

Aus dem Zentrum für Innere Medizin (Kreihl-Klinik) der Universität Heidelberg  
(Zentrumssprecher: Prof. Dr. med. Hugo A. Katus)

Abteilung Innere Medizin VII: Sportmedizin  
(Kommissarische Ärztliche Direktorin: apl. Prof. Dr. med. Birgit Friedmann-Bette)

Körperliche Aktivität, Leistungsfähigkeit und gesundheitsbezogene  
Lebensqualität bei nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen:  
Positive Effekte durch Einsatz videobasierter Aktivitätsprogramme im  
häuslichen Umfeld?

Inauguraldissertation  
zur Erlangung des Doctor scientiarum humanarum (Dr. sc. hum.)  
an der  
Medizinischen Fakultät Heidelberg  
der  
Ruprecht-Karls-Universität

vorgelegt von  
*Sandra Weigmann-Faßbender, geb. Weigmann*

aus  
*Dresden*

2020



Dekan: Herr Prof. Dr. med. Hans-Georg Kräusslich  
Doktormutter: Frau apl. Prof. Dr. med. Birgit Friedmann-Bette



# Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis .....	1
Abbildungsverzeichnis .....	4
Tabellenverzeichnis .....	8
1 Einleitung .....	13
1.1 Nierentransplantation im Kindes- und Jugendalter .....	15
1.1.1 Charakteristik der Chronischen Niereninsuffizienz .....	17
1.1.2 Störungen des Längenwachstums .....	18
1.1.3 Kardiovaskuläre Risikofaktoren .....	19
1.1.4 Lebensqualität .....	20
1.2 Körperliche Aktivität und Sport im Kindes- und Jugendalter .....	21
1.2.1 Abgrenzung der Begrifflichkeiten .....	21
1.2.2 Bedeutung körperlicher Aktivität für die Gesundheit .....	22
1.2.3 Empfehlungen für Kinder und Jugendliche .....	23
1.2.4 Erfassung körperlicher Aktivität .....	24
1.2.5 Aktivitätsverhalten von Kindern und Jugendlichen .....	26
1.3 Körperliche Leistungsfähigkeit und Motorik .....	30
1.3.1 Ausdauer .....	31
1.3.2 Kraft .....	32
1.3.3 Koordination .....	32
1.3.4 Erfassung der körperlichen Leistungsfähigkeit bei Kindern und Jugendlichen .....	34
1.3.5 Körperliche Leistungsfähigkeit nierentransplanterter Kinder und Jugendlicher .....	37
1.4 Videospielbasierte Aktivitätsprogramme zur Steigerung der körperlichen Aktivität und Leistungsfähigkeit .....	39
1.5 Fragestellungen und Hypothesen .....	42



2	Methodik.....	46
2.1	Studiendesign.....	46
2.1.1	Einschlusskriterien.....	47
2.1.2	Ausschlusskriterien.....	47
2.2	Studienteilnehmer/-innen.....	48
2.2.1	Nierentransplantierte Kinder und Jugendliche.....	48
2.2.2	Gesunde Kontrollgruppe.....	50
2.3	Studienablauf.....	51
2.4	Messverfahren.....	54
2.4.1	Anthropometrie.....	54
2.4.2	Spiroergometrie.....	55
2.4.3	Handkraftmessung.....	58
2.4.4	Körperkoordinationstest für Kinder.....	59
2.4.5	Fragebogen zur gesundheitsbezogenen Lebensqualität.....	62
2.4.6	Messung der körperlichen Aktivität im Alltag.....	62
2.5	Trainingsprogramm.....	64
2.6	Statistik.....	65
3	Ergebnisse.....	68
3.1	Vergleich nierentransplantiertes Kinder und Jugendlicher mit gesunden Kontrollpersonen.....	68
3.1.1	Anthropometrische und gesundheitsbezogene Daten.....	68
3.1.2	Leistungsfähigkeit.....	71
3.1.3	Maximale Handkraft.....	86
3.1.4	Koordination.....	87
3.1.5	Gesundheitsbezogene Lebensqualität (PedsQL 4.0).....	94
3.1.6	Körperliche Aktivität im Alltag (SenseWear®-Messung).....	100



3.2	Trainingsintervention unter Verwendung der Nintendo®-Spielekonsole Wii ...	103
3.2.1	Anthropometrische und gesundheitsbezogene Daten .....	103
3.2.2	Leistungsfähigkeit .....	107
3.2.3	Maximale Handkraft .....	116
3.2.4	Koordination .....	118
3.2.5	Gesundheitsbezogene Lebensqualität (PedsQL 4.0).....	122
3.2.6	Körperliche Aktivität im Alltag (SenseWear®-Messung) .....	126
3.3	Verlaufsbeobachtung 1 Jahr nach Trainingsintervention .....	128
3.3.1	Leistungsfähigkeit .....	128
3.3.2	Maximale Handkraft .....	130
3.3.3	Koordination .....	131
3.3.4	Gesundheitsbezogene Lebensqualität (PedsQL 4.0).....	132
3.3.5	Körperliche Aktivität im Alltag (SenseWear®-Messung) .....	133
4	Diskussion .....	135
4.1	Vergleich nierentransplantierte Kinder und Jugendlicher mit gesunden Kontrollpersonen .....	135
4.1.1	Leistungsfähigkeit .....	135
4.1.2	Maximale Handkraft .....	140
4.1.3	Koordination .....	141
4.1.4	Gesundheitsbezogene Lebensqualität .....	145
4.1.5	Körperliche Aktivität im Alltag .....	148
4.2	Trainingsintervention unter Verwendung der Nintendo®-Spielekonsole Wii ...	151
4.2.1	Leistungsfähigkeit .....	152
4.2.2	Maximale Handkraft .....	155
4.2.3	Koordination .....	156
4.2.4	Gesundheitsbezogene Lebensqualität .....	159
4.2.5	Körperliche Aktivität im Alltag .....	161



4.2.6	Verlaufsbeobachtung 1 Jahr nach Trainingsintervention .....	163
4.3	Limitationen .....	165
4.4	Schlussfolgerung .....	169
5	Zusammenfassung .....	172
6	Literaturverzeichnis .....	174
7	Eigene Veröffentlichungen .....	193
	Anhang .....	195
	Danksagung .....	201
	Eidesstattliche Versicherung .....	203



# Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Bezeichnung
<b>Abb.</b>	Abbildung
<b>ADHS</b>	Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung
<b>BKT</b>	Bewegungskoordinationstest
<b>BMI</b>	Body-Mass-Index
<b>bzw.</b>	beziehungsweise
<b>ca.</b>	circa
<b>CKD-EPI</b>	Chronic Kidney Disease Epidemiology Collaboration
<b>cm</b>	Zentimeter
<b>d.h.</b>	das heißt
<b>DMB</b>	Diagnostisches Inventar Motorischer Basiskompetenzen
<b>e.V.</b>	eingetragener Verein
<b>(e)GFR</b>	(berechnete) Glomeruläre Filtrationsrate
<b>EKG</b>	Elektrokardiogramm
<b>EmF</b>	Emotionale Funktionsfähigkeit
<b>et al.</b>	et alii bzw. et aliae (übersetzt: und andere)
<b>h</b>	Stunde(n)
<b>H</b>	Hypothese
<b>HBSC</b>	Health Behaviour in School-aged Children
<b>HF</b>	Herzfrequenz
<b>HFZ</b>	Healthy Fitness Zone
<b>HUS</b>	Hämolytisch-urämisches Syndrom
<b>i.d.R.</b>	in der Regel
<b>IPAQ</b>	International Physical Activity Questionnaire
<b>kcal</b>	Kilokalorien
<b>kg</b>	Kilogramm
<b>KiGGS</b>	Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland
<b>km</b>	Kilometer
<b>KO</b>	Kontrollgruppe
<b>KTK</b>	Körperkoordinationstest für Kinder

---

<b>l</b>	Liter
<b>m</b>	Meter
<b>max.</b>	maximal
<b>MET</b>	Metabolisches Äquivalent
<b>min</b>	Minute(n)
<b>mind.</b>	mindestens
<b>ml</b>	Milliliter
<b>mm</b>	Millimeter
<b>MQ</b>	Motorik Quotient
<b>MÜ</b>	Monopedales Überhüpfen
<b>MW</b>	Mittelwert
<b>N</b>	Anzahl
<b>NYHA</b>	New York Heart Association
<b>PAQ</b>	Physical Activity Questionnaire
<b>PedsQL</b>	Pediatric Quality of Life Inventory
<b>PhF</b>	Physische Funktionsfähigkeit
<b>RB</b>	Rückwärts Balancieren
<b>RCP</b>	Respiratorischer Kompensationspunkt
<b>RKI</b>	Robert Koch-Institut
<b>RQ</b>	Respiratorischer Quotient
<b>RR</b>	Blutdruck
<b>s</b>	Sekunde
<b>S.</b>	Seite
<b>SchF</b>	Schulische Funktionsfähigkeit
<b>SD</b>	Standardabweichung
<b>SDS</b>	Standard Deviation Score
<b>SH</b>	Seitliches Hin- und Herspringen
<b>SoF</b>	Soziale Funktionsfähigkeit
<b>SU</b>	Seitliches Umsetzen
<b>Tab.</b>	Tabelle
<b>Tx</b>	Transplantation
<b>TX</b>	Nierentransplantierte Studienteilnehmer/-innen

---

---

<b>TX<sub>wii</sub></b>	Nierentransplantierte Kinder und Jugendliche mit Trainingsintervention
<b><math>\dot{V}CO_2</math></b>	Kohlendioxidabgabe
<b><math>\dot{V}E</math></b>	Ventilation/ Atemminutenvolumen
<b><math>\dot{V}O_2</math></b>	Sauerstoffaufnahme
<b>VT</b>	Ventilatorische Schwelle
<b>W</b>	Watt
<b>WHO</b>	World Health Organization
<b>z.B.</b>	zum Beispiel
<b>z.T.</b>	zum Teil

---

# Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Verbleibende Lebenserwartung bei Patienten nach Nierentransplantation im Vergleich zur Dialysetherapie anhand einer Analyse des <i>United States Renal Data System</i> .....	16
Abb. 2: Anwendbarkeit und Validität von Methoden zur Aktivitätserfassung.....	26
Abb. 3: Schematische Darstellung der Rekrutierung und Analyse der nierentransplantierten und gesunden Kinder und Jugendlichen.....	48
Abb. 4: Schematische Darstellung des Studienablaufs für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen.....	52
Abb. 5: Schematische Darstellung des Studienablaufs für die gesunde Kontrollgruppe.....	53
Abb. 6: Spiroergometrie auf dem Fahrradergometer (links) und dem Laufband (rechts) .....	56
Abb. 7: Messung der maximalen Handkraft.....	58
Abb. 8: Rückwärts Balancieren (links) und Monopedales Überhüpfen (rechts) .....	60
Abb. 9: Seitliches Hin- und Herspringen (links) und Seitliches Umsetzen (rechts) .....	61
Abb. 10: $\dot{V}O_{2peak}$ der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen und der gesunden Kontrollgruppe .....	72
Abb. 11: $\dot{V}O_{2peak}/kg$ der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen und der gesunden Kontrollgruppe differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität.....	74
Abb. 12: Zusammenhang zwischen $\dot{V}O_{2peak}$ und Körpergewicht sowie Körpergröße für die nierentransplantierten und gesunden Kinder und Jugendlichen .....	75
Abb. 13: Maximale Leistung der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen und der gesunden Kontrollgruppe .....	77
Abb. 14: Maximale Leistung (Watt/kg) der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen und der gesunden Kontrollgruppe differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität.....	79
Abb. 15: Zusammenhang zwischen maximaler Leistung und Körpergewicht sowie Körpergröße für die nierentransplantierten und gesunden Kinder und Jugendlichen .....	81
Abb. 16: Maximale Handkraft [kg] der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen und der gesunden Kontrollgruppe .....	86

Abb. 17: MQ-Werte der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen und der gesunden Kontrollgruppe im Körperkoordinationstest (KTK) .....	88
Abb. 18: Gesamt-MQ der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen und der gesunden Kontrollgruppe anhand des Umfangs regelmäßiger körperlicher Aktivität .....	90
Abb. 19: Zusammenhang zwischen Gesamt-MQ und $\dot{V}O_{2peak}/kg$ sowie der maximalen Leistung pro kg für die nierentransplantierten und gesunden Kinder und Jugendlichen .....	93
Abb. 20: Gesundheitsbezogene Lebensqualität der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen und der gesunden Kontrollgruppe anhand des PedsQL 4.0 mittels Selbsteinschätzung und Fremdeinschätzung durch die Eltern .....	95
Abb. 21: Gesamt-Scores im PedsQL 4.0 der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen und der gesunden Kontrollgruppe anhand des Umfangs regelmäßiger körperlicher Aktivität .....	98
Abb. 22: Zusammenhang zwischen Gesamt-Score des PedsQL 4.0 und $\dot{V}O_{2peak}/kg$ sowie der maximalen Leistung pro Kilogramm für die nierentransplantierten und gesunden Kinder und Jugendlichen .....	100
Abb. 23: Schrittzahl pro Stunde der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen und der gesunden Kontrollgruppe .....	101
Abb. 24: Zusammenhang zwischen der Schrittzahl/h und dem Gesamt-Score des PedsQL 4.0 sowie der Physischen Funktionsfähigkeit des PedsQL 4.0 für die nierentransplantierten und gesunden Kinder und Jugendlichen .....	102
Abb. 25: $\dot{V}O_{2peak}$ vor und nach der Trainingsintervention unter Verwendung der Spielekonsole Wii .....	108
Abb. 26: Zusammenhang zwischen der Änderung der $\dot{V}O_{2peak}$ und der Änderung des Körpergewichts sowie der Körpergröße von vor zu nach der Trainingsintervention .....	108
Abb. 27: Änderung der $\dot{V}O_{2peak}$ nach der Trainingsintervention differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität .....	109
Abb. 28: Änderung der $\dot{V}O_{2peak}$ nach der Trainingsintervention differenziert nach der Compliance .....	110
Abb. 29: Maximale Leistung vor und nach der Trainingsintervention unter Verwendung der Spielekonsole Wii .....	111

Abb. 30: Änderung der maximalen Leistung nach der Trainingsintervention differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität .....	112
Abb. 31: Änderung der maximalen Leistung nach der Trainingsintervention differenziert nach der Compliance .....	113
Abb. 32: Maximale Handkraft vor und nach der Trainingsintervention unter Verwendung der Spielekonsole Wii.....	116
Abb. 33: Änderung der maximalen Handkraft nach der Trainingsintervention differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität sowie der Compliance .....	117
Abb. 34: Gesamt-MQ im KTK vor und nach der Trainingsintervention unter Verwendung der Spielekonsole Wii.....	118
Abb. 35: Änderung des Gesamt-MQ im KTK nach der Trainingsintervention differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität .....	120
Abb. 36: Änderung des Gesamt-MQ im KTK nach der Trainingsintervention differenziert nach der Compliance .....	121
Abb. 37: Zusammenhang zwischen Änderungen der koordinativen Fähigkeiten (Gesamt-MQ) und Änderungen der $\dot{V}O_{2peak}/kg$ sowie der max. Leistung/kg von vor zu nach der Trainingsintervention .....	121
Abb. 38: Gesamt-Score im PedsQL 4.0 vor und nach der Trainingsintervention unter Verwendung der Spielekonsole Wii.....	123
Abb. 39: Änderung des Gesamt-Scores im PedsQL 4.0 nach der Trainingsintervention anhand der Selbsteinschätzung der $TX_{Wii}$ differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität.....	124
Abb. 40: Änderung des Gesamt-Scores im PedsQL 4.0 nach der Trainingsintervention anhand der Selbsteinschätzung der $TX_{Wii}$ differenziert nach der Compliance	125
Abb. 41: Schrittzahl pro Stunde vor und nach der Trainingsintervention unter Verwendung der Spielekonsole Wii.....	126
Abb. 42: Änderung der Schrittzahl pro Stunde nach der Trainingsintervention differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität sowie der Compliance .....	127
Abb. 43: $\dot{V}O_{2peak}$ direkt nach sowie etwa 1 Jahr nach Trainingsintervention.....	128
Abb. 44: Maximale Leistung direkt nach sowie etwa 1 Jahr nach der Trainingsintervention.....	129

Abb. 45: Maximale Handkraft direkt nach sowie etwa 1 Jahr nach der Trainingsintervention.....	130
Abb. 46: Gesamt-MQ im KTK direkt nach sowie etwa 1 Jahr nach der Trainingsintervention.....	131
Abb. 47: Gesamt-Score im PedsQL 4.0 direkt nach sowie etwa 1 Jahr nach der Trainingsintervention.....	132
Abb. 48: Schrittzahl pro Stunde direkt nach sowie etwa 1 Jahr nach der Trainingsintervention.....	133

## Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Stadien der Chronischen Niereninsuffizienz .....	18
Tab. 2: Übersicht über kontaktierte Schulen und deren Rückmeldungen .....	46
Tab. 3: Vergleichende Beschreibung der Repräsentativität der nierentransplantierten Stichprobe zum Gesamtkollektiv .....	49
Tab. 4: Vergleich aller nierentransplantiertes sowie gesunder Studienteilnehmer/-innen anhand der verwendeten Matching-Kriterien Geschlecht, Pubertät, körperliche Aktivität & besuchte Schulform.....	51
Tab. 5: Anthropometrische Daten der nierentransplantierten und gesunden Kinder und Jugendlichen (T1).....	68
Tab. 6: Hautfaltendicken der nierentransplantierten und gesunden Kinder und Jugendlichen (T1).....	69
Tab. 7: Gesundheitsbezogene Daten der nierentransplantierten und gesunden Kinder und Jugendlichen (T1).....	70
Tab. 8: Medikamente .....	71
Tab. 9: Maximale Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2peak}$ ) .....	71
Tab. 10: Maximale Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2peak}$ ) differenziert nach Geschlecht.....	72
Tab. 11: Maximale Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2peak}$ ) differenziert nach Pubertätsstatus..	73
Tab. 12: Maximale Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2peak}$ ) differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität.....	73
Tab. 13: Maximale Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2peak}$ ) für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen differenziert nach der besuchten Schulform .....	74
Tab. 14: Maximale Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2peak}$ ) für die gesunde Kontrollgruppe differenziert nach der besuchten Schulform .....	74
Tab. 15: Maximale Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2peak}$ ) sowie maximale Herzfrequenz ( $HF_{peak}$ ) differenziert nach der Medikation .....	75
Tab. 16: Maximale Leistung, $RQ_{peak}$ , $\dot{V}E_{peak}$ und $HF_{peak}$ .....	76
Tab. 17: Maximale Leistung, $RQ_{peak}$ , $\dot{V}E_{peak}$ und $HF_{peak}$ differenziert nach Geschlecht	77
Tab. 18: Maximale Leistung, $RQ_{peak}$ , $\dot{V}E_{peak}$ und $HF_{peak}$ differenziert nach Pubertätsstatus .....	78
Tab. 19: Maximale Leistung, $RQ_{peak}$ , $\dot{V}E_{peak}$ und $HF_{peak}$ differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität .....	79

Tab. 20: Maximale Leistung, $RQ_{peak}$ , $\dot{V}E_{peak}$ und $HF_{peak}$ für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen differenziert nach der besuchten Schulform.....	80
Tab. 21: Maximale Leistung, $RQ_{peak}$ , $\dot{V}E_{peak}$ und $HF_{peak}$ für die gesunde Kontrollgruppe differenziert nach der besuchten Schulform.....	80
Tab. 22: Leistungsparameter an den ventilatorischen Schwellen.....	82
Tab. 23: Leistungsparameter an den ventilatorischen Schwellen differenziert nach Geschlecht.....	82
Tab. 24: Leistungsparameter an den ventilatorischen Schwellen differenziert nach Pubertätsstatus.....	83
Tab. 25: Leistungsparameter an den ventilatorischen Schwellen differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität.....	84
Tab. 26: Leistungsparameter an den ventilatorischen Schwellen für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen differenziert nach der besuchten Schulform.....	85
Tab. 27: Leistungsparameter an den ventilatorischen Schwellen für die gesunde Kontrollgruppe differenziert nach der besuchten Schulform.....	85
Tab. 28: Maximale Handkraft [kg] insgesamt sowie differenziert nach Geschlecht, Pubertätsstatus, regelmäßiger körperlicher Aktivität und besuchter Schulform.....	87
Tab. 29: MQ-Werte im Körperkoordinationstest (KTK).....	88
Tab. 30: MQ-Werte im KTK differenziert nach Geschlecht.....	89
Tab. 31: MQ-Werte im KTK differenziert nach Pubertätsstatus.....	89
Tab. 32: MQ-Werte im KTK differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität.....	91
Tab. 33: MQ-Werte im KTK für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen differenziert nach der besuchten Schulform.....	92
Tab. 34: MQ-Werte im KTK für die gesunde Kontrollgruppe differenziert nach der besuchten Schulform.....	92
Tab. 35: Gesundheitsbezogene Lebensqualität.....	94
Tab. 36: Gesundheitsbezogene Lebensqualität (Selbsteinschätzung) differenziert nach Geschlecht.....	96
Tab. 37: Gesundheitsbezogene Lebensqualität (Selbsteinschätzung) differenziert nach Pubertätsstatus.....	97
Tab. 38: Gesundheitsbezogene Lebensqualität (Selbsteinschätzung) differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität.....	98

Tab. 39: Gesundheitsbezogene Lebensqualität für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen differenziert nach der besuchten Schulform .....	99
Tab. 40: Gesundheitsbezogene Lebensqualität für die gesunde Kontrollgruppe differenziert nach der besuchten Schulform .....	99
Tab. 41: Schrittzahlen pro Stunde insgesamt sowie differenziert nach Geschlecht, Pubertätsstatus, regelmäßiger körperlicher Aktivität und besuchter Schulform .....	101
Tab. 42: Anthropometrische Daten der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen mit Trainingsintervention (TX <sub>Wii</sub> ) .....	103
Tab. 43: Hautfaltendicken der TX <sub>Wii</sub> .....	104
Tab. 44: Gesundheitsbezogene Daten der TX <sub>Wii</sub> .....	105
Tab. 45: Häufigkeitsverteilung der TX <sub>Wii</sub> in Bezug auf Pubertätsstatus, körperliche Aktivität, besuchte Schulform, Medikation sowie Compliance während der Trainingsintervention .....	106
Tab. 46: $\dot{V}O_{2peak}$ vor und nach der Trainingsintervention unter Verwendung der Spielekonsole Wii .....	107
Tab. 47: $\dot{V}O_{2peak}$ vor und nach der Trainingsintervention differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität .....	109
Tab. 48: $\dot{V}O_{2peak}$ vor und nach der Trainingsintervention differenziert nach unterschiedlicher Compliance .....	110
Tab. 49: Maximale Leistung, $RQ_{peak}$ , $\dot{V}E_{peak}$ und $HF_{peak}$ vor und nach der Trainingsintervention unter Verwendung der Spielekonsole Wii .....	111
Tab. 50: Maximale Leistung vor und nach der Trainingsintervention differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität .....	111
Tab. 51: Maximale Leistung vor und nach der Trainingsintervention differenziert nach unterschiedlicher Compliance .....	112
Tab. 52: Leistungsparameter an den ventilatorischen Schwellen vor und nach der Trainingsintervention unter Verwendung der Spielekonsole Wii .....	113
Tab. 53: Leistungsparameter an den ventilatorischen Schwellen vor und nach der Trainingsintervention differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität .....	114
Tab. 54: Leistungsparameter an den ventilatorischen Schwellen vor und nach der Trainingsintervention differenziert nach unterschiedlicher Compliance .....	115

Tab. 55: Maximale Handkraft vor und nach der Trainingsintervention insgesamt sowie differenziert nach unterschiedlicher körperlicher Aktivität und Compliance....	116
Tab. 56: MQ-Werte im KTK vor und nach der Trainingsintervention unter Verwendung der Spielekonsole Wii.....	118
Tab. 57: MQ-Werte im KTK vor und nach der Trainingsintervention differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität.....	119
Tab. 58: MQ-Werte im KTK vor und nach der Trainingsintervention differenziert nach unterschiedlicher Compliance .....	120
Tab. 59: Gesundheitsbezogene Lebensqualität vor und nach der Trainingsintervention unter Verwendung der Spielekonsole Wii .....	122
Tab. 60: Gesundheitsbezogene Lebensqualität (Selbsteinschätzung) vor und nach der Trainingsintervention differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität.....	124
Tab. 61: Gesundheitsbezogene Lebensqualität (Selbsteinschätzung) vor und nach der Trainingsintervention differenziert nach unterschiedlicher Compliance.....	125
Tab. 62: Schrittzahlen pro Stunde vor und nach der Trainingsintervention insgesamt sowie differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität und Compliance .....	127
Tab. 63: $\dot{V}O_{2peak}$ direkt nach und ca. 1 Jahr nach der Trainingsintervention.....	128
Tab. 64: Maximale Leistung, $RQ_{peak}$ , $\dot{V}E_{peak}$ und $HF_{peak}$ direkt nach und ca. 1 Jahr nach der Trainingsintervention.....	129
Tab. 65: Leistungsparameter an den ventilatorischen Schwellen direkt nach und ca. 1 Jahr nach der Trainingsintervention .....	130
Tab. 66: MQ-Werte im KTK direkt nach und ca. 1 Jahr nach der Trainingsintervention .....	131
Tab. 67: Gesundheitsbezogene Lebensqualität direkt nach und ca. 1 Jahr nach der Trainingsintervention.....	132



# 1 Einleitung

Heutzutage stellt die Nierentransplantation bei pädiatrischen Patienten mit terminaler Niereninsuffizienz die führende Behandlungsmethode dar und wird in Deutschland pro Jahr bei etwa 120 Kindern und Jugendlichen durchgeführt (Tönshoff *et al.*, 2017). Dank deutlicher Fortschritte hinsichtlich der Transplantatfunktion und des Transplantatüberlebens konnten die Lebenserwartung sowie die Lebensqualität dieser jungen Patienten in den vergangenen Jahren erheblich gesteigert werden. Trotz der positiven Entwicklungen haben nierentransplantierte Kinder und Jugendliche ein erhöhtes Risiko, im Verlauf ihres Lebens metabolische Erkrankungen wie Übergewicht und Adipositas, Fettstoffwechselstörungen, Diabetes mellitus oder Bluthochdruck zu erleiden, welche wiederum die Transplantatfunktion negativ beeinflussen sowie das Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen verstärken können (Jalanko *et al.*, 2016). Eine Möglichkeit, diesen Risikofaktoren entgegen zu wirken, bieten regelmäßige körperliche Aktivität und Sport. Aus klinischen Beobachtungen und einigen wenigen Studien zur körperlichen Aktivität von nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen weiß man, dass Kinder und Jugendliche nach Nierentransplantation eine erheblich reduzierte Alltagsaktivität aufweisen und nur selten die globalen Empfehlungen zu körperlicher Aktivität erreichen (Akber *et al.*, 2012; Clark *et al.*, 2012; Hamiwka *et al.*, 2009; Tangeraas *et al.*, 2010).

Körperliche Inaktivität gilt als entscheidende Einflussgröße für die Entstehung von chronischen Erkrankungen wie Übergewicht und Adipositas, Diabetes mellitus oder Herz-Kreislaufkrankungen. Nach Angaben der Weltgesundheitsorganisation (WHO) erreichen heutzutage nur noch 46% der Erwachsenen und lediglich 12 - 27% der Kinder und Jugendlichen zwischen 7 und 17 Jahren in Deutschland die empfohlenen Umfänge an regelmäßiger körperlicher Aktivität (World Health Organization, 2018). In Bezug auf nierentransplantierte Kinder und Jugendliche konnten beispielsweise Akber *et al.* (2012) in einer Untersuchung zeigen, dass die mit Hilfe von Schrittzählern gemessene körperliche Aktivität nierenkranker und nierentransplantierte Kinder und Jugendlicher deutlich reduziert ist. So erreichten lediglich 10% der männlichen und 5% der weiblichen Patienten zwischen 7 und 20 Jahren die empfohlenen Schrittzahlen von 15.000 bzw. 12.000 Schritten pro Tag (Tudor-Locke *et al.*, 2004). In diesem Zusammenhang zeigten sich auch deutliche Beeinträchtigungen in der körperlichen Leistungsfähigkeit dieser Patienten.

Der positive Einfluss regelmäßiger körperlicher Aktivität auf die körperliche Leistungsfähigkeit und damit auch auf die Lebensqualität und Lebenserwartung ist gut dokumentiert (Arem *et al.*, 2015; Wu *et al.*, 2017). Dabei kommt einer gesteigerten körperlichen Aktivität nicht nur aus präventiver Sicht, d.h. in Bezug auf die Gesunderhaltung unserer Gesellschaft, eine wichtige Bedeutung zu. Zunehmend etabliert sich auch in diversen medizinischen Settings der Einsatz von Aktivitätsprogrammen zu therapeutischen Zwecken. Mittlerweile existieren beispielsweise evidenzbasierte Leitlinien zur Bewegungstherapie bei Adipositas (Deutsche Adipositas-Gesellschaft e.V., 2014) oder auch umfassende Reviews zur Bedeutung von Sport und Bewegung bei Krebserkrankungen (Lemanne *et al.*, 2013). Für organtransplantierte Patienten liegen jedoch nur wenige Studien zur Wirkweise von körperlicher Aktivität vor, sodass konkrete Empfehlungen zu Art und Umfang von Bewegungsprogrammen, insbesondere für Nieren- und Lebertransplantierte Patienten fehlen (Mathur *et al.*, 2014). In Bezug auf Nierentransplantierte Erwachsene konnte bereits gezeigt werden, dass langfristige Bewegungsinterventionen nach Nierentransplantation durchaus positive Effekte auf die körperliche Leistungsfähigkeit (Roi *et al.*, 2018; Wang *et al.*, 2014) sowie den Stoffwechsel als auch die Körperzusammensetzung (Masajtis-Zagajewska *et al.*, 2018) haben können. Lediglich Thorsteinsdottir *et al.* (2018) haben bisher vergleichbare Effekte einer gesteigerten körperlichen Aktivität bei Nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen untersucht. Auch wenn die Anzahl von Interventionsstudien bei Nierentransplantierten Patienten überschaubar ist, zeichnet sich eine Notwendigkeit zur nachhaltigen Steigerung der körperlichen Alltagsaktivität ab, die zu einer Verbesserung der Leistungsfähigkeit und Lebensqualität sowie zur Reduzierung kardiovaskulärer Risikofaktoren führen kann. Eine relativ unkomplizierte und effektive Möglichkeit zur Steigerung der körperlichen Aktivität sowie zur Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit und Lebensqualität ist der Einsatz von Videospielbasierten Aktivitätsprogrammen (Benzing und Schmidt, 2018; Bonnechere *et al.*, 2016; Gao *et al.*, 2015). Interventionen mit Videospielekonsolen, wie der Wii-Konsole (Nintendo®), wurden in der Vergangenheit bereits erfolgreich in schulischen oder häuslichen Settings bei Kindern und Jugendlichen mit Koordinationsstörungen und motorischen Defiziten als auch zur Behandlung von kindlichem Übergewicht und Adipositas eingesetzt (Hammond *et al.*, 2014; Mombarg *et al.*, 2013; Smits-Engelsman *et al.*, 2017; Staiano *et al.*, 2018). Vergleichbare Untersuchungen bei Nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen liegen jedoch bisher nicht vor.

Aus diesen Gründen sollten im Rahmen der vorliegenden Studie der Einsatz eines videospiegelbasierten Aktivitätsprogramms mit einer Wii-Spielekonsole der Firma Nintendo® überprüft und potenzielle Effekte auf die körperliche Aktivität, Leistungsfähigkeit, Körperkoordination und Lebensqualität nierentransplantierte Kinder und Jugendlicher objektiviert werden. Aufgrund der einfachen Handhabung der Wii-Konsole und der zum Teil erheblichen Entfernung zwischen Wohnort und Transplantationsambulanz, wurde die videospiegelbasierte Intervention selbständig im häuslichen Umfeld durchgeführt. Da zu den untersuchten Parametern der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen kaum zuverlässige Norm- bzw. Vergleichswerte vorlagen, wurde zusätzlich eine Gruppe gesunder Gleichaltriger untersucht, die anhand des Geschlechts, der pubertären Entwicklung, des Umfangs körperlicher Aktivität sowie der besuchten Schulform zu den nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen gematcht wurde.

## **1.1 Nierentransplantation im Kindes- und Jugendalter**

Die Nierentransplantation gilt im Vergleich zur Hämö- oder Peritonealdialyse als die vielversprechendste Behandlungsmethode bei Kindern und Jugendlichen mit terminaler Niereninsuffizienz. Durch die Nierentransplantation können die häufigen und langwierigen Dialysebehandlungen ersetzt und damit verbundene Belastungen für die jungen Patienten sowie ihre Angehörigen reduziert werden. Ziel ist, bei betroffenen Kindern und Jugendlichen zunehmend gänzlich auf Dialyseverfahren zu verzichten und die Nierentransplantation so früh wie möglich durchzuführen. Mit Hilfe der präemptiven Nierentransplantation, d.h. der Transplantation noch vor Erreichen der Dialysepflicht, kann das Transplantatüberleben im Vergleich zu vorheriger Dialysetherapie gesteigert werden. In den meisten Fällen sind präemptive Transplantationen jedoch nur mit Hilfe von Lebendspenden durch die Eltern, Geschwister oder andere geeignete nahestehende Personen möglich, da die Wartezeit auf Verstorbenenspenden bei Kindern bis 15 Jahren auch in Deutschland derzeit noch etwa 1-2 Jahre beträgt (Thumfart *et al.*, 2014; Tönshoff *et al.*, 2012).

Etwa 120 Kinder und Jugendliche werden in Deutschland jährlich nierentransplantiert, wobei etwa ein Drittel der Transplantate von lebenden Spendern stammt. Vorteile der Lebendspende sind eine gute Planbarkeit der Nierentransplantation, in der Regel ein noch junges Alter und ein gesunder Allgemeinzustand des Spenders sowie eine gute immunologische Verträglichkeit des Transplantats, wenn dieses von engen Verwand-

ten, wie den Eltern stammt. Durch den im Normalfall möglichst zeitgleichen operativen Eingriff bei Spender und Empfänger, können außerdem lange Organkonservierungen, die die Struktur und Funktion des Transplantates einschränken könnten, vermieden werden (Jalanko *et al.*, 2016; Tönshoff *et al.*, 2012).

Die Lebenserwartung von Kindern und Jugendlichen nach erfolgreicher Nierentransplantation ist im Vergleich zur Dialysetherapie um etwa 25 (15 bis 19-jährige) bis 30 Jahre (0 bis 14-jährige) erhöht (Abb. 1). Auch die Lebensqualität der jungen Patienten kann durch eine Nierentransplantation deutlich verbessert werden (Tönshoff *et al.*, 2017).

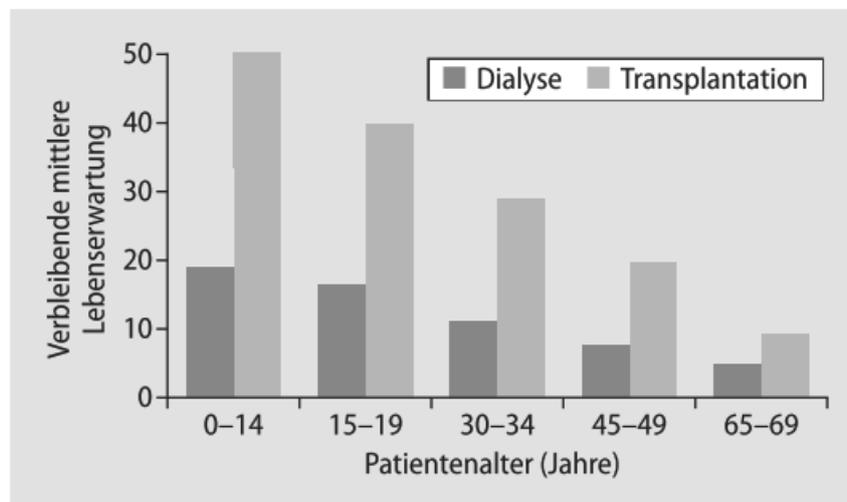


Abb. 1: Verbleibende Lebenserwartung bei Patienten nach Nierentransplantation im Vergleich zur Dialysetherapie anhand einer Analyse des *United States Renal Data System* (Tönshoff *et al.*, 2017, S. 245)

Damit der Erfolg einer Nierentransplantation im Kindes- und Jugendalter möglichst lange aufrechterhalten werden kann, ist eine lebenslange immunsuppressive Therapie notwendig. Diese erfolgt in der Regel mit aufeinander abgestimmten und individuell dosierten Medikamenten, die das Immunsystem auf unterschiedlichen Ebenen beeinflussen. Üblich ist hierbei die Gabe von Kalzineurinantagonisten, Mycophenolatmofetil und Glukokortikoiden. Bei bestimmten Indikationen kommen auch mTOR-Inhibitoren („mammalian target of rapamycin“) zum Einsatz. Da Glukokortikoide häufig Nebenwirkungen, wie arterielle Hypertonie, Fettstoffwechselstörungen, Diabetes mellitus oder Wachstumsstörungen zur Folge haben und somit das kardiovaskuläre Risiko dieser Patienten mit Blick auf das Langzeit-Outcome zusätzlich erhöhen, wird zunehmend versucht, die Glukokortikoide bei stabiler Transplantatfunktion auszuschleichen (Tönshoff *et al.*, 2017).

