al., 1998; Yardley & Smith, 2002), ist sie ein ganz entscheidender Faktor im Hinblick auf die Gesundheit von alten Menschen. Sturzangst ist unter älteren Personen ein weit verbreitetes Phänomen und unabhängig davon, ob diese bereits gestürzt sind oder nicht

(Friedman et al., 2002; Scheffer et al., 2008). Häufig ist die Angst vor einem Sturz sowohl die Folge als auch die Ursache dieses unerwünschten Ereignisses (Friedman et al., 2002). Bis zu 92 % der älteren Erwachsenen, die innerhalb des vorangegangenen Jahres gestürzt sind, haben Angst vor einem erneuten Sturz (Aoyagi et al., 1998). Die zuverlässige Identifizierung von Sturzangst, etwa bei älteren Personen nach einer Hüft- und/oder Beckenfraktur, ist daher von besonderer Relevanz, um möglichst frühzeitig nach derartigen schweren Verletzungen zielgerichtete und individuell angepasste Behandlungsstrategien anzuwenden (Kampe et al., 2017; Pfeiffer et al., 2020).

1.6.1. Sturzangst und Kognition

Der Einfluss von kognitiven Beeinträchtigungen auf die Angst vor einem Sturz ist bei älteren Erwachsenen nicht eindeutig. Es gibt Studien, in denen eine moderate kognitive Einschränkung die Entstehung von Sturzangst begünstigte (Uemura et al., 2015) oder alte Menschen mit Demenz eine signifikant höhere Sturzangst aufwiesen als eine Vergleichsgruppe ohne Demenz (Kasai et al., 2017). Andererseits gibt es auch Untersuchungen, in denen ein Gedächtnisverlust als eines der ersten Symptome einer demenziellen Erkrankung oder eine fortgeschrittene kognitive Einschränkung nur mit einer geringen Sturzangst in Zusammenhang standen (Borges et al., 2015; Uemura et al., 2012). Diese voneinander abweichende Erkenntnisse bezüglich der Sturzangst von älteren Personen mit kognitivem Defizit sind möglicherweise auf die beeinträchtigte Selbstwahrnehmung und Selbsteinschätzung von Menschen mit neurodegenerativen Erkrankungen zurückzuführen (Rosen et al., 2010; Shany-Ur et al., 2014). Je nach Schwere der kognitiven Beeinträchtigung wirken sich diese beiden Faktoren mutmaßlich unterschiedlich auf die Angst vor einem Sturz aus. Da gut zwei Drittel der älteren Erwachsenen mit kognitiver Einschränkung ihre Sturzangst unter- oder überschätzen, gemessen an ihrem tatsächlichen Sturzrisiko (Hauer et al., 2020), ist eine zuverlässige und valide Erhebung dieses gesundheitlich relevanten Parameters bei derartigen vulnerablen Personen von großer Bedeutung.

1.6.2. Methoden zur Dokumentation der Sturzangst

Die in der Vergangenheit verwendeten Methoden zur Beurteilung der Sturzangst bei älteren Erwachsenen basieren auf unterschiedlichen theoretischen Konzepten (Borges et al., 2015; Kasai et al., 2017; Uemura et al., 2015; Uemura et al., 2012), die gewisse Schwächen aufweisen. So sind etwa Einzelfragen nach der Angst vor einem Sturz nur als Screeningverfahren zu empfehlen, da sie das Ausmaß der Sturzangst nicht abbilden können und nicht veränderungssensitiv sind (Jørstad et al., 2005). Weitere Assessments, die Sturzangst mit mehr als nur einer Frage operationalisieren, unterscheiden zwischen der

Angst vor Stürzen, die mit verschiedenen Aktivitäten einhergeht und der Angst vor Stürzen, die zu einer Aktivitätseinschränkung führt (Lachman et al., 1998). Insbesondere bei vulnerablen Personen, die im Rahmen einer rehabilitativen Versorgung noch sehr häufig auf Unterstützung angewiesen sind, kann der Verweis auf bestimmte Aktivitäten zu einer verminderten Machbarkeit führen (Jørstad et al., 2005). Um diese Restriktionen zu beheben, wurden Fragebogen entwickelt, anhand derer die verschiedenen Aspekte der Sturzangst auch unabhängig von körperlicher Aktivität beurteilt werden können. Einer davon ist der Sturzangstfragebogen *Fear of Falling Questionnaire-Revised* (FFQ-R), der auch bei multimorbiden, älteren Personen mit physischer Schädigung als vielversprechendes Assessmentinstrument angewendet werden kann (Bower et al., 2015). Damit dieser bisher nur in englischer Originalversion zur Verfügung stehende Fragebogen zukünftig auch als spezifisches Assessmentinstrument im deutschen Sprachraum angewendet werden kann, war die Evaluation der psychometrischen Eigenschaften einer deutschen Version des FFQ-R in der Zielgruppe ein weiteres Teilziel der vorliegenden Arbeit (► Manuskript IV, Kapitel 3.4.).

2. Ziele und Fragestellungen

Basierend auf den zuvor aufgezeigten Forschungslücken war es das übergeordnete Ziel der vorliegenden Dissertation, die körperliche Aktivität, motorische Leistungsfähigkeit und Sturzangst von alten Menschen mit motorischer und kognitiver Einschränkung im poststationären, rehabilitativen Setting zu analysieren sowie methodische Grundlagen in diesem Rahmen zu evaluieren und zu entwickeln. Hierdurch sollen zukünftige Studien und Therapiemaßnahmen in diesem Kontext optimiert werden und zu einer potenziell besseren Versorgung dieser vulnerablen Zielgruppe führen.

Aktivitätsförderung durch motorisches Training mit demenzspezifischem Ansatz

Für den zuvor genannten Zweck wurde zunächst untersucht, ob ein motorisches Training mit demenzspezifischem Ansatz die mittels eines Fragebogens erhobene körperliche Aktivität von multimorbiden und überwiegend inaktiven, älteren Erwachsenen mit Demenz steigern kann. In einer randomisierten, kontrollierten Studie (RCT) mit drei Assessmentzeitpunkten (vor der Randomisierung, nach der Interventionsphase und drei Monate nach Beendigung der Intervention) wurden dabei folgende Fragestellungen bearbeitet (Manuskript I):

- Kann eine erfolgreiche motorische Trainingsintervention mit demenzspezifischem Ansatz zur Bewegungsförderung die körperliche Aktivität steigern?
- Sind potenziell auftretende Effekte nachhaltig und lassen sich Prädiktoren hierfür identifizieren?

Tag-zu-Tag-Variabilität sensorbasierter Parameter der körperlichen Aktivität

Vor dem Hintergrund einer kontinuierlich voranschreitenden technologischen Entwicklung wird körperliche Aktivität zunehmend mithilfe sensorbasierter Assessmentmethoden dokumentiert. Diese ermöglichen eine objektive Bewertung des Aktivitätsverhaltens und sind im Vergleich zu subjektiv verzerrten Fragebogen deutlich präziser. Insbesondere bei Menschen mit kognitiver Einschränkung, die aufgrund einer reduzierten Gedächtnisleistung Schwierigkeiten haben ihre körperliche Aktivität retrospektiv exakt wiederzugeben, sind sensorgestützte Aktivitätserhebungen von Vorteil. Da sensorbasierte Methoden im Vergleich zu Fragebogen allerdings deutlich teurer sind und das Tragen eines Aktivitätsmonitors als störend empfunden werden kann, sollten sensorbasierte Aktivitätsmessungen nicht länger als notwendig durchgeführt werden. Im Rahmen einer Beobachtungsstu-

die wurde daher die Tag-zu-Tag-Variabilität von diversen, objektiv erhobenen Aktivitätsparametern bei multimorbiden, älteren Erwachsenen mit Demenz und motorischer Einschränkung hinsichtlich folgender Fragestellungen analysiert (Manuskript II):

- Sind zwei aufeinanderfolgende Tage ausreichend, um verschiedene sensorbasierte Parameter der körperlichen Aktivität reliabel zu erheben?
- Beeinflussen unterschiedliche Tage (Wochentage vs. Wochenendtage) oder Begleitfaktoren (z. B. Geschlecht, kognitiver Status oder motorische Leistungsfähigkeit) das Untersuchungsergebnis?

Entwicklung der motorischen Leistungsfähigkeit und weiterer gesundheitsrelevanter Faktoren im direkten Anschluss an eine stationäre Rehabilitation

In Anbetracht dessen, dass körperliche Aktivität und motorische Leistungsfähigkeit miteinander assoziiert sind, ist bei alten Menschen mit verminderter motorischer Leistungsfähigkeit, beispielsweise infolge einer akuten physischen Schädigung oder Erkrankung, auch ein reduziertes Aktivitätsverhalten zu erwarten (Jansen et al., 2019). Diese Personen sind stark vom Verlust ihrer Autonomie und der Fähigkeit zu Hause wohnen zu bleiben bedroht. Liegt zusätzlich noch eine kognitive Einschränkung vor, steigt dieses Risiko. In Bezug auf weitere, geplante Therapiemaßnahmen ergab sich daher die Notwendigkeit, die Entwicklung rehabilitationsrelevanter Faktoren im Rahmen der poststationären Nachsorge bei älteren Erwachsenen mit geringer bis moderater kognitiver Einschränkung und Hüft- und/oder Beckenfraktur genauer zu analysieren. Hierzu wurde in der Zielgruppe die kurzfristige Entwicklung der motorischen Leistungsfähigkeit sowie weiterer klinisch bedeutsamer Parameter nach Entlassung aus einer stationären Rehabilitation anhand einer longitudinalen Beobachtungsstudie dokumentiert und im Hinblick auf folgende Fragestellungen untersucht (Manuskript III):

- Unterscheiden sich die motorische Leistungsfähigkeit sowie weitere klinisch relevante Parameter (z. B. sturzassoziierte Selbstwirksamkeit, Sturzangst, depressive Symptomatik) gegen Ende einer stationären Rehabilitation und nach einer wenige Wochen dauernden Übergangsphase im häuslichen Umfeld?
- Gibt es Prädiktoren für potenzielle Veränderung der motorischen Leistungsfähigkeit?

Psychometrische Eigenschaften der deutschen Übersetzung des Sturzangstfragebogens Fear of Falling Questionnaire-Revised

Da sich die Angst vor einem Sturz nachweislich negativ auf die funktionelle Erholung (Denkinger et al., 2010) und auf das körperliche Aktivitätsverhalten von älteren Erwachse-

nen auswirkt (Delbaere et al., 2009; Jellesmark et al., 2012), sind valide und reliable Methoden notwendig, mit denen sich diese Angst in den entsprechenden Risikogruppe erfassen lässt; zum Beispiel bei multimorbiden, älteren Personen mit motorischer und kognitiver Beeinträchtigung. Daher wurde in einem weiteren Schritt die deutsche Übersetzung des FFQ-R bei alten Menschen mit Hüft- und/oder Beckenfraktur sowie mit und ohne kognitive Einschränkung unter Berücksichtigung folgender Fragestellungen evaluiert (Manuskript IV):

- Ist die deutsche Version des FFQ-R ein valides Assessmentinstrument zur Erhebung der Sturzangst in der vulnerablen Zielgruppe?
- Stimmen die psychometrischen Eigenschaften der deutschen Version des FFQ-R mit denen der englischen Originalversion überein?

Innovative, qualitative und etablierte, quantitative Parameter der habituellen körperlichen Aktivität sowie Determinanten des quantitativen Aktivitätsverhaltens

Beruhend auf dem technologischen Fortschritt im Bereich sensorbasierter Aktivitätsmessungen und anknüpfend an die Verlaufsbeobachtung der motorischen Leistungsfähigkeit sowie weiterer klinisch bedeutsamer Parameter im Anschluss an eine stationäre Rehabilitation, wurden wenige Wochen nach dem Ende einer solchen Rehabilitation sowohl etablierte, quantitative als auch erstmals innovative, qualitative Parameter der habituellen körperlichen Aktivität bei multimorbiden, alten Menschen mit motorischer und kognitiver Einschränkung dokumentiert. Wie sich das habituelle Aktivitätsverhalten in dieser vulnerablen Personengruppe gestaltet und welche Bedeutung die Qualität der körperlichen Aktivität sowie die motorische Leistungsfähigkeit in diesem Zusammenhang haben, wurde in einer Querschnittsanalyse mittels folgender Fragestellungen untersucht (Manuskript V):

- Sind innovative, qualitative Variablen der habituellen körperlichen Aktivität neben demografischen und gesundheitsbezogenen Parametern sowie Variablen der motorischen Leistungsfähigkeit potenzielle Determinanten der habituellen Aktivitätsquantität?
- Wie stellen sich die zum ersten Mal mit validen Methoden erhobenen innovativen, qualitativen Variablen der habituellen körperlichen Aktivität dar?

Im nachfolgenden Kapitel sind die einzelnen Manuskripte entsprechend einer allgemein üblichen Gliederung (Hintergrund und Zielsetzung, Methodik, Ergebnisse, Diskussion und Schlussfolgerung) zusammengefasst. Die publizierten Originalmanuskripte befinden sich im Anhang dieser Dissertationsschrift.

3. Publikationsübersicht und Zusammenfassungen

3.1. Manuskript I: Die Steigerung der körperlichen Aktivität bei Menschen mit Demenz: Eine randomisierte kontrollierte Studie

Pomiersky, R., **Abel, B.**, Werner, C., Lacroix, A., Pfeiffer, K., Schäufele, M., & Hauer, K. (2020). Increasing Physical Activity in Persons With Dementia: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Aging and Physical Activity*, 28(4), 588-597.

Hintergrund und Zielsetzung

Alte Menschen mit Demenz sind häufig von Restriktionen hinsichtlich körperlicher Aktivität betroffen. Obwohl insbesondere diese Personen durch regelmäßige körperliche Aktivität gesundheitlich profitieren können, ist eine Teilnahme an regulären Trainingsangeboten aufgrund demenzbedingter Beeinträchtigungen (z. B. Probleme in der Aufmerksamkeitsspanne, dem Kurzzeitgedächtnis oder der Kommunikation sowie eine mangelnde räumliche Orientierung, Mobilität oder soziale Unterstützung) oft erschwert (Bayles et al., 1992; Cedervall & Åberg, 2010; Oddy, 1987; Yu et al., 2011). Im Unterschied zu regulären Trainingsprogrammen müssen Angebote für Personen mit kognitiver Einschränkung oder Demenz gezielt auf die besonderen Bedürfnisse dieser Menschen eingehen, um Verhaltensänderungen zu initiieren. Systematische Übersichtsarbeiten zu Interventionsstudien bei älteren Erwachsenen berichteten in einigen Fällen zwar eine Steigerung der körperlichen Aktivität und größere Effekte durch spezifische, angeleitete Gruppentrainings im Vergleich zu unspezifischen, nicht angeleiteten Einzeltrainings, allerdings war die Steigerung des Aktivitätsverhaltens nicht das primäre Ziel dieser Interventionen (Jansen et al., 2015; Olanrewaju et al., 2016). Darüber hinaus analysierten diese Untersuchungen entweder gemischte Stichproben von Personen mit und ohne kognitive Einschränkung oder machten keine Angaben zum kognitiven Status der Teilnehmenden (Jansen et al., 2015; Olanrewaju et al., 2016). Eine Pilotstudie, in der ausschließlich ältere Erwachsene mit kognitiver Einschränkung untersucht wurden, zeigte im Zuge eines angeleiteten Heimtrainingsprogramms eine Zunahme der motorischen Leistungsfähigkeit und körperlichen Aktivität (Hauer et al., 2017). Hierdurch wurde ein positiver Einfluss einer spezifischen Trainingsanleitung und gesteigerten motorischen Leistungsfähigkeit auf das Aktivitätsverhalten von Personen mit kognitiver Beeinträchtigung vermutet. Basierend auf diesen bisherigen Erkenntnissen war es das Ziel der in Manuskript I beschriebenen Studie, die Wirksamkeit und Nachhaltigkeit eines motorischen Trainings mit demenzspezifischem Ansatz

zur Aktivitätsförderung bei alten Menschen mit leichter bis moderater Demenz zu untersuchen und Prädiktoren für die potenzielle Veränderung des Aktivitätsverhaltens zu identifizieren.

Methodik

In der vorliegenden doppelt verblindeten, randomisierten, placebokontrollierten Studie wurden insgesamt 122 Teilnehmende untersucht, die zuvor nach folgenden Kriterien ausgewählt wurden: Alter ≥ 65 Jahre, Gehfähigkeit ≥ 10 m ohne Gehhilfe, Wohnort ≤ 15 km zum Studienzentrum, keine schwerwiegenden neurologischen, kardiovaskulären, metabolischen oder psychischen Störungen, Mini-Mental Status Examination (MMSE) (Folstein et al., 1975) zwischen 17 und 26 Punkten, Demenzdiagnose durch einen Geriater (McKhann et al., 1984) und Einverständnis zur Studienteilnahme. Sowohl das Training in der Interventionsgruppe (IG, $n = 62$) als auch das Placebotraining in der Kontrollgruppe (KG, $n = 60$) fanden in angeleiteten Kleingruppen (5 bis 6 Teilnehmende) über einen Zeitraum von drei Monaten statt. Die Trainingsintervention (2 Mal pro Woche, je 2 Stunden) setzte sich aus submaximalem Krafttraining funktionell relevanter Muskelgruppen und funktionellem Training alltagsrelevanter motorischer Funktionen (Stehen, Gehen, Aufstehen von einem Stuhl und Treppensteigen) zusammen. Das Placebotraining (2 Mal pro Woche, je 1 Stunde) beinhalteten unspezifische Übungen mit geringer Intensität im Sitzen (Hockergymnastik). In beiden Gruppen wurde ein demenzspezifischer, personenzentrierter Ansatz verwendet, um die typischen Einschränkungen der Teilnehmenden zu mildern. Dieser bestand aus folgenden Komponenten: Geeignete Kommunikationsstrategie (Oddy, 1987); taktile und visuelle Unterstützung; Konzentration auf die Persönlichkeit, die zwischenmenschliche Beziehung und die Erfahrung während des Trainings, weniger auf neuropathologische Defizite (Dewing, 2008; Kitwood, 1990); sowie Stärkung der Selbstwirksamkeit durch einen empathischen und respektvollen Umgang. Zur Steigerung der Trainingsadhärenz und Überbrückung der Mobilitätseinschränkungen wurde im Rahmen des demenzspezifischen, personenzentrierten Ansatzes für alle Teilnehmenden ein kostenloser Transportservice bereitgestellt. Die körperliche Aktivität als primärer Endpunkt dieser Untersuchung wurde vor der Randomisierung (T1), nach dem Interventionszeitraum (T2) und drei Monate nach Beendigung der Intervention (T3) mithilfe des PAQE (Voorrips et al., 1991) (vgl. Kapitel 1.5.6.) erhoben. Aufgrund der Beeinträchtigungen im Arbeitsgedächtnis und der Erinnerungsfähigkeit der Zielgruppe wurde der Beurteilungszeitraum des PAQE auf eine Woche reduziert. Darüber hinaus kamen stark strukturierte Interviewtechniken zum Einsatz, die gezielt für die Beurteilung von körperlicher Aktivität bei Personen

mit Demenz entwickelt und validiert wurden (Hauer, Lord, et al., 2011). Neben der körperlichen Aktivität wurden zusätzlich folgende Parameter erhoben: Alter, Geschlecht, Komorbidität (Parmelee et al., 1995), Alltagsfunktionalität (Mahoney & Barthel, 1965), depressive Symptomatik (Yesavage et al., 1982), sturzbezogene Selbstwirksamkeit (Hauer et al., 2010), motorische Leistungsfähigkeit (Podsiadlo & Richardson, 1991; Tinetti, 1986), Sturzhäufigkeit und Trainingsadhärenz. Zur Beurteilung der Effekte wurden zweifaktorielle Varianzanalysen mit Messwiederholung durchgeführt. Der Einfluss verschiedener, unabhängiger Faktoren auf die Veränderung der körperlichen Aktivität wurde über multiple lineare Regressionen ermittelt.

Ergebnisse

Bei der Beurteilung des Interventionszeitraums ergab sich für die IG im Vergleich zur KG eine signifikante Steigerung in den Gesamt- und Sportaktivitäten ($p < 0,001$), jedoch nicht in den Haushalts- und Freizeitaktivitäten ($p = 0,631-0,925$). In den Gesamt- und Sportaktivitäten, aus denen die direkt durch die Intervention verursachte körperliche Aktivität herausgerechnet wurde, zeigten sich ebenfalls keine Unterschiede zwischen IG und KG ($p = 0,880-0,965$). Dennoch kam es während der Interventionsphase in beiden Studiengruppen zu einer signifikanten Steigerung aller Variablen der körperlichen Aktivität ($p = 0,001-0,006$), mit Ausnahme der Freizeitaktivitäten. Auch in Bezug auf den Gesamtbeobachtungszeitraum zeigten die IG und die KG eine signifikante Steigerung der Gesamt-, Sport- und Haushaltsaktivitäten ($p < 0,001-0,004$). Nachhaltige Effekte auf die Freizeitaktivitäten oder durch die Trainingsintervention wurden nicht festgestellt. Der einzige Prädiktor für die Steigerung der Gesamtaktivitäten in der IG im Laufe des Interventionszeitraums war ein geringeres Maß an Gesamtaktivitäten zum Zeitpunkt T1 ($\beta = |0,425|$, $p = 0,002$, korrigiertes $R^2 = 0,163$). Prädiktoren für die nachhaltige Steigerung der Gesamtaktivitäten in der Gesamtgruppe waren eine geringere Komorbidität ($\beta = |0,259|$, $p = 0,009$), eine bessere motorische Leistungsfähigkeit ($\beta = |0,277|$, $p = 0,004$) und ein geringeres Maß an Gesamtaktivitäten ($\beta = |0,379|$, $p < 0,001$) zum Zeitpunkt T1 (korrigiertes $R^2 = 0,191$).

Diskussion und Schlussfolgerung

Manuskript I zeigt erstmals, dass ein körperliches Training mit demenzspezifischem Ansatz zur Bewegungsförderung die körperliche Aktivität von inaktiven, multimorbiden, älteren Menschen mit leichter bis moderater Demenz essenziell steigern kann. Obwohl der signifikante Interaktionseffekt in den Gesamt- und Sportaktivitäten durch das Herausrechnen der interventionsbedingten körperlichen Bewegung verschwand, zeigte sich ein signifikanter Zeiteffekt für die gesamte Studienstichprobe. Dies signalisiert, dass nicht nur die

motorische Trainingsintervention in der IG, sondern auch der demenzspezifische, personenzentrierte Ansatz, der in beiden Studiengruppen implementiert wurde, zu einem signifikanten Anstieg der Gesamt- und Sportaktivitäten führte. Gleichzeitig waren auch die Haushaltsaktivitäten in der IG und KG nach der Interventionsphase signifikant erhöht, ohne dass die Freizeitaktivitäten verringert waren. Das Ausbleiben eines solchen Trade-Off-Effekts und die Steigerung der Sportaktivitäten über die Intervention hinaus deuten auf eine allgemeine Aktivitätsförderung durch die Komponenten des demenzspezifischen, personenzentrierten Ansatzes hin (z. B. demenzspezifische Kommunikation und Anleitung, Training in kleinen Peergroups, Transportdienst). Die signifikanten Zeiteffekte in den Gesamt-, Sport- und Haushaltsaktivitäten für den Gesamtbeobachtungszeitraum sind ein Indiz dafür, dass der in beiden Studiengruppen angewendete demenzspezifische, personenzentrierte Ansatz für die Nachhaltigkeit der Effekte eine wichtigere Rolle spielte als das intensive motorische Training der IG. Dieser spezifische Ansatz könnte auch eine Erklärung dafür sein, warum lediglich ein geringeres Aktivitätsniveau zum Zeitpunkt T1 als Prädiktor für die Veränderung der Gesamtaktivitäten in der IG im Verlauf des Interventionszeitraums identifiziert wurde. Die typischen Schwierigkeiten von alten Menschen mit leichter bis moderater Demenz wurden durch den demenzspezifischen, personenzentrierten Ansatz vermutlich so gut kompensiert, dass diese die erfolgreiche Aktivitätsförderung nicht beeinflussten. Das geringere Aktivitätsniveau, die bessere motorische Leistungsfähigkeit sowie die geringere Komorbidität zum Zeitpunkt T1 als Prädiktoren einer nachhaltigen Steigerung der Gesamtaktivitäten verdeutlichen die große Bedeutung von körperlicher Leistungsfähigkeit und Gesundheit in Bezug auf Veränderung des Aktivitätsverhaltens. Die langanhaltende Teilnahme an solch einem spezifischen Trainingsprogramm kann die körperliche Aktivität von multimorbiden, älteren Personen mit Demenz nachhaltig verbessern.

3.2. Manuskript II: Die Tag-zu-Tag-Variabilität verschiedener, sensorgestützter Parameter der körperlichen Aktivität bei älteren Menschen mit Demenz

Abel, B., Pomiersky, R., Werner, C., Lacroix, A., Schäufele, M., & Hauer, K. (2019). Day-to-day variability of multiple sensor-based physical activity parameters in older persons with dementia. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, *85*, 103911.

Hintergrund und Zielsetzung

Ältere Menschen verbringen die meiste Zeit des Tages im Sitzen oder Liegen (Harvey et al., 2013), wobei Personen mit Demenz sogar etwa zwei Drittel eines Tages inaktiv sind

(van Alphen, Volkers, et al., 2016). Da Fragebogen als bislang etablierte Methode zur Dokumentation von körperlicher Aktivität bei älteren Erwachsenen mit kognitiver Einschränkung Schwächen aufweisen (Ainsworth et al., 2015; Warms, 2006), sind objektive, sensorbasierte Assessmentverfahren besser geeignet (vgl. Kapitel 1.5.6.). Wie viele Assessmenttage für die stetig wachsende Zahl von sensorgestützten Ergebnisparametern minimal erforderlich sind, damit diese ein habituelles Aktivitätsverhalten abbilden, ist allerdings noch nicht abschließend geklärt. Die Analyse der Tag-zu-Tag-Variabilität dieser Aktivitätsparameter stellt hierbei eine geeignete Methode dar, um diese Frage zu klären. Basierend auf einschlägiger Literatur variiert die mindestens erforderliche Assessmentdauer zwischen verschiedenen Parametern und Studienstichproben (Hart et al., 2011; Rowe et al., 2007; van Schooten, Rispens, et al., 2015). Da bisherige Studien den kognitiven Status ihrer untersuchten Stichproben nicht berichteten (de la Cámara et al., 2019; Hart et al., 2011; Rowe et al., 2007) oder nur gemischte Stichproben von älteren Erwachsenen mit und ohne kognitive Einschränkung analysierten (van Schooten, Rispens, et al., 2015), ist die Tag-zu-Tag-Variabilität einzelner sensorbasierter Aktivitätsparameter bei Personen mit Demenz unklar. Das primäre Ziel von Manuskript II war es daher, die Tag-zu-Tag-Variabilität verschiedener sensorbasierter Parameter der körperlichen Aktivität bei multimorbiden, alten Menschen mit leichter bis moderater Demenz zu untersuchen und im Zuge dessen eventuell die minimal erforderliche Anzahl an Assessmenttagen herzuleiten. Ein sekundäres Ziel war es, den potenziellen Einfluss spezifischer Tage (Wochentage vs. Wochenendtage) sowie weiterer Faktoren (z. B. Geschlecht, Wohnsituation, motorische Leistungsfähigkeit) auf die Tag-zu-Tag-Variabilität dieser Aktivitätsparameter zu analysieren.

Methodik

Im Rahmen einer Beobachtungsstudie wurden retrospektiv die Baseline-Daten einer Subgruppe von 53 Personen aus einer doppelt geblindeten, randomisierten, placebokontrollierten Studie analysiert, die Verbesserung der motorischen und kognitiven Funktionen in der Zielgruppe anstrebte. Die Rekrutierung der Teilnehmenden erfolgte nach vergleichbaren Kriterien wie in Manuskript I (vgl. Kapitel 3.1.). Die körperliche Aktivität wurde mittels eines Bewegungssensors (PAMSys™; vgl. Kapitel 1.5.6.) an drei aufeinanderfolgenden Tagen (Freitag bis Sonntag) im häuslichen Umfeld erhoben. Hierbei dokumentierte der Sensor die Dauer des Liegens, Sitzens, Stehens, Gehens, der aktiven (Stehen + Gehen) und inaktiven Zeit (Liegen + Sitzen) sowie die Anzahl der Sitzen-Stehen-Transfers, Gehepisoden und Schritte. Zudem wurden folgende beschreibende Parameter erfasst: Alter, Geschlecht, Wohnsituation (unabhängig vs. im Pflegeheim), Anzahl der Diagnosen und

Medikamente, kognitiver Status (O'Bryant et al., 2008), Bildungsniveau, depressive Symptomatik (Gauggel & Birkner, 1999), gesundheitsbezogene Lebensqualität (Ware et al., 1996), sturzbezogene Selbstwirksamkeit (Hauer, Kempen, et al., 2011), Sturzangst (Maki et al., 1991), Sturzgeschehen im zurückliegenden Jahr (ja vs. nein) und motorische Leistungsfähigkeit (Guralnik et al., 1994; Podsiadlo & Richardson, 1991; Tinetti, 1986). Die sensorbasierten Aufzeichnungen der körperlichen Aktivität wurden in drei Zeiträume à 24 Stunden unterteilt. Um die Tag-zu-Tag-Variabilität der einzelnen Aktivitätsparameter zu untersuchen, wurde mithilfe von Intraklassenkorrelationskoeffizienten (ICCs) die Reliabilität zwischen den einzelnen Tagen beziffert (eine hohe Reliabilität entsprach einer geringen Variabilität und umgekehrt). ICCs $\geq 0,70$ wurden als adäquate Tag-zu-Tag Reliabilität angesehen (Lohr, 2002). Die Analysen wurden sowohl in der Gesamtgruppe als auch in vorher definierten, literaturbasierten Subgruppen für zwei potenziell verschiedene Kombinationen von aufeinanderfolgenden Tagen durchgeführt (Wochentag-Wochenendtag [Freitag-Samstag] vs. Wochenendtag-Wochenendtag [Samstag-Sonntag]). Die Subgruppen waren dabei nach folgenden dichotomen Merkmalen unterteilt: Geschlecht (Frauen vs. Männer), Wohnsituation (unabhängig vs. im Pflegeheim), kognitiver Status (MMSE: ≥ 24 Punkte vs. < 24 Punkte (Folstein et al., 1975)), motorische Leistungsfähigkeit (5-STS: ≥ 12 s vs. < 12 s (Tiedemann et al., 2008) & maximale Gehgeschwindigkeit: ≥ 1.04 m/s vs. < 1.04 m/s) sowie Aktivitätsniveau (durchschnittliche Dauer von Stehen + Gehen pro Tag: ≥ 3.4 h vs. < 3.4 h).

Ergebnisse

In der Gesamtgruppe ergab sich für alle Parameter, die nicht unmittelbar im Zusammenhang mit Gehaktivität standen, eine relativ geringe Tag-zu-Tag-Variabilität. Die jeweiligen ICCs zeigten nicht nur für Freitag-Samstag (ICCs = 0,73–0,85), sondern auch für Samstag-Sonntag (ICCs = 0,81–0,85) eine adäquate Reliabilität. Bei den mit Gehaktivität verbundenen Parametern lagen die ICCs für die Dauer des Gehens (ICC = 0,69) und die Anzahl der Gehepisoden (ICC = 0,70) für Samstag-Sonntag nur geringfügig unter oder genau auf dem Grenzwert einer adäquaten Reliabilität, wohingegen der ICC für die Anzahl der Schritte deutlich niedriger war (ICC = 0,49). Für Freitag-Samstag zeigte sich bei keinem der mit dem Gehen in Zusammenhang stehenden Parameter eine adäquate Reliabilität (ICCs = 0,15–0,28). In den Subgruppen ergaben die Berechnungen der ICCs für fast alle Parameter, die nicht direkt mit der Gehaktivität zusammenhingen, eine angemessen hohe Reliabilität für Freitag-Samstag und Samstag-Sonntag. Geringfügige Ausnahmen hiervon zeigten sich hauptsächlich in der Subgruppe Aktivitätsniveau. Die ICCs der mit dem Gehen verbundenen Parameter waren weniger aussagekräftig. Während sich für die

Parameter der Gehaktivität in keiner der Subgruppen eine adäquate Reliabilität für Freitag-Samstag zeigte, variierte die Reliabilität für Samstag-Sonntag zwischen den Gruppen und dichotomen Merkmalen, mit Auffälligkeiten in den Subgruppen Wohnsituation, kognitiver Status und Aktivitätsniveau.

Diskussion und Schlussfolgerung

Manuskript II definiert erstmalig die minimal erforderliche Assessmentdauer von verschiedenen sensorbasierten Parametern der körperlichen Aktivität bei multimorbiden, hochbetagten Menschen mit leichter bis moderater Demenz. Die Studienergebnisse zeigen, dass Variablen, die nicht direkt mit dem Gehen in Verbindung stehen, nur eine geringe Tag-zu-Tag-Variabilität aufwiesen und von der Art der Assessmenttage oder verschiedenen Begleitfaktoren kaum beeinflusst wurden. Im Gegensatz dazu ergab sich für die mit Gehaktivität zusammenhängenden Parameter eine allgemein höhere Tag-zu-Tag-Variabilität zwischen unterschiedlichen Arten von Assessmenttagen (Freitag-Samstag) und, abhängig von den verschiedenen Begleitfaktoren, eine geringere Tag-zu-Tag-Variabilität zwischen ähnlichen Tagen (Samstag-Sonntag). Die generell höhere Tag-zu-Tag-Variabilität der mit dem Gehen verbundenen Parameter ist vermutlich auf das insgesamt sehr niedrige Aktivitätsniveau der vulnerablen Studienstichprobe zurückzuführen, auf dem bereits geringfügige und nur gelegentlich durchgeführte Gehaktivitäten zu einer hohen Variabilität führten. Die voneinander abweichende Tag-zu-Tag-Variabilität dieser spezifischen Parameter für verschiedene und ähnliche Arten von Tagen deutet auf strukturelle Unterschiede zwischen Wochentagen und Wochenendtagen mit ungleichen Tagesabläufen und Gewohnheitsmustern hin. Eine mögliche Erklärung wäre, dass Personen mit motorischer und kognitiver Beeinträchtigung ihre körperliche Aktivität als Belastung empfanden und diese daher am Wochenende verringerten, wenn alltägliche Routinen normalerweise ohnehin vermindert durchgeführt werden. Der Einfluss der unterschiedlichen Begleitfaktoren auf die Parameter der Gehaktivität zeigte sich größtenteils in den Bereichen Wohnsituation, kognitiver Status und Aktivitätsniveau. Im Vergleich zu einer unabhängigen Wohnsituation war die Gehaktivität in Pflegeheimen durch die organisatorischen Rahmenbedingungen, strukturierten Routinen und einen verringerten Personalschlüssel am Wochenende höchstwahrscheinlich reduziert, was die Tag-zu-Tag-Variabilität der dazugehörigen Variablen entscheidend beeinflusst hat. Während Personen mit einem besseren kognitiven Status ihre Autonomie aufrechterhalten und ihr Aktivitätsverhalten eigenständig steuern können, sind ältere Erwachsene mit einem geringeren kognitiven Status mutmaßlich vermehrt auf soziale Unterstützung angewiesen (World Health Organization, 2017).

Dieser externe Einfluss wirkte sich möglicherweise auf die körperliche Aktivität der Betroffenen und damit auf die Tag-zu-Tag-Variabilität der mit dem Gehen verbundenen Parameter aus und sorgte so für die Unterschiede zwischen Personen mit besserem und schlechterem kognitiven Status. Wie schon in der Gesamtgruppe ist die hohe Tag-zu-Tag-Variabilität der körperlichen Aktivität bei Personen mit einem niedrigen Aktivitätsniveau vermutlich durch die ausgeprägte Inaktivität zu erklären. Da das Aktivitätsverhalten auf diesem geringen Niveau wohl eher zufällig zustande kam, resultierten bereits kleine Abweichungen in einer hohen Variabilität. Gleichwohl sind zwei aufeinanderfolgende Tage ausreichend, um die nicht mit Gehaktivität in Zusammenhang stehenden Parameter bei multimorbiden, alten Menschen mit Demenz reliabel zu dokumentieren.

3.3. Manuskript III: Der Übergang aus einer stationären geriatrischen Rehabilitation ins häusliche Umfeld bei kognitiv eingeschränkten, älteren Menschen nach einer Hüft- und/oder Beckenfraktur

Abel, B., Eckert, T., Pomiersky, R., Dautel, A., Schäufele, M., Pfeiffer, K., Hauer, K., & the PROFInD2 Study Group (2020). Transition from inpatient rehabilitation to the home environment in cognitively impaired older persons after hip fracture. *Journal of Rehabilitation Medicine* 52(11), jrm00130.

Hintergrund und Zielsetzung

Alte Menschen mit kognitiver Einschränkung haben ein erhöhtes Risiko für Hüft- und/oder Beckenfrakturen (Wang et al., 2014). Die kurz- und langfristige funktionelle Erholung infolge einer derart schweren Verletzung ist bei diesen vulnerablen Personen eher schlecht, weshalb das Risiko innerhalb des ersten Jahres nach der Fraktur zu sterben oder ins Pflegeheim zu kommen erhöht ist (Schaller et al., 2012). Obwohl der Zeitraum unmittelbar nach einer stationären Rehabilitation für ältere Erwachsene bezüglich der Wahrung ihrer Autonomie von entscheidender Bedeutung ist, wurde diese kurze Phase bei älteren Personen mit kognitiver Einschränkung und Hüft- und/oder Beckenfraktur bisher kaum untersucht. Lediglich eine Beobachtungsstudie mit einer gemischten Stichprobe von älteren Erwachsenen mit und ohne kognitive Einschränkung und Hüft- und/oder Beckenfraktur wurde bei der Literaturrecherche identifiziert. Diese zeigte zwar funktionelle Verbesserungen innerhalb der ersten sechs Wochen nach Entlassung aus einer stationären Rehabilitation, allerdings nur in einer Subgruppe und basierend auf Interviews (Jones et al., 2002). Deshalb war es das Ziel von Manuskript III, Veränderungen der motorischen Leistungsfähigkeit sowie weiterer gesundheitsrelevanter Faktoren in der kurzen Übergangszeit zwischen einer stationären Rehabilitation und dem häuslichem Umfeld bei multimorbiden und

kognitiv beeinträchtigten, alten Menschen nach einer Hüft- und/oder Beckenfraktur zu untersuchen und Prädiktoren für die potenzielle Veränderung der motorischen Leistungsfähigkeit zu ermitteln.

Methodik

In der vorliegenden Längsschnitt-Beobachtungsstudie wurden die Baseline-Daten einer Subgruppe von 127 Personen aus einer bizenrischen RCT genutzt, die beabsichtigte, die Effekte einer poststationären, multifaktoriellen Intervention in der angegebenen Zielgruppe zu untersuchen. Die folgenden Einschlusskriterien wurden für die Teilnahme an der RCT definiert: Hüft- und/oder Beckenfraktur ≤ 3 Monate, MMSE zwischen 17 und 26 Punkten (Folstein et al., 1975), Alter ≥ 65 Jahre, Gehfähigkeit ≥ 4 m, wohnhaft in eigener Häuslichkeit oder betreutem Wohnen ≤ 50 km zum Studienzentrum, keine schwerwiegenden neurologischen, kardiovaskulären, metabolischen oder psychischen Störungen, kein Delir, keine Aphasie oder Apraxie, ausreichende Sehschärfe (korrigiertes Sehvermögen, Snellen-Index $> 20/400$), ausreichende Hörfähigkeit für Telefonate, ausreichende deutsche Sprachkenntnisse und schriftliches Einverständnis. Am Ende der Rehabilitation wurden Alter, Geschlecht, Pflegegrad, Alltagsfunktionalität (Mahoney & Barthel, 1965) und Dauer der stationären Rehabilitation erfasst. Folgende Parameter wurden wenige Tage vor Entlassung aus der stationären Rehabilitation (T0) und/oder wenige Wochen danach im häuslichen Umfeld der Teilnehmenden (T1) erhoben: motorische Leistungsfähigkeit (Guralnik et al., 1994), sturzbezogene Selbstwirksamkeit (Hauer, Kempen, et al., 2011), Sturzangst (Bower et al., 2015), depressive Symptomatik (Montgomery & Asberg, 1979; Schmidtke et al., 1988), gesundheitsbezogene Lebensqualität (EuroQol Group, 1990), Schmerz (Bellamy et al., 1988; Stucki et al., 1996), Wohnsituation (alleine vs. mit Unterstützung) und ambulante Therapien während des Beobachtungszeitraums (z. B. Physiotherapie, ja vs. nein). Die potenziellen Veränderungen der motorischen Leistungsfähigkeit und der weiteren, gesundheitsrelevanten Faktoren von T0 zu T1 wurden mithilfe von *t*-Tests für abhängige Stichproben und Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Tests untersucht. Die hierzu berechneten Effektstärken waren Pearson's *r* oder Cohen's *d*. Prädiktoren für die potenzielle Veränderung der motorischen Leistungsfähigkeit wurden mittels univariater und multipler linearer Regressionen ermittelt.

Ergebnisse

Im Laufe des Beobachtungszeitraums von 18,5 Tagen (Median; Interquartilsabstand = 14-25 Tage) verbesserte sich die motorische Leistungsfähigkeit mit Ausnahme der Gleichgewichtsfähigkeit signifikant ($p \leq 0,001$, $d = 0,40-0,52$, $r = 0,24-0,38$), wohingegen sich die sturzbezogene Selbstwirksamkeit ($p \leq 0,040$, $r = 0,15$) und Sturzangst ($p \leq 0,004$,

$d = 0,30$) geringfügig verschlechterten. Ein geringeres Alter ($\beta = |0,409|$, $p < 0,001$), die Tatsache alleine zu wohnen ($\beta = |0,232|$, $p = 0,011$) sowie eine geringere motorische Leistungsfähigkeit ($\beta = |0,356|$, $p < 0,001$) und Sturzangst ($\beta = |0,279|$, $p = 0,002$) zum Zeitpunkt T0 waren unabhängige Prädiktoren für eine Verbesserung der allgemeinen motorischen Leistungsfähigkeit ($R^2 = 0,261$). Während des Beobachtungszeitraums schieden 25 Teilnehmende aufgrund folgender Ursachen aus der Studie aus: Pflegeheimweisung ($n = 11$), widerrufenes Einverständnis zur Teilnahme ($n = 8$), Tod ($n = 2$), schwere Erkrankung ($n = 2$) und sonstige Gründe ($n = 2$).

Diskussion und Schlussfolgerung

Die für multimorbide, hochbetagte Menschen klinisch relevante Verbesserung der motorischen Leistungsfähigkeit ($0,9 \pm 1,7$ Punkte in der SPPB-Gesamtpunktzahl) (Perera et al., 2006) im Anschluss an die stationäre Rehabilitation deutet neben anhaltenden Effekten der Rehabilitation auf ein nicht voll ausgeschöpftes Potenzial zur körperlichen Erholung hin. Die zeitgleich auftretende Verschlechterung der Sturzangst und sturzbezogenen Selbstwirksamkeit ist etwas widersprüchlich, da sich Sturzangst üblicherweise negativ auf die körperliche Leistungsfähigkeit auswirkt. Diese Entwicklung ist daher wohl hauptsächlich auf den Wechsel aus der kontinuierlich unterstützenden Umgebung der stationären Rehabilitation in das autonome Leben im häuslichen Umfeld zurückzuführen, dessen Herausforderungen aufgrund verringerter Alltagsfunktionen vermutlich noch nicht ausreichend kompensiert werden konnten. Eine geringere motorische Leistungsfähigkeit kurz vor Entlassung aus der stationären Rehabilitation als Prädiktor für die Verbesserung der allgemeinen motorischen Leistungsfähigkeit bekräftigt die Vermutung des ungenutzten Rehabilitationspotenzials. Des Weiteren wirkten sich die Wohnsituation und das Alter auf die Veränderung der motorischen Leistungsfähigkeit aus. Während Alleinlebende voraussichtlich körperlich mehr leisten mussten, um ihre Autonomie zu wahren, hatten vergleichsweise jüngere Personen mutmaßlich bessere Chancen ihre alltäglichen Herausforderungen zu bewältigen. Alleine zu wohnen und ein verhältnismäßig jüngeres Alter haben offensichtlich positive Auswirkungen auf die Veränderung der motorischen Leistungsfähigkeit von alten Menschen mit motorischer und kognitiver Beeinträchtigung im Anschluss an eine stationäre Rehabilitation. Eine längere Rehabilitation und/oder allgemeine körperliche Aktivierung zu Hause könnte die funktionelle Erholung weiterhin fördern. Gleichmaßen könnten einige der Teilnehmenden, die vorzeitig aus der Studie ausschieden, von solch einem weiteren Programm profitieren.

3.4. Manuskript IV: Die psychometrischen Eigenschaften der deutschen Version des *Fear of Falling Questionnaire-Revised* in einer Stichprobe von älteren Erwachsenen nach Hüft- und/oder Beckenfraktur

Dautel, A., Gross, M., **Abel, B.**, Pomiersky, R., Eckert, T., Hauer, K., Schäufele, M., Büchele, G., Becker, C., & Pfeiffer, K. (2021). Psychometric properties of the German version of the Fear of Falling Questionnaire-revised (FFQ-R) in a sample of older adults after hip or pelvic fracture. *Aging Clinical and Experimental Research* 33(2), 329–337.

Hintergrund und Zielsetzung

Etwa 50 % der älteren Erwachsenen berichten nach einer sturzbedingten Hüftfraktur von Angst vor einem erneuten Sturz (Visschedijk et al., 2013). Die in diesem Zusammenhang bestehende Sturzangst wirkt sich nicht nur negativ auf die funktionelle Erholung und das Rehabilitationsergebnis aus (Denkinger et al., 2010; Jellesmark et al., 2012; Oude Voshaar et al., 2006), sondern korreliert auch mit einer vermehrten Sturzhäufigkeit und Aktivitätsvermeidung (Friedman et al., 2002; Jellesmark et al., 2012). Die Angst vor einem Sturz wird bei alten Menschen bisher mit vielen verschiedenen Assessmentinstrumenten bewertet, die sich hinsichtlich ihrer theoretischen Konzeptualisierung voneinander unterscheiden. Eine der einfachsten Methoden ist sicherlich die 1-Item-Frage, ob jemand Angst vor einem Sturz hat oder nicht. Da solche Einzelfragen nicht veränderungssensitiv sind, nicht zwischen verschiedenen Angstniveaus differenzieren können und kognitive sowie affektive psychologische Dimensionen der Sturzangst unabhängig voneinander wirken, sind Assessmentinstrumente mit mehr als einer Frage besser geeignet. Dementsprechend konzipierte Fragebogen beurteilen die Angst vor einem Sturz häufig im Zusammenhang mit körperlicher Aktivität, wodurch wiederum die Durchführbarkeit im Kontext einer rehabilitativen Nachsorge oder bei kognitiv eingeschränkten und überwiegend inaktiven, älteren Menschen limitiert sein kann. Vor diesem Hintergrund wurde der *Fear of Falling Questionnaire* (FFQ) entwickelt, ein zuverlässiges und valides Assessmentinstrument mit zwanzig Items (Dayhoff et al., 1994), das ohne Relation zu körperlicher Aktivität sowohl die kognitive als auch die emotionale Bewertung folgender sturzassoziierter Aspekte umfasst: die möglicherweise negativen Folgen eines Sturzes; die mutmaßliche Schwere einer möglichen Sturzverletzung; sowie das Potenzial Sturzverletzungen erfolgreich zu vermeiden. Bower et al. (2015) überarbeiteten diesen Fragebogen und bewerteten die psychometrischen Eigenschaften einer verkürzten 6-Item-Version (FFQ-R) in verschiedenen Studiengruppen; unter anderem in einer Gruppe von älteren Personen nach Hüftfraktur. Hierbei zeigte sich eine ausreichende Reliabilität und Konstruktvalidität, sodass sich der FFQ-R als ein potenziell nützliches, mehrdimensionales Assessmentinstrument zur Beurteilung

der Sturzangst von vulnerablen, alten Menschen erwies. Auf dieser Grundlage war es das Ziel von Manuskript IV, die psychometrischen Eigenschaften einer deutschen Version des 6-Item FFQ-R bei älteren Erwachsenen nach einer Hüft- und/oder Beckenfraktur mit und ohne kognitive Einschränkung zu evaluieren.

Methodik

Die vorliegende Validierungsstudie analysierte sowohl Baseline-Daten einer Subgruppe aus einer bizzentrischen RCT (vgl. Kapitel 3.3; Personen mit 24 bis 26 Punkten im MMSE) als auch Daten aus einer zusätzlichen Erhebung (Personen mit 27 bis 30 Punkten im MMSE) von insgesamt 152 Personen. Weitere Einschlusskriterien und erhobene deskriptive Parameter hierzu wurden bereits in Kapitel 3.3. (Manuskript III) aufgezählt. Die englische Originalversion des FFQ-R wurde durch eine Rückübersetzungsmethode (Sperber, 2004) anhand folgender Schritte übersetzt: 1.) zwei unabhängige Übersetzungen ins Deutsche; 2.) Synthese zu einer ersten Zielversion; 3.) Rückübersetzung ins Englische durch einen englischen Muttersprachler; 4.) kritische Diskussion und Finalisierung einer deutschen Version. Der 6-Item FFQ-R wird als Selbsteinschätzung zur Bewertung von Sturzangst verwendet. Die Befragten müssen dabei entscheiden, ob sie einzelnen Aussagen bezüglich eines potenziellen Sturzgeschehens überhaupt nicht zustimmen, nicht zustimmen, zustimmen oder voll und ganz zustimmen (Likert-Skala: 1 bis 4 Punkte). Die Gesamtpunktzahl des FFQ-R liegt zwischen 6 und 24 Punkten, wobei eine höhere Punktzahl auf eine größere Sturzangst hindeutet. Bei älteren Erwachsenen mit einer Hüftfraktur erzielte die englische Originalversion des 6-Item FFQ-R zur Erhebung der Sturzangst eine ausreichende Reliabilität und Validität (Bower et al., 2015). Die interne Konsistenz des gesamten FFQ-R sowie der beiden auf der Zweidimensionalität des Fragebogens basierenden Subskalen wurde mittels Cronbachs Alpha quantifiziert. Analysen auf Item-Ebene beinhalteten Rangkorrelationen nach Spearman zwischen den einzelnen Items, den Einzelitems und den zwei Subskalen sowie den Subskalen und dem Gesamtwert des FFQ-R. Die Trennschärfe einzelner Items wurde durch Korrelationen zwischen den Einzelitems und dem Gesamtwert des FFQ-R identifiziert. Rangkorrelationen nach Spearman zwischen dem FFQ-R und der Kurzversion der Falls Efficacy Scale-International (short FES-I), einer Proxy-Variable zur Bewertung der Sturzangst, dienten zur Beurteilung der Konstruktvalidität.

Ergebnisse

Die Untersuchungsergebnisse offenbarten eine akzeptable interne Konsistenz für die Gesamtversion des deutschen FFQ-R ($\alpha = 0,79$) und für die Subskala, die den Bedrohungsgrad abbildet ($\alpha = 0,78$). Für die Subskala, die die potenziellen Schadensfolgen darstellt, ergab sich lediglich eine fragwürdige interne Konsistenz ($\alpha = 0,61$). In den Analysen

auf Item-Ebene zeigten sich folgende Korrelationen: $r = 0,25-0,63$ zwischen den Einzelitems; $r = 0,35-0,88$ zwischen den Einzelitems und den Subskalen; $r = 0,80-0,93$ zwischen den Subskalen und dem Gesamtwert des FFQ-R. Die Korrelationen zwischen den Einzelitems und dem Gesamtwert des FFQ-R (mit „part-whole-correction“: $r = 0,43-0,65$) belegten eine gute Trennschärfe für jedes einzelne Item. Im Hinblick auf die Konstruktvalidität zeigte sich ein moderater Zusammenhang zwischen dem FFQ-R und der short FES-I ($r = 0,51$).

Diskussion und Schlussfolgerung

Die Untersuchung der deutschen Version des 6-Item FFQ-R bestätigt weitestgehend die psychometrischen Eigenschaften der englischen Originalversion. Die Ergebnisse zeigen, dass die deutsche Version des FFQ-R ein valides und zuverlässiges Instrument zur Bewertung der Sturzangst bei alten Menschen nach einer Hüft- und/oder Beckenfraktur mit und ohne kognitive Einschränkung ist. Zur Beurteilung der Sturzangst sollte jedoch nur der Gesamtwert des FFQ-R berücksichtigt werden, da die interne Konsistenz der Subskala, die die potenziellen Schadensfolgen abschätzt, fragwürdig war. Der 6-Item FFQ-R bewertet die Angst vor einem Sturz ohne einen direkten Bezug zu körperlicher Aktivität und deutlich umfassender als eine einfache 1-Item-Frage. Insbesondere bei vulnerablen, älteren Personen kann der FFQ-R zu einer besseren Differenzierung zwischen einer angepassten, schützenden und unangepassten, unverhältnismäßigen Angst beitragen. Die deutsche Version des FFQ-R kann daher künftig zur validen Dokumentation von Sturzangst angewendet werden.

3.5. Manuskript V: Die Qualität und Quantität der habituellen körperlichen Aktivität von multimorbiden, alten Menschen mit kognitiver Einschränkung

Abel, B., Bongartz, M., Eckert, T., Ullrich, P., Beurskens, R., Mellone, S., Bauer, J.M., Lamb, S.E. & Hauer, K. (2020). Will We Do If We Can? Habitual Qualitative and Quantitative Physical Activity in Multi-Morbid, Older Persons with Cognitive Impairment. *Sensors* 20(24), 7208.

Hintergrund und Zielsetzung

Ältere Erwachsene weisen nicht selten eine verminderte motorische Leistungsfähigkeit und geringe körperliche Aktivität auf (Aboutorabi et al., 2016; Sun et al., 2013), die mit negativen gesundheitlichen Folgen einhergeht (Kressig et al., 2008; Mechling & Netz, 2009; Trayers et al., 2014). Die wohl am häufigsten und anhand etablierter, quantitativer Parameter dokumentierte körperliche Aktivität ist das Gehen (z. B. Schrittzahl oder Dauer des Gehens). Speziell alte Menschen mit kognitiver Einschränkung sind körperlich sehr wenig aktiv (van Alphen, Volkens, et al., 2016) und zeigen neben einer geringen Quantität

auch eine schlechte Qualität des Gehens (Bahureksa et al., 2017). Dank der technischen Weiterentwicklung sensorbasierter Assessmentmethoden ist mittlerweile auch eine qualitative Beurteilung des habituellen Aktivitätsverhaltens möglich (z. B. Symmetrie, Regelmäßigkeit und Variabilität des Geradeausgehens oder Dauer, Winkel und Winkelgeschwindigkeit des Kurvengehens) (Mancini et al., 2016; van Schooten, Pijnappels, et al., 2015). Solche innovativen, qualitativen Variablen der körperlichen Aktivität wurden bisher hauptsächlich zur Unterscheidung zwischen motorisch fitten und gebrechlichen, älteren Erwachsenen genutzt (El-Gohary et al., 2014; Leach et al., 2018; Mancini et al., 2015; Mancini et al., 2016; van Schooten, Pijnappels, et al., 2015; Weiss et al., 2013). Obwohl bisherige Beobachtungsstudien eine signifikant geringere Bewegungsqualität bei Personen mit motorischer Beeinträchtigung im Vergleich zu fitten, älteren Menschen zeigten (El-Gohary et al., 2014; Leach et al., 2018; Mancini et al., 2015; Mancini et al., 2016; van Schooten, Pijnappels, et al., 2015; Weiss et al., 2013), wurden in diesen Untersuchungen interessanterweise keine Unterschiede in der Quantität der körperlichen Aktivität festgestellt (Leach et al., 2018; Mancini et al., 2015; Mancini et al., 2016; Weiss et al., 2013). Diese Ergebnisse verdeutlichen die Wichtigkeit neben etablierten, quantitativen Parametern der körperlichen Aktivität auch innovative, qualitative Gangvariablen unter Alltagsbedingungen zu dokumentieren. Da sich auf diese Weise eventuell krankheitsspezifische Symptome erkennen lassen, ist die Erhebung derartiger qualitativer Aktivitätsmerkmale in erster Linie bei bestimmten Gruppen von Patientinnen und Patienten relevant (z. B. Menschen mit kognitiver Einschränkung). Wissenschaftliche Erkenntnisse zu qualitativen Parametern der habituellen körperlichen Aktivität bei älteren Erwachsenen mit kognitiver Beeinträchtigung gibt es bisher lediglich zu einzelnen qualitativen Variablen aus wenigen Subgruppenanalysen. Diese zeigen, dass Personen mit kognitiver Einschränkung im Alltag eine schlechtere Gangqualität aufweisen als Menschen ohne eine kognitive Einschränkung (Hausdorff et al., 2018; Hillel et al., 2019; Taylor et al., 2019; Xie et al., 2019). Ob sich mithilfe solcher innovativen, qualitativen Merkmale der körperlichen Aktivität Rückschlüsse auf die Aktivitätsquantität ziehen lassen und ob sich diese dazu besser eignen als die bislang verwendeten, etablierten Variablen der motorischen Leistungsfähigkeit oder des soziodemografischen, medizinischen, psychologischen, kognitiven und funktionellen Status, ist unklar. Das Hauptziel von Manuskript V war es deshalb, potenzielle Determinanten von etablierten, quantitativen Parametern der körperlichen Aktivität bei multimorbiden, älteren Menschen mit leichter bis moderater kognitiver Einschränkung zu identifizieren und dabei auf innovative, qualitative Aktivitätsvariablen sowie die zuvor aufgelisteten, etablierten Parameter als erklärende Variablen zurückzugreifen. Ein weiteres Ziel war

die Beschreibung innovativer, qualitativer und etablierter, quantitativer Variablen der körperlichen Aktivität in dieser vulnerablen Stichprobe.