Trotz zahlreicher Vorteile der Nierentransplantation im Kindes- und Jugendalter im Vergleich zu einer Dialysetherapie, birgt diese auch Risiken und Gefahren im Hinblick auf das weitere Leben der z.T. noch sehr jungen Patienten. Etwa ein Drittel der Kinder- und Jugendlichen mit terminaler Niereninsuffizienz weist zusätzlich Komorbiditäten, wie Chromosomenanomalien, Zerebralpareesen, Entwicklungsstörungen oder Herzerkrankungen auf, welche in der Regel eine Nierentransplantation nicht behindern, jedoch das Outcome nach erfolgter Transplantation zusätzlich und erheblich beeinflussen können (Jalanko *et al.*, 2016). Im Fokus der Langzeitbeobachtung und Nachsorge von Kindern und Jugendlichen nach Nierentransplantation stehen deshalb, neben der Sicherung der Transplantatfunktion, insbesondere die Kontrolle und Verbesserung des Längenwachstums, der Knochengesundheit und der pubertären Entwicklung sowie die Reduzierung metabolischer als auch kardiovaskulärer Risiken und die Verbesserung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität der Patienten (Jalanko *et al.*, 2016; Tönshoff *et al.*, 2012).

### *1.1.1 Charakteristik der Chronischen Niereninsuffizienz*

Die chronische Niereninsuffizienz beschreibt eine in der Regel dauerhafte und irreversible Funktionsstörung der Nieren, die mit einem fortschreitenden Abfall der glomerulären Filtrationsrate (GFR) einhergeht (Lange-Sperandio und Dötsch, 2013). Entsprechend der GFR, welche sich bei Kindern und Jugendlichen bis 18 Jahren anhand des Serumkreatinins, der Körpergröße sowie der alters- und geschlechtsspezifischen Konstante 0,413 berechnen lässt (Schwartz *et al.*, 2009), kann das Ausmaß der chronischen Niereninsuffizienz abgeschätzt werden (Tab. 1).

In Deutschland wird bei etwa 100 bis 200 Kindern und Jugendlichen jährlich eine chronische Niereninsuffizienz festgestellt, wobei Mädchen etwas seltener betroffen sind als Jungen. Als ursächlich gelten im Kleinkind- und Säuglingsalter zu etwa 60% angeborene, komplexe Nierenfehlbildungen. Am häufigsten sind hierbei die Nierenhypoplasie oder die Nierendysplasie zu nennen, welche mit oder ohne urogenitale Störungen auftreten können und allgemein auch als CAKUT („congenital anomalies of kidney and urinary tract“) zusammengefasst werden. Als zweit-häufigste Ursache werden hereditäre, d.h. erblich bedingte Nephropathien für eine chronische Niereninsuffizienz genannt. Hierzu zählt unter anderem die Nephronophthise, eine erblich bedingte tubulointerstitielle Nierenerkrankung, die in etwa 10% aller hereditär bedingten chronischen Nierenerkrankungen im Kindesalter zum terminalen Nierenversagen führt. Erworbene Nephropa-

thien, wie die fokal-segmentale Glomerulosklerose oder das hämolytisch-urämische Syndrom (HUS) bedingen zu etwa 40% ein terminales Nierenversagen, wobei das HUS als häufigste Ursache für ein akutes intrarenales Nierenversagen gilt (Lange-Sperandio und Dötsch, 2013; Thumfart *et al.*, 2014; Tönshoff *et al.*, 2012).

Tab. 1: Stadien der Chronischen Niereninsuffizienz modifiziert nach Lange-Sperandio und Dötsch (2013, S. 988) und Levin (2013, S. 27)

GFR-Stadium	GFR (ml/min/1,73m <sup>2</sup> )	Beschreibung	Therapie
1	≥ 90	Nierenschaden mit normaler GFR	Ursache und Komorbiditäten behandeln
2	60-89	Nierenschaden mit leicht reduzierter GFR	Progression und kardiovaskuläres Risiko reduzieren
3a	45-59	Leicht bis moderat reduzierte GFR	GFR-Verlust abschätzen, Sekundärkomplikationen behandeln
3b	30-44	Moderat bis schwer reduzierte GFR	Vorbereitung zur Dialyse/ Transplantation
4	15-29	Schwer reduzierte GFR	Dialyse/ Transplantation
5	≤ 15	Terminales Nierenversagen	

### 1.1.2 Störungen des Längenwachstums

Die Körperlänge niereninsuffizienter Kinder und Jugendlicher ist häufig stark reduziert. Durch eine möglichst früh durchgeführte erfolgreiche Nierentransplantation kann sich das Längenwachstum der betroffenen Kinder und Jugendlichen wieder normalisieren, jedoch wird die individuell zu erwartende Zielgröße nur selten bis nie erreicht (Harambat und Cochat, 2009; Jalanko *et al.*, 2016). Als Gründe für Störungen des Längenwachstums nach erfolgreicher Nierentransplantation werden neben einer eingeschränkten Transplantatfunktion unter anderem die Glukokortikoid-Therapie, aber auch das Alter zum Zeitpunkt der Transplantation sowie die Wachstums-Retardierung im Vorfeld der Nierentransplantation angegeben (Bacchetta *et al.*, 2013; Harambat und Cochat, 2009). Aus therapeutischer Sicht sollte demnach bei individueller Voraussetzung auf eine dauerhafte Glukokortikoid-Therapie verzichtet werden oder, wenn dies aus medizinischen Gründen nicht möglich ist, eine begleitende Behandlung mit humanen Wachstumshormonen erfolgen (Jalanko *et al.*, 2016; Tönshoff *et al.*, 2012).

### 1.1.3 Kardiovaskuläre Risikofaktoren

Von essentieller Bedeutung für ein gutes Langzeit-Outcome sowie eine möglichst hohe Lebenserwartung nach Nierentransplantation im Kindesalter ist die Reduktion der kardiovaskulären und metabolischen Risikofaktoren. Zu den häufigsten Komplikationen bzw. Folgeerkrankungen nach Nierentransplantation im Kindes- und Jugendalter zählen Übergewicht und Adipositas, arterielle Hypertonie, Fettstoffwechselstörungen und Diabetes mellitus. Als problematisch gelten diese Faktoren insbesondere, da sie die Transplantatfunktion beeinträchtigen und über einen längeren Zeitraum zu kardiovaskulären Erkrankungen führen können, welche letztlich das deutlich erhöhte Mortalitätsrisiko dieser Patienten im Vergleich zu gesunden Gleichaltrigen bedingen (Becker-Cohen *et al.*, 2006; Jalanko *et al.*, 2016).

Insbesondere die arterielle Hypertonie muss konsequent und zumeist dauerhaft therapiert werden (Jalanko *et al.*, 2016; Tönshoff *et al.*, 2012). In einer Untersuchung von Kaidar *et al.* (2014) wiesen 52% von 78 Patienten zwischen 1 und 25 Jahren zwei Monate nach erfolgter Nierentransplantation eine arterielle Hypertonie auf und 54,8% wurden bereits zu diesem Zeitpunkt anti-hypertensiv behandelt. Sechs Monate nach Transplantation reduzierte sich der Anteil der Patienten mit arterieller Hypertonie auf 27,5%. Während die arterielle Hypertonie über die Dauer nach Transplantation rückläufig war, stieg der Anteil übergewichtiger und adipöser Patienten in der gleichen Kohorte bis durchschnittlich 7 Jahre nach Transplantation (letzter Beobachtungszeitpunkt) erheblich an (Kaidar *et al.*, 2014). Übergewicht und vor allem Adipositas stellen neben arterieller Hypertonie, Diabetes mellitus und Fettstoffwechselstörungen eine entscheidende Säule des metabolischen Syndroms dar, welches zunehmend bei Patienten nach Nierentransplantation beobachtet wird. Neben der Reduktion oder dem Verzicht auf Glukokortikoid-Therapie (Höcker *et al.*, 2010) spielt die Steigerung der körperlichen Aktivität eine wichtige Rolle in der Vermeidung und Behandlung der genannten Risikofaktoren, denn Übergewicht und Adipositas resultieren aus einem Ungleichgewicht an Energiezufuhr und Energieverbrauch. Mit Hilfe körperlicher Aktivität wird der Energieverbrauch gesteigert und gleichzeitig nicht nur die körperliche Leistungsfähigkeit sondern auch das Übergewicht sowie eine arterielle Hypertonie nierentransplantierter Kinder und Jugendlicher verbessert (Litwin und Niemirska, 2014). Aufgrund der Komplexität und der in diesem Zusammenhang besonderen Bedeutung von körperlicher Aktivität und Sport, werden diese im Kapitel 1.2 gesondert betrachtet.

#### 1.1.4 Lebensqualität

Neben den vorrangig medizinischen Faktoren, die im Fokus der Langzeitbeobachtung nierentransplantierte Kinder und Jugendlicher stehen, nimmt die Lebensqualität der jungen Patienten einen besonderen Stellenwert ein. Bisherige Untersuchungen beschreiben die Lebensqualität von Kindern und Jugendlichen nach erfolgreicher Nierentransplantation als insgesamt zufriedenstellend (Jalanko *et al.*, 2016). Im Kontrast zu gesunden Gleichaltrigen zeigen sich dennoch zumeist deutliche Einschränkungen in der Lebensqualität nierentransplantierte Kinder und Jugendlicher (Akber *et al.*, 2012; Anthony *et al.*, 2010; Diseth *et al.*, 2011; Hamiwka *et al.*, 2009; McKenna *et al.*, 2006), welche vergleichbar zur erfassten Lebensqualität dialysepflichtiger Patienten sind (Akber *et al.*, 2012; McKenna *et al.*, 2006). Jungen berichten diesbezüglich häufiger über körperliche Beschwerden und soziale Probleme als Mädchen und nierentransplantierte Patienten mit Komorbiditäten weisen häufig eine noch geringere Lebensqualität auf (Jalanko *et al.*, 2016; Schulz und Thaiss, 2012). Insbesondere in Bezug auf die physische, emotionale und schulische Funktionsfähigkeit scheint sich die reduzierte Lebensqualität nierentransplantierte Kinder und Jugendlicher zu äußern. So konnten beispielsweise Akber *et al.* (2012) eine deutliche Beeinträchtigung der physischen Funktionsfähigkeit aufzeigen, während andere neben körperlichen Beschwerden unter anderem das Körperbild der Patienten sowie die schulische Integration nach Nierentransplantation als entscheidende Einflussgrößen identifizierten (Anthony *et al.*, 2010). Insbesondere im Bereich der physischen Funktionsfähigkeit ist die gesundheitsbezogene Lebensqualität eng mit körperlicher Aktivität und körperlicher Leistungsfähigkeit assoziiert (Wu *et al.*, 2017). So verfügen Kinder und Jugendliche, die regelmäßig körperlich aktiv sind, in der Regel über eine höhere gesundheitsbezogene Lebensqualität, während Gleichaltrige mit einem vorwiegend sitzenden Lebensstil häufig eine geringere Lebensqualität aufweisen. Auch für nierentransplantierte Kinder und Jugendliche konnte bereits gezeigt werden, dass eine vermehrte körperliche Alltagsaktivität, gemessen über die zurückgelegte Schrittzahl pro Tag, in positivem Zusammenhang zur erfassten Lebensqualität steht (Hamiwka *et al.*, 2009). Im Gegensatz dazu bedingen ein erhöhter Body-Mass-Index (BMI) sowie eine reduzierte körperliche Leistungsfähigkeit eine eingeschränkte Lebensqualität (Diseth *et al.*, 2011).

## 1.2 Körperliche Aktivität und Sport im Kindes- und Jugendalter

### 1.2.1 Abgrenzung der Begrifflichkeiten

In der Literatur existieren für die Begrifflichkeiten *körperliche Aktivität*, *Sport* oder auch *Training* und *Bewegung* teilweise kongruente, aber auch divergente Definitionen. Im englischen Sprachgebrauch finden sich in der Regel die Bezeichnungen *physical activity*, *exercise*, *physical exercise* oder *sports*, um diese und ähnliche Konstrukte zu beschreiben. *Körperliche Aktivität* oder *physical activity* stehen, nach weit verbreiteter Auffassung, für die Summe aller, eher unstrukturierter Bewegungsformen, die mit der Kontraktion der Skelettmuskulatur einhergehen und den Energieverbrauch steigern (Caspersen *et al.*, 1985; Schlicht und Brand, 2007, S. 15-17). Somit ist die *körperliche Aktivität* als übergeordnete Begrifflichkeit anzusehen, die sowohl alltägliche Bewegungsformen, wie Garten- oder Hausarbeit, als auch sportliche Aktivitäten, wie Fußball spielen oder Joggen, inkludiert. *Sport* oder auch *exercise* ist demgegenüber durch körperliche Aktivität gekennzeichnet, welche zusätzlich geplant, strukturiert, zielgerichtet und leistungsorientiert unter bewusstem Einsatz von spezifischen Bewegungen durchgeführt wird. *Sport* bzw. *exercise* gilt demnach als Teilkategorie der *körperlichen Aktivität* (Caspersen *et al.*, 1985) und steht traditionell für körperliche Leistung, Wettkampf, aber auch Freude an der Bewegung. Zunehmend wird außerdem die *sportliche Aktivität*, als allgemeine Bezeichnung verschiedener Verhaltensweisen, die mit körperlicher Betätigung in Zusammenhang stehen, gebraucht. In Abgrenzung zum *Sport*, ist die *sportliche Aktivität* zwar ebenfalls dem organisierten Sport zuzuordnen, sie beinhaltet aber auch den selbst-initiierten Sport und muss nicht gezwungenermaßen motivational ausgerichtet sein (Fuchs, 2003, S. 5-9). Wird *sportliche Aktivität* selbst-initiiert mit dem Ziel der Verbesserung der körperlichen Fitness und der körperlichen sowie seelischen Gesundheit betrieben, handelt es sich um *physical exercise* bzw. im deutschsprachigen Raum um *Gesundheitssport* (Fuchs, 2003, S. 5-9; Schlicht und Brand, 2007, S. 15-17). In der vorliegenden Arbeit wird insbesondere der Begriff der *körperlichen Aktivität* verwendet, da dieser übergeordnet neben der alltäglichen, auch die gesundheitsförderliche körperliche Betätigung einschließt, ohne dass das Ziel eines sportlichen Leistungsvergleichs in den Fokus rückt.

### 1.2.2 Bedeutung körperlicher Aktivität für die Gesundheit

Körperliche Inaktivität geht nicht nur mit der Gefahr einher, Übergewicht zu entwickeln, sondern kann langfristig die Entstehung von kardiovaskulären Erkrankungen, Fettstoffwechselstörungen oder Diabetes mellitus begünstigen, die nicht selten eine verringerte Lebensqualität und Lebenserwartung nach sich ziehen. Zudem äußern sich körperliche Inaktivität und ein vermehrt sitzender Lebensstil bei Kindern und Jugendlichen insbesondere in reduzierter körperlicher Leistungsfähigkeit sowie motorischen Defiziten (Graf *et al.*, 2014). Hallal *et al.* (2006) konnten in einem Review zeigen, dass regelmäßige körperliche Aktivität im Jugendalter einen direkten Einfluss auf die Morbidität sowie den Level körperlicher Aktivität im Erwachsenenalter hat. Kinder und Jugendliche, die demnach in ihrer Freizeit häufiger inaktiv waren und einen vermehrt sitzenden Lebensstil aufwiesen, zeigten auch noch im Erwachsenenalter inaktive Verhaltensweisen, welche schließlich mit einer schlechteren gesundheitlichen Prognose einhergingen (Hallal *et al.*, 2006).

Körperlich aktive Kinder und Jugendliche weisen ein geringeres Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen auf und sind seltener übergewichtig, als körperlich inaktive Gleichaltrige. Des Weiteren wirken sich regelmäßige körperliche Aktivität und ein sportbetontes Freizeitverhalten im Kindesalter positiv auf die Knochendichte aus und gehen zudem mit einer verbesserten Knochengesundheit sowie einem geringeren Fraktur- und Osteoporose-Risiko im Erwachsenenalter einher (Hallal *et al.*, 2006). Bereits körperliche Aktivität mit mäßiger Intensität wirkt bei Risikogruppen, wie adipösen Kindern und Jugendlichen gesundheitsförderlich, da selbst bei leichteren Intensitäten der Energieverbrauch gesteigert wird und somit die Körperzusammensetzung positiv beeinflusst werden kann (Janssen und Leblanc, 2010).

Aus Untersuchungen zu Dosis-Wirkungs-Beziehungen körperlicher Aktivitäten geht hervor, dass die gesundheitsförderlichen Wirkungen umso größer sind und die Mortalitätsrate umso kleiner wird, je höher der Umfang oder die Intensität der körperlichen Belastung gewählt werden (Arem *et al.*, 2015; Janssen und Leblanc, 2010). Eine Ausnahme stellt hierbei jedoch der Leistungs- und Spitzensport dar, dessen gesundheitsförderliche Wirkung eher in Frage zu stellen ist. Um maximale Leistung und hochkarätige Erfolge zu erzielen, sind enorme Trainingsumfänge und -intensitäten notwendig, die nicht selten mit chronischen Reizungen, Schmerzen oder Überlastungen einhergehen.

Auch die psychische Gesundheit sowie das Selbstvertrauen von Kindern und Jugendlichen und die kognitive Leistungsfähigkeit können durch einen aktiven Lebensstil sowie regelmäßige, freudbetonte sportliche Aktivitäten positiv beeinflusst werden (Alvarez-Bueno *et al.*, 2017; Hallal *et al.*, 2006; Wu *et al.*, 2017). Es ist also von enormer Bedeutung, Kinder und Jugendliche, und insbesondere chronisch Kranke zu einem aktiven Lebensstil zu erziehen, um langfristig gesundheitlichen Beeinträchtigungen entgegenzuwirken.

### 1.2.3 Empfehlungen für Kinder und Jugendliche

Die Empfehlungen zu körperlicher Aktivität für Kinder und Jugendliche basieren auf den erwiesenermaßen gesundheitsförderlichen kurzfristigen und langfristigen Effekten der körperlichen und sportlichen Betätigung im Kindes- und Jugendalter. Da aktive Kinder und Jugendliche tendenziell auch die aktiveren Erwachsenen darstellen (Hallal *et al.*, 2006), ist es notwendig, Kinder frühzeitig an körperliche Aktivität heranzuführen und alltägliche sowie Freizeitaktivitäten zu einem festen Bestandteil ihres Lebens werden zu lassen.

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfiehlt für gesunde fünf bis 17-jährige Kinder und Jugendliche täglich mindestens 60 Minuten moderate bis intensive körperliche Aktivität (World Health Organization, 2011). Der Großteil der täglichen körperlichen Aktivität sollte mit Ausdaueraktivitäten abgedeckt werden, außerdem sollten mindestens drei Mal pro Woche auch anstrengendere und kräftigende Körperübungen durchgeführt werden. Zusätzliche körperliche Aktivitäten stehen dabei mit weiteren gesundheitswirksamen Effekten im Zusammenhang. Generell gilt jedoch, das Aktivitätsniveau schrittweise über die Dauer, den Umfang und letztlich die Intensität zu steigern, um Verletzungen und Überforderung zu vermeiden. Bisher inaktive oder unsportliche Kinder und Jugendliche lernen somit ihre eigenen Fähigkeiten wahrzunehmen und diesen zu vertrauen, um darüber hinaus Freude an der Bewegung zu entwickeln.

Immer häufiger wird als Maß für die körperliche Aktivität im Alltag die zurückgelegte Schrittzahl pro Tag angeführt. Weitverbreitete Empfehlungen stützen sich diesbezüglich auf die Analysen von Tudor-Locke *et al.* (2011), wonach 6- bis 11-jährige Mädchen 11.000-12.000 Schritte und Jungen des gleichen Alters 13.000-15.000 Schritte pro Tag gehen sollten. Für Jugendliche (12 - 19 Jahre) werden etwa 10.000-12.000 Schritte pro Tag empfohlen. Abhängig von der Intensität, Gehgeschwindigkeit und Schrittlänge müssten die Mädchen und Jungen demnach etwa 120-150 Minuten pro Tag zu Fuß

gehen. Bei der Betrachtung der Schrittzahl pro Tag oder auch pro Woche darf jedoch nicht außer Acht gelassen werden, dass es neben dem zu-Fuß-Gehen diverse weitere Möglichkeiten gibt, körperlich oder sportlich aktiv zu sein. So gelten beispielsweise Schwimmen oder Fahrradfahren durchaus als gesundheitsförderliche Aktivitäten, werden jedoch über einen einfachen Schrittzähler nicht erfasst. Aus diesem Grund sollten die absolvierten oder zu absolvierenden Schrittzahlen als Maß für die Alltagsaktivität immer auch im Zusammenhang mit der Intensität des Gehens/Laufens sowie in Kombination mit weiteren sportlichen Aktivitäten betrachtet werden, um den Aktivitätsstatus einer Person korrekt beurteilen zu können (Tudor-Locke *et al.*, 2011).

Evidente Empfehlungen zur körperlichen Aktivität chronisch nierenkranker und nieren-transplantierte Kinder und Jugendlicher existieren bisher nicht, jedoch berichten Master Sankar Raj *et al.* (2017), dass man sich diesbezüglich durchaus an den Vorgaben für gesunde Kinder und Jugendliche orientieren kann. Generell gilt für den Sport mit chronisch kranken Kindern und Jugendlichen jedoch zu beachten, dass diese in Abhängigkeit ihrer Grunderkrankung, der Inzidenz der Erkrankung und des individuellen körperlichen und psychischen Zustandes mehr oder weniger gut in Gruppenangebote integriert werden können. Bei einer niedrigen Inzidenz der Erkrankung finden sich in der Regel nur wenige Gruppenangebote zur Steigerung der körperlichen Aktivität und Leistungsfähigkeit, sodass vorab die Integration in gemischte Gruppen oder der Einsatz einer individualisierten Therapie geprüft werden sollten (Siaplaouras, 2016). Entsprechende Übungsprogramme sollten individuell an die Fähigkeiten, Ziele, Bedürfnisse und die Belastbarkeit der jungen Patienten angepasst werden und sowohl auf die Verbesserung der Ausdauer als auch der Krafftigkeiten ausgerichtet sein. Generell sollten die Dauer, der Umfang sowie die Intensität des körperlichen Trainings, wie bei gesunden Kindern auch, nur schrittweise und allmählich gesteigert werden. Insbesondere für nieren-transplantierte Kinder und Jugendliche gilt, während Phasen mit erhöhter Gefahr der Transplantat-Abstoßung die Trainingsintensitäten zu reduzieren (Master Sankar Raj *et al.*, 2017).

#### *1.2.4 Erfassung körperlicher Aktivität*

Der besondere Stellenwert körperlicher Aktivität in der Prävention und Therapie diverser Erkrankungen wurde bereits ausführlich erläutert. Jedoch ist in diesem Kontext eine zuverlässige und valide Erfassung der körperlichen Aktivität notwendig, um einerseits das alltägliche Aktivitätsverhalten bestimmter Personengruppen zu objektivieren und

andererseits Zusammenhänge unterschiedlicher Formen und Intensitäten körperlicher Aktivität mit der psychischen Gesundheit oder dem Auftreten bestimmter Erkrankungen zu untersuchen. In neueren Studien werden die dafür vorgesehenen Messinstrumente nicht mehr nur diagnostisch, sondern zunehmend auch interventionell eingesetzt, um einerseits einen zusätzlichen Anreiz für eine gesteigerte körperliche Aktivität zu schaffen und andererseits die potentiellen Effekte spezifischer Interventionen zu erfassen.

Im Allgemeinen kann man die zur Verfügung stehenden Messverfahren in drei Kategorien unterteilen (Beneke und Leithäuser, 2008). Als Messmethoden der ersten Kategorie gelten demnach die direkten Beobachtungen, die Doubly Labeled Water Methode<sup>1</sup> sowie die indirekte Kalorimetrie<sup>2</sup>, wobei letztere dank technischer Fortschritte sowohl unter Labor- als auch Feldbedingungen angewendet werden kann. Auch wenn diese drei Methoden als „Goldstandard“ zur Messung körperlicher Aktivität zählen, muss beachtet werden, dass insbesondere über die Doubly Labeled Water Methode und die indirekte Kalorimetrie eher der metabolische Effekt, d.h. der Energieverbrauch der körperlichen Aktivität und weniger die tatsächliche körperliche Aktivität gemessen wird. Im Vergleich zu den Verfahren der ersten Kategorie, sind Methoden der zweiten und dritten Kategorien preiswerter und erfordern weniger Personal, weshalb sie häufiger bei Untersuchungen größerer Stichproben Anwendung finden. Hierzu zählen insbesondere objektive Messungen mit Hilfe von Herzfrequenzmessern, Schrittzählern (Pedometern) und zwei- oder dreidimensionalen Beschleunigungssensoren (Akzelerometern) sowie subjektive Verfahren, wie der Einsatz von Fragebögen, (teil-)strukturierten Interviews und Aktivitätstagebüchern (Beneke und Leithäuser, 2008).

Die Validität der objektiven und subjektiven Messinstrumente kann mit Hilfe der Methoden der ersten Kategorie überprüft werden, jedoch wird aus einer Übersichtsarbeit von Müller et al. (2010) ersichtlich, dass eine hohe Validität der Messmethode in der Regel Nachteile in der Anwendbarkeit mit sich bringt und umgekehrt, einfach zu handhabende Fragebögen oder Aktivitätstagebücher eine geringere Validität aufweisen (Abb. 2).

---

<sup>1</sup> Die Doubly Labeled Water Methode ermöglicht die Bestimmung des Energieverbrauchs über mehrere Tage oder Wochen unter alltäglichen Bedingungen. Dabei wird das Körperwasser einer Person mit einer festgelegten Menge an doppelt markiertem Wasser angereichert, welches aus schweren Sauerstoff- (<sup>18</sup>O) und Wasserstoff (<sup>2</sup>H) –Isotopen besteht. Während die <sup>2</sup>H-Isotopen komplett über das Körperwasser wieder abgegeben werden, wird ein Teil der <sup>18</sup>O-Isotopen an CO<sub>2</sub> gebunden und abgeatmet. Aus der Isotopen-Differenz, die sich aus dem über den Beobachtungszeitraum gesammelten Körperwasser (z.B. Urin) ergibt, kann die CO<sub>2</sub>-Abgabe und über die Kenntnis des RQ die Sauerstoffaufnahme berechnet werden, woraus sich schließlich der Energieverbrauch ergibt (Westerterp, 2017).

<sup>2</sup> Bei der indirekten Kalorimetrie wird über die Messung der Sauerstoffaufnahme (in Ruhe oder unter Belastung) der Energieverbrauch einer Person bestimmt. Dabei wird pro Liter Sauerstoff pro Minute ein Energiebetrag von etwa 4,82 kcal gemessen (Kroidl et al., 2015, S. 343).

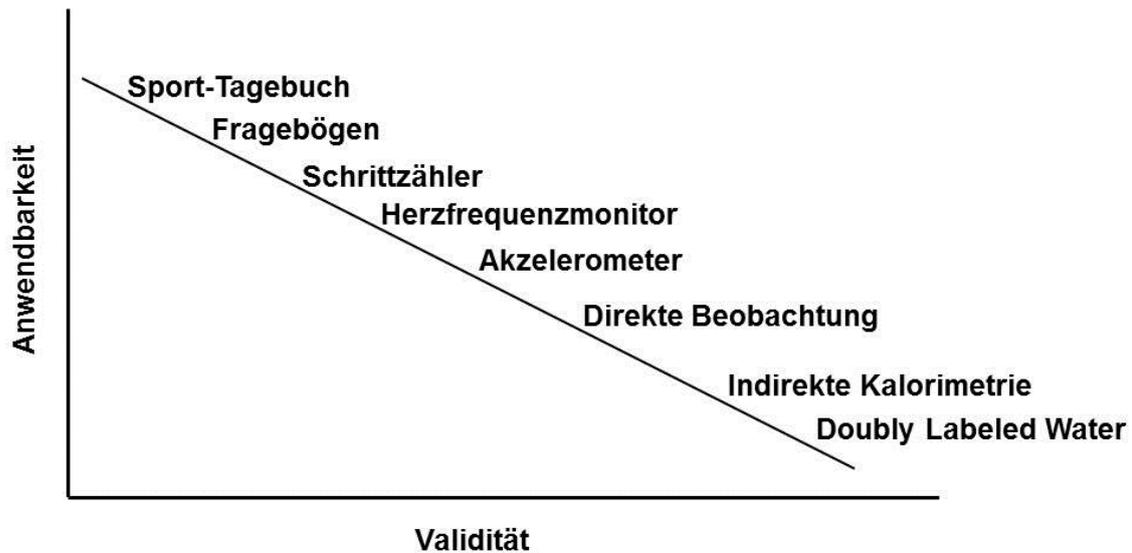


Abb. 2: Anwendbarkeit und Validität von Methoden zur Aktivitätserfassung (in Anlehnung an Müller et al. (2010, S. 12))

In Bezug auf den direkten Vergleich der objektiven und subjektiven Messinstrumente der zweiten und dritten Kategorie berichten andere Arbeitsgruppen, dass sowohl bei Erwachsenen (Gaede-Illig *et al.*, 2014; Steene-Johannessen *et al.*, 2016) als auch bei Kindern und Jugendlichen (Kahlert und Brand, 2011) eine Diskrepanz zwischen dem subjektiv erfassten Umfang an körperlicher Aktivität und der objektiven Messung mittels Akzelerometer besteht. Alle Untersuchungen zeigten, dass die Probanden den Umfang körperlicher Aktivität subjektiv deutlich überschätzen. Für eine möglichst umfangreiche und korrekte Abbildung der körperlichen Aktivität empfiehlt sich demnach, abgesehen von den „Goldstandard“-Verfahren, ein kombinierter Einsatz subjektiver und objektiver Messverfahren (Gaede-Illig *et al.*, 2014; Steene-Johannessen *et al.*, 2016).

### 1.2.5 Aktivitätsverhalten von Kindern und Jugendlichen

#### 1.2.5.1 Daten aus Deutschland

Aktuellste Ergebnisse zum Aktivitätsverhalten deutscher Kinder und Jugendlicher liefert die zweite Folgebefragung der Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland (KiGGS Welle II, 2014-2017), deren Basiserhebung von 2003 bis 2006 durch das Robert Koch-Institut (RKI) erfolgte. Danach erreichen lediglich 22,4% der Mädchen und 29,4% der Jungen zwischen drei und 17 Jahren die WHO-Empfehlungen von 60 Minuten körperlicher Aktivität täglich (Finger *et al.*, 2018). Im Vergleich zur ersten Folgebefragung (KiGGS Welle I) zwischen 2009 und 2012 hat sich der Anteil der

Mädchen, die die WHO-Empfehlungen erreichten um 3,5% reduziert, während der Anteil der Jungen unverändert blieb (Manz *et al.*, 2014). Unabhängig vom Geschlecht nimmt mit zunehmendem Alter der Anteil der Kinder, die die WHO-Empfehlung erreichen, stetig ab. Während von den Vorschulkindern (3 bis 6 Jahre) noch 42,5% der Mädchen und 48,9% der Jungen entsprechend lange körperlich aktiv sind, erreichen nur noch 7,5% bzw. 16% der 14- bis 17-Jährigen die empfohlenen 60 Minuten moderater bis intensiver körperlicher Aktivität pro Tag (Finger *et al.*, 2018).

Zu ähnlichen Ergebnissen wie die KiGGS Welle II kommt auch die internationale Studie *Health Behaviour in School-aged Children* (HBSC), welche 2013 und 2014 unter anderem Daten zur körperlichen Aktivität von 11- bis 15-jährigen Jugendlichen aller Bundesländer in Deutschland erfasst hat. Lediglich 12% der Mädchen und 19,1% der Jungen erfüllten hiernach die WHO-Richtlinien zur täglichen körperlichen Aktivität, wobei auch in dieser Untersuchung gezeigt wurde, dass der Anteil an körperlich aktiven Jugendlichen bei den Jungen größer ist und für beide Geschlechter mit zunehmendem Alter abnimmt (HBSC-Studienverbund Deutschland, 2015).

Aus den Daten dieser zwei groß angelegten und repräsentativen Studien wird demnach deutlich, dass das Aktivitätsverhalten deutscher Kinder und Jugendlicher im Vergleich zu gesundheitsförderlichen Empfehlungen erheblich reduziert ist und sich außerdem mit zunehmender pubertärer Entwicklung weiter verringert.

#### 1.2.5.2 Chronisch kranke Kinder und Jugendliche

Einige Untersuchungen der vergangenen 20 Jahre haben sich auch der körperlichen Aktivität chronisch kranker Kinder und Jugendlicher gewidmet (Klepper, 2008; Maggio *et al.*, 2010; Nixon *et al.*, 2001; Selvadurai *et al.*, 2004; Tully *et al.*, 2016; Williams und Stevens, 2013). Hintergründe sind hierbei insbesondere die nachgewiesenen kurz- und langfristigen Effekte körperlicher Aktivität auf die Gesundheit sowie die Langzeitprognose mit oder nach chronischer Erkrankung. Maggio *et al.* (2010) berichteten beispielsweise, dass Kinder und Jugendliche, die an Adipositas oder Diabetes mellitus Typ 1 oder einer Juvenilen Idiopathischen Arthritis leiden, im Vergleich zu gesunden Kindern und Jugendlichen eine reduzierte alltägliche körperliche Aktivität aufweisen. Dabei stellten die Autoren außerdem fest, dass unter den untersuchten chronisch kranken Kindern und Jugendlichen diejenigen mit Diabetes mellitus Typ 1 am wenigsten körperlich aktiv waren, während die adipösen Kinder und Jugendlichen noch die höchste alltägliche körperliche Aktivität aufwiesen (Maggio *et al.*, 2010). Insbesondere Jugendliche mit Ju-

veniler Idiopathischer Arthritis scheinen aufgrund ihrer krankheitsbedingten körperlichen Beeinträchtigungen mehr Zeit mit Schlafen und liegenden Tätigkeiten sowie weniger Zeit mit Freizeit-Sport-Aktivitäten zu verbringen, als gesunde Gleichaltrige (Klepper, 2008). Auch für Kinder und Jugendliche mit Mukoviszidose scheint regelmäßige körperliche Aktivität sicher und effektiv zu sein, wird aber dennoch von den meisten Betroffenen nicht oder zu wenig betrieben. Gründe hierfür sind unter anderem überfürsorgliches Handeln der Eltern aus Angst, dem Kind könnten Sport und vermehrte körperliche Aktivität schaden, aber auch Unwissenheit in Bezug auf Wirkungen körperlicher Aktivität auf die Erkrankung seitens der Ärzte, Betreuer und Lehrer. Hinzu kommt, dass krankheitsbedingte Fehlzeiten zu sozialer Isolation und zu vermeintlich weniger Zeit für körperliche Aktivität und Sportteilnahmen führen können (Williams und Stevens, 2013). Im Gegensatz zu Typ-1-Diabetikern und Patienten mit Juveniler Idiopathischer Arthritis scheinen Kinder und Jugendliche mit Mukoviszidose jedoch nicht deutlich seltener, sondern vor allem weniger intensiv körperlich aktiv zu sein, als gesunde Gleichaltrige (Nixon *et al.*, 2001). Dabei sind, ähnlich wie bei gesunden Kindern und Jugendlichen, die Jungen im pubertären Alter aktiver als Mädchen. Vor Eintritt der Pubertät scheint weder in Bezug auf das Geschlecht noch den Schweregrad der Mukoviszidose eine Differenz zum Aktivitätsniveau gesunder Gleichaltriger zu bestehen (Selvadurai *et al.*, 2004).

Wie sich das Aktivitätsverhalten nierentransplantierter Kinder und Jugendlicher im Vergleich zu gesunden Gleichaltrigen darstellt, wird nachfolgend ausführlich erläutert.

#### 1.2.5.3 Nierentransplantierte Kinder und Jugendliche

Nierentransplantierte Kinder und Jugendliche weisen im Vergleich zu gesunden Gleichaltrigen eine deutlich geringere körperliche Aktivität auf. Dabei ist nicht nur die regelmäßige Aktivität im organisierten Sport, sondern insbesondere die Alltagsaktivität reduziert. In einer Studie von Painter *et al.* (2007) wurden 25 nierentransplantierte und 15 dialysepflichtige Kinder und Jugendliche zu ihrer körperlichen Aktivität in der Freizeit sowie ihrer Teilnahme am Schulsport befragt. Durchschnittlich verbrachten die befragten Kinder und Jugendlichen weniger als 10% ihrer außerschulischen Freizeit mit körperlicher Betätigung, wobei deren Intensität mit durchschnittlich 1,9 MET<sup>3</sup> überaus gering war.

---

<sup>3</sup> MET steht für das metabolische Äquivalent, also das relative Sauerstoffäquivalent einer definierten Aktivität. Ein MET entspricht demnach der in Ruhe verbrauchten Energie, d.h. etwa 3,5 ml Sauerstoff pro Kilogramm Körpergewicht pro Minute oder etwa 1,2 kcal pro Kilogramm Körpergewicht pro Stunde. Mit Hilfe der Angabe von MET lassen sich die Intensitäten verschiedener körperlicher Aktivitäten anhand ihres Sauerstoffbedarfs bzw. ihres Energieverbrauchs beschreiben (Schlicht und Brand, 2007, S. 18-22).

Zudem nahmen lediglich 48% der nierentransplantierten Patienten am regulären Schulsport teil (Painter *et al.*, 2007). Anhand einer Vergleichsstudie zu gesunden Gleichaltrigen berichteten Hamiwka *et al.* (2009) neben signifikanten Einschränkungen in der Zeit, die nierentransplantierte Kinder und Jugendliche mit sportlichen Aktivitäten verbringen, außerdem eine reduzierte Schrittzahl pro Tag. Demnach erreichten lediglich 10% der untersuchten nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen die empfohlene Schrittzahl von 12.000 bzw. 15.000 Schritten pro Tag (Hamiwka *et al.*, 2009; Tudor-Locke *et al.*, 2004). Zu vergleichbaren Ergebnissen kamen weitere Studien aus den Jahren 2010 und 2012. So zeigten beispielsweise Tangeraas *et al.* (2010), dass lediglich drei von insgesamt 22 untersuchten nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen die empfohlenen 60 Minuten körperlicher Aktivität pro Tag erzielten. In einer weiteren Studie untersuchten Akber *et al.* (2012) neben nierentransplantierten auch chronisch nierenkranke Kinder und Jugendliche und stellten fest, dass ihre Patienten ebenfalls einen vermehrt sitzenden Lebensstil aufwiesen. Mit Hilfe von Pedometern erfassten sie außerdem die Schrittzahl pro Tag und zeigten, dass lediglich 10% ihrer männlichen und 5% ihrer weiblichen Patienten den Empfehlungen zur alltäglichen körperlichen Aktivität gerecht wurden. Vergleichbar zu den von Painter *et al.* (2007) mit Hilfe von Fragebögen erfassten Angaben zu körperlicher Aktivität nierenkranker Kinder und Jugendlicher, konnte eine Akzelerometer-gestützte Studie bei nierentransplantierten Kindern ebenfalls eine enorm reduzierte körperliche Aktivität mit einer durchschnittlichen Intensität von 1,7 MET aufzeigen, was einer überwiegend leichten körperlichen Aktivität entspricht (Clark *et al.*, 2012). Auch für diese Studie wurden bei nierentransplantierten Patienten deutlich reduzierte Schrittzahlen von rund 7500 Schritten pro Tag berichtet.

Als Hauptfaktor für eine reduzierte körperliche Alltagsaktivität und die seltene Teilnahme an sportlichen Aktivitäten bei Kindern und Jugendlichen nach Nierentransplantation konnten Wolf *et al.* (2016) mit Hilfe des *Physical Activity Questionnaire (PAQ)* die Angst vor einer Schädigung des Transplantats identifizieren. Zusätzlich zu dieser Angst berichteten 49% der untersuchten Kinder und Jugendlichen bereits vor einer Nierentransplantation Limitationen für eine Sportteilnahme. Häufigste Gründe waren diesbezüglich Fatigue, Krankheit und Erschöpfung in Zusammenhang mit der Grunderkrankung. Dass die unter den Betroffenen weit verbreitete Angst der Transplantatschädigung in den meisten Fällen unbegründet ist, konnte diese Studie ebenfalls zeigen. Von insgesamt 101 nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen berichteten lediglich drei von einer Verletzung im Bereich des Transplantats in Zusammenhang mit Fußball bzw. Baseball

spielen sowie als Folge eines Sturzes von einem Baum. Keine dieser Verletzungen erforderte jedoch eine Behandlung im Krankenhaus oder beeinträchtigte die jungen Patienten über einen längeren Zeitraum, sodass sportliche Aktivität auch für nierentransplantierte Kinder und Jugendliche als durchaus sicher eingestuft werden kann.

### **1.3 Körperliche Leistungsfähigkeit und Motorik**

Die körperliche Leistungsfähigkeit als allgemein motorische Leistungsfähigkeit wird in der sportwissenschaftlichen Literatur als „*die Gesamtheit der personalen Voraussetzungen für die Bewältigung bestimmter Leistungsanforderungen*“ (Schnabel *et al.*, 2008, S.43) definiert. Neben den konstitutionellen Leistungsvoraussetzungen (z.B. Körpermaße und Körperproportionen) zählen zu den personalen Leistungsvoraussetzungen insbesondere physische, die elementaren Funktionen der Organsysteme betreffende Grundvoraussetzungen sowie psychische Prozesse. Auf handlungsbezogener Ebene spielen außerdem die notwendigen Fähigkeiten, Fertigkeiten und die individuelle körperliche und psychische Belastbarkeit sowie die Motivation, eine bestimmte Leistungsanforderung zu erfüllen, eine wesentliche Rolle. Aus vorrangig gesundheitswissenschaftlicher bzw. medizinischer Sicht ist die Leistungsfähigkeit insbesondere von der Kapazität der einzelnen Organe und Organsysteme abhängig, bestimmte Leistungsanforderungen zu bewältigen (Schnabel *et al.*, 2008, S. 41-45). Liegen demnach bei einer Person Störungen in der Funktionsweise bestimmter Organe und/oder Organsysteme vor, wird folglich die Kapazität dieser eingeschränkt und die Leistungsfähigkeit gegenüber einer nicht beeinträchtigten Person reduziert sein.

Die für die Erfüllung bestimmter Leistungsanforderungen notwendigen motorischen Leistungsvoraussetzungen können durch spezielles Training positiv beeinflusst und durch spezifische Testverfahren sowie diverse diagnostische Methoden überprüft werden. Zu diesen motorischen Grundfähigkeiten zählen einerseits konditionelle Fähigkeiten wie Ausdauer, Kraft und Schnelligkeit, aber auch koordinative Fähigkeiten sowie spezifische sporttechnische Fertigkeiten und die Beweglichkeit (Bös *et al.*, 2001b, S. 2; Schnabel *et al.*, 2008, S. 62). Im Folgenden werden lediglich die Ausdauerfähigkeit, die Krafftähigkeit sowie die koordinativen Fähigkeiten näher definiert, da diese als Maß für die Leistungsfähigkeit der in dieser Arbeit untersuchten Probanden einen entscheidenden Stellenwert einnehmen.

### 1.3.1 Ausdauer

Die Ausdauerfähigkeit als Teil der konditionellen Fähigkeiten gilt als entscheidende Leistungsvoraussetzungen, eine bestimmte Tätigkeit oder sportliche Bewegungsaufgabe über einen längeren Zeitraum mit optimaler Intensität aufrecht zu erhalten, ohne dass dabei eine ermüdungsbedingte Leistungsminderung oder deutliche Verschlechterungen in der Bewegungsausführung auftreten (Schnabel *et al.*, 2008, S. 155-156). Hierbei spielen neben einer optimalen Energiebereitstellung auch die Muskelfaserausammensetzung, die intra- und intermuskuläre Koordination sowie motivationale Prozesse eine entscheidende Rolle. Einschränkungen in der Beweglichkeit haben einen negativen Einfluss auf die Bewegungsökonomie und führen folglich zu einem höheren Energieverbrauch (Hartmann *et al.*, 2002, S. 111-112).

Die Ausdauerfähigkeit kann in Abhängigkeit von den vorrangig vorherrschenden Energiestoffwechselprozessen sowie der Belastungsdauer, -intensität und der Art der Körperübung in verschiedene Ausprägungsformen unterteilt werden. So wird beispielsweise ganz allgemein die Grundlagenausdauer von einer speziellen oder auch wettkampfspezifischen Ausdauer unterschieden, wobei letztere in Abhängigkeit der zu bewältigenden Bewegungsanforderung nicht mehr nur vorrangig durch aerobe Energiestoffwechselprozesse geprägt ist, sondern zunehmend durch anaerob-laktazide Vorgänge realisiert wird (Hartmann *et al.*, 2002, S. 112-113). Insbesondere der Grundlagenausdauer, als Basis aller Formen der Ausdauerfähigkeit, kommt im Kontext von Sport und Bewegung mit Patienten eine besondere Bedeutung zu. Eine gut ausgebildete bzw. trainierte Grundlagenausdauer gewährleistet nicht nur eine bessere allgemeine motorische Leistungsfähigkeit, sondern wirkt auch förderlich im Hinblick auf die allgemeine Belastungsverträglichkeit sowie eine schnelle körperliche Regeneration nach erschöpfenden Belastungen. Mit Hilfe von speziellem Training, welches auf die Verbesserung der Ausdauerleistungsfähigkeit ausgerichtet ist, können außerdem das Immunsystem und damit die körpereigenen Abwehrkräfte gestärkt sowie das allgemeine Wohlbefinden verbessert werden. Des Weiteren ist es möglich, durch regelmäßiges und dauerhaftes Ausdauertraining die Herzfrequenz und den Blutdruck zu senken und somit langfristig eine Reduktion des Risikos für Herz-Kreislauf-Erkrankungen zu bewirken (Froböse und Wilke, 2002, S. 305; Strunk, 2002, S. 204).

### 1.3.2 Kraft

Die Kraftfähigkeit zählt ebenso wie die Ausdauerfähigkeit zu den „*primär energetischen Komponenten der sportlichen Leistungsfähigkeit*“ (Schnabel *et al.*, 2008, S. 155) und beschreibt die Fähigkeit, unter Einsatz von muskulärer Arbeit Bewegungswiderstände zu überwinden oder spezifischen äußeren Krafteinwirkungen entgegenwirken zu können. Die Basis der Kraftfähigkeit bildet die Maximalkraft, welche als höchste Kraft definiert ist, die mittels willkürlicher Muskelkontraktion erreicht werden kann. Zusätzlich können im Zusammenspiel mit der Schnelligkeitsfähigkeit und der Ausdauerfähigkeit außerdem die Schnellkraft und die Kraftausdauer differenziert werden (Schnabel *et al.*, 2008, S. 155-168).

Das Vorhandensein spezifischer Kraftfähigkeiten ist nicht nur für die Bewältigung von körperlichen Anforderungen im Alltag, Beruf und für die elementaren Lebensfunktionen, wie Atmen oder auch Essen und Trinken notwendig (Hartmann *et al.*, 2002, S. 99-100). Auch im Gesundheits- und Rehabilitationssport sind spezifische Kraftfähigkeiten von großer Bedeutung, um unter anderem die allgemeine Belastungsverträglichkeit zu verbessern, die Verletzungsanfälligkeit zu reduzieren und die Realisierung spezieller Kraftanforderungen im Alltag und Beruf zu gewährleisten (Froböse und Wilke, 2002, S. 298-305).

Studien mit Kindern und Jugendlichen konnten zeigen, dass ein hohes Maß an muskulärer Kraft, unabhängig von der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit, mit einem reduzierten Risiko für kardiovaskuläre Erkrankungen und Adipositas sowie mit einer besseren Knochengesundheit und einem höheren Selbstwertgefühl einhergeht (Evaristo *et al.*, 2019; Smith *et al.*, 2014). Der Ausbildung und dem Erhalt von Kraftfähigkeiten sollte demnach sowohl im Kindes- und Jugendalter als auch bis ins hohe Erwachsenenalter besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

### 1.3.3 Koordination

Definitionsgemäß gelten die koordinativen Fähigkeiten als...

*„Klasse motorischer Fähigkeiten, die vorrangig durch die Prozesse der Bewegungsregulation bedingt sind und relativ verfestigte und generalisierte Verlaufsqualitäten dieser Prozesse darstellen. [...] Charakteristisches Merkmal koordinativer Fähigkeiten ist die jeweils spezifische Einheit von Wahrnehmung und motorischer Realisation (Schnabel *et al.*, 2008, S. 136).“*

Als spezifische Leistungsvoraussetzungen sind die koordinativen Fähigkeiten für das Erlernen, Vervollkommen und Stabilisieren von motorischen Fertigkeiten von ent-

scheidender Bedeutung. Je nach Geschwindigkeit und Qualität des Lernprozesses sowie der Verfestigung motorischer Fertigkeiten, kann auch auf den Ausprägungsgrad der koordinativen Fähigkeiten geschlossen werden (Hartmann *et al.*, 2002, S. 137). Zu beachten gilt, dass es nicht nur die eine koordinative Fähigkeit gibt, sondern immer mehrere koordinative Fähigkeiten gleichzeitig an der Realisierung bestimmter Bewegungsaufgaben beteiligt sind. Je nach Anforderung der motorischen Bewegungshandlung hat sich in der Sportwissenschaft die Unterscheidung von insgesamt sieben koordinativen Fähigkeiten etabliert, die als besonders leistungsbestimmend gelten. Hierzu zählen nach Schnabel *et al.* (2008, S. 137):

- Differenzierungsfähigkeit
- Orientierungsfähigkeit
- Gleichgewichtsfähigkeit
- Reaktionsfähigkeit
- Rhythmisierungsfähigkeit
- Kopplungsfähigkeit
- Umstellungsfähigkeit

In der Regel ist niemals nur eine dieser sieben koordinativen Fähigkeiten an der Ausführung einer bestimmten motorischen Handlung beteiligt, jedoch stehen je nach Bewegungsanforderung einzelne koordinative Fähigkeiten im Vordergrund, während andere nicht oder nur hintergründig in Erscheinung treten. Ergänzend zu den sieben koordinativen Fähigkeiten kann unter Beachtung der verschiedenen Anforderungsprofile auch eine Dreiteilung der koordinativen Fähigkeiten vorgenommen werden. In Abhängigkeit von der für einzelne Sportarten erforderlichen Bewegungsart (genau, schnell und genau oder schnell, genau und variabel) können Fähigkeiten zur präzisen Bewegungsregulation, zur Koordination unter Zeitdruck und zur motorischen Anpassung und Umstellung klassifiziert werden (Schnabel *et al.*, 2008, S. 137-138).

Es gibt Hinweise, dass die Körperkoordination und Motorik bereits im Kindesalter in engem Zusammenhang zur körperlichen Leistungsfähigkeit sowie zur Körperzusammensetzung stehen. So beschrieb beispielsweise eine Studie mit ca. 7-jährigen gesunden Kindern, dass mit zunehmendem BMI die koordinativen Fähigkeiten (gemessen über den Körperkoordinationstest für Kinder; KTK) schlechter wurden und dass eine ver-

mehrte körperliche Freizeitaktivität mit besseren Werten im Koordinationstest einherging (Graf *et al.*, 2004). Auch D'Hondt *et al.* (2013) konnten in einer zweijährigen Längsschnittuntersuchung mit 6 bis 10-jährigen übergewichtigen und normalgewichtigen Kindern einen hohen BMI als negativen Prädiktor für den Ausprägungsgrad der koordinativen Fähigkeiten identifizieren. Umgekehrt berichteten die Autoren einen positiven Zusammenhang zur regelmäßigen Aktivität in einem Sportverein. Regelmäßige körperliche Aktivität und Sport steigern also nicht nur die allgemeine Fitness und die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit, sondern sind insbesondere im Kindes- und Jugendalter für die Entwicklung und Verbesserung der koordinativen Fähigkeiten von enormer Bedeutung. Neben dem Einfluss regelmäßiger körperlicher Aktivität besteht bei Kindern und Jugendlichen sowie jungen Erwachsenen auch ein positiver Zusammenhang zwischen dem Ausprägungsgrad der Grob- und Feinmotorik und der körperlichen Fitness (Haga, 2008; Utesch *et al.*, 2019). Kinder, die bereits im Grundschulalter über einen hohen Ausprägungsgrad motorischer Fertigkeiten wie Werfen und Fangen verfügen, scheinen im Jugend- und jungen Erwachsenenalter eine bessere körperliche Fitness aufzuweisen (Barnett *et al.*, 2008). Mit Hilfe einer frühzeitigen Förderung der motorischen Basisfähigkeiten und Fertigkeiten, sowie durch vielfältige Bewegungsangebote, können sowohl die koordinativen Fähigkeiten als auch die körperliche Leistungsfähigkeit dauerhaft verbessert und die Körperzusammensetzung positiv beeinflusst werden.

#### *1.3.4 Erfassung der körperlichen Leistungsfähigkeit bei Kindern und Jugendlichen*

Zur Erfassung der körperlichen Leistungsfähigkeit von Kindern und Jugendlichen stehen zahlreiche Methoden, Testverfahren als auch komplexe Testsysteme zur Verfügung. Für die Auswahl eines geeigneten Verfahrens ist zunächst der zu erfassende Funktionsbereich entscheidend. Sollen beispielsweise die Ausdauer, die Kraft, die Schnelligkeit, die Koordination oder die Beweglichkeit einer Person jeweils einzeln erfasst werden, sollte ein eindimensionaler Test gewählt werden. Um mehrere Funktionsbereiche zur umfangreichen Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit gleichzeitig zu erfassen, bieten sich spezielle Testbatterien oder eine Koppelung mehrere eindimensionaler Leistungstests an. Für die Gewährleistung der Vergleichbarkeit und der gesicherten Aussagekraft eines Testergebnisses, sollte auf eine hohe Objektivität in der Testdurchführung sowie auf eine hohe Reliabilität und Validität des gewählten Testverfahrens geachtet werden (Bös *et al.*, 2001a, S. 531-569).

Um die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit von Kindern und Jugendlichen ab 6 Jahren unter kontrollierten und standardisierten Bedingungen zu erfassen, hat sich aus Sicht der Sportmedizin, ebenso wie bei Erwachsenen, insbesondere die (Spiro) -Ergometrie etabliert. Diese kann wahlweise auf dem Fahrradergometer oder einem Laufband durchgeführt werden, wobei für den Einsatz bei Kindern und Jugendlichen zu beachten gilt, dass das Fahrradergometer in Bezug auf den Widerstand, die Sattel- und Lenkereinstellungen sowie die Länge der Tretkurbel auf die individuellen Voraussetzungen angepasst werden sollte und hinsichtlich einer Laufbandergometrie eine ausreichend geringe Laufgeschwindigkeit einstellbar ist (Förster, 2017, S. 427-430; Hebestreit *et al.*, 1997). Die Gesamtbelastungsdauer sollte 10 bis 12 Minuten betragen, wobei in Bezug auf die Fahrradergometrie das gewählte Belastungsprotokoll so gewählt werden sollte, dass ein frühzeitiger Belastungsabbruch aufgrund muskulärer Erschöpfung gegenüber der angestrebten kardiopulmonalen Ausbelastung vermieden wird. Trotz einer Vielzahl an verwendeten Belastungsprotokollen orientieren sich die meisten Protokolle im Hinblick auf die Eingangslast sowie die Stufenlast am Körpergewicht der Kinder. Insgesamt sind vor allem in der Arbeit mit gesundheitlich eingeschränkten oder nicht so leistungsfähigen Kindern und Jugendlichen kürzere Stufendauern (z.B. 1 Minute) zu bevorzugen (Förster, 2017, S. 427-430). In der Laufbandergometrie kann die Belastung wahlweise über das Steigern der Laufgeschwindigkeit oder der prozentualen Steigung des Laufbandes gesteuert werden. Kombinierte Belastungsprotokolle aus der Steigerung der Geschwindigkeit und der Steigung sind ebenfalls möglich, kommen aber seltener zur Anwendung. Die mit Hilfe der Ergometrie typischerweise erfassten Parameter sind die maximale Herzfrequenz, die maximale Leistung in Watt bzw. Watt/kg Körpergewicht, die Belastungsdauer sowie die maximale Geschwindigkeit und/oder Steigung im Rahmen einer Laufbandergometrie. Bei der Durchführung einer Spiroergometrie werden zusätzlich Atemparameter wie die maximale Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2peak}$ ), die maximale Ventilation ( $\dot{V}E_{peak}$ ), die ventilatorischen Schwellen (VT1 & VT2) sowie der Respiratorische Quotient (RQ) als Maß für die Ausbelastung ermittelt. Die genannten Parameter dienen anschließend der Beurteilung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit, wobei die Interpretation und Bewertung der Leistungsfähigkeit insbesondere im Kindes- und Jugendalter aufgrund der sich noch relativ stark verändernden Einflussgrößen wie Alter, Gewicht und Längenwachstum mit gewisser Zurückhaltung vorgenommen werden sollten (Förster, 2017, S. 427-430; Hebestreit *et al.*, 1997).

Neben der (Spiro-)Ergometrie bestehen noch zahlreiche weitere diagnostische Verfahren zur standardisierten Ermittlung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit. Hierzu zählt unter anderem der 6-Minuten-Gehtest (American Thoracic Society, 2002), der insbesondere in klinischen Settings zur Überprüfung der Leistungsfähigkeit von Patienten mit kardialen oder pulmologischen Einschränkungen sowie nach Transplantationen angewendet wird. Außerdem kommt vorrangig im Schul- und Breitensport der 12-minütige Ausdauerstest nach Cooper zum Einsatz (Krüll, 2016).

Auch zur Erfassung der übrigen Funktionsbereiche, wie den koordinativen Fähigkeiten oder den Krafftähigkeiten existieren zahlreiche motorische Testverfahren. Da es sich bei den koordinativen Fähigkeiten um sehr komplexe Fähigkeits-Konstrukte handelt, die niemals einzeln auftreten und zudem nicht direkt gemessen werden können, bieten sich zur Erfassung und Beurteilung des koordinativen Fähigkeitsniveaus komplexe sportmotorische Testsysteme, wie der Bewegungskoordinationstest (BKT), das Diagnostische Inventar motorischer Basiskompetenzen (DMB) oder auch der Körperkoordinationstest für Kinder (KTK) an (Bös *et al.*, 2001b). Letzterer kam im Rahmen der vorliegenden Studie zur Anwendung und wird im Abschnitt 2.4.4 ausführlich erläutert.

In Bezug auf die Erfassung der Krafftähigkeiten von Kindern und Jugendlichen hat sich im Rahmen von gesundheits- und sportmedizinischen Untersuchungen der Einsatz der Handdynamometrie zur Ermittlung der isometrischen Maximalkraft etabliert. Mit Hilfe der über die Handdynamometrie gemessenen Kraftwerte kann außerdem auf den Gesundheitsstatus der getesteten Personen geschlossen werden (Bohannon, 2015; Rauch *et al.*, 2002; Rüth *et al.*, 2004). In der Regel werden zwei bis drei Versuche pro Hand durchgeführt und der maximal erzielte Kraftwert als Maß für die isometrische Handkraft gewählt. Die Handhabung des Handdynamometers ist relativ unkompliziert, zuverlässig sowie wenig fehleranfällig. Die Testdurchführung ist außerdem ohne verstärkten personellen und Kostenaufwand möglich. Für eine detaillierte Beschreibung der isometrischen Handkraftmessung mittels Handdynamometer im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wird auf Abschnitt 2.4.3 verwiesen. Neben der gerätegestützten isometrischen Messung der maximalen Krafftähigkeiten kommen seltener auch weniger standardisierte motorische Körperübungen zum Einsatz, bei denen vorrangig das eigene Körpergewicht überwunden oder gegen die eigene Schwerkraft gearbeitet werden muss (Evaristo *et al.*, 2019; Smith *et al.*, 2014). Hierzu zählen unter anderem Sprungkrafttests, wie der Standweitsprung oder Strecksprung, sowie einfache Rumpf- und Armkrafttests, wie Sit-ups, Klimmzüge oder auch Liegestütze.

### 1.3.5 Körperliche Leistungsfähigkeit nierentransplantierter Kinder und Jugendlicher

In den vergangenen 25 Jahren war die körperliche Leistungsfähigkeit nierentransplantierter Patienten nur relativ selten Gegenstand internationaler klinischer und sportwissenschaftlicher Forschung. Insbesondere im Bereich der Kinder und Jugendlichen variiert die Studienlage hinsichtlich der Studiendesigns, der angewendeten Testverfahren, der erhobenen Parameter sowie der Stichprobenumfänge. Aufgrund der vergleichsweise geringen Prävalenz der chronischen Nierenerkrankung im Kindes- und Jugendalter und der Tatsache, dass beispielsweise in Deutschland jährlich etwa 120 Kinder und Jugendliche unterschiedlichen Alters nierentransplantiert werden, sind großangelegte, multizentrische Studien zur körperlichen Leistungsfähigkeit nierentransplantierter Kinder und Jugendlicher mit großen Stichprobenumfängen selten. Die, nach derzeitigem Kenntnisstand, bisher einzige deutsche Studie, die sich der körperlichen Leistungsfähigkeit nierentransplantierter Kinder und Jugendlicher gewidmet hat, wurde bereits 1994 publiziert. Krull et al. (1994) untersuchten 70 Kinder und Jugendliche im Alter von 7,9 – 25,9 Jahren, deren Nierentransplantation im Mittel 3,6 Jahre zurücklag. Die Autoren berichteten, dass die mit Hilfe einer Spiroergometrie auf dem Fahrrad ermittelte maximale Leistung in Watt pro Kilogramm Körpergewicht sowie die relative maximale Sauerstoffaufnahme der nierentransplantierten Patienten im Vergleich zu gesunden Referenzpopulationen aus den 1970er bzw. 1990er Jahren signifikant reduziert waren. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch zwei kontrollierte US-amerikanische Studien, die ebenfalls mittels Fahrrad-Spiroergometrie die körperliche Leistungsfähigkeit nierentransplantierter Kinder und Jugendlicher im Vergleich zu gesunden Gleichaltrigen untersuchten (Sethna et al., 2009; Weaver et al., 2008). Während Sethna et al. (2009) für die transplantierten Patienten lediglich signifikante Einschränkungen in der absoluten maximalen Sauerstoffaufnahme feststellen konnten, berichteten Weaver et al. (2008) außerdem signifikante Einschränkungen in der maximalen Sauerstoffaufnahme pro Kilogramm Körpergewicht sowohl im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe als auch zu chronisch niereninsuffizienten Kindern und Jugendlichen. Eine andere, ebenfalls amerikanische Arbeitsgruppe untersuchte die körperliche Leistungsfähigkeit niereninsuffizienter, dialysepflichtiger und nierentransplantierter Kinder und Jugendlicher mit Hilfe des 6-Minuten-Gehtests (Akber et al., 2012). Auch in dieser Studie zeigte sich eine reduzierte Leistungsfähigkeit der Patienten im Vergleich zu alters- und geschlechtsspezifischen

Referenzen gesunder Kinder und Jugendlicher. Die niereninsuffizienten, dialysepflichtigen und nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen gingen innerhalb der 6 Minuten eine deutlich geringere Strecke, wobei die Jungen im Mittel noch 15% weiter liefen als die Mädchen.

Zusätzlich zur Spiroergometrie auf dem Fahrrad haben Clark et al. (2012) zur Erfassung der körperlichen Leistungsfähigkeit nierentransplantierte Kinder und Jugendlicher eine in Nordamerika gängige Testbatterie namens *FITNESSGRAM* angewendet. Diese beinhaltet verschiedene gesundheitsrelevante Tests, die Aufschluss über die kardiopulmonale Fitness, Kraft, Kraftausdauer und Beweglichkeit von Kindern und Jugendlichen geben. Auch in Bezug auf diesen Test zeigte sich eine reduzierte Leistungsfähigkeit der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen. Während im Bereich des Ausdauerlaufs lediglich 21% der Patienten die sogenannte *Healthy Fitness Zone (HFZ)* erreichten, konnte etwa die Hälfte der untersuchten Kinder und Jugendlichen (46%) diese Zone im Bereich der Kraftausdauer erlangen. Im Gegensatz zu dieser Studie erreichten in einer früheren Untersuchung nierentransplantierte Kinder und Jugendlicher mit dem gleichen Test lediglich einer von 25 (4%) nierentransplantierten Patienten die HFZ für Ausdauer und 9 von 25 (36%) die HFZ für die Kraftausdauer (Painter et al., 2007). Damit erzielten die Nierentransplantierten jedoch noch geringfügig bessere Werte, als die 15 ebenfalls untersuchten dialysepflichtigen Kinder und Jugendlichen. Ergänzend konnten Painter et al. (2007) mit Hilfe einer Laufband-Spiroergometrie zeigen, dass sich die maximale Sauerstoffaufnahme nach einer Nierentransplantation im Vergleich zu davor leicht verbessert, auch wenn die erreichten relativen Werte von 33,9 ml/kg/min noch deutlich niedriger waren, als bei gesunden Vergleichspopulationen. Vergleichbare Messergebnisse aus Laufband-Spiroergometrien publizierte auch eine norwegische Arbeitsgruppe um Trine Tangeraas (Tangeraas et al., 2010). In einer weiteren Studie konnte die gleiche Arbeitsgruppe zeigen, dass bei unzureichender körperlicher Aktivität auch noch 14,5 Jahre nach erfolgreicher Nierentransplantation im Kindes- und Jugendalter eine reduzierte Leistungsfähigkeit, gemessen an der maximalen Sauerstoffaufnahme, vorliegt (Tangeraas et al., 2011). Durch frühzeitige körperliche Aktivierung nach Nierentransplantation im Kindes- und Jugendalter, beispielsweise durch regelmäßige Physiotherapie und gezielte Schulung der Patienten und ihrer Sorgeberechtigten in Bezug auf die positiven Effekte körperlicher Aktivität für das Langzeit-Outcome, kann die körperliche Leistungsfähigkeit nierentransplantierte Kinder und Jugendlicher effektiv gesteigert werden (Thorsteinsdottir et al., 2018). Bereits 3 bis 5 Stunden zusätzliche

körperlicher Aktivität pro Woche könnten nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen zu einer verbesserten Leistungsfähigkeit verhelfen, welche vergleichbar mit der Leistungsfähigkeit gesunder Gleichaltriger mit sitzendem Lebensstil ist (Lubrano *et al.*, 2012).

In Bezug auf die maximale Handkraft nierentransplantierte Kinder und Jugendlicher konnten zwei deutsche Arbeitsgruppen zeigen, dass die mittels Handdynamometer gemessene maximale isometrische Kraft der nicht-dominanten Hand im Verhältnis zum kalendarischen Alter gegenüber gesunden gleichaltrigen Kindern und Jugendlichen signifikant reduziert ist (Rauch *et al.*, 2002; Rütth *et al.*, 2004). Allerdings berichteten beide Arbeitsgruppen keine Differenzen zu gesunden Vergleichspopulationen, wenn die gemessenen Kraftwerte auf die Körpergröße der Probanden relativiert wurden. Entscheidend scheint hierbei der Einfluss der, typischerweise geringeren, Körpergröße nierentransplantierte Kinder und Jugendlicher zu sein.

Trotz häufig veralteter oder fehlender Vergleichswerte, kleiner oder fehlender Kontrollgruppen sowie heterogener und geringer Stichproben, konnten alle Studien der vergangenen 25 Jahre, die sich mit der körperlichen Leistungsfähigkeit nierentransplantierte Kinder und Jugendlicher beschäftigt haben, eine deutlich reduzierte körperliche Leistungsfähigkeit dieser Patienten nachweisen. Dabei lag das Hauptaugenmerk auf der Beurteilung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit, wobei zumindest ansatzweise auch die Krafftfähigkeiten sowie die Beweglichkeit in den Fokus rückten. Zu den koordinativen Fähigkeiten nierentransplantierte Kinder und Jugendlicher liegen, nach derzeitigem Kenntnisstand, bisher keine Studien vor.

#### **1.4 Videospielbasierte Aktivitätsprogramme zur Steigerung der körperlichen Aktivität und Leistungsfähigkeit**

Unter videospieldbasierten Aktivitäten bzw. Aktivitätsprogrammen wird, vereinfacht betrachtet, die Kombination aus Bewegungsaktivität und Computer- bzw. Videospielden zusammengefasst. Nach Best (2013, S. 72) handelt es sich dabei um „*a relatively new generation of gaming in which the gamer's gross motor movements replace the traditional button presses of sedentary gaming*“. Demnach werden zur Steuerung der Spielfiguren und Handlungen Körperbewegungen eingesetzt, wodurch der Spieler zu körperlicher Aktivität animiert wird. Im englischen Sprachraum werden diese Arten von Spielden unter den Begrifflichkeiten *Exergames*, *Exergaming* oder auch *Active Video Gaming*

zusammengefasst. *Exergaming* stellt diesbezüglich ein sogenanntes Kofferwort aus den Begriffen *exercise* und *gaming* dar (Best, 2013), also handelt es sich frei übersetzt um ein Bewegungsspiel. Im Deutschen wird der Begriff Bewegungsspiel jedoch nicht automatisch mit der Verwendung von Videospiele assoziiert, sondern insbesondere im sportwissenschaftlichen Setting mit allgemeinen kleinen und großen Sportspielen in Verbindung gebracht, die körperliche Betätigung erfordern. Ergänzend wird die häufig synonym verwendete Wortschöpfung *Active Video Games/-ing* von Gao et al. (2015, S. 783) relativ allgemein als „*video games that are also a form of exercise*“ beschrieben. Bereits seit den 1980er Jahren existieren verschiedene Formen von *Exergames* oder *Active Video Games*. Aufgrund der anfangs enormen Kosten sowie noch unzureichender Schnittstellen und Funktionalität dieser Geräte, folgten der Aufschwung sowie die Etablierung von *Active Video Games* erst mit dem Ende der 1990er bzw. dem Beginn der 2000er Jahre (Best, 2013). Vor allem in den vergangenen 10 Jahren hat sich der Einsatz von *Exergames* bzw. *Active Video Games* neben der privaten Freizeitgestaltung auch in den Forschungsfeldern der Gesundheitswissenschaften, der Sportwissenschaften sowie in klinischen Settings enorm gesteigert. Erhielt man bei PubMed im Jahre 2009 beispielsweise unter den Stichworten *Exergame*, *Exergames* oder *Exergaming* noch weniger als fünf Treffer, so wurden unter Verwendung dieser Begrifflichkeiten in den Jahren 2017 und 2018 insgesamt mehr als 100 wissenschaftliche Artikel publiziert. Diese rasante Entwicklung in den vergangenen Jahren lässt sich einerseits auf den Fortschritt im computer-technologischen Bereich zurückführen, andererseits spielen aber auch die zunehmend verringerte Alltagsaktivität sowie die gesteigerte Nutzung von medialen Endgeräten, wie Smartphones, Tablets oder Computerspielen eine wesentliche Rolle in der Weiterentwicklung und dem Einsatz von *Exergames*.

Aus verschiedenen Übersichtsartikeln, die sich mit dem Einsatz und den Effekten von *Exergames* bzw. *Active Video Games* bei gesunden sowie übergewichtigen und adipösen Kindern und Jugendlichen befasst haben (Benzing und Schmidt, 2018; Gao et al., 2015; Lamboglia et al., 2013), geht hervor, dass videospielbasierte Aktivitätsprogramme relativ unkompliziert in verschiedenen Settings (z.B. zu Hause, Schule, Trainingszentren, Kliniken, Reha-Einrichtungen usw.) eingesetzt werden können und darüber hinaus diverse gesundheitsförderliche Effekte mit sich bringen. So können mit Hilfe von *Active Video Games* unter anderem die körperliche Aktivität über eine verbesserte Motivation und Freude an der Bewegung (Benzing und Schmidt, 2018), der aktive Energieverbrauch oder auch die maximale Sauerstoffaufnahme effektiv gesteigert und die Sitzzei-

ten sowie der passive Medienkonsum reduziert werden (Lamboglia *et al.*, 2013). Der Energieverbrauch während videospielbasierter Aktivitäten ist, in Abhängigkeit von der gewählten Übung oder Bewegungsform, vergleichbar zum Gehen mit moderater Intensität (Graf *et al.*, 2009). Allerdings scheinen bei adipösen Kindern und Jugendlichen in der Ausführung der Videospiel-Aktivitäten Unterschiede gegenüber gesunden Gleichaltrigen zu bestehen, was sich unter anderem in einem reduzierten Energieverbrauch während der Übungsphase äußert (O'Donovan *et al.*, 2014b). In Untersuchungen, bei denen übergewichtige und adipöse Kinder und Jugendlichen über 10 Wochen einmal wöchentlich jeweils eine Stunde in einem Freizeitzentrum unter Anleitung von Medizinstudenten (Christison und Khan, 2012) bzw. über 24 Wochen drei Mal wöchentlich im häuslichen Setting trainierten (Staiano *et al.*, 2018), konnte dennoch gezeigt werden, dass regelmäßige Aktivität mit Hilfe von *Exergames* positive Auswirkungen auf den BMI, die kardiometabolische Gesundheit und den Umfang körperlicher Aktivität pro Woche im Vergleich zu sitzenden Tätigkeiten haben kann. Auch für Kinder und Jugendliche mit entwicklungsbedingten Koordinationsstörungen (Hammond *et al.*, 2014; Smits-Engelsman *et al.*, 2017) sowie motorischen Defiziten (Mombarg *et al.*, 2013) wurden nach vier- bis sechswöchigen Trainingsinterventionen mittels Wii Balance Boards (Nintendo®) signifikante Verbesserungen in den motorischen sowie den koordinativen Fähigkeiten, insbesondere der Balance, nachgewiesen. In Bezug auf eine potentielle Steigerung der alltäglichen körperlichen Aktivität sowie einer Reduzierung der Sitzzeiten von Kindern mit entwicklungsbedingten Koordinationsstörungen, konnte eine 16-wöchige häusliche Intervention unter Einsatz von *Exergames* jedoch keine Effekte erzielen (Howie *et al.*, 2016). Dass auch nierentransplantierte Patienten von einem 8-wöchigen videospielbasierten Aktivitätstraining profitieren können, zeigten Wang *et al.* (2014), die eine signifikante Verbesserung im 6-Minuten-Gehtest bei neun Erwachsenen nach Nierentransplantation feststellen konnten. Inwiefern sich vergleichbare Effekte von videospielbasierten Aktivitätsprogrammen in Bezug auf die körperliche Aktivität, Leistungsfähigkeit oder auch die koordinativen Fähigkeiten von nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen feststellen lassen, wurde bisher nicht untersucht. Aus diesem Grund sollen im Rahmen der vorliegenden Dissertationsschrift potentielle Effekte eines videospielbasierten Aktivitätsprogramms auf die körperliche Leistungsfähigkeit, Aktivität und Lebensqualität nierentransplantierter Kinder und Jugendlicher überprüft werden.