Methodik

In der vorliegenden Querschnitt-Beobachtungsstudie wurden Baseline-Daten von 110 Teilnehmenden einer RCT analysiert, die darauf abzielte, die Auswirkungen eines Heimtrainingsprogramms im Anschluss an eine stationäre geriatrische Rehabilitation in der Zielgruppe zu untersuchen. Die folgenden Kriterien waren als Voraussetzung für eine Studienteilnahme definiert: Alter ≥ 65 Jahre, MMSE zwischen 17 und 26 Punkten (Folstein et al., 1975), Gehfähigkeit ≥ 4 m ohne Gehhilfe, wohnhaft in eigener Häuslichkeit oder betreutem Wohnen ≤ 30 km zum Studienzentrum, keine unheilbare zum Tode führende Erkrankung, kein Delir, ausreichende deutsche Sprachkenntnisse und schriftliches Einverständnis. Das körperliche Aktivitätsverhalten im Alltag der Teilnehmenden wurde mittels eines in der Zielgruppe und im habituellen Setting validierten Aktivitätsmonitors (uSense) über einen Zeitraum von 48 h dokumentiert. Hierbei wurden sowohl etablierte, quantitative als auch innovative, qualitative Variablen der körperlichen Aktivität erfasst (vgl. Kapitel 1.5.6.). Zusätzlich erhobene Parameter waren folgende: Alter, Geschlecht, Anzahl der Medikamente, sturzbezogene Selbstwirksamkeit (Hauer, Kempen, et al., 2011), sturzbezogenes Vermeidungsverhalten (Landers et al., 2011), depressive Symptomatik (Greenberg, 2007), Pflegegrad und motorische Leistungsfähigkeit (Guralnik et al., 1994; Podsiadlo & Richardson, 1991). Durch univariate lineare Regressionsanalysen wurden in einem ersten Schritt potenzielle Determinanten für die vier nachfolgend genannten quantitativen Parameter der körperlichen Aktivität eruiert: Dauer des Gehens (Minuten), Häufigkeit des Gehens (Anzahl der Episoden), Intensität des Gehens (Metabolic Equivalent of Task; MET) und Intensität der Gesamtaktivität (MET). Die in diesem Kontext untersuchten unabhängigen Variablen waren in sieben verschiedene Kategorien unterteilt, die nicht nur etablierte, motorische und nicht motorische quantitative Parameter, sondern auch innovative, qualitative Variablen der körperlichen Aktivität umfassten (1. demografische Variablen; 2. gesundheitsbezogene Variablen; 3. Variablen der motorischen Leistungsfähigkeit; 4. Variabilität des Geradeausgehens; 5. Regelmäßigkeit des Geradeausgehens; 6. Symmetrie des Geradeausgehens; 7. qualitative Variablen des Kurvengehens). In einem abschließenden Schritt wurde in vier multiplen linearen Regressionsmodellen der unabhängige Einfluss auf die zuvor erwähnten quantitativen Parameter der körperlichen Aktivität untersucht. Hierbei wurden lediglich die unabhängigen Variablen mit dem jeweils höchsten signifikanten Regressionskoeffizienten aus jeder der sieben verschiedenen Kategorien der univariaten Analysen für das dazugehörige multiple Regressionsmodell berücksichtigt.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der univariaten linearen Regressionsanalysen zeigten, dass demografische und gesundheitsbezogene Variablen nur vereinzelt moderat mit den etablierten, quantitativen Parametern der körperlichen Aktivität in Zusammenhang standen ($\beta = |0,006-0,320|$, $p = 0,002-0,954$), während alle Variablen der motorischen Leistungsfähigkeit einen moderaten bis hohen Zusammenhang mit den quantitativen Aktivitätsparametern aufwiesen ($\beta = |0,347-0,580|$, alle $p \leq 0,001$). Für die innovativen, qualitativen Variablen des Geradeausgehens stellten sich zwar ebenfalls moderate Zusammenhänge mit den quantitativen Parametern des habituellen Aktivitätsverhaltens dar, jedoch waren diese eher heterogen (5 von 8 bzw. 6 von 8 der qualitativen Variablen des Geradeausgehens waren mit der Häufigkeit bzw. Dauer des Gehens verbunden, wohingegen ausschließlich 2 von 8 dieser Variablen jeweils mit der Intensität des Gehens und der Intensität der Gesamtaktivität zusammenhingen). Bei den innovativen Variablen des Kurvengehens ergab sich wiederum für alle Variablen ein größtenteils hoher Zusammenhang mit jedem der quantitativen Aktivitätsparameter ($\beta = |0,299-0,787|$, $p < 0,001-0,003$). In den multiplen linearen Regressionsmodellen zeigte sich weder für die demografischen noch für die gesundheitsbezogenen Variablen ein unabhängiger Zusammenhang mit der Quantität der körperlichen Aktivität. Die motorische Leistungsfähigkeit wurde lediglich als unabhängige Determinante für die Dauer des Gehens identifiziert ($\beta = 0,250$, $p = 0,008$). Bei den innovativen, qualitativen Variablen des Geradeausgehens ergaben sich unabhängige Zusammenhänge zwischen der Symmetrie in anteroposteriorer Richtung und der Dauer ($\beta = 0,273$, $p = 0,002$) wie auch Häufigkeit ($\beta = 0,227$, $p = 0,009$) des Gehens; zwischen der Regelmäßigkeit in mediolateraler Richtung und der Intensität des Gehens ($\beta = 0,329$, $p < 0,001$) sowie zwischen der Regelmäßigkeit in anteroposteriorer Richtung und der Intensität der Gesamtaktivität ($\beta = -0,150$, $p = 0,015$). In Bezug auf die innovativen, qualitativen Variablen des Kurvengehens zeigte sich, dass die durchschnittliche Winkelgeschwindigkeit eine unabhängige Determinante für die Dauer ($\beta = 0,351$, $p < 0,001$) und Häufigkeit ($\beta = 0,535$, $p < 0,001$) des Gehens wie auch die Intensität der Gesamtaktivität war ($\beta = 0,795$, $p < 0,001$), wohingegen die maximale Winkelgeschwindigkeit eine unabhängige Determinante für die Intensität des Gehens war ($\beta = 0,749$, $p < 0,001$). Das habituelle Aktivitätsverhalten der untersuchten Stichprobe zeichnete sich durch ein überwiegend inaktives Verhalten (21.5 ± 1.2 h pro Tag; 89.6 %) mit kurzen Gehepisoden, langen Liegeepisoden und einer eher geringen habituellen Gehgeschwindigkeit aus. Neben der hohen Variabilität der Schrittdauer, geringen Regelmäßigkeit und Symmetrie der Schritte sowie schlechten Gangkoordination beim Geradeausgehen deuteten auch die lange Dauer, der

geringe Winkel und die geringe Winkelgeschwindigkeit beim Kurvengehen auf eine schlechte Qualität der habituellen körperlichen Aktivität hin.

Diskussion und Schlussfolgerung

Manuskript V ist die erste Studie, die auf der Basis erfolgreich validierter Methoden bei hochbetagten Menschen mit motorischer und kognitiver Einschränkung qualitative Variablen der körperlichen Aktivität im Alltag dokumentierte und analysierte. Etablierte Aktivitätsparameter um derartige innovative Variablen des habituellen Gehens zu ergänzen ist ein neuartiger Ansatz, der detaillierte und qualitative Einblicke in das gewohnheitsmäßige Aktivitätsverhalten der vulnerablen Zielgruppe ermöglicht. Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass spezifische innovative, qualitative Variablen des alltäglichen Geradeaus- und Kurvengehens wichtige, unabhängige Determinanten für die Quantität von körperlicher Aktivität bei multimorbiden, alten Menschen mit kognitiver Beeinträchtigung darstellen. Für die in bisherigen Studien üblicherweise als Determinanten identifizierten demografischen und gesundheitsbezogenen Variablen oder Parameter der motorischen Leistungsfähigkeit wurde im direkten Vergleich zu den innovativen, qualitativen Variablen der habituellen körperlichen Aktivität kein oder nur ein begrenzter, unabhängiger Zusammenhang mit der Aktivitätsquantität nachgewiesen. Dieses Ergebnis ist vermutlich darauf zurückzuführen, dass demografische und gesundheitsbezogene Faktoren im Vergleich zu motorischen Variablen weniger zur Vorhersage von Aktivitätsverhalten geeignet sind und dass die unter Laborbedingungen erfasste motorische Leistungsfähigkeit eine geringere Ähnlichkeit zu quantitativen, habituellen Aktivitätsparametern aufweist als die unmittelbar unter Alltagsbedingungen dokumentierten qualitativen Variablen der körperlichen Aktivität. Da solche qualitativen Variablen der habituellen körperlichen Aktivität mit Stürzen in Verbindung stehen (Leach et al., 2018; Mancini et al., 2016; van Schooten, Pijnappels, et al., 2015), könnten Interventionsprogramme zur Verbesserung der Bewegungsqualität nicht nur die Aktivitätsquantität erhöhen, sondern gleichzeitig auch das Risiko für Stürze minimieren und der erhöhten Risikoexposition aufgrund eines gesteigerten Aktivitätsverhaltens entgegenwirken.

4. Einordnung der Studienergebnisse in den Forschungszusammenhang

Die vorliegende Dissertationsschrift leistet einen wichtigen Beitrag hinsichtlich der poststationären, rehabilitativen Nachsorge von multimorbiden, hochbetagten Menschen mit motorischer und kognitiver Einschränkung. Durch die Analyse der körperlichen Aktivität, motorischen Leistungsfähigkeit und Sturzangst, die zentrale Einflussfaktoren im Rehabilitationsprozess darstellen (vgl. Abbildung 1), sowie die Evaluation und Entwicklung spezifischer Assessmentstrategien, können künftige Studien und Therapiemaßnahmen an der Schnittstelle zwischen stationärer, geriatrischer Rehabilitation und poststationärer Versorgung für die vulnerable Zielgruppe optimiert werden.

Die zentralen Ergebnisse dieser Arbeit sind, dass a) ein demenzspezifischer Ansatz im Rahmen eines körperlichen Trainings das Aktivitätsverhalten von multimorbiden, älteren Personen mit Demenz erfolgreich steigern kann (Manuskript I); b) zwei aufeinanderfolgende Tage ausreichen, um bei älteren Erwachsenen mit Demenz die nicht mit dem Gehen verbundenen Aktivitätsparameter mittels sensorgestützter Assessmentmethoden zuverlässig zu dokumentieren (Manuskript II); c) sich bei alten Menschen mit kognitiver Einschränkung und akuter physischer Schädigung (Hüft-/ Beckenfraktur) die motorische Leistungsfähigkeit im Laufe der ersten Wochen nach einer stationären Rehabilitation ohne eine standardisierte, kontrollierte Intervention signifikant verbessert (Manuskript III); d) die deutsche Version des FFQ-R ein valides Assessmentinstrument ist, mit dem die Sturzangst von älteren Personen mit und ohne kognitive Einschränkung nach einer akuten physischen Schädigung (Hüft-/Beckenfraktur) zuverlässig beurteilt werden kann (Manuskript IV); und e) spezifische innovative, qualitative Variablen des habituellen Geradeaus- und Kurvengehens bei alten Menschen mit kognitiver Einschränkung unabhängige Determinanten der Aktivitätsquantität sind, die sich besser zur Bestimmung von körperlicher Aktivität eignen als laborbasierte Parameter der motorischen Leistungsfähigkeit oder demografische und gesundheitsassoziierte Variablen (Manuskript V).

Während mittlerweile zahlreiche Studien existieren, die auch bei alten Menschen mit kognitiver Einschränkung oder Demenz eine Steigerung der motorischen Leistungsfähigkeit durch körperliches Training belegen (Bossers et al., 2015; Hauer et al., 2012; Hauer et al., 2017; Pitkälä et al., 2013; Potter et al., 2011; Yoon et al., 2018; Zieschang et al., 2013), gibt es bisher nur wenige Untersuchungen, die die Effekte eines solchen Trainings auf das Aktivitätsverhalten dieser Personen analysierten (Hauer et al., 2017; Regan et al., 2019). Auch wenn die körperliche Aktivität im Zusammenhang mit der motorischen Leistungsfähigkeit steht, bildet sie dennoch einen separaten Bereich der körperlichen Funktion

ab (van Lummel et al., 2015), der durch viele verschiedene, zum Teil limitierende Faktoren beeinflusst wird (z. B. direkte Umweltfaktoren, soziale Unterstützung) und daher gesondert zu untersuchen ist. In Manuskript I konnten mithilfe eines personenzentrierten, demenzspezifischen Ansatzes im Rahmen eines angeleiteten körperlichen Trainings die typischen Einschränkungen von Personen mit Demenz wirkungsvoll reduziert werden und das Aktivitätsverhalten der Teilnehmenden nachhaltig gesteigert werden. Dieses Ergebnis stimmt im Wesentlichen mit den Erkenntnissen aus zwei früheren Studien überein, die bei älteren Erwachsenen mit kognitiver Einschränkung oder Demenz die körperliche Aktivität durch ein mehrwöchiges, motorisches Training mit vergleichbaren Trainingsinhalten, aber verschiedenen Trainingsformen (Gruppentraining vs. Einzeltraining) ebenfalls erhöhten, allerdings aufgrund des Studiendesigns keine Angaben zur Nachhaltigkeit machen konnten (Hauer et al., 2017; Regan et al., 2019). Eine bessere motorische Leistungsfähigkeit, eine bessere allgemeine Gesundheit und ein geringeres Aktivitätsniveau vor Beginn des Interventionszeitraums als unabhängige Prädiktoren der nachhaltigen Aktivitätssteigerung über den gesamten Untersuchungszeitraum von sechs Monaten bestätigen die Ergebnisse früherer Studien, die bei älteren Personen mit und ohne Demenz Zusammenhänge des Aktivitätsverhaltens mit der motorischen Leistungsfähigkeit, dem Aktivitätslevel und der Komorbidität zeigten (Allan et al., 2006; Chudyk et al., 2017; Egerton et al., 2017).

Die in Manuskript I erzielte positive Entwicklung der körperlichen Aktivität beruht auf etablierten, fragebogenbasierten Assessments, die mit einer speziell für die Verwendung bei Personen mit Demenz entwickelten und validierten Interviewtechnik durchgeführt wurden (Hauer, Lord, et al., 2011). Fragebogen zur Dokumentation von körperlicher Aktivität sind relativ kostengünstige Assessmentinstrumente, die ein gutes Gesamtbild über das Aktivitätsverhalten geben können, allerdings Schwächen in der Detailbetrachtung aufweisen. Die Erhebung von kurzen und wenig intensiven Aktivitätsphasen ist mit Fragebogen daher eher schwierig. Außerdem stellt die Methode der retrospektiven Erhebung hohe Anforderungen an die Erinnerungsfähigkeit und das Arbeitsgedächtnis, sodass es vor allem bei Personen mit kognitiver Einschränkung zu Unzulänglichkeiten in der Aktivitätsdokumentation mit Fragebogen kommen kann (Ainsworth et al., 2015; Warm's, 2006). Sensorgestützte Assessmentmethoden sind deshalb besser geeignet, um die körperliche Aktivität objektiv abzubilden. Wie viele Tage zur Dokumentation von habituellem Aktivitätsverhalten bei alten Menschen mit Demenz notwendig oder ausreichend sind, wurde bislang nicht untersucht. Vor diesem Hintergrund lieferte die in Manuskript II durchgeführte Analyse der Tag-zu-Tag-Variabilität verschiedener Parameter der körperlichen Aktivität den Großteil einer spezifischen Assessmentstrategie zur effizienten, sensorbasierten Erfassung von habitueller Aktivität bei älteren Erwachsenen mit Demenz. Mit Ausnahme der Variablen,

die unmittelbar mit der Gehaktivität zusammenhängen, waren für alle untersuchten Aktivitätsparameter zwei aufeinanderfolgende Tage ausreichend. Da frühere Studien bei motorisch fitten, älteren Erwachsenen oder in gemischten Stichproben von alten Menschen mit und ohne kognitive Einschränkung stets zwei Assessmenttage als hinreichend erachteten, unabhängig davon ob die Aktivitätsparameter mit dem Gehen in Verbindung standen oder nicht (de la Cámara et al., 2019; Rowe et al., 2007; van Schooten, Rispens, et al., 2015), stimmen die Erkenntnisse aus Manuskript II nur teilweise mit diesen früheren Untersuchungsergebnissen überein. Die höhere Tag-zu-Tag-Variabilität der mit Gehaktivität zusammenhängenden Parameter an verschiedenen Arten von Tagen (Freitag-Samstag) im Vergleich zu identischen Tagen (Samstag-Sonntag) lässt auf strukturelle Unterschiede zwischen Wochentagen und Wochenendtagen bei alten Menschen mit Demenz schließen und steht im Widerspruch zur geringen Tag-zu-Tag Variabilität der Gehaktivität für Freitag-Samstag bei selbstständigen und motorisch fitten, älteren Personen (de la Cámara et al., 2019). Hinzu kommt, dass eine unabhängige Wohnsituation, ein geringeres Aktivitätsniveau und ein geringerer kognitiver Status die höhere Tag-zu-Tag-Variabilität der mit dem Gehen in Zusammenhang stehenden Variablen begünstigten. Ein direkter Vergleich mit früheren Untersuchungen, die keinen Einfluss des kognitiven Status oder des Aktivitätslevels auf die Tag-zu-Tag-Variabilität von älteren Erwachsenen nachweisen konnten (de la Cámara et al., 2019; Watts et al., 2016), ist aufgrund methodischer Mängel dieser Studien (es wurde lediglich ein einzelner Aktivitätsparameter untersucht oder die Einordnung des Aktivitätsniveaus basierte nicht auf einer objektiven Erhebungsmethode) nur begrenzt möglich.

Auch wenn die motorische Leistungsfähigkeit in Manuskript II keinen Einfluss auf die Tag-zu-Tag Variabilität des Aktivitätsverhaltens hatte, so spielt diese im Hinblick auf die Selbstständigkeit von alten Menschen eine zentrale Rolle (Abellan van Kan et al., 2009; Guralnik et al., 1994). Bedingt durch eine schlechte motorische Leistungsfähigkeit kommt es bei älteren Erwachsenen oftmals zu Stürzen mit gravierenden Verletzungen, wie beispielsweise einer Hüft- und/oder Beckenfraktur (Abellan van Kan et al., 2009; Nevitt et al., 1989; Verma et al., 2016; World Health Organization, 2007). Besonders Personen mit kognitiver Einschränkung haben nach solch einem Ereignis eine schlechte Prognose (Benedetti et al., 2015; Fansa et al., 2016; Tarazona-Santabalbina et al., 2015) und sind akut von einem weiteren Rückgang ihrer motorischen Leistungsfähigkeit bedroht. Derartige schwerwiegende Verletzungen sind größtenteils der Beginn einer Abwärtsspirale, an deren Ende die Betroffenen dauerhaft auf eine stationäre Pflege angewiesen sind oder versterben (Fansa et al., 2016; Leibson et al., 2002). Da es sich zumeist in den ersten Wochen nach einer stationären Rehabilitation entscheidet, ob die betroffenen Personen in

ihrer eigenen Häuslichkeit wohnen bleiben können oder nicht, analysierte Manuskript III erstmalig die kurzfristige Entwicklung der motorischen Leistungsfähigkeit und weiterer klinischer Parameter bei alten Menschen mit motorischer und kognitiver Beeinträchtigung im unmittelbaren Anschluss an eine stationäre geriatrische Rehabilitation. Die beobachtete signifikante Verbesserung der motorischen Leistungsfähigkeit, die sich ohne eine standardisierte, kontrollierte Intervention innerhalb von durchschnittlich knapp drei Wochen zeigte, lässt auf Nachwirkungen der stationären Rehabilitation und/oder ein nicht voll ausgeschöpftes Rehabilitationspotenzial schließen und war für diese vulnerable Population klinisch relevant (Perera et al., 2006). Dessen ungeachtet war die absolute motorische Leistungsfähigkeit in der multimorbiden Zielgruppe auch am Ende des Beobachtungszeitraums noch immer so gering, dass weiterhin ein erhöhtes Risiko für Stürze und sonstige negative gesundheitliche Folgen bestand (Fritz & Lusardi, 2009; Pavasini et al., 2016; Veronese et al., 2014). Die Zunahme der Sturzangst und die Verschlechterung der sturzbezogenen Selbstwirksamkeit, die in Manuskript III überraschenderweise neben einer Verbesserung der motorischen Leistungsfähigkeit auftraten, stimmen mit Erkenntnissen aus Beobachtungen von alten Menschen mit und ohne kognitive Einschränkung im Anschluss an eine stationäre Rehabilitation überein (Visschedijk et al., 2015). Gleichzeitig war Sturzangst kurz vor Entlassung aus der geriatrischen Rehabilitation ein limitierender Faktor für die Steigerung der motorischen Leistungsfähigkeit, was die Ergebnisse früherer Untersuchungen unterstreicht, in denen die Angst vor einem Sturz bei älteren Erwachsenen zu einer Vermeidung von Aktivitäten und einer verminderten funktionellen Erholung führte (Choi et al., 2017; Delbaere et al., 2009; Denkinger et al., 2010; Jellesmark et al., 2012).

Sturzangst entsteht bei älteren Erwachsenen häufig infolge eines vorangegangenen Sturzes (Friedman et al., 2002) und kann durch eine kognitive Einschränkung zusätzlich forciert werden (Uemura et al., 2015). Da es in Bezug auf die Verknüpfung von kognitiven Defiziten und der Angst vor einem Sturz allerdings heterogene Erkenntnisse gibt (Borges et al., 2015; Kasai et al., 2017; Uemura et al., 2015; Uemura et al., 2012), sind speziell bei alten Menschen mit kognitiver Einschränkung valide und zuverlässige Methoden zur Erhebung der Sturzangst notwendig. Manuskript IV liefert mit der erfolgreichen Validierung einer deutschen Version des FFQ-R in einer Stichprobe von älteren Erwachsenen nach einer sturzbedingten Hüft- und/oder Beckenfraktur mit und ohne kognitive Einschränkung ein wichtiges Instrument hierzu. Die Ergebnisse der deutschen Version des FFQ-R bestätigen größtenteils die psychometrischen Eigenschaften der englischen Originalversion (Bower et al., 2015), wenngleich die untersuchte Stichprobe in Manuskript IV durchschnittlich 6 Jahre älter war (84 vs. 78 Jahre) als in der Studie von Bower et al. (2015). Während

die Analyse der Konstruktvalidität (Korrelation mit der short FES-I) für die deutsche Version des FFQ-R einen etwas besseren Wert ergab als für die Originalversion ($r = 0,51$ vs. $0,42$), zeigten sich bei der Untersuchung der internen Konsistenz des FFQ-R sowohl für die Gesamtversion als auch für die beiden Subskalen geringfügig niedrigere Werte in der deutschen Version ($\alpha = 0,61-0,79$ vs. $0,62-0,82$). Eine moderate Korrelation zwischen den beiden Subskalen „Bedrohungsgrad“ und „potenzielle Schadensfolgen“, die eine Verbindung zwischen sturzassozierten Bedenken und dem Katastrophisieren möglicher zukünftiger Stürze widerspiegelt, war bei der nach einer schweren, sturzbedingten Verletzung im Rehabilitationsprozess befindlichen vulnerablen Zielgruppe zu erwarten. Der in der kognitiven Verhaltenstherapie und klinischen Psychologie verwendete Begriff des Katastrophisierens wurde ursprünglich dazu verwendet, um unangepasste, bedrohliche Gedanken und Vorstellungen im Zusammenhang mit Schmerz und seinen negativen Folgen zu beschreiben. Diese Grundidee wurde in Bezug auf verhängnisvolle Stürze angepasst und in Form einer 3-Item-Skala, die der Subskala „potenzielle Schadensfolgen“ des FFQ-R ähnlich ist, operationalisiert (Delbaere et al., 2009). Bei der Anwendung dieser 3-Item-Skala zeigte sich, dass das Katastrophisieren in Bezug auf mögliche Sturzfolgen zu sturzassozierten Bedenken und Aktivitätsvermeidung führen kann; unabhängig von bisherigen Stürzen (Delbaere et al., 2009).

Die unter anderem durch Sturzangst verringerte körperliche Aktivität von alten Menschen ist zunehmend Gegenstand geriatrischer Forschung. Vor allem innovative, qualitative Aspekte des habituellen Aktivitätsverhaltens wurden bisher erst wenig untersucht, obwohl derartige Parameter ein hohes Potenzial in sich bergen und beispielsweise Unterschiede zwischen gebrechlichen und motorisch fitten Personen aufzeigen können, die mithilfe von quantitativen Aktivitätsparametern nicht zu erkennen sind (Leach et al., 2018; Mancini et al., 2015; Mancini et al., 2016; Weiss et al., 2013). Manuskript V dokumentierte erstmals umfänglich und mit validen, zuverlässigen Methoden innovative, qualitative Variablen der habituellen körperlichen Aktivität bei multimorbiden, älteren Erwachsenen mit kognitiver Einschränkung. Dabei zeigte sich, dass qualitative Variablen des alltäglichen Geradeaus- und Kurvengehens besser geeignet sind, um die Quantität der körperlichen Aktivität von älteren Personen mit motorischer und kognitiver Einschränkung vorherzubestimmen, als die normalerweise zu diesem Zweck verwendeten demografischen und gesundheitsbezogenen Parameter oder Variablen der motorischen Leistungsfähigkeit. Darüber hinaus wies die vulnerable und kognitiv beeinträchtigte Stichprobe im Vergleich zu jüngeren und/oder motorisch fitteren, alten Menschen in den innovativen, qualitativen Variablen des habituellen Aktivitätsverhaltens eine deutlich größere Variabilität der Schritt-

dauer, geringere Regelmäßigkeit und geringere Symmetrie der Schritte beim Geradeausgehen sowie eine größere Drehdauer, einen geringeren Winkel und eine geringere Winkelgeschwindigkeit beim Kurvengehen auf (Hillel et al., 2019; Leach et al., 2018; Mancini et al., 2016; van Schooten et al., 2016; van Schooten, Pijnappels, et al., 2015). Die inkonsistente Verwendung von Fachbegriffen in der Literatur sowie die zunehmende Vielfalt von zum Teil nicht validierten Sensortechnologien, Assessmentmethoden und Ergebnisparametern beschränken allerdings die Einordnung der in Manuskript V erlangten, neuartigen Erkenntnisse und die generelle Vergleichbarkeit zwischen verschiedenen Studien.

5. Schlussfolgerung und Ausblick

Im Hinblick auf die Weiterentwicklung von Versorgungskonzepten und -strukturen im Zuge der poststationären, rehabilitativen Nachsorge von multimorbiden, hochbetagten Menschen mit kognitivem Defizit, etwa nach § 45c Absatz 1 Satz 1 Nummer 3 SGB XI, liefert die vorliegende publikationsbasierte Dissertation essenzielle Grundlagen. Sowohl die Ergebnisse aus den Analysen der körperlichen Aktivität, motorischen Leistungsfähigkeit und Sturzangst als auch die Entwicklung und Evaluation der spezifischen Assessmentstrategien sollten daher bei der Konzipierung neuer Versorgungsmodelle für diese spezifische Zielgruppe berücksichtigt werden.

Die nachhaltige Steigerung des Aktivitätsverhaltens von älteren Erwachsenen mit Demenz ist ein Beleg für das Verbesserungspotenzial dieser vulnerablen Personen, die aufgrund ihrer typischen Einschränkungen teilweise noch immer von Interventionsmaßnahmen ausgeschlossen werden. Die Erkenntnisse zum demenzspezifischen Ansatz leisten daher einen wichtigen Beitrag für den Umgang mit derartigen symptomatischen Beeinträchtigungen im Zuge eines motorischen Trainings zur Aktivitätsförderung bei alten Menschen. Eine kognitive Einschränkung oder Demenz dürfte in Zukunft kein wesentliches Ausschlusskriterium mehr für eine Teilnahme an Interventionsstudien und Trainingsprogrammen darstellen, da die charakteristischen Einschränkungen von älteren Personen mit kognitivem Defizit durch zielgruppenspezifische, personenzentrierte (Anleitungs)Strategien sehr gut kompensiert werden können. Damit die bekannten Nachteile der fragebogenbasierten Aktivitätsdokumentation ausgeglichen werden und gleichzeitig ein objektives Bewertungskriterium generiert wird, sollte der Erfolg des demenzspezifischen Ansatzes zur Steigerung der körperlichen Aktivität in RCTs mit sensorgestützten Assessmentmethoden noch bestätigt werden.

Die Tatsache, dass mithilfe sensorbasierter Erhebungsmethoden zwei aufeinanderfolgende Tage ausreichen, um die nicht mit dem Gehen in Verbindung stehenden Aktivitätsparameter bei alten Menschen mit Demenz zuverlässig zu dokumentieren, ist ein bedeutender Erkenntnisgewinn. Dieser ermöglicht eine effiziente und belastungsarme Untersuchung des charakteristischen Aktivitätsverhaltens dieser multimorbiden Population im Kontext kommender Studien oder etwa einer ausführlichen, gesundheitspezifischen Diagnostik. Wie viele Tage zur reliablen Dokumentation von Parametern der Gehaktivität in dieser vulnerablen Gruppe nötig sind, konnte mithilfe der vorliegenden Daten nicht geklärt werden und ist daher in zukünftigen Studien mit mehreren aufeinanderfolgenden Erhebungstagen noch zu untersuchen.

Das zuvor erwähnte große Besserungspotenzial von vulnerablen, älteren Erwachsenen mit kognitiver Einschränkung wird durch die beobachtete Steigerung der motorischen Leistungsfähigkeit binnen weniger Wochen nach einer stationären Rehabilitation erneut unterstrichen. Die Identifizierung dieser unerwarteten Leistungssteigerung, die sich ohne eine standardisierte Intervention ergab, bildet die erfolgversprechende Basis für weiterführende ambulante Rehabilitationsprogramme. Solche Maßnahmen sind bei den Betroffenen aufgrund der noch immer sehr geringen motorischen Leistungsfähigkeit, die mit zahlreichen gesundheitlichen Risikofaktoren assoziiert ist, zwingend erforderlich. Als kostengünstigere Ergänzung im Vergleich zu stationären Rehabilitationsaufenthalten können derartige Programme eine sinnvolle Optimierung des Rehabilitationsprozesses darstellen, sofern ihre Wirksamkeit in begleitenden RCTs nachgewiesen wurde.

Das Ergebnis von rehabilitativen Maßnahmen und das allgemeine Aktivitätsverhalten hängen bei älteren Erwachsenen von vielen unterschiedlichen Einflussgrößen ab. Eine davon ist die Angst vor einem Sturz (Delbaere et al., 2009; Denkinger et al., 2010; Jellesmark et al., 2012), die unter alten Menschen mit kognitiver Beeinträchtigung weitverbreitet ist (Kasai et al., 2017; Uemura et al., 2015). Die erfolgreiche Validierung der deutschen Version des FFQ-R bei Personen mit und ohne kognitive Einschränkung stellt daher einen wertvollen Beitrag zur zuverlässigen und validen Beurteilung von Sturzangst bei dieser spezifischen, vulnerablen Population im deutschsprachigen Raum dar. Dank des FFQ-R kann die Angst vor einem Sturz nicht nur bedeutend ausführlicher als mit einer 1-Item-Frage beurteilt werden, sondern auch ohne einen direkten Zusammenhang zu körperlichen Aktivitäten. Künftige Studien, die Sturzangst als einen ihrer Endpunkte festlegen, können diesen validen und reliablen Fragebogen dementsprechend in jeder Phase des Rehabilitationsprozesses einsetzen, auch wenn die befragten Personen körperlich sehr inaktiv und größtenteils auf Unterstützung angewiesen sind.

Neben einer eingeschränkten motorischen Leistungsfähigkeit waren wenige Wochen nach der Entlassung aus einer stationären Rehabilitation auch die Qualität und Quantität körperlicher Aktivitätsparameter von alten Menschen mit motorischer und kognitiver Einschränkung sehr gering. Die erstmalig in solch einer multimorbiden, hochbetagten Stichprobe erhobenen innovativen, qualitativen Variablen des habituellen Aktivitätsverhaltens haben große Defizite in der gewohnheitsmäßigen Gangqualität verdeutlicht und sich im Vergleich zu gesundheitsbezogenen Parametern oder Variablen der motorischen Leistungsfähigkeit als bessere Determinanten der Quantität von körperlicher Aktivität erwiesen. Diese neuen Erkenntnisse sind für Interventionsstudien und Rehabilitations-/Therapiemaßnahmen, die darauf abzielen das Aktivitätsverhalten von älteren Personen mit motorischer und kognitiver Einschränkung zu steigern, von großer Relevanz. Abgesehen von

den Faktoren Kraft, Schnelligkeit und Ausdauer, die zu den mehrheitlich trainierten Parametern der motorischen Leistungsfähigkeit zählen, sollten kommende Rehabilitationsprogramme ihren Fokus auch auf die Verbesserung der Aktivitätsqualität legen und beispielsweise eine gezielte Gangschule inkludieren. Die Effekte derartiger Trainingsprogramme auf die Aktivitätsquantität sowie die Auswirkungen bisher etablierter Interventionsmaßnahmen auf die innovativen, qualitativen Variablen der habituellen körperlichen Aktivität sind im Zuge von RCTs noch zu überprüfen.

Literaturverzeichnis

- Aalten, P., Verhey, F. R., Boziki, M., Bullock, R., Byrne, E. J., Camus, V., Caputo, M., Collins, D., De Deyn, P. P., Elina, K., Frisoni, G., Girtler, N., Holmes, C., Hurt, C., Marriott, A., Mecocci, P., Nobili, F., Ousset, P. J., Reynish, E., Salmon, E., Tsolaki, M., Vellas, B., & Robert, P. H. (2007). Neuropsychiatric Syndromes in Dementia. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 24(6), 457-463. <https://doi.org/10.1159/000110738>
- Aarsland, D., Sardaahae, F. S., Anderssen, S., Ballard, C., & the Alzheimer's Society Systematic Review group (2010). Is physical activity a potential preventive factor for vascular dementia? A systematic review. *Aging & Mental Health*, 14(4), 386-395. <https://doi.org/10.1080/13607860903586136>
- Abellan van Kan, G., Rolland, Y., Andrieu, S., Bauer, J., Beauchet, O., Bonnefoy, M., Cesari, M., Donini, L. M., Gillette Guyonnet, S., Inzitari, M., Nourhashemi, F., Onder, G., Ritz, P., Salva, A., Visser, M., & Vellas, B. (2009). Gait speed at usual pace as a predictor of adverse outcomes in community-dwelling older people an International Academy on Nutrition and Aging (IANA) Task Force. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, 13(10), 881-889. <https://doi.org/10.1007/s12603-009-0246-z>
- Aboutorabi, A., Arazpour, M., Bahramizadeh, M., Hutchins, S. W., & Fadayeveatan, R. (2016). The effect of aging on gait parameters in able-bodied older subjects: a literature review. *Aging Clinical and Experimental Research*, 28(3), 393-405. <https://doi.org/10.1007/s40520-015-0420-6>
- Ahlskog, J. E., Geda, Y. E., Graff-Radford, N. R., & Petersen, R. C. (2011). Physical exercise as a preventive or disease-modifying treatment of dementia and brain aging. *Mayo Clinic Proceedings*, 86(9), 876-884. <https://doi.org/10.4065/mcp.2011.0252>
- Ainsworth, B., Cahalin, L., Buman, M., & Ross, R. (2015). The Current State of Physical Activity Assessment Tools. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 57(4), 387-395. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2014.10.005>
- Allan, L., Ballard, C., Burn, D. J., & Kenny, R. A. (2005). Prevalence and severity of gait disorders in Alzheimer's and non-Alzheimer's dementias. *Journal of the American Geriatrics Society*, 53(10), 1681-1687. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2005.53552.x>
- Allan, L., McKeith, I., Ballard, C., & Kenny, R. A. (2006). The Prevalence of Autonomic Symptoms in Dementia and Their Association with Physical Activity, Activities of Daily Living and Quality of Life. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 22(3), 230-237. <https://doi.org/10.1159/000094971>
- Altschuler, A., Picchi, T., Nelson, M., Rogers, J. D., Hart, J., & Sternfeld, B. (2009). Physical activity questionnaire comprehension: lessons from cognitive interviews. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(2), 336-343. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e318186b1b1>
- Alzheimer's Association (2020a). 2020 Alzheimer's disease facts and figures. *Alzheimer's & Dementia* 16(3), 391-460. <https://doi.org/10.1002/alz.12068>
- Alzheimer's Association. (2020b, Dec 11). "What Is Dementia?". <https://www.alz.org/alzheimers-dementia/what-is-dementia>
- Aoyagi, K., Ross, P. D., Davis, J. W., Wasnich, R. D., Hayashi, T., & Takemoto, T.-I. (1998). Falls Among Community-Dwelling Elderly in Japan. *Journal of Bone and Mineral Research*, 13(9), 1468-1474. <https://doi.org/10.1359/jbmr.1998.13.9.1468>

- Arnautovska, U., O'Callaghan, F., & Hamilton, K. (2018). Behaviour change techniques to facilitate physical activity in older adults: What and how. *Ageing and Society*, 38(12), 2590-2616. <https://doi.org/10.1017/S0144686X17001027>
- Auyeung, T. W., Kwok, T., Lee, J., Leung, P. C., Leung, J., & Woo, J. (2008). Functional decline in cognitive impairment - the relationship between physical and cognitive function. *Neuroepidemiology*, 31(3), 167-173. <https://doi.org/10.1159/000154929>
- Bachmann, S., Finger, C., Huss, A., Egger, M., Stuck, A. E., & Clough-Gorr, K. M. (2010). Inpatient rehabilitation specifically designed for geriatric patients: systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials. *BMJ*, 340, c1718. <https://doi.org/10.1136/bmj.c1718>
- Baert, V., Gorus, E., Mets, T., Geerts, C., & Bautmans, I. (2011). Motivators and barriers for physical activity in the oldest old: A systematic review. *Ageing Research Reviews*, 10(4), 464-474. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2011.04.001>
- Bahureksa, L., Najafi, B., Saleh, A., Sabbagh, M., Coon, D., Mohler, M. J., & Schwenk, M. (2017). The Impact of Mild Cognitive Impairment on Gait and Balance: A Systematic Review and Meta-Analysis of Studies Using Instrumented Assessment. *Gerontology*, 63(1), 67-83. <https://doi.org/10.1159/000445831>
- Barnett, K., Mercer, S. W., Norbury, M., Watt, G., Wyke, S., & Guthrie, B. (2012). Epidemiology of multimorbidity and implications for health care, research, and medical education: a cross-sectional study. *The Lancet*, 380(9836), 37-43. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)60240-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)60240-2)
- Barry, E., Galvin, R., Keogh, C., Horgan, F., & Fahey, T. (2014). Is the Timed Up and Go test a useful predictor of risk of falls in community dwelling older adults: a systematic review and meta-analysis. *BMC Geriatrics*, 14, 14. <https://doi.org/10.1186/1471-2318-14-14>
- Basile, G., & Sardella, A. (2020). From cognitive to motor impairment and from sarcopenia to cognitive impairment: a bidirectional pathway towards frailty and disability. *Aging Clinical and Experimental Research*, 33(2), 469-478. <https://doi.org/10.1007/s40520-020-01550-y>
- Bauman, A., Merom, D., Bull, F. C., Buchner, D. M., & Fiatarone Singh, M. A. (2016). Updating the Evidence for Physical Activity: Summative Reviews of the Epidemiological Evidence, Prevalence, and Interventions to Promote "Active Aging". *The Gerontologist*, 56(Suppl 2), 268-280. <https://doi.org/10.1093/geront/gnw031>
- Bayles, K. A., Tomoeda, C. K., & Trosset, M. W. (1992). Relation of linguistic communication abilities of Alzheimer's patients to stage of disease. *Brain and Language*, 42(4), 454-472. [https://doi.org/10.1016/0093-934X\(92\)90079-T](https://doi.org/10.1016/0093-934X(92)90079-T)
- Becker, C., Auer, R., Rapp, K., Grund, S., & Bauer, J. M. (2020). Geriatrische Rehabilitation – Aktueller Stand und zukünftige Entwicklung. In K. Jacobs, A. Kuhlmeier, S. Greß, J. Klauber, & A. Schwinger (Hrsg.), *Pflege-Report 2020: Neuausrichtung von Versorgung und Finanzierung* (S. 135-148). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-61362-7_9
- Beckett, M. W., Arden, C. I., & Rotondi, M. A. (2015). A meta-analysis of prospective studies on the role of physical activity and the prevention of Alzheimer's disease in older adults. *BMC Geriatrics*, 15, 9. <https://doi.org/10.1186/s12877-015-0007-2>
- Bellamy, N., Buchanan, W. W., Goldsmith, C. H., Campbell, J., & Stitt, L. W. (1988). Validation study of WOMAC: a health status instrument for measuring clinically important patient relevant outcomes to antirheumatic drug therapy in patients with osteoarthritis of the hip or knee. *The Journal of rheumatology*, 15(12), 1833-1840.

- Bellelli, G., Magnifico, F., & Trabucchi, M. (2008). Outcomes at 12 Months in a Population of Elderly Patients Discharged From a Rehabilitation Unit. *Journal of the American Medical Directors Association*, 9(1), 55-64. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2007.09.009>
- Benedetti, M. G., Ginex, V., Mariani, E., Zati, A., Cotti, A., Pignotti, E., & Clerici, F. (2015). Cognitive impairment is a negative short-term and long-term prognostic factor in elderly patients with hip fracture. *European journal of physical and rehabilitation medicine*, 51(6), 815–823.
- Berk, D. R., Hubert, H. B., & Fries, J. F. (2006). Associations of changes in exercise level with subsequent disability among seniors: a 16-year longitudinal study. *The Journals of Gerontology: Series A*, 61(1), 97-102. <https://doi.org/10.1093/gerona/61.1.97>
- Bethancourt, H. J., Rosenberg, D. E., Beatty, T., & Arterburn, D. E. (2014). Barriers to and facilitators of physical activity program use among older adults. *Clinical Medicine & Research*, 12(1-2), 10-20. <https://doi.org/10.3121/cmr.2013.1171>
- Bickel, H. (2018). *Die Häufigkeit von Demenzerkrankungen*. https://www.deutsche-alzheimer.de/fileadmin/alz/pdf/factsheets/infoblatt1_haeufigkeit_demenzerkrankungen_dalzg.pdf
- Bohannon, R., Shove, M., Barreca, S., Masters, L., & Sigouin, C. (2007). Five-repetition sit-to-stand test performance by community-dwelling adults: A preliminary investigation of times, determinants, and relationship with self-reported physical performance. *Isokinetics and Exercise Science*, 15(2), 77-81. <https://doi.org/10.3233/IES-2007-0253>
- Bongartz, M., Kiss, R., Lacroix, A., Eckert, T., Ullrich, P., Jansen, C.-P., Feißt, M., Mellone, S., Chiari, L., Becker, C., & Hauer, K. (2019). Validity, reliability, and feasibility of the uSense activity monitor to register physical activity and gait performance in habitual settings of geriatric patients. *Physiological Measurement*, 40(9), 095005. <https://doi.org/10.1088/1361-6579/ab42d3>
- Bongartz, M., Kiss, R., Ullrich, P., Eckert, T., Bauer, J., & Hauer, K. (2017). Development of a home-based training program for post-ward geriatric rehabilitation patients with cognitive impairment: study protocol of a randomized-controlled trial. *BMC Geriatrics*, 17(1), 214. <https://doi.org/10.1186/s12877-017-0615-0>
- Borges, S., Radanovic, M., & Forlenza, O. V. (2015). Fear of falling and falls in older adults with mild cognitive impairment and Alzheimer's disease. *Aging, Neuropsychology, and Cognition*, 22(3), 312-321. <https://doi.org/10.1080/13825585.2014.933770>
- Boripuntakul, S., Lord, S. R., Brodie, M. A., Smith, S. T., Methapatara, P., Wongpakaran, N., & Sungkarat, S. (2014). Spatial variability during gait initiation while dual tasking is increased in individuals with mild cognitive impairment. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, 18(3), 307-312. <https://doi.org/10.1007/s12603-013-0390-3>
- Bös, K. (1994). Differentielle Aspekte der Entwicklung motorischer Fähigkeiten. In J. Baur, K. Bös, A. Conzelmann, & R. Singer (Hrsg.), *Motorische Entwicklung. Ein Handbuch* (S. 238-254). Hofmann, Schorndorf.
- Bös, K. & Mechling, H. (1983). *Dimensionen sportmotorischer Leistungen*. Hofmann, Schorndorf.
- Bossers, W. J., van der Woude, L. H., Boersma, F., Hortobágyi, T., Scherder, E. J., & van Heuvelen, M. J. (2015). A 9-Week Aerobic and Strength Training Program Improves Cognitive and Motor Function in Patients with Dementia: A Randomized, Controlled Trial. *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, 23(11), 1106-1116. <https://doi.org/10.1016/j.jagp.2014.12.191>

- Bower, E. S., Wetherell, J. L., Merz, C. C., Petkus, A. J., Malcarne, V. L., & Lenze, E. J. (2015). A new measure of fear of falling: psychometric properties of the fear of falling questionnaire revised (FFQ-R). *International Psychogeriatrics*, 27(7), 1121-1133. <https://doi.org/10.1017/S1041610214001434>
- Braun, T., Thiel, C., Schulz, R.-J., & Grüneberg, C. (2019). Reliability of mobility measures in older medical patients with cognitive impairment. *BMC Geriatrics*, 19(1), 20. <https://doi.org/10.1186/s12877-019-1036-z>
- Brodaty, H., Seeher, K., & Gibson, L. (2012). Dementia time to death: a systematic literature review on survival time and years of life lost in people with dementia. *International Psychogeriatrics*, 24(7), 1034-1045. <https://doi.org/10.1017/s1041610211002924>
- Brooks, D., Davis, A. M., & Naglie, G. (2006). Validity of 3 physical performance measures in inpatient geriatric rehabilitation. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 87(1), 105-110. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2005.08.109>
- Brown, W. J., Burton, N. W., & Rowan, P. J. (2007). Updating the evidence on physical activity and health in women. *American Journal of Preventive Medicine*, 33(5), 404-411. <https://doi.org/10.1016/j.amepre.2007.07.029>
- Bruyère, O., Beaudart, C., Reginster, J. Y., Buckinx, F., Schoene, D., Hirani, V., Cooper, C., Kanis, J. A., Rizzoli, R., McCloskey, E., Cederholm, T., Cruz-Jentoft, A., & Freiberger, E. (2016). Assessment of muscle mass, muscle strength and physical performance in clinical practice: An international survey. *European Geriatric Medicine*, 7(3), 243-246. <https://doi.org/10.1016/j.eurger.2015.12.009>
- Buatois, S., Perret-Guillaume, C., Gueguen, R., Miget, P., Vançon, G., Perrin, P., & Benetos, A. (2010). A simple clinical scale to stratify risk of recurrent falls in community-dwelling adults aged 65 years and older. *Physical Therapy*, 90(4), 550-560. <https://doi.org/10.2522/ptj.20090158>
- Buchman, A. S., Wilson, R. S., & Bennett, D. A. (2008). Total daily activity is associated with cognition in older persons. *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, 16(8), 697-701. <https://doi.org/10.1097/JGP.0b013e31817945f6>
- Bundesministerium für Gesundheit (2020, Dec 11). *Online-Ratgeber Demenz*. <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/themen/pflege/online-ratgeber-demenz/krankheitsbild-und-verlauf.html>
- Busch, M. (2011). Epidemiologie und Bedeutung vaskulärer Risikofaktoren. *CardioVasc*, 11(5), 32-38. <https://doi.org/10.1007/BF03359059>
- Canbek, J., Fulk, G., Nof, L., & Echternach, J. (2013). Test-retest reliability and construct validity of the tinetti performance-oriented mobility assessment in people with stroke. *Journal of Neurologic Physical Therapy*, 37(1), 14-19. <https://doi.org/10.1097/NPT.0b013e318283ffcc>
- Carvalho, A., Rea, I. M., Parimon, T., & Cusack, B. J. (2014). Physical activity and cognitive function in individuals over 60 years of age: a systematic review. *Clinical Interventions in Aging*, 9, 661-682. <https://doi.org/10.2147/cia.S55520>
- Caspersen, C. J., Powell, K. E., & Christenson, G. M. (1985). Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research. *Public Health Rep*, 100(2), 126-131.
- Cedervall, Y., & Åberg, A. C. (2010). Physical activity and implications on well-being in mild Alzheimer's disease: A qualitative case study on two men with dementia and their spouses. *Physiotherapy Theory and Practice*, 26(4), 226-239. <https://doi.org/10.3109/09593980903423012>

- Chase, J.-A. (2014). Interventions to Increase Physical Activity Among Older Adults: A Meta-Analysis. *The Gerontologist*, 55(4), 706-718. <https://doi.org/10.1093/geront/gnu090>
- Choi, K., Jeon, G.-S., & Cho, S.-I. (2017). Prospective Study on the Impact of Fear of Falling on Functional Decline among Community Dwelling Elderly Women. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(5). <https://doi.org/10.3390/ijerph14050469>
- Chudyk, A. M., McKay, H. A., Winters, M., Sims-Gould, J., & Ashe, M. C. (2017). Neighborhood walkability, physical activity, and walking for transportation: A cross-sectional study of older adults living on low income. *BMC Geriatrics*, 17(1), 82. <https://doi.org/10.1186/s12877-017-0469-5>
- Colcombe, S., & Kramer, A. F. (2003). Fitness Effects on the Cognitive Function of Older Adults: A Meta-Analytic Study. *Psychological Science*, 14(2), 125-130. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.t01-1-01430>
- Conn, V. S., Isaramalai, S.-A., Banks-Wallace, J., Ulbrich, S., & Cochran, J. (2003). Evidence-Based Interventions to Increase Physical Activity Among Older Adults. *Activities, Adaptation & Aging*, 27(2), 39-52. https://doi.org/10.1300/J016v27n02_04
- Conn, V. S., Valentine, J. C., & Cooper, H. M. (2002). Interventions to increase physical activity among aging adults: a meta-analysis. *Annals of Behavioral Medicine*, 24(3), 190-200. https://doi.org/10.1207/s15324796abm2403_04
- Corsonello, A., Lattanzio, F., Pedone, C., Garasto, S., Laino, I., Bustacchini, S., Pranno, L., Mazzei, B., Passarino, G., & Incalzi, R. A. (2012). Prognostic significance of the short physical performance battery in older patients discharged from acute care hospitals. *Rejuvenation Research*, 15(1), 41-48. <https://doi.org/10.1089/rej.2011.1215>
- Cress, M. E., Buchner, D. M., Prohaska, T., Rimmer, J., Brown, M., Macera, C., DePietro, L., & Chodzko-Zajko, W. (2006). Best practices for physical activity programs and behavior counseling in older adult populations. *European Review of Aging and Physical Activity*, 3(1), 34-42. <https://doi.org/10.1007/s11556-006-0003-9>
- Cruz-Jentoft, A. J., Bahat, G., Bauer, J. M., Boirie, Y., Bruyère, O., Cederholm, T., Cooper, C., Landi, F., Rolland, Y., Sayer, A. A., Schneider, S. M., Sieber, C. C., Topinkova, E., Vandewoude, M., Visser, M., & Zamboni, M. (2019). Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. *Age and Ageing*, 48(1), 16-31. <https://doi.org/10.1093/ageing/afy169>
- Dautel, A., Eckert, T., Gross, M., Hauer, K., Schäufele, M., Lacroix, A., Hendlmeier, I., Abel, B., Pomiersky, R., Gugenhan, J., Büchele, G., Reber, K. C., Becker, C., & Pfeiffer, K. (2019). Multifactorial intervention for hip and pelvic fracture patients with mild to moderate cognitive impairment: study protocol of a dual-centre randomised controlled trial (OF-CARE). *BMC Geriatr*, 19(1), 125. <https://doi.org/10.1186/s12877-019-1133-z>
- David, R., Mulin, E., Friedman, L., Le Duff, F., Cygankiewicz, E., Deschaux, O., Garcia, R., Yesavage, J. A., Robert, P. H., & Zeitzer, J. M. (2012). Decreased Daytime Motor Activity Associated With Apathy in Alzheimer Disease: An Actigraphic Study. *The American Journal of Geriatric Psychiatry*, 20(9), 806-814. <https://doi.org/10.1097/JGP.0b013e31823038af>
- Dayhoff, N. E., Baird, C., Bennett, S., & Backer, J. (1994). Fear of falling: Measuring fear and appraisals of potential harm. *Rehabilitation Nursing Research*, 3(3), 97-104.
- de la Cámara, M. Á., Higuera-Fresnillo, S., Martínez-Gómez, D., & Veiga Ó, L. (2019). Interday Reliability of the IDEEA Activity Monitor for Measuring Movement and Nonmovement Behaviors in Older Adults. *Journal of Aging and Physical Activity*, 27(2), 141-154. <https://doi.org/10.1123/japa.2017-0365>

- de Paula, J. J., Diniz, B. S., Bicalho, M. A., Albuquerque, M. R., Nicolato, R., de Moraes, E. N., Romano-Silva, M. A., & Malloy-Diniz, L. F. (2015). Specific cognitive functions and depressive symptoms as predictors of activities of daily living in older adults with heterogeneous cognitive backgrounds. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *7*, 139. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2015.00139>
- Delbaere, K., Crombez, G., van Haastregt, J. C., & Vlaeyen, J. W. (2009). Falls and catastrophic thoughts about falls predict mobility restriction in community-dwelling older people: A structural equation modelling approach. *Aging & Mental Health*, *13*(4), 587-592. <https://doi.org/10.1080/13607860902774444>
- Denkinger, M. D., Igl, W., Lukas, A., Bader, A., Bailer, S., Franke, S., Denkinger, C. M., Nikolaus, T., & Jamour, M. (2010). Relationship Between Fear of Falling and Outcomes of an Inpatient Geriatric Rehabilitation Population—Fear of the Fear of Falling. *Journal of the American Geriatrics Society*, *58*(4), 664-673. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2010.02759.x>
- Dewing, J. (2008). Personhood and dementia: revisiting Tom Kitwood's ideas. *International Journal of Older People Nursing*, *3*(1), 3-13. <https://doi.org/10.1111/j.1748-3743.2007.00103.x>
- Di Carlo, A., Baldereschi, M., Lamassa, M., Bovis, F., Inzitari, M., Solfrizzi, V., Panza, F., Galluzzo, L., Scafato, E., & Inzitari, D. (2016). Daily Function as Predictor of Dementia in Cognitive Impairment, No Dementia (CIND) and Mild Cognitive Impairment (MCI): An 8-Year Follow-Up in the ILSA Study. *Journal of Alzheimer's Disease*, *53*(2), 505-515. <https://doi.org/10.3233/jad-160087>
- Ding, D., Lawson, K. D., Kolbe-Alexander, T. L., Finkelstein, E. A., Katzmarzyk, P. T., van Mechelen, W., & Pratt, M. (2016). The economic burden of physical inactivity: a global analysis of major non-communicable diseases. *The Lancet*, *388*(10051), 1311-1324. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(16\)30383-x](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(16)30383-x)
- Donoghue, O. A., Cronin, H., Savva, G. M., O'Regan, C., & Kenny, R. A. (2013). Effects of fear of falling and activity restriction on normal and dual task walking in community dwelling older adults. *Gait & Posture*, *38*(1), 120-124. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.10.023>
- Dutzi, I., Schwenk, M., Micol, W., & Hauer, K. (2013). Patienten mit Begleitdiagnose Demenz. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, *46*(3), 208-213. <https://doi.org/10.1007/s00391-013-0483-y>
- Earnest, C. P., Johannsen, N. M., Swift, D. L., Lavie, C. J., Blair, S. N., & Church, T. S. (2013). Dose effect of cardiorespiratory exercise on metabolic syndrome in postmenopausal women. *The American Journal of Cardiology*, *111*(12), 1805-1811. <https://doi.org/10.1016/j.amjcard.2013.02.037>
- Egerton, T., Paterson, K., & Helbostad, J. L. (2017). The Association Between Gait Characteristics and Ambulatory Physical Activity in Older People: A Cross-Sectional and Longitudinal Observational Study Using Generation 100 Data. *Journal of Aging and Physical Activity*, *25*(1), 10-19. <https://doi.org/10.1123/japa.2015-0252>
- El-Gohary, M., Pearson, S., McNames, J., Mancini, M., Horak, F., Mellone, S., & Chiari, L. (2014). Continuous Monitoring of Turning in Patients with Movement Disability. *Sensors*, *14*(1). <https://doi.org/10.3390/s140100356>
- Elhakeem, A., Hannam, K., Deere, K. C., Hartley, A., Clark, E. M., Moss, C., Edwards, M. H., Dennison, E., Gaysin, T., Kuh, D., Wong, A., Fox, K. R., Cooper, C., Cooper, R., & Tobias, J. H. (2018). Correlates of high-impact physical activity measured objectively in older British adults. *Journal of Public Health*, *40*(4), 727-737. <https://doi.org/10.1093/pubmed/fox171>

- EuroQol Group. (1990). EuroQol - a new facility for the measurement of health-related quality of life. *Health Policy*, 16(3), 199-208. [https://doi.org/10.1016/0168-8510\(90\)90421-9](https://doi.org/10.1016/0168-8510(90)90421-9)
- Faber, M. J., Bosscher, R. J., & van Wieringen, P. C. (2006). Clinimetric properties of the performance-oriented mobility assessment. *Physical therapy*, 86(7), 944-954.
- Fansa, A., Huff, S., & Ebraheim, N. (2016). Prediction of Mortality in Nonagenarians Following the Surgical Repair of Hip Fractures. *Clinics in Orthopedic Surgery*, 8(2), 140. <https://doi.org/10.4055/cios.2016.8.2.140>
- Fernández-Huerta, L., & Córdova-León, K. (2019). Reliability of two gait speed tests of different timed phases and equal non-timed phases in community-dwelling older persons. *Medwave*, 19(3), e7611. <https://doi.org/10.5867/medwave.2019.03.7611>
- Fisher, S., Ottenbacher, K. J., Goodwin, J. S., Graham, J. E., & Ostir, G. V. (2009). Short Physical Performance Battery in hospitalized older adults. *Aging Clinical and Experimental Research*, 21(6), 445-452. <https://doi.org/10.1007/bf03327444>
- Fleiner, T., Haussermann, P., Mellone, S., & Zijlstra, W. (2016). Sensor-based assessment of mobility-related behavior in dementia: feasibility and relevance in a hospital context. *International Psychogeriatrics*, 28(10), 1687-1694. <https://doi.org/10.1017/S1041610216001034>
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). "Mini-mental state": A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*, 12(3), 189-198. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-3956\(75\)90026-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0022-3956(75)90026-6)
- Forbes, D., Forbes, S. C., Blake, C. M., Thiessen, E. J., & Forbes, S. (2015). Exercise programs for people with dementia. *Cochrane Database of Systematic Reviews* 4, CD006489. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD006489.pub4>
- Fox, B., Henwood, T., Neville, C., & Keogh, J. (2014). Relative and absolute reliability of functional performance measures for adults with dementia living in residential aged care. *International Psychogeriatrics*, 26(10), 1659-1667. <https://doi.org/10.1017/S1041610214001124>
- Freire, A. N., Guerra, R. O., Alvarado, B., Guralnik, J. M., & Zunzunegui, M. V. (2012). Validity and Reliability of the Short Physical Performance Battery in Two Diverse Older Adult Populations in Quebec and Brazil. *Journal of Aging and Health*, 24(5), 863-878. <https://doi.org/10.1177/0898264312438551>
- French, D. P., Olander, E. K., Chisholm, A., & Mc Sharry, J. (2014). Which behaviour change techniques are most effective at increasing older adults' self-efficacy and physical activity behaviour? A systematic review. *Annals of Behavioral Medicine*, 48(2), 225-234. <https://doi.org/10.1007/s12160-014-9593-z>
- Friedman, S. M., Munoz, B., West, S. K., Rubin, G. S., & Fried, L. P. (2002). Falls and fear of falling: which comes first? A longitudinal prediction model suggests strategies for primary and secondary prevention. *Journal of the American Geriatrics Society*, 50(8), 1329-1335. <https://doi.org/10.1046/j.1532-5415.2002.50352.x>
- Fritz, S., & Lusardi, M. (2009). White Paper: "Walking Speed: the Sixth Vital Sign". *Journal of Geriatric Physical Therapy*, 32(2).
- Functional Ability (2008). In W. Kirch (Hrsg.), *Encyclopedia of Public Health* (S. 466-466). Springer Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-5614-7_1209
- Gauggel, S., & Birkner, B. (1999). Validität und Reliabilität einer deutschen Version der Geriatrischen Depressionsskala (GDS). *Zeitschrift für Klinische Psychologie und Psychotherapie*, 28, 18-27.