## 1.5 Fragestellungen und Hypothesen

Im Rahmen des vorliegenden Dissertationsprojektes sollte bei nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen der Einsatz eines videospielbasierten Aktivitätsprogramms im häuslichen Umfeld als Möglichkeit zur nachhaltigen Steigerung der körperlichen Leistungsfähigkeit und darüber hinaus zur Verbesserung der koordinativen Fähigkeiten, der maximalen Handkraft sowie der gesundheitsbezogenen Lebensqualität und der alltäglichen körperlichen Aktivität überprüft werden. Des Weiteren sollten in Ermangelung zuverlässiger Norm- bzw. Vergleichswerte die körperliche Leistungsfähigkeit, die koordinativen Fähigkeiten, die maximale Handkraft, die gesundheitsbezogene Lebensqualität sowie die alltägliche körperliche Aktivität der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen mit den Werten einer gesunden Kontrollgruppe verglichen werden. Diese wurde im 2:1-Prinzip anhand des Geschlechts, der pubertären Entwicklung, der regelmäßigen körperlichen Aktivität sowie der besuchten Schulform zu den bereits rekrutierten nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen gematcht. Aus diesen Zielstellungen ergaben sich folgende Fragestellungen für das vorliegende Dissertationsprojekt:

### Hauptfragestellung

- ❖ Kann die maximale Sauerstoffaufnahme und damit die maximale Leistungsfähigkeit bei nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen durch den Einsatz eines häuslichen Bewegungsprogramms mit Hilfe der Nintendo®-Spielekonsole Wii verbessert werden?

### Nebenfragestellungen

- ❖ Führt der Einsatz des häuslichen videospielbasierten Bewegungsprogramms bei nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen zur Steigerung der maximalen Handkraft?
- ❖ Führt der Einsatz des häuslichen videospielbasierten Bewegungsprogramms bei nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen zur Steigerung der koordinativen Fähigkeiten?

- ❖ Führt der Einsatz des häuslichen videospiegelbasierten Bewegungsprogramms bei nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen zur Verbesserung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität?
- ❖ Führt der Einsatz des häuslichen videospiegelbasierten Bewegungsprogramms bei nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen zur Steigerung der alltäglichen körperlichen Aktivität?
- ❖ Können durch den Einsatz des häuslichen videobasierten Bewegungsprogramms die alltägliche körperliche Aktivität sowie die körperliche Leistungsfähigkeit nierentransplantierte Kinder und Jugendlicher nachhaltig gesteigert werden?

### **Weitere Fragestellungen**

- ❖ Unterscheiden sich nierentransplantierte Kinder und Jugendliche bezüglich der maximalen Sauerstoffaufnahme sowie der maximalen Leistungsfähigkeit von gesunden gleichaltrigen Kindern und Jugendlichen mit vergleichbarem Aktivitätsverhalten?
- ❖ Unterscheiden sich nierentransplantierte Kinder und Jugendliche hinsichtlich der alltäglichen körperlichen Aktivität, der koordinativen Fähigkeiten, der maximalen Handkraft sowie der gesundheitsbezogenen Lebensqualität von gesunden gleichaltrigen Kindern und Jugendlichen mit vergleichbarem Aktivitätsverhalten?

Folgende Hypothesen (H) sollten überprüft werden:

### **Haupt-Hypothese**

- H1) Die Steigerung der körperlichen Aktivität unter Einsatz eines videospiegelbasierten Aktivitätsprogramms führt zu einer Steigerung der maximalen Sauerstoffaufnahme und damit zu einer Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit bei nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen.

## **Neben-Hypothesen**

- H2) Die Maximalkraft (gemessen mittels Handdynamometer) kann durch die regelmäßige körperliche Aktivität gesteigert werden.
- H3) Die koordinativen Fähigkeiten (gemessen über den Körper-Koordinationstest für Kinder (KTK)) werden durch das videospiegelbasierte häusliche Sportprogramm verbessert.
- H4) Die Steigerung der körperlichen Aktivität im Verlauf der Studie verbessert die mittels standardisiertem Messverfahren (PedsQL™ 4.0) gemessene gesundheitsbezogene Lebensqualität im Vergleich zu der gesundheitsbezogenen Lebensqualität vor Beginn der Intervention.
- H5) Die alltägliche körperliche Aktivität (gemessen über die Schrittzahl pro Stunde) nierentransplantierter Kinder und Jugendlicher wird durch die Teilnahme an der Bewegungsintervention gesteigert.
- H6) Die alltägliche körperliche Aktivität sowie die körperliche Leistungsfähigkeit nierentransplantierter Kinder und Jugendlicher werden durch den Einsatz des häuslichen videobasierten Bewegungsprogramms nachhaltig gesteigert.

## **Weitere Hypothesen**

- H7) Die maximale Sauerstoffaufnahme sowie die maximale Leistungsfähigkeit nierentransplantierter Kinder und Jugendlicher sind geringer als bei gesunden Gleichaltrigen mit vergleichbarem Aktivitätsverhalten.
- H8) Die alltägliche körperliche Aktivität, die koordinativen Fähigkeiten, die maximale Handkraft sowie die gesundheitsbezogene Lebensqualität nierentransplantierter Kinder und Jugendlicher sind geringer als bei gesunden Gleichaltrigen mit vergleichbarem Aktivitätsverhalten.

Die Haupt- und Nebenzielvariablen ergeben sich aus den zuvor formulierten Fragestellungen und Hypothesen und werden wie folgt definiert:

**Hauptzielvariable:**

- $\dot{V}O_{2peak}$ /kg Körpergewicht vor (T1/T2) und nach Intervention (T3)

**Nebenzielvariablen:**

- Leistungsfähigkeit in Watt/kg
- Maximale Handkraft in kg
- MQ-Gesamt im Körperkoordinationstest (KTK)
- Lebensqualität Gesamt-Score (T1 zu T3)

**Weitere Nebenzielvariablen:**

- Ventilatorische Schwellen (VT1 & VT2)
- Atemminutenvolumen ( $\dot{V}E_{peak}$ )
- Respiratorischer Quotient ( $RQ_{peak}$ ) als Ausbelastungskriterium
- Veränderung der maximalen Leistungsfähigkeit in %
- $HF_{peak}$  und HF an den Schwellen
- KTK: MQ 1 bis 4
- Lebensqualität: Einzel-Items (physische, emotionale, schulische und soziale Funktionsfähigkeit)
- SenseWear<sup>®</sup>-Messung: Anzahl der Schritte/h über die Wachzeit (mind. 12 h) an mind. zwei aufeinanderfolgenden Tagen

## 2 Methodik

### 2.1 Studiendesign

Die vorliegende kontrollierte, prospektive, monozentrische Interventionsstudie wurde am Universitätsklinikum Heidelberg von der Abteilung Sportmedizin des Zentrums für Innere Medizin in Kooperation mit der kindernephrologischen Ambulanz des Zentrums für Kinder- und Jugendmedizin sowie dem Institut für Sport und Sportwissenschaft der Universität Heidelberg durchgeführt. Die Patientenrekrutierung erfolgte über die Transplantationsambulanz des Zentrums für Kinder- und Jugendmedizin in Abstimmung mit den dort arbeitenden Kinderkrankenschwestern und Ärzten/-innen. Aufgrund des großen Einzugsbereiches dieser Ambulanz und der teilweise sehr weiten Anfahrtswege der Patienten/-innen, wurden die für die Studie notwendigen Untersuchungen im Rahmen der routinemäßigen Vorstellungen in der kindernephrologischen Ambulanz durchgeführt.

Die Rekrutierung einer gesunden Kontrollgruppe erfolgte über Schulen im Raum Heidelberg und dem nahegelegenen Umland, wobei von insgesamt 41 angefragten Schulen lediglich 23 mit der Ausgabe von Informationsschreiben (Anhang A) zur vorliegenden Studie einverstanden waren. Elf Schulen stimmten einer entsprechenden Probandensuche nicht zu und sieben weitere Schulen meldeten sich auch auf mehrmalige telefonische und schriftliche Anfrage nicht zurück (Tab. 2).

Tab. 2. Übersicht über kontaktierte Schulen und deren Rückmeldungen

Schulart	N	Zusage	Absage	Keine Rückmeldung
Grundschulen	15	5	7	3
Gemeinschaftsschulen	4	3	1	0
Realschulen	7	5	0	2
Gymnasien	5	1	2	2
Berufsschulen	4	3	1	0
Sonderschulen	6	6	0	0
<b>Gesamt</b>	<b>41</b>	<b>23</b>	<b>11</b>	<b>7</b>

Alle studienrelevanten Untersuchungen fanden unter Aufsicht einer Sportwissenschaftlerin und eines/ einer Sportmediziners/-in in den Räumen der Abteilung Sportmedizin,

Innere Medizin VII der Medizinischen Klinik (Im Neuenheimer Feld 410, 69120 Heidelberg) statt.

Die vorliegende Studie wurde in Übereinstimmung mit der Deklaration von Helsinki (2013) durchgeführt. Das Studienprotokoll wurde am 16. Februar 2015 durch die Ethikkommission der Medizinischen Fakultät Heidelberg unter dem Aktenzeichen S-043/2015 angenommen. Eine nachträgliche Ergänzung des Studienprotokolls um die gesunde Kontrollgruppe wurde im Frühjahr 2016 ebenfalls durch die Ethikkommission der Medizinischen Fakultät Heidelberg genehmigt.

### *2.1.1 Einschlusskriterien*

Zu den für die vorliegende Studie relevanten Einschlusskriterien zählten:

- Kinder und Jugendliche mit einer Nierentransplantation, welche  $\geq 3$  Monate zurücklag
- Alter  $\geq 8$  und  $\leq 21$  Jahre
- Schriftliche Einverständniserklärung eines Sorgeberechtigten sowie des/der Studienteilnehmers/-in; bei volljährigen Studienteilnehmern/-innen war die persönliche schriftliche Einverständniserklärung ausreichend

### *2.1.2 Ausschlusskriterien*

Zu den für die vorliegende Studie relevanten Ausschlusskriterien zählten:

- Notwendigkeit einer Nierenersatztherapie in Form einer Häm- oder Peritonealdialyse
- Höhergradige Herz-Kreislaufkrankungen (z.B. hämodynamisch relevante Klappenventilien, höhergradige Herzrhythmusstörungen), die eine gesteigerte körperliche Aktivität nicht erlauben hätten
- Höhergradige Einschränkungen des muskuloskeletalen Bewegungsapparates bzw. neurologische Auffälligkeiten (inkl. cerebraler Anfallsleiden), die eine gesteigerte körperliche Aktivität nicht erlauben hätten

## 2.2 Studienteilnehmer/-innen

### 2.2.1 Nierentransplantierte Kinder und Jugendliche

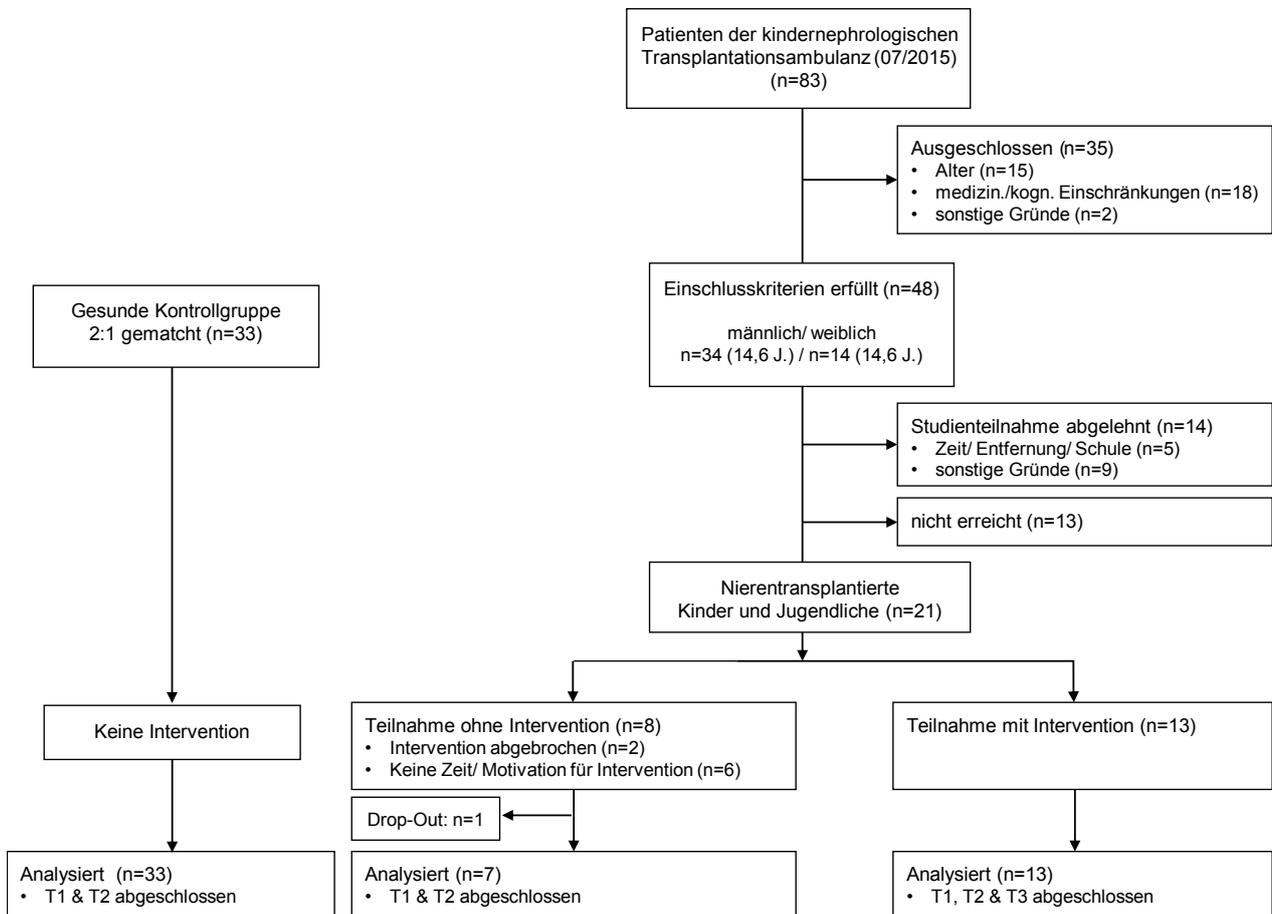


Abb. 3: Schematische Darstellung der Rekrutierung und Analyse der nierentransplantierten und gesunden Kinder und Jugendlichen

Zu Beginn der vorliegenden Studie (Juli 2015), wurden 83 nierentransplantierte Kinder und Jugendliche in der kindernephrologischen Ambulanz betreut. Unter Beachtung der Einschlusskriterien (Alter  $\geq 8$  und  $\leq 21$  Jahre, keine Hämö- oder Peritonealdialyse, keine medizinischen und/oder kognitiven Beeinträchtigungen) kamen von diesen insgesamt 48 nierentransplantierte Kinder und Jugendliche als Studienteilnehmer/-innen in Frage. 14 nierentransplantierte Kinder und Jugendliche lehnten aufgrund unzureichender zeitlicher Verfügbarkeit, zu großer Entfernung zum Wohnort, zusätzlicher Fehlzeiten in der Schule oder anderen Gründen eine Teilnahme an der Studie ab. Weitere 13 Kinder und Jugendliche konnten von der Studienleitung nicht erreicht und damit zu einer potenziellen Studienteilnahme nicht befragt werden, sodass sich zunächst 21 nierentransplantierte Kinder und Jugendliche im Alter von 8 bis 19 Jahren bereit erklärten, an der vor-

liegenden Studie teilzunehmen. Ein nierentransplantiertes Mädchen erschien lediglich zum ersten Messzeitpunkt und wurde daraufhin von weiteren Analysen ausgeschlossen (Abb. 3).

Die 20 nierentransplantierten Studienteilnehmer/-innen waren sehr gut mit den 48 potentiellen Studienkandidaten/-innen vergleichbar (Tab. 3). Der prozentuale Anteil nierentransplantierte Jungen lag mit 80% etwa 9% über dem des Gesamtkollektives und die Studienteilnehmer/-innen waren rund ein Jahr jünger. In Bezug auf den BMI und die Transplantatfunktion, beurteilt anhand der berechneten glomerulären Filtrationsrate (eGFR), unterschieden sich die zwei Gruppen im Mittel unwesentlich. Die Zeit nach Transplantation war bei den 20 Studienteilnehmern/-innen mit  $53,9 \pm 51,4$  Monaten signifikant geringer als bei dem beschriebenen Gesamtkollektiv ( $83,2 \pm 50,2$  Monate).

Tab. 3: Vergleichende Beschreibung der Repräsentativität der nierentransplantierten Stichprobe zum Gesamtkollektiv

		Potentiell geeignetes Gesamtkollektiv	Nierentransplantierte Kinder & Jugendliche (T1)	P		
<b>N (%)</b>	gesamt	48	20	0,435		
	männlich	34 (70,8 %)	16 (80 %)			
	weiblich	14 (29,2 %)	4 (20 %)			
		N	MW $\pm$ SD	N	MW $\pm$ SD	P
<b>Alter (Jahre)</b>	gesamt	48	14,6 $\pm$ 3,4	20	13,5 $\pm$ 3,4	0,219
	männlich	34	14,6 $\pm$ 3,5	16	13,6 $\pm$ 3,4	
	weiblich	14	14,6 $\pm$ 3,3	4	12,8 $\pm$ 4,0	
<b>BMI (kg/m<sup>2</sup>)</b>	gesamt	48	21,3 $\pm$ 3,9	20	21,8 $\pm$ 4,8	0,635
	männlich	34	21,3 $\pm$ 4,1	16	21,3 $\pm$ 4,4	
	weiblich	14	21,2 $\pm$ 3,8	4	24,0 $\pm$ 6,2	
<b>eGFR<sup>1)</sup> [ml/min/1,73m<sup>2</sup>]</b>	gesamt	48	60,4 $\pm$ 24,5	20	63,1 $\pm$ 27,5	0,691
	männlich	34	59,6 $\pm$ 25,8	16	61,1 $\pm$ 27,6	
	weiblich	14	62,2 $\pm$ 21,8	4	70,9 $\pm$ 29,3	
<b>Zeit nach Tx (Monate)</b>	gesamt	48	83,2 $\pm$ 50,2	20	53,9 $\pm$ 51,4	0,018*
	männlich	34	83,7 $\pm$ 49,9	16	59,3 $\pm$ 55,2	
	weiblich	14	81,9 $\pm$ 53	4	32,3 $\pm$ 27,3	

<sup>1)</sup> eGFR berechnet nach Schwartz et al. (2009) mit einheitlichem Korrekturfaktor 0,413 ( $0,413 \cdot (\text{Länge [cm]}/\text{SCr [mg/dl]})$ ) für alle Patienten/-innen  $\leq 18$  Jahre; für Patienten/-innen  $> 18$  Jahre wurde die CKD-EPI-Formel verwendet (letzter Zugriff am 08. April 2020 unter <http://nierenrechner.de/index.php?page=egfr-ckd-rechner>)

Lediglich 13 (9 männlich, 4 weiblich) der 20 nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen erklärten sich zusätzlich bereit, die Interventionsphase mit der Nintendo<sup>®</sup>-

Spielekonsole Wii zu absolvieren. Die übrigen nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen gaben einen zu erwartenden zusätzlichen Zeitaufwand sowie fehlende Motivation (N = 5) als Gründe für die Ablehnung der Intervention an oder brachen die Wii-Phase vorzeitig ab (N = 2).

### 2.2.2 Gesunde Kontrollgruppe

Für die Rekrutierung einer gesunden Kontrollgruppe wurden die bereits erhobenen Daten der 20 nierentransplantierten Studienteilnehmer/-innen als Matching-Kriterien zu Grunde gelegt. Mit Hilfe der Angaben zum Geschlecht, des Pubertätsstatus, der besuchten Schulform sowie dem Umfang an regelmäßiger körperlicher Aktivität pro Woche wurde versucht, für jede/n nierentransplantierte/n Patienten/-in zwei gesunde vergleichbare Kinder oder Jugendliche zu finden. Insgesamt konnten anhand dieser Kriterien 33 Kinder und Jugendliche umliegender Schulen als gesunde Vergleichsstichprobe in die Studie eingeschlossen werden, wobei für einen Patienten kein und für sechs Patienten/-innen jeweils nur ein passender Matching-Partner gefunden werden konnte.

Die Verteilung der nierentransplantierten (TX) sowie gesunden (KO) Studienteilnehmer/-innen in Bezug auf die vier Matching-Kriterien kann Tab. 4 entnommen werden. Die Subgruppen-Unterteilung in Bezug auf den Umfang an körperlicher Aktivität wurde anhand von Informationen zur regelmäßigen körperlichen und sportlichen Betätigung der Studienteilnehmer/-innen vorgenommen. Aufgrund der diesbezüglichen Angaben durch die Studienteilnehmer/-innen und/oder ihre Sorgeberechtigten konnten die folgenden drei Subgruppen identifiziert werden:

- (i) *keine* körperliche Aktivität neben der Teilnahme am Schulsport
- (ii) *geringe* körperliche Aktivität, d.h. 1x/Woche regelmäßige oder gelegentliche körperliche Betätigung
- (iii) *moderate* körperliche Aktivität, d.h. mind. 2x/Woche regelmäßige Aktivität

Obwohl nicht für alle nierentransplantierte Kinder und Jugendliche zwei geeignete Matching-Partner gefunden werden konnten, war eine sehr gute Vergleichbarkeit der beiden Gruppen gegeben. In Bezug auf das Geschlecht, den Pubertätsstatus, die besuchte Schulform sowie den Umfang an körperlicher Aktivität bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen den nierentransplantierten und gesunden Studienteilnehmern/-innen, sodass Gruppenvergleiche bezüglich der erhobenen leistungsphysiologischen und sportmotorischen Parameter sehr gut möglich sind (Tab. 4).

Tab. 4: Vergleich aller nierentransplantierte (TX; N = 20) sowie gesunder Studienteilnehmer/-innen (KO; N = 33) anhand der verwendeten Matching-Kriterien Geschlecht, Pubertät, körperliche Aktivität & besuchte Schulform

		TX		KO		P
		N	[%]	N	[%]	
<b>Geschlecht</b>	männlich	16	80	25	75,8	0,721
	weiblich	4	20	8	24,2	
<b>Pubertät</b>	präpubertär	4	20	11	33,3	0,572
	pubertär	12	60	17	51,5	
	postpubertär	4	20	5	15,2	
<b>Körperliche Aktivität</b>	keine	10	50	15	45,5	0,894
	geringe	6	30	12	36,4	
	moderate	4	20	6	18,2	
<b>Schule</b>	Grundschule	4	20	9	27,3	0,800
	Realschule	7	35	11	33,3	
	Gymnasium	2	10	5	15,2	
	Sonderschule	4	20	3	9,1	
	Berufsschule	3	15	5	15,2	

## 2.3 Studienablauf

Die vorliegende Studie unterteilte sich in drei Phasen mit insgesamt vier Messzeitpunkten. Die Beobachtungsphase diente der Erhebung der Basisdaten sowie der Erfassung der körperlichen Aktivität im Alltag. Anschließend folgte für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen eine Interventionsphase (Wii-Phase) sowie eine abschließende Nachbeobachtungsphase (Abb. 4). Zu Beginn der Beobachtungsphase sowie direkt vor und nach der Intervention erfolgten Messungen zur körperlichen Leistungsfähigkeit, Aktivität und gesundheitsbezogenen Lebensqualität, welche im Abschnitt 2.4 detailliert beschrieben werden. Da in Bezug auf die angewendeten Messverfahren Gewöhnungseffekte zu erwarten waren, absolvierten alle Studienteilnehmer/-innen die Eingangsuntersuchungen zwei Mal (T1 & T2). In Abhängigkeit von den Untersuchungsterminen in der kindernephrologischen Ambulanz wurden sechs bis zwölf Monate nach Abschluss der Intervention, d.h. im Anschluss an die Nachbeobachtungsphase (T4), alle Messungen erneut durchgeführt, um die nachhaltige Integration einer gesteigerten körperlichen Aktivität sowie potenzielle dauerhafte Effekte der Trainingsintervention zu überprüfen.

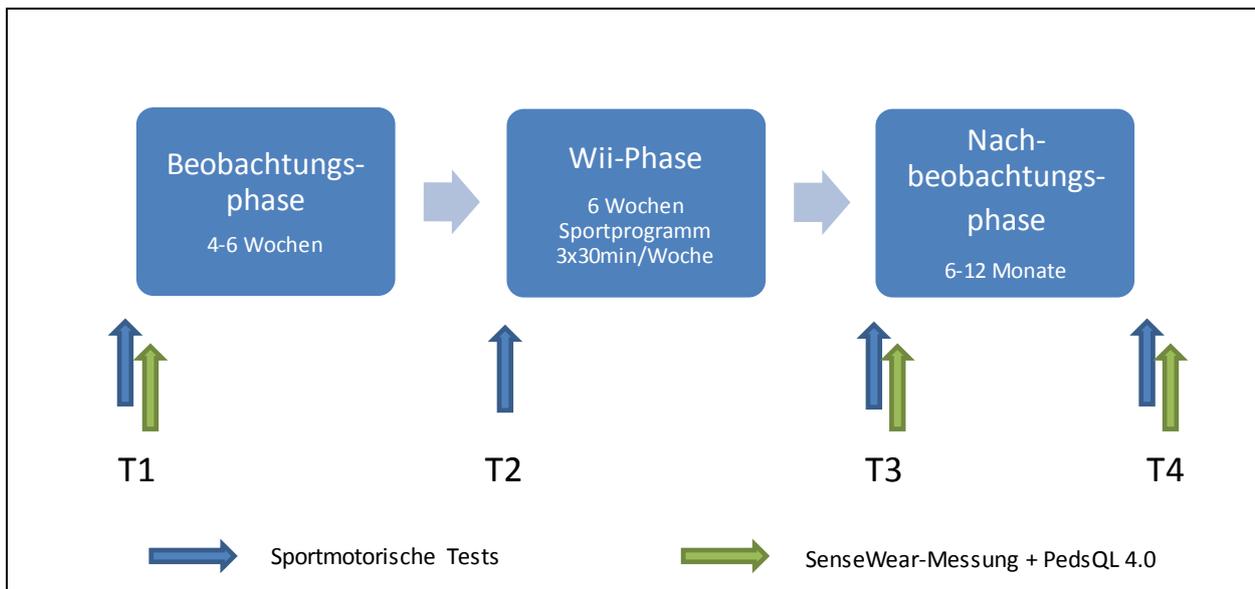


Abb. 4: Schematische Darstellung des Studienablaufs für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen

Aufgrund der hohen Belastung der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen durch zahlreiche Routine-Vorstellungstermine in der Transplantationsambulanz sowie teilweise sehr weite Anfahrtswege wurden die Messzeitpunkte jeweils individuell und in Abhängigkeit von den Untersuchungsterminen festgelegt. Je nach Zustand der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen variierten die individuellen Abstände zwischen den regelmäßigen Kontrolluntersuchungen, was neben den Ferienzeiten sowie schulischen und außerschulischen Verpflichtungen zu zeitlichen Schwankungen zwischen den einzelnen Messzeitpunkten führte.

Da die gesunde Kontrollgruppe in erster Linie dem Vergleich und der besseren Beurteilung der erfassten Parameter der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen dienen sollte, wurde diese lediglich zwei Mal (T1 & T2), im Abstand von einer ein- bis zweiwöchigen Beobachtungsphase, untersucht und erhielt keine Intervention (Abb. 5).

Zu Studieneinschluss (T1), d.h. mit Beginn der Beobachtungsphase, erfolgten eine ausführliche ärztliche Anamnese sowie ärztliche Untersuchung der Probanden durch eine/-n Sportmediziner/-in. Im Rahmen der Eingangsuntersuchung wurde außerdem eine indirekte auskultatorische Ruhe-Blutdruck-Messung am Oberarm im Liegen sowie im Stehen durchgeführt. Die alters- und geschlechtsspezifischen Z-Scores (SDS) für die gemessenen systolischen und diastolischen Ruhe-Blutdruckwerte wurden anschließend anhand der vom Robert-Koch-Institut veröffentlichten und auf Basis der KiGGS-Studie erstellten Berechnungsformeln bestimmt (Neuhauser *et al.*, 2013, S.100-111).

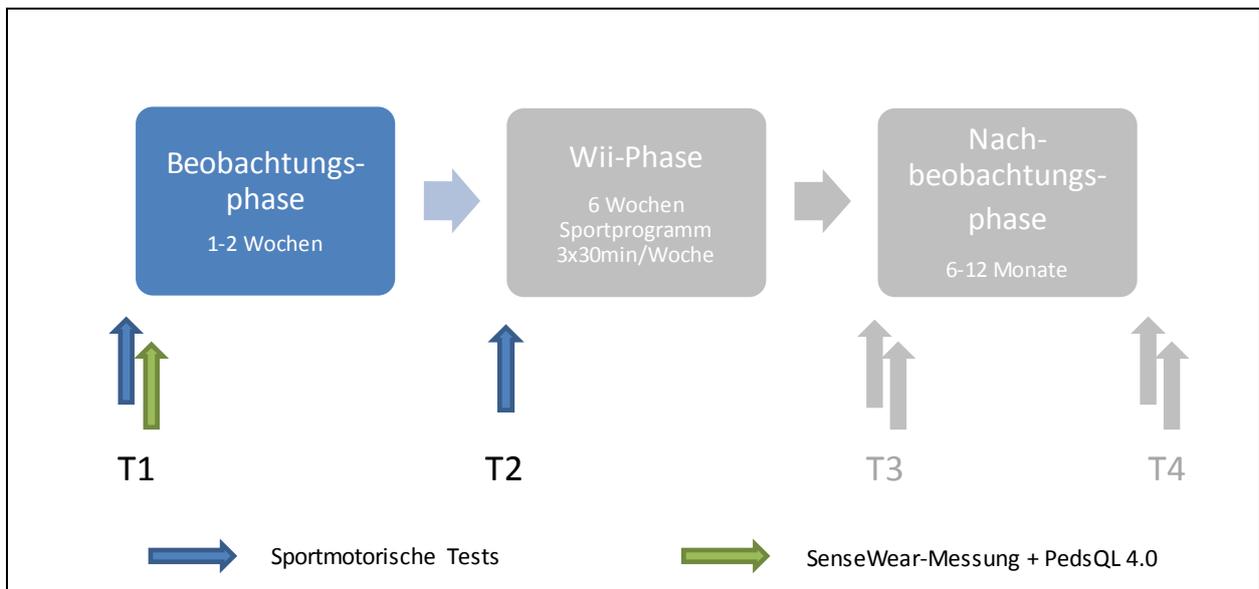


Abb. 5: Schematische Darstellung des Studienablaufs für die gesunde Kontrollgruppe

Zu allen studienrelevanten Messzeitpunkten (T1 bis T4) wurden die anthropometrischen Daten Körpergewicht, Körpergröße und Hautfaltendicken gemessen sowie ein 12-Kanal-Ruhe-EKG geschrieben. Bei allen nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen wurden entsprechend der nephrologischen Verlaufskontrollen außerdem venöse Blutentnahmen im Rahmen der Routine-Transplantationsnachsorge in der kinderneurologischen Ambulanz durchgeführt. Mit Hilfe des gemessenen Serumkreatinins sowie der anthropometrischen Daten wurde die glomeruläre Filtrationsrate (eGFR) unter Verwendung der Näherungsformel nach Schwartz (2009) für Studienteilnehmer/-innen bis 18 Jahre bestimmt. Für ältere nierentransplantierte Jugendliche wurde die *Chronic Kidney Disease Epidemiology Collaboration* (CKD-EPI) - Formel verwendet, welche unter <http://nierenrechner.de/index.php?page=egfr-ckd-rechner> (letzter Zugriff am 08. April 2020) als Berechnungsmaske zur Verfügung steht. Bei der gesunden Kontrollgruppe erfolgte keine Blutentnahme.

Zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit und der koordinativen Fähigkeiten absolvierten alle Probanden zu jedem Messzeitpunkt (T1 bis T4) eine Fahrrad- bzw. Laufbandspiroergometrie (siehe 2.4.2), eine Messung der maximalen Handkraft (siehe 2.4.3) sowie einen Koordinationstest (siehe 2.4.4). Zu Studienbeginn (T1), direkt nach der Trainingsintervention (T3) sowie weitere sechs bis zwölf Monate später (T4) wurden zudem die gesundheitsbezogene Lebensqualität über den standardisierten Fragebogen PedsQL™ 4.0 (siehe 2.4.5) und die körperliche Aktivität im Alltag mittels eines SenseWear®-Armbandes (siehe 2.4.6) erfasst. Für die gesunde Kontrollgruppe wurden diese

Daten ausschließlich zu T1 erhoben. Während der vier- bis sechswöchigen Beobachtungsphase im Vorfeld der Intervention wurden die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen außerdem dazu angehalten, ein Bewegungstagebuch zu führen, in welchem sie die Dauer, die Art sowie den Umfang ihrer körperlichen Aktivität im Alltag protokollieren sollten. Dies ermöglichte einerseits eine zuverlässigere Einschätzung des Aktivitätsstatus der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen, andererseits eine exaktere Auswertung der mittels SenseWear<sup>®</sup>-Armband erhobenen Aktivitätsdaten.

Dreizehn der 20 nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen erklärten sich bereit, im Anschluss an die zweite Untersuchung (T2) die Trainingsintervention mit der Wii-Spielekonsole durchzuführen und anschließend erneut die studienrelevanten Testungen zu absolvieren. Im Rahmen des dritten Messzeitpunktes (T3) wurden mit den nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen und deren Eltern potenzielle Möglichkeiten für eine aktivere Alltagsgestaltung besprochen sowie Optionen zum Sporttreiben nach Nierentransplantation aufgezeigt. Ziel war es, die gesteigerte körperliche Aktivität langfristig in den Alltag der jungen Patienten/-innen zu integrieren. Den Eltern und ihren Kindern wurde während der gesamten Nachbeobachtungsphase die Möglichkeit gegeben, sich bei Fragen zu Sport und körperlicher Aktivität nach Nierentransplantation an die Studienleitung zu wenden. Im Rahmen der Abschlussuntersuchung (T4), welche in Abhängigkeit von den Routine-Terminen in der Transplantationsambulanz sechs bis zwölf Monate nach Beendigung der Trainingsintervention stattfand, wurden die studienrelevanten Tests nochmals durchgeführt und die nachhaltige Integration der körperlichen Aktivität in den Alltag überprüft.

## **2.4 Messverfahren**

### *2.4.1 Anthropometrie*

Die Messung der anthropometrischen Daten erfolgte zu allen Messzeitpunkten jeweils zu Beginn der Untersuchung. Das Körpergewicht wurde in Kilogramm (kg) mit Hilfe einer digitalen sowie geeichten Seca-Säulenwaage (Model 701, Hamburg, Deutschland) bestimmt. Mittels eines Seca-Teleskopmessstabs (Model 220, Hamburg, Deutschland), welcher an der zuvor beschriebenen Seca-Säulenwaage befestigt war, wurde außerdem die Körpergröße in Zentimetern (cm) gemessen. Die Studienteilnehmer/-innen wurden jeweils ohne Schuhe und lediglich mit ihrer Unterwäsche bekleidet gewogen und gemessen, wobei die Körperhöhe und das Körpergewicht auf eine Dezimalstelle

genau angegeben wurden. Aus den gewonnenen Daten konnten anschließend der BMI in  $\text{kg/m}^2$  berechnet und außerdem, auf Basis der Untersuchungen von Reinken und van Oost (1992) sowie Kromeyer-Hauschild et al. (2001) mit Hilfe der Software PC PAL – GrowthXP 2.6, welche über die Patientendatenverwaltung des Universitätsklinikums Heidelberg (ISH) zu Verfügung stand, die geschlechts- und altersspezifischen Perzentile und Z-Scores (SDS) für die Körpergröße, das Körpergewicht und den BMI bestimmt werden.

Die Hautfaltendicken wurden mit Hilfe eines Harpenden Skinfold Caliper der Firma Baty International (England) gemessen. Dazu wurden für beide Geschlechter jeweils in Höhe des Trizeps und des Schulterblatts die Hautfaltendicken in Millimetern (mm) erfasst. Die Hautfalten wurden jeweils im Seitenvergleich gemessen und anschließend zu einem Mittelwert für die entsprechende Körperregion zusammengefasst. Anhand der Referenzwerte für die Hautfaltensummen der Trizeps- und Schulterblattfalten, welche das Robert-Koch-Institut im Rahmen der Gesundheitsberichterstattung des Bundes 2013 auf Basis der Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland (KiGGS) veröffentlichte, konnten zusätzlich alters- und geschlechtsspezifische Perzentile für die Hautfaltendicken der  $\leq 18$ -jährigen Studienteilnehmer/-innen bestimmt werden (Neuhauser *et al.*, 2013, S. 59-85).

#### 2.4.2 Spiroergometrie

Die Erfassung der spirometrischen Daten während der Belastungsuntersuchungen erfolgte über einen Ergostick der Firma Geratherm<sup>®</sup> (Bad Kissingen, Deutschland) sowie die dazugehörige Diagnose-Software Blue Cherry (Version 1.2.2.16). Parallel dazu wurde während der Belastung kontinuierlich ein 12-Kanal-EKG über die ECGpro Software (Version 4.21.0) der Firma Amedtec (Aue, Deutschland) aufgezeichnet. Das Spirometriesystem wurde im Vorfeld jeder Messung mit Hilfe einer Gaskalibration auf die entsprechenden Umgebungsbedingungen geeicht. Zudem erfolgte für die jeweils verwendeten Flow-Sensoren eine Volumenkalibration mit einer dafür vorgesehenen 3-Liter Pumpe. Jede/r Studienteilnehmer/in erhielt eine seiner/ihrer Gesichtsgröße entsprechende Silikonmaske, welche für die Atemgasanalyse während der Belastungsuntersuchung Nase und Mund der Probanden bedeckte und möglichst dicht mit einem dazugehörigen Haarnetz am Kopf befestigt wurde.



Abb. 6: Spiroergometrie auf dem Fahrradergometer (links) und dem Laufband (rechts); Einverständnisse zur Verwendung der Fotos liegen vor

Primär wurde die Spiroergometrie auf einem stationären Fahrradergometer (Model: Corival) der Firma Lode B.V. Medical Technology (Groningen, Niederlande) durchgeführt (Abb. 6). Für Probanden, die eine geringere Körperhöhe als 135 cm aufwiesen (TX,  $n = 3$ ; TX<sub>Wii</sub>,  $n = 1$ ; KO,  $n = 5$ ), erfolgte die Spiroergometrie auf einem Laufband der Serie Quasar med von h/p/cosmos® (Nussdorf-Traunstein, Germany). Als Belastungsprotokoll wurde für die Fahrrad-Spiroergometrie ein Quasi-Rampenprotokoll gewählt, welches eine Anfangslast von 20 Watt sowie eine Steigerung von 10 Watt pro Minute aufweist. Die Kinder und Jugendlichen waren dazu angehalten, sich maximal bis zur subjektiven Erschöpfung zu belasten. Nach Erreichen der Maximallast folgte eine aktive Phase von fünf Minuten zur Erholung bei einem konstanten Widerstand von 20 Watt. Im Falle einer Laufband-Spiroergometrie wurde ein Geh-Protokoll mit zunehmender Steigung gewählt. Je nach körperlichem Zustand und Fitness der Studienteilnehmer/-innen wurde die Gehgeschwindigkeit zwischen 3 und 5 km/h gewählt. Nach einer Minute Belastungsdauer bei 0% Steigung wurde anschließend die Steigung des Laufbands um 1% je Minute erhöht. Nach Belastungsabbruch bei subjektiver Erschöpfung der Probanden folgte ebenfalls eine 5-minütige Erholungsphase bei einer Geschwindigkeit von 3 km/h sowie 0 % Steigung. Im Vorfeld sowie während der Spiroergometrie erfolgten zudem indirekte auskultatorische Blutdruckmessungen, wobei alle zwei bis drei Minuten das Blutdruckverhalten überprüft und im Belastungsprotokoll notiert wurde. Eine, drei und fünf Minuten nach Belastungsabbruch erfolgten weitere Blutdruckmessungen, um den regelrechten Rückgang des Blutdrucks nach erreichter Ausbelastung zu kontrollieren.

Als primäres Ausbelastungskriterium galt ein Respiratorischer Quotient (RQ)  $\geq 1,1$ , welcher sich aus dem Verhältnis der Kohlenstoffdioxidabgabe und der Sauerstoffaufnahme zusammensetzt.

Hauptzielparameter war die maximale Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ ), welche zum Zeitpunkt der Ausbelastung dem höchsten Mittelwert über ein Messintervall von 30 Sekunden entspricht. Erfahrungsgemäß brechen chronisch kranke Patienten/-innen, wie die untersuchten nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen, nicht selten aufgrund von krankheitsbedingten Symptomen, frühzeitiger Erschöpfung oder geringer Anstrengungsbereitschaft einen kardiopulmonalen Ausbelastungstest noch vor Erreichen einer  $\dot{V}O_2$ -Plateaubildung ab (Green und Askew, 2018). Aus diesem Grund wurde in der vorliegenden Arbeit für die Beschreibung der maximalen Sauerstoffaufnahme die Bezeichnung  $\dot{V}O_{2\text{peak}}$  für den höchsten gemessenen Wert anstelle der  $\dot{V}O_{2\text{max}}$  gewählt.

Neben der absoluten (l/min) und relativen (ml/min/kg) maximalen Sauerstoffaufnahme wurden weitere, submaximale Parameter zur Einschätzung der Leistungsfähigkeit herangezogen. Die ventilatorische Schwelle VT1 kennzeichnet in etwa den Beginn des Übergangs vom aeroben zum anaeroben Energiestoffwechsel und ist als erster überproportionaler Anstieg der Kohlendioxidabgabe ( $\dot{V}CO_2$ ) im Verhältnis zur Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_2$ ) definiert. Die Bestimmung der VT1 erfolgte über die gängige V-Slope-Methode (Beaver *et al.*, 1986; Meyer *et al.*, 2005). Der auch als zweite ventilatorische Schwelle (VT2) bezeichnete respiratorische Kompensationspunkt (RCP) geht mit einer Hyperventilation des Patienten einher und kann deshalb als überproportionaler Anstieg des Atemminutenvolumens ( $\dot{V}E$ ) im Verhältnis zur  $\dot{V}CO_2$  beschrieben werden (Beaver *et al.*, 1986; Meyer *et al.*, 2005; Scharhag-Rosenberger, 2010). Ergänzend kann die Leistungsfähigkeit anhand der in der Fahrrad-Spiroergometrie maximal erreichten Leistung in Watt pro Kilogramm Körpergewicht beurteilt werden. In Bezug auf die Laufband-Spiroergometrie wurde anhand der Belastungsdauer sowie der absolvierten Geh-Geschwindigkeit ein Leistungsindex berechnet. Hierzu wurde die Belastungsdauer mit der jeweiligen Geh-Geschwindigkeit (m/s) multipliziert. Im Falle einer Steigerung der Geschwindigkeit während der Belastung wurden die Geh-Geschwindigkeiten anteilig summiert und schließlich mit der gesamten Belastungsdauer multipliziert. Die Steigung konnte für die Berechnung des Leistungsindex vernachlässigt werden, da sich diese für alle Studienteilnehmer/-innen um 1% pro Minute erhöhte.

### Beispielrechnung Laufbandindex:

Gesamt-Belastungsdauer = 16 min

Geh-Geschwindigkeit ( $v$ ) = 0,83 m/s für 10 min

Geh-Geschwindigkeit ( $v$ ) = 1,39 m/s für 6 min

$$\left( \left( \frac{10}{16} * 0,83 \frac{m}{s} \right) + \left( \frac{6}{16} * 1,39 \frac{m}{s} \right) \right) * 16 \text{ min} = 16,64 \frac{m * \text{min}}{s}$$

### 2.4.3 Handkraftmessung

Die Messung der maximalen Handkraft erfolgte mit einem hydraulischen Handdynamometer der Firma Jamar® (Sammons Preston, Bolingbrook, Illinois, USA), welches ebenfalls vom Institut für Sport und Sportwissenschaft der Universität Heidelberg zur Verfügung gestellt wurde (Abb. 7).



Abb. 7: Messung der maximalen Handkraft; Einverständnis zur Verwendung des Fotos liegt vor

Eingangs wurde die Größe des Handgriffs an die jeweilige Handgröße angepasst und das gewählte Setting (Stufen 1-5) notiert. Es wurde darauf geachtet, dass bei den Folgemessungen im Verlauf der Studie das gleiche Setting gewählt wurde, um unter anderem die Vergleichbarkeit der erreichten Maximalwerte zwischen den Testzeitpunkten zu wahren. Die Messungen wurden im aufrechten Stand durchgeführt, während der entsprechende Arm mit einem Ellenbogenwinkel von ca. 90 Grad eng am Oberkörper an-

lag. Sowohl für die rechte als auch für die linke Hand wurden jeweils drei aufeinanderfolgende Messungen durchgeführt, bei der die Probanden auf Kommando mit maximalem Kraffteinsatz den Handgriff des Handdynamometers zusammen drücken sollten. Für alle Versuche wurden die erreichten Werte in Kilogramm notiert, wobei in die abschließende Auswertung lediglich die Maximalwerte der nicht-dominanten Hand eines jeden Messzeitpunktes eingingen.

#### *2.4.4 Körperkoordinationstest für Kinder*

Zur Erfassung der koordinativen Fähigkeiten wurde der etablierte Körperkoordinationstest für Kinder (KTK) nach Kiphard und Schilling (2007) angewendet, welcher ursprünglich zur Erfassung motorischer Defizite hirngeschädigter und verhaltensgestörter Kinder zu Beginn der 1970er Jahre entwickelt wurde, inzwischen jedoch hauptsächlich bei gesunden und motorisch auffälligen Kindern und Jugendlichen zum Einsatz kommt. Die Test-Utensilien wurden vom Institut für Sport und Sportwissenschaft der Universität Heidelberg für den Zeitraum der Studie zur Verfügung gestellt.

Der Koordinationstest besteht aus vier motorischen Aufgaben, die nacheinander absolviert werden. Dem Testmanual sind in Bezug auf die einzelnen Testaufgaben konkrete Algorithmen zur Übungsausführung, der Anzahl der zulässigen Vorübungen sowie zur Übungsanleitung durch den jeweiligen Testleiter zu entnehmen. Es wurde darauf geachtet, dass der KTK im Vorfeld der Spiroergometrie durchgeführt wurde, um eine erschöpfungsbedingte Beeinträchtigung der koordinativen Leistungsfähigkeit ausschließen zu können.

Bei der ersten Aufgabe *Rückwärts Balancieren* (Abb. 8) laufen die Kinder jeweils drei Mal rückwärts über 3 m lange Holzbalken, die sich 5 cm über dem Boden befinden und eine Breite von 6 cm, 4,5 cm und 3 cm aufweisen. Als Vorübung wird jeder Balken einmal vorwärts und einmal rückwärts überlaufen. Gezählt wird anschließend die Anzahl der Schritte, die das Kind je Balken, ohne den Boden zu berühren, rückwärts balancieren kann. Die maximale Anzahl, die je Versuch im Protokoll notiert werden kann, beträgt acht Schritte, woraus eine höchstmögliche Gesamtsumme von 72 resultiert.

Die zweite Testaufgabe, das *Monopedale Überhüpfen* von Schaumstoffplatten (Abb. 8), fordert neben der koordinativen Fertigkeit, auf einem Bein zu springen, außerdem entsprechende konditionelle Voraussetzungen. Die Kinder hüpfen hierbei einbeinig über rechteckige und 5 cm hohe Schaumstoffplatten, die übereinander gestapelt werden. Absprung und Landung erfolgen auf ein und demselben Bein ohne dass das andere zu

Hilfe genommen wird. Je nach Alter wird die Anfangshöhe, d.h. die Anzahl der zu überhüpfenden und gestapelten Schaumstoffplatten gewählt, wobei bei nicht erfolgreicher Vorübung auf eine geringere Anfangshöhe zurück gegangen wird. Je geforderter Höhe und Bein haben die Kinder maximal drei Versuche. Wurde bereits der erste Versuch erfolgreich absolviert, werden drei Punkte vergeben, nach zwei Versuchen dann entsprechend nur noch zwei Punkte und nach drei Versuchen nur noch ein Punkt. Die Schaumstoffe werden so lange in die Höhe gestapelt, bis das Kind das einbeinige Überspringen nicht mehr erfolgreich absolvieren kann oder die maximale Höhe von 60 cm, d.h. 12 Schaumstoffen erreicht ist.



Abb. 8: Rückwärts Balancieren (links) und Monopedales Überhüpfen (rechts); Einverständnisse zur Verwendung der Fotos liegen vor

Nach dem einbeinigen Überhüpfen von Schaumstoffplatten folgt das *Seitliche Hin- und Herspringen* (Abb. 9). Dabei springen die Kinder auf einer Holzplatte (100 x 60 cm), deren Mitte durch eine 2 cm hohe Holzleiste gekennzeichnet ist, innerhalb von 15 Sekunden so oft und schnell wie möglich seitlich hin und her. Beide Beine sollen dabei jeweils gleichzeitig abspringen und landen. Wird während des Versuchs die mittlere Holzleiste berührt oder das Holzbrett verlassen, soll die Übungsausführung zwar fortgesetzt werden, jedoch gehen die fehlerhaften Sprünge nicht in die Wertung ein. Gezählt werden alle innerhalb der vorgegebenen 15 Sekunden erfolgreich absolvierten Sprünge von insgesamt zwei gültigen Versuchen.

Die letzte Testaufgabe des KTK wird mit Hilfe zweier quadratischer Holzbretter (25 x 25 cm) durchgeführt. Beim *Seitlichen Umsetzen* (Abb. 9) bewegt sich das Kind innerhalb von 20 Sekunden mittels der beiden Brettchen seitwärts fort, ohne mit den Füßen oder Händen zwischendurch den Boden zu berühren. Nachdem sich das Kind für eine Be-

wegungsrichtung entschieden hat, stellt es sich auf eines der Bretter und greift das andere, links bzw. rechts von ihm befindliche, mit beiden Händen und stellt dieses auf die andere Seite neben sich. Nun steigt es auf das eben abgestellte Brett und stellt das dadurch frei gewordene erneut neben sich, usw.. Der Versuchsleiter zählt fortlaufend das Umsetzen des Brettchens als auch das Umsetzen des Körpers. Zum Abschluss werden die Werte aus zwei gültigen Versuchen summiert.



Abb. 9: Seitliches Hin- und Herspringen (links) und Seitliches Umsetzen (rechts); Einverständnisse zur Verwendung der Fotos liegen vor

Mit Hilfe von Referenzwert-Tabellen werden die für die vier Testaufgaben jeweils erreichten Summen-/Rohwerte in alters- und geschlechtsabhängige MQ-Werte transferiert. Diese vier neu gebildeten MQ-Werte werden daraufhin summiert und anhand weiterer Normwerte in einen Gesamt-MQ umgewandelt. Für das in dieser Studie untersuchte Kollektiv wurden ausschließlich die Referenzwerte für normalentwickelte Kinder verwendet. Im Falle eines geringeren MQ-Summenwertes ( $< 215$ ), als in der Normwert-tabelle aufgeführt, wurde der zu interpretierende Gesamt-MQ anhand der vorhandenen Referenzwerte interpoliert. Nach der Klassifikation von Kiphard und Schilling (2007) werden Gesamt-MQ-Werte zwischen 56 und 70 als gestörte motorische Leistungsfähigkeit im KTK interpretiert. Werte von 71 bis 85 gelten als auffällig und Werte von 86 bis 115 als normale alters- und geschlechtsspezifische Befunde. Bei einem Gesamt-MQ von 116 bis 130 spricht man dieser Klassifizierung entsprechend von einem guten und bei Werten  $>130$  von einem hohen Ausprägungsgrad koordinativer Fähigkeiten.

#### 2.4.5 Fragebogen zur gesundheitsbezogenen Lebensqualität

Die gesundheitsbezogene Lebensqualität wurde mit Hilfe des validierten *Pediatric Quality of Life Inventory™ (PedsQL™), Version 4.0 Generic Core Scales* erfasst (Varni et al., 2001). Insgesamt bestehen fünf Fassungen des *PedsQL™ 4.0* für die verschiedenen Altersbereiche der Kinder, Jugendlichen und jungen Erwachsenen. Außerdem stehen äquivalent dazu Versionen für Eltern von Kindern und Jugendlichen zwischen 5 und 18 Jahren zur Verfügung. In der vorliegenden Studie kamen die Fragebögen für Kinder von 8 bis 12 Jahren, für Jugendliche (13-18 Jahre) und junge Erwachsene (18-25 Jahre), sowie die Versionen für Eltern von 8- bis 12-jährigen Kindern und 13- bis 18-jährigen Jugendlichen zum Einsatz. Die Fragebögen bestehen aus insgesamt 23 Items, welche die vier Bereiche *Physische Funktionalität, Emotionale Funktionalität, Soziale Funktionalität* und *Schulische Funktionalität* erfassen. Auf einer fünf-stufigen Skala von 0 (nie) bis 4 (fast immer) werden die 23 vorgegebenen Aussagen in Bezug auf die vier vorangegangenen Wochen bewertet. Eine Bewertung von 0 (nie) entspricht einer Punktzahl von 100, die Wertung von 4 (fast immer) entspricht demzufolge 0 Punkten. Für die Berechnung der Gesamtpunktzahl wird der Mittelwert aus allen beantworteten Items gebildet, gleiches gilt für die mittlere Punktzahl der vier Funktionsbereiche. Die jeweils maximal erreichbare Punktzahl für die vier Funktionsbereiche als auch für den Gesamtscore liegt bei 100 Punkten. Eine höhere Punktzahl geht mit einer besseren gesundheitsbezogenen Lebensqualität einher (Varni, 2017).

Zu den Messzeitpunkten T1, T3 (nach Intervention) und T4 (Follow-up) wurden die Studienteilnehmer/-innen und ihre Eltern (bei Teilnehmern bis einschließlich 18 Jahren) aufgefordert, den *PedsQL™ 4.0* unabhängig voneinander mit Bezug auf die vorangegangenen vier Wochen auszufüllen. Auch die Befragung der Eltern bezog sich hierbei auf die Funktionalität des Kindes. Personen mit Schwierigkeiten im Sprachverständnis sowie jüngere Kinder, denen das eigenständige Lesen und Verstehen der Items noch schwer fiel, wurden bei der Bearbeitung des *PedsQL™ 4.0* entsprechend unterstützt.

#### 2.4.6 Messung der körperlichen Aktivität im Alltag

Die körperliche Aktivität im Alltag wurde zu Studienbeginn (T1) und für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen zusätzlich nach Abschluss der Interventionsphase (T3) sowie 6 bis 12 Monate nach Beendigung der Intervention (T4) mit Hilfe eines *SenseWear®*-Armbandes der Firma *BodyMedia®* (Pittsburgh, PA, USA) erfasst. Dieses Armband verfügt neben einem dreidimensionalen Beschleunigungssensor über drei

weitere Sensoren, die unter anderem die Hauttemperatur, die Hautleitfähigkeit sowie den Wärmefluss messen können. Der dreidimensionale Beschleunigungssensor erfasst nicht nur die räumliche Bewegungsaktivität, sondern fungiert außerdem als Akzelerometer, wodurch die Schrittzahl objektiviert werden kann (BodyMedia, 2012).

Zur Verfügung gestellt wurden die Armbänder sowie die dazugehörige Auswertungssoftware (SenseWear<sup>®</sup> Professional, Version 8.1) durch die RiBe-Institut GmbH (Bad Schönborn, Ansprechpartner: Dr. Klaus Weiß).

In früheren Studien an Erwachsenen und zum Teil auch bei Kindern und Jugendlichen wurden verschiedene Modelle der SenseWear<sup>®</sup>-Armbänder eingesetzt (z.B. SenseWear<sup>®</sup> Pro2, Pro3 oder Mini) und häufig unterschieden sich auch die zur Datenauswertung verwendeten Algorithmen der entsprechenden Auswertungssoftware. Insbesondere bei der Beurteilung des aktiven Energieverbrauchs scheinen die SenseWear<sup>®</sup>-Armbänder in Abhängigkeit von der erfassten Aktivität, des verwendeten Armband-Modells sowie der verwendeten Software-Version teilweise widersprüchliche oder wenig valide Daten zu liefern (Calabro *et al.*, 2013; Gustin *et al.*, 2018; Lee *et al.*, 2016; Lopez *et al.*, 2018; Santos-Lozano *et al.*, 2017). So verglichen Calabro *et al.* (2013) beispielsweise den ermittelten totalen Energieverbrauch zweier verschiedene Armband-Modelle über zwei verschiedene Auswerte-Algorithmen (2.2 und 5.0) mit dem über die Doubly Labeled Water Methode erfassten Energieverbrauch bei 10- bis 16-jährigen Jugendlichen und berichteten von einer signifikanten Unterschätzung des Energieverbrauchs bei Verwendung des älteren Auswerte-Algorithmus (2.2) im Vergleich zur Doubly Labeled Water Methode mit einem mittleren absoluten prozentualen Fehler (MAPE) von 20,7% bzw. 18,3% für die verwendeten Armbänder. Calabro *et al.* (2013) stellten weiterhin eine geringe, jedoch tendenzielle Überschätzung des Energieverbrauchs fest, wenn der neuere 5.0-Algorithmus zur Anwendung kam. Im Gegensatz dazu berichten Lopez *et al.* (2018) eine deutliche Unterschätzung des Energieverbrauchs im Vergleich zur indirekten Kalorimetrie bei Verwendung des weiterentwickelten 5.2-Algorithmus mit einem MAPE von 24% bzw. 20% bei gesunden Kindern und Erwachsenen. Im Rahmen der vorliegenden Studie erschien die über den integrierten Akzelerometer ausgegebene Anzahl der zurückgelegten Schritte demnach zuverlässiger, als die ermittelten Daten zum Energieverbrauch, weshalb lediglich die erfasste Schrittzahl als Nebenzielvariable in die Datenauswertung eingeschlossen und im weiteren Verlauf auf eine Analyse des Energieverbrauchs verzichtet wurde.

Die SenseWear<sup>®</sup>-Armbänder wurden im Vorfeld der Messungen auf die individuellen Merkmale der Kinder und Jugendlichen programmiert. Hierzu erfolgte zunächst eine Initialisierung des Gerätes, die Eingabe des Geschlechts, des Geburtsdatums, der Händigkeit sowie der jeweils vorliegenden Messwerte für Körpergröße und Körpergewicht. In Abhängigkeit der Händigkeit wurde das Armband am Oberarm des weniger bevorzugten Armes getragen. Die Aufzeichnung der Alltagsaktivität sollte möglichst ohne Unterbrechung über fünf aufeinanderfolgende Tage erfolgen, wobei das Armband aus technischen Gründen zum Duschen oder Schwimmen abgelegt werden musste. Die Probanden wurden außerdem darauf hingewiesen, dass der Gurt des Armbandes nicht zu fest oder zu locker angezogen werden sollte und dass für den Zeitraum der Aufzeichnungen auf ölige Hautpflegeprodukte verzichtet werden sollte, um fehlerhafte Messungen bereits im Vorfeld zu limitieren.

Parallel zur Datenaufzeichnung führten die Probanden ein Bewegungstagebuch (Anhang B), um in der anschließenden Datenauswertung Ausreißer oder Unregelmäßigkeiten in Bezug auf die Messwerte zuverlässiger identifizieren zu können. Messungen, für die weniger als zwei Tage kontinuierlicher Aufzeichnung von jeweils mindestens 12 Stunden Wachzeit vorlagen, gingen nicht in die statistische Analyse ein. Aufgrund zum Teil erheblicher individueller Unterschiede in Bezug auf die Tragedauer des Armbandes sowie die Wachzeit der Probanden, wurde die durchschnittliche Schrittzahl pro Stunde anstelle einer durchschnittlichen Schrittzahl pro Tag gewählt.

## **2.5 Trainingsprogramm**

Wie eingangs bereits beschrieben, folgte im Anschluss an die Beobachtungsphase (T2) eine etwa 6-wöchige Interventionsphase, die 13 der 20 nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen freiwillig absolvierten. Für diesen Zeitraum bekamen die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen eine Spielekonsole Wii der Firma Nintendo<sup>®</sup> (Frankfurt am Main, Deutschland) inklusive Balanceboard und der DVD Wii fit Plus zur Verfügung gestellt. Mit dieser Spielekonsole absolvierten die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen im häuslichen Umfeld selbstständig drei Mal pro Woche für jeweils 30 Minuten ein vorgegebenes und individuell angepasstes Trainingsprogramm (Anhang C). Dieses beinhaltete jeweils 2-3 Übungen zur Steigerung der Ausdauer (z.B. Joggen auf der Stelle) und zur Muskelkräftigung (z.B. Ausfallschritte) sowie eine Übung, die auf die Verbesserung der Koordination ausgerichtet war (z.B. Ski-Slalom). Die Kin-

der und Jugendlichen waren dazu angehalten, nach jeder Übung die über einen Brustgurt (Polar FS1C, Kempele, Finnland) aufgezeichnete Herzfrequenz im Trainingsprotokoll zu notieren sowie ihr subjektives Anstrengungs-Empfinden anhand einer Borg-Skala zu bewerten (Borg, 2004; Borg, 1982). Zusätzliche sportliche Betätigungen mit, aber auch ohne die Wii-Spielekonsole, sollten in diesem Protokoll ebenfalls dokumentiert werden.

Die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen wurden wöchentlich per E-Mail oder Telefon kontaktiert, um mögliche Probleme bei der Übungsdurchführung zurückmelden zu können und zusätzlich an das regelmäßige Training erinnert zu werden. Das Trainingsprotokoll sollte jeweils zum Ende einer Trainingswoche an die Studienleitung zurückgesendet werden. Anschließend erhielten die Kinder und Jugendlichen ein neues und erweitertes Trainingsprogramm für die folgende Woche. Anhand der Vollständigkeit der zurückgesendeten Trainingsprotokolle sowie der darin protokollierten Trainings-Herzfrequenzen und Borg-Werte wurde nach Ablauf der Interventionsphase die Compliance der Kinder und Jugendlichen bewertet. Eine gute Compliance lag bei den Kindern und Jugendlichen vor, die (anhand der Trainingsprotokolle) mehr als die Hälfte der vorgeschriebenen Interventionsdauer trainiert haben. Patienten/-innen, die offensichtlich weniger bis gar nicht trainiert haben, wurden als gering compliant eingestuft.

## **2.6 Statistik**

Die statistische Datenauswertung erfolgte unter Verwendung der Software SPSS Statistics für Windows, Version 24.0 (IBM Corp., Armonk, NY). Grafiken wurden mittels GraphPad Prism, Version 5.01 für Windows (GraphPad Software, San Diego, California, USA) erstellt. Alle deskriptiv dargestellten Daten sind tabellarisch als Mittelwerte (MW)  $\pm$  Standardabweichungen (SD) aufgeführt. Die im Rahmen der Vergleichsuntersuchung von nierentransplantierten und gesunden Kindern und Jugendlichen dargestellten Boxplots zeigen jeweils den Median sowie die gemessenen Minima und Maxima als Whiskers. Die grafische Aufbereitung der Effekte der Trainingsintervention unter Verwendung der Nintendo®-Spielekonsole Wii sowie der Verlaufsbeobachtung 1 Jahr nach Intervention erfolgte einerseits über prä-/post- bzw. post-/follow-up-Vergleiche, bei denen der jeweils ermittelte Median als Punkt sowie die Minima und Maxima als Whiskers wiedergeben wurden. Andererseits wurden die prozentualen Veränderungen der

Parameter von vor zu nach der Intervention mittels schwebender Balken dargestellt, die ebenfalls den Median sowie die Minima und Maxima zeigen.

Die Repräsentativität der nierentransplantierten Stichprobe in Bezug auf die Geschlechterverteilung sowie die Vergleichbarkeit der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen zur gesunden Kontrollgruppe anhand der vier Matching-Kriterien Geschlecht, Pubertätsstatus, regelmäßige körperliche Aktivität und besuchte Schulform wurden aufgrund der vorliegenden Skalierung (nominal bzw. ordinal) anhand des  $\chi^2$ -Tests überprüft. Für den Vergleich der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen mit den gesunden Kontrollpersonen hinsichtlich der Haupt- und Nebenzielparameter wurden zunächst die Messwerte von T1 und T2 auf Unterschiede getestet. Da sich die spirometrisch erhobenen Parameter zu beiden Messzeitpunkten (T1 & T2) ähnlich darstellten, wurden hierfür jeweils die Mittelwerte aus T1 und T2 als Ausgangswerte für die statistischen Berechnungen verwendet. In Bezug auf die koordinativen Fähigkeiten und die maximale Handkraft waren für die Testwiederholung Gewöhnungseffekte zu erwarten, weshalb hierfür ausschließlich die Messwerte von T2 als Ausgangswerte betrachtet wurden. Im Vorfeld der Berechnung von Mittelwertvergleichen wurden alle Parameter unter Verwendung des Kolmogorov-Smirnov-Tests ( $n > 30$ ) bzw. des Shapiro-Wilk-Tests ( $n < 30$ ) auf Normalverteilung geprüft.

Für die Gruppenvergleiche zwischen den nierentransplantierten (TX) und gesunden (KO) Kindern und Jugendlichen wurden unter Beachtung der Normalverteilung T-Tests für unabhängige Stichproben und bei fehlender Normalverteilung Mann-Whitney-U-Tests berechnet. Auf statistische Mittelwertvergleiche hinsichtlich der Subgruppen (Geschlecht, Pubertätsstatus, körperliche Aktivität und Schulform) wurde aufgrund kleiner Stichprobengrößen verzichtet.

Die direkten (prä/post) sowie nachhaltigen (post/follow-up) Effekte des videospiegelbasierten Aktivitätsprogramms wurden bei gegebener Normalverteilung mittels t-Test für verbundene Stichproben überprüft. Bei fehlender Normalverteilung wurde der Wilcoxon-Test angewendet. Auf statistische Subgruppen-Vergleiche in Bezug auf die körperliche Aktivität sowie die Compliance hinsichtlich der Intervention, wurde ebenfalls aufgrund zum Teil sehr geringer Stichprobengrößen verzichtet.

Für die Berechnung der Korrelationskoeffizienten intervallskalierter Daten wurde bei vorliegender Normalverteilung die Pearson-Produkt-Moment-Korrelation und bei fehlender Normalverteilung die Rangkorrelation nach Spearman angewendet. Korrelationsko-

effizienten von  $r \geq 0,1$  werden als schwacher,  $r \geq 0,3$  als moderater und  $r \geq 0,5$  als starker Zusammenhang angesehen. Die grafische Darstellung erfolgte über Scatterplots. Da es sich bei der vorliegenden Studie um eine explorative Untersuchung mit rein deskriptivem Charakter handelt, bedurfte es keiner Bonferroni-Korrektur für multiples Testen. Das statistische Signifikanzniveau wurde auf  $P < 0,05$  festgelegt. Die nachfolgend dargestellten  $P$ -Werte sind jedoch rein deskriptiv zu werten.

Der folgende Ergebnisteil ist in drei separate Abschnitte untergliedert. Im Gegensatz zum tatsächlichen Studienablauf, bei dem zunächst die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen und anschließend, auf Basis der vorliegenden Daten, geeignete Matching-Partner/-innen rekrutiert wurden, werden nachfolgend zunächst die Daten des Vergleichs nierentransplantierte und gesunder Kinder und Jugendlicher dargestellt, um einen Überblick über die tatsächliche Leistungsfähigkeit der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen zu Studienbeginn zu erhalten. Im darauffolgenden Abschnitt (3.2) liegt der Fokus auf den Effekten der Trainingsintervention unter Verwendung der Nintendo®-Spielekonsole Wii, bevor im dritten und letzten Abschnitt (3.3) die Ergebnisse der Abschlussuntersuchung (T4), im Sinne einer Verlaufsbeobachtung 1 Jahr nach Trainingsintervention, vergleichend beschrieben werden.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Vergleich nierentransplanteder Kinder und Jugendlicher mit gesunden Kontrollpersonen

##### 3.1.1 Anthropometrische und gesundheitsbezogene Daten

Tab. 5: Anthropometrische Daten der nierentransplanteden und gesunden Kinder und Jugendlichen (T1);  
\*  $P < 0,05$

		TX	KO	
<b>N</b>	gesamt	20	33	
	männlich	16	25	
	weiblich	4	8	
		MW ± SD	MW ± SD	P
<b>Alter [Jahre]</b>	gesamt	13,5 ± 3,4	13,1 ± 3,2	0,736
	männlich	13,6 ± 3,4	13,4 ± 3,4	
	weiblich	12,8 ± 4,0	12,5 ± 2,7	
<b>Körpergewicht [kg]</b>	gesamt	52,2 ± 20,5	49,0 ± 15,9	0,518
	männlich	51,9 ± 21,6	48,4 ± 16,9	
	weiblich	53,7 ± 18,5	50,6 ± 13,0	
<b>Körpergewicht Z-score</b>	gesamt	-0,05 ± 1,5	-0,12 ± 1,1	0,851
	männlich	-0,33 ± 1,5	-0,35 ± 1,0	
	weiblich	1,06 ± 1,1	0,61 ± 1,3	
<b>Körpergröße [cm]</b>	gesamt	152,0 ± 21,1	157,2 ± 17,7	0,338
	männlich	152,8 ± 22,6	158,5 ± 19,0	
	weiblich	148,9 ± 15,6	153,1 ± 12,7	
<b>Körpergröße Z-score</b>	gesamt	-1,17 ± 1,4	-0,08 ± 1,1	0,003*
	männlich	-1,31 ± 1,5	-0,13 ± 1,0	
	weiblich	-0,58 ± 0,6	0,06 ± 1,3	
<b>BMI [kg/m<sup>2</sup>]</b>	gesamt	21,8 ± 4,8	19,3 ± 3,5	0,029*
	männlich	21,3 ± 4,4	18,6 ± 3,3	
	weiblich	24,0 ± 6,2	21,3 ± 3,7	
<b>BMI Z-score</b>	gesamt	0,66 ± 1,2	-0,06 ± 1,2	0,043*
	männlich	0,48 ± 1,2	-0,33 ± 1,1	
	weiblich	1,39 ± 1,3	0,77 ± 1,2	

Die anthropometrischen Daten der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen (TX) im Vergleich zu den gesunden Gleichaltrigen (KO) sind in Tab. 5 zusammengefasst. Die 20 nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen waren im Mittel  $13,5 \pm 3,4$  Jahre alt, wobei die Mädchen mit  $12,8 \pm 4,0$  Jahren 0,8 Jahre jünger waren als die Jungen. Die Kontrollgruppe war mit  $13,1 \pm 3,2$  Jahren im Mittel zwar etwas jünger als die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen, aus statistischer Sicht bestand jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen ( $P = 0,736$ ). Die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen waren im Mittel etwas schwerer, aber auch kleiner als die Kontrollgruppe, was sich unter anderem in einem signifikanten ( $P = 0,029$ ) Unterschied in Bezug auf den BMI äußerte (Tab. 5). Der höhere BMI der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen spiegelt sich auch in den gemessenen Hautfaltendicken, als Maß für den Körperfettanteil, wider. Die Summe der Trizeps- und Skapula-Falte betrug für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen  $28,9 \pm 16,8$  mm. Dies entspricht, in Anlehnung an die Referenzwerte der KiGGS-Studie (Neuhauser *et al.*, 2013), einem mittleren Perzentil von  $50,7 \pm 38$ . Die Summe der für die Kontrollgruppe gemessenen Trizeps- und Skapula-Falten lag mit  $19,9 \pm 8,1$  mm signifikant niedriger ( $P = 0,034$ ) als die der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen (Tab. 6).

Tab. 6: Hautfaltendicken der nierentransplantierten und gesunden Kinder und Jugendlichen (T1);  
\*  $P < 0,05$

		TX		KO		P
		N	MW $\pm$ SD	N	MW $\pm$ SD	
<b>Summe Trizeps + Skapula [mm]</b>	gesamt	20	$28,9 \pm 16,8$	33	$19,9 \pm 8,1$	0,034*
	männlich	16	$27,3 \pm 16,7$	25	$17,5 \pm 6,2$	
	weiblich	4	$35,4 \pm 18,2$	8	$27,5 \pm 9,1$	
<b>Perzentile (Trizeps + Skapula)</b>	gesamt	18	$50,7 \pm 38,0$	32	$34,0 \pm 27,0$	0,165
	männlich	15	$51,5 \pm 39,3$	24	$30,4 \pm 26,0$	
	weiblich	3	$46,7 \pm 37,5$	8	$45,0 \pm 28,9$	

Der Z-score des in Ruhe gemessenen systolischen und diastolischen Blutdrucks unterschied sich nicht signifikant zwischen den Gruppen. Da die Z-Scores anhand der durch das RKI veröffentlichten Formeln (Neuhauser *et al.*, 2013) ausschließlich für Kinder und Jugendliche unter 18 Jahren berechnet werden können und ein nierentransplantiertes Junge eine Blutdruckmessung verweigerte, konnten lediglich für 17 nierentransplantierte und 31 gesunde Kinder und Jugendliche Vergleichswerte berechnet werden (Tab. 7).

Die Transplantatfunktion - beschrieben über die eGFR - lag für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen im Mittel bei  $63,1 \pm 27,5$  ml/min/1,73m<sup>2</sup>, wobei die Jungen mit  $61,1 \pm 27,6$  ml/min/1,73m<sup>2</sup> einen etwas niedrigeren Wert aufwiesen als die Mädchen ( $70,9 \pm 29,3$  ml/min/1,73m<sup>2</sup>). Durchschnittlich lag die Nierentransplantation knapp vier- einhalb Jahre zurück ( $53,9 \pm 51,4$  Monate). Mit einer Standardabweichung von 55,2 Monaten für die Jungen und 27,3 Monaten für die Mädchen wird eine große Spannweite bezüglich des Transplantationszeitpunktes deutlich. So wurden Patienten/-innen in die Studie eingeschlossen, deren Nierentransplantation beispielsweise weniger als ein Jahr oder bereits mehr als zehn Jahre zurück lag (Tab. 7).

Tab. 7: Gesundheitsbezogene Daten der nierentransplantierten und gesunden Kinder und Jugendlichen (T1)

		TX		KO		P
		N	MW ± SD	N	MW ± SD	
<b>Blutdruck systolisch Z-score</b>	gesamt	17	0,40 ± 1,1	31	0,20 ± 1,7	0,657
	männlich	14	0,21 ± 1,1	23	0,02 ± 1,7	
	weiblich	3	1,30 ± 1,1	8	0,71 ± 1,6	
<b>Blutdruck diastolisch Z-score</b>	gesamt	17	0,27 ± 1,2	31	1,03 ± 1,4	0,069
	männlich	14	0,25 ± 1,3	23	0,90 ± 1,2	
	weiblich	3	0,40 ± 0,2	8	1,41 ± 2,0	
<b>eGFR [ml/min/1,73m<sup>2</sup>]</b>	gesamt	20	63,1 ± 27,5			
	männlich	16	61,1 ± 27,6		-	-
	weiblich	4	70,9 ± 29,3			
<b>Zeit nach Tx [Monate]</b>	gesamt	20	53,9 ± 51,4			
	männlich	16	59,3 ± 55,2		-	-
	weiblich	4	32,3 ± 27,3			

Alle nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen erhielten immunsuppressive Medikamente (Tab. 8). Zusätzlich wurden 17 von ihnen mit Glucocorticoiden behandelt und ebenfalls 17 bekamen Antihypertensiva. Acht nierentransplantierte Kinder und Jugendliche erhielten zusätzlich Beta-Blocker und zwei Patienten/-innen Epoetin. Aufgrund eines retardierten Körperwachstums wurde bei fünf Jungen außerdem Somatotropin zur Wachstumssteigerung angewendet. Im Vergleich zu den nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen erhielt nur ein Mädchen der gesunden Kontrollgruppe aufgrund einer arteriellen Hypertonie ebenfalls Antihypertensiva, allerdings wurden vier Jungen und ein

Mädchen der Kontrollgruppe aufgrund einer Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung (ADHS) mit Methylphenidat behandelt.