- Gazzotti, A., Meyer, U., Freystaetter, G., Palzer, M., Theiler, R., Abderhalden, L., & Bischoff-Ferrari, H. A. (2020). Physical performance among patients aged 70 + in acute care: a preliminar comparison between the Short Physical Performance Battery and the De Morton Mobility Index with regard to sensitivity to change and prediction of discharge destination. *Aging Clinical and Experimental Research*, 32(4), 579-586. <https://doi.org/10.1007/s40520-019-01249-9>
- Geda, Y. E., Roberts, R. O., Knopman, D. S., Christianson, T. J., Pankratz, V. S., Ivnik, R. J., Boeve, B. F., Tangalos, E. G., Petersen, R. C., & Rocca, W. A. (2010). Physical Exercise, Aging, and Mild Cognitive Impairment: A Population-Based Study. *Archives of Neurology*, 67(1), 80-86. <https://doi.org/10.1001/archneurol.2009.297>
- Gheysen, F., Poppe, L., DeSmet, A., Swinnen, S., Cardon, G., De Bourdeaudhuij, I., Chastin, S., & Fias, W. (2018). Physical activity to improve cognition in older adults: can physical activity programs enriched with cognitive challenges enhance the effects? A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 15(1), 63. <https://doi.org/10.1186/s12966-018-0697-x>
- Giannouli, E., Bock, O., Mellone, S., & Zijlstra, W. (2016). Mobility in Old Age: Capacity Is Not Performance. *BioMed Research International*, 2016, 3261567. <https://doi.org/10.1155/2016/3261567>
- Goldberg, A., & Schepens, S. (2011). Measurement error and minimum detectable change in 4-meter gait speed in older adults. *Aging Clinical and Experimental Research*, 23(5-6), 406-412. <https://doi.org/10.1007/bf03325236>
- Gómez, J. F., Curcio, C. L., Alvarado, B., Zunzunegui, M. V., & Guralnik, J. (2013). Validity and reliability of the Short Physical Performance Battery (SPPB): a pilot study on mobility in the Colombian Andes. *Colombia medica*, 44(3), 165-171.
- Grande, G., Triolo, F., Nuara, A., Welmer, A.-K., Fratiglioni, L., & Vetrano, D. L. (2019). Measuring gait speed to better identify prodromal dementia. *Experimental Gerontology*, 124, 110625. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2019.05.014>
- Greenberg, S. A. (2007). How To try this: The Geriatric Depression Scale Short Form. *The American Journal of Nursing*, 107(10), 60-69. doi: 10.1097/01.NAJ.0000292204.52313.f3
- Groot, C., Hooghiemstra, A. M., Raijmakers, P. G., van Berckel, B. N., Scheltens, P., Scherder, E. J., van der Flier, W. M., & Ossenkoppele, R. (2016). The effect of physical activity on cognitive function in patients with dementia: A meta-analysis of randomized control trials. *Ageing Research Reviews*, 25, 13-23. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2015.11.005>
- Guitar, N. A., Connelly, D. M., Nagamatsu, L. S., Orange, J. B., & Muir-Hunter, S. W. (2018). The effects of physical exercise on executive function in community-dwelling older adults living with Alzheimer's-type dementia: A systematic review. *Ageing Research Reviews*, 47, 159-167. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2018.07.009>
- Guralnik, J. M., Simonsick, E. M., Ferrucci, L., Glynn, R. J., Berkman, L. F., Blazer, D. G., Scherr, P. A., & Wallace, R. B. (1994). A short physical performance battery assessing lower extremity function: association with self-reported disability and prediction of mortality and nursing home admission. *Journal of Gerontology*, 49(2), 85-94. <https://doi.org/10.1093/geronj/49.2.m85>
- Hall, K. S., Cohen, H. J., Pieper, C. F., Fillenbaum, G. G., Kraus, W. E., Huffman, K. M., Cornish, M. A., Shiloh, A., Flynn, C., Sloane, R., Newby, L. K., & Morey, M. C. (2017). Physical Performance Across the Adult Life Span: Correlates With Age and Physical Activity. *The Journals of Gerontology: Series A*, 72(4), 572-578. <https://doi.org/10.1093/gerona/glw120>

- Hamed, A., Bohm, S., Mersmann, F., & Arampatzis, A. (2018). Follow-up efficacy of physical exercise interventions on fall incidence and fall risk in healthy older adults: a systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine - Open*, 4(1), 56. <https://doi.org/10.1186/s40798-018-0170-z>
- Hart, T. L., Swartz, A. M., Cashin, S. E., & Strath, S. J. (2011). How many days of monitoring predict physical activity and sedentary behaviour in older adults? *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 8(1), 62. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-8-62>
- Hartman, Y. A., Karssemeijer, E. G., van Diepen, L. A., Olde Rikkert, M. G., & Thijssen, D. H. (2018). Dementia Patients Are More Sedentary and Less Physically Active than Age- and Sex-Matched Cognitively Healthy Older Adults. *Dement and Geriatric Cognitive Disorders*, 46(1-2), 81-89. <https://doi.org/10.1159/000491995>
- Harvey, J. A., Chastin, S. F., & Skelton, D. A. (2013). Prevalence of sedentary behavior in older adults: a systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(12), 6645-6661. <https://doi.org/10.3390/ijerph10126645>
- Harvey, J. A., Chastin, S. F., & Skelton, D. A. (2015). How Sedentary are Older People? A Systematic Review of the Amount of Sedentary Behavior. *Journal of Aging and Physical Activity*, 23(3), 471-487. <https://doi.org/10.1123/japa.2014-0164>
- Hauer, K. (2000). Körperliche Bewegung und Training im Alter. In T. Nikolaus, C. Becker, P. Oster, L. Pientka, G. Schlierf, & W. von Renteln-Kruse (Hrsg.), *Klinische Geriatrie* (S. 815-823). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-59691-9_89
- Hauer, K., Kempen, G. I., Schwenk, M., Yardley, L., Beyer, N., Todd, C., Oster, P., & Zijlstra, G. A. (2011). Validity and Sensitivity to Change of the Falls Efficacy Scales International to Assess Fear of Falling in Older Adults with and without Cognitive Impairment. *Gerontology*, 57(5), 462-472. <https://doi.org/10.1159/000320054>
- Hauer, K., Lord, S. R., Lindemann, U., Lamb, S. E., Aminian, K., & Schwenk, M. (2011). Assessment of physical activity in older people with and without cognitive impairment. *Journal of Aging and Physical Activity*, 19(4), 347-372. <https://doi.org/10.1123/japa.19.4.347>
- Hauer, K., Pfisterer, M., Weber, C., Wezler, N., Kliegel, M., & Oster, P. (2003). Cognitive impairment decreases postural control during dual tasks in geriatric patients with a history of severe falls. *Journal of the American Geriatrics Society*, 51(11), 1638-1644. <https://doi.org/10.1046/j.1532-5415.2003.51517.x>
- Hauer, K., Schwenk, M., Englert, S., Zijlstra, R., Tuerner, S., & Dutzi, I. (2020). Mismatch of Subjective and Objective Risk of Falling in Patients with Dementia. *Journal of Alzheimer's Disease*, 78(2), 557-572. <https://doi.org/10.3233/jad-200572>
- Hauer, K., Schwenk, M., Zieschang, T., Essig, M., Becker, C., & Oster, P. (2012). Physical training improves motor performance in people with dementia: a randomized controlled trial. *Journal of the American Geriatrics Society*, 60(1), 8-15. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2011.03778.x>
- Hauer, K., Ullrich, P., Dutzi, I., Beurskens, R., Kern, S., Bauer, J. M., & Schwenk, M. (2017). Effects of Standardized Home Training in Patients with Cognitive Impairment following Geriatric Rehabilitation: A Randomized Controlled Pilot Study. *Gerontology*, 63(6), 495-506. <https://doi.org/10.1159/000478263>
- Hauer, K., Yardley, L., Beyer, N., Kempen, G., Dias, N., Campbell, M., Becker, C., & Todd, C. (2010). Validation of the Falls Efficacy Scale and Falls Efficacy Scale International in Geriatric Patients with and without Cognitive Impairment: Results of Self-Report and Interview-Based Questionnaires. *Gerontology*, 56(2), 190-199. <https://doi.org/10.1159/000236027>

- Hausdorff, J. M., Hillel, I., Shustak, S., Del Din, S., Bekkers, E. M., Pelosin, E., Nieuwhof, F., Rochester, L., & Mirelman, A. (2018). Everyday Stepping Quantity and Quality Among Older Adult Fallers With and Without Mild Cognitive Impairment: Initial Evidence for New Motor Markers of Cognitive Deficits? *The Journals of Gerontology: Series A*, *73*(8), 1078-1082. <https://doi.org/10.1093/gerona/glx187>
- Higueras-Fresnillo, S., de la Cámara, M. A., Esteban-Cornejo, I., Rodríguez-Artalejo, F., & Martínez-Gomez, D. (2018). Concurrent Criterion Validity of a Test of Usual Gait Speed in Older Adults. *Perceptual and Motor Skills*, *125*(5), 908-922. <https://doi.org/10.1177/0031512518780594>
- Hillel, I., Gazit, E., Nieuwboer, A., Avanzino, L., Rochester, L., Cereatti, A., Croce, U. D., Rikkert, M. O., Bloem, B. R., Pelosin, E., Del Din, S., Ginis, P., Giladi, N., Mirelman, A., & Hausdorff, J. M. (2019). Is every-day walking in older adults more analogous to dual-task walking or to usual walking? Elucidating the gaps between gait performance in the lab and during 24/7 monitoring. *European Review of Aging and Physical Activity*, *16*(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s11556-019-0214-5>
- Hobson, N., Dupuis, S. L., Giangregorio, L. M., & Middleton, L. E. (2019). Perceived Facilitators and Barriers to Exercise Among Older Adults With Mild Cognitive Impairment and Early Dementia. *Journal of Aging and Physical Activity*, *28*(2), 208–218. <https://doi.org/10.1123/japa.2019-0010>
- Hortobágyi, T., Mizelle, C., Beam, S., & DeVita, P. (2003). Old adults perform activities of daily living near their maximal capabilities. *The Journals of Gerontology: Series A*, *58*(5), 453-460. <https://doi.org/10.1093/gerona/58.5.m453>
- Hubble, R. P., Naughton, G. A., Silburn, P. A., & Cole, M. H. (2015). Wearable Sensor Use for Assessing Standing Balance and Walking Stability in People with Parkinson's Disease: A Systematic Review. *PLoS One*, *10*(4), e0123705. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123705>
- Hughes, T. F., Becker, J. T., Lee, C.-W., Chang, C.-C., & Ganguli, M. (2015). Independent and combined effects of cognitive and physical activity on incident MCI. *Alzheimer's & Dementia*, *11*(11), 1377-1384. <https://doi.org/10.1016/j.jalz.2014.11.007>
- Hupin, D., Roche, F., Gremeaux, V., Chatard, J.-C., Oriol, M., Gaspoz, J.-M., Barthélémy, J.-C., & Edouard, P. (2015). Even a low-dose of moderate-to-vigorous physical activity reduces mortality by 22% in adults aged ≥ 60 years: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, *49*(19), 1262-1267. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2014-094306>
- Jahantabi-Nejad, S., & Azad, A. (2019). Predictive accuracy of performance oriented mobility assessment for falls in older adults: A systematic review. *Medical Journal of the Islamic Republic of Iran*, *33*, 38. <https://doi.org/10.34171/mjiri.33.38>
- Jansen, C.-P., Claßen, K., Wahl, H.-W., & Hauer, K. (2015). Effects of interventions on physical activity in nursing home residents. *European Journal of Ageing*, *12*(3), 261-271. <https://doi.org/10.1007/s10433-015-0344-1>
- Jansen, C.-P., Toosizadeh, N., Mohler, M. J., Najafi, B., Wendel, C., & Schwenk, M. (2019). The association between motor capacity and mobility performance: frailty as a moderator. *European Review of Aging and Physical Activity*, *16*(1), 16. <https://doi.org/10.1186/s11556-019-0223-4>
- Jantunen, H., Wasenius, N., Salonen, M. K., Perälä, M.-M., Osmond, C., Kautiainen, H., Simonen, M., Pohjolainen, P., Kajantie, E., Rantanen, T., von Bonsdorff, M. B., & Eriksson, J. G. (2016). Objectively measured physical activity and physical performance in old age. *Age and Ageing*, *46*(2), 232-237. <https://doi.org/10.1093/ageing/afw194>

- Jellesmark, A., Herling, S. F., Egerod, I., & Beyer, N. (2012). Fear of falling and changed functional ability following hip fracture among community-dwelling elderly people: an explanatory sequential mixed method study. *Disability and Rehabilitation*, 34(25), 2124-2131. <https://doi.org/10.3109/09638288.2012.673685>
- Jia, R., Liang, J., Xu, Y., & Wang, Y. (2019). Effects of physical activity and exercise on the cognitive function of patients with Alzheimer disease: a meta-analysis. *BMC Geriatrics*, 19(1), 181. <https://doi.org/10.1186/s12877-019-1175-2>
- Joakimsen, R. M., Magnus, J. H., & Fønnebø, V. (1997). Physical activity and predisposition for hip fractures: a review. *Osteoporosis International*, 7(6), 503-513. <https://doi.org/10.1007/bf02652555>
- Jones, G. R., Miller, T. A., & Petrella, R. J. (2002). Evaluation of rehabilitation outcomes in older patients with hip fractures. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 81(7), 489-497. <https://doi.org/10.1097/00002060-200207000-00004>
- Jørstad, E. C., Hauer, K., Becker, C., Lamb, S. E., on behalf of the ProFaNE Group (2005). Measuring the Psychological Outcomes of Falling: A Systematic Review. *Journal of the American Geriatrics Society*, 53(3), 501-510. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2005.53172.x>
- Kalache, A., & Kickbusch, I. (1997). A global strategy for healthy ageing. *World Health* 50(4), 4-5.
- Kampe, K., Kohler, M., Albrecht, D., Becker, C., Hautzinger, M., Lindemann, U., & Pfeiffer, K. (2017). Hip and pelvic fracture patients with fear of falling: development and description of the "Step by Step" treatment protocol. *Clinical Rehabilitation*, 31(5), 571-581. <https://doi.org/10.1177/0269215517691584>
- Kannus, P. (1999). Preventing osteoporosis, falls, and fractures among elderly people. Promotion of lifelong physical activity is essential. *BMJ*, 318(7178), 205-206. <https://doi.org/10.1136/bmj.318.7178.205>
- Kasai, M., Meguro, K., Ozawa, H., Kumai, K., Imaizumi, H., Minegishi, H., Oi, H., Oizumi, A., Yamashiro, M., Matsuda, M., Tanaka, M., & Itoi, E. (2017). Fear of Falling and Cognitive Impairments in Elderly People with Hip Fractures. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders Extra*, 7(3), 386-394. <https://doi.org/10.1159/000480497>
- Kassavou, A., Turner, A., & French, D. P. (2013). Do interventions to promote walking in groups increase physical activity? A meta-analysis. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 10(1), 18. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-10-18>
- Keadle, S. K., McKinnon, R., Graubard, B. I., & Troiano, R. P. (2016). Prevalence and trends in physical activity among older adults in the United States: A comparison across three national surveys. *Preventive Medicine*, 89, 37-43. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2016.05.009>
- Keene, G. S., Parker, M. J., & Pryor, G. A. (1993). Mortality and morbidity after hip fractures. *BMJ*, 307(6914), 1248-1250. <https://doi.org/10.1136/bmj.307.6914.1248>
- Kitwood, T. (1990). The Dialectics of Dementia: With Particular Reference to Alzheimer's Disease. *Ageing and Society*, 10(2), 177-196. <https://doi.org/10.1017/S0144686X00008060>
- Kon, S. S., Patel, M. S., Canavan, J. L., Clark, A. L., Jones, S. E., Nolan, C. M., Cullinan, P., Polkey, M. I., & Man, W. D. (2013). Reliability and validity of 4-metre gait speed in COPD. *European Respiratory Journal*, 42(2), 333-340. <https://doi.org/10.1183/09031936.00162712>
- Kressig, R. W., Herrmann, F. R., Grandjean, R., Michel, J.-P., & Beauchet, O. (2008). Gait variability while dual-tasking: fall predictor in older inpatients? *Ageing Clinical and Experimental Research*, 20(2), 123-130. <https://doi.org/10.1007/BF03324758>

- Kristensen, M. T., Foss, N. B., & Kehlet, H. (2007). Timed "up & go" test as a predictor of falls within 6 months after hip fracture surgery. *Physical Therapy, 87*(1), 24-30. <https://doi.org/10.2522/ptj.20050271>
- Kujala, U. M., Hautasaari, P., Vähä-Ypyä, H., Waller, K., Lindgren, N., Iso-Markku, P., Heikkilä, K., Rinne, J., Kaprio, J., & Sievänen, H. (2019). Chronic diseases and objectively monitored physical activity profile among aged individuals - a cross-sectional twin cohort study. *Annals of Medicine, 51*(1), 78-87. <https://doi.org/10.1080/07853890.2019.1566765>
- Lachman, M. E., Howland, J., Tennstedt, S., Jette, A., Assmann, S., & Peterson, E. W. (1998). Fear of falling and activity restriction: the survey of activities and fear of falling in the elderly (SAFE). *The Journals of Gerontology: Series B, 53*(1), 43-50. <https://doi.org/10.1093/geronb/53b.1.p43>
- Landers, M. R., Durand, C., Powell, D. S., Dibble, L. E., & Young, D. L. (2011). Development of a Scale to Assess Avoidance Behavior Due to a Fear of Falling: The Fear of Falling Avoidance Behavior Questionnaire. *Physical Therapy, 91*(8), 1253-1265. <https://doi.org/10.2522/ptj.20100304>
- Lauretani, F., Maggio, M., Ticinesi, A., Tana, C., Prati, B., Gionti, L., Nouvenne, A., & Meschi, T. (2018). Muscle weakness, cognitive impairment and their interaction on altered balance in elderly outpatients: results from the TRIP observational study. *Clinical Interventions in Aging, 13*, 1437-1443. <https://doi.org/10.2147/cia.S165085>
- Law, C.-K., Lam, F. M. H., Chung, R. C. K., & Pang, M. Y. C. (2020). Physical exercise attenuates cognitive decline and reduces behavioural problems in people with mild cognitive impairment and dementia: a systematic review. *Journal of Physiotherapy, 66*(1), 9-18. <https://doi.org/10.1016/j.jphys.2019.11.014>
- Leach, J. M., Mellone, S., Palumbo, P., Bandinelli, S., & Chiari, L. (2018). Natural turn measures predict recurrent falls in community-dwelling older adults: a longitudinal cohort study. *Scientific Reports, 8*(1), 4316. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-22492-6>
- Lee, J. (2018). The Relationship Between Physical Activity and Dementia: A Systematic Review and Meta-Analysis of Prospective Cohort Studies. *Journal of Gerontological Nursing, 44*(10), 22-29. <https://doi.org/10.3928/00989134-20180814-01>
- Lees, F. D., Clark, P. G., Nigg, C. R., & Newman, P. (2005). Barriers to exercise behavior among older adults: a focus-group study. *Journal of Aging and Physical Activity, 13*(1), 23-33. <https://doi.org/10.1123/japa.13.1.23>
- Legrand, D., Vaes, B., Matheï, C., Adriaensen, W., Van Pottelbergh, G., & Degryse, J. M. (2014). Muscle strength and physical performance as predictors of mortality, hospitalization, and disability in the oldest old. *Journal of the American Geriatrics Society, 62*(6), 1030-1038. <https://doi.org/10.1111/jgs.12840>
- Leibson, C. L., Tosteson, A. N., Gabriel, S. E., Ransom, J. E., & Melton, L. J. (2002). Mortality, disability, and nursing home use for persons with and without hip fracture: a population-based study. *Journal of the American Geriatrics Society, 50*(10), 1644-1650. <https://doi.org/10.1046/j.1532-5415.2002.50455.x>
- Liu, C., Shiroy, D. M., Jones, L. Y., & Clark, D. O. (2014). Systematic review of functional training on muscle strength, physical functioning, and activities of daily living in older adults. *European Review of Aging and Physical Activity, 11*(2), 95-106. <https://doi.org/10.1007/s11556-014-0144-1>
- Lohr, K. N. (2002). Assessing health status and quality-of-life instruments: Attributes and review criteria. *Quality of Life Research, 11*(3), 193-205. <https://doi.org/10.1023/A:1015291021312>

- Loprinzi, P. D., Blough, J., Ryu, S., & Kang, M. (2019). Experimental effects of exercise on memory function among mild cognitive impairment: systematic review and meta-analysis. *The Physician and Sportsmedicine*, 47(1), 21-26. <https://doi.org/10.1080/00913847.2018.1527647>
- Lü, J., Fu, W., & Liu, Y. (2016). Physical activity and cognitive function among older adults in China: A systematic review. *Journal of Sport and Health Science*, 5(3), 287-296. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2016.07.003>
- Luppa, M., Luck, T., Weyerer, S., König, H.-H., Brähler, E., & Riedel-Heller, S. G. (2009). Prediction of institutionalization in the elderly. A systematic review. *Age and Ageing*, 39(1), 31-38. <https://doi.org/10.1093/ageing/afp202>
- Mahoney, F. I., & Barthel, D. W. (1965). Functional evaluation: The Barthel Index: A simple index of independence useful in scoring improvement in the rehabilitation of the chronically ill. *Maryland State Medical Journal*, 14, 61-65.
- Maki, B. E., Holliday, P. J., & Topper, A. K. (1991). Fear of Falling and Postural Performance in the Elderly. *Journal of Gerontology*, 46(4), 123-131. <https://doi.org/10.1093/geronj/46.4.M123>
- Mancini, M., El-Gohary, M., Pearson, S., McNames, J., Schlueter, H., Nutt, J. G., King, L. A., & Horak, F. B. (2015). Continuous monitoring of turning in Parkinson's disease: Rehabilitation potential. *NeuroRehabilitation*, 37, 3-10. <https://doi.org/10.3233/NRE-151236>
- Mancini, M., Schlueter, H., El-Gohary, M., Mattek, N., Duncan, C., Kaye, J., & Horak, F. B. (2016). Continuous Monitoring of Turning Mobility and Its Association to Falls and Cognitive Function: A Pilot Study. *The Journals of Gerontology: Series A*, 71(8), 1102-1108. <https://doi.org/10.1093/gerona/glw019>
- Manckoundia, P., Mourey, F., Pfitzenmeyer, P., & Papaxanthis, C. (2006). Comparison of motor strategies in sit-to-stand and back-to-sit motions between healthy and Alzheimer's disease elderly subjects. *Neuroscience*, 137(2), 385-392. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2005.08.079>
- Manini, T. M., Everhart, J. E., Patel, K. V., Schoeller, D. A., Colbert, L. H., Visser, M., Ty-lavsky, F., Bauer, D. C., Goodpaster, B. H., & Harris, T. B. (2006). Daily activity energy expenditure and mortality among older adults. *JAMA*, 296(2), 171-179. <https://doi.org/10.1001/jama.296.2.171>
- Marshall, G. A., Zoller, A. S., Lorus, N., Amariglio, R. E., Locascio, J. J., Johnson, K. A., Sperling, R. A., & Rentz, D. M. (2015). Functional Activities Questionnaire Items that Best Discriminate and Predict Progression from Clinically Normal to Mild Cognitive Impairment. *Current Alzheimer Research*, 12(5), 493-502. <https://doi.org/10.2174/156720501205150526115003>
- Martyr, A., & Clare, L. (2012). Executive function and activities of daily living in Alzheimer's disease: a correlational meta-analysis. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 33(2-3), 189-203. <https://doi.org/10.1159/000338233>
- McGough, E. L., Logsdon, R. G., Kelly, V. E., & Teri, L. (2013). Functional mobility limitations and falls in assisted living residents with dementia: physical performance assessment and quantitative gait analysis. *Journal of Geriatric Physical Therapy*, 36(2), 78-86. <https://doi.org/10.1519/JPT.0b013e318268de7f>
- McKay, H., Nettlefold, L., Bauman, A., Hoy, C., Gray, S. M., Lau, E., & Sims-Gould, J. (2018). Implementation of a co-designed physical activity program for older adults: positive impact when delivered at scale. *BMC Public Health*, 18(1), 1289. <https://doi.org/10.1186/s12889-018-6210-2>
- McKhann, G., Drachman, D., Folstein, M., Katzman, R., Price, D., & Stadlan, E. M. (1984). Clinical diagnosis of Alzheimer's disease. *Neurology*, 34(7), 939. <https://doi.org/10.1212/WNL.34.7.939>

- McMurdo, M. E., Argo, I., Crombie, I. K., Feng, Z., Sniehotta, F. F., Vadiveloo, T., Witham, M. D., & Donnan, P. T. (2012). Social, environmental and psychological factors associated with objective physical activity levels in the over 65s. *PLoS One*, *7*(2), e31878. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0031878>
- McPhee, J. S., French, D. P., Jackson, D., Nazroo, J., Pendleton, N., & Degens, H. (2016). Physical activity in older age: perspectives for healthy ageing and frailty. *Biogerontology*, *17*(3), 567-580. <https://doi.org/10.1007/s10522-016-9641-0>
- Mechling, H., & Netz, Y. (2009). Aging and inactivity—capitalizing on the protective effect of planned physical activity in old age. *European Review of Aging and Physical Activity*, *6*(2), 89. <https://doi.org/10.1007/s11556-009-0052-y>
- Mensink, G. B., Ziese, T., & Kok, F. J. (1999). Benefits of leisure-time physical activity on the cardiovascular risk profile at older age. *International Journal of Epidemiology*, *28*(4), 659-666. <https://doi.org/10.1093/ije/28.4.659>
- Michalowsky, B., Kaczynski, A., & Hoffmann, W. (2019). Ökonomische und gesellschaftliche Herausforderungen der Demenz in Deutschland – Eine Metaanalyse. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz*, *62*(8), 981-992. <https://doi.org/10.1007/s00103-019-02985-z>
- Montero-Odasso, M., Schapira, M., Soriano, E. R., Varela, M., Kaplan, R., Camera, L. A., & Mayorga, L. M. (2005). Gait velocity as a single predictor of adverse events in healthy seniors aged 75 years and older. *The Journals of Gerontology: Series A*, *60*(10), 1304-1309. <https://doi.org/10.1093/gerona/60.10.1304>
- Montgomery, S. A., & Asberg, M. (1979). A new depression scale designed to be sensitive to change. *British Journal of Psychiatry*, *134*, 382-389. <https://doi.org/10.1192/bjp.134.4.382>
- Morelhao, P. K., Oliveira, C. B., & Franco, M. R. (2017). Interventions to increase physical activity among older adults (PEDro synthesis). *British Journal of Sports Medicine*, *51*(18), 1375-1376. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2016-096859>
- Moschny, A., Platen, P., Klaaßen-Mielke, R., Trampisch, U., & Hinrichs, T. (2011). Barriers to physical activity in older adults in Germany: a cross-sectional study. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, *8*(1), 121. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-8-121>
- Müller-Spahn, F. (2003). Behavioral disturbances in dementia. *Dialogues in Clinical Neuroscience*, *5*(1), 49-59. <https://doi.org/10.31887/DCNS.2003.5.1/fmuellerspahn>
- Najafi, B., Aminian, K., Paraschiv-Ionescu, A., Loew, F., Büla, C. J., & Robert, P. (2003). Ambulatory system for human motion analysis using a kinematic sensor: monitoring of daily physical activity in the elderly. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, *50*(6), 711-723. <https://doi.org/10.1109/tbme.2003.812189>
- Nevitt, M. C., Cummings, S. R., Kidd, S., & Black, D. (1989). Risk factors for recurrent non-syncopal falls. A prospective study. *JAMA*, *261*(18), 2663-2668.
- Nightingale, C. J., Mitchell, S. N., & Butterfield, S. A. (2019). Validation of the Timed Up and Go Test for Assessing Balance Variables in Adults Aged 65 and Older. *Journal of Aging and Physical Activity*, *27*(2), 230-233. <https://doi.org/10.1123/japa.2018-0049>
- Njegovan, V., Hing, M. M., Mitchell, S. L., & Molnar, F. J. (2001). The hierarchy of functional loss associated with cognitive decline in older persons. *The Journals of Gerontology: Series A*, *56*(10), 638-643. <https://doi.org/10.1093/gerona/56.10.m638>

- Nordin, E., Rosendahl, E., & Lundin-Olsson, L. (2006). Timed "Up & Go" test: reliability in older people dependent in activities of daily living--focus on cognitive state. *Physical Therapy, 86*(5), 646-655.
- Nyman, S. R., Adamczewska, N., & Howlett, N. (2018). Systematic review of behaviour change techniques to promote participation in physical activity among people with dementia. *British Journal of Health Psychology, 23*(1), 148-170. <https://doi.org/10.1111/bjhp.12279>
- O'Bryant, S. E., Humphreys, J. D., Smith, G. E., Ivnik, R. J., Graff-Radford, N. R., Petersen, R. C., & Lucas, J. A. (2008). Detecting Dementia With the Mini-Mental State Examination in Highly Educated Individuals. *Archives of Neurology, 65*(7), 963-967. <https://doi.org/10.1001/archneur.65.7.963>
- Oddy, R. (1987). Promoting mobility in patients with dementia: some suggested strategies for physiotherapists. *Physiotherapy Practice, 3*(1), 18-27. <https://doi.org/10.3109/09593988709044164>
- Olanrewaju, O., Kelly, S., Cowan, A., Brayne, C., & Lafortune, L. (2016). Physical Activity in Community Dwelling Older People: A Systematic Review of Reviews of Interventions and Context. *PLoS One, 11*(12), e0168614. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168614>
- Olsen, C. F., & Bergland, A. (2017). Reliability of the Norwegian version of the short physical performance battery in older people with and without dementia. *BMC Geriatrics, 17*(1), 124. <https://doi.org/10.1186/s12877-017-0514-4>
- Oude Voshaar, R. C., Banerjee, S., Horan, M., Baldwin, R., Pendleton, N., Proctor, R., Tarriner, N., Woodward, Y., & Burns, A. (2006). Fear of falling more important than pain and depression for functional recovery after surgery for hip fracture in older people. *Psychological Medicine, 36*(11), 1635-1645. <https://doi.org/10.1017/S0033291706008270>
- Parmelee, P. A., Thuras, P. D., Katz, I. R., & Lawton, M. P. (1995). Validation of the Cumulative Illness Rating Scale in a Geriatric Residential Population. *Journal of the American Geriatrics Society, 43*(2), 130-137. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1995.tb06377.x>
- Paterson, D. H., & Warburton, D. E. (2010). Physical activity and functional limitations in older adults: a systematic review related to Canada's Physical Activity Guidelines. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity, 7*, 38. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-7-38>
- Pavasini, R., Guralnik, J., Brown, J. C., di Bari, M., Cesari, M., Landi, F., Vaes, B., Legrand, D., Verghese, J., Wang, C., Stenholm, S., Ferrucci, L., Lai, J. C., Bartes, A. A., Espauella, J., Ferrer, M., Lim, J. Y., Ensrud, K. E., Cawthon, P., Turusheva, A., Frolova, E., Rolland, Y., Lauwers, V., Corsonello, A., Kirk, G. D., Ferrari, R., Volpato, S., & Campo, G. (2016). Short Physical Performance Battery and all-cause mortality: systematic review and meta-analysis. *BMC Medicine, 14*(1), 215. <https://doi.org/10.1186/s12916-016-0763-7>
- Peel, N. M., Alapatt, L. J., Jones, L. V., & Hubbard, R. E. (2019). The Association Between Gait Speed and Cognitive Status in Community-Dwelling Older People: A Systematic Review and Meta-analysis. *The Journals of Gerontology: Series A, 74*(6), 943-948. <https://doi.org/10.1093/gerona/gly140>
- Peel, N. M., Kassulke, D. J., & McClure, R. J. (2002). Population based study of hospitalised fall related injuries in older people. *Injury Prevention, 8*(4), 280-283. <https://doi.org/10.1136/ip.8.4.280>

- Perera, S., Mody, S. H., Woodman, R. C., & Studenski, S. A. (2006). Meaningful Change and Responsiveness in Common Physical Performance Measures in Older Adults. *Journal of the American Geriatrics Society*, 54(5), 743-749. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2006.00701.x>
- Perry, R. J., & Hodges, J. R. (1999). Attention and executive deficits in Alzheimer's disease. A critical review. *Brain*, 122(3), 383-404. <https://doi.org/10.1093/brain/122.3.383>
- Petersen, R. C., Caracciolo, B., Brayne, C., Gauthier, S., Jelic, V., & Fratiglioni, L. (2014). Mild cognitive impairment: a concept in evolution. *Journal of Internal Medicine*, 275(3), 214-228. <https://doi.org/10.1111/joim.12190>
- Petersen, R. C., Lopez, O., Armstrong, M. J., Getchius, T. S., Ganguli, M., Gloss, D., Gronseth, G. S., Marson, D., Pringsheim, T., Day, G. S., Sager, M., Stevens, J., & Rae-Grant, A. (2018). Practice guideline update summary: Mild cognitive impairment: Report of the Guideline Development, Dissemination, and Implementation Subcommittee of the American Academy of Neurology. *Neurology*, 90(3), 126-135. <https://doi.org/10.1212/wnl.00000000000004826>
- Pfeiffer, K., Kampe, K., Klenk, J., Rapp, K., Kohler, M., Albrecht, D., Büchele, G., Hautzinger, M., Taraldsen, K., & Becker, C. (2020). Effects of an intervention to reduce fear of falling and increase physical activity during hip and pelvic fracture rehabilitation. *Age and Ageing*, 49(5), 771-778. <https://doi.org/10.1093/ageing/afaa050>
- Pitkälä, K., Savikko, N., Poysti, M., Strandberg, T., & Laakkonen, M.-L. (2013). Efficacy of physical exercise intervention on mobility and physical functioning in older people with dementia: A systematic review. *Experimental Gerontology*, 48(1), 85-93. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2012.08.008>
- Podsiadlo, D., & Richardson, S. (1991). The timed "Up & Go": a test of basic functional mobility for frail elderly persons. *Journal of the American Geriatrics Society*, 39(2), 142-148. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1991.tb01616.x>
- Potter, R., Ellard, D., Rees, K., & Thorogood, M. (2011). A systematic review of the effects of physical activity on physical functioning, quality of life and depression in older people with dementia. *International Journal of Geriatric Psychiatry*, 26(10), 1000-1011. <https://doi.org/10.1002/gps.2641>
- Power, G. A., Dalton, B. H., Behm, D. G., Vandervoort, A. A., Doherty, T. J., & Rice, C. L. (2010). Motor unit number estimates in masters runners: use it or lose it? *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42(9), 1644-1650. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181d6f9e9>
- Raïche, M., Hébert, R., Prince, F., & Corriveau, H. (2000). Screening older adults at risk of falling with the Tinetti balance scale. *The Lancet*, 356(9234), 1001-1002. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(00\)02695-7](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(00)02695-7)
- Rapp, K., Becker, C., Cameron, I. D., König, H. H., & Büchele, G. (2012). Epidemiology of falls in residential aged care: analysis of more than 70,000 falls from residents of bavarian nursing homes. *Journal of the American Medical Directors Association*, 13(2), 187.E1-187.E6. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2011.06.011>
- Regan, K., White, F., Harvey, D., & Middleton, L. E. (2019). Effects of an Exercise and Mental Activity Program for People With Dementia and Their Care Partners. *Journal of Aging and Physical Activity*, 27(2), 276-283. <https://doi.org/10.1123/japa.2017-0300>
- Ries, J. D., Echternach, J. L., Nof, L., & Gagnon Blodgett, M. (2009). Test-retest reliability and minimal detectable change scores for the timed "up & go" test, the six-minute walk test, and gait speed in people with Alzheimer disease. *Physical Therapy*, 89(6), 569-579. <https://doi.org/10.2522/ptj.20080258>

- Rillamas-Sun, E., LaMonte, M. J., Evenson, K. R., Thomson, C. A., Beresford, S. A., Coday, M. C., Manini, T. M., Li, W., & LaCroix, A. Z. (2018). The Influence of Physical Activity and Sedentary Behavior on Living to Age 85 Years Without Disease and Disability in Older Women. *The Journals of Gerontology: Series A*, 73(11), 1525-1531. <https://doi.org/10.1093/gerona/glx222>
- Robert Koch-Institut (2015). Gesundheit in Deutschland. Gesundheitsberichterstattung des Bundes. Gemeinsam getragen von RKI und Destatis. RKI, Berlin. doi: 10.17886/rkipubl-2015-003
- Roberts, R. O., Knopman, D. S., Mielke, M. M., Cha, R. H., Pankratz, V. S., Christianson, T. J., Geda, Y. E., Boeve, B. F., Ivnik, R. J., Tangalos, E. G., Rocca, W. A., & Petersen, R. C. (2014). Higher risk of progression to dementia in mild cognitive impairment cases who revert to normal. *Neurology*, 82(4), 317-325. <https://doi.org/10.1212/wnl.0000000000000055>
- Roche, J. J., Wenn, R. T., Sahota, O., & Moran, C. G. (2005). Effect of comorbidities and post-operative complications on mortality after hip fracture in elderly people: prospective observational cohort study. *BMJ*, 331(7529), 1374. <https://doi.org/10.1136/bmj.38643.663843.55>
- Rolenz, E., & Reneker, J. C. (2016). Validity of the 8-Foot Up and Go, Timed Up and Go, and Activities-Specific Balance Confidence Scale in older adults with and without cognitive impairment. *Journal of Rehabilitation Research & Development*, 53(4), 511-518. <https://doi.org/10.1682/jrrd.2015.03.0042>
- Rolland, Y., Lauwers-Cances, V., Cesari, M., Vellas, B., Pahor, M., & Grandjean, H. (2006). Physical performance measures as predictors of mortality in a cohort of community-dwelling older French women. *European Journal of Epidemiology*, 21(2), 113-122. <https://doi.org/10.1007/s10654-005-5458-x>
- Rosen, H. J., Alcantar, O., Rothlind, J., Sturm, V., Kramer, J. H., Weiner, M., & Miller, B. L. (2010). Neuroanatomical correlates of cognitive self-appraisal in neurodegenerative disease. *NeuroImage*, 49(4), 3358-3364. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.11.041>
- Rowe, D. A., Kemble, C. D., Robinson, T. S., & Mahar, M. T. (2007). Daily walking in older adults: day-to-day variability and criterion-referenced validity of total daily step counts. *Journal of Physical Activity & Health*, 4(4), 434-446.
- Sabia, S., Dugravot, A., Dartigues, J.-F., Abell, J., Elbaz, A., Kivimäki, M., & Singh-Manoux, A. (2017). Physical activity, cognitive decline, and risk of dementia: 28 year follow-up of Whitehall II cohort study. *BMJ*, 357, j2709. <https://doi.org/10.1136/bmj.j2709>
- Santos-Lozano, A., Pareja-Galeano, H., Sanchis-Gomar, F., Quindós-Rubial, M., Fiuza-Luces, C., Cristi-Montero, C., Emanuele, E., Garatachea, N., & Lucia, A. (2016). Physical Activity and Alzheimer Disease: A Protective Association. *Mayo Clinic Proceedings*, 91(8), 999-1020. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2016.04.024>
- Sauvaget, C., Yamada, M., Fujiwara, S., Sasaki, H., & Mimori, Y. (2002). Dementia as a predictor of functional disability: a four-year follow-up study. *Gerontology*, 48(4), 226-233. <https://doi.org/10.1159/000058355>
- Savica, R., Wennberg, A. M., Hagen, C., Edwards, K., Roberts, R. O., Hollman, J. H., Knopman, D. S., Boeve, B. F., Machulda, M. M., Petersen, R. C., & Mielke, M. M. (2017). Comparison of Gait Parameters for Predicting Cognitive Decline: The Mayo Clinic Study of Aging. *Journal of Alzheimer's Disease*, 55(2), 559-567. <https://doi.org/10.3233/JAD-160697>
- Schaller, F., Sidelnikov, E., Theiler, R., Egli, A., Staehelin, H. B., Dick, W., Dawson-Hughes, B., Grob, D., Platz, A., Can, U., & Bischoff-Ferrari, H. A. (2012). Mild to moderate cognitive impairment is a major risk factor for mortality and nursing home admission in the first year after hip fracture. *Bone*, 51(3), 347-352. <https://doi.org/10.1016/j.bone.2012.06.004>

- Schaubert, K. L., & Bohannon, R. W. (2005). Reliability and validity of three strength measures obtained from community-dwelling elderly persons. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(3), 717-720. <https://doi.org/10.1519/R-15954.1>
- Scheffer, A. C., Schuurmans, M. J., van Dijk, N., van der Hooft, T., & de Rooij, S. E. (2008). Fear of falling: measurement strategy, prevalence, risk factors and consequences among older persons. *Age and Ageing*, 37(1), 19-24. <https://doi.org/10.1093/ageing/afm169>
- Schmidtke, A., Fleckenstein, P., Moises, W., & Beckmann, H. (1988). Untersuchungen zur Reliabilität und Validität einer deutschen Version der Montgomery-Asberg Depression-Rating Scale (MADRS). *Schweizer Archiv für Neurologie und Psychiatrie*, 139(2), 51-65.
- Schrack, J. A., Cooper, R., Koster, A., Shiroma, E. J., Murabito, J. M., Rejeski, W. J., Ferrucci, L., & Harris, T. B. (2016). Assessing Daily Physical Activity in Older Adults: Unraveling the Complexity of Monitors, Measures, and Methods. *The Journals of Gerontology: Series A*, 71(8), 1039-1048. <https://doi.org/10.1093/gerona/glw026>
- Schutzer, K. A., & Graves, B. S. (2004). Barriers and motivations to exercise in older adults. *Preventive Medicine*, 39(5), 1056-1061. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2004.04.003>
- Schwinger, A., & Tsiasioti, C. (2018). Pflegebedürftigkeit in Deutschland. In K. Jacobs, A. Kuhlmei, S. Greß, J. Klauber, & A. Schwinger (Hrsg.), *Pflege-Report 2018: Qualität in der Pflege* (S. 173-204). Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-662-56822-4_16
- Shany-Ur, T., Lin, N., Rosen, H. J., Sollberger, M., Miller, B. L., & Rankin, K. P. (2014). Self-awareness in neurodegenerative disease relies on neural structures mediating reward-driven attention. *Brain*, 137(8), 2368-2381. <https://doi.org/10.1093/brain/awu161>
- Shumway-Cook, A., Brauer, S., & Woollacott, M. (2000). Predicting the probability for falls in community-dwelling older adults using the Timed Up & Go Test. *Physical Therapy*, 80(9), 896-903.
- Smith, P. J., Blumenthal, J. A., Hoffman, B. M., Cooper, H., Strauman, T. A., Welsh-Bohmer, K., Browndyke, J. N., & Sherwood, A. (2010). Aerobic exercise and neurocognitive performance: a meta-analytic review of randomized controlled trials. *Psychosomatic Medicine*, 72(3), 239-252. <https://doi.org/10.1097/PSY.0b013e3181d14633>
- Sofi, F., Valecchi, D., Bacci, D., Abbate, R., Gensini, G. F., Casini, A., & Macchi, C. (2011). Physical activity and risk of cognitive decline: a meta-analysis of prospective studies. *Journal of Internal Medicine*, 269(1), 107-117. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2796.2010.02281.x>
- Song, D., Yu, D. S., Li, P. W., & Lei, Y. (2018). The effectiveness of physical exercise on cognitive and psychological outcomes in individuals with mild cognitive impairment: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Nursing Studies*, 79, 155-164. <https://doi.org/10.1016/j.ijnurstu.2018.01.002>
- Sozialministerium Baden-Württemberg (2014). Geriatriekonzept Baden-Württemberg. Ministerium für Arbeit und Sozialordnung, Familie, Frauen und Senioren. Stuttgart.
- Sperber, A. D. (2004). Translation and validation of study instruments for cross-cultural research. *Gastroenterology*, 126(Suppl 1), 124-128. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2003.10.016>
- Sperling, R. A., Aisen, P. S., Beckett, L. A., Bennett, D. A., Craft, S., Fagan, A. M., Iwatsubo, T., Jack, C. R., Jr., Kaye, J., Montine, T. J., Park, D. C., Reiman, E. M., Rowe, C. C., Siemers, E., Stern, Y., Yaffe, K., Carrillo, M. C., Thies, B., Morrison-Bogorad, M., Wagster, M. V., & Phelps, C. H. (2011). Toward defining the preclinical stages of Alzheimer's disease: recommendations from the National Institute on Aging-Alzheimer's Association workgroups on diagnostic guidelines for Alzheimer's disease. *Alzheimer's & Dementia*, 7(3), 280-292. <https://doi.org/10.1016/j.jalz.2011.03.003>

- Statistisches Bundesamt (2019). Bevölkerung im Wandel - Annahmen und Ergebnisse der 14. koordinierten Bevölkerungsvorausberechnung. Statistisches Bundesamt (Destatis). Wiesbaden
- Steffen, T. M., Hacker, T. A., & Mollinger, L. (2002). Age- and gender-related test performance in community-dwelling elderly people: Six-Minute Walk Test, Berg Balance Scale, Timed Up & Go Test, and gait speeds. *Physical Therapy, 82*(2), 128-137. <https://doi.org/10.1093/ptj/82.2.128>
- Stessman, J., Hammerman-Rozenberg, R., Cohen, A., Ein-Mor, E., & Jacobs, J. M. (2009). Physical activity, function, and longevity among the very old. *Archives of Internal Medicine, 169*(16), 1476-1483. <https://doi.org/10.1001/archinternmed.2009.248>
- Stubbs, B., Eggermont, L., Soundy, A., Probst, M., Vandenbulcke, M., & Vancampfort, D. (2014). What are the factors associated with physical activity (PA) participation in community dwelling adults with dementia? A systematic review of PA correlates. *Archives of Gerontology and Geriatrics, 59*(2), 195-203. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2014.06.006>
- Stucki, G., Meier, D., Stucki, S., Michel, B. A., Tyndall, A. G., Dick, W., & Theiler, R. (1996). Evaluation einer deutschen Version des WOMAC (Western Ontario und McMaster Universities) Arthroseindex. *Zeitschrift für Rheumatologie, 55*(1), 40-49.
- Studenski, S., Perera, S., Wallace, D., Chandler, J. M., Duncan, P. W., Rooney, E., Fox, M., & Guralnik, J. M. (2003). Physical performance measures in the clinical setting. *Journal of the American Geriatrics Society, 51*(3), 314-322. <https://doi.org/10.1046/j.1532-5415.2003.51104.x>
- Sun, F., Norman, I. J., & While, A. E. (2013). Physical activity in older people: a systematic review. *BMC Public Health, 13*(1), 449. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-13-449>
- Tak, E., Kuiper, R., Chorus, A., & Hopman-Rock, M. (2013). Prevention of onset and progression of basic ADL disability by physical activity in community dwelling older adults: A meta-analysis. *Ageing Research Reviews, 12*(1), 329-338. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2012.10.001>
- Talbot, L. A., Gaines, J. M., Huynh, T. N., & Metter, E. J. (2003). A home-based pedometer-driven walking program to increase physical activity in older adults with osteoarthritis of the knee: a preliminary study. *Journal of the American Geriatrics Society, 51*(3), 387-392. <https://doi.org/10.1046/j.1532-5415.2003.51113.x>
- Tappen, R. M., Roach, K. E., Buchner, D., Barry, C., & Edelstein, J. (1997). Reliability of physical performance measures in nursing home residents with Alzheimer's disease. *The Journals of Gerontology: Series A, 52*(1), 52-55. <https://doi.org/10.1093/gerona/52a.1.m52>
- Taraldsen, K., Chastin, S. F., Riphagen, I. I., Vereijken, B., & Helbostad, J. L. (2012). Physical activity monitoring by use of accelerometer-based body-worn sensors in older adults: A systematic literature review of current knowledge and applications. *Maturitas, 71*(1), 13-19. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2011.11.003>
- Tarazona-Santabalbina, F. J., Belenguer-Varea, Á., Rovira Daudi, E., Salcedo Mahiques, E., Cuesta Peredó, D., Doménech-Pascual, J. R., Gac Espínola, H., & Avellana Zaragoza, J. A. (2015). Severity of cognitive impairment as a prognostic factor for mortality and functional recovery of geriatric patients with hip fracture. *Geriatrics & Gerontology International, 15*(3), 289-295. <https://doi.org/10.1111/ggi.12271>
- Taylor, D. (2014). Physical activity is medicine for older adults. *Postgraduate Medical Journal, 90*(1059), 26-32. <https://doi.org/10.1136/postgradmedj-2012-131366>

- Taylor, M. E., Brodie, M. A., van Schooten, K. S., Delbaere, K., Close, J. C., Payne, N., Webster, L., Chow, J., McInerney, G., Kurrle, S. E., & Lord, S. R. (2019). Older People with Dementia Have Reduced Daily-Life Activity and Impaired Daily-Life Gait When Compared to Age-Sex Matched Controls. *Journal of Alzheimer's Disease*, *71*(1), 125-135. <https://doi.org/10.3233/JAD-181174>
- Teri, L., Logsdon, R. G., & McCurry, S. M. (2008). Exercise interventions for dementia and cognitive impairment: the Seattle Protocols. *The Journal of Nutrition Health and Aging*, *12*(6), 391-394. <https://doi.org/10.1007/bf02982672>
- Thomas, J. I., & Lane, J. V. (2005). A Pilot Study to Explore the Predictive Validity of 4 Measures of Falls Risk in Frail Elderly Patients. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, *86*(8), 1636-1640. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2005.03.004>
- Tiedemann, A., Shimada, H., Sherrington, C., Murray, S., & Lord, S. (2008). The comparative ability of eight functional mobility tests for predicting falls in community-dwelling older people. *Age and Ageing*, *37*(4), 430-435. <https://doi.org/10.1093/ageing/afn100>
- Tieland, M., Trouwborst, I., & Clark, B. C. (2018). Skeletal muscle performance and ageing. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*, *9*(1), 3-19. <https://doi.org/10.1002/jcsm.12238>
- Tinetti, M. E. (1986). Performance-oriented assessment of mobility problems in elderly patients. *Journal of the American Geriatrics Society*, *34*(2), 119-126. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1986.tb05480.x>
- Tinetti, M. E., & Speechley, M. (1989). Prevention of falls among the elderly. *New England Journal of Medicine*, *320*(16), 1055-1059. <https://doi.org/10.1056/nejm198904203201606>
- Trayers, T., Lawlor, D. A., Fox, K. R., Coulson, J., Davis, M., Stathi, A., & Peters, T. (2014). Associations of objectively measured physical activity with lower limb function in older men and women: findings from the Older People and Active Living (OPAL) study. *Journal of Aging and Physical Activity*, *22*(1), 34-43. <https://doi.org/10.1123/japa.2012-0087>
- Trost, S. G., McIver, K. L., & Pate, R. R. (2005). Conducting accelerometer-based activity assessments in field-based research. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *37*(11), 531-543. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000185657.86065.98>
- Tudor-Locke, C. E., & Myers, A. M. (2001). Challenges and opportunities for measuring physical activity in sedentary adults. *Sports Medicine*, *31*(2), 91-100. <https://doi.org/10.2165/00007256-200131020-00002>
- Uemura, K., Shimada, H., Makizako, H., Doi, T., Tsutsumimoto, K., Lee, S., Umegaki, H., Kuzuya, M., & Suzuki, T. (2015). Effects of Mild Cognitive Impairment on the Development of Fear of Falling in Older Adults: A Prospective Cohort Study. *Journal of the American Medical Directors Association*, *16*(12), 1104.E9-1104.E13. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2015.09.014>
- Uemura, K., Shimada, H., Makizako, H., Yoshida, D., Doi, T., Tsutsumimoto, K., & Suzuki, T. (2012). A Lower Prevalence of Self-Reported Fear of Falling Is Associated with Memory Decline among Older Adults. *Gerontology*, *58*(5), 413-418. <https://doi.org/10.1159/000336988>
- United Nations (2017). World Population Ageing – Highlights. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division.
- van Alphen, H. J., Hortobágyi, T., & van Heuvelen, M. J. (2016). Barriers, motivators, and facilitators of physical activity in dementia patients: A systematic review. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, *66*, 109-118. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2016.05.008>

- van Alphen, H. J., Volkens, K. M., Blankevoort, C. G., Scherder, E. J., Hortobágyi, T., & van Heuvelen, M. J. (2016). Older Adults with Dementia Are Sedentary for Most of the Day. *PLoS One*, *11*(3), e0152457. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152457>
- van der Wardt, V., Hancox, J., Pollock, K., Logan, P., Vedhara, K., & Harwood, R. H. (2020). Physical activity engagement strategies in people with mild cognitive impairment or dementia – a focus group study. *Aging & Mental Health*, *24*(8), 1326-1333. <https://doi.org/10.1080/13607863.2019.1590308>
- van Iersel, M. B., Hoefsloot, W., Munneke, M., Bloem, B. R., & Olde Rikkert, M. G. (2004). Systematic review of quantitative clinical gait analysis in patients with dementia. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, *37*(1), 27-32. <https://doi.org/10.1007/s00391-004-0176-7>
- van Lummel, R. C., Walgaard, S., Pijnappels, M., Elders, P. J., Garcia-Aymerich, J., van Dieën, J. H., & Beek, P. J. (2015). Physical Performance and Physical Activity in Older Adults: Associated but Separate Domains of Physical Function in Old Age. *PLoS One*, *10*(12), e0144048. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144048>
- van Schooten, K. S., Pijnappels, M., Rispens, S. M., Elders, P. J., Lips, P., Daffertshofer, A., Beek, P. J., & van Dieën, J. H. (2016). Daily-Life Gait Quality as Predictor of Falls in Older People: A 1-Year Prospective Cohort Study. *PLoS One*, *11*(7), e0158623. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0158623>
- van Schooten, K. S., Pijnappels, M., Rispens, S. M., Elders, P. J., Lips, P., & van Dieën, J. H. (2015). Ambulatory fall-risk assessment: amount and quality of daily-life gait predict falls in older adults. *The Journals of Gerontology: Series A*, *70*(5), 608-615. <https://doi.org/10.1093/gerona/glu225>
- van Schooten, K. S., Rispens, S. M., Elders, P. J., Lips, P., van Dieën, J. H., & Pijnappels, M. (2015). Assessing physical activity in older adults: required days of trunk accelerometer measurements for reliable estimation. *Journal of Aging and Physical Activity*, *23*(1), 9-17. <https://doi.org/10.1123/japa.2013-0103>
- Vasunilashorn, S., Coppin, A. K., Patel, K. V., Lauretani, F., Ferrucci, L., Bandinelli, S., & Guralnik, J. M. (2009). Use of the Short Physical Performance Battery Score to predict loss of ability to walk 400 meters: analysis from the InCHIANTI study. *The Journals of Gerontology: Series A*, *64*(2), 223-229. <https://doi.org/10.1093/gerona/gln022>
- Vergheze, J., Lipton, R. B., Hall, C. B., Kuslansky, G., Katz, M. J., & Buschke, H. (2002). Abnormality of Gait as a Predictor of Non-Alzheimer's Dementia. *New England Journal of Medicine*, *347*(22), 1761-1768. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa020441>
- Verma, S. K., Willetts, J. L., Corns, H. L., Marucci-Wellman, H. R., Lombardi, D. A., & Courtney, T. K. (2016). Falls and Fall-Related Injuries among Community-Dwelling Adults in the United States. *PLoS One*, *11*(3), e0150939. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150939>
- Veronese, N., Bolzetta, F., Toffanello, E. D., Zambon, S., De Rui, M., Perissinotto, E., Coin, A., Corti, M. C., Baggio, G., Crepaldi, G., Sergi, G., & Manzato, E. (2014). Association between Short Physical Performance Battery and falls in older people: the Progetto Veneto Anziani Study. *Rejuvenation Research*, *17*(3), 276-284. <https://doi.org/10.1089/rej.2013.1491>
- Visschedijk, J., Caljouw, M., Bakkers, E., van Balen, R., & Achterberg, W. (2015). Longitudinal follow-up study on fear of falling during and after rehabilitation in skilled nursing facilities. *BMC Geriatrics*, *15*(1), 161. <https://doi.org/10.1186/s12877-015-0158-1>
- Visschedijk, J., van Balen, R., Hertogh, C., & Achterberg, W. (2013). Fear of Falling in Patients With Hip Fractures: Prevalence and Related Psychological Factors. *Journal of the American Medical Directors Association*, *14*(3), 218-220. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2012.10.013>

- Vochteloo, A. J., Moerman, S., Tuinebreijer, W. E., Maier, A. B., de Vries, M. R., Bloem, R. M., Nelissen, R. G., & Pilot, P. (2013). More than half of hip fracture patients do not regain mobility in the first postoperative year. *Geriatrics & Gerontology International*, *13*(2), 334-341. <https://doi.org/10.1111/j.1447-0594.2012.00904.x>
- Volpato, S., Cavalieri, M., Sioulis, F., Guerra, G., Maraldi, C., Zuliani, G., Fellin, R., & Guralnik, J. M. (2011). Predictive value of the Short Physical Performance Battery following hospitalization in older patients. *The Journals of Gerontology: Series A*, *66*(1), 89-96. <https://doi.org/10.1093/gerona/glq167>
- Voorrips, L. E., Ravelli, A. C., Dongelmans, P. C., Deurenberg, P., & Van Staveren, W. A. (1991). A physical activity questionnaire for the elderly. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *23*(8), 974-979.
- Vreugdenhil, A., Cannell, J., Davies, A., & Razay, G. (2012). A community-based exercise programme to improve functional ability in people with Alzheimer's disease: a randomized controlled trial. *Scandinavian Journal of Caring Sciences*, *26*(1), 12-19. <https://doi.org/10.1111/j.1471-6712.2011.00895.x>
- Wang, H.-K., Hung, C.-M., Lin, S.-H., Tai, Y.-C., Lu, K., Liliang, P.-C., Lin, C.-W., Lee, Y.-C., Fang, P.-H., Chang, L.-C., & Li, Y.-C. (2014). Increased risk of hip fractures in patients with dementia: a nationwide population-based study. *BMC Neurology*, *14*(1), 175. <https://doi.org/10.1186/s12883-014-0175-2>
- Ware, J. E., Kosinski, M., & Keller, S. D. (1996). A 12-Item Short-Form Health Survey: Construction of Scales and Preliminary Tests of Reliability and Validity. *Medical Care*, *34*(3), 220-233.
- Warms, C. (2006). Physical activity measurement in persons with chronic and disabling conditions: methods, strategies, and issues. *Family & Community Health*, *29*(1), 78-88. <https://doi.org/10.1097/00003727-200601001-00012>
- Watts, A., Walters, R. W., Hoffman, L., & Templin, J. (2016). Intra-Individual Variability of Physical Activity in Older Adults With and Without Mild Alzheimer's Disease. *PLoS One*, *11*(4), e0153898. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153898>
- Watts, A. S., Mortby, M. E., & Burns, J. M. (2018). Depressive symptoms as a barrier to engagement in physical activity in older adults with and without Alzheimer's disease. *PLoS One*, *13*(12), e0208581. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208581>
- Weiss, A., Brozgol, M., Dorfman, M., Herman, T., Shema, S., Giladi, N., & Hausdorff, J. M. (2013). Does the Evaluation of Gait Quality During Daily Life Provide Insight Into Fall Risk? A Novel Approach Using 3-Day Accelerometer Recordings. *Neurorehabilitation and Neural Repair*, *27*(8), 742-752. <https://doi.org/10.1177/1545968313491004>
- Wellman, N. S., Kamp, B., Kirk-Sanchez, N. J., & Johnson, P. M. (2007). Eat better & move more: a community-based program designed to improve diets and increase physical activity among older Americans. *American Journal of Public Health*, *97*(4), 710-717. <https://doi.org/10.2105/ajph.2006.090522>
- Wen, C. P., Wai, J. P., Tsai, M. K., Yang, Y. C., Cheng, T. Y., Lee, M.-C., Chan, H. T., Tsao, C. K., Tsai, S. P., & Wu, X. (2011). Minimum amount of physical activity for reduced mortality and extended life expectancy: a prospective cohort study. *The Lancet*, *378*(9798), 1244-1253. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(11\)60749-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(11)60749-6)
- Weyerer, S., & Bickel, H. (2007). *Epidemiologie psychischer Erkrankungen im höheren Lebensalter*. Kohlhammer, Stuttgart.