Tab. 8: Medikamente

	TX	KO
Immunsuppressiva	20	-
Glucocorticoide	17	-
Antihypertensiva	17	1
Beta-Blocker	8	-
Epoetin	2	-
Somatropin	5	-
Methylphenidat	-	5

### 3.1.2 Leistungsfähigkeit

#### 3.1.2.1 Maximale Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2peak}$ )

Als Hauptzielparameter der vorliegenden Studie galt die auf das individuelle Körpergewicht bezogene maximale Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2peak}/kg$ ), da diese die beste Kenngröße zur Einschätzung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit darstellt. In Relation zum Körpergewicht betrachtet war die maximale Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2peak}/kg$ ) der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen signifikant eingeschränkt (TX:  $28,6 \pm 7,8$  ml/min/kg vs. KO:  $41,7 \pm 8,5$  ml/min/kg,  $P = 0,000$ ). Auch die absolut gemessene  $\dot{V}O_{2peak}$  der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen lag mit  $1,5 \pm 0,5$  l/min signifikant unter der  $\dot{V}O_{2peak}$  der gesunden Kontrollgruppe ( $2,0 \pm 0,7$  l/min,  $P = 0,005$ ) (Tab. 9 & Abb. 10).

Tab. 9: Maximale Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2peak}$ ); \*  $P < 0,05$

	TX		KO		P
	N	MW $\pm$ SD	N	MW $\pm$ SD	
$\dot{V}O_{2peak}$ [l/min]	19	$1,5 \pm 0,5$	33	$2,0 \pm 0,7$	0,005*
$\dot{V}O_{2peak}/kg$ [ml/min/kg]	19	$28,6 \pm 7,8$	33	$41,7 \pm 8,5$	0,000*

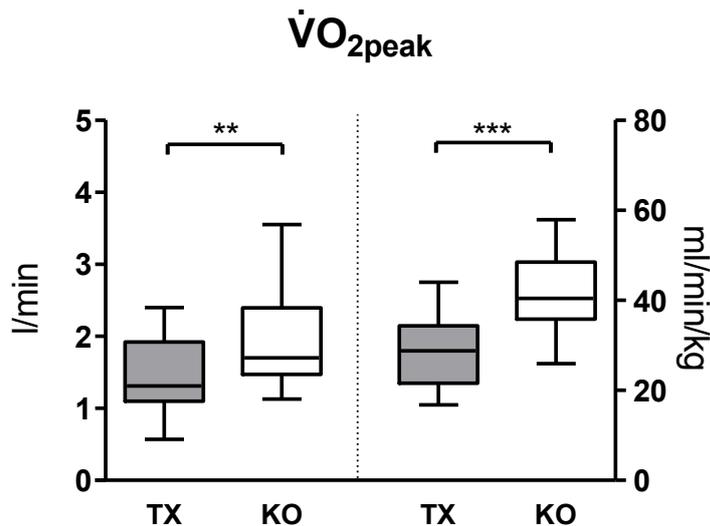


Abb. 10:  $\dot{V}O_{2peak}$  der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen (TX) und der gesunden Kontrollgruppe (KO); \*\*  $P < 0,01$ ; \*\*\*  $P < 0,001$

Differenziert nach dem Geschlecht zeigten sich ebenfalls deutliche Einschränkungen in der  $\dot{V}O_{2peak}$  bei den nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen im Vergleich zu den gesunden Gleichaltrigen (Tab. 10). Die Jungen beider Gruppen wiesen in der  $\dot{V}O_{2peak}$  sowie in der  $\dot{V}O_{2peak}/kg$  Körpergewicht höhere Werte auf als die Mädchen. Außerdem erreichten sowohl die Jungen als auch die Mädchen der Kontrollgruppe jeweils höhere Werte als die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen.

Tab. 10: Maximale Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2peak}$ ) differenziert nach Geschlecht

	Geschlecht	TX		KO	
		N	MW $\pm$ SD	N	MW $\pm$ SD
$\dot{V}O_{2peak}$ [l/min]	männlich	15	1,5 $\pm$ 0,6	25	2,1 $\pm$ 0,8
	weiblich	4	1,3 $\pm$ 0,1	8	1,8 $\pm$ 0,3
$\dot{V}O_{2peak}/kg$ [ml/min/kg]	männlich	15	29,6 $\pm$ 7,9	25	43,3 $\pm$ 7,9
	weiblich	4	24,9 $\pm$ 7,5	8	36,6 $\pm$ 9,0

Mit Bezug auf die pubertäre Entwicklung zeigte sich übereinstimmend, dass mit steigendem Pubertätsstatus die absolut gemessene  $\dot{V}O_{2peak}$  größer wird, wohingegen sich die auf das Körpergewicht relativierte  $\dot{V}O_{2peak}/kg$  reduziert. Die höchste Leistungsfähigkeit wiesen demnach die als präpubertär eingestufteten gesunden Kinder auf ( $\dot{V}O_{2peak}$ : 45,3  $\pm$  9,7 ml/min/kg), während die postpubertären nierentransplantierten Jugendlichen mit 26,3  $\pm$  9,2 ml/min/kg erhebliche Einschränkungen in der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit zeigten (Tab. 11).

Tab. 11: Maximale Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2peak}$ ) differenziert nach Pubertätsstatus

	Pubertätsstatus	TX		KO	
		N	MW $\pm$ SD	N	MW $\pm$ SD
$\dot{V}O_{2peak}$ [l/min]	präpubertär	3	0,9 $\pm$ 0,3	11	1,4 $\pm$ 0,2
	pubertär	12	1,4 $\pm$ 0,4	17	2,3 $\pm$ 0,6
	postpubertär	4	2,0 $\pm$ 0,4	5	2,5 $\pm$ 0,8
$\dot{V}O_{2peak}/kg$ [ml/min/kg]	präpubertär	3	33,7 $\pm$ 9,1	11	45,3 $\pm$ 9,7
	pubertär	12	28,1 $\pm$ 7,2	17	40,4 $\pm$ 6,0
	postpubertär	4	26,3 $\pm$ 9,2	5	38,0 $\pm$ 11,8

Differenziert nach der körperlichen Aktivität konnten für beide Gruppen (TX und KO) mit zunehmendem Umfang regelmäßiger körperlicher Aktivität höhere Werte für die auf das Körpergewicht relativierte  $\dot{V}O_{2peak}/kg$  gezeigt werden (Tab. 12 & Abb. 11). Dabei wurde für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen eine größere Differenz von keiner (24,4  $\pm$  8,1 ml/min/kg) zu bereits geringer (31,4  $\pm$  6,4 ml/min/kg) körperlicher Aktivität deutlich, während sich die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen mit geringer und moderater körperlicher Aktivität nur geringfügig unterschieden. In der gesunden Kontrollgruppe zeigte sich hingegen kaum eine Differenz zwischen den inaktiven (39,3  $\pm$  7,8 ml/min/kg) und den gering aktiven (40,6  $\pm$  8,4 ml/min/kg) Kindern und Jugendlichen, während die moderat körperlich Aktiven mit Abstand die höchste  $\dot{V}O_{2peak}/kg$  (49,7  $\pm$  6,7 ml/min/kg) aufwiesen.

Tab. 12: Maximale Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2peak}$ ) differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität

	Körperliche Aktivität	TX		KO	
		N	MW $\pm$ SD	N	MW $\pm$ SD
$\dot{V}O_{2peak}$ [l/min]	keine	9	1,3 $\pm$ 0,4	15	2,0 $\pm$ 0,6
	geringe	6	1,4 $\pm$ 0,6	12	1,8 $\pm$ 0,6
	moderate	4	1,9 $\pm$ 0,7	6	2,5 $\pm$ 1,0
$\dot{V}O_{2peak}/kg$ [ml/min/kg]	keine	9	24,4 $\pm$ 8,1	15	39,3 $\pm$ 7,8
	geringe	6	31,4 $\pm$ 6,4	12	40,6 $\pm$ 8,4
	moderate	4	33,7 $\pm$ 4,5	6	49,7 $\pm$ 6,7

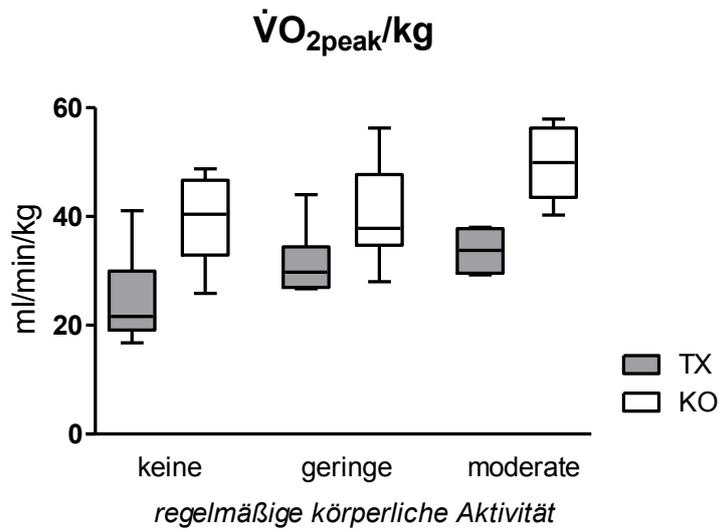


Abb. 11:  $\dot{V}O_{2peak}/kg$  der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen (TX) und der gesunden Kontrollgruppe (KO) differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität

In Bezug auf die besuchten Schulen konnten weder für die nierentransplantierten noch die gesunden Kinder und Jugendlichen klare Tendenzen ermittelt werden (Tab. 13 & Tab. 14). Bei den nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen erzielten die Grundschüler/-innen geringfügig höhere Werte in der  $\dot{V}O_{2peak}/kg$  als die übrigen Schüler/-innen, während in der Kontrollgruppe sowohl die Grund- als auch die Realschüler/-innen die höchsten  $\dot{V}O_{2peak}/kg$  erreichten.

Tab. 13: Mittelwerte und Standardabweichungen der maximalen Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2peak}$ ) für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen differenziert nach der besuchten Schulform

	TX				
	Grundschule	Realschule	Gymnasium	Sonderschule	Berufsschule
<b>N</b>	4	7	2	3	3
$\dot{V}O_{2peak}$ [l/min]	1,0 ± 0,2	1,7 ± 0,5	1,3 ± 0,0	1,3 ± 0,9	1,8 ± 0,4
$\dot{V}O_{2peak}/kg$ [ml/min/kg]	31,7 ± 10,7	27,0 ± 7,5	29,1 ± 2,9	28,8 ± 8,4	27,5 ± 10,2

Tab. 14: Mittelwerte und Standardabweichungen der maximalen Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2peak}$ ) für die gesunde Kontrollgruppe differenziert nach der besuchten Schulform

	KO				
	Grundschule	Realschule	Gymnasium	Sonderschule	Berufsschule
<b>N</b>	9	11	5	3	5
$\dot{V}O_{2peak}$ [l/min]	1,4 ± 0,2	2,6 ± 0,6	1,8 ± 0,4	1,5 ± 0,2	2,2 ± 0,5
$\dot{V}O_{2peak}/kg$ [ml/min/kg]	45,3 ± 11,0	45,0 ± 5,3	40,2 ± 5,1	34,1 ± 5,7	33,7 ± 6,3

Bei Betrachtung des potenziellen Einflusses bestimmter Medikamente auf die maximale Sauerstoffaufnahme fällt auf, dass die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen, die keinen Beta-Blocker einnahmen im Vergleich zur Gesamtstichprobe eine geringfügig erniedrigte absolute  $\dot{V}O_{2peak}$  ( $1,4 \pm 0,6$  l/min) erreichten. In Bezug auf die  $\dot{V}O_{2peak}/kg$  bestand keine Differenz zur Gesamtstichprobe. Anhand der  $HF_{peak}$  war jedoch erkennbar, dass die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen ohne Beta-Blocker etwas höhere Werte ( $174 \pm 16,6$  /min) erreichten, als die Gesamtstichprobe (Tab. 15). Die Einnahmen von Epoetin oder Somatotropin schienen hingegen keinen Einfluss auf die  $\dot{V}O_{2peak}$  sowie die  $HF_{peak}$  gehabt zu haben.

Tab. 15: Mittelwerte und Standardabweichungen der maximalen Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2peak}$ ) sowie der maximalen Herzfrequenz ( $HF_{peak}$ ) differenziert nach der Medikation

	TX				KO
	Gesamt	ohne Beta-Blocker	ohne Epoetin	ohne Somatotropin	
<b>N</b>	19	11	17	14	33
<b><math>\dot{V}O_{2peak}</math> [l/min]</b>	$1,5 \pm 0,5$	$1,4 \pm 0,6$	$1,5 \pm 0,6$	$1,6 \pm 0,6$	$2,0 \pm 0,7$
<b><math>\dot{V}O_{2peak}</math> [ml/min/kg]</b>	$28,6 \pm 7,8$	$28,6 \pm 9,3$	$27,8 \pm 7,3$	$26,8 \pm 7,0$	$41,7 \pm 8,5$
<b>N</b>	20	12	18	15	33
<b><math>HF_{peak}</math> [1/min]</b>	$166 \pm 18,8$	$174 \pm 16,6$	$164 \pm 18,7$	$165 \pm 19,4$	$190 \pm 12,3$

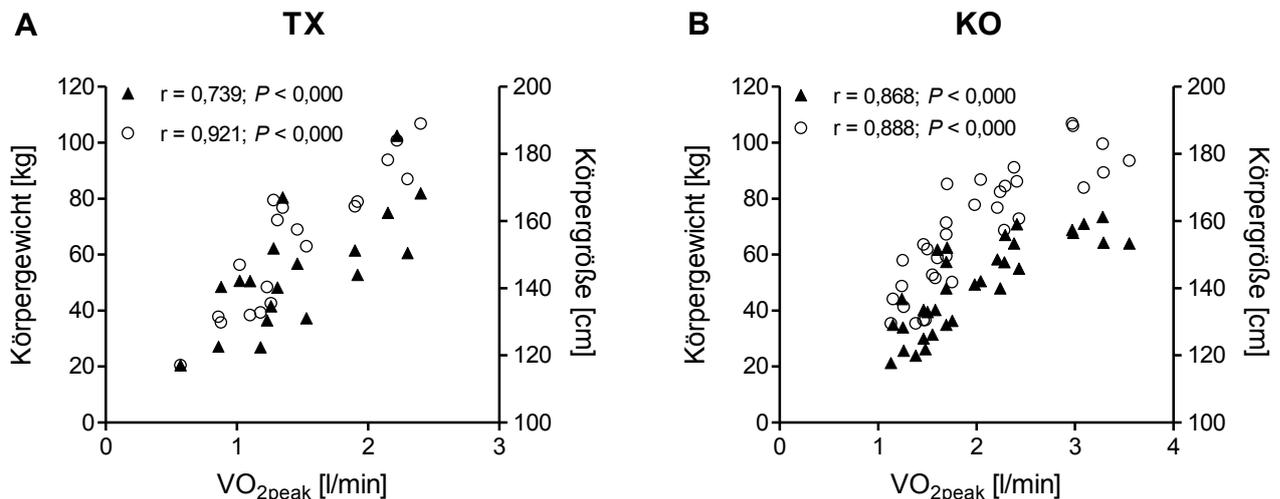


Abb. 12: Zusammenhang zwischen  $\dot{V}O_{2peak}$  und Körpergewicht (▲) sowie Körpergröße (○) für die nierentransplantierten (TX) und gesunden Kinder und Jugendlichen (KO)

Sowohl für die nierentransplantierten als auch die gesunden Kinder und Jugendlichen konnten signifikante Zusammenhänge zwischen der absoluten  $\dot{V}O_{2peak}$  (l/min) und dem

Körpergewicht in kg sowie der Körpergröße in cm gezeigt werden (Abb. 12 A & B). Für die geschlechts- und altersspezifischen Z-Scores für Körpergewicht und Körpergröße konnten für die  $\dot{V}O_{2peak}$  (TX:  $P = 0,519$  &  $P = 0,141$ ; KO:  $P = 0,163$  &  $P = 0,434$ ) keine signifikanten Zusammenhänge aufgezeigt werden. Auch die Transplantatfunktion (eGFR) korrelierte nicht signifikant mit der in der Spiroergometrie ermittelten  $\dot{V}O_{2peak}$  ( $P = 0,887$ ).

### 3.1.2.2 Weitere Kenngrößen der maximalen Leistungsfähigkeit

Ein weiteres Maß zur Einschätzung der körperlichen Leistungsfähigkeit stellt die mittels Fahrradergometer ermittelte maximale Leistung in Watt bzw. Watt/kg dar. Diese war für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe sowohl absolut ( $103,2 \pm 32,8$  W vs.  $149,3 \pm 51,2$  W,  $P = 0,002$ ) als auch relativ zum Körpergewicht betrachtet ( $1,9 \pm 0,5$  W/kg vs.  $3,0 \pm 0,5$  W/kg,  $P = 0,000$ ) signifikant reduziert (Tab. 16 & Abb. 13).

Tab. 16: Maximale Leistung,  $RQ_{peak}$ ,  $\dot{V}E_{peak}$  und  $HF_{peak}$ ; \*  $P < 0,05$

	TX		KO		P
	N	MW $\pm$ SD	N	MW $\pm$ SD	
<b>max. Leistung [Watt]</b>	17	103,2 $\pm$ 32,8	28	149,3 $\pm$ 51,2	0,002*
<b>max. Leistung/kg [W/kg]</b>	17	1,9 $\pm$ 0,5	28	3,0 $\pm$ 0,5	0,000*
<b>Leistungsindex Laufband</b>	3	9,0 $\pm$ 4,2	5	18,3 $\pm$ 4,0	0,020*
<b><math>RQ_{peak}</math> [<math>\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2</math>]</b>	19	1,11 $\pm$ 0,1	33	1,11 $\pm$ 0,1	0,962
<b><math>\dot{V}E_{peak}</math> [l/min]</b>	19	56,3 $\pm$ 22,8	33	71,4 $\pm$ 22,4	0,024*
<b><math>HF_{peak}</math> [1/min]</b>	20	166 $\pm$ 18,8	33	190 $\pm$ 12,3	0,000*

Die maximale Leistung derjenigen, die nicht auf dem Fahrradergometer belastet werden konnten, wurde mit Hilfe eines Laufband-Leistungsindex verglichen. Auch diesbezüglich zeigte sich ein signifikanter Unterschied ( $P = 0,020$ ) zwischen den nierentransplantierten und gesunden Kindern und Jugendlichen (Tab. 16).

Der als Ausbelastungskriterium geltende respiratorische Quotient zum Zeitpunkt des Belastungsabbruchs ( $RQ_{peak}$ ) betrug für beide Gruppen im Mittel 1,11 ( $P = 0,962$ ). Die maximale Ventilation ( $\dot{V}E_{peak}$ ) der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen lag mit  $56,3 \pm 22,8$  l/min signifikant niedriger als die  $\dot{V}E_{peak}$  der Kontrollgruppe ( $71,4 \pm 22,4$  l/min,  $P = 0,024$ ) und auch die maximal erreichte Herzfrequenz ( $HF_{peak}$ ) war für die nie-

retransplantierten Kinder und Jugendlichen signifikant reduziert (TX:  $166 \pm 18,8/\text{min}$  vs. KO:  $190 \pm 12,3/\text{min}$ ,  $P = 0,000$ ) (Tab. 16).

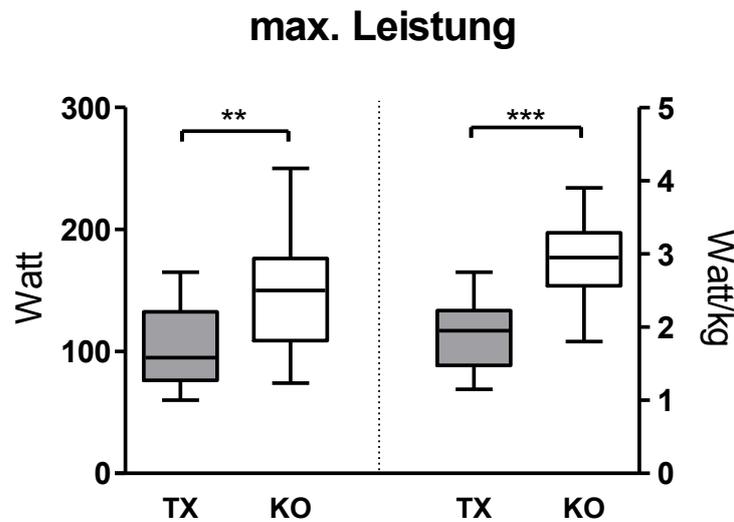


Abb. 13: Maximale Leistung der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen (TX) und der gesunden Kontrollgruppe (KO); \*\*  $P < 0,01$ ; \*\*\*  $P < 0,001$

Differenziert nach dem Geschlecht zeigte sich, dass in beiden Gruppen die Jungen in der maximalen Leistung sowie der  $\dot{V}E_{\text{peak}}$  höhere Werte erreichten als die Mädchen. Außerdem wiesen die nierentransplantierten Jungen und Mädchen jeweils niedrigere Werte auf als die gesunden Kontrollpersonen (Tab. 17). Der  $RQ_{\text{peak}}$  lag bei den nierentransplantierten Mädchen mit  $1,06 \pm 0,1$  unter dem Durchschnitt der Gesamtstichprobe und auch die  $HF_{\text{peak}}$  war für diese vier Patientinnen im Mittel am niedrigsten.

Tab. 17: Maximale Leistung,  $RQ_{\text{peak}}$ ,  $\dot{V}E_{\text{peak}}$  und  $HF_{\text{peak}}$  differenziert nach Geschlecht

	Geschlecht	TX		KO	
		N	MW $\pm$ SD	N	MW $\pm$ SD
<b>max. Leistung [Watt]</b>	männlich	13	$109,4 \pm 34,7$	20	$157,0 \pm 57,8$
	weiblich	4	$82,9 \pm 14,1$	8	$130,0 \pm 21,0$
<b>max. Leistung/kg [W/kg]</b>	männlich	13	$2,0 \pm 0,5$	20	$3,1 \pm 0,5$
	weiblich	4	$1,6 \pm 0,4$	8	$2,7 \pm 0,6$
<b><math>RQ_{\text{peak}}</math> [<math>\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2</math>]</b>	männlich	15	$1,1 \pm 0,1$	25	$1,10 \pm 0,1$
	weiblich	4	$1,06 \pm 0,1$	8	$1,14 \pm 0,1$
<b><math>\dot{V}E_{\text{peak}}</math> [l/min]</b>	männlich	15	$59,5 \pm 24,6$	25	$73,4 \pm 25,2$
	weiblich	4	$44,2 \pm 6,2$	8	$65,4 \pm 7,7$
<b><math>HF_{\text{peak}}</math> [1/min]</b>	männlich	16	$168 \pm 19,4$	25	$189 \pm 12,9$
	weiblich	4	$158 \pm 15,5$	8	$195 \pm 9,2$

Tab. 18: Maximale Leistung,  $RQ_{peak}$ ,  $\dot{V}E_{peak}$  und  $HF_{peak}$  differenziert nach Pubertätsstatus

	Pubertätsstatus	TX		KO	
		N	MW $\pm$ SD	N	MW $\pm$ SD
<b>max. Leistung [Watt]</b>	präpubertär	2	65,0 $\pm$ 7,1	6	91,1 $\pm$ 14,8
	pubertär	11	97,6 $\pm$ 25,0	17	160,6 $\pm$ 44,5
	postpubertär	4	137,5 $\pm$ 31,0	5	180,5 $\pm$ 51,7
<b>max. Leistung/kg [W/kg]</b>	präpubertär	2	2,4 $\pm$ 0,4	6	3,3 $\pm$ 0,4
	pubertär	11	1,9 $\pm$ 0,4	17	2,9 $\pm$ 0,5
	postpubertär	4	1,8 $\pm$ 0,7	5	2,8 $\pm$ 0,7
<b><math>RQ_{peak}</math> [<math>\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2</math>]</b>	präpubertär	3	1,12 $\pm$ 0,2	11	1,04 $\pm$ 0,1
	pubertär	12	1,11 $\pm$ 0,1	17	1,14 $\pm$ 0,1
	postpubertär	4	1,09 $\pm$ 0,0	5	1,17 $\pm$ 0,1
<b><math>\dot{V}E_{peak}</math> [l/min]</b>	präpubertär	3	39,2 $\pm$ 17,9	11	52,1 $\pm$ 8,7
	pubertär	12	55,7 $\pm$ 23,0	17	78,3 $\pm$ 19,1
	postpubertär	4	71,2 $\pm$ 19,0	5	90,6 $\pm$ 25,6
<b><math>HF_{peak}</math> [1/min]</b>	präpubertär	4	174 $\pm$ 14,7	11	184 $\pm$ 14,3
	pubertär	12	163 $\pm$ 20,2	17	195 $\pm$ 10,4
	postpubertär	4	165 $\pm$ 20,4	5	188 $\pm$ 6,3

In Bezug auf den Status der pubertären Entwicklung wurde deutlich, dass sowohl die  $\dot{V}E_{peak}$  als auch die absolute maximale Leistung in Watt in beiden Gruppen mit steigendem Pubertätsstatus zunehmen, wohingegen sich die auf das Körpergewicht relativierte maximale Leistung (Watt/kg) reduziert. Die höchste Leistungsfähigkeit pro Kilogramm Körpergewicht weisen in beiden Gruppen die als präpubertär eingestuftten Kinder auf (Tab. 18). Im Mittel liegen zwischen TX und KO bei vergleichbarer pubertärer Entwicklung jeweils 1 W/kg Differenz, was in etwa dem beschriebenen Leistungsunterschied zwischen den Gesamtstichproben entspricht. Der  $RQ_{peak}$  war für die als präpubertär eingestuftten Kontrollpersonen mit  $1,04 \pm 0,1$  am niedrigsten und für die postpubertären Jugendlichen am höchsten ( $RQ_{peak} = 1,17 \pm 0,1$ ). Hinsichtlich der  $HF_{peak}$  scheint kein direkter Zusammenhang zur pubertären Entwicklung der Probanden zu bestehen. Über alle pubertären Entwicklungsstadien hinweg erreichten die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen deutlich geringere maximale Herzfrequenzen als die gesunde Kontrollgruppe (Tab. 18).

Tab. 19: Maximale Leistung,  $RQ_{peak}$ ,  $\dot{V}E_{peak}$  und  $HF_{peak}$  differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität

	Körperliche Aktivität	TX		KO	
		N	MW ± SD	N	MW ± SD
max. Leistung [Watt]	keine	8	91,1 ± 20,8	12	148,1 ± 37,4
	geringe	5	106,0 ± 35,6	10	135,4 ± 45,9
	moderate	4	123,8 ± 45,5	6	174,6 ± 78,3
max. Leistung/kg [W/kg]	keine	8	1,6 ± 0,5	12	2,8 ± 0,5
	geringe	5	2,1 ± 0,3	10	2,9 ± 0,4
	moderate	4	2,2 ± 0,4	6	3,5 ± 0,4
$RQ_{peak}$ [ $\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$ ]	keine	9	1,07 ± 0,1	15	1,11 ± 0,1
	geringe	6	1,12 ± 0,1	12	1,13 ± 0,1
	moderate	4	1,18 ± 0,1	6	1,09 ± 0,1
$\dot{V}E_{peak}$ [l/min]	keine	9	46,6 ± 15,1	15	69,6 ± 20,6
	geringe	6	59,4 ± 27,1	12	67,5 ± 21,5
	moderate	4	73,6 ± 23,9	6	83,9 ± 27,5
$HF_{peak}$ [1/min]	keine	10	159 ± 18,8	15	192 ± 13,8
	geringe	6	168 ± 16,1	12	188,4 ± 13,5
	moderate	4	180 ± 18,1	6	191 ± 4,8

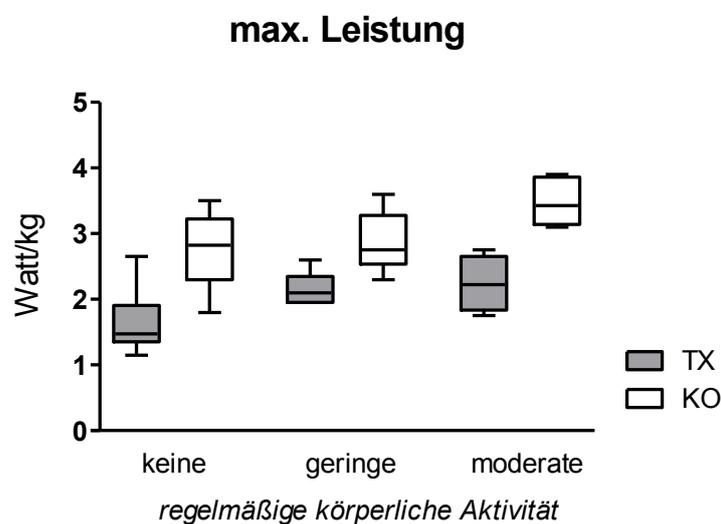


Abb. 14: Maximale Leistung (Watt/kg) der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen (TX) und der gesunden Kontrollgruppe (KO) differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität

Differenziert nach dem Umfang regelmäßiger körperlicher Aktivität erreichten in beiden Gruppen die moderat aktiven Kinder und Jugendlichen die höchste maximale Leistung, wobei die moderat aktiven nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen mit  $2,2 \pm$

0,4 W/kg im Vergleich zu den gesunden Gleichaltrigen aller Subgruppen dennoch eine deutlich reduzierte maximale Leistungsfähigkeit aufwiesen (Tab. 19 & Abb. 14).

Während für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen differenziert nach der besuchten Schulform kaum Unterschiede in der maximalen Leistung pro Kilogramm Körpergewicht bestanden, erreichten die gesunden Grund- und Realschüler/-innen eine deutlich höhere maximale Leistung/kg als die gesunden Berufsschüler/-innen (Tab. 20 & Tab. 21). In beiden Gruppen konnten die Sonderschüler/-innen im Mittel keine Ausbelastung erreichen ( $RQ_{peak} = 1,01 \pm 0,1$  für TX und KO).

Tab. 20: Mittelwerte und Standardabweichungen der maximalen Leistung,  $RQ_{peak}$ ,  $\dot{V}E_{peak}$  und  $HF_{peak}$  für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen differenziert nach der besuchten Schulform

	TX				
	Grundschule	Realschule	Gymnasium	Sonderschule	Berufsschule
<b>N</b>	4	7	2	3	3
<b><math>RQ_{peak}</math> [<math>\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2</math>]</b>	1,08 ± 0,2	1,16 ± 0,1	1,16 ± 0,0	1,01 ± 0,1	1,11 ± 0,4
<b><math>\dot{V}E_{peak}</math> [l/min]</b>	42,1 ± 10,4	66,1 ± 26,0	52,4 ± 0,7	48,5 ± 35,2	62,9 ± 17,9
<b>N</b>	3	7	2	2	3
<b>max. Leistung [Watt]</b>	67,5 ± 6,6	109,6 ± 26,4	87,5 ± 10,6	117,0 ± 67,9	125,0 ± 30,0
<b>max. Leistung/kg [W/kg]</b>	2,2 ± 0,3	1,8 ± 0,5	1,95 ± 0,0	2,1 ± 0,95	1,9 ± 0,6
<b>N</b>	4	7	2	4	3
<b><math>HF_{peak}</math> [1/min]</b>	159 ± 25,7	169 ± 24,0	155 ± 14,9	170 ± 12,6	169 ± 2,8

Tab. 21: Mittelwerte und Standardabweichungen der maximalen Leistung,  $RQ_{peak}$ ,  $\dot{V}E_{peak}$  und  $HF_{peak}$  für die gesunde Kontrollgruppe differenziert nach der besuchten Schulform

	KO				
	Grundschule	Realschule	Gymnasium	Sonderschule	Berufsschule
<b>N</b>	9	11	5	3	5
<b><math>RQ_{peak}</math> [<math>\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2</math>]</b>	1,06 ± 0,8	1,13 ± 0,1	1,16 ± 0,1	1,01 ± 0,1	1,20 ± 0,1
<b><math>\dot{V}E_{peak}</math> [l/min]</b>	53,1 ± 7,7	87,9 ± 22,2	64,9 ± 6,5	55,1 ± 17,7	84,5 ± 21,9
<b>N</b>	6	11	5	1	5
<b>max. Leistung [Watt]</b>	91,1 ± 14,8	186,4 ± 46,5	128,0 ± 29,6	-	162,5 ± 37,3
<b>max. Leistung/kg [W/kg]</b>	3,0 ± 0,7	3,2 ± 0,4	2,9 ± 0,4	-	2,5 ± 0,4
<b>N</b>	9	11	5	3	5
<b><math>HF_{peak}</math> [1/min]</b>	184 ± 12,3	195 ± 9,2	199 ± 6,6	185 ± 22,2	184 ± 9,2

Für die absolute maximale Leistung in Watt konnten sowohl für die nierentransplantierten als auch die gesunden Kinder und Jugendlichen signifikante Zusammenhänge zum Körpergewicht in kg sowie zur Körpergröße in cm nachgewiesen werden (Abb. 15). Demnach wird die maximale Leistungsfähigkeit neben dem Körpergewicht auch von der Körpergröße entscheidend beeinflusst.

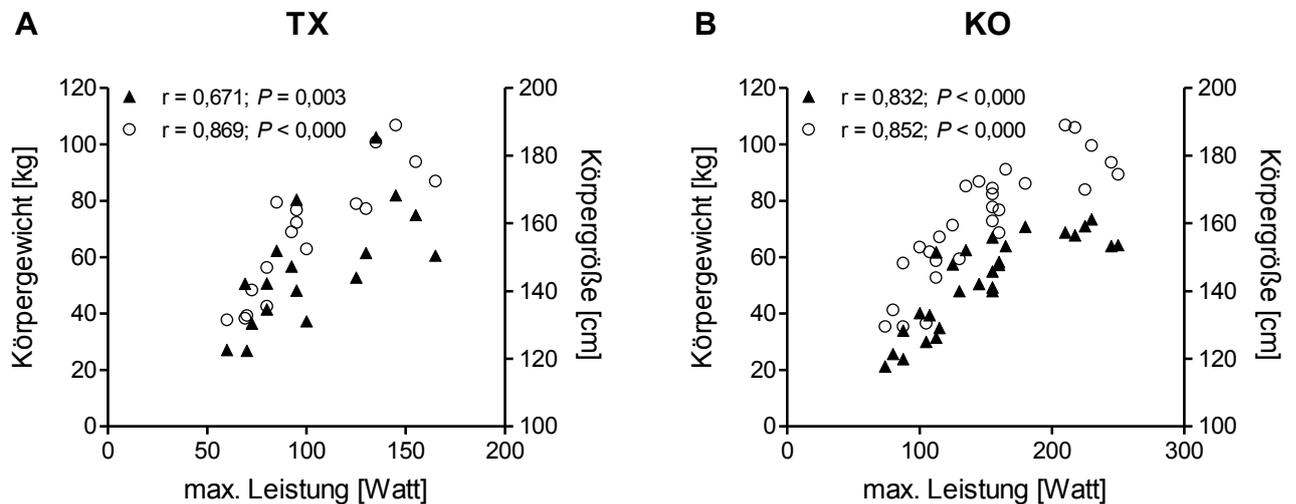


Abb. 15: Zusammenhang zwischen maximaler Leistung und Körpergewicht (▲) sowie Körpergröße (○) für die nierentransplantierten (TX) und gesunden Kinder und Jugendlichen (KO)

### 3.1.2.3 Submaximale Leistungsfähigkeit (ventilatorische Schwellen)

Als submaximale Werte werden nachfolgend die über die Spiroergometrie ermittelten ventilatorischen Schwellen VT1 und VT2 sowie die Herzfrequenzwerte an den Schwellen (HF VT1 & HF VT2) zusammengefasst. Die ventilatorischen Schwellen wurden einerseits über den prozentualen Anteil an der  $\dot{V}O_{2peak}$  und andererseits als Sauerstoffaufnahme pro Kilogramm Körpergewicht (ml/min/kg) an der jeweiligen Schwelle ( $\dot{V}O_2/kg$  VT1 bzw.  $\dot{V}O_2/kg$  VT2) bestimmt. Prozentual betrachtet bestehen hinsichtlich der VT1 als auch der VT2 zwischen den beiden Gruppen TX und KO keine signifikanten Unterschiede. Die VT1 lag im Mittel bei rund 50% der  $\dot{V}O_{2peak}$  während die VT2 bei etwa 77% der  $\dot{V}O_{2peak}$  identifiziert werden konnte. Orientiert an der Höhe der relativen Sauerstoffaufnahme im Bereich der Schwellen, waren sowohl die VT1 als auch die VT2 bei den nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen signifikant reduziert ( $P < 0,001$ ). Auch die Herzfrequenzwerte im Bereich der ventilatorischen Schwellen lagen bei den nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen signifikant niedriger als bei der Kontrollgruppe ( $P < 0,001$ ; Tab. 22).