- Winblad, B., Palmer, K., Kivipelto, M., Jelic, V., Fratiglioni, L., Wahlund, L. O., Nordberg, A., Bäckman, L., Albert, M., Almkvist, O., Arai, H., Basun, H., Blennow, K., de Leon, M., DeCarli, C., Erkinjuntti, T., Giacobini, E., Graff, C., Hardy, J., Jack, C., Jorm, A., Ritchie, K., van Duijn, C., Visser, P., & Petersen, R. C. (2004). Mild cognitive impairment--beyond controversies, towards a consensus: report of the International Working Group on Mild Cognitive Impairment. *Journal of Internal Medicine*, *256*(3), 240-246. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2796.2004.01380.x>
- World Health Organization (2001). International Classification of Functioning, Disability and Health (ICF). World Health Organization, Geneva.
- World Health Organization (2002). Active Ageing A Policy Framework. Noncommunicable Diseases and Mental Health Cluster, Noncommunicable Disease Prevention and Health Promotion Department, Ageing and Life Course. World Health Organization, Geneva.
- World Health Organization (2007). WHO Global Report on Falls Prevention in Older Age. Ageing and Life Course, Family and Community Health. World Health Organization, Geneva.
- World Health Organization (2009). Global health risks: mortality and burden of disease attributable to selected major risks. World Health Organization, Geneva.
- World Health Organization (2015). World report on ageing and health. World Health Organization, Geneva.
- World Health Organization (2017). Integrated care for older people: guidelines on community-level interventions to manage declines in intrinsic capacity. World Health Organization, Geneva.
- World Health Organization (2020a, Dec 11). *Dementia*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/dementia>
- World Health Organization (2020b, Dec 11). *Physical activity*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/physical-activity>
- World Health Organization (2020c). WHO guidelines on physical activity and sedentary behaviour. World Health Organization, Geneva.
- Xie, H., Wang, Y., Tao, S., Huang, S., Zhang, C., & Lv, Z. (2019). Wearable Sensor-Based Daily Life Walking Assessment of Gait for Distinguishing Individuals With Amnesic Mild Cognitive Impairment. *Frontiers in Aging Neuroscience*, *11*, 285. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fnagi.2019.00285>
- Yardley, L., & Smith, H. (2002). A prospective study of the relationship between feared consequences of falling and avoidance of activity in community-living older people. *The Gerontologist*, *42*(1), 17-23. <https://doi.org/10.1093/geront/42.1.17>
- Yesavage, J. A., Brink, T. L., Rose, T. L., Lum, O., Huang, V., Adey, M., & Leirer, V. O. (1982). Development and validation of a geriatric depression screening scale: A preliminary report. *Journal of Psychiatric Research*, *17*(1), 37-49. [https://doi.org/10.1016/0022-3956\(82\)90033-4](https://doi.org/10.1016/0022-3956(82)90033-4)
- Yoon, D. H., Lee, J.-Y., & Song, W. (2018). Effects of Resistance Exercise Training on Cognitive Function and Physical Performance in Cognitive Frailty: A Randomized Controlled Trial. *The Journal of Nutrition, Health & Aging*, *22*(8), 944-951. <https://doi.org/10.1007/s12603-018-1090-9>
- Yu, F., Leon, A. S., Bliss, D., Dysken, M., Savik, K., & Wyman, J. F. (2011). Aerobic training for older men with Alzheimer's disease: individual examples of progression. *Research in Gerontological Nursing*, *4*(4), 243-250. <https://doi.org/10.3928/19404921-20110303-01>

- Zhang, W., Low, L. F., Schwenk, M., Mills, N., Gwynn, J. D., & Clemson, L. (2019). Review of Gait, Cognition, and Fall Risks with Implications for Fall Prevention in Older Adults with Dementia. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 48(1-2), 17-29. <https://doi.org/10.1159/000504340>
- Zieschang, T., Schwenk, M., Oster, P., & Hauer, K. (2013). Sustainability of motor training effects in older people with dementia. *Journal of Alzheimer's Disease*, 34(1), 191-202. <https://doi.org/10.3233/jad-120814>
- Zubala, A., MacGillivray, S., Frost, H., Kroll, T., Skelton, D. A., Gavine, A., Gray, N. M., Toma, M., & Morris, J. (2017). Promotion of physical activity interventions for community dwelling older adults: A systematic review of reviews. *PLoS One*, 12(7), e0180902. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180902>

Kongressbeiträge und sonstige Publikationen

Wissenschaftliche Vorträge/Posterpräsentationen

- Abel, B.** (Vortrag): *Evaluation der unterschiedlichen Beanspruchung der kniegelenksumgebenden Muskulatur durch sensomotorische Trainingsgeräte im Einbeinstand.* 8. Tag der Wissenschaft, IFK, Bochum, 15.06.2012.
- Abel, B.** (Posterpräsentation): *Eine multifaktorielle Intervention für kognitiv eingeschränkte Patienten mit Hüft-Beckenfrakturen: Studienprotokoll einer randomisiert-kontrollierten Studie.* Gerontologie und Geriatrie Jahreskongress 2016, Stuttgart, 07.-10.09.2016.
- Abel, B.** (Vortrag): *Die Tag-zu-Tag-Variabilität der körperlichen Aktivität bei hochbetagten Menschen mit Demenz.* Jahreskongress der Deutschen Gesellschaft für Geriatrie (DGG) e.V. 2017, Frankfurt/Main, 28.-30.09.2017.
- Abel, B.** (Vortrag): *Motorische Leistungsfähigkeit im Übergang zwischen stationärer geriatrischer Rehabilitation und dem häuslichen Umfeld bei kognitiv eingeschränkten Patienten mit Hüft- oder Beckenfraktur.* Gemeinsamer Jahreskongress der DGGG und DGG 2018, Köln, 06.-08.09.2018.
- Abel, B.** (Posterpräsentation): *Motor performance in the transition between inpatient geriatric rehabilitation and home environment in cognitively impaired patients after hip or pelvic fracture.* 14. International Congress of the European Geriatric Medicine Society 2018, Berlin, 10.-12.10.2018.
- Abel, B.** (Vortrag): *Effekte eines poststationären Heimtrainings auf qualitativ-quantitative Parameter der motorischen Leistungsfähigkeit bei kognitiv eingeschränkten Patient_innen mit Hüft- oder Beckenfraktur.* Jahreskongress der Deutschen Gesellschaft für Geriatrie (DGG) e.V. 2019, Frankfurt/Main, 05.-07.09.2019.

Abstractpublikationen

- Abel, B.,** Kopp, R., Pfeiffer, K., Lacroix, A., Eckert, T., Groß, M., Dautel, A., Karle, U., Hendlmeier, I., Schäufele, M., & Hauer, K. (2016). Eine multifaktorielle Intervention für kognitiv eingeschränkte Patienten mit Hüft-Beckenfrakturen: Studienprotokoll einer randomisiert-kontrollierten Studie. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie* 49(Suppl. 1): 108. <https://doi.org/10.1007/s00391-016-1123-0>
- Pomiersky, R., Werner, C., **Abel, B.**, & Hauer, K. (2017). Steigerung körperlicher Aktivität bei geriatrischen Patienten mit Demenz – eine randomisiert-kontrollierte Studie. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie* 50(Suppl. 3): 123. <https://doi.org/10.1007/s00391-017-1301-8>
- Abel, B.**, Werner, C., Pomiersky, R., & Hauer, K. (2017). Die Tag-zu-Tag-Variabilität der körperlichen Aktivität bei hochbetagten Menschen mit Demenz. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie* 50(Suppl. 3): 123. <https://doi.org/10.1007/s00391-017-1301-8>
- Hendlmeier, I., Groß, M., Gugenhan, J., Lacroix, A., **Abel, B.**, Hauer, K., Pfeiffer, K., Becker, C., & Schäufele, M. (2018). A home-based exercise program for cognitively impaired older adults after hip-pelvis fracture guided by volunteers. *Book of Abstracts - 19th Congress of the Section of Epidemiology and Social Psychiatry P-14*:108.
- Pomiersky, R., **Abel, B.**, Dautel, A., Schäufele, M., Pfeiffer, K., Bauer, J. M., & Hauer, K. (2018). Schmerz als wichtigste Determinante der sturzassozierten Selbstwirksamkeit nach Hüft-/Beckenfraktur in der geriatrischen Rehabilitation. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie* 51(Suppl. 1): 16. <https://doi.org/10.1007/s00391-018-1435-3>

- Abel, B.**, Pomiersky, R., Bauer, J. M., Schäufele, M., Pfeiffer, K., & Hauer, K. (2018). Motorische Leistungsfähigkeit im Übergang zwischen stationärer geriatrischer Rehabilitation und dem häuslichen Umfeld bei kognitiv eingeschränkten Patienten mit Hüft- oder Beckenfraktur. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie* 51(Suppl. 1): 76. <https://doi.org/10.1007/s00391-018-1435-3>
- Bongartz, M., Ullrich, P., Eckert, T., Werner, C., Kiss, R., **Abel, B.**, Bauer, J. M., & Hauer, K. (2018). Zusammenhänge zwischen motorischer Leistungsfähigkeit und körperlicher Alltagsaktivität bei älteren Personen mit kognitiver Einschränkung nach geriatrischer Rehabilitation. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie* 51(Suppl. 1): 128. <https://doi.org/10.1007/s00391-018-1435-3>
- Abel, B.**, Pomiersky, R., Bauer, J. M., Schäufele, M., Pfeiffer, K., & Hauer, K. (2018). Motor performance in the transition between inpatient geriatric rehabilitation and home environment in cognitively impaired patients after hip or pelvic fracture. *European Geriatric Medicine* 9(Suppl. 1): 139. <https://doi.org/10.1007/s41999-018-0097-4>
- Pomiersky, R., **Abel, B.**, Dautel, A., Schäufele, M., Pfeiffer, K., Bauer, J. M., & Hauer, K. (2018). Pain as the main determinant of fall-associated self-efficacy after hip/pelvic fracture in geriatric rehabilitation. *European Geriatric Medicine* 9(Suppl. 1): 140. <https://doi.org/10.1007/s41999-018-0097-4>
- Bongartz, M., Ullrich, P., Eckert, T., Werner, C., Kiss, R., **Abel, B.**, Melone, S., Bauer, J. M., & Hauer, K. (2018). Associations of motor performance and qualitative/quantitative physical activity behavior in older persons with cognitive impairment after discharge from geriatric rehabilitation. *European Geriatric Medicine* 9(Suppl. 1): 144. <https://doi.org/10.1007/s41999-018-0097-4>
- Abel, B.**, Eckert, T., Pomiersky, R., Schäufele, M., Pfeiffer, K., Büchele, G., & Hauer, K. (2019). Effekte eines poststationären Heimtrainings auf qualitativ-quantitative Parameter der motorischen Leistungsfähigkeit bei kognitiv eingeschränkten Patient_innen mit Hüft- oder Beckenfraktur. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie* 52(Suppl. 2): 123. <https://doi.org/10.1007/s00391-019-01592-6>

Wissenschaftliche Publikationen

- Volke, A. & **Abel, B.** (2012). Sensomotorische Trainingsgeräte im Einbeinstand. *Physiotherapie* 05/12:17-22.
- Dautel, A., Eckert, T., Gross, M., Hauer, K., Schäufele, M., Lacroix, A., Hendlmeier, I., **Abel, B.**, Pomiersky, R., Gugenhan, J., Büchele, G., Reber, K. C., Becker, C., & Pfeiffer, K. (2019). Multifactorial intervention for hip and pelvic fracture patients with mild to moderate cognitive impairment: study protocol of a dual-centre randomised controlled trial (OF-CARE). *BMC Geriatrics*, 19(1), 125. <https://doi.org/10.1186/s12877-019-1133-z>
- Eckert, T., Bongartz, M., Ullrich, P., **Abel, B.**, Werner, C., Kiss, R., & Hauer, K. (2020). Promoting physical activity in geriatric patients with cognitive impairment after discharge from ward-rehabilitation: a feasibility study. *European Journal of Ageing*, 17(3), 309–320. <https://doi.org/10.1007/s10433-020-00555-w>
- Ullrich, P., Werner, C., Bongartz, M., Eckert, T., **Abel, B.**, Schönstein, A., Kiss, R., & Hauer, K. (2020). Increasing Life-Space Mobility in community-dwelling older persons with cognitive impairment following rehabilitation: A randomized controlled trial. *The Journals of Gerontology. Series A, Biological Sciences and Medical Sciences*, glaa254. Advance online publication. <https://doi.org/10.1093/gerona/glaa254>

- Ullrich, P., **Abel, B.**, Bauer, J. M., & Hauer, K. (2021). Validation of the Life-Space Assessment (LSA-CI) in multi-morbid, older persons without cognitive impairment. *European geriatric medicine*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1007/s41999-020-00441-9>
- Eckert, T., Wronski, P., Bongartz, M., Ullrich, P., **Abel, B.**, Kiss, R., Wensing, M., Koetsenruijter, J., & Hauer, K. (2021). Cost-Effectiveness and Cost-Utility of a Home-Based Exercise Program in Geriatric Patients with Cognitive Impairment. *Gerontology*, 1–13. Advance online publication. <https://doi.org/10.1159/000512748>
- Hauer, K., Ullrich, P., Heldmann, P., Bauknecht, L., Hummel, S., **Abel, B.**, Bauer, J. M., Lamb, S. E., & Werner, C. (2021). Psychometric Properties of the proxy-reported Life-Space Assessment in Institutionalized Settings (LSA-IS-proxy) for Older Persons with and without Cognitive Impairment. (accepted for publication in *International Journal of Environmental Research and Public Health*).

Lehr- und Gutachtertätigkeiten

Akademische Lehrtätigkeit

Benzinger, P., Trumppheller, A., Hoch, J., & **Abel, B.** (2020, Oktober). *Einführungsseminar Geriatrie*. HeiCuMed (Ausbildungscurriculum für Medizinstudierende). Das Geriatrie Assessment. Anleitung zur Durchführung kognitiver Tests (praktische Übungen).

Abel, B. (2020, Dezember). *Einführung in digitale motorische Assessments in der Geriatrie*. HeiCuMed Wahlfachtrack "Digitale Medizin": Digitale Medizin in der Geriatrie (Vortrag).

Peer-Review Tätigkeiten:

- Journal of Aging and Physical Activity
- Disability and Rehabilitation

Forschungspreis

IFK-Wissenschaftspreis 2012 des Bundesverbands selbstständiger Physiotherapeuten - IFK e. V. (3. Platz): Preis für die Bachelorarbeit im Jahr 2011. Thema: Evaluation der unterschiedlichen Beanspruchung der kniegelenksumgebenden Muskulatur durch sensomotorische Trainingsgeräte im Einbeinstand. Hochschule Fresenius Idstein.

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Klaus Hauer, der mich durch sein Engagement stets dazu gebracht hat selbstkritisch zu sein und das Letzte aus mir herauszuholen. Ich danke ihm nicht nur sehr herzlich für die intensive Betreuung und wissenschaftliche Ausbildung, die ich in den zurückliegenden Jahren erfahren durfte, sondern auch für sein Vertrauen, das er mir im Rahmen der mir übertragenen Aufgaben entgegenbrachte.

Ein herzliches Dankeschön gilt auch Herrn Prof. Dr. Gerhard Huber, der diese Dissertation noch über seinen wohlverdienten Ruhestand hinaus als Gutachter betreut hat und bei Fragen oder Unklarheiten beratend zur Seite stand.

Ebenso bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr. Jürgen M. Bauer für die Weiterbeschäftigung im Forschungsprojekt PromeTheus und die damit verbundene finanzielle Absicherung bis zur Fertigstellung dieser Dissertation.

Weitere wichtige Faktoren auf dem Weg zu dieser Dissertation waren meine (ehemaligen) Kolleginnen und Kollegen aus dem Bethanien Krankenhaus. Neben stets konstruktiver und motivierender Zusammenarbeit haben wir sowohl Erfolge als auch Rückschläge gemeinsam aufgearbeitet und uns gegenseitig unterstützt. Einige dieser Kollegen waren mir darüber hinaus auch bei der kritischen inhaltlichen Überprüfung und dem Korrekturlesen dieser Dissertation behilflich. Vielen Dank dafür.

Bei den Kolleginnen und Kollegen des Teilprojekts 3 im Forschungskonsortium PRO-FinD2 möchte ich mich für die Zusammenarbeit in unserer bizenrischen, klinischen Studie bedanken, deren Teilergebnisse einen Aspekt in dieser Dissertation darstellen. Des Weiteren gilt mein Dank selbstverständlich auch allen Studienteilnehmenden und deren Angehörigen, ohne die solche Forschungsprojekte nicht möglich wären.

Last but not least, bedanke ich mich von ganzem Herzen bei meiner Familie und meinen Freunden, die mich anhaltend unterstützt haben. Der größte Dank gilt dabei meinen Eltern, ohne die ich den gesamten Weg meiner schulischen und akademischen Ausbildung nie hätte gehen können und die mich bei all meinen Vorhaben immer umfangreich gefördert haben. Außerdem möchte ich mich sehr herzlich bei meiner Freundin bedanken, die mir uneingeschränkt und in jeder Situation Mut zusprach, obwohl die zurückliegende Zeit auch für sie nicht einfach war. Weiterer Dank gilt meiner Schwester und ihrer kleinen Familie, die stets ein offenes Ohr für mich hatten; meinen Omas, die zu Lebzeiten immer für mich dagewesen sind und von denen mich eine auf dem Weg zur Dissertation leider verlassen musste und den Eltern und Geschwistern meiner Freundin, die sich stets nach meinem Befinden erkundigt haben. Abschließend gilt den kleinsten Personen in meiner Familie ein ganz spezieller Dank. Matilda, Rike, Emil, Hannes und Lina Marie haben es mir immer wieder ermöglicht, gedanklich Abstand vom Arbeitsalltag zu nehmen und dadurch neue Kraft für die bevorstehenden Aufgaben und Herausforderungen zu schöpfen. Vielen Dank!

Anhang A: Erklärung gemäß § 8 Abs. (1) c) und d) der Promotionsordnung der Fakultät



UNIVERSITÄT
HEIDELBERG
ZUKUNFT
SEIT 1386

FAKULTÄT FÜR VERHALTENS-
UND EMPIRISCHE KULTURWISSENSCHAFTEN

Promotionsausschuss der Fakultät für Verhaltens- und Empirische Kulturwissenschaften der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg
Doctoral Committee of the Faculty of Behavioural and Cultural Studies of Heidelberg University

Erklärung gemäß § 8 (1) c) der Promotionsordnung der Universität Heidelberg für die Fakultät für Verhaltens- und Empirische Kulturwissenschaften
Declaration in accordance to § 8 (1) c) of the doctoral degree regulation of Heidelberg University, Faculty of Behavioural and Cultural Studies

Ich erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertation selbstständig angefertigt, nur die angegebenen Hilfsmittel benutzt und die Zitate gekennzeichnet habe.
I declare that I have made the submitted dissertation independently, using only the specified tools and have correctly marked all quotations.

Erklärung gemäß § 8 (1) d) der Promotionsordnung der Universität Heidelberg für die Fakultät für Verhaltens- und Empirische Kulturwissenschaften
Declaration in accordance to § 8 (1) d) of the doctoral degree regulation of Heidelberg University, Faculty of Behavioural and Cultural Studies

Ich erkläre, dass ich die vorgelegte Dissertation in dieser oder einer anderen Form nicht anderweitig als Prüfungsarbeit verwendet oder einer anderen Fakultät als Dissertation vorgelegt habe.
I declare that I did not use the submitted dissertation in this or any other form as an examination paper until now and that I did not submit it in another faculty.

Vorname Nachname
First name Family name Bastian Abel

Datum, Unterschrift
Date, Signature 07.04.2021, *B. Abel*

Anhang B: Manuskripte zur publikationsbasierten Dissertation

Manuskript I:

Pomiersky, R., **Abel, B.**, Werner, C., Lacroix, A., Pfeiffer, K., Schäufele, M., & Hauer, K. (2020). Increasing Physical Activity in Persons With Dementia: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Aging and Physical Activity*, 28(4), 588-597. <https://doi.org/10.1123/japa.2019-0183>

Manuskript II:

Abel, B., Pomiersky, R., Werner, C., Lacroix, A., Schäufele, M., & Hauer, K. (2019). Day-to-day variability of multiple sensor-based physical activity parameters in older persons with dementia. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 85, 103911. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2019.103911>

Manuskript III:

Abel, B., Eckert, T., Pomiersky, R., Dautel, A., Schäufele, M., Pfeiffer, K., Hauer, K., & the PROFinD2 Study Group (2020). Transition from inpatient rehabilitation to the home environment in cognitively impaired older persons after hip fracture. *Journal of Rehabilitation Medicine* 52(11), jrm00130. <https://doi.org/10.2340/16501977-2757>

Manuskript IV:

Dautel, A., Gross, M., **Abel, B.**, Pomiersky, R., Eckert, T., Hauer, K., Schäufele, M., Büchele, G., Becker, C., & Pfeiffer, K. (2021). Psychometric properties of the German version of the Fear of Falling Questionnaire-revised (FFQ-R) in a sample of older adults after hip or pelvic fracture. *Aging Clinical and Experimental Research* 33(2), 329–337. <https://doi.org/10.1007/s40520-020-01657-2>

Manuskript V:

Abel, B., Bongartz, M., Eckert, T., Ullrich, P., Beurskens, R., Mellone, S., Bauer, J.M., Lamb, S.E. & Hauer, K. (2020). Will We Do If We Can? Habitual Qualitative and Quantitative Physical Activity in Multi-Morbid, Older Persons with Cognitive Impairment. *Sensors* 20(24), 7208. <https://doi.org/10.3390/s20247208>

Manuskript I:

Pomiersky, R., **Abel, B.**, Werner, C., Lacroix, A., Pfeiffer, K., Schäufele, M., & Hauer, K. (2020). Increasing Physical Activity in Persons With Dementia: A Randomized Controlled Trial. *Journal of Aging and Physical Activity*, 28(4), 588-597.

The final publication is available at <https://doi.org/10.1123/japa.2019-0183>

Copyright © 2019 Human Kinetics, Inc.

Accepted author manuscript version reprinted, by permission, from Journal of Aging and Physical Activity, 2020, 28 (4): 588-597, <https://doi.org/10.1123/japa.2019-0183>. © Human Kinetics, Inc.

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6

Increasing Physical Activity in Persons with Dementia: A Randomized Controlled Trial

For Peer Review

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14

Abstract

This study investigated the effectivity and sustainability of a physical activity (PA) promotion- and motor training program and analyzed predictors for PA changes in persons with dementia (PwD). A total of 122 participants with mild-to-moderate dementia were randomized to the intervention program designed for PwD (intervention group [IG]) or a motor placebo activity (control group [CG]). Primary outcome was the Physical Activity Questionnaire for the Elderly assessed at baseline, after the 3-month intervention, and at a 3-month follow-up. The PA promotion program significantly increased PA in the IG compared to the CG during the training intervention phase. Both groups showed an increase in habitual PA when intervention-induced activities were excluded. PA was sustainably increased in both groups at follow-up. Low baseline PA was predictive for increased PA after the intervention and low baseline PA, high motor performance, and low comorbidity for increased PA at follow-up.

Keywords: physical activity promotion; exercise; cognitive impairment; predictor

1 own abilities. Along with improvements in motor performance, increasing self-efficacy might
2 therefore represent a valuable target to increase the motivation for being active (Denkinger,
3 Lukas, Nikolaus, & Hauer, 2015).

4 The general evidence on factors potentially influencing PA behavior as potential
5 intervention targets in multi-morbid persons with dementia is scarce. A previous systematic
6 review (Stubbs et al., 2014) identified ADL function, physical performance, or psychological
7 status as factors associated with PA behavior in patients with dementia, but not age and
8 global cognitive function. However, identified factors were not consistent across included
9 trials and were solely based on cross-sectional research, as longitudinal studies (Stubbs et al.,
10 2014) and evidence from interventional studies are lacking.

11 Previous exercise intervention studies in persons with dementia mainly focused on
12 effects on typical symptoms of dementia such as cognitive decline, ADL impairments, and
13 behavioral and psychiatric symptoms (Forbes et al., 2015; Groot et al., 2016), or investigated
14 adherence to the exercise interventions (Teri, Logsdon, & McCurry, 2008), but hardly
15 examined changes in PA behavior as a primary outcome.

16 Such behavioral changes in PA are very hard to achieve in vulnerable persons with
17 dementia most affected with PA restrictions, accumulating relevant risk factors for permanent
18 inactivity leading to restricted evidence on the effectivity of PA promotion programs.
19 Systematic reviews on interventional approaches in nursing home settings (Hoffmann,
20 Kaduszkiewicz, Glaeske, van den Bussche, & Koller, 2014, Jansen, Claßen, Wahl, & Hauer,
21 2015) and community-dwelling settings (Olanrewaju, Kelly, Cowan, Brayne, & Lafortune,
22 2016) partly reported an increase in PA, mainly as a secondary study endpoint of their
23 interventions. Supervised, group-based interventions, specifically adjusted to the target group
24 and combining exercise with behavioral or motivational strategies, seemed to induce larger
25 intervention effects on PA compared to non-supervised, individual, unadjusted, mere exercise

1 programs. Follow-up data for nursing home residents (Jansen et al., 2015) and community-
2 dwellers (Olanrewaju et al., 2016) have hardly been published. Unfortunately, these reviews
3 did not allow for a specific evaluation of effects in persons with cognitive impairment or
4 dementia, as participants' cognitive status was not documented or mixed populations were
5 included. Also a detailed documentation by a sub-classification of PA (e.g. total PA vs.
6 sportive, leisure, household, professional PA) was not provided, while assessment methods
7 were partly not adequate or validated for older impaired persons with and without CI.

8 Randomized controlled trials (RCT) including solely study participants with dementia
9 (Eggermont, Blankevoort, & Scherder, 2010) or Alzheimer's disease (Suttanon et al., 2013)
10 showed that intervention approaches led to an adequate training adherence; however, these
11 programs did not significantly or sustainably enhance or even document PA behavior. A
12 recent pilot RCT including solely cognitively impaired older community-dwellers reported
13 that a home-based, supervised exercise program improved motor performance as well as PA
14 behavior, suggesting the potential positive impact of improved motor performance and
15 specified training supervision on PA in older persons with cognitive impairment (Hauer et al.,
16 2017).

17 Results of this and comparable studies raise unanswered questions whether PA
18 behavior can be increased during a successful motor training intervention, supported by a
19 dementia-specific approach to promote PA in multi-morbid, highly sedentary persons with CI
20 in the first place; which percentage of total habitual PA would be related to the training
21 interventions with a potential trade off effect to decrease remaining non-sportive activities;
22 whether effects would be sustainable over time; and whether predictors of success could be
23 identified.

1 Therefore, the aim of the present study was to investigate detailed effectivity and
2 sustainability of a dementia-specific PA promotion and training program and to identify
3 potential predictors of changes in PA behavior in persons with mild-to-moderate dementia.
4

5 **Methods**

6 **Study Design**

7 The study was designed as a double-blinded, randomized, placebo-controlled
8 intervention trial. Neither the participants nor the assessors were aware of the group identity.
9 The study was approved by the ethics committee of the Medical Faculty of the University of
10 XXXXXXXXXX and was conducted in accordance with the Declaration of Helsinki. Written
11 informed consent was obtained from all participants (or legal guardians of participants) prior
12 to study inclusion. The trial was registered at www.isrctn.com (ISRCTN XXXXXXXX).
13

14 **Study Population**

15 Participants were consecutively recruited from a geriatric hospital or from outpatient
16 nursing care services. Eligible participants were screened for cognitive impairment using the
17 Mini-Mental State Examination (MMSE; Folstein, Folstein, & McHugh, 1975).
18 Subsequently, eligible persons with MMSE scores of 17-26, indicating cognitive impairment,
19 underwent a further dementia diagnosis including clinical history, physical and neurological
20 examination, neuroimaging, laboratory tests, and neuropsychological testing. Only persons
21 who met the core criteria for all-cause dementia (McKhann et al., 1984) evaluated by a
22 geriatrician were included in the study. Further inclusion criteria were: age \geq 65 years, ability
23 to walk 10 meters without a walking aid, residence within 15 km of the study center, no
24 severe or uncontrolled neurological, cardiovascular, metabolic, or psychiatric disorders, and
25 written informed consent. Individuals meeting the inclusion criteria were randomly assigned

1 to the intervention group (IG) or the control group (CG) after baseline testing using an urn
2 design (Wei, 1977), with stratification according to location of recruitment (hospitalized vs.
3 other) and gender. A person unrelated to the study performed the randomization procedure.
4

5 **Intervention**

6 The PA promotion and training program of the IG included an exercise regimen of
7 progressive resistance and functional training in groups of four to six participants over three
8 months (two hours, twice a week) supervised by a qualified instructor experienced in training
9 with cognitively impaired persons, as described in detail elsewhere (Hüger et al., 2009). The
10 resistance training focused on exercises for functionally relevant muscle groups at a
11 submaximal intensity (70-80 % of one repetition maximum). As training progressed, the
12 weight was gradually increased to keep each participant within the individually targeted
13 range of intensity. The functional training aimed at basic ADL-related motor functions, such
14 as standing (static and dynamic postural control), walking, sitting down and standing up from
15 a chair, and climbing stairs. Functional exercises were progressed to more advanced levels by
16 including unstable surfaces (e.g. walking over foam mats) or dual-task exercises (e.g. walking
17 with additional cognitive tasks).

18 Participants of the CG met twice weekly for one hour in a supervised motor placebo
19 group training, including flexibility and stretching exercises, calisthenics, and other low-
20 intensity training with hand-held weights, and ball games while seated.

21 In both groups, a dementia-specific, patient-centered approach was used to mitigate
22 the specific limitations of this patient population. To meet the particular needs of the target
23 group, appropriate communication strategies were used, including speaking slowly and
24 concisely with simply-structured instructions repeated several times (Oddy, 1987). Tactile
25 support and use of mirror techniques supported the training progress, ensured correct

1 execution of movements, and facilitated a familiar, empathetic atmosphere in both study
2 groups. A person-centered approach was implemented, focusing on personhood, interpersonal
3 relationships, and experiences during intervention, rather than on the neuropathological
4 deficits (Dewing, 2008; Kitwood, 1990). To strengthen participants' self-efficacy, emotional
5 aspects such as an empathetic and respectful handling, as well as communication and
6 validation of achievements by the supervisor were considered, representing a behavioral
7 component. Further, peer group support by fellow training partners was envisaged. Training
8 gains were mirrored to the participants and a feedback for individual performance was given
9 with the reassurance that basic motor features have been well performed with positive
10 consequences for everyday life, especially in the IG.

11 In addition, to increase training adherence, to unburden caregivers, and to mitigate
12 mobility restrictions, a free transport service to and from training sessions at the study center
13 was provided for all participants as part of the dementia-specific, patient-centered approach.

15 **Measurements**

16 *Primary outcome variable.* PA, defined as the primary outcome of the present study,
17 was assessed by the interview-administered Physical Activity Questionnaire for the Elderly
18 (PAQE; Voorrips, Ravelli, Dongelmans, Deurenberg, & van Staveren, 1991) before
19 randomization (T1), at the end of the 3-month intervention period (T2), and after 3-month
20 follow-up without training (T3). Some modifications to the original PAQE were made to
21 meet the needs of persons with dementia. Considering the decreased memory and recall
22 capacities of this patient population, the assessment period was set to one week and a highly-
23 structured interview technique specifically developed and validated for PA assessment in
24 persons with dementia was implemented (Hauer et al., 2011). All interviews were
25 administered by a blinded person, who had been adequately trained in the interview

1 technique. Different scores for the total PA (PAQE total score), household, sport, and leisure
2 time activities can be obtained from the PAQE allowing a sub-classification of total PA. In
3 addition to these established PAQE scores, scores for the total PA and the sport activities
4 without including the intervention-induced activities were calculated at T2 to distinguish
5 between the specific effect of the intervention on PA and the more general effects on the
6 habitual PA behavior.

7 *Descriptive and predictor variables.* Demographic and clinical characteristics
8 including age, gender, multi-morbidity (Cumulative Illness Rating Scale [CIRS]; Parmelee,
9 Thuras, Katz, & Lawton, 1995), and functional status (Barthel Index; Mahoney & Barthel,
10 1965) were documented from patient charts or by standardized patient interview.
11 Psychological status was assessed for depression (Geriatric Depression Scale [GDS];
12 Yesavage et al., 1982), and fall-related self-efficacy (Falls Efficacy Scale-International [FES-
13 I]; Hauer et al., 2010). Physical performance was measured by the Performance Oriented
14 Motor Assessment (POMA; Tinetti, 1986) and the Timed Up and Go (TUG; Podsiadlo &
15 Richardson, 1991). Falls were observed over the entire study period using falls calendars and
16 weekly telephone interviews (Zieschang et al., 2017). Training adherence was documented by
17 training calendars at each training session.

18

19 **Statistical Analysis**

20 Descriptive data were presented as frequencies and percentages for categorical
21 variables, and mean values and standard deviations (*SD*) for continuous variables as
22 appropriate. Chi-square-tests (χ^2 ; for categorical variables) and unpaired t-tests or Mann-
23 Whitney-U-tests (for continuous variables) were used for baseline comparisons and for the
24 lost-to-follow-up analyses. Between-group changes over the intervention period (T1-T2) and
25 the total observation period (T1-T3) were analyzed by two-way analyses of variance for

1 repeated measures (repeated measures ANOVA, group * time, completer analysis). Effect
2 sizes were given as partial eta squared (η_p^2) and interpreted as small ($\eta_p^2 < 0.06$), medium
3 ($0.06 \geq \eta_p^2 < 0.14$), or large effects ($\eta_p^2 \geq 0.14$; Cohen, 1988).

4 Supplementary, to examine predictors of changes in PA within the IG during the
5 intervention period a first multiple linear regression model (stepwise forward, $p \leq 0.05$ to
6 enter) was evaluated. The dependent variable was calculated as the difference in PA (PAQE
7 total score) between T2 and T1. Independent variables were developed from literature and
8 represented as baseline values of years of age, gender, PAQE total score, MMSE, CIRS,
9 FES-I, GDS, POMA, and TUG. A second regression model (stepwise forward, $p \leq 0.05$ to
10 enter), elucidating predictors of changes in PA over the complete study period and the total
11 sample, was applied. The dependent variable represented the difference between the PAQE
12 total score T3 and T1. Independent variables were baseline values of group allocation, years
13 of age, gender, PAQE total score, MMSE, CIRS, FES-I, GDS, POMA, and TUG (criterion: p
14 ≤ 0.05 to enter the model). Both regression models were described by the corrected
15 coefficient of determination R^2 , which is a marker for the explained variance in the dependent
16 variable. Independent variables were classified by standardized regression coefficient beta (β)
17 with values between -1 and 1.

18 For all analyses, a two-sided p -value of $\leq .05$ indicated statistical significance.
19 Statistical analyses were performed on an intention-to-treat basis using SPSS Version 23 for
20 Windows (SPSS, Inc. Chicago, IL., USA).

21 Sample size was calculated according to Campbell, Julious & Altman (1995) for
22 increase in functional performance during the training intervention period (T1 vs. T2) using
23 results/effect sizes of a comparable previous study (Hauer et al., 2001). Based on a statistical
24 power of 80%, a significance level of .05, and an assumed dropout rate of 25%, a sample size
25 of 112 participants was calculated to verify a significant intervention effect.

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21

Results

Participant Characteristics

Overall, 1,961 persons were screened for eligibility whereof 1,708 did not meet the inclusion criteria and 131 refused participation. Those persons who gave consent ($N = 122$) were randomly assigned either to the IG ($n = 62$) or the CG ($n = 60$; see Figure 1) between June 2006 and September 2009. Fifteen (12.3 %) participants dropped out during the intervention and 23 (18.9 %) during the total study period. Dropouts were related to lack of motivation ($n = 7$), serious medical events ($n = 9$), or death ($n = 7$), and were evenly distributed between the study groups ($p = .357$). When dropouts ($n = 23$) were compared with those participants who stayed in the study ($n = 99$), no significant differences were found for any baseline variable, except for age (*mean* age completers vs. dropouts: 82.0 years, $SD = 6.5$ vs. 85.3 years, $SD = 7.3$, $p = .035$). Adherence to training was excellent and not significantly different between groups (IG: 93.9 %, CG: 92.7 %, $p = .708$). Treatment and assessments were safe and feasible; no serious adverse event occurred during the exercise program or testing. There were no significant differences between groups in the number of falls during the intervention period ($p = .345$) or during the entire observation period of six months ($p = .210$). All participants willing and able for testing were assessed according to the intention-to-treat paradigm. PA assessment was successful with a 95-97% response rate (including lost to follow-up cases) for those who stayed in the program and for each time point of assessment (T1-T3).

The study sample represented multi-morbid (CIRS score: 23.8, $SD = 3.3$), older persons (age: 82.6 years, $SD = 6.8$) with cognitive (MMSE score: 21.8, $SD = 3.0$) and motor impairment (TUG: 18.4 seconds, $SD = 14.4$, POMA score: 19.9, $SD = 5.1$) as well as a very low level of PA (PAQE total score: 4.8, $SD = 5.0$). No significant differences were found

1 between the IG and CG for any descriptive variable at baseline ($.281 \leq p \leq .914$), indicating
2 successful randomization of participants (see Table 1).

3

4 **Effects of the Intervention**

5 Total and sport-related PA significantly increased over the intervention period in the
6 IG compared to the CG ($p < .001$), with overall large effect sizes ($\eta_p^2 = 0.27 - 0.40$). No
7 significant between-group changes over the intervention period were observed for PAQE
8 total-score without intervention-induced activities, sub-score sport-activities without
9 intervention-induced activities, sub-score household-activities, and sub-score leisure time-
10 activities ($p = .880 - .965$, $\eta_p^2 < 0.001$). Both groups increased their activities over time in
11 the PAQE total-score without intervention-induced activities, sub-score sport-activities
12 without intervention-induced activities, sub-score household-activities ($p = .001 - .006$), with
13 medium effect sizes ($\eta_p^2 = 0.07 - 0.11$), and their PA including interventional impact (PAQE
14 total score and sub-score sport activities with very large effect sizes [$\eta_p^2 = 0.55-0.64$])
15 indicating effects in both groups for effects directly related to the intervention but also for
16 habitual PA. No time effect was found for the infrequent leisure time-activity ($p = .339$, η_p^2
17 $= 0.01$; see Table 2). Remarkably no trade off effect could be documented as PA increased in
18 all scores and both groups except only for a minimal reduction on leisure time activity in the
19 control group.

20 Fall-related self-efficacy as a measure for fear of falling conceptualized as self-
21 efficacy was significantly improved in both study groups (intervention period: mean
22 reduction -2.41 ± 7.16 ; $p = .001$; $\eta_p^2 = .104$; follow-up: -2.51 ± 7.88 ; $p = .002$; $\eta_p^2 = .093$)
23 resulting in significant time effects for both the intervention as well as the follow-up period.

24

25 **Sustainability of the Intervention**

1 Considering the complete observation period (T1 – T3), no significant sustainable
2 intervention-related effects for between-group differences were observed for the PAQE total
3 score ($p = .434$, $\eta_p^2 = 0.01$) and the three sub-scores for sport-, leisure time- and household-
4 activities ($p = .393 - .771$, $\eta_p^2 < 0.001 - 0.01$).

5 However, both study groups significantly increased PA over the complete study
6 period compared to baseline status as documented by significant time-effects for the PAQE
7 total score ($p < .001$) and the sub-scores for sport- and household-activities ($p < .001 - .004$),
8 with medium to large effect-sizes ($\eta_p^2 = 0.09 - 0.17$). The total sample did not significantly
9 modify their leisure time-activities over the complete study period ($p = .104$, $\eta_p^2 = 0.03$; see
10 Table 3).

12 **Predictors of Changes in PA**

13 In the first regression model, analyzing predictors for changes in PA during the
14 intervention period in the IG participants, the dependent variable represented the difference
15 between the PAQE total score after the intervention period (T2) and baseline (T1). The
16 baseline PAQE total score significantly predicted changes in PA, indicating that the most
17 sedentary participants at baseline showed the highest increase in PA. No other variable
18 significantly predicted modifications in PA during the intervention period. The applied model
19 explained the variance of change in PA for the IG by 16.3 % (corrected $R^2 = .163$, $p = .002$;
20 see Table 4).

21 In the second regression model, analyzing predictors of sustainable changes in PA, the
22 dependent variable represented the difference between the PAQE total score at the end of
23 follow-up (T3) and baseline (T1). Besides the low PAQE baseline score, low comorbidity as
24 well as a better physical performance significantly influenced the increase in PA in the total
25 sample. The other parameters were not significant and the applied model explained the

1 variance of change in PA between T3 and T1 by 19.1 % (corrected $R^2 = .191$, $p < .001$; see
2 Table 4).

3

4

Discussion

5 To the best of our knowledge, the presented study is the first RCT demonstrating that
6 a dementia-specific PA training and promotion program can be effective in increasing PA
7 behavior in persons with mild-to-moderate dementia. Our study results further indicated that
8 a dementia-specific, patient-centered intervention approach combined with a successful
9 training program can substantially increase PA behavior in this highly sedentary patient
10 population. Effects on habitual PA may not only depend on-the intensity of the exercise
11 regime, as the PA behavior after the intervention and total observation period was increased
12 in both groups. Most sedentary persons benefitted most from this intervention approach.

13

Effects of the Intervention

14 The present multi-faceted PA promotion program significantly increased total PA and
15 sport activities in the IG compared to the CG. Increase in total PA (Δ PAQE total score of 7.6
16 as achieved during the intervention phase including effects of the training program in the IG)
17 represent highly relevant changes being equivalent to 2.4-3.6 hours (depending on MET
18 level) of continuous walking in this sedentary, multi-morbid population with dementia.

19 By excluding training-induced activities in these two parameters, the significant
20 interaction-effect vanished, but significant time-effects for the total study sample remained
21 (PAQE total score without intervention: 1.26 in IG vs. 1.23 in CG) equivalent to about 30
22 minutes of continuous walking. On the one hand, these findings suggest that the exercise
23 regimen as one part of the supervised intervention in the IG was necessary for the tremendous
24 increase in the total PA and sport activities, which represented a considerable part of the total
25

1 PA in the study sample; on the other hand, the dementia-specific, patient-centered
2 intervention approach, which was implemented in both study groups and specifically
3 developed for the vulnerable, cognitively impaired target group, might have resulted in the
4 significant increase in total PA and sport activities beyond training-induced activities in the
5 total sample, although with a potentially lower impact. Study findings were comparable to
6 those reported in a recent study by Regan et al. (2018), which, to our knowledge has so far
7 been the only study showing intervention-induced PA promotion after a caregiver-supported
8 physical and mental exercise program in the target sample of persons with dementia.
9 However, in contrast to this study, our results were based on a RCT design and a self-
10 reported PA measurement with an interview technique specifically developed and validated
11 for use in persons with dementia (Hauer et al., 2011). The present intervention did not only
12 include physical exercise but also behavioral strategies. In addition, we clearly separated
13 intervention-induced activities from activities beyond the intervention in the analysis of our
14 intervention effects, which was also lacking in the study by Regan et al. (2018).

15 Similar intervention approaches in nursing home residents (Jansen et al., 2015) or
16 community-dwelling older persons with unspecified cognitive status (Olanrewaju et al.,
17 2016) had positive effects on PA behavior, emphasizing the potential benefit of a supervised,
18 multicomponent intervention including physical exercise and behavioral strategies on PA
19 promotion in older populations. The present study demonstrated for the first time that such an
20 intervention approach can be effective in PA promotion also in a highly vulnerable and
21 sedentary population such as persons with dementia.

22 In addition to the increase of total PA and sport activities (with and without training-
23 induced activities), household activities were also increased after the intervention period in
24 both study groups, while leisure-time activities were not reduced. Such a compensating
25 behavior in the non-training time in terms of a trade-off caused by fatigue or motivational

1 losses has been documented in a previous study in healthy elderly persons, in which non-
2 exercise PA was significantly reduced in training days compared to days without training
3 sessions (Meijer, Westerterp, & Verstappen, 1999). The absence of a trade-off in the present
4 study and the increase in sport activities beyond the intervention additionally indicates an
5 overall PA promotion as a result of specific intervention components (transport service,
6 group-based exercise regimen, supervision, dementia-specific communication), which all
7 participants, IG and CG participants, experienced. The transport service enabled them to
8 overcome deficits in functional status and spatial orientation, or motivational problems and
9 provided free access to the group-based training. The training supervision and the group-
10 based training approach facilitated the integration into a social group (Malthouse & Fox,
11 2014), comprising peers with similar motor and cognitive deficits which represented an
12 additional source of self-efficacy (McAuley et al., 2011). Training supervision, including a
13 respectful and dementia-specific communication strategy, might have mitigated the status of
14 apathy and lack of motivation, which are very common in persons with dementia (Lyketsos et
15 al., 2002; Mega et al., 1996) and are associated with loss of ADLs (Freds et al., 1992;
16 Lechowski et al., 2009). During the intervention, participants might have gained a positive,
17 stimulated attitude as reported in previous interventions in persons with dementia (Olsen et
18 al., 2015). In the present study, this attitude may have been transferred to an increase in
19 household activities as a type of ADLs and sport-activities beyond intervention, thus
20 supporting, along with leisure-time activities, the autonomy of participants.

21 Besides changes in PA, the significant intervention-induced improvements in key
22 motor performances, such as walking and sit-to-stand transfers reported previously (Hauer et
23 al., 2012), as well as the patient centered approach increased self-efficacy, as a marker of
24 individual's confidence in own abilities and a facilitator for PA (McAuley et al., 2011).

25 During the intervention period in the presented study, the supervisor gave supportive verbal

1 feedback especially when a demanding training situation was mastered, with the aim of
2 empowering self-efficacy (Olsen et al., 2015) in this group of persons who may hardly
3 receive positive feedback in everyday life.

4 Although we can't formally proof the assumption with the present study design, the
5 improved self-efficacy may have been an additional driving mechanism for the increased PA
6 in both study groups, especially in the IG. Similar results have been indicated in cognitively
7 impaired older persons after an individual home-based training program which led to
8 improvements in key motor performances as well as to an increase in PA behavior (Hauer et
9 al., 2017).

10 Despite the potentially increased risk exposure while being active (Rapp, Becker,
11 Cameron, König, & Büchele, 2012), the intervention and the increased PA were safe. No
12 training- or assessment-related injuries occurred, and no differences between study groups for
13 dropouts including overall adverse events during the study period were documented.
14 Furthermore, both training regimens were feasible in terms of a high adherence. This
15 indicates that also a physically demanding training intervention as provided in the IG is
16 feasible in multi-morbid persons with dementia.

17

18 **Sustainability of the Intervention**

19 While group effects vanished, significant time effects in both study groups indicated a
20 change in habitual activity behavior when the intervention phase was terminated. An increase
21 by 1.52 (IG) and 2.18 (CG) in PAQE total score, equivalent to 30-40 minutes of continuous
22 walking, were comparable to effects on habitual activity without training effects in the
23 intervention phase. In older persons, minor changes in PA, as compared to existing guideline
24 recommendations, still have relevant benefits, such as reduced mortality (Xue et al., 2012),

1 which may even be more pronounced in a vulnerable population at high risk of activity
2 restriction (Stessman et al 2009), such as the present study sample.

3 The present results on sustainability of effects are in line with other studies in
4 community-dwellers with no clear definition of cognitive status which implemented
5 multicomponent interventions, including exercise as well as behavioral strategies. Part of
6 these studies also reported sustainable effects during follow-up (Olanrewaju et al., 2016) by
7 integrating behavioral strategies into a group-based training setting. This combination was
8 also successful to sustainably increase PA in a high vulnerable population with mild-to-
9 moderate dementia as in the present study. The total amount of PA, sport activities, and
10 household activities were sustainably increased at the follow-up in both study groups, but
11 between-group differences over time as observed for the intervention period were no longer
12 apparent. The findings suggest that for these sustainable effects, the dementia-specific,
13 patient-centered approach, which was implemented in both study groups, might have played a
14 more decisive role than the training specificity and intensity of the physical exercises, which
15 differed substantially between the both study groups during the intervention period.

16

17 **Predictors of Changes in PA for the Period of Intervention**

18 PA behavior at baseline was identified as an independent predictor of PA changes
19 over the intervention period, such that those participants with the lowest baseline level of PA
20 benefited most from the PA promotion program. These study results are in line with results in
21 younger age groups without cognitive impairment (Westerterp, 2000), but in contrast to a
22 previous study in persons with dementia (Eggermont et al., 2010), in which baseline activity
23 status had no influence on activity outcomes in a dyadic walking intervention. Eggermont et
24 al. (2010) assumed (but could not document it by available data) that the intervention-based
25 activity was compensated by being more sedentary during the rest of the day (trade-off effect;

1 Eggermont et al., 2010), which may have resulted in no significant overall effects on PA
2 outcomes. As described above, the present intervention prevented such a trade-off (see results
3 and discussion for intervention effects), allowing participants with the lowest baseline PA to
4 profit most, and led to a relevant association of baseline status and change during
5 intervention.

6 Of note, established predictors like motor-, cognitive-, and psychological status,
7 (Olanrewaju et al., 2016; Stubbs et al., 2014) as well as gender and age did not significantly
8 influence the success of the program in the present analysis. Results may be explained by the
9 fact that the present PA promotion program facilitated the activation of persons with mild-to-
10 moderate dementia by compensating known barriers to PA. Restricted mobility and
11 orientation in terms of a poor motor status and cognitive deficits such as disorientation were
12 compensated with the implemented transport service. The dementia-specific communication
13 and intervention strategies (tactile support, mirror techniques, person-centered approach)
14 facilitated an empathetic, supportive atmosphere, possibly reducing known negative effects of
15 dementia and associated psychological status (depression, anxiety, low self-efficacy) on study
16 outcomes.

17

18 **Predictors of Sustainable Changes in PA for the Complete Study Period**

19 Besides the baseline PA level, motor performance (TUG, with a trend also POMA)
20 significantly predicted the increase in PA for the total study group, indicating a relevant
21 influence of motor status on changes of PA during the complete study period. Results are in
22 line with previous studies demonstrating positive associations of motor performance and
23 increased PA levels in older adults in a cross sectional design (Chudyk, McKay, Winters,
24 Sims-Gould, & Ashe, 2017) and in long-term changes in an observational study (Egerton,
25 Paterson, & Helbostad, 2017).

1 In addition to baseline PA and motor performance, comorbidity negatively predicted
2 changes in PA during the complete study period supporting previous results of a cross-
3 sectional study in community-dwellers with dementia (Allan, McKeith, Ballard, & Kenny,
4 2006).

5

6 **Limitations**

7 Although we used assessment methods which were developed for and validated in the
8 target group of the present study, we cannot completely rule out that patient reports are
9 subjective (socially welcomed answers) as in any self-report assessment. Time effects for
10 increase of PA in both study groups may derive from other factors than those stated in the
11 paper and may therefore potentially not be based on interventional effects.

12 While the intentionally used double-blinded and placebo-controlled study design
13 should ensure that the group allocation remains unknown, there might still have been a
14 potential bias due to unsuccessful blinding.

15 The dependent variables of our regression models are based on difference scores
16 (change in PA over the intervention or total observation period). The use of difference scores
17 is controversially discussed in literature (May & Hittner, 2003; Thomas & Zumbo, 2012;
18 Trafimow, 2015) and might have affected the reliability of the regression analyses.

19

20 **Conclusion**

21 The present study demonstrated for the first time that a PA promotion program
22 specifically designed to mitigate the specific limitations of sedentary, multi-morbid older
23 persons with mild-to-moderate dementia can substantially increase their PA behavior.
24 Current findings also highlighted that the most sedentary persons benefitted most from such a
25 PA promotion program. An ongoing, long-term participation in a highly-structured and

- 1 intensive exercise regimen as presented may further and sustainably optimize PA in this
- 2 vulnerable population.

For Peer Review

References

- 1
2 Allan, L., McKeith, I., Ballard, C., & Kenny, R. A. (2006). The prevalence of autonomic
3 symptoms in dementia and their association with physical activity, activities of daily living
4 and quality of life. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 22(3), 230–237.
5 <https://doi.org/10.1159/000094971>
- 6 American Psychiatric Association, DSM-5 Task Force. (2013). *Diagnostic and statistical*
7 *manual of mental disorders: DSM-5™* (5th ed.). Arlington, VA, US: American Psychiatric
8 Publishing, Inc.. <http://dx.doi.org/10.1176/appi.books.9780890425596>
- 9 Bandura, A. (2012). *Self-efficacy: the exercise of control* (13. printing). New York, NY:
10 Freeman.
- 11 Bayles, K. A., Tomoeda, C. K., & Trosset, M. W. (1992). Relation of linguistic
12 communication abilities of Alzheimer's patients to stage of disease. *Brain and Language*,
13 42(4), 454–472. [https://doi.org/10.1016/0093-934X\(92\)90079-T](https://doi.org/10.1016/0093-934X(92)90079-T)
- 14 Campbell, M. J., Julious, S. A., & Altman, D. G. (1995). Estimating sample sizes for binary,
15 ordered categorical, and continuous outcomes in two group comparisons. *British Medical*
16 *Journal (Clinical Research Ed.)*, 311(7013), 1145–1148.
17 <https://doi.org/10.1136/bmj.311.7013.1145>
- 18 Cedervall, Y., & Åberg, A. C. (2010). Physical activity and implications on well-being in
19 mild Alzheimer's disease: a qualitative case study on two men with dementia and their
20 spouses. *Physiotherapy Theory and Practice*, 26(4), 226–239.
21 <https://doi.org/10.3109/09593980903423012>
- 22 Chodzko-Zajko, W. J., Proctor, D. N., Fiatarone Singh, M. A., Minson, C. T., Nigg, C. R.,
23 Salem, G. J., & Skinner, J. S. (2009). American College of Sports Medicine position stand.
24 Exercise and physical activity for older adults. *Medicine & Science in Sports & Exercise*,
25 41(7), 1510–1530. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e3181a0c95c>

- 1 Chudyk, A. M., McKay, H. A., Winters, M., Sims-Gould, J., & Ashe, M. C. (2017).
2 Neighborhood walkability, physical activity, and walking for transportation: a cross-
3 sectional study of older adults living on low income. *BMC Geriatrics*, *17*(1), 82.
4 <https://doi.org/10.1186/s12877-017-0469-5>
- 5 Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale,
6 NJ: Lawrence Erlbaum.
- 7 David, R., Mulin, E., Friedman, L., Le Duff, F., Cygankiewicz, E., Deschaux, O., . . . Zeitzer,
8 J. M. (2012). Decreased daytime motor activity associated with apathy in Alzheimer
9 disease: an actigraphic study. *The American Journal of Geriatric Psychiatry: Official*
10 *Journal of the American Association for Geriatric Psychiatry*, *20*(9), 806–814.
11 <https://doi.org/10.1097/JGP.0b013e31823038af>
- 12 Denkinger, M. D., Lukas, A., Nikolaus, T., & Hauer, K (2015). Factors associated with fear of
13 falling and associated activity restriction in community-dwelling older adults: a systematic
14 review. *The American Journal of Geriatric Psychiatry* *23*(1), 72-86. doi:
15 [10.1016/j.jagp.2014.03.002](https://doi.org/10.1016/j.jagp.2014.03.002)
- 16 Dewing, J. (2008). Personhood and dementia: revisiting Tom Kitwood's ideas. *International*
17 *Journal of Older People Nursing*, *3*(1), 3–13. [https://doi.org/10.1111/j.1748-](https://doi.org/10.1111/j.1748-3743.2007.00103.x)
18 [3743.2007.00103.x](https://doi.org/10.1111/j.1748-3743.2007.00103.x)
- 19 Egerton, T., Paterson, K., & Helbostad, J. L. (2017). The association between gait
20 characteristics and ambulatory physical activity in older people: a cross-sectional and
21 longitudinal observational study using Generation 100 data. *Journal of Aging and Physical*
22 *Activity*, *25*(1), 10–19. <https://doi.org/10.1123/japa.2015-0252>
- 23 Eggermont, L. H. P., Blankevoort, C. G., & Scherder, E. J. A. (2010). Walking and night-
24 time restlessness in mild-to-moderate dementia: a randomized controlled trial. *Age and*
25 *Ageing*, *39*(6), 746–749. <https://doi.org/10.1093/ageing/afq115>

- 1 Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). "Mini-Mental State". A practical
2 method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric*
3 *Research, 12*(3), 189–198. [https://doi.org/10.1016/0022-3956\(75\)90026-6](https://doi.org/10.1016/0022-3956(75)90026-6)
- 4 Forbes, D., Forbes, S. C., Blake, C. M., Thiessen, E. J., & Forbes, S. (2015). Exercise
5 programs for people with dementia. *The Cochrane Database of Systematic Reviews* 4(12),
6 CD006489. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD006489.pub4>
- 7 Freds, S., Cohen, D., Eisdorfer, C., Paveza, G., Gorelick, P., Luchins, D. J., . . . Semla, T.
8 (1992). Functional status and clinical findings in patients with Alzheimer's disease.
9 *Journal of Gerontology, 47*(6), M177-M182. <https://doi.org/10.1093/geronj/47.6.M177>
- 10 Groot, C., Hooghiemstra, A. M., Raijmakers, P G H M, van Berckel, B N M, Scheltens, P.,
11 Scherder, E. J. A., . . . Ossenkoppele, R. (2016). The effect of physical activity on
12 cognitive function in patients with dementia: a meta-analysis of randomized control trials.
13 *Ageing Research Reviews, 25*, 13–23. <https://doi.org/10.1016/j.arr.2015.11.005>
- 14 Hauer, K., Yardley, L., Beyer, N., Kempen, G., Dias, N., Campbell, M., . . . Todd, C. (2010).
15 Validation of the Falls Efficacy Scale and Falls Efficacy Scale International in geriatric
16 patients with and without cognitive impairment: results of self-report and interview-based
17 questionnaires. *Gerontology, 56*(2), 190–199. <https://doi.org/10.1159/000236027>
- 18 Hauer, K., Lord, S. R., Lindemann, U., Lamb, S. E., Aminian, K., & Schwenk, M. (2011).
19 Assessment of physical activity in older people with and without cognitive impairment.
20 *Journal of Aging and Physical Activity, 19*(4), 347–372.
21 <https://doi.org/10.1123/japa.19.4.347>
- 22 Hauer, K., Schwenk, M., Zieschang, T., Essig, M., Becker, C., & Oster, P. (2012). Physical
23 training improves motor performance in people with dementia: A randomized controlled
24 trial. *Journal of the American Geriatrics Society, 60*(1), 8–15.
25 <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2011.03778.x>

- 1 Hauer, K., Ullrich, P., Dutzi, I., Beurskens, R., Kern, S., Bauer, J., & Schwenk, M. (2017).
2 Effects of standardized home training in patients with cognitive impairment following
3 geriatric rehabilitation: a randomized controlled pilot study. *Gerontology*, *63*(6), 495–506.
4 <https://doi.org/10.1159/000478263>.
- 5 Hauer, K., Rost, B., Rütshle, K., Opitz, H., Specht N, Bärtsch P, . . . , Schlierf G (2001)
6 Exercise training for rehabilitation and secondary prevention of falls in geriatric patients
7 with a history of injurious falls. *Journal of the American Geriatrics Society*, *49*(1), 10–20.
- 8 Hoffmann, F., Kaduszkiewicz, H., Glaeske, G., van den Bussche, H., & Koller, D. (2014).
9 Prevalence of dementia in nursing home and community-dwelling older adults in
10 Germany. *Aging Clinical and Experimental Research*, *26*(5), 555–559.
11 <https://doi.org/10.1007/s40520-014-0210-6>
- 12 Hüger, D., Zieschang, T., Schwenk, M., Oster, P., Becker, C., & Hauer, K. (2009). Designing
13 studies on the effectiveness of physical training in patients with cognitive impairment.
14 *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, *42*(1), 11–19. [https://doi.org/10.1007/s00391-](https://doi.org/10.1007/s00391-008-0529-8)
15 [008-0529-8](https://doi.org/10.1007/s00391-008-0529-8)
- 16 Jansen, C.-P., Claßen, K., Wahl, H.-W., & Hauer, K. (2015). Effects of interventions on
17 physical activity in nursing home residents. *European Journal of Ageing*, *12*(3), 261–271.
18 <https://doi.org/10.1007/s10433-015-0344-1>
- 19 Kitwood, T. (1990). The dialectics of dementia: with particular reference to Alzheimer's
20 disease. *Ageing and Society*, *10*(02), 177–196.
21 <https://doi.org/10.1017/S0144686X00008060>
- 22 Lechowski, L., Benoit, M., Chassagne, P., Vedel, I., Tortrat, D., Teillet, L., & Vellas, B.
23 (2009). Persistent apathy in Alzheimer's disease as an independent factor of rapid
24 functional decline: the REAL longitudinal cohort study. *International Journal of Geriatric*
25 *Psychiatry*, *24*(4), 341–346. <https://doi.org/10.1002/gps.2125>

- 1 Lyketsos, C. G., Lopez, O., Jones, B., Fitzpatrick, A. L., Breitner, J., & DeKosky, S. (2002).
2 Prevalence of neuropsychiatric symptoms in dementia and mild cognitive impairment. *The*
3 *Journal of the American Medical Association*, *288*(12), 1475–1483.
4 <https://doi.org/10.1001/jama.288.12.1475>
- 5 Mahoney, F. I., & Barthel, D. W. (1965). Functional evaluation: The Barthel Index.
6 *Maryland State Medical Journal*, *14*, 61–65.
- 7 Malthouse, R., & Fox, F. (2014). Exploring experiences of physical activity among people
8 with Alzheimer's disease and their spouse carers: a qualitative study. *Physiotherapy*,
9 *100*(2), 169–175. <https://doi.org/10.1016/j.physio.2013.10.002>
- 10 May, K., & Hittner, J. B. (2003). On the relation between power and reliability of difference
11 scores. *Perceptual and Motor Skills*, *97*(3), 905-908.
12 <http://dx.doi.org/10.2466/PMS.97.7.905-908>
- 13 McAuley, E., Szabo, A., Gothe, N., & Olson, E. A. (2011). Self-efficacy: implications for
14 physical activity, function, and functional limitations in older adults. *American Journal of*
15 *Lifestyle Medicine*, *5*(4). <https://doi.org/10.1177/1559827610392704>
- 16 McKhann, G., Drachman, D., Folstein, M., Katzman, R., Price, D., & Stadlan, E. M. (1984).
17 Clinical diagnosis of Alzheimer's disease: report of the NINCDS-ADRDA Work Group*
18 under the auspices of Department of Health and Human Services Task Force on
19 Alzheimer's Disease. *Neurology*, *34*(7), 939. <https://doi.org/10.1212/WNL.34.7.939>
- 20 Mega, M. S., Cummings, J. L., Fiorello, T., & Gornbein, J. (1996). The spectrum of
21 behavioral changes in Alzheimer's disease. *Neurology*, *46*(1), 130–135.
22 <https://doi.org/10.1212/WNL.46.1.130>
- 23 Meijer, E. P., Westerterp, K. P., & Verstappen, F. T. J. (1999). Effect of exercise training on
24 total daily physical activity in elderly humans. *European Journal of Applied Physiology*
25 *and Occupational Physiology*, *80*(1), 16–21. <https://doi.org/10.1007/s004210050552>

- 1 Monsch, A. U., Foldi, N. S., Ermini-Fünfschilling, D. E., Berres, M., Taylor, K. I., Seifritz,
2 E., . . . Spiegel, R. (1995). Improving the diagnostic accuracy of the Mini-Mental State
3 Examination. *Acta Neurologica Scandinavica*, *92*(2), 145–150.
4 <https://doi.org/10.1111/j.1600-0404.1995.tb01029.x>
- 5 Morris, J. C., Mohs, R. C., Rogers, H., Fillenbaum, G., & Heyman, A. (1988). Consortium to
6 establish a registry for Alzheimer's disease (CERAD) clinical and neuropsychological
7 assessment of Alzheimer's disease. *Psychopharmacology Bulletin*, *24*(4), 641–652.
- 8 Oddy, R. (1987). Promoting mobility in patients with dementia: some suggested strategies for
9 physiotherapists. *Physiotherapy Practice*, *3*(1), 18–27.
10 <https://doi.org/10.3109/09593988709044164>
- 11 Olanrewaju, O., Kelly, S., Cowan, A., Brayne, C., & Lafortune, L. (2016). Physical Activity
12 in Community Dwelling Older People: a systematic review of reviews of interventions and
13 context. *PloS One*, *11*(12), e0168614. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168614>
- 14 Olsen, C. F., Telenius, E. W., Engedal, K., & Bergland, A. (2015). Increased self-efficacy:
15 the experience of high-intensity exercise of nursing home residents with dementia - a
16 qualitative study. *BMC Health Services Research*, *15*, 379.
17 <https://doi.org/10.1186/s12913-015-1041-7>
- 18 Oswald, W. D. (1995). *Nuernberger Altersinventar (NAI)*. 4. unchanged edition. Göttingen:
19 Hogrefe.
- 20 Parmelee, P. A., Thuras, P. D., Katz, I. R., & Lawton, M. P. (1995). Validation of the
21 Cumulative Illness Rating Scale in a geriatric residential population. *Journal of the*
22 *American Geriatrics Society*, *43*(2), 130–137. [https://doi.org/10.1111/j.1532-](https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1995.tb06377.x)
23 [5415.1995.tb06377.x](https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1995.tb06377.x)

- 1 Podsiadlo, D., & Richardson, S. (1991). The timed "Up & Go": a test of basic functional
2 mobility for frail elderly persons. *Journal of the American Geriatrics Society*, 39(2), 142–
3 148. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1991.tb01616.x>
- 4 Rapp, K., Becker, C., Cameron, I. D., König, H.-H., & Büchele, G. (2012). Epidemiology of
5 falls in residential aged care: analysis of more than 70,000 falls from residents of Bavarian
6 nursing homes. *Journal of the American Medical Directors Association*, 13(2), 187.e1-6.
7 <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2011.06.011>
- 8 Regan, K., White, F., Harvey, D., & Middleton, L. E. (2018). Effects of an exercise and
9 mental activity program for people with dementia and their care partners. *Journal of Aging
10 and Physical Activity*, 27(2), 276-283. <https://doi.org/10.1123/japa.2017-0300>
- 11 Stessman, J., Hammerman-Rozenberg, R., Cohen, A., Ein-Mor, E. & Jacobs, J. M. (2009).
12 Physical activity, function, and longevity among the very old. *Archives of Internal
13 Medicine*, 169(16), 1476-83. doi: 10.1001/archinternmed.2009.248.
- 14 Stubbs, B., Eggermont, L., Soundy, A., Probst, M., Vandenbulcke, M., & Vancampfort, D.
15 (2014). What are the factors associated with physical activity (PA) participation in
16 community dwelling adults with dementia? A systematic review of PA correlates.
17 *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 59(2), 195–203.
18 <https://doi.org/10.1016/j.archger.2014.06.006>
- 19 Suttanon, P., Hill, K. D., Said, C. M., Williams, S. B., Byrne, K. N., LoGiudice, D., . . .
20 Dodd, K. J. (2013). Feasibility, safety and preliminary evidence of the effectiveness of a
21 home-based exercise programme for older people with Alzheimer's disease: a pilot
22 randomized controlled trial. *Clinical Rehabilitation*, 27(5), 427–438.
23 <https://doi.org/10.1177/0269215512460877>

- 1 Teri, L., Logsdon, R. G., & McCurry, S. M. (2008). Exercise interventions for dementia and
2 cognitive impairment: The Seattle Protocols. *The Journal of Nutrition, Health & Aging,*
3 *12(6)*, 391–394. doi: 10.1007/bf02982672
- 4 Thomas, D. R. & Zumbo, B. D. (2012). Difference scores from the point of view of reliability
5 and repeated-measures ANOVA: in defense of difference scores for data analysis.
6 *Educational and Psychological Measurement, 72(1)*: 37-43.
7 <https://doi.org/10.1177/0013164411409929>
- 8 Tinetti, M. E. (1986). Performance-oriented assessment of mobility problems in elderly
9 patients. *Journal of the American Geriatrics Society, 34(2)*, 119–126.
10 <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.1986.tb05480.x>
- 11 Trafimow, D. (2015). A defense against the alleged unreliability of difference scores. *Cogent*
12 *Mathematics, 2(1)*, 1064626. <https://doi.org/10.1080/23311835.2015.1064626>
- 13 Van Alphen, H. J. M., Volkers, K. M., Blankevoort, C. G., Scherder, E. J. A., Hortobágyi, T.,
14 & van Heuvelen, M. J. G. (2016). Older adults with dementia are sedentary for most of the
15 day. *PloS One, 11(3)*, e0152457. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152457>
- 16 Voorrips, L. E., Ravelli, A. C. J., Dongelmans, P. C. A., Deurenberg, P., & van Staveren, W.
17 A. (1991). A physical activity questionnaire for the elderly. *Medicine and Science in*
18 *Sports and Exercise, 23(8)*, 974–979. <https://doi.org/10.1249/00005768-199108000-00015>
- 19 Wei, L. J. (1977). A class of designs for sequential clinical trials. *Journal of the American*
20 *Statistical Association, 72(385)*, 382–386.
21 <https://doi.org/10.1080/01621459.1977.10481005>
- 22 Westerterp, K. R. (2000). Daily physical activity and ageing. *Current Opinion in Clinical*
23 *Nutrition and Metabolic Care, 3(6)*, 485–488. [https://doi.org/10.1097/00075197-](https://doi.org/10.1097/00075197-200011000-00011)
24 [200011000-00011](https://doi.org/10.1097/00075197-200011000-00011)

- 1 Xue, Q., Bandeen-Roche, K., Mielenz, T. J., Seplaki, C. L., Szanton, S. L., Thorpe, R. J., . . .
2 Fried, L. P. (2012). Patterns of 12-year change in physical activity levels in community-
3 dwelling older women: can modest levels of physical activity help older women live
4 longer? *American Journal of Epidemiology*, *176*(6), 534-43. doi:10.1093/aje/kws125
- 5 Yesavage, J. A., Brink, T. L., Rose, T. L., Lum, O., Huang, V., Adey, M., & Leirer, V. O.
6 (1982). Development and validation of a geriatric depression screening scale: a
7 preliminary report. *Journal of Psychiatric Research*, *17*(1), 37-49.
8 [https://doi.org/10.1016/0022-3956\(82\)90033-4](https://doi.org/10.1016/0022-3956(82)90033-4)
- 9 Yu, F., Leon, A. S., Bliss, D., Dysken, M., Savik, K., & Wyman, J. F. (2011). Aerobic
10 training for older men with Alzheimer's disease: individual examples of progression.
11 *Research in Gerontological Nursing*, *4*(4), 243-250. [https://doi.org/10.3928/19404921-](https://doi.org/10.3928/19404921-20110303-01)
12 [20110303-01](https://doi.org/10.3928/19404921-20110303-01)
- 13 Yu, F., & Kolanowski, A. (2009). Facilitating aerobic exercise training in older adults with
14 Alzheimer's disease. *Geriatric Nursing*, *30*(4), 250-259.
15 <https://doi.org/10.1016/j.gerinurse.2008.11.001>
- 16 Zekry, D., Herrmann, F. R., Grandjean, R., Meynet, M.-P., Michel, J.-P., Gold, G., & Krause,
17 K.-H. (2008). Demented versus non-demented very old inpatients: the same comorbidities
18 but poorer functional and nutritional status. *Age and Ageing*, *37*(1), 83-89.
19 <https://doi.org/10.1093/ageing/afm132>
- 20 Zieschang, T., Schwenk, M., Becker, C., Uhlmann, L., Oster, P., & Hauer, K. (2017). Falls
21 and physical activity in persons with mild to moderate dementia participating in an
22 intensive motor training - randomized controlled trial. *Alzheimer Disease and Associated*
23 *Disorders*, *31*(4), 307-314. <https://doi.org/10.1097/WAD.0000000000000201>

1 **List of figures**

- 2 *Figure 1* Flowchart for screening, recruitment, allocation, intervention, and follow-up.

For Peer Review

1

List of tables

- 2 *Table 1* Parameters and baseline comparison of study groups.
- 3 *Table 2* Short-term effects of the intervention on physical activity T1 – T2.
- 4 *Table 3* Sustainable effects of the intervention on physical activity T1 – T3.
- 5 *Table 4* Predictors of changes in physical activity.

For Peer Review

1 Table 1

2 *Parameters and baseline comparison of study groups*

Parameter	Intervention Group (<i>n</i> = 62)	Control Group (<i>n</i> = 60)	<i>p</i>
Age, (years) ^a	82.34 ± 6.60	82.85 ± 6.98	.678
Gender, (n, female) ^b	46, 74 %	44, 73 %	.914
MMSE, (score) ^a	21.69 ± 2.79	21.90 ± 3.20	.704
CIRS, (score) ^a	23.97 ± 3.21	23.53 ± 3.50	.476
POMA, (score) ^a	20.06 ± 4.75	19.78 ± 5.43	.768
TuG, (seconds) ^c	14.93, 6.04-100.00	15.79, 7.72-118.00	.695
Barthel Index, (score) ^a ,	81.53 ± 15.88	81.08 ± 13.63	.396
GDS, (score) ^a	9.55 ± 6.00	9.75 ± 5.64	.852
FES-I, (score) ^c	24.00, 16.00-58.00	26.00, 16.00-50.00	.281

3 *Note.* Presented are parameters of the participants in mean ± standard deviation (*SD*), quantity (*n*) in percent (%) or median
4 and range. Further, the table offers a baseline comparison between intervention and control group including *p*-values for ^a *t*-
5 test, ^b chi-square test and ^c Mann-Whitney-*U*-test. Abbreviations: MMSE: Mini-Mental State Examination, CIRS:
6 Comorbidity Illness Rating Scale, PAQE: Physical Activity Questionnaire for the Elderly, POMA: Performance Oriented
7 Mobility Assessment, TUG: timed Up and Go, GDS: Geriatric Depression Scale, FES-I: Falls Efficacy Scale-International.

1 Table 2

2 *Short-term effects of the intervention on physical activity T1 – T2*

Variable			Time-effect			Interaction (group * time)		
	T1	T2	F df = 1,100	p	η_p^2	F df = 1,100	p	η_p^2
	Mean \pm SD	Mean \pm SD						
PAQE total score								
IG	5.16 \pm 5.33	12.75 \pm 5.56	122.77	< .001	0.55	36.85	< .001	0.27
CG	4.04 \pm 3.81	6.26 \pm 4.78						
Sub-score sport-activities								
IG	3.08 \pm 3.31	10.07 \pm 4.00	181.16	< .001	0.64	65.74	< .001	0.40
CG	2.62 \pm 2.65	4.36 \pm 3.54						
Sub-score household-activities								
IG	1.32 \pm 0.77	1.49 \pm 0.69	12.76	.001	0.11	0.23	.631	< 0.01
CG	1.12 \pm 0.69	1.35 \pm 0.73						
Sub-score leisure time-activities								
IG	0.77 \pm 2.79	0.97 \pm 2.58	0.93	.339	0.01	0.01	.925	< 0.01
CG	0.28 \pm 1.40	0.53 \pm 2.23						
PAQE total score without intervention								
IG	5.16 \pm 5.33	6.42 \pm 4.99	11.30	.001	0.10	0.00	.965	< 0.01
CG	4.04 \pm 3.81	5.27 \pm 4.79						
Sub-score sport-activities without intervention								
IG	3.08 \pm 3.31	3.74 \pm 3.26	7.75	.006	0.07	0.02	.880	< 0.01
CG	2.62 \pm 2.65	3.37 \pm 3.55						

3 Note. Presented are mean scores and standard deviations (SD) for intervention group (IG, $n = 50$) and control group (CG, $n =$
4 52). Additionally, the table offers F(df)- and p -values for time- and interaction-effects for the one-way repeated-measures
5 Analysis of Variance (ANOVA) including values from T1 and T2, and effect sizes as partial eta squared (η_p^2) for the
6 Physical Activity Questionnaire for the Elderly (PAQE) total score, the three sub-scores, PAQE total score without
7 intervention, and Sub-score sport-activities without intervention. $n = 5$ participants were lost to follow-up. Figures in bold
8 face indicate significant p -values.

1 Table 3

2 *Sustainable effects of the intervention on physical activity T1 – T3*

Variable			Time-effect			Interaction (group * time)		
	T1	T3	F df = 1,94	p	η_p^2	F df = 1,94	p	η_p^2
	Mean \pm SD	Mean \pm SD						
PAQE total score								
IG	5.21 \pm 5.13	6.73 \pm 5.04	19.31	< .001	0.17	0.62	.434	0.01
CG	4.10 \pm 3.82	6.28 \pm 5.36						
Sub-score sport-activities								
IG	3.13 \pm 3.08	4.36 \pm 3.43	18.57	< .001	0.17	0.09	.771	< 0.01
CG	2.68 \pm 2.65	4.08 \pm 3.56						
Sub-score household-activities								
IG	1.30 \pm 0.76	1.41 \pm 0.74	8.75	.004	0.09	0.74	.393	0.01
CG	1.12 \pm 0.70	1.33 \pm 0.68						
Sub-score leisure time-activities								
IG	0.78 \pm 2.91	1.10 \pm 2.60	2.70	.104	0.03	0.26	.615	< 0.01
CG	0.28 \pm 1.41	0.88 \pm 2.75						

3 *Note.* Presented are mean scores and standard deviations (*SD*) for intervention group (IG, $n = 45$) and control group (CG, $n =$
4 51). Additionally, the table offers $F(df)$ - and p -values for time- and interaction-effects for the one-way repeated-measures
5 Analysis of Variance (ANOVA) including values from T1 and T3, and effect sizes as partial eta squared (η_p^2) for the
6 Physical Activity Questionnaire for the Elderly (PAQE) total score and the three sub-scores. $n = 3$ participants were lost to
7 follow-up. Figures in bold face indicate significant p -values.

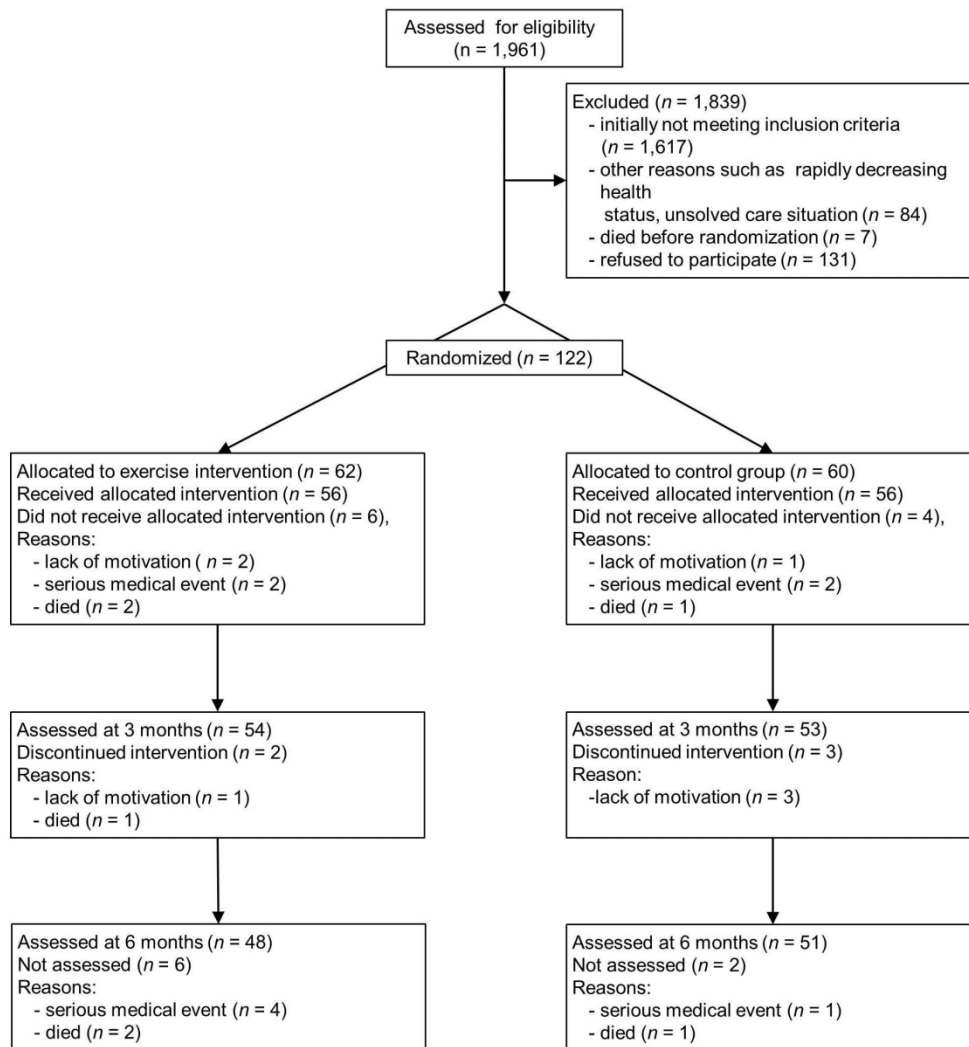
8

Table 4

Predictors of changes in physical activity

	Model 1				Model 2			
	Δ PAQE total at T2 – PAQE total at T1				Δ PAQE total at T3 -PAQE total at T1			
	only for intervention group				for total study sample			
	adjusted $R^2 = .163$				adjusted $R^2 = .191$			
	Collinearity Statistics				Collinearity Statistics			
Independent variables	β	p	tolerance	VIF	β	p	tolerance	VIF
PAQE total, (score)	-.425	.002	1.000	1.000	-.379	< .001	.904	1.107
TUG, (seconds)	-	-	-	-	-.277	.004	.992	1.008
CIRS, (score)	-	-	-	-	-.259	.009	.909	1.100
Excluded Variables								
Age, (years)	-.112	.409	.950	1.052	-.114	.246	.891	1.122
Gender, (dummy; 0 = women, 1 = men)	.134	.311	.995	1.005	-.072	.441	.998	1.002
MMSE, (score)	.249	.056	.999	1.001	-.076	.421	.975	1.025
FES-I, (score)	.122	.388	.881	1.135	.041	.680	.872	1.147
GDS, (score)	.084	.541	.934	1.071	-.098	.308	.928	1.078
POMA, (score)	.197	.213	.696	1.436	-.225	.055	.621	1.611
TUG, (seconds)	-.049	.713	1.000	1.000	-	-	-	-
CIRS, (score)	-.093	.498	.928	1.077	-	-	-	-
Group allocation, (dummy; 0 = control, 1 = intervention)	-	-	-	-	-.017	.860	.965	1.036

Note. Presented are standardized regression coefficients (β) and p -values for independent variables (baseline values) of two multivariate linear regression models. Model 1: Δ PAQE total at T2 - PAQE total at T1 only for intervention group ($n = 50$). Model 2: Δ PAQE total at T3 - PAQE total at T1 for total study sample ($n = 96$). Abbreviations: VIF: Variance inflation factor, PAQE: Physical Activity Questionnaire for the Elderly, MMSE: Mini-Mental State Examination, CIRS: Comorbidity Illness Rating Scale, FES-I: Falls Efficacy Scale-International, GDS: Geriatric Depression Scale, POMA: Performance Oriented Mobility Assessment, TUG: timed Up and Go. Figures in bold face indicate significant p -values.



Flowchart for screening, recruitment, allocation, intervention, and follow-up.

169x183mm (300 x 300 DPI)

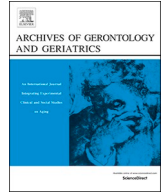
Manuskript II:

Abel, B., Pomiersky, R., Werner, C., Lacroix, A., Schäufole, M., & Hauer, K. (2019). Day-to-day variability of multiple sensor-based physical activity parameters in older persons with dementia. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 85, 103911.

The final publication is available at <https://doi.org/10.1016/j.archger.2019.103911>

Copyright © 2019 Elsevier B.V. All rights reserved.

This article was published in *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 85, Bastian Abel, Rebekka Pomiersky, Christian Werner, André Lacroix, Martina Schäufole, Klaus Hauer. Day-to-day variability of multiple sensor-based physical activity parameters in older persons with dementia, 103911, Copyright Elsevier B.V. (2019).



Day-to-day variability of multiple sensor-based physical activity parameters in older persons with dementia

Bastian Abel^a, Rebekka Pomiersky^{a,b}, Christian Werner^a, André Lacroix^a, Martina Schäufele^b, Klaus Hauer^{a,*}

^a Department of Geriatric Research, Agaplesion Bethanien Hospital Heidelberg, Geriatric Center at the University of Heidelberg, Rohrbacher Straße 149, 69126 Heidelberg, Germany

^b Faculty of Social Work, University of Applied Sciences Mannheim, Paul-Wittsack-Straße 10, 68163 Mannheim, Germany

ARTICLE INFO

Keywords:

Reliability
Accelerometer
Measurement duration
Influence
Weekdays

ABSTRACT

Objective: To investigate the day-to-day variability of various sensor-based physical activity (PA) parameters and to analyze effects of weekdays vs. weekend days as well as the influence of concomitant factors (gender, living conditions, cognitive status, physical performance, and level of PA) in multi-morbid, older persons with mild-to-moderate stage dementia.

Methods: In 53 participants, PA was recorded on three consecutive days. Day-to-day variability was estimated by calculating intraclass correlation coefficients (ICCs) for two consecutive days each (Friday-Saturday, Saturday-Sunday).

Results: Almost all non-walking parameters (lying time, sitting time, standing time, active time, inactive time, and sit-to-stand transitions) showed a consistently low day-to-day variability for Friday-Saturday as well as Saturday-Sunday (ICCs: .60–.96) and hence remained almost unaffected by specific days of the week and concomitant factors. Only the sub-analysis by level of PA revealed slightly deviating results (ICCs: .38–.89). The walking parameters (walking time, walking episodes, and steps) revealed a higher day-to-day variability for Friday-Saturday (ICCs: .01–.40) and a generally lower variability for Saturday-Sunday (ICCs: –.08 – .88), also depending on the respective concomitant factors.

Conclusions: Two consecutive days are adequate to reliably assess non-walking parameters, whereas walking parameters showed higher day-to-day variability with a relevant influence of type of days and concomitant factors.

1. Introduction

Older adults spend most of their days in a sitting or lying position (Harvey, Chastin, & Skelton, 2013). Such sedentary behavior becomes particularly apparent in vulnerable populations such as older persons with dementia, who are sedentary for at least two-thirds of the day (van Alphen et al., 2016) and whose activity patterns are not easy to document.

Self-report questionnaires represent commonly used methods to assess physical activity (PA) in older persons although they require sustained cognitive abilities such as recall (Ainsworth, Cahalin, Buman, & Ross, 2015) or working memory, which are limited in cognitively impaired persons (Warms, 2006). Driven by a dynamical technological

progress, the questionnaire-based assessment of PA is more and more replaced by a large number of objective, sensor-based technical devices (pedometers, uni- and multi-axial accelerometers, and multi-sensor-systems), which, due to underlying evaluation algorithms and statistical evaluation methods, lead to an increasing variety of available outcome parameters (e.g. stepping/walking, posture, transitions, energy expenditure; Hubble, Naughton, Silburn, & Cole, 2015).

PA is no longer just a single score or the classification into sedentary and active behavior, but consists of many different parameters as well as more advanced approaches, such as investigating the sequences of transitions between these typically reported behavioral postures (Ghosh et al., 2018). The opportunity to investigate PA in particular parameters, however, also implies new methodological problems. A

* Corresponding author.

E-mail addresses: bastian.abel@bethanien-heidelberg.de (B. Abel), rebekka.pomiersky@gmx.de (R. Pomiersky), christian.werner@bethanien-heidelberg.de (C. Werner), andre.lacroix@gmx.de (A. Lacroix), m.schaeufele@hs-mannheim.de (M. Schäufele), khauer@bethanien-heidelberg.de (K. Hauer).

<https://doi.org/10.1016/j.archger.2019.103911>

Received 20 May 2019; Received in revised form 2 July 2019; Accepted 9 July 2019

Available online 13 July 2019

0167-4943/ © 2019 Elsevier B.V. All rights reserved.

systematic review on 134 studies that assessed sensor-based PA parameters in older adults revealed an extraordinary large range of the assessment period from two to 450 days, whereof 56 studies reported a measurement period of seven days (Taraldsen, Chastin, Riphagen, Vereijken, & Helbostad, 2012). However, the measurement duration is often not or only inadequately reasoned.

In order to minimize the burden of assessment for older persons while increasing compliance and cost efficiency, it is important to keep the wear time of the sensor as low as possible (Troost, McIver, & Pate, 2005). Analyzing the day-to-day variability of sensor-based PA parameters represents an adequate method to ascertain the minimum required measurement duration to assess habitual PA. Previous investigations of the day-to-day variability in older adults, slightly different regarding age and activity level (number of steps), revealed different results for various accelerometer- and pedometer-based PA parameters (e. g. number of activity counts, number of steps, sitting duration; Hart, Swartz, Cashin, & Strath, 2011; Rowe, Kemble, Robinson, & Mahar, 2007; van Schooten et al., 2015). Therefore, these various PA parameters as well as different samples obviously require different measurement periods, usually ranging from two to five days.

Persons with dementia are a distinct and most vulnerable population that is often affected by multi-morbidity (von Renteln-Kruse et al., 2015), functional impairment (Njegovan, Hing, Mitchell, & Molnar, 2001), and mobility disorders such as reduced gait speed (van Iersel, Hoefsloot, Munneke, Bloem, & Olde Rikkert, 2004) and shortened step length (Verghese et al., 2002). Furthermore, these persons often reveal mental and behavioral symptoms such as depression, agitation, and apathy (Aalten et al., 2007), which affect activity behavior (David et al., 2012; Sabia et al., 2017; van Alphen et al., 2016) and thus potentially also the day-to-day variability of PA parameters. Previous findings on the day-to-day variability and the required measurement duration of sensor-based PA parameters in older persons are, however, based on studies that either did not report the cognitive status of the samples (de la Camara, Higuera-Fresnillo, Martinez-Gomez, & Veiga, 2018; Hart et al., 2011; Rowe et al., 2007) or have examined only a mixed sample of older persons with and without cognitive impairment (van Schooten et al., 2015). To the authors' knowledge, no previous study analyzed the day-to-day variability of individual sensor-based PA parameters in a specific sample of older persons with dementia. Therefore, the following questions still remain to be answered: a) how many measurement days are minimally required for the growing multitude of sensor-based PA parameters in older adults with dementia and b) whether this minimum of needed measurement duration is identical or different for the particular PA parameters.

Apart from the day-to-day variability and the minimum needed measurement duration of sensor-based PA parameters in older persons with dementia, it is also important to know whether specific days of the week, such as weekdays or weekend days, and various concomitant factors, such as gender, living conditions (independent vs. institutionalized), cognitive status, physical performance, or amount of PA, may influence this variability and thus the minimum required measurement period. As multi-morbid, older persons depend on social contacts and support (Edelbrock et al., 2001), it is conceivable that social routines (e. g. support to go shopping, attend social meetings), which can differ between weekdays and weekend days, affect the PA and its day-to-day variability. Previous studies have reported a heterogeneous influence of gender on the day-to-day variability of sensor-based PA parameters in children (Fairclough, Butcher, & Stratton, 2007), adults (Donaldson, Montoye, Tuttle, & Kaminsky, 2016), and older persons (de la Camara et al., 2018). Furthermore, in older adults, it has been shown that intra-individual variability of PA across days was influenced by the amount of PA, but not by the cognitive status (Watts, Walters, Hoffman, & Templin, 2016). Even though the amount of PA seems negatively related to the variability of sensor-based PA in older persons (Watts et al., 2016), the potential influence of factors directly related to low amounts of PA such as poor physical performance

(Buckinx et al., 2017) or being institutionalized (van Alphen et al., 2016) on the day-to-day variability have not yet been examined in older persons with dementia.

Primary aim of this study was to determine the day-to-day variability of various, sensor-based PA parameters in multi-morbid, older adults with mild-to-moderate stage dementia and the thereby potentially resulting minimum number of required measurement days. A secondary aim was to analyze the effects of weekdays vs. weekend days and the potential influence of concomitant factors by subgroup analyses.

2. Methods

2.1. Study design

This study is an observational study which retrospectively analyzed baseline PA data from a double-blinded, randomized, placebo-controlled trial that aimed to improve motor-cognitive functions in persons with mild-to-moderate dementia. The trial was approved by the ethics committee of the Medical Faculty of the University of Heidelberg and performed according to the declaration of Helsinki.

2.2. Study population

Participants were recruited from rehabilitation wards of a geriatric hospital, from nursing homes, and from a community-dwelling population. Inclusion criteria were age ≥ 65 years, ability to walk 10 m without aid, living within 15 km of the study site, no terminal or uncontrolled somatic and/or psychiatric diseases, and written informed consent or consent of legal guardian (if assigned). Individuals who met these criteria were examined for cognitive impairment using the Mini-Mental State Examination (MMSE; O'Bryant et al., 2008). Subsequently, eligible persons with MMSE scores of 17–26 indicating cognitive impairment underwent a further dementia diagnosis including anamnesis, neuroimaging, a comprehensive assessment based on an established neuropsychological test battery (Consortium to Establish a Registry for Alzheimer's Disease [CERAD]; Morris, Mohs, Rogers, Fillenbaum, & Heyman, 1988), a modified trail making test (ZVT-G; Oswald & Fleischmann, 1997), and a digit-span test (ZN-G; Oswald & Fleischmann, 1997). Only persons who met the core criteria for all-cause dementia (McKhann et al., 2011) evaluated by a geriatrician were included in the study.

2.3. Measurements

Age, gender, living condition (independent vs. institutionalized), number of diagnoses, and number of medications were obtained from patient charts. Cognition (MMSE), education (years of school and professional education), depression (Geriatric Depression Scale [GDS], 15-item version; Guggel & Birkner, 1999), health-related quality of life (12-item Short Form Health Survey [SF-12]; Ware, Kosinski, & Keller, 1996), falls related self-efficacy (Short Falls Efficacy Scale International [short-FES-I]; Hauer et al., 2011), a one-item question on fear of falling (fear vs. no fear; Maki, Holliday, & Topper, 1991), and a self-reported history of falls throughout the previous year (fall vs. no fall) were attained by standardized interviewing or testing by trained assessors. A fall was defined as "an unexpected event in which the participants come to rest on the ground, floor, or lower level" (Lamb, Jørstad-Stein, Hauer, & Becker, 2005). Physical performance was assessed with a maximum gait speed test using the GAITRite® walkway system (CIR Systems Inc., Franklin, NJ, USA), the five-chair-stand (Guralnik et al., 1994), the Performance Oriented Mobility Assessment (POMA; Tinetti, 1986), and the Timed "Up and Go" Test (TUG; Podsiadlo & Richardson, 1991).

Since previous results in older persons, only a little different in terms of age and activity level, reported two to five days as adequate

measurement period (Hart et al., 2011; Rowe et al., 2007; van Schooten et al., 2015) and revealed heterogeneous findings regarding differences of average PA between single days (e. g. weekdays vs. weekend days; Nicolai et al., 2010; Rowe et al., 2007), PA was recorded on three consecutive days (Friday, Saturday, and Sunday) in the participants' living environment. For this purpose, a small (5.1 cm × 3 cm × 1.6 cm) and light (24 g) motion sensor (PAMSys™, BioSensics, Watertown, MA, USA) with a sample frequency of 40 Hz and a battery life up to 200 h was used. The sensor attachment (with a chest strap on the sternum) was verified two times a day (at morning and evening), and replaced if necessary. The sensor contained a 3-axis accelerometer to identify posture, gait, and postural transitions with high specificity and sensitivity of 87–99.7% and 87–99% for identifying PA patterns in older adults (Najafi, Armstrong, & Mohler, 2013). Underlying analysis algorithms and their successful validation are described elsewhere (Najafi et al., 2003).

PA was reported as following parameters: lying time (hours), sitting time (hours), standing time (hours), walking time (hours), active time (sum of standing and walking time; hours), inactive time (sum of lying and sitting time; hours), sit-to-stand transitions (STS; number), walking episodes (number), and steps (number).

2.4. Statistical analysis

All demographic and clinical characteristics were described as means ± standard deviations, or number of cases and percentages. PA records were separated into 24-h periods. In cases, where the full 24 h per day could not be recorded for different reasons, such as premature removal of the sensor by the participants, the missing time period was interpolated by linear interpolation. To examine the day-to-day variability of the PA parameters, the inter-day reliability (high reliability is equivalent to low variability and vice versa) was estimated by calculating intraclass correlation coefficients (ICCs) using a two-way random-effects model (absolute agreement, single measures). ICCs ≥ .70 were considered as minimal requirement for an adequate day-to-day reliability on a group level (Aaronson et al., 2002). These analyses were carried out in the total group and in predefined subgroups for two potentially different combinations of consecutive days, weekday-weekend day (Friday-Saturday) and weekend day-weekend day (Saturday-Sunday). Subgroups were categorized by following dichotomous characteristics: gender (women vs. men), living condition (independent vs. institutionalized), cognitive status (MMSE Score: ≥ 24 points vs. < 24 points; Folstein, Folstein, & McHugh, 1975), physical performance (five-chair-stand: ≥ 12 s vs. < 12 s [Tiedemann, Shimada, Sherrington, Murray, & Lord, 2008]; maximum gait speed: ≥ 1.04 m/s vs. < 1.04 m/s), and activity level (sum of standing and walking time averaged per day: ≥ 3.4 h vs. < 3.4 h). The dichotomous characteristics were defined by subgroup characteristics (gender, living conditions), established cut-offs given in the literature (MMSE, five-chair-stand), or sample specific median values (maximum gait speed, activity level).

To describe the investigating context and to ascertain whether the PA parameters in the total group showed structural differences between measured days at the group level, a repeated measures analysis of variance (ANOVA) was used. In case of violating the assumption of sphericity, the Greenhouse-Geisser correction was applied. If a significant level was revealed, a post hoc test with Bonferroni correction was used to identify the differences between the respective days.

Effect sizes were calculated as partial eta squared (η_p^2). Values ranging from .01 to .06 indicate small, values from .06 to .14 medium, and values above .14 large effect sizes (Cohen, 1988). All statistical analyses were performed using Statistical Package for Social Sciences (SPSS) version 25.0 (IBM, Armonk, NY, USA). The significance level was set at $p \leq .05$.

Table 1
Descriptive characteristics of the study participants.

Variable	n (%)	Mean (SD)
Age (years)		82.3 (5.6)
Gender (women)	39 (73.6)	
Living condition (institutionalized)	15 (28.3)	
Education (years)		11.8 (3.4)
Diagnoses (number)		8.1 (4.1)
Medications (number)		7.0 (3.2)
MMSE (sum score)		22.1 (2.9)
GDS (sum score)		3.30 (2.33)
SF-12 (total score)		91.8 (14.0)
Short FES-I (sum score)		9.74 (2.98)
One-item question on fear of falling (fear)	24 (45.3)	
Participants with at least one fall in the previous year	32 (60.4)	
Physical status		
Five-chair-stand (seconds)		14.8 (6.7)
Maximum gait speed (meter/second)		1.05 (0.37)
POMA (total score)		22.2 (3.8)
TUG (seconds)		17.0 (7.2)
Physical activity ^a		
Lying time per day (hours)		9.1 (3.4)
Sitting time per day (hours)		11.3 (3.3)
Standing time per day (hours)		3.1 (1.2)
Walking time per day (hours)		0.53 (0.42)
Active time per day (hours)		3.6 (1.6)
Inactive time per day (hours)		20.4 (1.6)
Walking episodes per day (number)		64.9 (50.3)
Steps per day (number)		1536 (1262)
STS per day (number)		134 (58)

Note. Presented are descriptive characteristics for the study sample of multi-morbid persons with mild-to-moderate stage dementia ($N = 53$). Data are mean (*SD*) or number (%). n = Number of Cases; *SD* = Standard Deviation; MMSE = Mini-Mental State Examination; GDS = Geriatric Depression Scale (15 items); SF-12 = 12-item Short Form Health Survey; Short FES-I = Short Falls Efficacy Scale-International; POMA = Performance Oriented Mobility Assessment; TUG = Timed-Up-and-Go-Test; Active time per day = sum of standing and walking time; Inactive time = sum of lying and sitting time; STS = Sit-to-Stand Transitions.

^a Mean over the three measurement days, interpolation: day 1 ($n = 0$), day 2 ($n = 1$), day 3 ($n = 19$).

3. Results

The study sample included 53 persons comprising multi-morbid, older persons with mild-to-moderate dementia. Mean age was 82.3 ± 5.6 years, almost three quarters (73.6%) were women, and more than a quarter (28.3%) were living in nursing homes (Table 1). The mean time of activity recording per day was 23.95 ± 0.25 h, indicating a good adherence to the wearing time of the sensor.

3.1. Day-to-day variability of physical activity parameters

In the total group, all non-walking parameters (lying time, sitting time, number of STS, active time, inactive time, and standing time) revealed a rather low day-to-day variability and exceeded the required cut-off for acceptable reliability for both combinations of consecutive days, Friday-Saturday ($ICC = .73-.85$) and Saturday-Sunday ($ICC = .81-.85$, Table 2). Regarding the walking parameters, the ICC of walking time ($ICC = .69$) and of number of walking episodes ($ICC = .70$) for Saturday-Sunday was marginally below or equal to the cut-off value. Even though the ICC of number of steps was higher for Saturday-Sunday ($ICC = .49$) than for Friday-Saturday ($ICC = .18$), the reliability was not adequate to achieve a value greater than or equal to the cut-off. None of the walking parameters met this requirement for Friday-Saturday ($ICC = .15-.28$).

Table 2
Intraclass correlation coefficients of physical activity parameters for two different combinations of consecutive days of the week.

Parameter	Friday - Saturday	Saturday - Sunday
Lying time (hours)	.85 [.75, .91]	.83 [.73, .90]
Sitting time (hours)	.84 [.73, .90]	.85 [.75, .91]
STS (number)	.82 [.71, .89]	.85 [.76, .91]
Active time (hours)	.82 [.71, .89]	.83 [.72, .90]
Inactive time (hours)	.82 [.71, .89]	.83 [.72, .90]
Standing time (hours)	.73 [.49, .85]	.81 [.69, .88]
Walking time (hours)	.28 [−.09, .57]	.69 [.52, .81]
Walking episodes (number)	.15 [−.08, .39]	.70 [.54, .82]
Steps (number)	.18 [−.07, .42]	.49 [.26, .67]

Note. Presented are intraclass correlation coefficients (ICCs) including 95% confidence intervals of different physical activity parameters for comparisons between different combinations of consecutive days (Friday-Saturday vs. Saturday-Sunday) in the total group ($N = 53$). ICCs $\geq .70$ (shown in boldface) are considered acceptable for day-to-day reliability. STS = Sit-to-Stand Transitions; Active time = sum of standing and walking time; Inactive time = sum of lying and sitting time.

3.2. Mean value comparisons of physical activity parameters between days

In addition to estimating the individual day-to-day variability, the sensor-derived parameters were tested for mean value differences between measurement days to obtain whether there were structural differences of PA between individual days at the group level. The results of a repeated measures ANOVA revealed significant differences between Friday, Saturday, and Sunday in the PA parameters standing time, $F(2, 104) = 12.4, p < .001, \eta_p^2 = .19$; walking time, $F(1.42, 73.8) = 78.0, p < .001, \eta_p^2 = .60$; number of walking episodes, $F(1.11, 57.5) = 69.5, p < .001, \eta_p^2 = .57$; and number of steps, $F(1.40, 73.0) = 50.2, p < .001, \eta_p^2 = .49$. The effect sizes were large for all comparisons (all $\eta_p^2 \geq .19$). No significant differences were observed in the sensor-based PA parameters lying time, sitting time, number of STS, active time, and inactive time. Post hoc tests using Bonferroni correction determined following pairwise comparisons: Standing time was significantly lower on Friday (165 ± 79 min) compared to Saturday (194 ± 79 min, $p = .001$) and Sunday (198 ± 82 min, $p < .001$). Walking time was significantly higher on Friday (60 ± 40 min) compared to Saturday (20 ± 24 min, $p < .001$) and Sunday (17 ± 21 min, $p < .001$). Number of walking episodes was significantly higher on Friday (137 ± 107) compared to Saturday ($30 \pm 34, p < .001$) and Sunday ($28 \pm 31, p < .001$). Number of steps was significantly higher on Friday (2993 ± 2314) compared to Saturday ($913 \pm 1402, p < .001$) and Sunday ($703 \pm 922, p < .001$). No significant differences were found between Saturday and Sunday.

3.3. Day-to-day variability of physical activity parameters in subgroups

When assessing the day-to-day variability of the PA parameters in subgroups, almost all non-walking parameters met the requirement for acceptable day-to-day reliability for Friday-Saturday and Saturday-Sunday, with minor exceptions especially in the subgroup activity level. The reliability values of the walking parameters were less conclusive and depended on the respective subgroup, dichotomous characteristic of the subgroup, or combination of consecutive days. While the analyses did not show adequate reliability values in the walking parameters for Friday-Saturday in all subgroups, the reliability for Saturday-Sunday varied between the subgroups and dichotomous characteristics (Table 3).

4. Discussion

Study results documented that non-walking parameters (e. g. lying time, sitting time) revealed a low day-to-day variability and remained

less affected by specific days (weekday vs. weekend day) and concomitant factors (gender, living conditions, cognitive status, physical performance, activity level) in multi-morbid, older persons with mild-to-moderate stage dementia. Walking parameters generally revealed a higher day-to-day variability between different types of days (Friday-Saturday) and, also depending on the concomitant factor, a lower day-to-day variability between similar days (Saturday-Sunday).

4.1. Day-to-day variability of physical activity parameters

Present results are in line with a previous study in high-functioning, community-dwelling older persons showing that day-to-day variability of walking parameters was higher compared to non-walking parameters and that two days were sufficient to reliably assess non-walking parameters (de la Camara et al., 2018). Given the high percentage of regularly documented sedentary behavior for at least two-thirds of the day (van Alphen et al., 2016), the low day-to-day variability of non-walking parameters seems not surprising. However, at a very low level of PA, only occasionally occurring periods of walking activity, even though they may be low with respect to absolute volume, may then lead to a higher intra-individual variability as documented for walking parameters in the present study. This assumption is supported by the finding of a study in a mixed sample of older community-dwellers with mild Alzheimer's disease and without cognitive impairment, in which persons with a higher average level of PA tended to be more consistent in their PA (Watts et al., 2016).

Current results regarding the measurement period of non-walking parameters complied with the findings of a previous study in a mixed sample of community-dwelling elderly with and without cognitive impairment reporting two measurement days as sufficient for non-walking parameters such as sitting time, number of STS, or standing time (van Schooten et al., 2015). In contrast, the present results of walking parameters contradict to previous studies in heterogeneous samples, either mixed (van Schooten et al., 2015) or unspecified for cognitive status (Rowe et al., 2007), which showed that two assessment days were sufficient for comparable walking parameters.

The present study indicates that the required measurement duration, in particular of walking parameters, may depend on the respective measurement days, which are therefore an important factor for the assessment of habitual physical activity.

Regarding the type of measurement days, the rather low day-to-day variability of non-walking parameters for different type of days in the current findings complies with previous studies also showing a rather low day-to-day variability of parameters representing sedentary behavior for weekdays vs. weekend days in high-functioning older adults living independently (de la Camara et al., 2018) or in continuing care retirement centers (Marshall et al., 2015). In contrast, the high day-to-day variability of walking parameters for different types of days contradicts previous results reporting a rather low day-to-day variability of walking parameters for Friday vs. Saturday (de la Camara et al., 2018). The present study revealed that the day-to-day variability of walking parameters for different types of days was strikingly different compared to similar types of days, suggesting structural differences between weekdays and weekend days with divergent daily routines and habitual patterns in older persons with mild-to-moderate stage dementia.

4.2. Mean value comparisons of physical activity parameters between days

Comparisons of the group mean values support the assumption of similar activity patterns within comparable weekend days (Saturday & Sunday) and a structural difference between different types of days (Friday vs. Saturday & Friday vs. Sunday), mainly affecting walking behavior in the specific study sample.

The present study outcomes with mean value differences in walking parameters between different types of days (weekday vs. weekend days) are in line with findings in a similar old community-dwelling

Table 3
Intraclass correlation coefficients of physical activity parameters for two different combinations of consecutive days of the week in subgroups.