Tab. 22: Leistungsparameter an den ventilatorischen Schwellen; \*  $P < 0,05$

	TX		KO		P
	N	MW $\pm$ SD	N	MW $\pm$ SD	
VT1 [% von $\dot{V}O_{2peak}$ ]	19	48,7 $\pm$ 5,4	33	50,8 $\pm$ 5,9	0,211
$\dot{V}O_2/kg$ VT1 [ml/min/kg]	19	13,8 $\pm$ 3,9	33	21,4 $\pm$ 5,2	0,000*
VT2 [% von $\dot{V}O_{2peak}$ ]	18	77,3 $\pm$ 5,5	32	76,7 $\pm$ 5,9	0,761
$\dot{V}O_2/kg$ VT2 [ml/min/kg]	18	22,1 $\pm$ 7,0	32	32,6 $\pm$ 6,9	0,000*
HF VT1 [1/min]	19	116 $\pm$ 16,1	33	137,0 $\pm$ 12,9	0,000*
HF VT2 [1/min]	18	141 $\pm$ 22,1	32	168 $\pm$ 14,8	0,000*

Tab. 23: Leistungsparameter an den ventilatorischen Schwellen differenziert nach Geschlecht

	Geschlecht	TX		KO	
		N	MW $\pm$ SD	N	MW $\pm$ SD
VT1 [% von $\dot{V}O_{2peak}$ ]	männlich	15	47,7 $\pm$ 5,4	25	50,7 $\pm$ 6,6
	weiblich	4	52,8 $\pm$ 3,2	8	51,1 $\pm$ 3,2
$\dot{V}O_2/kg$ VT1 [ml/min/kg]	männlich	15	14,0 $\pm$ 4,1	25	22,1 $\pm$ 5,2
	weiblich	4	13,0 $\pm$ 3,5	8	18,9 $\pm$ 4,9
VT2 [% von $\dot{V}O_{2peak}$ ]	männlich	14	77,4 $\pm$ 6,1	24	77,2 $\pm$ 6,5
	weiblich	4	76,6 $\pm$ 3,0	8	75,5 $\pm$ 3,5
$\dot{V}O_2/kg$ VT2 [ml/min/kg]	männlich	14	23,0 $\pm$ 7,3	24	34,1 $\pm$ 6,2
	weiblich	4	18,9 $\pm$ 5,1	8	28,1 $\pm$ 7,1
HF VT1 [1/min]	männlich	15	117 $\pm$ 17,5	25	136 $\pm$ 13,8
	weiblich	4	116 $\pm$ 11,2	8	141 $\pm$ 9,1
HF VT2 [1/min]	männlich	14	143 $\pm$ 23,6	24	167 $\pm$ 15,6
	weiblich	4	136 $\pm$ 16,9	8	171 $\pm$ 12,9

Vergleichbare Werte konnten auch in Bezug auf das Geschlecht der Kinder und Jugendlichen festgestellt werden. In Prozent der  $\dot{V}O_{2peak}$  bestanden nur geringfügige Unterschiede zwischen den geschlechterspezifischen Subgruppen. Die relative Sauerstoffaufnahme an der VT1 und VT2 war sowohl bei den nierentransplantierten Jungen als auch bei den nierentransplantierten Mädchen im Vergleich zur Kontrollgruppe reduziert. Innerhalb der Gruppen konnten außerdem geringere Werte für die Mädchen festgestellt werden. Die Herzfrequenzwerte im Bereich der ventilatorischen Schwellen unterschieden sich innerhalb der Gruppen TX und KO nur geringfügig in Abhängigkeit vom

Geschlecht, wobei jedoch für alle nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen die Herzfrequenzwerte niedriger waren als bei der Kontrollgruppe (Tab. 23).

In Abhängigkeit von der pubertären Entwicklung fiel auf, dass die relative Sauerstoffaufnahme sowohl an der VT1 als auch an der VT2 bei den als präpubertär eingestuften Kindern beider Gruppen am höchsten und bei den postpubertären Jugendlichen am niedrigsten war (Tab. 24). Hinsichtlich der Herzfrequenzwerte konnte kein eindeutiger Einfluss der pubertären Entwicklung festgestellt werden.

Tab. 24: Leistungsparameter an den ventilatorischen Schwellen differenziert nach Pubertätsstatus

	Pubertätsstatus	TX		KO	
		N	MW ± SD	N	MW ± SD
VT1 [% von $\dot{V}O_{2peak}$ ]	präpubertär	3	52,3 ± 7,5	11	50,2 ± 7,4
	pubertär	12	48,9 ± 4,2	17	51,2 ± 5,8
	postpubertär	4	45,5 ± 6,7	5	50,8 ± 1,9
$\dot{V}O_2/kg$ VT1 [ml/min/kg]	präpubertär	3	17,7 ± 4,1	11	22,8 ± 6,5
	pubertär	12	13,5 ± 3,5	17	21,0 ± 4,4
	postpubertär	4	11,7 ± 3,9	5	19,4 ± 5,0
VT2 [% von $\dot{V}O_{2peak}$ ]	präpubertär	2	83,8 ± 11,7	10	74,7 ± 7,9
	pubertär	12	76,5 ± 4,0	17	77,9 ± 4,5
	postpubertär	4	76,4 ± 5,8	5	76,7 ± 5,5
$\dot{V}O_2/kg$ VT2 [ml/min/kg]	präpubertär	2	30,8 ± 3,7	10	35,2 ± 7,3
	pubertär	12	21,4 ± 6,4	17	32,0 ± 5,3
	postpubertär	4	20,0 ± 7,9	5	29,6 ± 10,1
HF VT1 [1/min]	präpubertär	3	123 ± 6,8	11	130 ± 13,1
	pubertär	12	115 ± 18,6	17	142 ± 12,4
	postpubertär	4	117 ± 14,0	5	134 ± 6,4
HF VT2 [1/min]	präpubertär	2	146 ± 10,3	10	159 ± 13,5
	pubertär	12	138 ± 23,7	17	175 ± 13,2
	postpubertär	4	149 ± 23,0	5	165 ± 13,1

Die Kinder und Jugendlichen, die als moderat körperlich aktiv eingestuft wurden, erreichten in beiden Gruppen (TX und KO) die jeweils höchste relative Sauerstoffaufnahme und Herzfrequenz im Bereich der ventilatorischen Schwellen VT1 und VT2, während die Studienteilnehmer/-innen ohne regelmäßige körperliche Aktivität die geringsten Schwellenwerte aufwiesen. Die VT2 lag sowohl bei den Transplantierten als auch bei

der Kontrollgruppe für die moderat körperlich aktiven Kinder und Jugendlichen mit rund 82% der ermittelten  $\dot{V}O_{2peak}$  etwa 5% über dem Stichproben-Mittelwert (Tab. 25).

Tab. 25: Leistungsparameter an den ventilatorischen Schwellen differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität

	Körperliche Aktivität	TX		KO	
		N	MW ± SD	N	MW ± SD
VT1 [% von $\dot{V}O_{2peak}$ ]	keine	9	47,8 ± 4,1	15	48,9 ± 3,9
	geringe	6	49,2 ± 6,3	12	52,8 ± 5,3
	moderate	4	50,1 ± 7,7	6	51,8 ± 9,8
$\dot{V}O_2/kg$ VT1 [ml/min/kg]	keine	9	11,4 ± 3,4	15	19,5 ± 3,9
	geringe	6	15,45 ± 3,5	12	21,5 ± 5,0
	moderate	4	16,74 ± 2,8	6	25,6 ± 6,6
VT2 [% von $\dot{V}O_{2peak}$ ]	keine	9	76,7 ± 4,9	15	74,9 ± 3,2
	geringe	5	74,7 ± 2,3	11	76,55 ± 7,4
	moderate	4	81,75 ± 7,6	6	81,67 ± 6,1
$\dot{V}O_2/kg$ VT2 [ml/min/kg]	keine	9	18,7 ± 7,3	15	30,1 ± 6,2
	geringe	5	24,1 ± 5,4	11	31,9 ± 4,9
	moderate	4	27,4 ± 3,8	6	40,3 ± 6,8
HF VT1 [1/min]	keine	9	113 ± 13,5	15	136 ± 15,3
	geringe	6	113 ± 13,3	12	136 ± 10,3
	moderate	4	129 ± 22,2	6	141 ± 12,5
HF VT2 [1/min]	keine	9	136 ± 19,9	15	167 ± 16,6
	geringe	5	137 ± 18,9	11	167 ± 15,0
	moderate	4	160 ± 25,6	6	173 ± 10,5

Im Rahmen der Überprüfung von Subgruppendifferenzen in Abhängigkeit von der besuchten Schulform konnte keine eindeutige Tendenz festgestellt werden. Bei den nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen wiesen die Real- und Berufsschüler/-innen die niedrigsten relativen Sauerstoffaufnahmewerte auf, während die Grundschüler/-innen die höchsten Werte erreichten (Tab. 26). In der Kontrollgruppe wurden die niedrigsten Sauerstoffaufnahmen im Bereich der ventilatorischen Schwellen bei den Sonder- und Berufsschülern/-innen ermittelt. Die höchste Sauerstoffaufnahme innerhalb der Kontrollgruppe erzielten die Realschüler/-innen (Tab. 27).

Tab. 26: Mittelwerte und Standardabweichungen der Leistungsparameter an den ventilatorischen Schwellen für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen differenziert nach der besuchten Schulform

		TX				
		Grundschule	Realschule	Gymnasium	Sonderschule	Berufsschule
<b>VT1</b>	<b>N</b>	4	7	2	3	3
	<b>[% von <math>\dot{V}O_{2peak}</math>]</b>	51,9 ± 6,1	46,1 ± 4,0	53,8 ± 3,2	49,0 ± 3,1	47,2 ± 8,3
	<b><math>\dot{V}O_2/kg</math> [ml/min/kg]</b>	16,2 ± 5,5	12,3 ± 3,4	15,6 ± 0,7	13,9 ± 3,2	12,7 ± 4,9
	<b>HF [1/min]</b>	119 ± 10,9	118 ± 23,3	101 ± 15,6	119 ± 3,5	119 ± 10,6
<b>VT2</b>	<b>N</b>	4	7	2	2	3
	<b>[% von <math>\dot{V}O_{2peak}</math>]</b>	79,0 ± 8,8	76,3 ± 5,4	76,5 ± 0,7	80,3 ± 3,9	75,7 ± 4,3
	<b><math>\dot{V}O_2/kg</math> [ml/min/kg]</b>	24,9 ± 8,7	20,7 ± 7,3	22,18 ± 2,0	23,7 ± 10,4	20,6 ± 7,5
	<b>HF [1/min]</b>	134 ± 15,9	145 ± 28,5	119 ± 9,2	153 ± 19,5	152 ± 10,2

Tab. 27: Mittelwerte und Standardabweichungen der Leistungsparameter an den ventilatorischen Schwellen für die gesunde Kontrollgruppe differenziert nach der besuchten Schulform

		KO				
		Grundschule	Realschule	Gymnasium	Sonderschule	Berufsschule
<b>VT1</b>	<b>N</b>	9	11	5	3	5
	<b>[% von <math>\dot{V}O_{2peak}</math>]</b>	49,7 ± 7,9	50,4 ± 6,5	51,9 ± 5,0	52,5 ± 4,3	51,7 ± 1,6
	<b><math>\dot{V}O_2/kg</math> [ml/min/kg]</b>	22,7 ± 7,2	23,0 ± 4,5	21,0 ± 3,1	17,8 ± 2,0	17,8 ± 3,4
	<b>HF [1/min]</b>	130 ± 10,1	144 ± 14,4	145 ± 9,4	128 ± 13,4	132 ± 6,0
<b>VT2</b>	<b>N</b>	9	11	5	2	5
	<b>[% von <math>\dot{V}O_{2peak}</math>]</b>	74,5 ± 8,4	78,5 ± 5,3	78,7 ± 4,7	76,0 ± 0,7	75,2 ± 2,6
	<b><math>\dot{V}O_2/kg</math> [ml/min/kg]</b>	33,9 ± 9,3	35,8 ± 5,0	31,8 ± 2,8	28,4 ± 1,5	25,8 ± 4,5
	<b>HF [1/min]</b>	158 ± 12,6	176 ± 12,7	180 ± 7,1	162 ± 20,5	159 ± 10,4

Auf Basis der im Abschnitt 3.1.2 beschriebenen Untersuchungsergebnisse, wird die Hypothese H7 angenommen, da gezeigt werden konnte, dass die maximale Sauerstoffaufnahme sowie die maximale Leistungsfähigkeit nierentransplantierten Kinder und Jugendlicher im Vergleich zu gesunden Gleichaltrigen mit vergleichbarem Aktivitätsverhalten signifikant reduziert sind.

### 3.1.3 Maximale Handkraft

Die maximale Handkraft der nicht-dominanten Hand betrug für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen  $21,5 \pm 10,4$  kg. Die Kontrollgruppe erreichte mit  $26,0 \pm 12,3$  kg etwas höhere Werte, wobei diese Differenz nicht signifikant ( $P = 0,191$ ) war (Abb. 16 & Tab. 28).

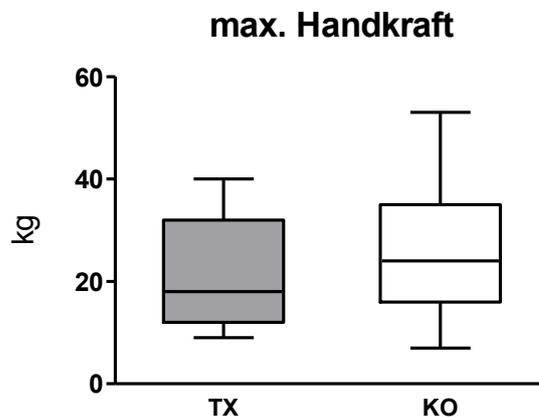


Abb. 16: Maximale Handkraft [kg] der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen (TX) und der gesunden Kontrollgruppe (KO)

Sowohl bei den nierentransplantierten, als auch bei den gesunden Kindern und Jugendlichen erreichten die Jungen höhere Werte in der maximalen Handkraft als die Mädchen. Auch mit zunehmender pubertärer Entwicklung waren steigende Kraftwerte zu verzeichnen, wobei die gesunden Kinder und Jugendlichen jeweils höhere Werte erzielten als die Nierentransplantierten (Tab. 28).

In beiden Gruppen war die maximale Handkraft für die moderat aktiven Studienteilnehmer/-innen am größten. Jedoch fiel auf, dass die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen mit moderater körperlicher Aktivität im Mittel sogar höhere Werte erreichten als die gesunden Kontrollpersonen ohne oder mit nur geringer körperlicher Aktivität (Tab. 28).

Differenziert nach der besuchten Schulform wiesen die Grund- und Sonderschüler/-innen beider Gruppen die geringsten Kraftwerte auf. Die Real- und Berufsschüler/-innen erzielten hingegen die jeweils höchsten Werte, wobei die gesunden Kinder und Jugendlichen mit rund 36 kg über eine deutlich größere maximale Handkraft verfügten als die nierentransplantierten Gleichaltrigen (Tab. 28).

Tab. 28: Maximale Handkraft [kg] insgesamt sowie differenziert nach Geschlecht, Pubertätsstatus, regelmäßiger körperlicher Aktivität und besuchter Schulform

		TX		KO		P
		N	MW ± SD	N	MW ± SD	
<b>Gesamtstichprobe</b>		19	21,5 ± 10,4	33	26,0 ± 12,3	0,191
<b>Geschlecht</b>	männlich	15	22,7 ± 11,1	25	27,5 ± 13,3	-
	weiblich	4	17,0 ± 6,3	8	21,1 ± 6,8	
<b>Pubertätsstatus</b>	präpubertär	4	10,5 ± 1,7	11	14,9 ± 4,0	-
	pubertär	11	21,8 ± 9,7	17	29,5 ± 10,7	
	postpubertär	4	31,8 ± 5,3	5	38,4 ± 11,5	
<b>Körperliche Aktivität</b>	keine	10	19,0 ± 8,3	15	24,7 ± 9,2	-
	geringe	5	22,8 ± 12,9	12	24,0 ± 12,8	
	moderate	4	26,3 ± 12,9	6	33,2 ± 17,2	
<b>Schulform</b>	Grundschule	4	12,5 ± 2,1	9	14,3 ± 4,2	-
	Realschule	7	27,7 ± 9,2	11	35,4 ± 10,3	
	Gymnasium	1	18 ± 0,0	5	21,4 ± 5,5	
	Sonderschule	4	15,3 ± 11,2	3	17,0 ± 3,0	
	Berufsschule	3	28,7 ± 8,2	5	36,2 ± 10,4	

In Bezug auf die maximale Handkraft, muss die Hypothese H8, dass die maximale Handkraft bei nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen im Vergleich zu gesunden Gleichaltrigen mit vergleichbarem Aktivitätsverhalten geringer ist, verworfen werden, da dies statistisch nicht nachgewiesen werden konnte.

### 3.1.4 Koordination

Die koordinativen Fähigkeiten wurden mit Hilfe des Körperkoordinationstests für Kinder (KTK) erfasst. Dabei zeichneten sich in allen Bereichen signifikante Einschränkungen in den koordinativen Fähigkeiten der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe ab (Tab. 29 & Abb. 17). Die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen erreichten im Mittel einen Gesamt-MQ von  $59,7 \pm 17,5$  Punkten, was nach der Definition von Kiphard und Schilling (2007) einer gestörten Körperkoordination entspricht. Die Kontrollgruppe wies hingegen ein normales Niveau an koordinativen Fähigkeiten auf (Gesamt-MQ =  $105,8 \pm 14,9$ ;  $P = 0,000$ ).

Tab. 29: MQ-Werte im Körperkoordinationstest (KTK); \*  $P < 0,001$

	TX		KO		P
	N	MW ± SD	N	MW ± SD	
<b>Gesamt-MQ</b>		59,7 ± 17,5		105,8 ± 14,9	0,000*
<b>MQ Rückwärts Balancieren</b>		64,8 ± 16,4		94,5 ± 13,4	0,000*
<b>MQ Monopedales Überhüpfen</b>	19	62,2 ± 22,3	33	100,6 ± 15,9	0,000*
<b>MQ Seitliches Hin- und Herspringen</b>		79,0 ± 19,5		114,5 ± 15,2	0,000*
<b>MQ Seitliches Umsetzen</b>		70,7 ± 14,1		108,8 ± 18,1	0,000*

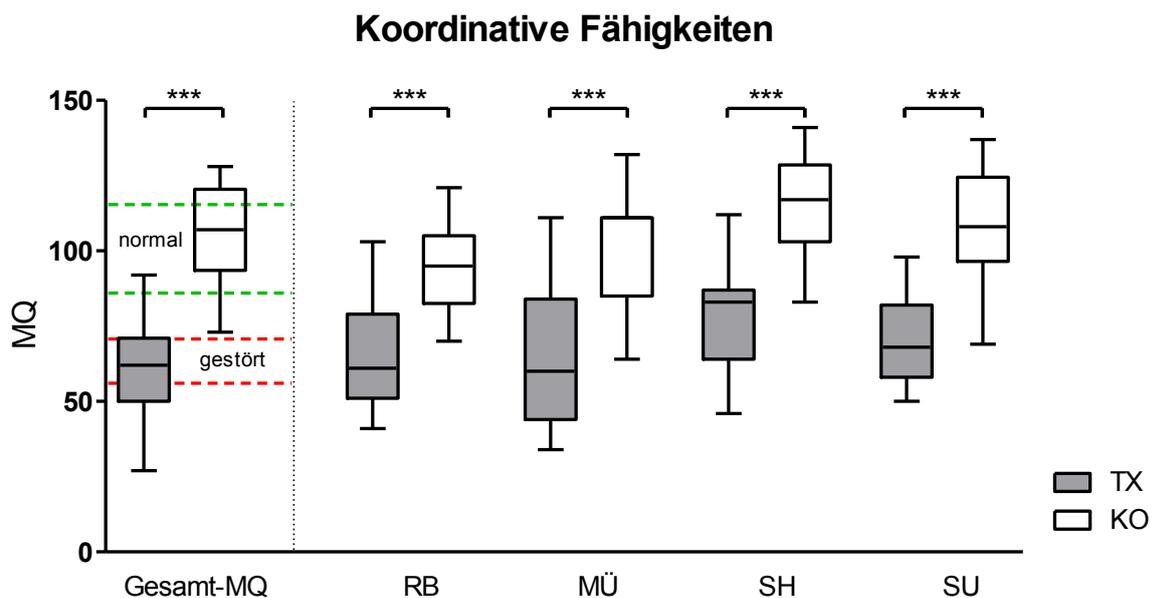


Abb. 17: MQ-Werte der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen (TX) und der gesunden Kontrollgruppe (KO) im Körperkoordinationstest (KTK). RB = Rückwärts Balancieren; MÜ = Monopedales Überhüpfen; SH = Seitliches Hin- und Herspringen; SU = Seitliches Umsetzen; \*\*\*  $P < 0,001$

Auch bei separater Betrachtung der vier einzelnen motorischen Aufgaben des KTK zeigt sich eine deutliche ( $P < 0,001$ ) Beeinträchtigung der koordinativen Fähigkeiten der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe. Im *Monopedalen Überhüpfen* erzielten die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen mit  $62,2 \pm 22,3$  Punkten die geringsten Werte, im *Seitlichen Hin- und Herspringen* die höchste Punktzahl ( $79,0 \pm 19,5$ ). Die mittleren MQ-Werte der gesunden Kontrollgruppe konnten die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen dennoch für keine der vier Aufgaben erreichen (Tab. 29).

In Abhängigkeit vom Geschlecht konnten die Differenzen zwischen den beiden Gruppen TX und KO für alle vier Testaufgaben und den Gesamt-MQ bestätigt werden. Mit Aus-

nahme des *Rückwärts Balancierens* zeichneten sich in allen geschlechterspezifischen Subgruppen bessere koordinative Leistungen bei den Jungen ab (Tab. 30).

Tab. 30: MQ-Werte im KTK differenziert nach Geschlecht

	Geschlecht	TX		KO	
		N	MW ± SD	N	MW ± SD
<b>Gesamt-MQ</b>	männlich	15	61,7 ± 18,0	25	108,5 ± 14,0
	weiblich	4	52,0 ± 14,7	8	97,4 ± 15,2
<b>MQ Rückwärts Balancieren</b>	männlich	15	65,1 ± 16,7	25	93,0 ± 12,8
	weiblich	4	64,0 ± 17,4	8	99,0 ± 15,3
<b>MQ Monopedaes Überhüpfen</b>	männlich	15	66,1 ± 22,9	25	104,8 ± 13,4
	weiblich	4	47,8 ± 13,9	8	87,6 ± 17,1
<b>MQ Seitliches Hin- und Herspringen</b>	männlich	15	80,3 ± 19,9	25	117,8 ± 14,6
	weiblich	4	74,0 ± 19,4	8	103,9 ± 12,4
<b>MQ Seitliches Umsetzen</b>	männlich	15	71,6 ± 15,0	25	111,2 ± 17,9
	weiblich	4	67,5 ± 11,0	8	101,3 ± 17,7

Tab. 31: MQ-Werte im KTK differenziert nach Pubertätsstatus

	Puber- tätsstatus	TX		KO	
		N	MW ± SD	N	MW ± SD
<b>Gesamt-MQ</b>	präpubertär	4	60,8 ± 25,5	11	104,7 ± 14,1
	pubertär	12	62,4 ± 15,5	17	106,6 ± 15,6
	postpubertär	3	47,3 ± 12,9	5	105,6 ± 17,2
<b>MQ Rückwärts Balancieren</b>	präpubertär	4	66,0 ± 19,2	11	96,0 ± 15,7
	pubertär	12	64,8 ± 16,4	17	93,4 ± 13,1
	postpubertär	3	63,7 ± 19,1	5	95,0 ± 11,6
<b>MQ Monopedaes Überhüpfen</b>	präpubertär	4	69,5 ± 21,9	11	99,9 ± 16,6
	pubertär	12	65,3 ± 22,	17	102,6 ± 14,1
	postpubertär	3	40,0 ± 5,6	5	95,4 ± 22,1
<b>MQ Seitliches Hin- und Herspringen</b>	präpubertär	4	74,8 ± 19,8	11	115,8 ± 13,1
	pubertär	12	82,8 ± 20,5	17	113,8 ± 15,2
	postpubertär	3	69,3 ± 15,7	5	113,6 ± 22,0
<b>MQ Seitliches Umsetzen</b>	präpubertär	4	70,3 ± 20,0	11	103,6 ± 16,7
	pubertär	12	72,1 ± 13,6	17	110,8 ± 19,5
	postpubertär	3	65,7 ± 10,3	5	113,6 ± 16,8

Differenziert nach der pubertären Entwicklung der Studienteilnehmer/-innen konnte ebenfalls gezeigt werden, dass die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen in jeder motorischen Aufgabe schlechter abschnitten als die gesunde Kontrollgruppe. Von allen nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen erreichten die als postpubertär eingestuft Jugendlichen sowohl im Gesamt-MQ als auch in den vier Testaufgaben die jeweils niedrigsten MQ-Werte. Im Gegensatz dazu unterschieden sich die pubertätsspezifischen Subgruppen der Kontrollgruppe in Bezug auf den Gesamt-MQ kaum. Lediglich beim *Seitlichen Umsetzen* schnitten die präpubertären gesunden Kinder mit  $103,6 \pm 16,7$  Punkten am schlechtesten ab, während beim *Monopedalen Überhüpfen* die postpubertären Jugendlichen mit  $95,4 \pm 22,1$  Punkten die geringsten MQ-Werte erzielten (Tab. 31).

In Abhängigkeit von der regelmäßigen körperlichen Aktivität pro Woche konnten die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen mit moderater körperlicher Aktivität (d.h. mind. 2x/Woche) höhere Gesamt-MQ erzielen als die inaktiven Patienten/-innen. Im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe waren die MQ-Werte der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen für alle Testaufgaben sowie insgesamt jedoch deutlich reduziert. Auch innerhalb der Kontrollgruppe erreichten die moderat aktiven Studienteilnehmer/-innen die höchsten MQ-Werte, wobei in Bezug auf das *Seitliche Umsetzen* kein Unterschied zwischen den Aktivitätsgruppen bestand (Abb. 18 & Tab. 32).

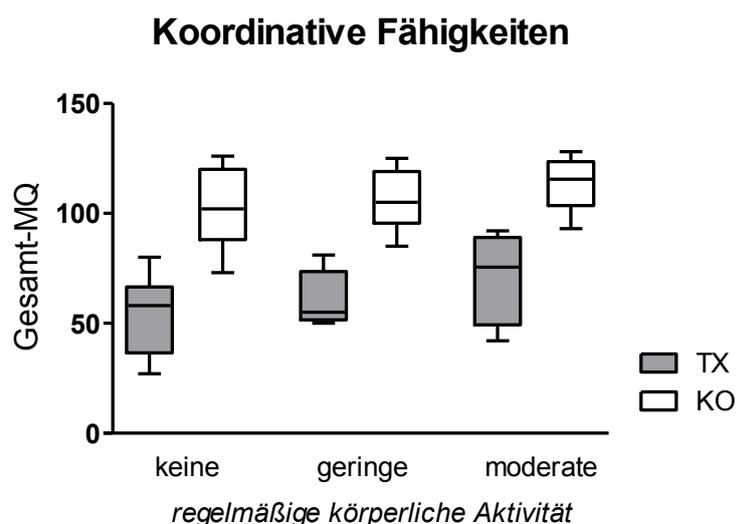


Abb. 18: Gesamt-MQ der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen (TX) und der gesunden Kontrollgruppe (KO) anhand des Umfangs regelmäßiger körperlicher Aktivität

Tab. 32: MQ-Werte im KTK differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität

	Körperliche Aktivität	TX		KO	
		N	MW ± SD	N	MW ± SD
<b>Gesamt-MQ</b>	keine	10	54,4 ± 17,2	15	102,6 ± 16,4
	geringe	5	61,0 ± 12,7	12	106,0 ± 13,4
	moderate	4	71,3 ± 21,3	6	113,5 ± 12,8
<b>MQ Rückwärts Balancieren</b>	keine	10	59,7 ± 13,6	15	94,4 ± 14,5
	geringe	5	67,8 ± 16,2	12	93,5 ± 15,4
	moderate	4	74,0 ± 22,2	6	96,7 ± 6,2
<b>MQ Monopedales Überhüpfen</b>	keine	10	56,8 ± 18,0	15	95,1 ± 15,8
	geringe	5	57,6 ± 19,8	12	100,6 ± 15,4
	moderate	4	81,5 ± 29,4	6	114,5 ± 8,6
<b>MQ Seitliches Hin- und Herspringen</b>	keine	10	78,7 ± 22,0	15	110,1 ± 15,7
	geringe	5	77,8 ± 18,3	12	115,8 ± 13,2
	moderate	4	81,0 ± 19,2	6	122,7 ± 16,2
<b>MQ Seitliches Umsetzen</b>	keine	10	65,2 ± 12,2	15	108,9 ± 19,1
	geringe	5	77,4 ± 15,3	12	108,8 ± 14,8
	moderate	4	76,0 ± 14,7	6	108,5 ± 24,4

Den Tabellen 33 und 34 können die MQ-Werte differenziert nach der besuchten Schulform entnommen werden. Sowohl bei den nierentransplantierten als auch den gesunden Kindern und Jugendlichen zeigten sich die größten koordinativen Defizite unter den Sonderschülern/-innen. Im Gesamt-MQ erzielten die nierentransplantierten Sonderschüler/-innen lediglich  $39,0 \pm 12,4$  Punkte, was etwas weniger als der Hälfte der Punktzahl der gesunden Sonderschüler/-innen entspricht. Den höchsten Gesamt-MQ unter den nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen erreichten die Berufsschüler/-innen mit  $77,0 \pm 21,2$  Punkten. Damit lagen diese jedoch noch 3,7 Punkte unter den Sonderschülern/-innen der gesunden Kontrollgruppe. Bei den gesunden Kindern und Jugendlichen erzielten die Realschüler/-innen im Mittel die höchsten MQ-Werte (Tab. 33 & Tab. 34).

Tab. 33: Mittelwerte und Standardabweichungen der MQ-Werte im KTK für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen differenziert nach der besuchten Schulform

	TX				
	Grundschule	Realschule	Gymnasium	Sonderschule	Berufsschule
N	4	7	2	4	2
<b>Gesamt-MQ</b>	72,8 ± 9,0	61,4 ± 14,0	51,5 ± 2,1	39,0 ± 12,4	77,0 ± 21,2
<b>MQ Rückwärts Balancieren</b>	74,8 ± 8,3	56,9 ± 8,5	67,0 ± 26,9	53,5 ± 9,6	93,5 ± 13,4
<b>MQ Monopedales Überhüpfen</b>	75,0 ± 13,7	65,9 ± 20,3	42,0 ± 2,8	48,0 ± 10,9	72,5 ± 54,5
<b>MQ Seitliches Hin- und Herspringen</b>	90,5 ± 15,6	87,1 ± 14,2	66,5 ± 29,0	57,0 ± 15,6	83,5 ± 5,0
<b>MQ Seitliches Umsetzen</b>	76,0 ± 14,9	72,1 ± 15,4	76,0 ± 11,3	55,8 ± 5,9	79,5 ± 3,5

Tab. 34: Mittelwerte und Standardabweichungen der MQ-Werte im KTK für die gesunde Kontrollgruppe differenziert nach der besuchten Schulform

	KO				
	Grundschule	Realschule	Gymnasium	Sonderschule	Berufsschule
N	9	11	5	3	5
<b>Gesamt-MQ</b>	105,9 ± 10,2	114,5 ± 12,6	106,4 ± 17,1	80,7 ± 6,7	101,2 ± 12,1
<b>MQ Rückwärts Balancieren</b>	98,4 ± 10,6	97,6 ± 12,4	99,6 ± 12,4	73,3 ± 4,9	88,2 ± 14,0
<b>MQ Monopedales Überhüpfen</b>	100,4 ± 17,1	108,4 ± 8,4	98,4 ± 19,1	85,0 ± 6,6	95,4 ± 22,1
<b>MQ Seitliches Hin- und Herspringen</b>	117,1 ± 12,4	117,9 ± 15,8	112,0 ± 14,8	101,7 ± 13,3	112,2 ± 20,5
<b>MQ Seitliches Umsetzen</b>	102,8 ± 16,6	121,4 ± 12,9	109,8 ± 19,8	81,0 ± 10,4	107,8 ± 10,5

Zwischen den erreichten Gesamt-MQ-Werten sowie der körpergewichtsbezogenen maximalen Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2peak}/kg$ ) und der maximalen Leistung (Watt/kg) zeigten sich lediglich für die gesunden Kontrollpersonen signifikante Zusammenhänge (Abb. 19B). In Bezug auf den BMI Z-Score konnte für die gesunde Kontrollgruppe ebenfalls ein linearer Zusammenhang zum Gesamt-MQ ( $r = -0,458$ ;  $P = 0,007$ ;  $N = 33$ ) festgestellt werden, wobei sich das Niveau der koordinativen Fähigkeiten mit steigendem BMI Z-Score reduzierte. Für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen waren weder zwischen der Koordination und der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit (Abb. 19A),

noch für den BMI Z-Score ( $r = -0,343$ ;  $P = 0,150$ ;  $N = 19$ ) lineare Zusammenhänge nachweisbar.

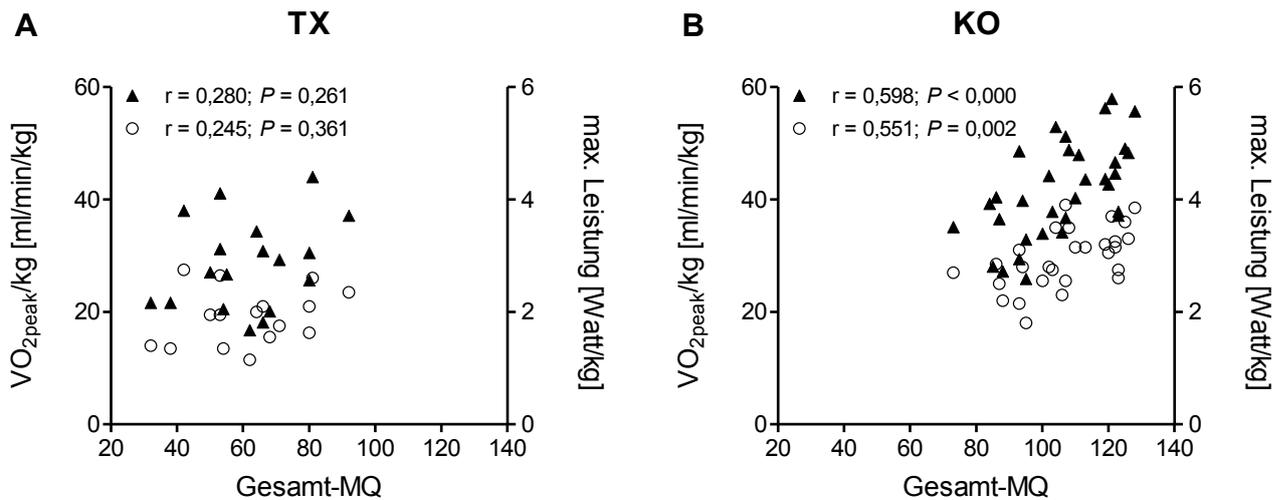


Abb. 19: Zusammenhang zwischen Gesamt-MQ und  $\dot{V}O_{2peak}/kg$  (▲) sowie der maximalen Leistung pro kg (○) für die nierentransplantierten (A) und gesunden Kinder und Jugendlichen (B)

Zusätzlich konnten für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen keine linearen Zusammenhänge zwischen den koordinativen Fähigkeiten und dem Alter zu Beginn der Dialyse ( $r = -0,035$ ;  $P = 0,905$ ;  $N = 14$ ), dem Alter zum Zeitpunkt der Transplantation ( $r = -0,270$ ;  $P = 0,264$ ;  $N = 19$ ) sowie der vergangenen Zeit zwischen Transplantation und Studieneinschluss ( $r = -0,067$ ;  $P = 0,784$ ;  $N = 19$ ) festgestellt werden.

In Hinblick auf die koordinativen Fähigkeiten kann die Hypothese H8 angenommen werden, da nachgewiesen werden konnte, dass die koordinativen Fähigkeiten nierentransplantierten Kinder und Jugendlicher signifikant geringer sind als bei gesunden Gleichaltrigen mit vergleichbarem Aktivitätsverhalten.

### 3.1.5 Gesundheitsbezogene Lebensqualität (PedsQL 4.0)

Der Gesamt-Score der gesundheitsbezogenen Lebensqualität, erhoben über den PedsQL 4.0, war für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen im Vergleich zur Kontrollgruppe signifikant reduziert ( $P = 0,017$ ). Die befragten Eltern schätzten die Lebensqualität ihrer nierentransplantierten Kinder noch etwas geringer ein, sodass sich die Differenz zwischen den beiden Gruppen (TX und KO) anhand des *Gesamt-Scores* im Elternfragebogen noch etwas deutlicher darstellte ( $P < 0,001$ ; Tab. 35 & Abb. 20).