Parameter	Gender				Living conditions				Cognitive status			
	women n = 39		men n = 14		independent n = 38		institutionalized n = 15		MMSE ≥ 24 pts n = 21		MMSE < 24 pts n = 32	
	Friday - Saturday	Saturday - Sunday	Friday - Saturday	Saturday - Sunday	Friday - Saturday	Saturday - Sunday	Friday - Saturday	Saturday - Sunday	Friday - Saturday	Saturday - Sunday	Friday - Saturday	Saturday - Sunday
Lying time (hours)	.84 [.71, .91]	.83 [.70, .91]	.88 [.67, .96]	.84 [.57, .95]	.87 [.77, .93]	.81 [.66, .90]	.77 [.44, .92]	.89 [.88, .96]	.88 [.74, .95]	.84 [.65, .93]	.80 [.62, .90]	.83 [.69, .92]
Sitting time (hours)	.84 [.71, .91]	.84 [.71, .91]	.83 [.56, .94]	.86 [.62, .95]	.88 [.78, .93]	.83 [.69, .91]	.75 [.41, .91]	.88 [.64, .96]	.89 [.74, .95]	.86 [.70, .94]	.79 [.61, .89]	.83 [.69, .92]
STS (number)	.82 [.69, .90]	.88 [.79, .94]	.74 [.36, .91]	.65 [.23, .87]	.77 [.61, .88]	.81 [.66, .89]	.90 [.74, .97]	.94 [.84, .98]	.82 [.61, .92]	.81 [.59, .92]	.82 [.67, .91]	.88 [.77, .94]
Active time (hours)	.83 [.69, .91]	.85 [.72, .92]	.81 [.51, .93]	.80 [.48, .93]	.80 [.65, .89]	.77 [.60, .88]	.86 [.61, .95]	.95 [.87, .98]	.87 [.71, .94]	.84 [.64, .93]	.77 [.58, .88]	.83 [.68, .91]
Inactive time (hours)	.83 [.69, .91]	.85 [.72, .92]	.81 [.51, .93]	.80 [.48, .93]	.80 [.65, .89]	.77 [.60, .88]	.86 [.61, .95]	.95 [.87, .98]	.87 [.71, .94]	.84 [.64, .93]	.77 [.58, .88]	.83 [.68, .91]
Standing time (hours)	.71 [.46, .85]	.82 [.68, .90]	.80 [.39, .94]	.78 [.45, .92]	.69 [.37, .85]	.75 [.56, .86]	.82 [.54, .93]	.95 [.85, .98]	.87 [.64, .95]	.82 [.61, .92]	.60 [.29, .79]	.80 [.63, .90]
Walking time (hours)	.28 [-.08, .57]	.67 [.45, .81]	.28 [-.10, .68]	.78 [.44, .93]	.28 [.07, .57]	.32 [.09, .78]	.30 [.10, .70]	.88 [.68, .96]	.40 [.10, .73]	.83 [.63, .93]	.19 [.09, .47]	.57 [.29, .76]
Walking episodes (number)	.20 [.09, .48]	.70 [.50, .83]	.11 [.13, .47]	.73 [.33, .91]	.16 [.09, .42]	.71 [.51, .84]	.13 [.12, .49]	.72 [.37, .90]	.25 [.11, .59]	.85 [.67, .94]	.06 [.10, .28]	.55 [.26, .75]
Steps (number)	.19 [.07, .45]	.46 [.18, .67]	.16 [.12, .53]	.68 [.24, .89]	.15 [.09, .41]	.37 [.07, .61]	.26 [.12, .64]	.83 [.56, .94]	.28 [.10, .62]	.78 [.54, .91]	.11 [.12, .37]	.40 [.08, .65]

Parameter	Five-chair-stand				Maximum gait speed				Activity level			
	≥ 12 s n = 34		< 12 s n = 18		≥ 1.04 m/s n = 27		< 1.04 m/s n = 26		≥ 3.4 h/day n = 27		< 3.4 h/day n = 26	
	Friday - Saturday	Saturday- Sunday	Friday - Saturday	Saturday- Sunday	Friday - Saturday	Saturday- Sunday	Friday - Saturday	Saturday- Sunday	Friday - Saturday	Saturday- Sunday	Friday - Saturday	Saturday- Sunday
Lying time (hours)	.79 [.63, .89]	.81 [.66, .90]	.96 [.90, .99]	.89 [.73, .96]	.96 [.91, .98]	.85 [.69, .93]	.68 [.40, .84]	.82 [.64, .92]	.92 [.83, .96]	.76 [.54, .88]	.80 [.60, .90]	.87 [.73, .94]
Sitting time (hours)	.80 [.64, .90]	.83 [.70, .91]	.91 [.76, .96]	.86 [.66, .94]	.91 [.81, .96]	.81 [.63, .91]	.73 [.48, .87]	.88 [.74, .94]	.85 [.70, .93]	.77 [.56, .89]	.83 [.65, .92]	.89 [.77, .95]
STS (number)	.79 [.61, .89]	.85 [.73, .92]	.81 [.57, .92]	.82 [.59, .93]	.77 [.56, .89]	.84 [.69, .93]	.86 [.71, .93]	.85 [.70, .93]	.77 [.56, .89]	.79 [.59, .90]	.64 [.35, .82]	.79 [.59, .90]
Active time (hours)	.79 [.62, .89]	.83 [.69, .91]	.78 [.51, .91]	.79 [.53, .92]	.78 [.57, .89]	.83 [.66, .92]	.82 [.64, .91]	.79 [.59, .90]	.72 [.47, .86]	.70 [.44, .85]	.38 [.00, .66]	.56 [.23, .77]
Inactive time (hours)	.79 [.62, .89]	.83 [.69, .91]	.78 [.51, .91]	.79 [.53, .92]	.78 [.57, .89]	.83 [.66, .92]	.82 [.64, .91]	.79 [.59, .90]	.72 [.47, .86]	.70 [.44, .85]	.38 [.00, .66]	.56 [.23, .77]
Standing time (hours)	.67 [.33, .84]	.83 [.68, .91]	.71 [.39, .88]	.75 [.44, .90]	.70 [.41, .86]	.80 [.61, .90]	.70 [.37, .86]	.77 [.55, .89]	.54 [.14, .78]	.63 [.33, .81]	.40 [.05, .67]	.60 [.30, .80]
Walking time (hours)	.31 [.10, .67]	.74 [.53, .86]	.16 [.14, .51]	.61 [.23, .83]	.18 [.10, .48]	.64 [.35, .82]	.37 [.10, .73]	.76 [.54, .89]	.14 [.10, .43]	.58 [.26, .78]	.04 [.07, .21]	-.04 [.44, .35]
Walking episodes (number)	.16 [.09, .44]	.64 [.39, .80]	.09 [.13, .40]	.71 [.39, .88]	.10 [.10, .37]	.70 [.45, .85]	.19 [.10, .51]	.67 [.38, .84]	.07 [.10, .31]	.62 [.32, .81]	.02 [.10, .21]	.07 [.45, .33]
Steps (number)	.20 [.10, .50]	.72 [.51, .85]	.05 [.26, .43]	.34 [.11, .68]	.09 [.14, .37]	.41 [.05, .67]	.23 [.10, .57]	.73 [.48, .87]	.06 [.15, .33]	.37 [.01, .65]	.01 [.11, .19]	-.08 [.47, .32]

Note. Presented are intraclass correlation coefficients (ICCs) including 95% confidence intervals of different physical activity parameters for comparisons between different combinations of consecutive days (Friday-Saturday vs. Saturday-Sunday) in subgroups (N = 53). ICCs ≥ .70 (shown in boldface) are considered acceptable for day-to-day reliability; negative ICCs indicate a reliability of zero. n = number of participants with the respective dichotomous characteristic of the subgroups; pts = points; s = seconds; m/s = meter per second; h/day = hours per day; MMSE = Mini Mental State Examination; STS = Sit-to-Stand Transitions; Active time = sum of standing and walking time; Inactive time = sum of lying and sitting time.

study sample with and without cognitive impairment, functional restrictions, and a comparable activity status (Taraldsen, Vereijken, Thingstad, Sletvold, & Helbostad, 2014). In contrast, a study exclusively in community-dwelling persons with and without cognitive impairment, but with less functional restrictions and a higher activity status compared to the present study sample, did not find mean value differences in walking time between weekdays and weekend days (Nicolai et al., 2010). Considering the contrary results of Nicolai et al. (2010) compared to those of Taraldsen et al. (2014) and of the present study, these heterogeneous results might be due to the different functional-and resulting activity levels. While higher functioning persons may be able to maintain their activity levels throughout the week, more impaired persons may reduce their activity at weekends when perceived

as burdensome and daily routines such as to go shopping are reduced.

4.3. Day-to-day variability of physical activity parameters in subgroups

Since the results of the subgroup analyses revealed low day-to-day variability levels in almost all non-walking parameters in most subgroups (except for the subgroup considering activity level), regardless of the type of days, a short 2-day measurement period seems adequate.

In contrast, the walking parameters showed a recurring pattern of results with a higher day-to-day variability for different types of days and a lower day-to-day variability for similar types of days in all concomitant factors, except for lower activity level showing an equally high day-to-day variability, regardless of the type of days.

Since the day-to-day variability of some PA parameters was different between several dichotomized subgroups, the potential influence of such concomitant factors on the day-to-day variability will be discussed in detail below.

4.3.1. Gender

Our results suggest that gender does not considerably affect the day-to-day variability of various PA parameters in multi-morbid, older persons with mild-to-moderate stage dementia and therefore agree with the findings of a previous study in high-functioning and on average ten years younger community-dwelling older adults, which showed that day-to-day variability of lying time, sitting time, standing time, and walking time was not different between men and women (de la Camara et al., 2018). Contradicting results of a previous study in school children, showing a lower day-to-day variability of moderate-to-vigorous PA in boys compared to girls (Fairclough et al., 2007), suggest that in considerably different age cohorts, gender may have a different impact on day-to-day variability of PA parameters.

4.3.2. Living conditions

The present results revealed that the day-to-day variability among all PA parameters was the lowest for similar type of days in institutionalized persons. All walking parameters, when compared between weekend days, showed a low day-to-day variability sufficient for a two day assessment period in institutionalized participants, while day-to-day variability of walking parameters between different types of days was comparable to other subgroups.

Observed differences and a consistently low day-to-day variability of PA parameters, especially so for similar types of days in institutionalized participants, may have been caused by the organizational framework of care facilities. Due to highly structured routines in nursing homes, the access to PA is often restricted in institutionalized persons (Benjamin, Edwards, Ploeg, & Legault, 2014). Furthermore, a reduced staffing at weekends commonly increases the need of compliance with structural workflows in nursing care facilities. This may further reduce the access to PA for nursing home residents, especially since regular group based activity programs are shut down, while daily routines such as attending meals still have a high normative impact on activity patterns (Jansen, Diegelmann, Schnabel, Wahl, & Hauer, 2017).

4.3.3. Cognitive status

Our study showed a low day-to-day variability sufficient for a two day measurement period in almost all non-walking parameters, irrespective of cognitive status and type of days, and also in walking parameters for similar type of days in persons with less cognitive impairment.

The higher day-to-day variability of all walking parameters in persons with a lower cognitive status is not in line with the outcome of a previous study reporting no difference in intra-individual variability of a single sensor-based PA parameter (activity counts) between nearly ten years younger community-dwelling elderly persons with mild Alzheimer's disease and without cognitive impairment (Watts et al., 2016).

A conceivable cause for the higher day-to-day variability of the walking parameters in cognitively more impaired persons could have been, as already assumed in the subgroup regarding living conditions, external influences. Persons with a lower cognitive status are more dependent on social support (World Health Organization, 2017), which may affect activity control and thus day-to-day variability of walking parameters. In contrast, cognitively less impaired persons are likely able to maintain a higher degree of autonomy and independently manage their activity behavior, probably resulting in a structural difference in walking parameters between weekdays and weekend days, as it has been observed in the present study.

4.3.4. Physical performance

The present study used two distinct criteria for physical performance with the five-chair-stand documenting maximal strength, and maximum gait speed documenting general performance. Contrary to our hypothesis that a high functional status may allow higher day-to-day variability of PA while low functioning persons may severely be restricted (floor effects for activity behavior), only one PA parameter (number of steps) showed a considerably different day-to-day variability between persons with a higher vs. lower functional status and only for similar type of days.

Study results are in line with a previous study in community-dwelling older persons with mild Alzheimer's disease and without cognitive impairment showing that the cardiorespiratory capacity, as a main determinant of physical performance, was not associated with the variability of PA (Watts et al., 2016). This indicates that individual physical performance levels did not affect the day-to-day variability of habitual PA in this group of multi-morbid, older persons with mild-to-moderate stage dementia.

4.3.5. Activity level

The subgroup analysis according to activity levels indicated a relevant influence of amount of activity on day-to-day variability. In contrast to other subgroup analyses, the variability of all walking parameters was rather high and not adequate for a two day assessment period, regardless of the activity level and type of days. The day-to-day variability in the low activity group stood out as the highest within all subgroup analyses and showed a high variability for all walking as well as more than half of the non-walking parameters.

Based on different study designs, sample selections, assessment strategies, and data analyses, benchmarking to other studies is limited. The present results suggest that the amount of average activity influences the day-to-day variability of walking, partly also for non-walking parameters, especially so in persons with a low activity level, and complies with the results of a previous study showing a negative correlation between average amount of PA and variability as objectively assessed by a single PA parameter (activity counts) in a mixed sample of community-dwelling, older adults with mild Alzheimer's disease and older adults without cognitive impairment (Watts et al., 2016). However, our findings contradict outcomes of another study reporting no difference in the day-to-day variability of walking and non-walking parameters in high-functioning community-dwelling older persons with a higher or lower activity level (de la Camara et al., 2018). A comparison to this study is limited, as the allocation into a higher and lower activity level in this study was based on self-report questionnaires assessing the PA of the past year and surprisingly not on the objectively measured PA as in the present study.

An explanation for the deviating results may be found in the advanced sedentariness of the study participants in the present study. The extremely high day-to-day variability of all walking parameters (in relation also of certain non-walking parameters) for similar types of days with low general activity (weekend days) in the group with a lower activity level (within a total group of sedentary, multi-morbid older persons) is striking. Our findings therefore may suggest that at very low activity levels, activity clusters may become more and more random with small absolute deviations at a very low general level leading to high relative variance, which is documented by intra-individual variability.

4.3.6. Limitation and strengths

A limitation of this study may be the short assessment period including only one weekday. However, as previous studies in older persons suggest that PA may not differ between days of the week (Hart et al., 2011; Nicolai et al., 2010) and that two days may be adequate to reliably assess the number of steps (Rowe et al., 2007), the selected measurement period was considered to be appropriate. The major strengths of our study were the inclusion of different types of days and

the subgroup analyses for different concomitant factors, as the study design allowed evaluating their impact on the day-to-day variability of various sensor-based PA parameters in multi-morbid, older persons with mild-to-moderate stage dementia.

5. Conclusion

Study results allow for the first time to define the assessment duration of various sensor-based PA parameters in a multi-morbid, older population with mild-to-moderate stage dementia, most affected by activity restrictions and challenging activity patterns that are not easy to document. Two consecutive days were adequate to reliably assess non-walking parameters, while a higher day-to-day variability of walking parameters was substantially affected by type of days and partly by concomitant factors.

Author declaration

We wish to confirm that there are no known conflicts of interest associated with this publication and there has been no significant financial support for this work that could have influenced its outcome.

We confirm that the manuscript has been read and approved by all named authors and that there are no other persons who satisfied the criteria for authorship but are not listed. We further confirm that the order of authors listed in the manuscript has been approved by all of us.

We confirm that we have given due consideration to the protection of intellectual property associated with this work and that there are no impediments to publication, including the timing of publication, with respect to intellectual property. In so doing we confirm that we have followed the regulations of our institutions concerning intellectual property.

We further confirm that any aspect of the work covered in this manuscript that has involved human patients has been conducted with the ethical approval of all relevant bodies and that such approvals are acknowledged within the manuscript.

We understand that the Corresponding Author is the sole contact for the Editorial process (including Editorial Manager and direct communications with the office). He is responsible for communicating with the other authors about progress, submissions of revisions and final approval of proofs. We confirm that we have provided a current, correct email address which is accessible by the Corresponding Author and which has been configured to accept email from khauer@bethanien-heidelberg.de.

Declaration of Competing Interest

None.

CRediT authorship contribution statement

Bastian Abel: Conceptualization, Methodology, Validation, Formal analysis, Investigation, Data curation, Writing - original draft, Visualization. **Rebekka Pomiersky:** Conceptualization, Methodology, Writing - original draft. **Christian Werner:** Validation, Formal analysis, Investigation, Data curation, Writing - review & editing, Project administration. **André Lacroix:** Writing - review & editing. **Martina Schäufele:** Writing - review & editing. **Klaus Hauer:** Conceptualization, Methodology, Writing - review & editing, Visualization, Supervision, Project administration, Funding acquisition.

Acknowledgements

The study was supported by the Dietmar Hopp Foundation, the Robert Bosch Foundation, and the Network of Aging Research (NAR) at the University of Heidelberg.

References

- Aalten, P., Verhey, F. R., Boziki, M., Bullock, R., Byrne, E. J., Camus, V., ... Robert, P. H. (2007). Neuropsychiatric syndromes in dementia. Results from the European Alzheimer Disease Consortium: Part I. *Dementia and Geriatric Cognitive Disorders*, 24(6), 457–463. <https://doi.org/10.1159/000110738>.
- Aaronson, N., Alonso, J., Burnam, A., Lohr, K. N., Patrick, D. L., Perrin, E., ... Stein, R. E. (2002). Assessing health status and quality-of-life instruments: Attributes and review criteria. *Quality of Life Research*, 11(3), 193–205.
- Ainsworth, B., Cahalin, L., Buman, M., & Ross, R. (2015). The current state of physical activity assessment tools. *Progress in Cardiovascular Diseases*, 57(4), 387–395. <https://doi.org/10.1016/j.pcad.2014.10.005>.
- Benjamin, K., Edwards, N., Ploeg, J., & Legault, F. (2014). Barriers to physical activity and restorative care for residents in long-term care: A review of the literature. *Journal of Aging and Physical Activity*, 22(1), 154–165. <https://doi.org/10.1123/japa.2012-0139>.
- Buckinx, F., Mouton, A., Reginster, J. Y., Croisier, J. L., Dardenne, N., Beaudart, C., ... Bruyere, O. (2017). Relationship between ambulatory physical activity assessed by activity trackers and physical frailty among nursing home residents. *Gait and Posture*, 54, 56–61. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.02.010>.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (second edition ed.). New York: Lawrence Erlbaum Associates.
- David, R., Mulin, E., Friedman, L., Le Duff, F., Cygankiewicz, E., Deschaux, O., ... Zeitzer, J. M. (2012). Decreased daytime motor activity associated with apathy in Alzheimer disease: An actigraphic study. *American Journal of Geriatric Psychiatry*, 20(9), 806–814. <https://doi.org/10.1097/JGP.0b013e31823038af>.
- de la Camara, M. A., Higuera-Fresnillo, S., Martínez-Gomez, D., & Veiga, O. L. (2018). Inter-day reliability of the IDEEA activity monitor for measuring movement and non-movement behaviors in older adults. *Journal of Aging and Physical Activity*, 1–33. <https://doi.org/10.1123/japa.2017-0365>.
- Donaldson, S. C., Montoyo, A. H., Tuttle, M. S., & Kaminsky, L. A. (2016). Variability of objectively measured sedentary behavior. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(4), 755–761. <https://doi.org/10.1249/mss.0000000000000828>.
- Edelbrock, D., Buys, L. R., Waite, L. M., Grayson, D. A., Broe, G. A., & Creasey, H. (2001). Characteristics of social support in a community-living sample of older people: The Sydney Older Persons Study. *Australasian Journal on Ageing*, 20(4), 173–178. <https://doi.org/10.1111/j.1741-6612.2001.tb00382.x>.
- Fairclough, S. J., Butcher, Z. H., & Stratton, G. (2007). Whole-day and segmented-day physical activity variability of northwest England school children. *Preventive Medicine*, 44(5), 421–425. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2007.01.002>.
- Folstein, M. F., Folstein, S. E., & McHugh, P. R. (1975). "Mini-mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *Journal of Psychiatric Research*, 12(3), 189–198.
- Gaugel, S., & Birkner, B. (1999). Validität und reliabilität einer deutschen version der Geriatrischen Depressionsskala (GDS). *Zeitschrift für Klinische Psychologie und Psychotherapie*, 28(1), 18–27. <https://doi.org/10.1026//0084-5345.28.1.18>.
- Ghosh, S., Fleiner, T., Giannouli, E., Jaekel, U., Mellone, S., Häussermann, P., ... Zijlstra, W. (2018). Statistical learning of mobility patterns from long-term monitoring of locomotor behaviour with body-worn sensors. *Scientific Reports*, 8(1), 7079. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-25523-4>.
- Guralnik, J. M., Simonsick, E. M., Ferrucci, L., Glynn, R. J., Berkman, L. F., Blazer, D. G., ... Wallace, R. B. (1994). A short physical performance battery assessing lower extremity function: Association with self-reported disability and prediction of mortality and nursing home admission. *Journal of Gerontology*, 49(2), M85–94.
- Hart, T. L., Swartz, A. M., Cashin, S. E., & Strath, S. J. (2011). How many days of monitoring predict physical activity and sedentary behaviour in older adults? *The International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 8, 62. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-8-62>.
- Harvey, J. A., Chastin, S. F., & Skelton, D. A. (2013). Prevalence of sedentary behavior in older adults: A systematic review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 10(12), 6645–6661. <https://doi.org/10.3390/ijerph10126645>.
- Hauer, K. A., Kempen, G. I., Schwenk, M., Yardley, L., Beyer, N., Todd, C., ... Zijlstra, G. A. (2011). Validity and sensitivity to change of the falls efficacy scales international to assess fear of falling in older adults with and without cognitive impairment. *Gerontology*, 57(5), 462–472. <https://doi.org/10.1159/000320054>.
- Hubble, R. P., Naughton, G. A., Silburn, P. A., & Cole, M. H. (2015). Wearable sensor use for assessing standing balance and walking stability in people with Parkinson's disease: A systematic review. *PLoS One*, 10(4), e0123705. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123705>.
- Jansen, C. P., Diegelmann, M., Schnabel, E. L., Wahl, H. W., & Hauer, K. (2017). Life-space and movement behavior in nursing home residents: Results of a new sensor-based assessment and associated factors. *BMC Geriatrics*, 17(1), 36. <https://doi.org/10.1186/s12877-017-0430-7>.
- Lamb, S. E., Jørstad-Stein, E. C., Hauer, K., & Becker, C. (2005). Development of a common outcome data set for fall injury prevention trials: The Prevention of Falls Network Europe consensus. *Journal of the American Geriatrics Society*, 53(9), 1618–1622. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2005.53455.x>.
- Maki, B. E., Holliday, P. J., & Topper, A. K. (1991). Fear of falling and postural performance in the elderly. *Journal of Gerontology*, 46(4), M123–131.
- Marshall, S., Kerr, J., Carlson, J., Cadmus-Bertram, L., Patterson, R., Wasilenko, K., ... Natarajan, L. (2015). Patterns of weekday and weekend sedentary behavior among older adults. *Journal of Aging and Physical Activity*, 23(4), 534–541. <https://doi.org/10.1123/japa.2013-0208>.
- McKhann, G. M., Knopman, D. S., Chertkow, H., Hyman, B. T., Jack, C. R., Jr., Kawas, C. H., ... Phelps, C. H. (2011). The diagnosis of dementia due to Alzheimer's disease:

- Recommendations from the National Institute on Aging-Alzheimer's Association workgroups on diagnostic guidelines for Alzheimer's disease. *Alzheimers Dement*, 7(3), 263–269. <https://doi.org/10.1016/j.jalz.2011.03.005>.
- Morris, J. C., Mohs, R. C., Rogers, H., Fillenbaum, G., & Heyman, A. (1988). Consortium to establish a registry for Alzheimer's disease (CERAD) clinical and neuropsychological assessment of Alzheimer's disease. *Psychopharmacology Bulletin*, 24(4), 641–652.
- Najafi, B., Aminian, K., Paraschiv-Ionescu, A., Loew, F., Bula, C. J., & Robert, P. (2003). Ambulatory system for human motion analysis using a kinematic sensor: Monitoring of daily physical activity in the elderly. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 50(6), 711–723. <https://doi.org/10.1109/tbme.2003.812189>.
- Najafi, B., Armstrong, D. G., & Mohler, J. (2013). Novel wearable technology for assessing spontaneous daily physical activity and risk of falling in older adults with diabetes. *Journal of Diabetes Science and Technology*, 7(5), 1147–1160. <https://doi.org/10.1177/193229681300700507>.
- Nicolai, S., Benzinger, P., Skelton, D. A., Aminian, K., Becker, C., & Lindemann, U. (2010). Day-to-day variability of physical activity of older adults living in the community. *Journal of Aging and Physical Activity*, 18(1), 75–86.
- Njegovan, V., Hing, M. M., Mitchell, S. L., & Molnar, F. J. (2001). The hierarchy of functional loss associated with cognitive decline in older persons. *Journals of Gerontology. Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 56(10), M638–643.
- O'Bryant, S. E., Humphreys, J. D., Smith, G. E., Ivnik, R. J., Graff-Radford, N. R., Petersen, R. C., ... Lucas, J. A. (2008). Detecting dementia with the mini-mental state examination in highly educated individuals. *Archives of Neurology*, 65(7), 963–967. <https://doi.org/10.1001/archneur.65.7.963>.
- Oswald, W. D., & Fleischmann, U. M. (1997). *Das Nürnberger-Alters-Inventar (NAI) – Testinventar & NAI-Testmanual und Textband* (4 ed.). Göttingen: Hogrefe.
- Podsiadlo, D., & Richardson, S. (1991). The timed "Up & Go": A test of basic functional mobility for frail elderly persons. *Journal of the American Geriatrics Society*, 39(2), 142–148.
- Rowe, D. A., Kemble, C. D., Robinson, T. S., & Mahar, M. T. (2007). Daily walking in older adults: Day-to-day variability and criterion-referenced validity of total daily step counts. *Journal of Physical Activity and Health*, 4(4), 434–446.
- Sabia, S., Dugravot, A., Dartigues, J.-F., Abell, J., Elbaz, A., Kivimäki, M., ... Singh-Manoux, A. (2017). Physical activity, cognitive decline, and risk of dementia: 28 year follow-up of Whitehall II cohort study. *British Medical Journal*, 357. <https://doi.org/10.1136/bmj.j2709>.
- Taraldsen, K., Chastin, S. F., Riphagen, I. I., Vereijken, B., & Helbostad, J. L. (2012). Physical activity monitoring by use of accelerometer-based body-worn sensors in older adults: A systematic literature review of current knowledge and applications. *Maturitas*, 71(1), 13–19. <https://doi.org/10.1016/j.maturitas.2011.11.003>.
- Taraldsen, K., Vereijken, B., Thingstad, P., Sletvold, O., & Helbostad, J. L. (2014). Multiple days of monitoring are needed to obtain a reliable estimate of physical activity in hip-fracture patients. *Journal of Aging and Physical Activity*, 22(2), 173–177. <https://doi.org/10.1123/japa.2012-0130>.
- Tiedemann, A., Shimada, H., Sherrington, C., Murray, S., & Lord, S. (2008). The comparative ability of eight functional mobility tests for predicting falls in community-dwelling older people. *Age and Ageing*, 37(4), 430–435. <https://doi.org/10.1093/ageing/afn100>.
- Tinetti, M. E. (1986). Performance-oriented assessment of mobility problems in elderly patients. *Journal of the American Geriatrics Society*, 34(2), 119–126.
- Trost, S. G., McIver, K. L., & Pate, R. R. (2005). Conducting accelerometer-based activity assessments in field-based research. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(11 Suppl), S531–543.
- van Alphen, H. J., Volkers, K. M., Blankevoort, C. G., Scherder, E. J., Hortobagyi, T., & van Heuvelen, M. J. (2016). Older adults with dementia are sedentary for most of the day. *PLoS One*, 11(3), e0152457. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152457>.
- van Iersel, M. B., Hoefsloot, W., Munneke, M., Bloem, B. R., & Olde Rikkert, M. G. (2004). Systematic review of quantitative clinical gait analysis in patients with dementia. *Zeitschrift für Gerontologie und Geriatrie*, 37(1), 27–32. <https://doi.org/10.1007/s00391-004-0176-7>.
- van Schooten, K. S., Rispens, S. M., Elders, P. J., Lips, P., van Dieen, J. H., & Pijnappels, M. (2015). Assessing physical activity in older adults: Required days of trunk accelerometer measurements for reliable estimation. *Journal of Aging and Physical Activity*, 23(1), 9–17. <https://doi.org/10.1123/japa.2013-0103>.
- Verghese, J., Lipton, R. B., Hall, C. B., Kuslansky, G., Katz, M. J., & Buschke, H. (2002). Abnormality of gait as a predictor of non-Alzheimer's dementia. *New England Journal of Medicine*, 347(22), 1761–1768. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa020441>.
- von Renteln-Kruse, W., Neumann, L., Klugmann, B., Liebetrau, A., Golgert, S., Dapp, U., ... Frilling, B. (2015). Geriatric patients with cognitive impairment. *Deutsches Arzteblatt International*, 112(7), 103–112. <https://doi.org/10.3238/arztebl.2015.0103>.
- Ware, J., Jr., Kosinski, M., & Keller, S. D. (1996). A 12-Item Short-Form Health Survey: Construction of scales and preliminary tests of reliability and validity. *Medical Care*, 34(3), 220–233.
- Warms, C. (2006). Physical activity measurement in persons with chronic and disabling conditions: Methods, strategies, and issues. *Family & Community Health*, 29(1 Suppl), 78s–88s.
- Watts, A., Walters, R. W., Hoffman, L., & Templin, J. (2016). Intra-individual variability of physical activity in older adults with and without mild Alzheimer's disease. *PLoS One*, 11(4), e0153898. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0153898>.
- World Health Organization (2017). *Integrated care for older people: Guidelines on community-level interventions to manage declines in intrinsic capacity*. Geneva: World Health Organization.

Manuskript III:

Abel, B., Eckert, T., Pomiersky, R., Dautel, A., Schäufele, M., Pfeiffer, K., Hauer, K., & the PROFinD2 Study Group (2020). Transition from inpatient rehabilitation to the home environment in cognitively impaired older persons after hip fracture. *Journal of Rehabilitation Medicine* 52(11), jrm00130.

Copyright © 2020 The authors.

Published in Journal of Rehabilitation Medicine by Foundation for Rehabilitation Information.

This article is distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0; <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) and available online (open access) at <https://doi.org/10.2340/16501977-2757>



TRANSITION FROM INPATIENT REHABILITATION TO THE HOME ENVIRONMENT IN COGNITIVELY IMPAIRED OLDER PERSONS AFTER HIP FRACTURE

Bastian ABEL, MSc¹, Tobias ECKERT, MSc¹, Rebekka POMIERSKY, MA^{1,2}, Anja DAUTEL, MAppSc³, Martina SCHÄUFELE, PhD², Klaus PFEIFFER, PhD³, Klaus HAUER, PhD¹ and the PROFinD2 Study Group*

From the ¹Department of Geriatric Research, AGAPLESION Bethanien Hospital Heidelberg, Geriatric Center at the University of Heidelberg, Heidelberg, ²Faculty of Social Work, University of Applied Sciences Mannheim, Mannheim, and ³Department of Clinical Gerontology and Geriatric Rehabilitation, Robert-Bosch-Hospital, Stuttgart, Germany

Objective: To investigate short-term changes in clinical characteristics in the transition period between geriatric inpatient rehabilitation and independent living at home in older patients with hip/pelvic fracture and cognitive impairment.

Design: Longitudinal observational study.

Subjects: A total of 127 multi-morbid, older patients with hip/pelvic fracture and cognitive impairment.

Methods: Physical performance, fall-related self-efficacy, fear of falling, depressive symptoms, quality of life, and pain were assessed before discharge from geriatric inpatient rehabilitation and at home.

Results: During the transition period (median 18.5 days; interquartile range 14–25 days), 25 participants dropped out due to admission to a nursing home ($n=11$), withdrawal of consent ($n=8$), death ($n=2$), severe disease ($n=2$), or other reasons ($n=2$). Physical performance improved ($p\leq 0.001$), while fall-related self-efficacy ($p=0.040$) and fear of falling ($p=0.004$) deteriorated. Depressive symptoms, quality of life, and pain did not change. Improvement in physical performance was associated with lower age, lower baseline physical performance, less baseline fear of falling, and living alone.

Conclusion: While significant improvements in physical performance indicate a high potential for further enhancements in the majority of participants following inpatient rehabilitation, a considerable subgroup dropped out, partly indicating a negative trajectory in this vulnerable patient group. Sustained physical training or promotion of activity at home may further support rehabilitation in patients with hip/pelvic fracture and cognitive impairment.

Key words: short-term; transition; changes; physical performance; older persons.

Accepted Oct 6, 2020; Epub ahead of print Oct 19, 2020

J Rehabil Med 2020; 52: jrm00130

*Comprising A. Lacroix Bethanien Hospital, Heidelberg; I. Hendlmeier, University of Applied Science, Mannheim; J. Gugenhan, M. Groß, K. Rapp, C. Becker, Department of Clinical Gerontology, Robert-Bosch-Hospital, Stuttgart; J. Müller, M. Rehm, D. Rothenbacher, G. Büchele, Institute of Epidemiology and Medical Biometry, Ulm University, Ulm; H.-H. König, C. Schulz, Department of Health Economics and Health Services Research, University Medical Center, Hamburg-Eppendorf.

LAY ABSTRACT

The prognosis regarding functional recovery in older persons with hip/pelvic fracture and cognitive impairment is poor, even after inpatient rehabilitation. Therefore, the period following inpatient rehabilitation is decisive regarding whether functionally and cognitively impaired persons can live at home or will lose their autonomy. The aim of this observational study was to investigate short-term changes in several clinical characteristics in the transition period between geriatric inpatient rehabilitation and independent living at home in 127 vulnerable persons. While physical performance improved, fall-related self-efficacy and fear of falling deteriorated. Depressive symptoms, quality of life, and pain did not change. The improvements in physical performance indicate a high potential for further enhancement (e.g. by physical training or activity promotion at home) in the majority of participants. However, a considerable subgroup of 25 persons dropped out for various reasons (e.g. admission to a nursing home, death), which partly indicates a negative trajectory in this vulnerable patient group.

Correspondence address: Klaus Hauer, Department of Geriatric Research, Agaplesion Bethanien Hospital Heidelberg, Geriatric Center at the University of Heidelberg, Rohrbacher Str. 149, 69126 Heidelberg, Germany. E-mail: khauer@bethanien-heidelberg.de

Older persons with cognitive impairment are at high risk of hip/pelvic fracture (HF) (1). In consequence of such a severe injury, short- and long-term functional recovery are poor, with a high risk of dying or being admitted to long-term care within the first year after HF (2). To prevent or postpone loss of autonomy, adequate physical rehabilitation following HF is required, especially in vulnerable, older adults with cognitive impairment who have restricted participation in training programmes.

A systematic review of randomized controlled trials (RCT) and cohort studies in older persons with HF and cognitive impairment reported improvements in functional status and ambulation after different rehabilitation programmes with heterogeneous interventions, considering cognitive status, physical performance, or psychological variables as relevant predictors of rehabilitation outcome (3). However, the recording of rehabilitation outcomes within these studies was mainly limited to interview-based functional assessments, indi-

cating a lack of actual physical performance measures. Studies on rehabilitation programmes (e.g. home-based or inpatient) generally vary in content and duration of intervention, observation, or duration of follow-up. As the duration of follow-up ranges from weeks to months, and sometimes even years, and is related mostly to the fracture date, accurate follow-up periods for subsequent inpatient rehabilitation post-HF are difficult to identify. Thus, the highly sensitive, short-term period immediately following inpatient rehabilitation, termed the "transition period", is crucial to retain autonomy and has hardly been studied in older adults with HF and cognitive impairment. Only one observational study in older persons with and without cognitive impairment after HF has been identified, showing that functional improvements recorded with interview-based assessments in a subgroup, had been sustained 6 weeks after discharge from inpatient rehabilitation (4). This study aimed to investigate changes in physical performance measures, psychological status and pain in the transition period between inpatient rehabilitation and home environment and to explore predictors of change in physical performance in a specific group of multi-morbid, older patients with HF and cognitive impairment.

METHODS

Study design

This longitudinal observational study used pre-intervention data from an RCT on the effects of a multifactorial, home-based treatment following inpatient rehabilitation (5). The RCT was registered and performed according to the Declaration of Helsinki (ISRCTN69957256; ethics approvals of the Medical Faculties of the Universities of Tübingen (150/2015BO1) and Heidelberg (S-256/2015)).

Study population

Older participants (age ≥ 65 years) with HF within the last 3 months and mild-to-moderate cognitive impairment (Mini-Mental State Examination (MMSE) score 17–26) (6) were consecutively recruited from geriatric rehabilitation wards. Further inclusion criteria were: living in the home environment or assisted living; ability to walk 4m with or without a walking aid; absence of delirium; absence of severe somatic or mental illness; absence of terminal disease; absence of aphasia (except amnesic aphasia); absence of severe apraxia; minimum visual acuity (corrected vision, Snellen fraction $>20/400$); accessibility via telephone, and sufficient hearing ability for receiving phone calls; sufficient knowledge of German language; and place of residence in the greater area of Heidelberg or Stuttgart. Patients with unexpected, short-term prolongation of inpatient rehabilitation after assessment were excluded in order to prevent influence of ongoing rehabilitation.

Measurements

Measurements were performed within a few days (4 ± 2 days) before discharge from inpatient rehabilitation (T0) and at the participants' home before home-based treatment (T1). Length of

stay in inpatient rehabilitation, demographic variables, and care grade (yes vs no) were obtained from patient charts. Care grade defines benefits of the statutory German long-term care insurance in cash and in kind associated with individual, comprehensive care needs (7). There are 5 different care grades that classify the severity of the impairment (or independence, respectively), ranging from minor impairments of independence (care grade 1) up to very severe impairments (care grade 5). The respective care grade is determined by healthcare assessors of the statutory German long-term care insurance, based on an evaluation of need for care in the following domains: mobility, mental and communication skills, behaviour and psychological problems, self-sufficiency, independent handling and coping with illness or therapy-related requirements and stresses, and organizing everyday life and social contacts. Not having a care grade documents that the severity of individual impairments is not sufficient to formally receive benefits, according to the criteria of the statutory German long-term care insurance. As the distribution of the care grades in the present study was limited to care grade 2 ($n=38$) and care grade 3 ($n=3$), representing typical impairment levels of patients in geriatric rehabilitation, classification into different care grades did not seem to be appropriate. This variable was therefore dichotomized (yes=having a care grade vs no=not having a care grade).

As described in the study protocol (5), outcome measures were determined by trained assessors: cognitive (MMSE) and functional status (Barthel Index), fall-related self-efficacy (short Falls Efficacy Scale-International; FES-I short), fear of falling (Fear of Falling Questionnaire-revised; FFQ-R), depressive symptoms (Montgomery-Åsberg Depression Rating Scale; MADRS), quality of life (EuroQol™; EQ-5D), pain (Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index; WOMAC subscale pain), physical performance (Short Physical Performance Battery; SPPB, including subtests of balance, gait, and chair rise performance; habitual gait speed and total time for the 5-chair-stand test (both based on the SPPB)), living situation (alone vs with other person(s)/assisted living), and outpatient therapy (e.g. physical therapy) between discharge and T1 (yes vs no).

Statistical analysis

Descriptive data are presented as means and standard deviations, medians and interquartile ranges (IQR), or numbers and percentages. According to the data distribution, independent-samples *t*-tests, Mann-Whitney *U* tests, and χ^2 tests were used for baseline comparison between completers and dropouts. Paired-samples *t*-tests and Wilcoxon signed-rank tests were used to analyse changes in outcome variables during observation. Effect sizes were calculated as Pearson's *r* (small ≥ 0.1 , medium ≥ 0.3 , large ≥ 0.5) or Cohen's *d* (small ≥ 0.2 , medium ≥ 0.5 , large ≥ 0.8) (8).

To explore predictors of change in physical performance (absolute changes (T1–T0) in SPPB total score), univariate regression analyses with following independent variables were performed: age, sex, living situation, cognitive status, functional status, care grade, outpatient therapy, duration of transition period (discharge to T1), and baseline values of physical performance measures, psychological variables, and pain. Subsequently, independent variables with *p*-values ≤ 0.1 were selected and entered into a multiple linear regression model (stepwise backward, variables with a *p*-value ≥ 0.1 were removed). The regression model is described by the corrected coefficient of determination R^2 and influences of variables are given as unstandardized (*Beta*) and standardized (β) regression coefficients. A 2-sided *p*-value ≤ 0.05 indicated statistical significance. Data analyses were performed using SPSS Statistics 25 (IBM, Armonk, NY, USA).

Table I. Participant characteristics and comparison of completer and dropout group for descriptive and clinical variables at the end of inpatient rehabilitation

Characteristics	Total sample (n = 127)	Completer group (n = 102)	Dropout group (n = 25)	p-value
Age, years, mean (SD)	84.7 (6.5)	84.5 (6.3)	85.3 (7.3)	0.593 ^a
Sex, female, n (%)	105 (82.7)	85 (83.3)	20 (80.0)	0.693 ^c
MMSE, score, mean (SD)	22.8 (2.6)	22.8 (2.7)	22.6 (2.4)	0.678 ^a
Barthel Index, score, median (IQR)	80 (75–85)	80 (75–88)	75 (65–84)	0.008^b
Care grade, yes, n (%)	41 (32.3)	27 (26.5)	14 (56.0)	0.005^c
Duration of stay in inpatient rehabilitation, days, median (IQR)	22 (21–25)	22 (21–26)	22 (21–24)	0.791 ^b
Living situation, alone, n (%)	81 (63.8)	64 (62.7)	17 (68.0)	0.624 ^c
Outpatient therapy, yes, n (%)	–	41 (40.2)	–	–
SPPB total, score, mean (SD)	4.3 (2.0)	4.4 (2.0)	4.0 (2.2)	0.385 ^a
SPPB balance, score, mean (SD)	2.4 (1.2)	2.4 (1.2)	2.3 (1.3)	0.649 ^a
SPPB gait, score, median (IQR)	1 (1–2)	1 (1–2)	1 (1–1)	0.259 ^b
SPPB chair rise, score, median (IQR)	0 (0–1)	0 (0–1)	0 (0–1)	0.600 ^b
Habitual gait speed, m/s, mean (SD)	0.33 (0.17)	0.34 (0.17)	0.30 (0.18)	0.348 ^a
5-chair-stand, s, median (IQR)	18.2 (16.1–23.9)	18.2 (15.9–23.7)	20.7 (16.2–28.8)	0.571 ^b
FES-I short, score, median (IQR)	11.0 (8.0–14.0)	11.0 (9.0–14.0)	10.5 (7.8–15.3)	0.807 ^b
FFQ-R, score, mean (SD)	16.1 (4.6)	16.0 (4.5)	16.7 (4.9)	0.475 ^a
MADRS, score, median (IQR)	8.5 (5.0–15.0)	9.0 (5.0–14.0)	8.0 (6.0–18.5)	0.428 ^b
EQ-5D, score, median (IQR)	0.79 (0.63–0.89)	0.79 (0.57–0.89)	0.75 (0.65–0.89)	0.900 ^b
WOMAC, score, mean (SD)	12.7 (9.3)	13.0 (9.0)	11.2 (10.7)	0.381 ^a

p-values for ^aindependent-samples *t*-test; ^bMann-Whitney *U* test, and ^c χ^2 test were applied to test for differences between completer group and dropout group at end of rehabilitation.

Bold numbers indicate significant *p*-values. Care grade defines benefits of the statutory German long-term care insurance associated with individual, comprehensive care needs (yes vs no).

SD: standard deviation, IQR: interquartile range, m/s: metres per second, MMSE: Mini-Mental State Examination (0–30 pts), SPPB: Short Physical Performance Battery (total score: 0–12 pts; subscores: 0–4 pts), FES-I short: short Falls Efficacy Scale – International (7–28 pts), FFQ-R: Fear of Falling Questionnaire Revised (6–24 pts), MADRS: Montgomery-Åsberg Depression Rating Scale (0–60 pts), EQ-5D: EuroQol-5D (0–1 pt), WOMAC: Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index – subscale pain (0–20 pts).

RESULTS

The mean sample included 127 older persons 84.7 years (standard deviation (SD) 6.5) with HF and mild-to-moderate cognitive impairment (MMSE 22.8±2.6 points). Twenty-five participants dropped out during the transition period of median 18.5 days (IQR 14–25 days) after discharge from rehabilitation due to nursing home admission (*n* = 11), withdrawal of consent (*n* = 8), death (*n* = 2), severe disease (*n* = 2), or other reason (*n* = 2).

Table III. Multiple linear regression analysis of predictors of change in physical performance

Independent variables	Unstandardized coefficients		Standardized coefficients		p-value
	Beta	SE	β	t	
Age, years	-0.106	0.024	-0.409	-4.365	0.000
SPPB balance, score	-0.495	0.130	-0.356	-3.793	0.000
FFQ-R, score	-0.102	0.033	-0.279	-3.125	0.002
Living situation, alone	-0.772	0.298	-0.232	-2.594	0.011

Adjusted R^2 : 0.261.

Figures in bold indicate significant *p*-values.

SE: standard error; SPPB: Short Physical Performance Battery; FFQ-R: Fear of Falling Questionnaire Revised.

Table II. Changes of physical performance, psychological variables, and pain in the transition from inpatient rehabilitation to the home environment

Variables	n	End of rehabilitation (T0)	At home (T1)	Absolute change	p-value	Effect size
<i>Physical performance</i>						
SPPB total, score, mean (SD)	102	4.4 (2.0)	5.2 (2.4)	0.9 (1.7)	<0.001^a	0.52 ^c
SPPB balance, score, mean (SD)	102	2.4 (1.2)	2.6 (1.2)	0.2 (1.0)	0.063 ^a	0.19 ^c
SPPB gait, score, median (IQR)	102	1 (1–2)	1 (1–2)	0 (0–1)	0.001^b	0.24 ^d
SPPB chair rise, score, median (IQR)	102	0 (0–1)	1 (0–2)	0 (0–1)	<0.001^b	0.33 ^d
Habitual gait speed, m/s, mean (SD)	102	0.34 (0.17)	0.39 (0.19)	0.06 (0.14)	<0.001^a	0.40 ^c
5-chair-stand, s, median (IQR)	38	18.0 (15.9–23.3)	16.4 (13.8–18.7)	-2.4 (-6.7–0.4)	0.001^b	0.38 ^d
<i>Psychological variables & pain</i>						
FES-I short, score, median (IQR)	95	11.0 (9.0–14.0)	11.0 (9.0–17.0)	1.0 (-2.0–4.0)	0.040^b	0.15 ^d
FFQ-R, score, mean (SD)	94	16.0 (4.5)	17.1 (4.7)	1.1 (3.6)	0.004^a	0.30 ^c
MADRS, score, median (IQR)	99	9.0 (5.0–14.0)	10.0 (6.0–16.0)	0.0 (-4.0–5.0)	0.261 ^b	0.08 ^d
EQ-5D, score, median (IQR)	99	0.79 (0.70–0.89)	0.79 (0.59–0.89)	0.00 (-0.10–0.10)	0.769 ^b	0.02 ^d
WOMAC, score, mean (SD)	100	12.9 (8.9)	12.8 (9.5)	-0.1 (8.9)	0.956 ^a	0.01 ^c

p-values for ^apaired-samples *t*-tests and ^bWilcoxon signed-rank tests were applied to test for differences between end of rehabilitation and at home.

Figures in bold indicate significant *p*-values. Effect sizes are given as ^cCohen's *d* and ^dPearson's *r*.

^aRetest value (T1) minus baseline value (T0).

n: sample size (persons able to perform the respective testing), SD: standard deviation, IQR: interquartile range; m/s: metres per second; SPPB: Short Physical Performance Battery (total score: 0–12 pts; subscores: 0–4 pts); FES-I short: short Falls Efficacy Scale-International (7–28 pts); FFQ-R: Fear of Falling Questionnaire Revised (6–24 pts); MADRS: Montgomery-Åsberg Depression Rating Scale (0–60 pts); EQ-5D: EuroQol-5D (0–1 pt); WOMAC: Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index – subscale pain (0–20 pts).

Baseline comparison between completers and dropouts revealed significant differences in care grade and functional status, but not in other characteristics (Table I).

Significant improvements occurred in almost all physical performance measures, whereas fall-related self-efficacy and fear of falling deteriorated (Table II). Effect sizes were small (SPPB gait score, habitual gait speed, FES-I short; FFQ-R) to medium (SPPB total score, SPPB chair rise score, 5-chair-stand time).

Independent predictors of improvement in physical performance (Δ SPPB total score: $R^2=0.261$; $p<0.001$) were lower age, lower baseline physical performance, less baseline fear of falling, and living alone (Table III). The change in physical performance was not independently predicted by any of the following factors: sex, cognitive status, functional status, care grade, outpatient therapy, duration of transition period, fall-related self-efficacy, depressive symptoms, or pain.

DISCUSSION

Physical performance improved in the short-term transition period after inpatient rehabilitation without controlled intervention, while fall-related self-efficacy and fear of falling deteriorated. A considerable subgroup of participants dropped out.

These results, showing concurrent improvement in physical performance and deterioration in fear of falling, are somewhat contradictory, as fear of falling usually induces activity avoidance and thus negatively affects physical performance ability and recovery (9). However, the positive trend of physical performance following inpatient rehabilitation, with an improvement of 0.9 ± 1.7 points in the SPPB total score, was clinically relevant (10), with respect to this vulnerable, older study sample, compared with the low, negative progression of variables associated with fear of falling. The slight deteriorations in fall-related self-efficacy and fear of falling, similar to findings of an earlier study following inpatient rehabilitation (11), may have been due to the change from a 24-h supportive rehabilitation setting to autonomous living at home with the challenges of everyday life not well balanced by functional status.

Besides the considerable drop out, of approximately 20% of participants, with a potential negative course in their functional status, the majority of participants improved their physical performance. Since outpatient therapy during the transition period was not associated with improvement in physical performance, as demonstrated in the regression analysis, lasting effects of the inpatient rehabilitation or an unexploited potential for physical recovery following standard geriatric rehabilitation may be potential reasons for this gain in physical

performance. This assumption may be supported by the results of the regression analysis, showing that older adults with poorer performance before discharge, given that they stayed at home and did not drop out, achieved greater improvement during the transition period after inpatient rehabilitation.

Further results from the regression analysis revealed that the improvement in physical performance was also predicted by living alone and lower age. Even though living alone is generally associated with low physical performance levels in older adults (12), indicating restricted social support, the need to become more active and perform better to stay at home and maintain autonomy, may have had an impact on improvement in physical performance. As physical performance generally decreases with age in older adults (13) and higher age is negatively related with functional recovery after discharge from hospitalization (14), comparatively younger persons may have had better chances to overcome the challenges of autonomous living, thereby deriving benefits from those efforts.

In contrast to the positive trend of improved physical performance in the majority of study participants, a high-risk subgroup, defined by care grade and lower functional status, dropped out during the transition period, mostly due to nursing home admission, medical events, or death. These results are compliant with previous findings for mortality and nursing home admission within 6 months post-HF, predicted by low functional status and factors associated with care grade (15).

In conclusion, the clinically relevant improvement in physical performance in the short-term transition period from inpatient rehabilitation to home environment, without any controlled, standardized intervention, suggests lasting effects of inpatient rehabilitation, or a remaining potential for physical rehabilitation that has not been fully exploited. A prolonged rehabilitation and/or general activation at home may promote further recovery in these multi-morbid, older persons with motor and cognitive impairment. In addition, the considerable subgroup that dropped out of the study, and partly showed a negative trajectory, may benefit from further, adapted, rehabilitation to prevent, mitigate, or slow down the documented negative course.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank Elena Litz, Ilona Dutzi, Bethanien Hospital, Heidelberg for support in data analysis and formatting, and A. Lacroix, Bethanien Hospital, Heidelberg; I. Hendlmeier, University of Applied Science, Mannheim; J. Gugenhan, M. Groß, Robert-Bosch-Hospital, Stuttgart; and J. Müller, M. Rehm, Ulm University, Ulm for participation in the PROFInD2 project.

The authors received the following financial support for this research, authorship, and/or publication of this article: this

study was supported by the Federal Ministry of Education and Research, Berlin, Germany (funding number: 01EC1404). No support was received from industry. The sponsor had no role in the design, methods, subject recruitment, data collections, analyses, or preparation of paper.

The authors have no conflicts of interest to declare.

REFERENCES

1. Wang HK, Hung CM, Lin SH, Tai YC, Lu K, Liliang PC, et al. Increased risk of hip fractures in patients with dementia: a nationwide population-based study. *BMC Neurol* 2014; 14: 175.
2. Schaller F, Sidelnikov E, Theiler R, Egli A, Staehelin HB, Dick W, et al. Mild to moderate cognitive impairment is a major risk factor for mortality and nursing home admission in the first year after hip fracture. *Bone* 2012; 51: 347–352.
3. Allen J, Koziak A, Buddingh S, Liang J, Buckingham J, Beaupre LA. Rehabilitation in patients with dementia following hip fracture: a systematic review. *Physiother Can* 2012; 64: 190–201.
4. Jones GR, Miller TA, Petrella RJ. Evaluation of rehabilitation outcomes in older patients with hip fractures. *Am J Phys Med Rehabil* 2002; 81: 489–497.
5. Dautel A, Eckert T, Gross M, Hauer K, Schäufele M, Lacroix A, et al. Multifactorial intervention for hip and pelvic fracture patients with mild to moderate cognitive impairment: study protocol of a dual-centre randomised controlled trial (OF-CARE). *BMC Geriatr* 2019; 19: 125.
6. Folstein MF, Folstein SE, McHugh PR. "Mini-mental state". A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *J Psychiatr Res* 1975; 12: 189–198.
7. Bäcker G. Reform of the long-term care insurance in Germany. European Social Policy Network Flash Report [serial on the Internet]. 2016 Jun [cited 2020 Mar 15]; 43. Available from: <https://ec.europa.eu/social/BlobServlet?docId=16074&langId=en>.
8. Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. 2nd edn. New York: Lawrence Erlbaum Associates; 1988.
9. Choi K, Jeon GS, Cho SI. Prospective study on the impact of fear of falling on functional decline among community dwelling elderly women. *Int J Environ Res Public Health* 2017; 14: 469.
10. Perera S, Mody SH, Woodman RC, Studenski SA. Meaningful change and responsiveness in common physical performance measures in older adults. *J Am Geriatr Soc* 2006; 54: 743–749.
11. Visschedijk JH, Caljouw MA, Bakkens E, van Balen R, Achterberg WP. Longitudinal follow-up study on fear of falling during and after rehabilitation in skilled nursing facilities. *BMC Geriatr* 2015; 15: 161.
12. Sousa AC, Guerra RO, Thanh Tu M, Phillips SP, Guralnik JM, Zunzunegui MV. Lifecourse adversity and physical performance across countries among men and women aged 65–74. *PLoS One* 2014; 9: e102299.
13. Hall KS, Cohen HJ, Pieper CF, Fillenbaum GG, Kraus WE, Huffman KM, et al. Physical performance across the adult life span: correlates with age and physical activity. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci* 2017; 72: 572–578.
14. Boyd CM, Ricks M, Fried LP, Guralnik JM, Xue QL, Xia J, et al. Functional decline and recovery of activities of daily living in hospitalized, disabled older women: the Women's Health and Aging Study I. *J Am Geriatr Soc* 2009; 57: 1757–1766.
15. Becker C, Gebhard F, Fleischer S, Hack A, Kinzl L, Nikolaus T, et al. Prädiktion von Mortalität und soziofunktionellen Einschränkungen nach proximalen Femurfrakturen bei nicht institutionalisierten Senioren. *Unfallchirurg* 2003; 106: 32–38 (in German).

Manuskript IV:

Dautel, A., Gross, M., **Abel, B.**, Pomiersky, R., Eckert, T., Hauer, K., Schäufele, M., Büchele, G., Becker, C., & Pfeiffer, K. (2021). Psychometric properties of the German version of the Fear of Falling Questionnaire-revised (FFQ-R) in a sample of older adults after hip or pelvic fracture. *Aging Clinical and Experimental Research* 33(2), 329–337.

The final publication is available at <https://doi.org/10.1007/s40520-020-01657-2>

Copyright © Springer Nature Switzerland AG 2020

Material from: Anja Dautel, Michaela Gross, Bastian Abel, Rebekka Pomiersky, Tobias Eckert, Klaus Hauer, Martina Schäufele, Gisela Büchele, Clemens Becker, Klaus Pfeiffer, Psychometric properties of the German version of the Fear of Falling Questionnaire-revised (FFQ-R) in a sample of older adults after hip or pelvic fracture, *Aging Clinical and Experimental Research*, published online 23 July 2020, Springer Nature Switzerland AG.



Psychometric properties of the German version of the Fear of Falling Questionnaire-revised (FFQ-R) in a sample of older adults after hip or pelvic fracture

Anja Dautel¹ · Michaela Gross¹ · Bastian Abel² · Rebekka Pomiersky^{2,3} · Tobias Eckert² · Klaus Hauer² · Martina Schäufele³ · Gisela Büchele⁴ · Clemens Becker¹ · Klaus Pfeiffer¹

Received: 7 April 2020 / Accepted: 11 July 2020 / Published online: 23 July 2020
© Springer Nature Switzerland AG 2020

Abstract

Background Identifying patients with maladaptive fear of falling (FOF) is important in the rehabilitation phase after serious fall. The 6-item Fear of Falling Questionnaire-revised (FFQ-R) was seen as promising measurement instrument as it evaluates FOF in a broader way than the one-item-question and independent of physical activities.

Aim The purpose of the analysis was to evaluate the psychometric properties of the translated German FFQ-R.

Methods Back-translation method was applied. Confirmatory factor analysis (CFA) with diagonally weighted least square estimation was used to verify the two-factor structure. Data were collected during inpatient rehabilitation from hip and pelvic fracture patients [age 84.3 ± 6.2 , Mini-Mental State Examination (MMSE) scores > 23] participating in an RCT ($N = 112$) and a cross-sectional survey ($N = 40$).

Results Internal consistency was 0.78 (Cronbach's alpha). No floor or ceiling effects were found. Discriminatory power on item level was moderate to good ($r = 0.43$ – 0.65). CFA revealed a good model fit and confirmed the two-factor structure. The German FFQ-R was moderately correlated ($r = 0.51$) with the Short Falls Efficacy Scale-International (Short FES-I) used as a proxy measure for FOF.

Missing rates up to 9% for specific items were because some individuals, independent of cognitive level or age, had problems to rate items with conditional statements on possible negative consequences of a fall.

Conclusions Results demonstrated moderate to good psychometric properties similar to the original English version in a comparable sample of fracture patients.

Keywords Fear of Falling Questionnaire-revised · German version · Psychometric properties · Cognitive and affective dimensions of fear of falling

Introduction

With a prevalence rate of about 50% [1] and its frequent negative consequence on functional recovery [2, 3], fear of falling (FOF) plays a substantial role in the rehabilitation process of older adults after fall-related hip fractures. The emotional and cognitive coping of a recently occurred serious fall varies significantly in older individuals and can be negatively influenced by concomitant factors like underlying anxiety [1] or neuroticism [4, 5]. Furthermore, patients experience post-traumatic stress symptoms due to a fall [6, 7]. A high level of FOF was identified as independent predictor for poorer functional outcomes [8], further falls [9], as well as being significantly correlated to activity avoidance after the fracture incident [2]. Beside the risk for fear

Electronic supplementary material The online version of this article (<https://doi.org/10.1007/s40520-020-01657-2>) contains supplementary material, which is available to authorized users.

✉ Anja Dautel
anja.dautel@rbk.de

¹ Department of Clinical Gerontology and Geriatric Rehabilitation, Robert-Bosch-Hospital, Stuttgart, Germany

² Agaplesion Bethanien Hospital, Heidelberg, Germany

³ Hochschule Mannheim, University of Applied Science, Mannheim, Germany

⁴ Institute of Epidemiology and Medical Biometry, Ulm University, Ulm, Germany

avoidance behavior [2, 10], it was outlined that maladaptive fear reactions can cause involuntary motor outputs leading to inaccurate stepping and dynamic balance responses [11, 12]. This motor disturbance reinforces the feeling of uncertainty and immediately increases the fall risk, especially in individuals with limited functional capacity. Identifying patients with excessive FOF is, therefore, of high relevance to apply tailored treatment strategies in the early phase after serious injury [13, 14].

Several instruments have been used in the past to assess FOF in older adults differing with respect to underlying theoretical conceptualization. The one-item question, whether someone experiences FOF or not, has only been recommended as a screening tool due to lacking sensitivity to change and limited evaluation of the level of fear [15]. Moreover, it was argued that the cognitive and affective psychological dimensions of FOF act independently and should, therefore, be operationalized by more than one item [16]. Another more comprehensive measurement instrument to evaluate FOF is the Survey of Activities of Fear of Falling in the Elderly (SAFFE) [17]. Besides assessing the level of worry when performing certain activities, individuals estimate the behavioral consequence when fear is apparent, meaning whether they avoid these tasks or not [17]. The references to certain activities as well as the comprehensive structure of the SAFFE lead to reduced feasibility, especially in rehab settings [15]. The Falls Efficacy Scale-International (FES-I) and the Short FES-I [18] are both acknowledged as proxy measures for evaluating FOF [19, 20]. The underlying theory of self-efficacy comprises cognitive, affective (e.g., fear-related), as well as action-related beliefs, resulting in certain perceived efficacy expectations [21]. Thus, fall-related self-efficacy and FOF are related but distinct constructs [22]. The FES-I as well as the short version revealed adequate psychometric properties in community dwellers [19, 20], and in patients with various diagnoses during geriatric rehabilitation [23]. However, in two other rehab samples consisting of patients in the subacute phase after hip (or pelvic) fracture, the FES-I and Short FES-I with their activity-related item structure were more associated with physical performance measures and appraisals of poor physical performance than with FOF-related psychological constructs (e.g. anxiety and post-traumatic stress symptoms) [6, 24]. Therefore, in this target group, items covering cognitive and affective psychological dimensions may better assess FOF than items related to physical activities.

In this sense, the 6-item Fear of Falling Questionnaire-revised (FFQ-R) was seen as promising measurement instrument as it assesses different aspects of FOF independent of physical activities [25]. The original version of the Fear of Falling Questionnaire (FFQ) has 20 items [26] and is theoretically well founded by the construct of the Cognitive Appraisal Theory of Lazarus [27]. It includes the cognitive

as well as affective evaluation of (1) the possibly negative consequence due to a fall, (2) the likely severity of harm due to a fall, and (3) the potential to successfully avoid injury [25]. In a study sample of community dwellers, the original version of the FFQ (20 items) showed acceptable reliability and construct validity and the item structure resulted in a four-factor solution [26]. In a later analysis, Bower and Wetherell (2015) revived the FFQ and evaluated the psychometric properties of the original version. In a hip fracture group, the analysis resulted in adequate reliability and construct validity for a shortened and revised 15-item as well as 6-item version. Bower and Wetherell recommended the latter for further research to evaluate FOF independent of activities in fracture patients [25]. For this 6-item FFQ-R, they found an item structure suggesting a two-factor solution: Factor 1 (degree of threat, items 2, 4, and 6) covers affective psychological dimensions of FOF (e.g., I am afraid of falling again). Factor 2 (harm outcomes, items 1, 3, and 5) includes fall-related cognitions as the appraisal of negative consequences of a future fall (e.g., If I fall, chances are I will be hurt in some way). No additional study has been published so far analyzing data of the English 6-item FFQ-R or any translated version.

To further explore the 6-item FFQ-R in addition to the preliminary English validation data [26], it was translated and the German version evaluated in a sample of geriatric fracture patients. The aim of this analysis was to investigate the psychometric properties of the German version of the 6-item FFQ-R. We hypothesized that it will show similar results with regard to internal structure and construct validity as the original English version [25] in a comparable sample of hip and pelvic fracture patients. In this context, we assumed that the confirmatory factor analysis (CFA) will support the two-factor solution of the English 6-item FFQ-R. Furthermore, we hypothesized that the German version will reveal a moderate level of congruent validity with the short FES-I as proxy measure for evaluating FOF.

Materials and methods

Design and study population

The study population consisted of 152 patients with hip or pelvic fracture and no or mild cognitive impairment during geriatric inpatient rehabilitation. The data of the combined sample were derived from the baseline dataset of an interventional randomized-controlled trial (RCT) [28] (ISRCTN69957256) as well as from a linked and parallel conducted supplementary survey (German Clinical Trials Register DRKS00012543, www.drks.de). Both trials had been approved by an official ethical review committee. Recruitment for the two subsamples was done from July

2015 to February 2018 in two German hospitals (Heidelberg, Stuttgart). From the RCT sample, patients with Mini-Mental State Examination (MMSE [29] scores of 24–26 were included for this analysis ($N=112$). Participants of the supplementary survey were individuals who had been excluded during screening for the RCT because of MMSE scores higher than 26 ($N=40$). Further inclusion criteria for the two subsamples were a maximum interval between fracture event and admission to inpatient rehabilitation of 3 months, age 65 and older, minimum walking ability for 4 m (with or without walking aid), sufficient hearing ability and minimum visual acuity, sufficient knowledge of German language, no severe somatic or mental diseases, and planned return to home environment.

Only complete FFQ-R data sets were considered, and all individuals with one or more missing values were removed prior to data analysis. The results are discussed with regard to the published validation data of the English 6-item FFQ-R collected in a comparable sample of hip fracture patients with no or mild cognitive impairment [25].

Data collection and translation process

Participants of the combined sample were interviewed for standardized assessment by a psychologist, physiotherapists, and sports scientists experienced in communicating with elderly patients, and all being specifically trained for the assessment task. According to the assessment protocol, the FFQ-R and the Short FES-I were asked in the same order, respectively, with other questions in between to avoid any direct influence. Permission to translate the English 6-item FFQ-R was obtained by the authors. The translation process into German language was conducted by applying the back-translation method [30]. Three German native speakers with excellent knowledge in English language, one of them being a psychologist experienced in research on FOF, and one English native speaker with excellent knowledge in German language were involved. The procedure included (1) two independent translations English-German, (2) synthesis to one first target version, (3) back translation by the blinded English native speaker, and (4) further critical discussion and final decision for the target German version by a panel of all German native speakers. Cross-cultural aspects were considered when translating the expressions for fear (in source translation: being afraid of, being frightened, fearful). The German FFQ-R is provided as supplementary data file in Online Resource 1 (Suppl_GermanFFQ-R).

Measurement instruments

To describe both study samples, age, gender, cognition (MMSE), as well as the following physical and psychological outcome parameters are presented: functional

performance [Short Physical Performance Battery (SPPB) [31]], level of depressive symptoms [Montgomery-Åsberg Depression Rating Scale (MADRS) [32, 33]], and pain [Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis-Scale, subscale pain (WOMAC) [34, 35]].

FFQ-R (6-item)

The 6-item FFQ-R is used as self-report measure for assessing FOF [25]. Participants are asked to rate whether they strongly disagree, disagree, agree, or strongly agree with each statement, respectively (Likert-type scale from 1 to 4). The total score ranges from 6 to 24, with higher scores indicating higher levels of FOF. The English 6-item FFQ-R showed satisfactory reliability and validity for assessing FOF in older hip fracture patients ($N=405$ [25]. Internal consistency was good (Cronbach's Alpha=0.80 and test-retest reliability was strong in a subsample of 16 participants [ICC (95% CI=0.82 (0.65,0.99)]. Pearson's correlations of the 6-item FFQ-R with the Short FES-I as proxy instrument for measuring FOF were $r=0.42$ ($n=261$) [25], indicating that the two assessments are measuring related but not identical constructs.

Short FES-I

The Short FES-I provides information of the level of concern about falls for seven activities of daily living [19, 36]. Each item is rated on a Likert-type scale from 1 (no concern about falling) to 4 (severe concern about falling) with total scores ranging from 7 to 28. Hypothetical estimates are requested from participants that do not perform the activity at the time of being assessed. In 156 geriatric rehab patients with various diagnoses and overall significant functional impairment [Timed Up and Go test (TUG), 24.9 s (SD 16.3), MMSE 24.2 (SD 3.7), and 67% with ≥ 1 fall in previous year], the German FES-I has shown excellent internal reliability (Cronbach's $\alpha=0.93$) and good construct validity (significant inverse relationship to 1-item question for FOF, fall history, and TUG) [23].

Statistical analyses

Statistical analyses were performed using SPSS for Windows v26 (IBM, Armonk, NY, USA) as well as the Lavaan package 0.6–5 [37] in R statistics software version 3.4.4 [38] for conducting the CFA.

Mean sum score and standard deviation were determined for the German FFQ-R. In addition, sum scores were evaluated for floor and ceiling effects. These are considered to be existent if more than 15% of participants complete the questionnaire with the highest score or lowest score, respectively [39]. Both study populations were screened for group

differences using Mann–Whitney U test or Chi-square test. A p value of < 0.05 was considered as statistically significant, and, unless specified differently, all analyses were performed at a 95% confidence level.

Internal reliability and item analysis

Cronbach's alpha coefficients were calculated for the overall internal reliability of the German FFQ-R, and, according to the suggested two dimensionality of the questionnaire, for the two subscales. Taking the low number of items in each dimension into account, values around 0.70 are considered as good [40]. Furthermore, analyses on item level included inter-item, item-subscale, and subscale-total correlations using Spearman's correlation coefficients. Values of 0.30 or higher are rated as adequate [40]. Item-total correlations (with part-whole correction) were computed to assess discriminatory power of each item with outputs between 0.40 and 0.70 being considered as good [41].

Construct validity

To confirm the two-factor structure that was identified in the initial exploratory factor analysis (EFA) of the English FFQ-R (6-item), CFA with diagonally weighted least square estimation on the German FFQ-R items was conducted. This method uses polychoric correlations, mean- and variance-adjusted Chi-square test statistics and is suitable for ordinal data [42, 43]. Factor loading estimates of at least 0.50 were required to verify the hypothesis of the two-factor structure [44]. The CFA model fit, which refers to the ability of the hypothesized model to represent the data, was regarded as good if p values for the χ^2 statistic were non-significant ($p > 0.05$), values for the root-mean-square error of approximation (RMSEA) were below 0.08, and values for the comparative fit index (CFI) were higher than 0.97 [44].

To estimate construct validity, the Spearman's correlation coefficient was calculated between the German FFQ-R and the Short FES-I as proxy measure for FOF. By taking the results of the English 6-item FFQ-R validation study [25] into account, a moderate correlation was expected ($r = 0.40$ – 0.60) [45].

Post hoc analysis

To assess whether high age or mild cognitive impairment would have any influence on the incidence of missing values, a binary logistic regression analysis with the occurrence of a missing value as dependent variable (1 = missing value; 0 = no missing value) was performed.

Results

Patient characteristics

Table 1 shows the characteristics of the two study populations. Apart from cognitive level, no significant differences occurred. The combined sample were fracture patients, on average 84.3 years old (SD 6.2), with no or only mild cognitive impairment, limited functional capacity, and on average moderate FOF during geriatric inpatient rehabilitation. Since only complete FFQ-R data sets were used for the calculation process, the total sample for analysis comprised 131 participants. For comparison and as far as available, patient characteristics of the sample from the English 6-item FFQ-R validation study [25] are added in Table 1.

Missing values

Overall, German FFQ-R results of 21 individuals (14.0%) revealed at least one missing value. All missing values were recorded in items related to the dimension of harm outcomes including conditional statements on future fall-risk situations and potential harm outcomes [item 1 = 8 (6.3%); item 3 = 14 (9.2%); item 5 = 6 (4.0%)].

Post hoc analysis

Results of the regression analysis revealed no predictive contribution of age (estimate = $- 0.056$; standard error = 0.04; p value = 0.175) or cognition (estimate = 0.128; standard error = 0.135; p value = 0.341) on the incidence of missing values (model: $\chi^2 = 0.173$; $R^2 = 0.041$).

Internal reliability and item analysis of German FFQ-R

No floor or ceiling effects were detected [maximum score in $n = 1$ ($< 1\%$); minimum score in $n = 4$ ($< 3\%$)]. Internal consistency of the German FFQ-R revealed good reliability for the total scale [Cronbach's $\alpha = 0.79$ (0.72; 0.84)]. On subscale level, alpha was 0.78 (0.71; 0.84) for the dimension degree of threat and 0.61 (0.48; 0.71) for the dimension harm outcomes (Table 2), resulting in overall weak internal consistency for the latter. Item-total correlations (with part-whole correction) revealed good discriminatory power for each item, respectively ($r = 0.43$ – 0.65) (Table 2). Spearman correlations on subscale-total level were 0.80 (harm outcomes) and 0.93 (degree of threat), and on inter-subscale level 0.53. Item-subscale

Table 1 Characteristics of participants

Variable	Hip and pelvic fracture patients (N= 131)				p value*	Total sample		Sample of original study ^c	
	Mild CI ^a		No CI ^b						
MMSE, M (SD)	25.1	(0.8)	28.4	(1.1)	<0.05	25.9	(1.6)	–	–
Women, n (%)	74	(74.0)	19	(61)	0.17 (χ^2)	93	(71.0)	302	(74.6)
Age, M (SD)	84.6	(5.8)	83.0	(7.2)	0.26	84.3	(6.2)	78.0	(8.7)
Short FES-I, M (SD)	12.4	(4.4) ^d	12.9	(4.6) ^e	0.58	12.5	(4.4) ^f	13.0	(4.4) ^g
MADRS, M (SD)	10.5	(7.6) ^h	9.1	(7.4)	0.34	10.1	(7.5) ^j	5.6	(5.4) ^k
SPPB, M (SD)	4.1	(2.1)	4.5	(1.8)	0.26	4.2	(2.0)	–	–
WOMAC, M (SD)	13.5	(9.3)	11.2	(9.5)	0.33	12.9	(7.5)	–	–

MADRS (Montgomery–Åsberg Depression Rating Scale, score 0–60, 13–21/22–28/29–60 = mild/moderate/severe depression [46], Short FES-I (Short Falls Efficacy Scale-International, score 7–28, higher score indicate higher level of concern); SPPB (Short Physical Performance Battery, score 0–12, higher scores indicate greater level of functional performance); WOMAC subscale pain (Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis-Scale, score 0–50, higher scores indicate higher pain level)

M (SD) Mean and standard deviation

*significance level with Mann–Whitney U test and Chi-square test, $p < 0.05$

^aMMSE 24–26 (N= 100)

^bMMSE 27–30 (N= 31)

^cN= 405 [28]

^dn= 97

^en= 29

^fn= 126

^gn= 261

^hn= 99

^jn= 130

^kn= 392

correlations resulted in values between 0.80 and 0.88 for subscale degree of threat, and between 0.69 and 0.78 for subscale harm outcomes (Table 3).

Validity of German FFQ-R

The results of the CFA are outlined in Table 2. The goodness-of-fit statistics indicated a good model fit for the two-factor solution [$\chi^2 = 3.335$, $p = 0.912$; CFI = 1.000; RMSEA = 0.000 (90% CI 0.000; 0.040)]. All variables loaded significantly on either one factor or the other factor. Loadings varied from 0.60 to 0.73 for subscale harm outcomes and from 0.73 to 0.90 for subscale degree of threat. The German FFQ-R and the Short FES-I showed a moderate positive correlation ($r = 0.51$, Table 3).

Discussion

This study explored the psychometric properties of the German FFQ-R in a sample of geriatric hip and pelvic fracture patients during inpatient rehabilitation. Despite higher age and higher depression symptoms of our participants, the results for the German FFQ-R mostly confirm

the psychometric properties found in the original English validation study [25]. The use of the German FFQ-R was feasible when delivered in a face-to-face setting with the assessor. In line with the English validation data, statistical analyses revealed good internal reliability for the total scale but less homogeneity for of the subscale harm outcomes. This suggests that only the total score should be interpreted. Further analyses resulted in moderate to good values with regard to discriminatory power, and construct validity. Overall, the CFA model supported the two-factor structure which was identified by the preliminary EFA of the English 6-item FFQ-R [25]. The two subscales harm outcomes and degree of threat were moderately correlated. This association of fall-related concern and negative cognitive appraisals (catastrophizing) about harm outcomes of potential future falls is not unexpected in individuals just recovering from a severe fall. Besides its origin in the context of anxiety disorders and depression [47, 48], the psychological term of catastrophizing was used in characterizing individuals' maladaptive underlying threatening thoughts and beliefs about pain and its negative consequence [49] [50]. This concept has further been adapted to the construct of catastrophic beliefs about future falls and operationalized in the 3-item Catastrophizing About Falls Scale (van Haastregt cited in [10] which is

Table 2 German FFQ-R sum scores, internal consistency, discriminatory power, and CFA factor loadings

German FFQ-R	Sum score ^d	Cronbach's α (95% CI)	Correlation item-total ^e	CFA factor loadings ^f
Mild CI ^a , M (SD)	17.0 (4.0)†			
No CI ^b , M (SD)	16.3 (4.2)†			
Total sample ^c , M (SD)	16.9 (4.1)			
Total scale		0.79 (0.72; 0.84)		
Dimension harm outcomes		0.61 (0.48; 0.71)		
1. If I fall, chances are I will be hurt in some way			0.52	0.73
3. If I fall, my life would change greatly			0.45	0.60
5. I will probably fall if I get dizzy or trip			0.43	0.60
Dimension degree of threat		0.78 (0.71; 0.84)		
2. I am afraid of falling again			0.58	0.78
4. The thought of falling really frightens me			0.65	0.90
6. One of my worst fears is that I will fall			0.59	0.73

CFA fit statistics ($N=131$): Chi-square test=3.335, degrees of freedom=8; $p=0.912$; Comparative Fit Index (CFI)=1.000; Root-Mean-Square Error of Approximation (RMSEA)=0.000 (90% CI 0.000; 0.040)

^aMMSE 24–26 ($N=100$)

^bMMSE 27–30 ($N=31$)

^c $N=131$

^dLikert-type scale from 1 (strongly disagree) to 4 (strongly agree), score 6–24, higher scores indicate greater fear of falling

^ePart-whole correction

^fFactor loadings (standardized, all with loadings $p<0.05$ on respective latent variable)

†Group difference: Mann–Whitney U test $p=0.458$

Table 3 Correlations between German FFQ-R items, subscales degree of threat and harm outcomes, sum score, and Short FES-I total score

German FFQ-R	Item 1	Item 2	Item 3	Item 4	Item 5	Item 6	Subscale 1 ^a	Subscale 2 ^b	Sum score
Item 1	1								
Item 2	0.32	1							
Item 3	0.34	0.27	1						
Item 4	0.39	0.63	0.32	1					
Item 5	0.34	0.32	0.30	0.29	1				
Item 6	0.39	0.45	0.34	0.55	0.25	1			
Subscale 1 ^a	0.44	0.81	0.38	0.88	0.35	0.80	1		
Subscale 2 ^b	0.69	0.40	0.78	0.44	0.72	0.44	0.53	1	
Sum score	0.61	0.74	0.61	0.81	0.56	0.75	0.93	0.80	1
Short FES-I							0.48	0.41	0.51

r Spearman-Rho, *Short FES-I* Short Falls Efficacy Scale-International

All correlations $p<0.01$

^aSubscale 1 = degree of threat

^bSubscale 2 = harm outcomes

similar to the subscale harm outcomes of the 6-item FFQ-R. Using this instrument, Delbaere et al. (2009) found that catastrophic beliefs about consequences of falls generate fall-related concerns and activity avoidance in community-dwelling older adults. Although these conclusions are not fully transferable to our fracture sample, the findings suggest that the identification of disproportionate negative cognitive

thoughts of future fall-risk situations and harm outcomes could be meaningful beside the affective dimension of FOF [3] in predicting delayed or limited recovery after a fracture incident.

While no data on missing items are reported in the English validation study [25], we found that a subgroup of participants had problems with answering the conditional

questions on possible harm consequences of a fall. Because these difficulties only occurred in the dimension harm outcomes and not in the dimension degree of threat, we assume a systematic reason based on the specific content of these questions. A post hoc regression analysis could show that neither higher age nor lower cognitive status had any influence on the number of missing values. This result indicates that difficulties in understanding seem not to be the cause for the inability to answer these conditional questions. The recent experience of an injurious fall and a consequent sense of an increased vulnerability might be a reason for difficulties when trying to correctly estimate harmful consequences of a future fall. In this context and for a better understanding of catastrophizing maladaptive thoughts during rehabilitation, more information on different aspects of anxiety (e.g., fall-related post-traumatic symptoms) and emotion regulation (e.g., psychological flexibility) are of interest.

Some limitations of our study have to be considered. For this validation study, we used data of individuals in the subacute phase after hip or pelvic fracture during inpatient rehabilitation, which had been collected in connection with an interventional RCT. Thus, this combined study population was a convenient sample with overall high age and a greater proportion of women. The latter could have resulted in higher scores for the FFQ-R compared to a balanced group with respect to gender [51]. However, the sample represents one of the largest patient groups in a geriatric rehab setting [52, 53], and we only compared our findings with the results of the original English validation study with an overall comparable sample of hip fracture patients [25]. Another aspect refers to the sample size in connection with performing the CFA. Previous simulation studies demonstrated the complexity and great variability of requirements in structural equation models' sample size calculation [54]. Furthermore, the minimum sample size required for a given model is not always stable and can vary with new seed numbers in re-analyses. The sample size of our convenient sample met the minimum sample size recommended for two factors with three indicators and loadings of 0.8 and above [54]. A larger sample size would have been favorable when considering lower loadings and missing values in a more conservative sample size calculation.

Despite the outlined limitations and the difficulties of some participants in answering the questions on harmful consequences of a fall, our results indicate that the German FFQ-R is a valid and reliable instrument for evaluating FOF in a sample of geriatric fracture patients without significant cognitive impairment. In our opinion, this questionnaire is worth to be further appreciated due to assess FOF in a broader way than with a one-item question, and without items being related to physical activities. In connection with further research, the 6-item FFQ-R might contribute to a better understanding of adaptive, protective, and

maladaptive, disproportionate FOF in frail individuals, e.g., when combined with objective performance measures and environmental factors.

Acknowledgements We thank Emily Bower and Julie Wetherell for permission to translate the English 6-item FFQ-R.

Author contributions AD: acquisition of data, conception and design, analysis and interpretation of data, and drafting the manuscript. MG, BA, RP, and TE: acquisition of data, revising the article critically for important intellectual content. KH, MS, GB, and CB: revising the article critically for important intellectual content. KP: conception and design, analysis and interpretation of data, and drafting the manuscript. All authors read and approved the final manuscript. All authors agree to be accountable for all aspects of the work in ensuring that questions related to the accuracy or integrity of any part of the work are appropriately investigated and resolved.

Funding The data were derived in the context of a dual-center interventional study which belongs to a series of projects for the prevention and rehabilitation of osteoporotic fractures in disadvantaged populations in Germany being funded by the German Federal Ministry of Education and Research [PROFinD2, Subproject 3, reference number 01EC1404].

Compliance with ethical standards

Conflict of interest The authors declare that they have no conflict of interest.

Ethical approval The interventional study as well as the supplementary cross-sectional survey were performed in line with the principles of the Declaration of Helsinki and both have been approved by the Ethical Review Committees of the Faculties of Medicine in Tuebingen (Project number 150/2015BO1) and Heidelberg (Project number S-256/2015).

Informed consent Written informed consent was obtained from all individual participants included in the interventional study as well as the supplementary cross-sectional survey.

References

1. Visschedijk J, van Balen R, Hertogh C, Achterberg W (2013) Fear of falling in patients with hip fractures: prevalence and related psychological factors. *J Am Med Dir Assoc* 14:218–220. <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2012.10.013>
2. Jellesmark A, Herling SF, Egerod I, Beyer N (2012) Fear of falling and changed functional ability following hip fracture among community-dwelling elderly people: an explanatory sequential mixed method study. *Disabil Rehabil* 34:2124–2131. <https://doi.org/10.3109/09638288.2012.673685>
3. Oude Voshaar RC, Banerjee S, Horan M et al (2006) Fear of falling more important than pain and depression for functional recovery after surgery for hip fracture in older people. *Psychol Med* 36:1635–1645. <https://doi.org/10.1017/S0033291706008270>
4. Bower ES, Wetherell JL, Petkus AJ, Lenze EJ (2020) Neuroticism predicts fear of falling after hip fracture. *Int J Geriatr Psychiatry*. <https://doi.org/10.1002/gps.5261>
5. Mann R, Birks Y, Hall J et al (2006) Exploring the relationship between fear of falling and neuroticism: a cross-sectional study in

- community-dwelling women over 70. *Age Ageing* 35:143–147. <https://doi.org/10.1093/ageing/afj013>
6. Eckert T, Kampe K, Kohler M et al (2019) Correlates of fear of falling and falls efficacy in geriatric patients recovering from hip/pelvic fracture. *Clin Rehabil*. <https://doi.org/10.1177/0269215519891233>
 7. Bloch F, Blandin M, Ranerison R et al (2014) Anxiety after a fall in elderly subjects and subsequent risk of developing post-traumatic stress disorder at two months. A pilot study. *J Nutr Health Ageing* 18:303–306. <https://doi.org/10.1007/s12603-013-0415-y>
 8. Denkinger MD, Igl W, Lukas A et al (2010) Relationship between fear of falling and outcomes of an inpatient geriatric rehabilitation population—fear of the fear of falling. *J Am Geriatr Soc* 58:664–673. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2010.02759.x>
 9. Friedman SM, Munoz B, West SK et al (2002) Falls and fear of falling: which comes first? A longitudinal prediction model suggests strategies for primary and secondary prevention. *J Am Geriatr Soc* 50:1329–1335
 10. Delbaere K, Crombez G, van Haastregt JCM, Vlaeyen JWS (2009) Falls and catastrophic thoughts about falls predict mobility restriction in community-dwelling older people: a structural equation modelling approach. *Aging Ment Health* 13:587–592. <https://doi.org/10.1080/13607860902774444>
 11. Young WR, Williams MA (2015) How fear of falling can increase fall-risk in older adults: applying psychological theory to practical observations. *Gait Posture* 41:7–12. <https://doi.org/10.1016/j.gaitp.ost.2014.09.006>
 12. Kalinowski S, Kuhnert R, Wulff I et al (2012) Pain, fear of falling and functional performance in nursing home residents—a cross-sectional study. *Pflege* 25:411–425. <https://doi.org/10.1024/1012-5302/a000244>
 13. Kampe K, Kohler M, Albrecht D et al (2017) Hip and pelvic fracture patients with fear of falling: development and description of the “Step by Step” treatment protocol. *Clin Rehabil* 31:571–581. <https://doi.org/10.1177/0269215517691584>
 14. Pfeiffer K, Kampe K, Klenk J et al (2020) Effects of an intervention to reduce fear of falling and increase physical activity during hip and pelvic fracture rehabilitation. *Age Ageing*. <https://doi.org/10.1093/ageing/afaa050>
 15. Jorstad EC, Hauer K, Becker C et al (2005) Measuring the psychological outcomes of falling: a systematic review. *J Am Geriatr Soc* 53:501–510. <https://doi.org/10.1111/j.1532-5415.2005.53172.x>
 16. McKee KJ, Orbell S, Austin CA et al (2002) Fear of falling, falls efficacy, and health outcomes in older people following hip fracture. *Disabil Rehabil* 24:327–333. <https://doi.org/10.1080/09638280110093686>
 17. Lachman ME, Howland J, Tennstedt S et al (1998) Fear of falling and activity restriction: the survey of activities and fear of falling in the elderly (SAFE). *J Gerontol B Psychol Sci Soc Sci* 53:P43–50
 18. Yardley L, Beyer N, Hauer K et al (2005) Development and initial validation of the falls efficacy scale-international (FES-I). *Age Ageing* 34:614–619. <https://doi.org/10.1093/ageing/afi196>
 19. Kempen GIJM, Yardley L, van Haastregt JCM et al (2008) The Short FES-I: a shortened version of the falls efficacy scale-international to assess fear of falling. *Age Ageing* 37:45–50. <https://doi.org/10.1093/ageing/afm157>
 20. Kempen GIJM, Todd CJ, Van Haastregt JCM et al (2007) Cross-cultural validation of the Falls Efficacy Scale International (FES-I) in older people: results from Germany, the Netherlands and the UK were satisfactory. *Disabil Rehabil* 29:155–162. <https://doi.org/10.1080/09638280600747637>
 21. Bandura A (1986) *Social foundations of thought and action: A social cognitive theory*. US: Prentice-Hall Inc, Englewood Cliffs, NJ
 22. Hadjistavropoulos T, Delbaere K, Fitzgerald TD (2011) Reconceptualizing the role of fear of falling and balance confidence in fall risk. *J Aging Health* 23:3–23. <https://doi.org/10.1177/0898264310378039>
 23. Hauer K, Yardley L, Beyer N et al (2010) Validation of the falls efficacy scale and falls efficacy scale international in geriatric patients with and without cognitive impairment: results of self-report and interview-based questionnaires. *Gerontology* 56:190–199. <https://doi.org/10.1159/000236027>
 24. Visschedijk JHM, Terwee CB, Caljouw MAA et al (2015) Reliability and validity of the falls efficacy scale-international after hip fracture in patients aged ≥ 65 years. *Disabil Rehabil* 37:2225–2232. <https://doi.org/10.3109/09638288.2014.1002573>
 25. Bower ES, Wetherell JL, Merz CC et al (2015) A new measure of fear of falling: psychometric properties of the fear of falling questionnaire revised (FFQ-R). *Int Psychogeriatr* 27:1121–1133. <https://doi.org/10.1017/S1041610214001434>
 26. Dayhoff N, Baird C, Bennett S, Backer J (1994) Fear of falling: Measuring fear and appraisals of potential harm. *Rehabil Nurs Res* 3:558–562
 27. Lazarus RS, Folkman S (1984) *Stress, appraisal, and coping*, 3rd edn. Springer Publishing Company, New York
 28. Dautel A, Eckert T, Gross M et al (2019) Multifactorial intervention for hip and pelvic fracture patients with mild to moderate cognitive impairment: study protocol of a dual-centre randomised controlled trial (OF-CARE). *BMC Geriatr* 19:125. <https://doi.org/10.1186/s12877-019-1133-z>
 29. Folstein MF, Folstein SE, McHugh PR (1975) “Mini-mental state”. A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *J Psychiatr Res* 12:189–198
 30. Sperber AD (2004) Translation and validation of study instruments for cross-cultural research. *Gastroenterology* 126:S124–128
 31. Guralnik JM, Simonsick EM, Ferrucci L et al (1994) A short physical performance battery assessing lower extremity function: association with self-reported disability and prediction of mortality and nursing home admission. *J Gerontol* 49:M85–94
 32. Montgomery SA, Smeyatsky N, de Ruiter M, Montgomery DB (1985) Profiles of antidepressant activity with the montgomery-asberg depression rating scale. *Acta Psychiatr Scand Suppl* 320:38–42
 33. Schmidtke A, Fleckenstein P, Moises W (1985) Beckmann H (1988) [Studies of the reliability and validity of the German version of the montgomery-asberg depression rating scale (MADRS)]. *Schweiz Arch Neurol Psychiatr* 139:51–65
 34. Bellamy N, Buchanan WW, Goldsmith CH et al (1988) Validation study of WOMAC: a health status instrument for measuring clinically important patient relevant outcomes to antirheumatic drug therapy in patients with osteoarthritis of the hip or knee. *J Rheumatol* 15:1833–1840
 35. Stucki G, Meier D, Stucki S et al (1996) Evaluation of a German version of WOMAC (Western Ontario and McMaster Universities) arthrosis index. *Z Rheumatol* 55:40–49
 36. Dias N, Kempen GIJM, Todd CJ et al (2006) Die Deutsche Version der falls efficacy scale-international version (FES-I) [The German version of the falls efficacy scale-international version (FES-I)]. *Z Gerontol Geriatr* 39:297–300. <https://doi.org/10.1007/s00391-006-0400-8>
 37. Rosseel Y The lavaan tutorial. <https://lavaan.ugent.be/tutorial/tutorial.pdf>. Accessed 19 June 2020
 38. R Core Team A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. <https://www.r-project.org/>. Accessed 19 June 2020
 39. McHorney CA, Tarlov AR (1995) Individual-patient monitoring in clinical practice: are available health status surveys adequate? *Qual Life Res* 4:293–307

40. Field A (2013) *Discovering statistics using IBM SPSS statistics*, 4th edn. SAGE Publications Ltd, London
41. Moosbrugger H, Kelava A (2011) *Testtheorie und Fragebogenkonstruktion [Test theory and construction of questionnaires]*, 2nd edn. Springer-Verlag, Heidelberg
42. Brown TA (2006) *Confirmatory factor analysis for applied research*. The Guilford Press, New York
43. Wang WC (2005) Comparison of alternative estimation methods in confirmatory factor analyses of the General Health Questionnaire. *Psychol RepR* 97:3. <https://doi.org/10.2466/PRO.97.5.3-10>
44. Hair JF Jr, Black WC, Babin BJ, Anderson RE (2014) *Multivariate data analysis*, 7th edn. Pearson Education Limited, Essex
45. Evans JD (1996) *Straightforward statistics for the behavioral sciences*. Brooks/Cole Publishing, Pacific Grove
46. Neumann NU, Schulte RM (1988) Bestimmung der Validität und Interrater-Reliabilität der deutschen Fassung der Montgomery-Asberg-Depression-Rating-Skala (MADRS) [Determination of validity and interrater reliability of the German version of the Montgomery-Asberg-Depression-Rating Scale (MADRS)]. *Psycho* 14:911–924
47. Beck AT, Rush AJ, Shaw BF, Emery G (1979) *Cognitive therapy of depression*. Guilford Press, New York
48. Ellis A (1962) *Reason and emotion in psychotherapy*. Lyle Stuart, New York
49. Quartana PJ, Campbell CM, Edwards RR (2009) Pain catastrophizing: a critical review. *Expert Rev Neurother* 9:745–758. <https://doi.org/10.1586/ern.09.34>
50. Severeijns R, Vlaeyen JWS, van den Hout MA (2004) Do we need a communal coping model of pain catastrophizing? An alternative explanation. *Pain* 111:226–229. <https://doi.org/10.1016/j.pain.2004.07.024>
51. Deshpande N, Metter EJ, Bandinelli S et al (2008) Psychological, physical, and sensory correlates of fear of falling and consequent activity restriction in the elderly: the InCHIANTI study. *Am J Phys Med Rehabil* 87:354–362. <https://doi.org/10.1097/PHM.0b013e31815e6e9b>
52. Rapp K, Büchele G, Dreinhöfer K et al (2019) Epidemiology of hip fractures : systematic literature review of German data and an overview of the international literature. *Z Gerontol Geriatr* 52:10–16. <https://doi.org/10.1007/s00391-018-1382-z>
53. Rollmann MF, Herath SC, Kirchhoff F et al (2017) Pelvic ring fractures in the elderly now and then—a pelvic registry study. *Arch Gerontol Geriatr* 71:83–88. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2017.03.007>
54. Wolf EJ, Harrington KM, Clark SL, Miller MW (2013) Sample size requirements for structural equation models: an evaluation of power, bias, and solution propriety. *Educ Psychol Meas* 76:913–934. <https://doi.org/10.1177/0013164413495237>

Publisher's Note Springer Nature remains neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.

Manuskript V:

Abel, B., Bongartz, M., Eckert, T., Ullrich, P., Beurskens, R., Mellone, S., Bauer, J.M., Lamb, S.E. & Hauer, K. (2020). Will We Do If We Can? Habitual Qualitative and Quantitative Physical Activity in Multi-Morbid, Older Persons with Cognitive Impairment. *Sensors* 20(24), 7208.




Copyright © 2020 The authors.

Licensee: MDPI, Basel, Switzerland.

This article is distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International License (CC BY 4.0; <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) and available online (open access) at <https://doi.org/10.3390/s20247208>

Article

Will We Do If We Can? Habitual Qualitative and Quantitative Physical Activity in Multi-Morbid, Older Persons with Cognitive Impairment

Bastian Abel ^{1,2,†} , Martin Bongartz ^{1,3,†}, Tobias Eckert ^{1,4}, Phoebe Ullrich ¹, Rainer Beurskens ^{1,5}, Sabato Mellone ⁶ , Jürgen M. Bauer ^{1,2}, Sallie E. Lamb ⁷  and Klaus Hauer ^{1,*}

¹ Department of Geriatric Research, AGAPLESION Bethanien Hospital Heidelberg, Geriatric Center at the University of Heidelberg, 69126 Heidelberg, Germany; bastian.abel@bethanien-heidelberg.de (B.A.); bongartz@nar.uni-heidelberg.de (M.B.); tobias.eckert@kit.edu (T.E.); phoebe.koepp@bethanien-heidelberg.de (P.U.); rainer.beurskens@fh-mittelstand.de (R.B.); juergen.bauer@bethanien-heidelberg.de (J.M.B.)

² Center for Geriatric Medicine, Heidelberg University, 69126 Heidelberg, Germany

³ Network Aging Research (NAR), Heidelberg University, 69115 Heidelberg, Germany

⁴ Department for Social and Health Sciences in Sport, Institute of Sports and Sports Science, Karlsruhe Institute of Technology, 76131 Karlsruhe, Germany

⁵ Department of Health and Social Affairs, FHM Bielefeld, University of Applied Sciences, 33602 Bielefeld, Germany

⁶ Department of Electrical, Electronic, and Information Engineering, University of Bologna, 40136 Bologna, Italy; sabato.mellone@unibo.it

⁷ Institute of Health Research, University of Exeter, South Cloisters, St. Luke's Campus, Exeter EX1 2LU, UK; s.e.lamb@exeter.ac.uk

* Correspondence: khauer@bethanien-heidelberg.de; Tel.: +49-6221-319-1532

† Bastian Abel and Martin Bongartz share first authorship.

Received: 12 November 2020; Accepted: 14 December 2020; Published: 16 December 2020



Abstract: This study aimed to identify determinants of quantitative dimensions of physical activity (PA; duration, frequency, and intensity) in community-dwelling, multi-morbid, older persons with cognitive impairment (CI). In addition, qualitative and quantitative aspects of habitual PA have been described. Quantitative PA and qualitative gait characteristics while walking straight and while walking turns were documented by a validated, sensor-based activity monitor. Univariate and multiple linear regression analyses were performed to delineate associations of quantitative PA dimensions with qualitative characteristics of gait performance and further potential influencing factors (motor capacity measures, demographic, and health-related parameters). In 94 multi-morbid, older adults (82.3 ± 5.9 years) with CI (Mini-Mental State Examination score: 23.3 ± 2.4), analyses of quantitative and qualitative PA documented highly inactive behavior (89.6% inactivity) and a high incidence of gait deficits, respectively. The multiple regression models (adjusted $R^2 = 0.395\text{--}0.679$, all $p < 0.001$) identified specific qualitative gait characteristics as independent determinants for all quantitative PA dimensions, whereas motor capacity was an independent determinant only for the PA dimension duration. Demographic and health-related parameters were not identified as independent determinants. High associations between innovative, qualitative, and established, quantitative PA performances may suggest gait quality as a potential target to increase quantity of PA in multi-morbid, older persons.

Keywords: sensor-based; activity behavior; gait; turning; symmetry; regularity; qualitative; determinants

1. Introduction

Decreased motor capacity, defined as maximal level of functioning under standardized conditions [1], as well as decreased motor performance of physical activity (PA), describing habitual behavior in someone's actual environment [1], are common in older persons [2,3] and associated with various negative health outcomes, such as motor impairments, falls, affected psycho-social status, cardiovascular diseases, or mortality [4–6]. In addition to disease- or impairment-related conditions, such as stroke, orthopedic disorders, or pain [7], cognitive impairment (CI) stands out as it has been associated with poor qualitative and quantitative measures of gait [8] and a low volume of PA performance [9] with negative consequences on psychological status as well as social deprivation [10,11].

Although there is still no gold standard in sensor-based activity monitoring [12], technical developments allow to overcome previous limitations in questionnaire-based assessments of PA performance and to document the volume of PA performance by established, quantitative dimensions, such as duration, frequency, or intensity, as stated by leading medical associations [13]. Among all PA performance measures, walking has been considered as the key habitual motor activity that is most often reported but mainly assessed by established, quantitative parameters such as number of steps or duration of walking. These parameters have been increasingly complemented by innovative, qualitative measures, including characteristics of straight walking (e.g., symmetry, regularity, or variability of gait) [14] and turning while walking (e.g., duration, angle, or velocity of turns) [15], which enable qualitative analyses of walking as a key feature of habitual PA performance. Such qualitative characteristics allow to better understand the mechanisms of motor failure, such as falls [16], and have been successfully implemented to predict falls in older persons [14,15]. These qualitative variables of PA performance are also related to mild CI [17] and neurodegenerative disorders such as Parkinson's disease [18,19] and multiple sclerosis [20], as documented by cross-sectional analyses comparing middle-aged or older persons affected by these diseases with healthy controls. Furthermore, qualitative measures of walking capacity under laboratory conditions have also shown associations with the psychological status (e.g., depression, fear of falling) [21] and activity restrictions [22], thus documenting their sensitivity for psychological influences and activity behavior.

Turning while walking stands out as a more demanding movement for older persons, compared to straight walking [23,24], and is required in many daily activities [25]. It reflects a high risk situation for serious falls that may lead to hip fractures [26] and has therefore been incorporated in established clinical tests, such as the Timed "Up & Go" Test. For this test, good predictive validity for adverse health outcomes, fear of falling, and future falls has been documented [27–29]. Similar to the detailed analysis of straight walking, the quantitative turning capacity has recently been amended by qualitative characteristics such as turning velocity or turning angle, enabling detailed insights into turning while walking [15,30]. While such qualitative capacity measures have improved the understanding of habitual activity, namely gait-related performance, results of predictive validity are heterogeneous when using exclusively laboratory-based measures [31–33]. Gait characteristics assessed under highly standardized, laboratory-based conditions (walking capacity) differ substantially from gait characteristics measured during non-standardized, habitual PA (walking performance) [34], which may be affected by frequent distractions with potential negative consequences on habitual PA behavior. However, the assessment of qualitative characteristics of PA performance still remains a methodological challenge, especially in multi-morbid, older persons with activity clusters and gait performances that are hard to detect and classify [35]. While qualitative examinations of gait under habitual conditions are getting more and more attention [14,15,30,36], sensor-based assessment methods were predominantly validated in laboratory settings [19,37] with very restricted use in the real-life assessment of frail, older persons [35,38].

The potential of innovative, qualitative characteristics of PA performance have so far mainly been used in discriminative studies to describe motor differences between healthy, high functioning persons as compared to impaired populations [14,15,18,19,30,36]. These studies on specific qualitative characteristics of gait performance in habitual settings of older adults focused on either, variables of

turning [15,30], or parameters of straight walking [14,36], but did not use the whole range of parameters. While such discriminative, observational studies found significantly decreased qualitative motor performance (e.g., lower gait symmetry or lower turning velocity) in persons with falls [14,15,30,36] as well as in those with Parkinson's disease [18,19], it is interesting that in most of these studies, the quantity of PA performance did not differ as compared to healthy study groups [15,18,30,36]. These findings support the assumption that qualitative characteristics of PA performance are particularly important to complement the more established quantitative parameters.

To represent specific disease-related symptoms, such qualitative measures are of particular interest for specific patient groups such as persons with CI. Especially older adults with CI have a reduced gait quality, which is not only a risk factor for falls but also a predictor for further cognitive decline [39,40]. However, research on qualitative characteristics of habitual PA performance in older persons with CI is scarce. Only three studies with cross-sectional analyses have been identified that considered older persons with CI in subgroups, comparing merely few, individual qualitative characteristics such as variability or regularity of gait performance between older adults with and without CI [17,41,42]. These discriminative studies showed deteriorations in the qualitative motor performance of younger old adults with CI [42] as well as of older persons with fairly preserved motor capacity and CI [17,41] in comparison with age-matched controls.

In previous studies that aimed to identify determinants of PA performance, parameters of socio-demographic, medical, psychological, cognitive, or functional status were used and indicated low to moderate associations with quantitative parameters of habitual PA [43–48]. A restricted number of studies that have analyzed associations of motor capacity, determined by standardized protocols, with quantitative motor performance, documenting habitual activity behavior, showed moderate to high associations [38,49]. However, as such capacity measures deviate substantially from habitual PA performance, an open research question remains, whether qualitative motor performance during habitual activity may best determine quantitative motor performance during habitual activity.

To the best of our knowledge, a research approach to identify determinants of quantitative PA performance with focus on innovative, qualitative characteristics of gait performance in multi-morbid and older persons with motor and cognitive impairment has not been undertaken so far. Based on low levels of PA performance in older persons with CI [9], the development of specific interventions to increase PA performance and thereby minimize the likelihood of negative health outcomes in this high-risk population is a persistent goal of current geriatric research. In order to implement most effective interventions for these multi-morbid, older adults, it is essential to understand the determinants of quantitative PA performance including duration, frequency, and intensity. The association between the quality of habitual activity and the quantity of activity behavior (will we do if we can?) will be most relevant with direct consequences on the development of future training programs.

The main aim of this study therefore was to identify potential determinants of established, quantitative parameters of habitual PA performance by using innovative, qualitative characteristics of gait performance, in addition to established variables such as demographic and health-related parameters and measures of motor capacity, in multi-morbid, older persons with mild-to-moderate CI. A further aim was to describe the innovative, qualitative, and established, quantitative variables of habitual PA performance. Based on results of previous research [38], we hypothesized low to moderate associations of demographic and health-related variables as well as moderate to large associations of motor capacity and qualitative gait variables with the quantitative parameters of PA performance.

2. Materials and Methods

2.1. Study Design and Study Population

The present study is a cross-sectional observational study which used pre-intervention data from a randomized controlled trial (RCT) on effects of home-based training following inpatient rehabilitation [50]. The RCT was registered (ISRCTN82378327), ethically approved (Medical Faculty

of the University of Heidelberg: S-252/2015) and performed according to the Declaration of Helsinki. Between September 2015 and April 2017, older participants (age ≥ 65 years) with mild-to-moderate CI (Mini-Mental State Examination (MMSE) score of 17–26 points; [51]) were consecutively recruited during geriatric rehabilitation. Further inclusion criteria were ability to walk at least 4 m without walking aid, community-dwelling, no delirium, no terminal disease, adequate language ability, residence within 30 km of the study site, and written informed consent.

2.2. Measurements

2.2.1. Demographic and Health-Related Variables

Age, gender, and number of medications were documented from patient charts at discharge from inpatient rehabilitation. Further outcome measures including fall-related self-efficacy (Falls Efficacy Scale-International short version; FES-I short [52]), fall-related avoidance behavior (Fear of Falling Avoidance Behavior Questionnaire; FFABQ [53]), depressive symptoms (Geriatric Depression Scale short form; GDS-SF [54]), and care grade (yes vs. no) were documented by trained assessors in standardized interviews at the participants' home before intervention. Care grade defines benefits of the statutory German long-term care insurance associated to individual, comprehensive care needs as described elsewhere [55,56].

2.2.2. Motor Capacity

The Short Physical Performance Battery (SPPB; including subtests of balance, gait, and chair rise capacity [57]), habitual gait speed (based on SPPB), and Timed "Up & Go" Test (TUG [58]) were also assessed at the participants' home under strictly standardized conditions.

2.2.3. Physical Activity Performance

In the participants' home environment, habitual PA performance was measured for 48 h with the uSense activity monitor (attached to participants' lower back using adhesive bands), a non-commercial activity monitor developed in a large EU-funded project (FARSEEING, FP7/2007–2013, Grant No. 288940), allowing ambulatory, long-term assessment of PA. The assessments of PA performance were considered valid if they included data on at least 48 h of activity measurement. Concurrent validity of the uSense have been proved under standardized conditions by simultaneous annotated video recording during scripted and unscripted activities of frail, older persons, showing an agreement of 95.1% and 92.8%, respectively [59]. Good construct validity, verified for qualitative variables of gait performance and parameters of habitual PA, and excellent test–retest reliability (intraclass correlation coefficients for two consecutive days: 0.68–0.97) for most of these parameters have been shown under habitual conditions in multi-morbid, older persons with motor and cognitive impairment [38], representing the target population of the present study. This small-scaled monitor (42 × 10 × 68 mm, 36 g) includes a 9-axis inertial platform with three different types of motion sensors (accelerometer, gyroscope, and magnetometer) to generate a large variety of parameters of PA performance. These parameters have been distinguished into quantitative variables that describe established parameters of PA and gait performance (activity counts; number of steps; duration of lying, walking, inactive behavior (without lying), and active behavior (without walking); number of lying episodes, walking episodes, inactive episodes (without lying episodes), and active episodes (without walking episodes); mean metabolic equivalent of task (METs); mean METs per walking episodes; cadence; and step duration) and innovative, qualitative variables that describe characteristics of gait during straight walking (variability of step duration; anteroposterior (AP), mediolateral (ML), and vertical (V) step regularity; Phase Coordination Index; AP, ML, and V harmonic ratio) as well as turning (turning duration, turning angle, turning velocity, and number of turns). Step regularity has been defined as an inter-step autocorrelation coefficient in the AP, ML, and V planes, where a value of 1.0 indicates perfect regularity [60]. Phase Coordination Index, a measure of gait coordination/symmetry expressed in percent, describes the ability to coordinate bilateral sequences

of steps within a stride [61], whereby a Phase Coordination Index of 0% reflects perfect left-right coordination [62]. Harmonic ratios quantify the step-to-step symmetry in AP, ML, and V directions, with higher values indicating greater gait symmetry [63]. Raw data was sampled at a frequency of 100 Hz, stored on internal storage, and analyzed offline using MATLAB (R2016a, The MathWorks Inc., Natick, MA, USA). Data processing and detailed definitions of the established parameters of PA performance are described elsewhere [38,64].

2.3. Statistical Analysis

Descriptive data are presented as means and standard deviations, medians and interquartile ranges (IQR), or numbers and percentages. Independent-samples *t*-tests and χ^2 -tests were used for the comparison of participant characteristics between persons with valid and invalid uSense measurements.

Based on a scientific statement of the American Heart Association [13], characterizing the volume of PA performance as a product of the quantitative dimensions duration, frequency, and intensity of PA performance in a given time frame, univariate linear regression analyses were performed to delineate potential determinants of these three dimensions. Since walking was identified as key aspect and essential focus of PA performance, the dependent variables of the univariate regressions consisted of the following established and quantitative variables of walking performance: duration of walking (minutes), frequency of walking (number of episodes), and intensity of walking (METs). To allow a more comprehensive analysis, we included an additional dependent quantitative variable, which was not directly derived from walking performance (the average total intensity (METs)), representing the total PA.

The independent variables were classified into following seven different domains, comprising established, quantitative motor, and non-motor parameters (domains 1–3), identified as potential determinants in previous comparable studies [4,43–47,65,66], and innovative, qualitative parameters of gait performance (domains 4–7): (1) demographic variables (age, gender), (2) health-related variables (number of medication, care grade, MMSE, GDS-SF, FES-I short, FFABQ), (3) motor capacity (SPPB, habitual gait speed, TUG), (4) variability of straight walking (coefficient of variation (CV) of step duration), (5) regularity of straight walking (AP, ML, and V step regularity), (6) symmetry of straight walking (Phase Coordination Index and AP, ML, and V harmonic ratio), and (7) qualitative gait parameters of turning while walking (turning duration, turning angle, mean turning velocity, peak turning velocity). The duration, angle, and velocity of turning were considered as qualitative measures since they document the commonly slower, smaller, and simplified movement strategies used by older persons to maintain their balance and compensate for loss of coordination [67–69].

Subsequently, four multiple linear regression models (stepwise forward, $p \leq 0.05$ to enter) were performed to identify independent determinants of the different quantitative dimensions of walking (duration, frequency, and intensity) as well as the total PA performance (average total intensity). Only the independent variables with the highest, significant regression coefficient within each of the seven different aforementioned domains of the univariate analyses were included in the respective multiple linear regression models.

Potential multicollinearity of independent variables ($r > 0.7$ between independent variables, tolerance value < 0.2 , and variance inflation factor (VIF) > 10 [70]) and the compliance of further assumptions for multiple linear regression analyses were considered (homoscedasticity and normality of residuals [71], and autocorrelation (Durbin-Watson-Test)).

The multiple regression models were described by the adjusted coefficient of determination R^2 and influences of variables are given as unstandardized (Beta) and standardized (β) regression coefficients. A two-sided p -value ≤ 0.05 indicated statistical significance. Data analyses were performed using SPSS Statistics 25 (IBM, Armonk, NY, USA).

3. Results

3.1. Descriptive Characteristics

The study sample included 110 multi-morbid (number of medications: 9.6 ± 3.5), older (82.3 ± 5.9 years) persons, discharged from ward-based geriatric rehabilitation, with mild-to-moderate CI (MMSE score: 23.3 ± 2.4 points), advanced motor impairment (SPPB score: 5.2 ± 2.3 points), and moderate concerns about falling (FES-I short: 12.3 ± 4.3 points). Sixteen sensor-based assessments of PA performance were invalid due to technical failure ($n = 1$), refusal to wear the activity monitor ($n = 3$), and premature removal of the uSense by participants ($n = 12$). No significant differences were found between characteristics of participants with valid versus invalid measurements (Table 1).

Table 1. Participant characteristics and comparison of persons with valid and invalid measurements of physical activity performance.

Characteristics	Total Sample ($N = 110$)	Group of Persons with Valid Measurements ($n = 94$)	Group of Persons with Invalid Measurements ($n = 16$)	p
Demographic variables				
Age (years), mean \pm SD	82.3 ± 5.9	82.4 ± 6.0	81.9 ± 5.2	0.757 *
Gender (women), number (%)	84 (76.4)	69 (73.4)	15 (93.8)	0.077 ^
Health-related variables				
Medication (number), mean \pm SD	9.6 ± 3.5	9.6 ± 3.6	9.8 ± 3.3	0.811 *
Care grade (yes), number (%)	51 (46.4)	47 (50.0)	4 (25.0)	0.064 ^
MMSE (score), mean \pm SD	23.3 ± 2.4	23.3 ± 2.4	23.7 ± 2.2	0.540 *
GDS-SF (score), mean \pm SD	5.3 ± 3.0	5.3 ± 3.1	5.6 ± 2.7	0.720 *
FES-I short (score), mean \pm SD	12.3 ± 4.3	12.0 ± 4.2	13.8 ± 4.6	0.113 *
FFABQ (score), mean \pm SD	18.5 ± 12.6	17.9 ± 12.9	21.9 ± 10.4	0.242 *
Motor capacity				
SPPB (score), mean \pm SD	5.2 ± 2.3	5.2 ± 2.3	5.3 ± 1.8	0.938 *
Habitual gait speed (meter/second), mean \pm SD	0.46 ± 0.19	0.46 ± 0.20	0.43 ± 0.17	0.482 *
TUG (seconds), mean \pm SD	24.4 ± 14.1	24.8 ± 15.0	22.3 ± 6.9	0.296 *

This table presents descriptive variables of the total study sample and subgroups according to valid vs. invalid activity measurements. SD = Standard Deviation, MMSE = Mini Mental State Examination (0–30 pts., higher score indicates better cognitive status), GDS-SF = Geriatric Depression Scale-Short Form (0–15 pts., higher score indicates more depressive symptoms), FES-I short = Falls Efficacy Scale International-short version (6–24 pts., higher score indicates higher concerns about falling), FFABQ = Fear of Falling Avoidance Behavior Questionnaire (0–56 pts., higher score indicates greater activity avoidance due to fear of falling), SPPB = Short Physical Performance Battery (0–12 pts., higher score indicates better motor capacity), TUG = Timed “Up & Go” test (lower test time indicates better motor capacity). p -values as tested by * independent-samples t -test and ^ chi-square test are given for the comparison between subgroups with valid vs. invalid activity measurements.

3.2. Physical Activity Performance

In order to describe the PA of the $n = 94$ included study participants with successful 48 h sensor-based measurements in more detail, PA performances have been classified into quantitative and qualitative parameters.

3.2.1. Quantitative Parameters of Physical Activity Performance

During the 48 h activity monitoring, the established, quantitative parameters revealed a predominantly sedentary behavior during the day (21.5 ± 1.2 h (89.6%) inactive vs. 2.5 ± 1.2 h (10.4%) active), distinctive for multi-morbid, older persons with CI. The significantly shorter duration of walking, compared to lying per day (61 ± 47 min vs. 597 ± 117 min, $p < 0.001$), and the considerably higher number of walking episodes, compared to lying episodes per day (317 ± 226 episodes vs. 33 (median, IQR: 19–58) episodes, $p < 0.001$), are based on the mainly very short bouts of walking and longer bouts of lying. An average cadence of 74 ± 7 steps per minute and average step duration of 0.72 s (median, IQR: 0.68–0.79) implied slow habitual walking, also typical for the frail study population. Further details on the description of the quantitative parameters of PA performance are shown in Table 2.

Table 2. Physical activity performance of the 48 h measurement.

Variables	<i>n</i> = 94
Established, quantitative parameters of physical activity performance	
Total activity per day (counts/minute), mean \pm SD	4831 \pm 2088
Total steps per day (number), median (IQR)	4686 (1764–6996)
Duration	
Lying duration per day (minutes), mean \pm SD	597 \pm 117
Walking duration per day (minutes), mean \pm SD	61 \pm 47
Inactive duration without lying duration per day (minutes), mean \pm SD	694 \pm 123
Active duration without walking duration per day (minutes), mean \pm SD	88 \pm 40
Frequency	
Lying episodes per day (number), median (IQR)	33 (19–58)
Walking episodes per day (number), mean \pm SD	317 \pm 226
Inactive episodes without lying episodes per day (number), mean \pm SD	1668 \pm 667
Active episodes without walking episodes per day (number), mean \pm SD	1667 \pm 701
Intensity	
Average intensity of total physical activity performance (METs), mean \pm SD	1.6 \pm 0.1
Average intensity during walking episodes (METs), mean \pm SD	2.4 \pm 0.3
Innovative, qualitative parameters of gait performance while walking straight or turns	
Variability of straight walking	
Average CV of step duration (%), mean \pm SD	29.6 \pm 3.5
Regularity of straight walking	
Average AP step regularity (-), mean \pm SD	0.37 \pm 0.06
Average ML step regularity (-), mean \pm SD	0.44 \pm 0.10
Average V step regularity (-), mean \pm SD	0.32 \pm 0.07
Symmetry of straight walking	
Average PCI (%), mean \pm SD	38.5 \pm 5.0
Average AP harmonic ratio (-), mean \pm SD	1.06 \pm 0.09
Average ML harmonic ratio (-), mean \pm SD	1.43 \pm 0.17
Average V harmonic ratio (-), mean \pm SD	1.15 \pm 0.09
Turning while walking	
Average turning duration (seconds), mean \pm SD	2.13 \pm 0.50
Average turning angle ($^{\circ}$), mean \pm SD	62.7 \pm 9.9
Average mean turning velocity ($^{\circ}$ /second), mean \pm SD	32.9 \pm 7.2
Average peak turning velocity ($^{\circ}$ /second), mean \pm SD	79.5 \pm 17.6

This table presents quantitative and qualitative parameters of physical activity performance. SD = Standard Deviation, IQR = Interquartile Range, MET = Metabolic Equivalent of Task, CV = coefficient of variation, AP = anteroposterior, ML = mediolateral, V = vertical, PCI = Phase Coordination Index. $^{\circ}$ = degrees. Inactive duration/episodes: METs \leq 1.5. Active duration/episodes: METs $>$ 1.5.

3.2.2. Qualitative Parameters of Gait during Physical Activity Performance

The qualitative gait parameters of straight walking showed a high CV of step duration, low inter-step correlation coefficients, a high Phase Coordination Index, and low harmonic ratios (Table 2).

The investigation of innovative, qualitative gait characteristics of turning while walking revealed a cautious turning behavior with a prolonged average turning duration, a low average turning angle as well as a slow average mean and peak turning velocity (Table 2; Figure 1). The total number of turns per day during the 48 h PA performance assessment was 514 (median, IQR: 155–973) and the average number of turns per walking episode was 2.1 ± 0.5 .

3.3. Determinants of Physical Activity Performance

To identify determinants of established, quantitative parameters of PA performance, univariate regressions with multi-domain variables were used to detect potential determining variables which were included in the final multiple regression models.

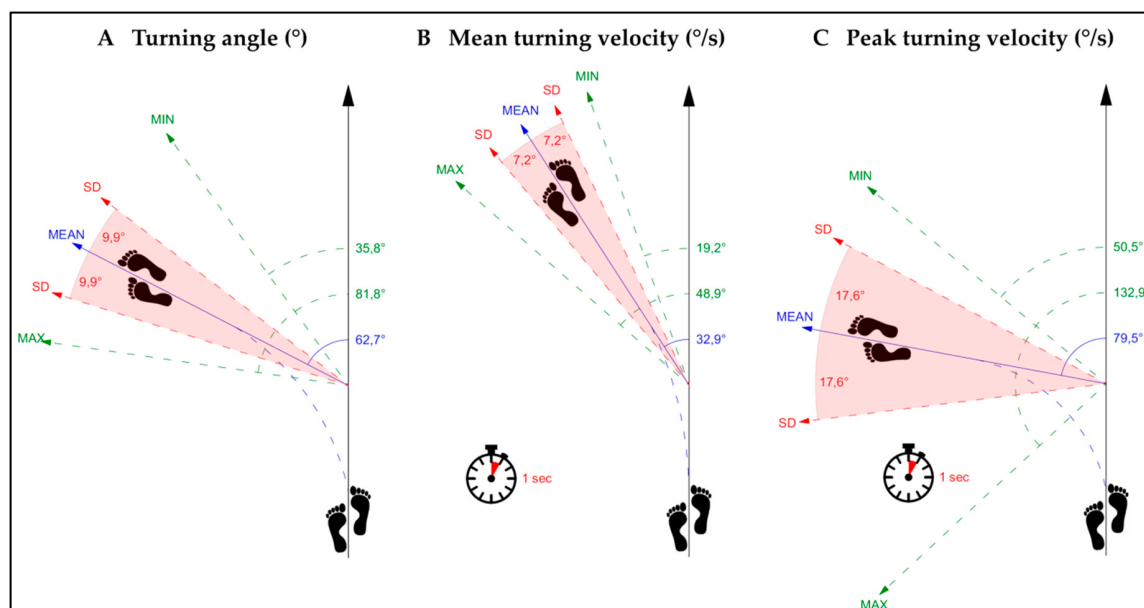


Figure 1. This figure presents the average values of (A) turning angle, (B) mean turning velocity, and (C) peak turning velocity. SD = standard deviation, MIN = minimum, MAX = maximum, ° = degrees.

3.3.1. Univariate Regressions

Non-motor variables including demographic variables (age and gender) and health-related variables (e.g., number of medication and care grade as a surrogate marker of multi-morbidity and functional dependency, respectively, or cognitive status (MMSE)) showed moderate and mostly singular associations with the established, quantitative dimensions of PA performance. Only the FFABQ, documenting activity avoidance related to concerns about falling, was moderately associated with all of the quantitative dimensions of PA performance (β : |0.233–0.320|, p : 0.002–0.024). More detailed outcomes of the univariate analyses are given in Table 3.

In contrast, all variables of motor capacity showed moderate to high associations with each of the quantitative dimensions of PA performance (β : |0.347–0.580|, all p : ≤ 0.001 ; Table 3).

Innovative, qualitative characteristics related to variability, regularity, or symmetry measures of gait performance while walking straight revealed moderate associations with all quantitative parameters of walking and total PA performance; however these associations were heterogeneous. While six out of eight and five out of eight of the qualitative variables of straight walking were associated with the duration and frequency of PA performance, respectively, two out of eight were related to both of the intensity parameters (Table 3).

All qualitative parameters of gait performance while walking turns stood out with predominantly high associations to all quantitative parameters of PA performance (β : |0.299–0.787|, p : < 0.001 –0.003; Table 3).

In general, the univariate regressions showed similar results across the established, quantitative dimensions of walking and total PA performance used as dependent variables in the regression models. Within dependent variables, results between duration and frequency and between walking intensity and overall intensity were most comparable.

3.3.2. Multiple Regressions

None of the demographic or health-related measures remained as an independent determinant in any of the multiple regression models (Tables 4–7).

Despite the moderate to high associations in the univariate regressions, the motor capacity measures did also not remain in the multiple regression models with the single exception of the SPPB as an independent determinant for the duration of walking ($\beta = 0.250$, $p = 0.008$; Table 4).

Table 3. Univariate associations of multi-domain variables with quantitative dimensions of walking and total physical activity.

Independent Variables	Walking Performance						Total Performance	
	Duration (Minutes)		Frequency (Number of Episodes)		Intensity (METs)		Intensity (METs)	
	β	<i>p</i>	β	<i>p</i>	β	<i>p</i>	β	<i>p</i>
Established, quantitative parameters								
Demographic variables								
Age (years)	−0.209	0.043 *	−0.157	0.130	−0.305	0.003 *	−0.274	0.008 *
Gender (dummy; 0 = women, 1 = men)	0.176	0.089	0.043	0.680	0.197	0.058	0.209	0.043
Health-related variables								
Medication (number)	−0.219	0.034	−0.210	0.042	−0.131	0.206	−0.130	0.210
Care grade (dummy; 0 = no, 1 = yes)	−0.247	0.016	−0.238	0.021	−0.041	0.694	−0.155	0.137
MMSE (score)	0.132	0.205	0.129	0.214	0.209	0.043	0.214	0.039
GDS-SF (score)	−0.131	0.207	−0.109	0.298	0.006	0.954	−0.013	0.903
FES-I short (score)	−0.147	0.158	−0.147	0.158	−0.024	0.821	−0.090	0.387
FFABQ (score)	−0.320	0.002 *	−0.272	0.008 *	−0.233	0.024 *	−0.272	0.008 *
Motor capacity								
SPPB (score)	0.507	<0.001 *	0.506	<0.001	0.377	<0.001	0.535	<0.001
Habitual gait speed (meter/second)	0.491	<0.001	0.507	<0.001 *	0.419	<0.001 *	0.580	<0.001 *
TUG (seconds)	−0.384	<0.001	−0.347	0.001	−0.413	<0.001	−0.497	<0.001
Innovative, qualitative parameters								
Variability of straight walking								
CV of step duration (%)	−0.321	0.002 *	−0.234	0.023 *	−0.068	0.516	−0.094	0.367
Regularity of straight walking								
AP step regularity (-)	0.128	0.220	0.080	0.442	−0.264	0.010	−0.253	0.014 *
ML step regularity (-)	0.225	0.029	0.075	0.474	0.354	<0.001 *	0.174	0.094
V step regularity (-)	0.373	<0.001 *	0.283	0.006 *	0.140	0.178	0.170	0.102
Symmetry of straight walking								
PCI (%)	−0.305	0.003	−0.257	0.012	−0.066	0.525	−0.107	0.303
AP harmonic ratio (-)	0.448	<0.001 *	0.363	<0.001 *	0.130	0.213	0.209	0.043 *
ML harmonic ratio (-)	0.124	0.233	0.028	0.787	0.143	0.170	0.048	0.643
V harmonic ratio (-)	0.376	<0.001	0.277	0.007	0.132	0.206	0.155	0.137
Turning while walking								
Turning duration (seconds)	−0.299	0.003	−0.350	0.001	−0.498	<0.001	−0.524	<0.001
Turning angle (°)	0.527	<0.001	0.488	<0.001	0.454	<0.001	0.592	<0.001
Mean turning velocity (°/second)	0.559	<0.001 *	0.569	<0.001 *	0.651	<0.001	0.787	<0.001 *
Peak turning velocity (°/second)	0.315	0.002	0.302	0.003	0.694	<0.001 *	0.715	<0.001

This table presents the results of univariate regression analyses between variables of different domains with quantitative measures of walking performance and total performance. MMSE = Mini Mental State Examination, GDS-SF = Geriatric Depression Scale-Short Form, FES-I short = Falls Efficacy Scale International-short version, FFABQ = Fear of Falling Avoidance Behavior Questionnaire, SPPB = Short Physical Performance Battery, TUG = Timed “Up & Go” test, CV = coefficient of variation, AP = anteroposterior, ML = mediolateral, V = vertical, PCI = Phase Coordination Index. ° = degrees. β = standardized regression coefficient indicating low (<0.2), moderate (0.2–0.5), and high (>0.5) associations. *p*-values in bold face indicate significance ($p \leq 0.05$). * included in the respective, subsequent multiple linear regression models.

Table 4. Independent determinants for the duration of walking performance.

Independent Variables	Model 1: Walking Duration (Minutes)						
	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients			Collinearity Statistics	
	Beta	SE	β	<i>t</i>	<i>p</i>	Tolerance	VIF
Mean turning velocity (°/second)	4.57	1.21	0.351	3.79	<0.001	0.718	1.393
AP harmonic ratio (-)	297.12	90.79	0.273	3.27	0.002	0.887	1.127
SPPB (score)	10.07	3.72	0.250	2.71	0.008	0.720	1.388

This table presents the results of a multiple regression analyses of variables from different domains with duration of walking performance as dependent variable. AP = anteroposterior, SPPB = Short Physical Performance Battery, Beta = unstandardized regression coefficient, SE = standard error, β = standardized regression coefficient, VIF = variance inflation factor. Adjusted coefficient of determination (R^2) = 0.427. Durbin-Watson test for autocorrelation = 1.950.

Among the innovative, qualitative characteristics of straight walking, only single measures remained in the multiple regression models. While the AP harmonic ratio was independently associated with the duration and frequency of walking (Models 1 and 2, Tables 4 and 5), the ML and AP step regularity was independently associated only with the intensity of walking and total PA performance, respectively (Models 3 and 4, Tables 6 and 7). The variability of step duration, the V step

regularity, the Phase Coordination Index, the ML harmonic ratio, and the V harmonic ratio did either not remain in any of these multiple models or were not included as the univariate association was lower, compared to other variables within the same domain, or lacking.

Table 5. Independent determinants for the frequency of walking performance.

Model 2: Walking Frequency (Number of Episodes)							
Independent Variables	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients			Collinearity Statistics	
	Beta	SE	β	<i>t</i>	<i>p</i>	Tolerance	VIF
Mean turning velocity (°/second)	33.86	5.41	0.535	6.25	<0.001	0.918	1.090
AP harmonic ratio (-)	1169.27	440.89	0.227	2.65	0.009	0.918	1.090

This table presents the results of a multiple regression analyses of variables from different domains with frequency of walking performance as dependent variable. AP = anteroposterior, Beta = unstandardized regression coefficient, SE = standard error, β = standardized regression coefficient, VIF = variance inflation factor. Adjusted coefficient of determination (R^2) = 0.395. Durbin–Watson test for autocorrelation = 1.633.

Table 6. Independent determinants for the intensity of walking performance.

Model 3: Walking Intensity (METs)							
Independent Variables	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients			Collinearity Statistics	
	Beta	SE	β	<i>t</i>	<i>p</i>	Tolerance	VIF
Peak turning velocity (°/second)	0.01	0.001	0.749	12.16	<0.001	1.000	1.000
ML step regularity (-)	0.96	0.18	0.329	5.33	<0.001	1.000	1.000

This table presents the results of a multiple regression analyses of variables from different domains with intensity of walking performance as dependent variable. ML = mediolateral, Beta = unstandardized regression coefficient, SE = standard error, β = standardized regression coefficient, VIF = variance inflation factor. Adjusted coefficient of determination (R^2) = 0.658. Durbin–Watson test for autocorrelation = 2.027.

Table 7. Independent determinants for the intensity of the total performance of physical activity.

Model 4: Intensity of Total Physical Activity (METs)							
Independent Variables	Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients			Collinearity Statistics	
	Beta	SE	β	<i>t</i>	<i>p</i>	Tolerance	VIF
Mean turning velocity (°/second)	0.01	0.001	0.795	13.18	<0.001	0.981	1.019
AP step regularity (-)	-0.29	0.12	-0.150	-2.48	0.015	0.981	1.019

This table presents the results of a multiple regression analyses of variables from different domains with intensity of total physical activity performance as dependent variable. AP = anteroposterior, Beta = unstandardized regression coefficient, SE = standard error, β = standardized regression coefficient, VIF = variance inflation factor. Adjusted coefficient of determination (R^2) = 0.679. Durbin–Watson test for autocorrelation = 1.666.

With regard to the innovative, qualitative characteristics of walking turns, the mean turning velocity was an independent determinant for the duration and frequency of walking (Models 1 and 2) as well as the intensity of total PA performance (Model 4), whereas the peak turning velocity was an independent determinant for the intensity of walking (Model 3). As either the mean or peak turning velocity showed the highest univariate associations with the established parameters of PA performance within the domain of qualitative gait parameters of turning while walking, the average turning duration and average turning angle were not included in the multiple regression models.

The explained variance was relatively large in all models (adjusted R^2 = 0.395–0.679; all p < 0.001) given the limited number of determinants and the complexity of potential influences on PA behavior. No multicollinearity (all r < 0.7 between independent variables, minimal tolerance: 0.718, maximal VIF: 1.393) or autocorrelation (Durbin–Watson: 1.633–2.027) were present in any of the multiple regression models, indicating the independence of included variables.

4. Discussion

To the best of our knowledge, this cross-sectional analysis is the first showing that innovative, qualitative gait characteristics of straight walking and turning, documented in real-life settings, represent major determinants of established, quantitative dimensions of PA performance in multi-morbid, older persons with motor and cognitive impairment. Established demographic and health-related variables as well as motor capacity measures were not or only in a limited way associated with quantitative PA performance. In addition to the highly sedentary behavior, the high incidence of gait deficits under habitual conditions was documented by valid parameters of gait quality not analyzed in such detail in this vulnerable population before.

4.1. Physical Activity Performance

The sedentary behavior and low intensity of walking or total PA performance of multi-morbid, older adults with CI as documented by established parameters in the present study is consistent with findings from comparable samples [9,72] and typical for vulnerable, older persons. To complement such established parameters of PA performance with innovative, qualitative characteristics of gait performance is a novel approach that enables a more detailed insight into habitual physical behavior. These qualitative parameters of gait performance are of particular importance as a low quality of walking under everyday conditions is associated with several health-related aspects in older persons, such as mild CI [17], Parkinson's disease [18,19], or a high risk of falling [14,15].

4.1.1. Variability of Straight Walking

The variability of straight walking in the present study is high, but benchmarking is limited by missing comparable values for the CV of step duration from real-life settings in older adults with CI. When compared to a laboratory-based reliability study in older persons with CI [73], a substantially higher variability of step duration is visible in the present study. This divergence indicates the importance of separate qualitative measurements during daily activities, which, compared to highly standardized laboratory measurements, are affected by diverse external factors but represent the everyday life and relevant individual habitual activity behavior.

4.1.2. Regularity of Straight Walking

With regard to the established definition of perfect step regularity, indicated by an inter-step autocorrelation coefficient of 1.0 [60], the step regularity of gait performance in the present study was low (0.32–0.44), no matter whether in AP, ML, or V direction. The step regularity in the present vulnerable, older study sample was lower as compared to the step regularity of habitual gait performance in younger and fitter old persons with and without CI [34], indicating negative effects of higher age, lower motor capacity, and CI.

4.1.3. Symmetry of Straight Walking

Based on given definitions for the Phase Coordination Index (0% reflects perfect coordination) [61,62] and harmonic ratios (higher values indicate greater symmetry) [63], the left-right coordination ($38.5 \pm 5.0\%$) and step-to-step symmetry (1.06–1.43) of gait performance in the present study were low. As no results for the Phase Coordination Index from real-life settings were identified in older persons, laboratory-based studies in octogenarians with and without CI were used for comparison [74–76]. These laboratory studies rate much smaller values of the Phase Coordination Index (6.7–7.0%) as impaired gait coordination, which demonstrates the poor coordination of habitual gait as well as the impact of everyday life on the gait quality in the present vulnerable, older study sample.

The harmonic ratios in the present study were considerably smaller than in previous studies (1.82–2.25) that have examined associations of step-to-step symmetry of habitual gait performance with falls or time to falls in on average seven years younger persons with and without CI [14,77],

again confirming effects of higher age and multiple impairments on the gait symmetry of the study sample as discussed above for step regularity.

4.1.4. Turning while Walking

Although the mean turning duration in the present study was almost in line with findings from discriminative, observational studies in real-life settings in sixty-five-year-olds with Parkinson's disease [19] or cognitively intact older adults with and without falls [15,30], the mean turning angle was approximately 30° smaller [15,19,30] and the mean turning velocity more than 10°/s slower [30], indicating qualitative compensation strategies for increased deficits in balance and coordination [68,69] in old age or CI.

In addition, the absolute number of turns in the present study was about 350 turns per day lower as compared to an age-matched peer group without CI, better turning performance, and better walking capacity [15]. The descriptive study results therefore suggest that quality and quantity of turning performance are sensitive indicators of motor restrictions in older persons with motor and cognitive impairment, such as the present study sample.

4.2. Determinants of Physical Activity Performance

While habitual PA performance has so far mainly been documented as established, quantitative dimensions in contexts of both scientific and public use, the qualitative characteristics of PA performance played a much lesser role due to methodological limitations for valid assessments in habitual settings. The potential determinants of quantitative PA performance were therefore restricted to established demographic and health-related variables, and parameters of motor capacity.

Accordingly, the main objective of the present study was to identify determinants of PA performance by using innovative, qualitative measures of habitual PA as compared to demographic and health-related variables, and parameters of motor capacity in multi-morbid older persons with CI, in which detailed gait and activity analyses are methodologically challenging but urgently needed.

4.2.1. Univariate Regressions

To identify determinants of quantitative PA performance, a step-wise procedure was used. In a first step, variables from various domains were analyzed in univariate regression models.

- Demographic and health-related variables

As hypothesized, the demographic and health-related variables showed only moderate and singular relationships with the quantitative dimensions of PA performance, documenting lesser associations of generic domains or assessments that have been developed for clinical documentation rather than the prediction of PA. Study results are in line with previous studies, showing low to moderate negative univariate associations of advanced age, female gender, or various health-related variables with habitual PA performances such as overall intensity or activity counts [43,45]. These negative associations may indirectly relate to the lower motor capacity in persons with a poorer health status, higher age, or female gender [57,78], as a relevant restraint to be physically active ("do if we can").

- Motor capacity

The significant associations of all motor capacity variables with all parameters of quantitative PA performance in the univariate analysis verified the hypothesis of a moderate to high association between motor capacity and quantity of PA performance in the study sample with impaired mobility. The study results confirm the moderate associations of various motor capacity measures (e.g., gait speed, SPPB and TUG score) with quantitative variables of PA performance (e.g., walking duration, walking frequency) in younger and fitter older adults [79,80].

Tests of motor capacity like the SPPB or TUG, as used in the present study, have been developed to investigate requirements and activities relevant to everyday life of older persons [57,58]. The moderate

to high associations between motor capacity and quantity of PA in the present study confirm this methodological approach and the relevance of motor capacity as a key for habitual PA.

- Innovative, qualitative parameters of straight walking

In 15 out of 32 univariate analyses, qualitative gait parameters of straight walking showed significant associations with quantitative parameters of PA performance. This result partially confirms our hypothesis of moderate to high associations between the quality and quantity of performance and suggests that a better quality of habitual gait implies better motor skills as important prerequisite for a higher quantity of PA. Interestingly, these associations were mainly documented for the duration or frequency of PA performance and less for the intensity measures. This finding may be due to higher energy costs per unit time of intensive activity and the reduced ability to provide this energy in old age [81,82], indicating that high intensity activities are frequently restricted in multi-morbid, older persons such as the present study sample.

Only few studies investigated individual, qualitative variables of laboratory-based gait (qualitative motor capacity) as determinants of the quantity of PA performance in older adults [76,79,83,84], documenting heterogeneous results with generally limited associations: low or moderate negative univariate associations of gait variability with duration and frequency of moderate to vigorous PA or number of activity counts, respectively [83,84], low positive univariate associations of gait regularity with number of activity counts [84], and no or moderate positive univariate associations of gait symmetry with accelerometer-based or self-reported, questionnaire-based PA, respectively [76,79].

However, measures of qualitative capacity and qualitative performance may not be directly comparable [34]. While qualitative gait parameters of straight walking, including variability, regularity, and symmetry, under strictly standardized laboratory conditions predominantly document motor impairments (internal conditions), measures of qualitative performance may additionally cover effects of activity patterns and environmental or social interactions (external conditions) that are directly related to quality and quantity of PA. Qualitative measures of gait performance share the same context and setting with quantitative measures of habitual PA, allowing a high comparability by contrast with qualitative measures of gait capacity.

In addition to laboratory-based studies on associations between qualitative capacity measures and quantitative performance measures, studies on associations of qualitative gait performance while walking straight and the quantity of PA performance could not be identified, with the consequence that a direct benchmarking to the present results was not feasible.

- Innovative, qualitative parameters of turning while walking

All qualitative parameters of gait performance while walking turns were significantly and in most cases strongly associated with every quantitative dimension of PA performance in the present study. This result highlights the high proportion of turning during everyday indoor activities [25] and suggests that turning performance in vulnerable older persons represents a very sensitive indicator for the quality of gait in a complex and challenging movement, potentially leading to a higher quantity of PA performance (will we do if we can?).

The higher levels of PA performance in the present study were associated with lower turning duration as well as higher turning angle and velocity, which are usually prolonged or reduced, respectively, in older adults due to a loss of coordination as a compensation strategy to maintain balance [68,69]. Accordingly, walking turns represent challenging movements with high risk exposure for falling in multi-morbid, older persons with motor impairment [15,28,30].

While findings on laboratory-based turning measures (180° turning of the TUG) in older adults showed only a moderate positive univariate association of turning velocity with the number of activity counts [84], the predominantly high associations between qualitative measures of turning and quantitative dimensions of PA in the present study again indicate the higher relevance of habitual gait quality as compared to laboratory-based gait quality.

As studies on the relationship between qualitative measures of turning performance and quantitative measures of PA performance are lacking, benchmarking of the present findings with previous results was again not feasible.

4.2.2. Multiple Regressions

In a final step, directly competing variables, each with the highest significant coefficients from the univariate regressions of the different domains, were analyzed in multiple regression models to ascertain independent determinants of the quantitative dimensions of habitual PA.

- Demographic and health-related variables

None of the demographic or health-related variables, included in the multiple regression models, remained as an independent determinant for the quantitative dimensions of PA performance. This result affirms the lesser suitability of demographic factors and health status for the determination of the quantity of PA, compared to motor variables, as already indicated by the results of the univariate analyses.

- Motor capacity

Although the measures of motor capacity document key motor functions [57,58] that are mandatory for habitual PA, the singular independent association between the SPPB and walking duration suggests that the measures of motor capacity are inferior in independently determining the quantity of PA performance, when directly compared to specific, selected qualitative parameters of PA performance. This singular or missing independent association between variables of motor capacity and quantitative PA performance may be explained by the generally different conditions of controlled laboratory research and field research [49,85], indicating a lesser degree of similarity between measures of motor capacity and quantitative dimensions of PA performance as compared to qualitative parameters of PA performance.

- Innovative, qualitative parameters of straight walking

The present study identified independent associations between specific qualitative variables of gait performance while walking straight (AP step-to-step symmetry and AP and ML step regularity) and all quantitative dimensions of PA performance, suggesting that qualitative characteristics of habitual gait are relevant independent determinants for the quantity of habitual PA.

The independent association of step-to-step symmetry with duration and frequency of walking may relate to typical deficits of older persons with CI, such as lower levels of PA performance [3] and a lower step-to-step symmetry [86], or the high association between step-to-step symmetry and walking balance [87,88], as a basic precondition of walking and thereby leading to a higher duration and frequency of walking.

In contrast, step regularity may be more important in the context of the PA dimension intensity, as it is indicated by the positive independent association of ML step regularity with intensity of walking and the negative independent association of AP step regularity with intensity of total PA performance. These contrary associations may be due to different reasons. One could be a frequent change in the participants' progression speed that results in a lower AP step regularity but indicates a better ability to quickly adapt/change walking speed, while simultaneously the ML step regularity increases and reflects a better ML stability. This assumption suggests that a better qualitative motor performance enables a higher intensity of PA, which confirms our hypothesis of a strong association between qualitative and quantitative PA performance. Another reason could be the age-related decline in step regularity that only occurs in AP direction [89], assuming that a decreased AP gait control causes a higher energy expenditure, whereas a steady/good ML gait control in old age may facilitate a higher intensity of PA.

- Innovative, qualitative parameters of turning while walking

Either the mean or peak velocity of turning performance was the best independent determinant for all quantitative dimensions of PA performance in the present study, suggesting that qualitative parameters of habitual turning behavior represent superior determinants for the quantity of PA performance, compared to demographic and health-related variables, measures of motor capacity, and qualitative parameters of gait performance while walking straight.

The present findings are coherent since turning while walking represents a more challenging movement for older persons as compared to straight walking [23,24] that places high demands on coordination and balance [68,69], as prerequisites for activity, and accounts for up to almost fifty percent of daily indoor activities [25], which is typical for multi-morbid, older persons.

4.3. Strengths and Limitations

The present study is the first to use successfully validated methods [38] to document innovative, qualitative characteristics of habitual gait performance and to analyze the association of these parameters, besides non-motor variables and measures of motor capacity, with different quantitative dimensions of PA performance in multi-morbid, older adults with CI.

The inconsistent usage of technical terms in the literature (e.g., capacity vs. performance or performance vs. activity behavior, including qualitative as well as quantitative aspects) and the large variety of partially not validated sensor technologies, assessment methods, and outcome characteristics, due to a rapid technical development in the field of motion analysis in recent years, are limiting the benchmarking of the present findings and the comparability between different studies.

5. Conclusions

The present study results identified specific qualitative variables of gait performance, in particular while walking turns, as main determinants for the quantitative dimensions duration, frequency, and intensity of habitual PA (will we do if we can?) in multi-morbid, older persons with generally low gait quality and PA levels. Results indicate that the quality of motor performance may be superior to determine the quantity of motor performance as compared to established measures of motor capacity or demographic and health-related variables.

As qualitative measures of habitual performance are associated with adverse events such as falls [14,15,30], intervention programs with the focus to improve the quality of such performances may not only represent a key to increase the duration, frequency, and intensity of habitual PA but also reduce the risk of falling and thus counteracting a higher risk exposure due to achieved higher PA levels.

Author Contributions: Conceptualization: B.A., M.B. and K.H.; methodology: B.A., M.B. and K.H.; software: S.M.; validation: B.A., M.B. and K.H.; formal analysis: B.A. and M.B.; investigation: M.B., T.E., P.U. and R.B.; resources: S.M., J.M.B. and K.H.; data curation: B.A. and M.B.; writing—original draft preparation: B.A. and M.B.; writing—review and editing: T.E., P.U., R.B., S.M., J.M.B., S.E.L. and K.H.; visualization: B.A.; supervision: K.H.; project administration: K.H.; funding acquisition: K.H. All authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

Funding: This research was funded by the social and private long-term care insurance (soziale und private Pflegeversicherung) and the Municipal Association for Youth and Social Affairs in Baden-Württemberg (Kommunalverband für Jugend und Soziales Baden-Württemberg; grant number: 80221-208-009-01-01).

Acknowledgments: The authors would like to thank Manuel Feißt (Institute of Medical Biometry and Informatics, University of Heidelberg) for support in data analysis and statistical consulting, and Christian Veth (Faculty of Architecture, Technical University of Kaiserslautern) for support in graphical representation of results.

Conflicts of Interest: The authors declare no conflict of interest. The funders had no role in the design of the study; in the collection, analyses, or interpretation of data; in the writing of the manuscript, or in the decision to publish the results.

References

1. World Health Organization. *International Classification of Functioning, Disability and Health: ICF*; World Health Organization: Geneva, Switzerland, 2001.
2. Aboutorabi, A.; Arazpour, M.; Bahramizadeh, M.; Hutchins, S.W.; Fadayevatan, R. The effect of aging on gait parameters in able-bodied older subjects: A literature review. *Aging Clin. Exp. Res.* **2016**, *28*, 393–405. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
3. Sun, F.; Norman, I.J.; While, A.E. Physical activity in older people: A systematic review. *BMC Public Health* **2013**, *13*, 449. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
4. Trayers, T.; Lawlor, D.A.; Fox, K.R.; Coulson, J.; Davis, M.; Stathi, A.; Peters, T. Associations of objectively measured physical activity with lower limb function in older men and women: Findings from the Older People and Active Living (OPAL) study. *J. Aging Phys. Act.* **2014**, *22*, 34–43. [[CrossRef](#)]
5. Kressig, R.W.; Herrmann, F.R.; Grandjean, R.; Michel, J.P.; Beauchet, O. Gait variability while dual-tasking: Fall predictor in older inpatients? *Aging Clin. Exp. Res.* **2008**, *20*, 123–130. [[CrossRef](#)]
6. Mechling, H.; Netz, Y. Aging and inactivity—capitalizing on the protective effect of planned physical activity in old age. *Eur. Rev. Aging Phys. Act.* **2009**, *6*, 89. [[CrossRef](#)]
7. Schuler, M.; Njoo, N.; Hestermann, M.; Oster, P.; Hauer, K. Acute and Chronic Pain in Geriatrics: Clinical Characteristics of Pain and the Influence of Cognition. *Pain Med.* **2004**, *5*, 253–262. [[CrossRef](#)]
8. Bahureksa, L.; Najafi, B.; Saleh, A.; Sabbagh, M.; Coon, D.; Mohler, M.J.; Schwenk, M. The Impact of Mild Cognitive Impairment on Gait and Balance: A Systematic Review and Meta-Analysis of Studies Using Instrumented Assessment. *Gerontology* **2017**, *63*, 67–83. [[CrossRef](#)]
9. Van Alphen, H.J.; Volkers, K.M.; Blankevoort, C.G.; Scherder, E.J.; Hortobágyi, T.; van Heuvelen, M.J. Older adults with dementia are sedentary for most of the day. *PLoS ONE* **2016**, *11*, e0152457. [[CrossRef](#)]
10. Fontaine, R.; Pino, M.; Jean-Baptiste, M.; Philibert, A.; Briant, N.; Joël, M.-E. Older adults living with cognitive and mobility-related limitations: Social deprivation and forms of care received. In *Ageing in Europe—Supporting Policies for an Inclusive Society*; Börsch-Supan, A., Kneip, T., Litwin, H., Mich, M., Weber, G., Eds.; De Gruyter: Berlin, Germany, 2015; pp. 103–113.
11. Van Alphen, H.J.; Hortobágyi, T.; van Heuvelen, M.J. Barriers, motivators, and facilitators of physical activity in dementia patients: A systematic review. *Arch. Gerontol. Geriatr.* **2016**, *66*, 109–118. [[CrossRef](#)]
12. Rucco, R.; Sorriso, A.; Liparoti, M.; Ferraioli, G.; Sorrentino, P.; Ambrosanio, M.; Baseliace, F. Type and Location of Wearable Sensors for Monitoring Falls during Static and Dynamic Tasks in Healthy Elderly: A Review. *Sensors* **2018**, *18*, 1613. [[CrossRef](#)]
13. Strath, S.J.; Kaminsky, L.A.; Ainsworth, B.E.; Ekelund, U.; Freedson, P.S.; Gary, R.A.; Richardson, C.R.; Smith, D.T.; Swartz, A.M. Guide to the assessment of physical activity: Clinical and research applications: A scientific statement from the American Heart Association. *Circulation* **2013**, *128*, 2259–2279. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
14. Van Schooten, K.S.; Pijnappels, M.; Rispen, S.M.; Elders, P.J.; Lips, P.; van Dieen, J.H. Ambulatory fall-risk assessment: Amount and quality of daily-life gait predict falls in older adults. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **2015**, *70*, 608–615. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
15. Mancini, M.; Schlueter, H.; El-Gohary, M.; Mattek, N.; Duncan, C.; Kaye, J.; Horak, F.B. Continuous Monitoring of Turning Mobility and Its Association to Falls and Cognitive Function: A Pilot Study. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **2016**, *71*, 1102–1108. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
16. Montero-Odasso, M.; Speechley, M. Falls in Cognitively Impaired Older Adults: Implications for Risk Assessment and Prevention. *J. Am. Geriatr. Soc.* **2018**, *66*, 367–375. [[CrossRef](#)]
17. Hausdorff, J.M.; Hillel, I.; Shustak, S.; Del Din, S.; Bekkers, E.M.J.; Pelosin, E.; Nieuwhof, F.; Rochester, L.; Mirelman, A. Everyday Stepping Quantity and Quality Among Older Adult Fallers With and Without Mild Cognitive Impairment: Initial Evidence for New Motor Markers of Cognitive Deficits? *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **2017**, *73*, 1078–1082. [[CrossRef](#)]
18. Mancini, M.; El-Gohary, M.; Pearson, S.; McNamers, J.; Schlueter, H.; Nutt, J.G.; King, L.A.; Horak, F.B. Continuous monitoring of turning in Parkinson’s disease: Rehabilitation potential. *NeuroRehabilitation* **2015**, *37*, 3–10. [[CrossRef](#)]
19. El-Gohary, M.; Pearson, S.; McNamers, J.; Mancini, M.; Horak, F.; Mellone, S.; Chiari, L. Continuous monitoring of turning in patients with movement disability. *Sensors* **2013**, *14*, 356–369. [[CrossRef](#)]

20. Shema-Shiratzky, S.; Hillel, I.; Mirelman, A.; Regev, K.; Hsieh, K.L.; Karni, A.; Devos, H.; Sosnoff, J.J.; Hausdorff, J.M. A wearable sensor identifies alterations in community ambulation in multiple sclerosis: Contributors to real-world gait quality and physical activity. *J. Neurol.* **2020**, *267*, 1912–1921. [[CrossRef](#)]
21. Briggs, R.; Carey, D.; Claffey, P.; McNicholas, T.; Donoghue, O.; Kennelly, S.P.; Kenny, R.A. Do Differences in Spatiotemporal Gait Parameters Predict the Risk of Developing Depression in Later Life? *J. Am. Geriatr. Soc.* **2019**, *67*, 1050–1056. [[CrossRef](#)]
22. Donoghue, O.; Cronin, H.; Savva, G.; O'Regan, C.; Kenny, R. Effects of fear of falling and activity restriction on normal and dual task walking in community dwelling older adults. *Gait Posture* **2012**, *38*, 120–124. [[CrossRef](#)]
23. Conradsson, D.; Paquette, C.; Franzén, E. Medio-lateral stability during walking turns in older adults. *PLoS ONE* **2018**, *13*, e0198455. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
24. Gulley, E.; Ayers, E.; Vergheze, J. A comparison of turn and straight walking phases as predictors of incident falls. *Gait Posture* **2020**, *79*, 239–243. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
25. Glaister, B.C.; Bernatz, G.C.; Klute, G.K.; Orendurff, M.S. Video task analysis of turning during activities of daily living. *Gait Posture* **2007**, *25*, 289–294. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
26. Cumming, R.G.; Klineberg, R.J. Fall frequency and characteristics and the risk of hip fractures. *J. Am. Geriatr. Soc.* **1994**, *42*, 774–778. [[CrossRef](#)]
27. Jeong, S.M.; Shin, D.W.; Han, K.; Jung, J.H.; Chun, S.; Jung, H.W.; Son, K.Y. Timed up-and-go test is a useful predictor of fracture incidence. *Bone* **2019**, *127*, 474–481. [[CrossRef](#)]
28. Kang, L.; Han, P.; Wang, J.; Ma, Y.; Jia, L.; Fu, L.; Yu, H.; Chen, X.; Niu, K.; Guo, Q. Timed Up and Go Test can predict recurrent falls: A longitudinal study of the community-dwelling elderly in China. *Clin. Interv. Aging* **2017**, *12*, 2009–2016. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
29. Moreira Bde, S.; Dos Anjos, D.M.; Pereira, D.S.; Sampaio, R.F.; Pereira, L.S.; Dias, R.C.; Kirkwood, R.N. The geriatric depression scale and the timed up and go test predict fear of falling in community-dwelling elderly women with type 2 diabetes mellitus: A cross-sectional study. *BMC Geriatr.* **2016**, *16*, 56. [[CrossRef](#)]
30. Leach, J.M.; Mellone, S.; Palumbo, P.; Bandinelli, S.; Chiari, L. Natural turn measures predict recurrent falls in community-dwelling older adults: A longitudinal cohort study. *Sci. Rep.* **2018**, *8*, 4316. [[CrossRef](#)]
31. Paterson, K.; Hill, K.; Lythgo, N. Stride dynamics, gait variability and prospective falls risk in active community dwelling older women. *Gait Posture* **2011**, *33*, 251–255. [[CrossRef](#)]
32. Hausdorff, J.M.; Rios, D.A.; Edelberg, H.K. Gait variability and fall risk in community-living older adults: A 1-year prospective study. *Arch Phys. Med. Rehabil.* **2001**, *82*, 1050–1056. [[CrossRef](#)]
33. Vergheze, J.; Holtzer, R.; Lipton, R.B.; Wang, C. Quantitative gait markers and incident fall risk in older adults. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **2009**, *64*, 896–901. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
34. Hillel, I.; Gazit, E.; Nieuwboer, A.; Avanzino, L.; Rochester, L.; Cereatti, A.; Croce, U.D.; Rikkert, M.O.; Bloem, B.R.; Pelosin, E.; et al. Is every-day walking in older adults more analogous to dual-task walking or to usual walking? Elucidating the gaps between gait performance in the lab and during 24/7 monitoring. *Eur. Rev. Aging Phys. Act.* **2019**, *16*, 6. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
35. Dijkstra, B.; Kamsma, Y.; Zijlstra, W. Detection of gait and postures using a miniaturised triaxial accelerometer-based system: Accuracy in community-dwelling older adults. *Age Ageing* **2010**, *39*, 259–262. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
36. Weiss, A.; Brozgol, M.; Dorfman, M.; Herman, T.; Shema, S.; Giladi, N.; Hausdorff, J.M. Does the evaluation of gait quality during daily life provide insight into fall risk? A novel approach using 3-day accelerometer recordings. *Neurorehabil. Neural Repair* **2013**, *27*, 742–752. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
37. Clarke, C.L.; Taylor, J.; Crighton, L.J.; Goodbrand, J.A.; McMurdo, M.E.T.; Witham, M.D. Validation of the AX3 triaxial accelerometer in older functionally impaired people. *Aging Clin. Exp. Res.* **2017**, *29*, 451–457. [[CrossRef](#)]
38. Bongartz, M.; Kiss, R.; Lacroix, A.; Eckert, T.; Ullrich, P.; Jansen, C.P.; Feisst, M.; Mellone, S.; Chiari, L.; Becker, C.; et al. Validity, reliability, and feasibility of the uSense activity monitor to register physical activity and gait performance in habitual settings of geriatric patients. *Physiol. Meas.* **2019**, *40*, 95005. [[CrossRef](#)]
39. Montero-Odasso, M.; Vergheze, J.; Beauchet, O.; Hausdorff, J.M. Gait and cognition: A complementary approach to understanding brain function and the risk of falling. *J. Am. Geriatr. Soc.* **2012**, *60*, 2127–2136. [[CrossRef](#)]
40. Amboni, M.; Ippariello, L.; Iavarone, A.; Fasano, A.; Palladino, R.; Rucco, R.; Picillo, M.; Lista, I.; Varriale, P.; Vitale, C.; et al. Step length predicts executive dysfunction in Parkinson's disease: A 3-year prospective study. *J. Neurol.* **2018**, *265*, 2211–2220. [[CrossRef](#)]

41. Taylor, M.E.; Brodie, M.A.; van Schooten, K.S.; Delbaere, K.; Close, J.C.T.; Payne, N.; Webster, L.; Chow, J.; McNerney, G.; Kurrle, S.E.; et al. Older People with Dementia Have Reduced Daily-Life Activity and Impaired Daily-Life Gait When Compared to Age-Sex Matched Controls. *J. Alzheimers Dis.* **2019**, *71*, S125–S135. [[CrossRef](#)]
42. Xie, H.; Wang, Y.; Tao, S.; Huang, S.; Zhang, C.; Lv, Z. Wearable Sensor-Based Daily Life Walking Assessment of Gait for Distinguishing Individuals With Amnesic Mild Cognitive Impairment. *Front. Aging Neurosci.* **2019**, *11*, 285. [[CrossRef](#)]
43. Jantunen, H.; Wasenius, N.; Salonen, M.K.; Perala, M.M.; Osmond, C.; Kautiainen, H.; Simonen, M.; Pohjolainen, P.; Kajantie, E.; Rantanen, T.; et al. Objectively measured physical activity and physical performance in old age. *Age Ageing* **2017**, *46*, 232–237. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
44. Buchman, A.S.; Wilson, R.S.; Bennett, D.A. Total daily activity is associated with cognition in older persons. *Am. J. Geriatr. Psychiatry* **2008**, *16*, 697–701. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
45. Elhakeem, A.; Hannam, K.; Deere, K.C.; Hartley, A.; Clark, E.M.; Moss, C.; Edwards, M.H.; Dennison, E.; Gaysin, T.; Kuh, D.; et al. Correlates of high-impact physical activity measured objectively in older British adults. *J. Public Health* **2018**, *40*, 727–737. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
46. Kujala, U.M.; Hautasaari, P.; Vähä-Ypyä, H.; Waller, K.; Lindgren, N.; Iso-Markku, P.; Heikkilä, K.; Rinne, J.; Kaprio, J.; Sievänen, H. Chronic diseases and objectively monitored physical activity profile among aged individuals—A cross-sectional twin cohort study. *Ann. Med.* **2019**, *51*, 78–87. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
47. McMurdo, M.E.; Argo, I.; Crombie, I.K.; Feng, Z.; Sniehotta, F.F.; Vadiveloo, T.; Witham, M.D.; Donnan, P.T. Social, environmental and psychological factors associated with objective physical activity levels in the over 65s. *PLoS ONE* **2012**, *7*, e31878. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
48. Jansen, C.-P.; Toosizadeh, N.; Mohler, M.J.; Najafi, B.; Wendel, C.; Schwenk, M. The association between motor capacity and mobility performance: Frailty as a moderator. *Eur. Rev. Aging Phys. Act.* **2019**, *16*, 16. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
49. Giannouli, E.; Bock, O.; Mellone, S.; Zijlstra, W. Mobility in Old Age: Capacity Is Not Performance. *Biomed. Res. Int.* **2016**, *2016*, 3261567. [[CrossRef](#)]
50. Bongartz, M.; Kiss, R.; Ullrich, P.; Eckert, T.; Bauer, J.; Hauer, K. Development of a home-based training program for post-ward geriatric rehabilitation patients with cognitive impairment: Study protocol of a randomized-controlled trial. *BMC Geriatr.* **2017**, *17*, 214. [[CrossRef](#)]
51. Folstein, M.F.; Folstein, S.E.; McHugh, P.R. “Mini-mental state”. A practical method for grading the cognitive state of patients for the clinician. *J. Psychiatr. Res.* **1975**, *12*, 189–198. [[CrossRef](#)]
52. Hauer, K.A.; Kempen, G.I.; Schwenk, M.; Yardley, L.; Beyer, N.; Todd, C.; Oster, P.; Zijlstra, G.A. Validity and sensitivity to change of the falls efficacy scales international to assess fear of falling in older adults with and without cognitive impairment. *Gerontology* **2011**, *57*, 462–472. [[CrossRef](#)]
53. Landers, M.R.; Durand, C.; Powell, D.S.; Dibble, L.E.; Young, D.L. Development of a scale to assess avoidance behavior due to a fear of falling: The Fear of Falling Avoidance Behavior Questionnaire. *Phys. Ther.* **2011**, *91*, 1253–1265. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
54. Greenberg, S.A. How to try this: The Geriatric Depression Scale: Short Form. *Am. J. Nurs* **2007**, *107*, 60–69. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
55. Bäcker, G. *Reform of the Long-Term Care Insurance in Germany*; European Social Policy Network Flash Report; European Commission: Brussels, Belgium, 2016; Available online: <https://ec.europa.eu/social/BlobServlet?docId=16074&langId=en> (accessed on 9 October 2020).
56. Abel, B.; Eckert, T.; Pomiersky, R.; Dautel, A.; Schäufele, M.; Pfeiffer, K.; Hauer, K. Transition from inpatient rehabilitation to the home environment in cognitively impaired older persons after hip fracture. *J. Rehabil. Med.* **2020**. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
57. Guralnik, J.M.; Simonsick, E.M.; Ferrucci, L.; Glynn, R.J.; Berkman, L.F.; Blazer, D.G.; Scherr, P.A.; Wallace, R.B. A short physical performance battery assessing lower extremity function: Association with self-reported disability and prediction of mortality and nursing home admission. *J. Gerontol.* **1994**, *49*, M85–M94. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
58. Podsiadlo, D.; Richardson, S. The timed “Up & Go”: A test of basic functional mobility for frail elderly persons. *J. Am. Geriatr. Soc.* **1991**, *39*, 142–148. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
59. Chigateri, N.G.; Kerse, N.; Wheeler, L.; MacDonald, B.; Klenk, J. Validation of an accelerometer for measurement of activity in frail older people. *Gait Posture* **2018**, *66*, 114–117. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

60. Moe-Nilssen, R.; Helbostad, J.L. Estimation of gait cycle characteristics by trunk accelerometry. *J. Biomech.* **2004**, *37*, 121–126. [[CrossRef](#)]
61. Plotnik, M.; Giladi, N.; Hausdorff, J.M. A new measure for quantifying the bilateral coordination of human gait: Effects of aging and Parkinson's disease. *Exp. Brain Res.* **2007**, *181*, 561–570. [[CrossRef](#)]
62. Meijer, R.; Plotnik, M.; Zwaafink, E.G.; van Lummel, R.C.; Ainsworth, E.; Martina, J.D.; Hausdorff, J.M. Markedly impaired bilateral coordination of gait in post-stroke patients: Is this deficit distinct from asymmetry? A cohort study. *J. Neuroeng. Rehabil.* **2011**, *8*, 23. [[CrossRef](#)]
63. Bellanca, J.L.; Lowry, K.A.; Vanswearingen, J.M.; Brach, J.S.; Redfern, M.S. Harmonic ratios: A quantification of step to step symmetry. *J. Biomech.* **2013**, *46*, 828–831. [[CrossRef](#)]
64. Fleiner, T.; Haussermann, P.; Mellone, S.; Zijlstra, W. Sensor-based assessment of mobility-related behavior in dementia: Feasibility and relevance in a hospital context. *Int. Psychogeriatr.* **2016**, *28*, 1687–1694. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
65. Osuka, Y.; Yabushita, N.; Kim, M.; Seino, S.; Nemoto, M.; Jung, S.; Okubo, Y.; Figueroa, R.; Tanaka, K. Association between habitual light-intensity physical activity and lower-extremity performance: A cross-sectional study of community-dwelling older Japanese adults. *Geriatr. Gerontol. Int.* **2015**, *15*, 268–275. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
66. Umegaki, H.; Makino, T.; Uemura, K.; Shimada, H.; Cheng, X.W.; Kuzuya, M. Objectively measured physical activity and cognitive function in urban-dwelling older adults. *Geriatr. Gerontol. Int.* **2018**, *18*, 922–928. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
67. Spirduso, W.W.; Francis, K.L.; MacRae, P.G. *Physical Dimensions of Aging*, 2nd ed.; Human Kinetics: Champaign, IL, USA, 2005.
68. Wright, R.L.; Peters, D.M.; Robinson, P.D.; Sitch, A.J.; Watt, T.N.; Hollands, M.A. Differences in axial segment reorientation during standing turns predict multiple falls in older adults. *Gait Posture* **2012**, *36*, 541–545. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
69. Thigpen, M.T.; Light, K.E.; Creel, G.L.; Flynn, S.M. Turning difficulty characteristics of adults aged 65 years or older. *Phys. Ther.* **2000**, *80*, 1174–1187. [[CrossRef](#)]
70. Field, A. *An Adventure in Statistics*; Sage Publications Ltd.: London, UK, 2016.
71. Ernst, A.F.; Albers, C.J. Regression assumptions in clinical psychology research practice—a systematic review of common misconceptions. *PeerJ* **2017**, *5*, e3323. [[CrossRef](#)]
72. Hartman, Y.A.W.; Karssemeijer, E.G.A.; van Diepen, L.A.M.; Olde Rikkert, M.G.M.; Thijssen, D.H.J. Dementia Patients Are More Sedentary and Less Physically Active than Age- and Sex-Matched Cognitively Healthy Older Adults. *Dement Geriatr. Cogn. Disord.* **2018**, *46*, 81–89. [[CrossRef](#)]
73. Montero-Odasso, M.; Casas, A.; Hansen, K.T.; Bilski, P.; Gutmanis, I.; Wells, J.L.; Borrie, M.J. Quantitative gait analysis under dual-task in older people with mild cognitive impairment: A reliability study. *J. Neuroeng. Rehabil.* **2009**, *6*, 35. [[CrossRef](#)]
74. James, E.G.; Leveille, S.G.; You, T.; Hausdorff, J.M.; Trivison, T.; Manor, B.; McLean, R.; Bean, J.F. Gait coordination impairment is associated with mobility in older adults. *Exp. Gerontol.* **2016**, *80*, 12–16. [[CrossRef](#)]
75. James, E.G.; Leveille, S.G.; Hausdorff, J.M.; Barton, B.; Cote, S.; Karabulut, M.; Conatser, P.; Kennedy, D.N.; Tucker, K.L.; Al Snih, S.; et al. Coordination Impairments Are Associated With Falling Among Older Adults. *Exp. Aging Res.* **2017**, *43*, 430–439. [[CrossRef](#)]
76. James, E.G.; Karabulut, M.; Conatser, P.; Leveille, S.G.; Al Snih, S.; Markides, K.S.; Bean, J.F. The Association of Coordination with Physical Activity Levels of Older Adults. *J. Aging Sci.* **2019**, *7*. [[CrossRef](#)]
77. Van Schooten, K.S.; Pijnappels, M.; Rispen, S.M.; Elders, P.J.; Lips, P.; Daffertshofer, A.; Beek, P.J.; van Dieën, J.H. Daily-Life Gait Quality as Predictor of Falls in Older People: A 1-Year Prospective Cohort Study. *PLoS ONE* **2016**, *11*, e0158623. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
78. Guralnik, J.M.; Ferrucci, L.; Pieper, C.F.; Leveille, S.G.; Markides, K.S.; Ostir, G.V.; Studenski, S.; Berkman, L.F.; Wallace, R.B. Lower extremity function and subsequent disability: Consistency across studies, predictive models, and value of gait speed alone compared with the short physical performance battery. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **2000**, *55*, M221–M231. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
79. Egerton, T.; Paterson, K.; Helbostad, J.L. The Association between Gait Characteristics and Ambulatory Physical Activity in Older People: A Cross-Sectional and Longitudinal Observational Study Using Generation 100 Data. *J. Aging Phys. Act.* **2017**, *25*, 10–19. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]

80. Van Lummel, R.C.; Walgaard, S.; Pijnappels, M.; Elders, P.J.; Garcia-Aymerich, J.; van Dieen, J.H.; Beek, P.J. Physical Performance and Physical Activity in Older Adults: Associated but Separate Domains of Physical Function in Old Age. *PLoS ONE* **2015**, *10*, e0144048. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
81. Knaggs, J.D.; Larkin, K.A.; Manini, T.M. Metabolic cost of daily activities and effect of mobility impairment in older adults. *J. Am. Geriatr. Soc.* **2011**, *59*, 2118–2123. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
82. Hortobágyi, T.; Mizelle, C.; Beam, S.; DeVita, P. Old adults perform activities of daily living near their maximal capabilities. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **2003**, *58*, M453–M460. [[CrossRef](#)]
83. Ciprandi, D.; Bertozzi, F.; Zago, M.; Ferreira, C.L.P.; Boari, G.; Sforza, C.; Galvani, C. Study of the association between gait variability and physical activity. *Eur. Rev. Aging Phys. Act.* **2017**, *14*, 19. [[CrossRef](#)]
84. Dawe, R.J.; Leurgans, S.E.; Yang, J.; Bennett, J.M.; Hausdorff, J.M.; Lim, A.S.; Gaiteri, C.; Bennett, D.A.; Buchman, A.S. Association Between Quantitative Gait and Balance Measures and Total Daily Physical Activity in Community-Dwelling Older Adults. *J. Gerontol. A Biol. Sci. Med. Sci.* **2018**, *73*, 636–642. [[CrossRef](#)]
85. Aziz, H. Comparison between Field Research and Controlled Laboratory Research. *Arch Clin. Biomed. Res.* **2017**, *1*, 101–104. [[CrossRef](#)]
86. Pau, M.; Mulas, I.; Putzu, V.; Asoni, G.; Viale, D.; Mameli, I.; Leban, B.; Allali, G. Smoothness of Gait in Healthy and Cognitively Impaired Individuals: A Study on Italian Elderly Using Wearable Inertial Sensor. *Sensors* **2020**, *20*, 3577. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
87. Yack, H.J.; Berger, R.C. Dynamic Stability in the Elderly: Identifying a Possible Measure. *J. Gerontol.* **1993**, *48*, M225–M230. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
88. Menz, H.B.; Lord, S.R.; Fitzpatrick, R.C. Age-related differences in walking stability. *Age Ageing* **2003**, *32*, 137–142. [[CrossRef](#)] [[PubMed](#)]
89. Kobsar, D.; Olson, C.; Paranjape, R.; Hadjistavropoulos, T.; Barden, J.M. Evaluation of age-related differences in the stride-to-stride fluctuations, regularity and symmetry of gait using a waist-mounted tri-axial accelerometer. *Gait Posture* **2014**, *39*, 553–557. [[CrossRef](#)]

Publisher's Note: MDPI stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



© 2020 by the authors. Licensee MDPI, Basel, Switzerland. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY) license (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).