Tab. 35: Gesundheitsbezogene Lebensqualität; \*  $P < 0,05$

	TX		KO		P
	N	MW ± SD	N	MW ± SD	
<b>Selbsteinschätzung:</b>					
<b>Gesamt-Score</b>	19	75,0 ± 14,9	33	85,2 ± 7,6	0,017*
<b>Physische Funktionsfähigkeit</b>	19	79,0 ± 21,2	33	89,6 ± 9,0	0,080
<b>Emotionale Funktionsfähigkeit</b>	19	75,5 ± 17,2	33	76,7 ± 11,8	0,799
<b>Soziale Funktionsfähigkeit</b>	19	77,4 ± 21,6	33	93,6 ± 9,3	0,004*
<b>Schulische Funktionsfähigkeit</b>	18	68,3 ± 14,7	33	80,7 ± 11,4	0,003*
<b>Fremdeinschätzung Eltern:</b>					
<b>Gesamt-Score</b>	16	70,8 ± 14,9	29	85,3 ± 10,4	0,000*
<b>Physische Funktionsfähigkeit</b>	16	76,4 ± 25,0	28	92,3 ± 8,0	0,006*
<b>Emotionale Funktionsfähigkeit</b>	16	69,7 ± 14,7	28	77,5 ± 14,8	0,099
<b>Soziale Funktionsfähigkeit</b>	16	70,7 ± 25,6	29	91,9 ± 12,1	0,000*
<b>Schulische Funktionsfähigkeit</b>	16	66,3 ± 12,2	29	79,7 ± 17,9	0,004*

In Bezug auf die vier Teilbereiche des PedsQL 4.0 schätzten die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen ihre Lebensqualität geringfügig besser ein als ihre Eltern. Im Gegensatz dazu waren die Angaben der befragten Kinder und Eltern der Kontrollgruppe relativ konsistent (Tab. 35 & Abb. 20). Hinsichtlich der *Sozialen* ( $P = 0,004$ ) und der *Schulischen Funktionsfähigkeit* ( $P = 0,003$ ) bestanden, anhand der Selbsteinschätzung, signifikante Differenzen zwischen den nierentransplantierten und gesunden Kindern und Jugendlichen. Anhand der Fremdeinschätzung durch die Eltern war zudem die *Physische Funktionsfähigkeit* der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen signifikant ( $P = 0,006$ ) reduziert. Die *Schulische Funktionsfähigkeit* bewerteten die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen und deren Eltern am niedrigsten ( $68,3 \pm 14,7$  bzw.  $66,3 \pm 12,2$ ), während bei den gesunden Kindern und Jugendlichen die größten Ein-

schränkungen in der *Emotionalen Funktionsfähigkeit* zum Ausdruck kamen ( $76,7 \pm 11,8$  bzw.  $77,5 \pm 14,8$ ). Generell bestand insbesondere in Bezug auf die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen eine große Streuung hinsichtlich der Einschätzung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität anhand der vier Teilbereiche. Vor allem die Bewertung der *Physischen Funktionsfähigkeit* differierte stark, was sich unter anderem in der Ausnutzung der kompletten Wertungsskala von Null bis zu 100 möglichen Punkten ausdrückt (Abb. 20).

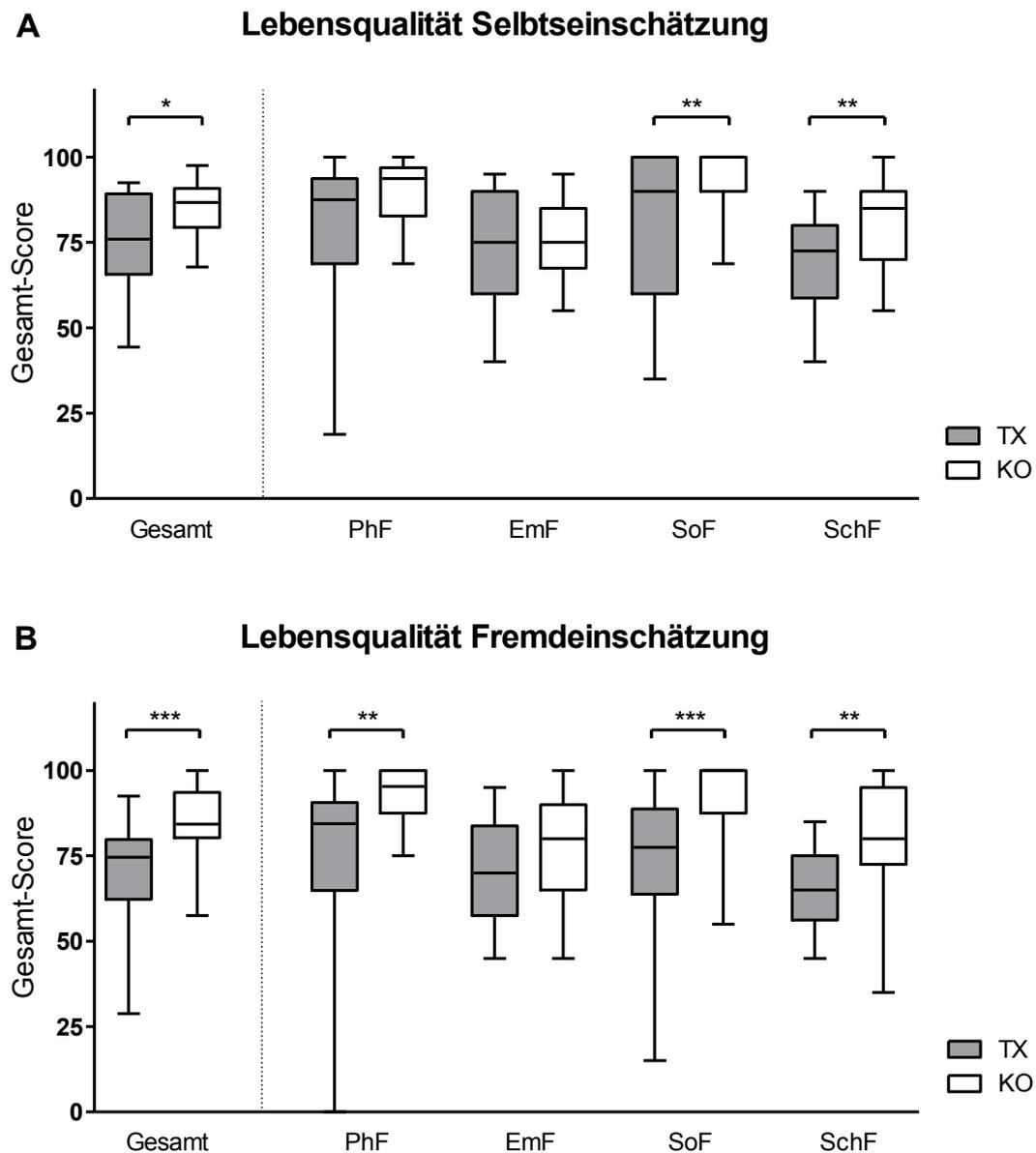


Abb. 20: Gesundheitsbezogene Lebensqualität der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen (TX) und der gesunden Kontrollgruppe (KO) anhand des PedsQL 4.0 mittels Selbsteinschätzung (A) und Fremdeinschätzung durch die Eltern (B). PhF = Physische Funktionsfähigkeit; EmF = Emotionale Funktionsfähigkeit; SoF = Soziale Funktionsfähigkeit; SchF = Schulische Funktionsfähigkeit; \*  $P < 0,05$ ; \*\*  $P < 0,01$ ; \*\*\*  $P < 0,001$

Die *Emotionale Funktionsfähigkeit* wurde von den Kindern und Jugendlichen beider Gruppen (TX und KO) und unabhängig vom Geschlecht vergleichbar eingeschätzt (Tab. 35 & Tab. 36). In Bezug auf den *Gesamt-Score*, die *Physische* und die *Soziale Funktionsfähigkeit* berichteten die nierentransplantierten Jungen eine etwas bessere Lebensqualität als die nierentransplantierten Mädchen, wohingegen die Mädchen insbesondere ihre *Schulische Funktionsfähigkeit* besser bewerteten. Innerhalb der gesunden Kontrollgruppe schätzten ebenfalls die Mädchen ihre Lebensqualität in Bezug auf die *Schulische*, aber auch auf die *Soziale Funktionsfähigkeit* geringfügig höher ein, während die Jungen ihre *Physische Funktionsfähigkeit* etwas besser einstufen (Tab. 36).

Tab. 36: Gesundheitsbezogene Lebensqualität (Selbsteinschätzung) differenziert nach Geschlecht

	Geschlecht	TX		KO	
		N	MW ± SD	N	MW ± SD
<b>Gesamt-Score</b>	männlich	16	75,3 ± 16,0	25	84,9 ± 8,3
	weiblich	3	73,2 ± 8,8	8	86,1 ± 5,0
<b>Physische Funktionsfähigkeit</b>	männlich	16	79,5 ± 23,2	25	90,3 ± 8,5
	weiblich	3	76,0 ± 1,8	8	87,5 ± 10,7
<b>Emotionale Funktionsfähigkeit</b>	männlich	16	75,6 ± 18,0	25	76,8 ± 12,9
	weiblich	3	75,0 ± 15,0	8	76,3 ± 8,4
<b>Soziale Funktionsfähigkeit</b>	männlich	16	79,1 ± 20,8	25	92,8 ± 9,8
	weiblich	3	68,3 ± 28,4	8	96,3 ± 7,4
<b>Schulische Funktionsfähigkeit</b>	männlich	16	67,2 ± 14,5	25	79,6 ± 12,2
	weiblich	2	77,5 ± 17,7	8	84,2 ± 8,1

In Abhängigkeit von der pubertären Entwicklung konnten keine eindeutigen Tendenzen festgestellt werden. Während bei den nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen die postpubertären Jugendlichen ihre gesundheitsbezogene Lebensqualität insgesamt ( $77,2 \pm 13,7$ ) sowie die *Physische Funktionsfähigkeit* ( $87,5 \pm 10,2$ ) am höchsten bewerteten, waren das in der Kontrollgruppe diejenigen, die die geringsten Punktwerte aufwiesen ( $80,3 \pm 7,1$  bzw.  $84,4 \pm 9,6$ ). Lediglich geringfügige Unterschiede zeigten sich in beiden Gruppen (TX und KO) in Bezug auf die *Soziale Funktionsfähigkeit*. Die *Schulische Funktionsfähigkeit* wurde sowohl von den nierentransplantierten als auch den gesunden Kindern und Jugendlichen mit zunehmender pubertärer Entwicklung schlechter bewertet (Tab. 37).

Tab. 37: Gesundheitsbezogene Lebensqualität (Selbsteinschätzung) differenziert nach Pubertätsstatus

	Puber- tätstatus	TX		KO	
		N	MW ± SD	N	MW ± SD
<b>Gesamt-Score</b>	präpubertär	4	73,9 ± 19,3	11	86,0 ± 6,3
	pubertär	11	74,6 ± 15,1	17	86,1 ± 8,3
	postpubertär	4	77,2 ± 13,7	5	80,3 ± 7,1
<b>Physische Funktionsfähigkeit</b>	präpubertär	4	74,2 ± 37,4	11	90,2 ± 7,0
	pubertär	11	77,6 ± 17,9	17	90,8 ± 9,8
	postpubertär	4	87,5 ± 10,2	5	84,4 ± 9,6
<b>Emotionale Funktionsfähigkeit</b>	präpubertär	4	72,5 ± 19,4	11	75,5 ± 10,4
	pubertär	11	76,4 ± 17,5	17	79,4 ± 12,4
	postpubertär	4	76,3 ± 18,9	5	70,0 ± 12,3
<b>Soziale Funktionsfähigkeit</b>	präpubertär	4	78,8 ± 25,3	11	93,6 ± 9,5
	pubertär	11	76,4 ± 23,0	17	93,8 ± 9,3
	postpubertär	4	78,8 ± 19,3	5	93,0 ± 11,0
<b>Schulische Funktionsfähigkeit</b>	präpubertär	4	70,0 ± 7,1	11	84,6 ± 8,2
	pubertär	11	68,2 ± 17,5	17	80,3 ± 13,8
	postpubertär	3	66,7 ± 14,4	5	73,8 ± 4,5

Differenziert nach der regelmäßigen körperlichen Aktivität konnten bezüglich des *Gesamt-Scores* im PedsQL 4.0 innerhalb der gesunden Kontrollgruppe keine Unterschiede beobachtet werden. Unter den nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen zeigte sich jedoch eine deutlich höhere gesundheitsbezogene Lebensqualität bei den gering bis moderat körperlich aktiven im Vergleich zu den inaktiven Patienten/-innen. Die gering und moderat aktiven Nierentransplantierten schätzten ihre Lebensqualität dabei nahezu vergleichbar mit den gesunden Kindern und Jugendlichen aller Aktivitätsniveaus ein (Abb. 21 & Tab. 38).

Auch in Bezug auf die *Physische*, *Emotionale* und *Soziale Funktionsfähigkeit* berichteten die inaktiven nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen die geringste Lebensqualität, während die *Schulische Funktionsfähigkeit* auch von den moderat aktiven Patienten/-innen sehr niedrig bewertet wurde. Innerhalb der Kontrollgruppe zeigten sich aktivitätsbezogene Unterschiede hinsichtlich der *Emotionalen Funktionsfähigkeit*, wobei diese von den inaktiven Kindern und Jugendlichen am höchsten eingeschätzt wurde (Tab. 38).

## Lebensqualität

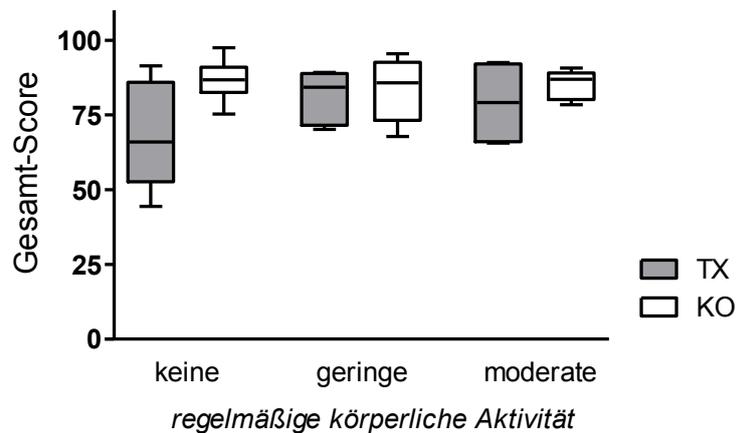


Abb. 21: Gesamt-Scores im PedsQL 4.0 der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen (TX) und der gesunden Kontrollgruppe (KO) anhand des Umfangs regelmäßiger körperlicher Aktivität

Tab. 38: Gesundheitsbezogene Lebensqualität (Selbsteinschätzung) differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität

	Körperliche Aktivität	TX		KO	
		N	MW ± SD	N	MW ± SD
<b>Gesamt-Score</b>	keine	9	68,9 ± 17,1	15	86,3 ± 6,4
	geringe	6	81,5 ± 8,3	12	83,6 ± 10,0
	moderate	4	79,1 ± 14,6	6	85,4 ± 4,7
<b>Physische Funktionsfähigkeit</b>	keine	9	64,9 ± 23,2	15	89,4 ± 9,4
	geringe	6	91,7 ± 8,1	12	88,91 ± 9,9
	moderate	4	91,4 ± 6,9	6	91,52 ± 6,7
<b>Emotionale Funktionsfähigkeit</b>	keine	9	71,1 ± 21,8	15	80,7 ± 10,5
	geringe	6	80,8 ± 9,7	12	72,5 ± 14,2
	moderate	4	77,5 ± 15,0	6	75,0 ± 7,1
<b>Soziale Funktionsfähigkeit</b>	keine	9	73,9 ± 23,2	15	94,6 ± 9,4
	geringe	6	77,5 ± 23,6	12	93,3 ± 8,6
	moderate	4	85,0 ± 17,8	6	91,7 ± 11,7
<b>Schulische Funktionsfähigkeit</b>	keine	8	65,6 ± 14,5	15	80,6 ± 12,5
	geringe	6	75,8 ± 8,6	12	79,6 ± 13,1
	moderate	4	62,5 ± 20,6	6	83,3 ± 4,1

Differenziert nach der besuchten Schulform berichteten die nierentransplantierten Sonderschüler/-innen ( $61,4 \pm 11,5$ ) sowie die gesunden Berufsschüler/-innen ( $76,5 \pm 7,8$ ) die jeweils geringste gesundheitsbezogene Lebensqualität. In Hinblick auf die vier ein-

zelenen Items fällt auf, dass insbesondere die gesunden Berufsschüler/-innen deutliche Einschränkungen in der *Emotionalen* und *Schulischen Funktionsfähigkeit* zeigten und unter den nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen der höchste Wert für die *Schulische Funktionsfähigkeit* bei den Gymnasialschüler/-innen zu verzeichnen war (Tab. 39 & Tab. 40).

Tab. 39: Mittelwerte und Standardabweichungen der gesundheitsbezogenen Lebensqualität für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen differenziert nach der besuchten Schulform

	TX					
	Grundschule	Realschule	Gymnasium	Sonderschule	Berufsschule	
	N	4	7	2	4	3
<b>Gesamt-Score</b>		79,1 ± 15,4	78,2 ± 17,7	78,1 ± 8,6	61,4 ± 11,5	73,7 ± 13,1
<b>Physische Funktionsfähigkeit</b>		75,0 ± 27,0	81,3 ± 14,1	87,5 ± 13,3	65,6 ± 40,6	86,5 ± 12,6
<b>Emotionale Funktionsfähigkeit</b>		81,3 ± 11,8	80,7 ± 21,9	72,5 ± 3,5	60,0 ± 15,0	73,3 ± 15,3
<b>Soziale Funktionsfähigkeit</b>		91,3 ± 17,5	80,7 ± 25,4	67,5 ± 31,8	60,0 ± 8,7	75,0 ± 15,0
<b>Schulische Funktionsfähigkeit</b>		68,8 ± 8,5	70,0 ± 16,3	85,0 ± 7,1	60,0 ± 8,7	57,5 ± 24,8 <sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> N = 2

Tab. 40: Mittelwerte und Standardabweichungen der gesundheitsbezogenen Lebensqualität für die gesunde Kontrollgruppe differenziert nach der besuchten Schulform

	KO					
	Grundschule	Realschule	Gymnasium	Sonderschule	Berufsschule	
	N	9	11	5	3	5
<b>Gesamt-Score</b>		84,4 ± 6,7	88,4 ± 5,5	87,5 ± 9,4	86,0 ± 5,3	76,5 ± 7,8
<b>Physische Funktionsfähigkeit</b>		85,9 ± 9,2	94,5 ± 5,1	90,0 ± 12,2	95,8 ± 1,8	81,3 ± 6,6
<b>Emotionale Funktionsfähigkeit</b>		72,8 ± 10,3	83,6 ± 7,5	79,0 ± 14,3	76,7 ± 11,6	66,0 ± 13,4
<b>Soziale Funktionsfähigkeit</b>		91,7 ± 11,2	95,3 ± 9,4	97,0 ± 4,5	95,0 ± 5,0	89,0 ± 11,4
<b>Schulische Funktionsfähigkeit</b>		87,2 ± 6,2	80,0 ± 13,2	84,0 ± 10,8	76,7 ± 10,4	69,8 ± 9,4

Für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen konnte auf Grundlage der Basis-Untersuchungen ein mittlerer, jedoch nicht signifikanter Zusammenhang ( $r = 0,450$ ;  $P = 0,061$ ) zwischen der gesundheitsbezogenen Lebensqualität und der maximalen

Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2peak}/kg$ ) gezeigt werden (Abb. 22 A). Innerhalb der Kontrollgruppe bestanden sowohl für die  $\dot{V}O_{2peak}/kg$  als auch die maximale Leistung (Watt/kg) keine signifikanten Zusammenhänge, auch wenn sich hinsichtlich der maximalen Leistung eine schwache positive Tendenz ( $r = 0,335$ ;  $P = 0,082$ ) abzeichnete (Abb. 22 B).

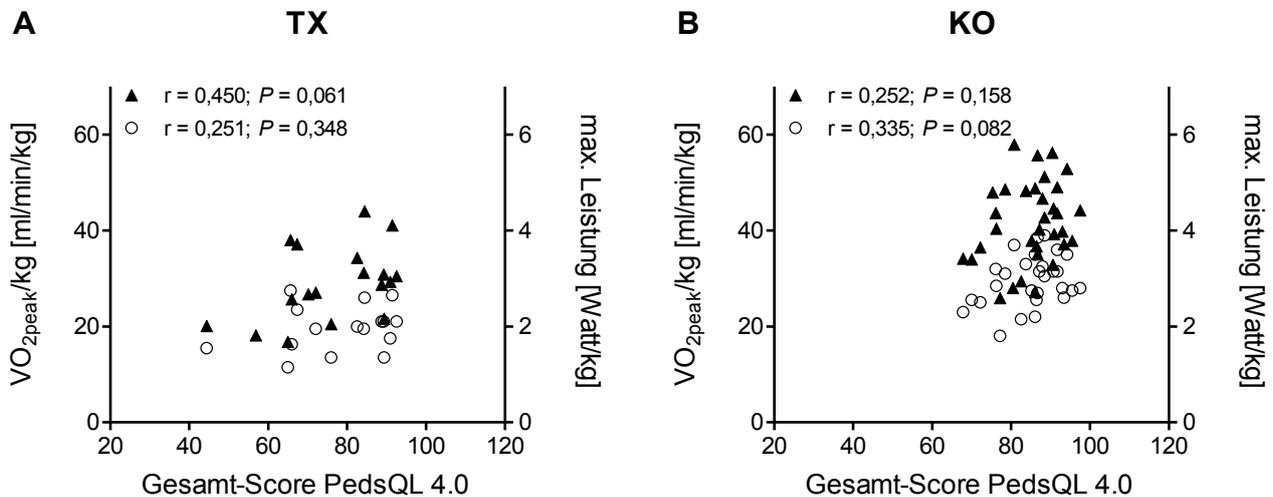


Abb. 22: Zusammenhang zwischen Gesamt-Score des PedsQL 4.0 und  $\dot{V}O_{2peak}/kg$  (▲) sowie der maximalen Leistung pro Kilogramm (○) für die nierentransplantierten (A) und gesunden Kinder und Jugendlichen (B)

Mit Blick auf die vorliegenden Ergebnisse zur gesundheitsbezogenen Lebensqualität, kann die Hypothese H8 angenommen werden, da die gesundheitsbezogene Lebensqualität der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen, im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe, sowohl anhand der Selbsteinschätzung als auch anhand der Fremdeinschätzung durch die Eltern signifikant reduziert ist.

### 3.1.6 Körperliche Aktivität im Alltag (SenseWear<sup>®</sup>-Messung)

Die mit Hilfe des SenseWear<sup>®</sup>-Armbandes erfasste körperliche Aktivität im Alltag wurde anhand der aufgezeichneten Anzahl der Schritte pro Stunde der Wachzeit der Studienteilnehmer/-innen beurteilt. Hierbei zeigte sich für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen eine signifikant ( $P = 0,001$ ) reduzierte Schrittzahl pro Stunde im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe (Abb. 23 & Tab. 41).

Interessanterweise unterscheiden sich bei geschlechtsabhängiger Betrachtung die Mädchen beider Gruppen (TX und KO) nur geringfügig hinsichtlich der absolvierten Schrittzahl/Stunde (TX:  $575 \pm 215$  vs. KO:  $550 \pm 238$ ), wohingegen die nierentransplantierten Jungen deutlich weniger Schritte/Stunde ( $427 \pm 151$ ) gegenüber den gesunden Jungen ( $731 \pm 283$ ) zurücklegten (Tab. 41).

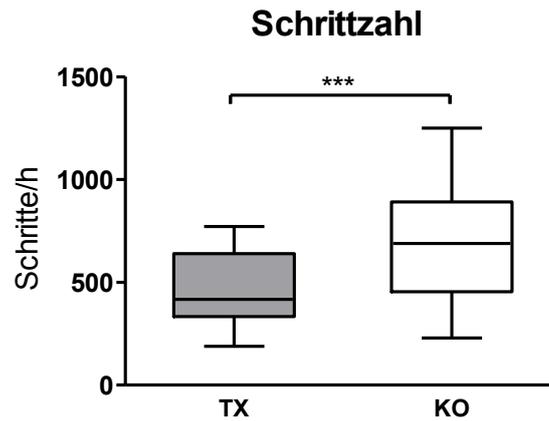


Abb. 23: Schrittzahl pro Stunde der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen (TX) und der gesunden Kontrollgruppe (KO); \*\*\*  $P = 0,001$

Tab. 41: Schrittzahlen pro Stunde insgesamt sowie differenziert nach Geschlecht, Pubertätsstatus, regelmäßiger körperlicher Aktivität und besuchter Schulform; \* signifikante Differenz zu TX ( $P = 0,001$ )

		TX		KO	
		N	MW ± SD	N	MW ± SD
<b>Gesamtstichprobe</b>		19	458 ± 171	33	687 ± 280*
<b>Geschlecht</b>	männlich	15	427 ± 151	25	731 ± 283
	weiblich	4	575 ± 215	8	550 ± 238
<b>Pubertätsstatus</b>	präpubertär	4	359 ± 199	11	881 ± 197
	pubertär	11	511 ± 176	17	637 ± 274
	postpubertär	4	411 ± 81	5	431 ± 186
<b>Körperliche Aktivität</b>	keine	9	450 ± 200	15	711 ± 311
	geringe	6	477 ± 142	12	664 ± 256
	moderate	4	446 ± 185	6	675 ± 289
<b>Schulform</b>	Grundschule	4	471 ± 217	9	925 ± 175
	Realschule	6	366 ± 61	11	681 ± 316
	Gymnasium	2	501 ± 195	5	580 ± 131
	Sonderschule	4	494 ± 262	3	634 ± 195
	Berufsschule	3	546 ± 143	5	409 ± 196

Differenziert nach der pubertären Entwicklung zeigte sich innerhalb der Kontrollgruppe eine deutliche Abnahme der absolvierten Schrittzahl bei fortschreitender pubertärer Entwicklung. Demgegenüber konnte bei den nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen ein solcher Trend nicht bestätigt werden (Tab. 41).

Der Umfang regelmäßiger körperlicher Aktivität pro Woche (bspw. im Sportverein) scheint keinen Einfluss auf die Anzahl der Schritte im Alltag zu haben. Über alle drei Subgruppen hinweg (keine, geringe und moderate Aktivität) wurden vergleichbare Schrittzahlen/Stunde sowohl für die nierentransplantierten als auch die gesunden Kinder und Jugendlichen erfasst (Tab. 41).

In Bezug auf die besuchte Schulform zeigten sich bei den nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen nur geringfügige Unterschiede, wobei die Realschüler/-innen die wenigsten ( $366 \pm 61$ ) und die Berufsschüler/-innen die meisten ( $546 \pm 143$ ) Schritte/Stunde absolvierten. Im Gegensatz dazu legten innerhalb der Kontrollgruppe die Berufsschüler/-innen mit  $409 \pm 196$  Schritten/Stunde die geringste Anzahl an Schritten zurück, während die Grundschüler/-innen die höchste Schrittzahl/Stunde ( $925 \pm 175$ ) erreichten (Tab. 41).

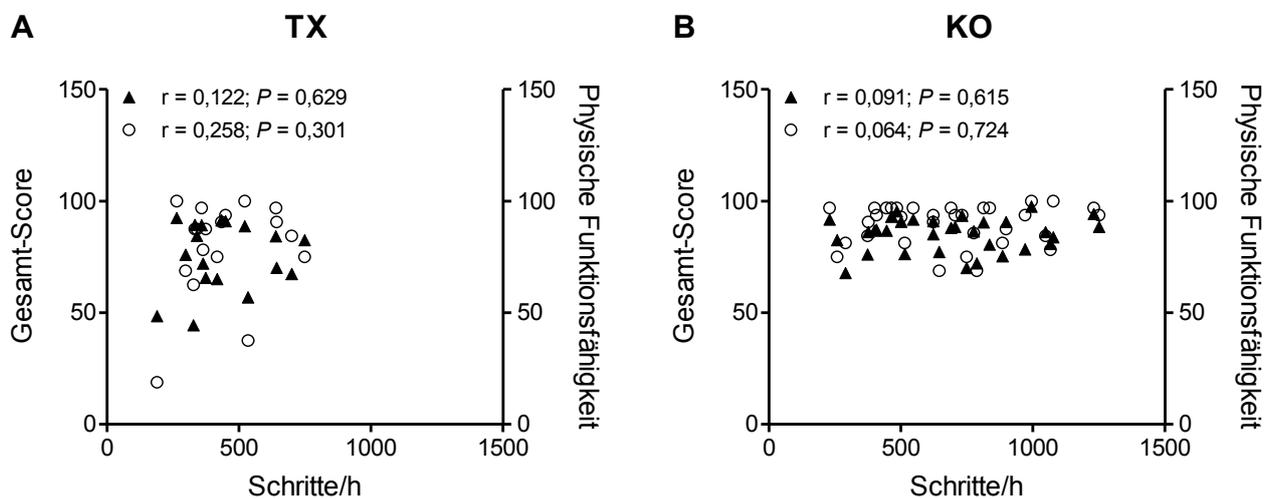


Abb. 24: Zusammenhang zwischen der Schrittzahl/h und dem Gesamt-Score des PedsQL 4.0 (▲) sowie der Physischen Funktionsfähigkeit des PedsQL 4.0 (○) für die nierentransplantierten (A) und gesunden Kinder und Jugendlichen (B)

Zwischen der zurückgelegten Anzahl der Schritte pro Stunde und der gesundheitsbezogenen Lebensqualität insgesamt sowie der Physischen Funktionsfähigkeit bestanden weder für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen noch für die Kontrollgruppe lineare Zusammenhänge (Abb. 24).

Abschließend kann auch in Hinblick auf die alltägliche körperliche Aktivität (gemessen über die Schrittzahl/Stunde) die Hypothese H8 angenommen werden, da nachgewiesen werden konnte, dass die alltägliche körperliche Aktivität nierentransplantierten Kinder und Jugendlicher signifikant geringer ist, als bei gesunden Gleichaltrigen.

## 3.2 Trainingsintervention unter Verwendung der Nintendo® - Spielekonsole Wii

### 3.2.1 Anthropometrische und gesundheitsbezogene Daten

Tab. 42: Anthropometrische Daten der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen mit Trainingsintervention (TX<sub>Wii</sub>)

		T1	T2	T3	T4
<b>N</b>	gesamt	13	13	13	12
	männlich	9	9	9	9
	weiblich	4	4	4	3
		MW ± SD	MW ± SD	MW ± SD	MW ± SD
<b>Alter [Jahre]</b>	gesamt	12,9 ± 3,4	13,2 ± 3,4	13,4 ± 3,3	13,9 ± 3,1
	männlich	13,0 ± 3,4	13,2 ± 3,3	13,5 ± 3,3	14,4 ± 3,3
	weiblich	12,8 ± 4,0	13,0 ± 4,0	13,2 ± 3,9	12,4 ± 2,0
<b>Körpergewicht [kg]</b>	gesamt	53,8 ± 22,2	55,2 ± 22,1	55,9 ± 22,2	56,2 ± 22,6
	männlich	53,8 ± 24,7	55,6 ± 24,5	56,8 ± 24,6	58,6 ± 25,7
	weiblich	53,7 ± 18,5	54,1 ± 18,9	54,1 ± 18,7	49,2 ± 8,7
<b>Körpergewicht Z-score</b>	gesamt	0,41 ± 1,5	0,48 ± 1,4	0,46 ± 1,4	0,17 ± 1,4
	männlich	0,12 ± 1,5	0,24 ± 1,4	0,25 ± 1,5	0,10 ± 1,5
	weiblich	1,06 ± 1,1	1,02 ± 1,2	0,94 ± 1,2	0,39 ± 1,5
<b>Körpergröße [cm]</b>	gesamt	152,1 ± 21,5	153,2 ± 20,7	154,0 ± 20,4	155,5 ± 19,5
	männlich	153,6 ± 24,4	154,8 ± 23,3	155,2 ± 23,0	157,9 ± 21,3
	weiblich	148,9 ± 15,6	149,4 ± 15,4	151,3 ± 15,2	148,3 ± 13,7
<b>Körpergröße Z-score</b>	gesamt	-0,70 ± 1,3	-0,67 ± 1,3	-0,66 ± 1,3	-0,82 ± 1,4
	männlich	-0,76 ± 1,6	-0,70 ± 1,6	-0,78 ± 1,6	-0,88 ± 1,6
	weiblich	-0,58 ± 0,6	-0,60 ± 0,6	-0,38 ± 0,6	-0,64 ± 0,4
<b>BMI [kg/m<sup>2</sup>]</b>	gesamt	22,5 ± 5,3	22,9 ± 5,4	22,9 ± 5,5	22,8 ± 6,2
	männlich	21,8 ± 5,1	22,3 ± 5,3	22,7 ± 5,5	22,7 ± 6,2
	weiblich	24,0 ± 6,2	24,1 ± 6,3	23,5 ± 6,2	23,1 ± 7,8
<b>BMI Z-score</b>	gesamt	0,89 ± 1,3	0,92 ± 1,3	0,92 ± 1,3	0,72 ± 1,5
	männlich	0,67 ± 1,3	0,75 ± 1,3	0,81 ± 1,3	0,69 ± 1,5
	weiblich	1,39 ± 1,3	1,30 ± 1,4	1,17 ± 1,5	0,81 ± 2,0

Die anthropometrischen und gesundheitsbezogenen Daten der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen, die die Intervention mit der Spielekonsole Wii durchgeführt

haben ( $TX_{Wii}$ ), sind den Tabellen 42 bis 44 zu entnehmen. Zwischen Studienbeginn (T1) und der Abschlussuntersuchung (T4) stieg das Alter der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen im Mittel um ein Jahr an, wobei sich jedoch das durchschnittliche Alter der Mädchen aufgrund des Wegfalls einer jugendlichen Patientin zum Zeitpunkt T4 reduzierte. Erwartungsgemäß haben sich auch die Körpergröße sowie das Körpergewicht der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen über den Verlauf der Studie etwas erhöht, wobei der BMI unverändert blieb (Tab. 42). Die Hautfaltendicken von  $TX_{Wii}$  veränderten sich geringfügig zum Zeitpunkt der Abschlussuntersuchung (T4), was verstärkt durch die Reduktion der Hautfaltensumme bei den Jungen bedingt ist (Tab. 43).

Tab. 43: Hautfaltendicken der  $TX_{Wii}$

		T1		T2		T3		T4	
		N	MW ± SD	MW ± SD	MW ± SD	N	MW ± SD		
<b>Summe Trizeps + Skapula [mm]</b>	gesamt	13	31,0 ± 18,7	30,3 ± 18,4	31,0 ± 18,1	12	27,8 ± 17,0		
	männlich	9	29,0 ± 19,7	29,3 ± 19,5	30,1 ± 19,4	9	26,3 ± 15,8		
	weiblich	4	35,4 ± 18,2	32,5 ± 17,9	33,0 ± 17,1	3	32,3 ± 23,5		
<b>Perzentile Trizeps + Skapula</b>	gesamt	12	49,7 ± 39,0	50,5 ± 38,5	50,5 ± 38,5	11	55,7 ± 39,2		
	männlich	9	50,7 ± 41,6	53,4 ± 39,4	53,4 ± 39,4	8	57,9 ± 39,3		
	weiblich	3	46,7 ± 37,5	41,7 ± 42,5	41,7 ± 42,5	3	50,0 ± 47,0		

Veränderungen der Stichprobengröße (N) in Bezug auf die Z-Scores der systolischen und diastolischen Ruhe-Blutdruck-Werte sind auf eine fehlende Messung zu T2 bei einem Jungen sowie auf das Überschreiten des 18. Lebensjahres eines weiteren Jungen zu T4 zurückzuführen. Das Mädchen, welches nicht an der Abschlussuntersuchung teilgenommen hat, hatte bereits zuvor (T1 bis T3) das 18. Lebensjahr überschritten, weshalb für dieses ebenfalls keine Z-Scores berechnet werden konnten (Tab. 44). Die mittlere eGFR blieb über alle Messzeitpunkte relativ konstant, wobei auch hier bei einem Jungen zu T2 aufgrund fehlender Blutwerte keine eGFR berechnet werden konnte. Die Zeit nach Transplantation stieg zwischen T1 und T4 im Mittel um 21 Monate an (Tab. 44).

Tab. 44: Gesundheitsbezogene Daten der TX<sub>Wii</sub>

		T1		T2		T3		T4	
		N	MW ± SD						
<b>Blutdruck systolisch Z-score</b>	gesamt	12	0,69 ± 0,9	11	0,74 ± 1,1	12	0,39 ± 0,7	11	0,55 ± 1,5
	männlich	9	0,49 ± 0,8	8	0,74 ± 1,2	9	0,18 ± 0,6	8	0,20 ± 1,6
	weiblich	3	1,30 ± 1,1	3	0,72 ± 1,0	3	1,03 ± 0,7	3	1,49 ± 0,6
<b>Blutdruck diastolisch Z-score</b>	gesamt	12	0,44 ± 1,2	11	1,11 ± 1,7	12	0,66 ± 1,4	11	1,26 ± 1,6
	männlich	9	0,45 ± 1,4	8	1,18 ± 0,9	9	0,59 ± 1,4	8	0,78 ± 1,2
	weiblich	3	0,40 ± 0,2	3	0,92 ± 3,3	3	0,86 ± 1,8	3	2,54 ± 1,9
<b>eGFR [ml/min/1,73m<sup>2</sup>]</b>	gesamt	13	65,9 ± 31,5	12	63,3 ± 31,1	13	64,7 ± 29,3	12	66,4 ± 31,5
	männlich	9	63,7 ± 33,9	8	62,0 ± 35,8	9	62,7 ± 30,6	9	63,9 ± 33,7
	weiblich	4	70,9 ± 29,3	4	65,7 ± 23,0	4	69,2 ± 29,9	3	73,8 ± 28,1
<b>Zeit nach Tx [Monate]</b>	gesamt	13	51,9 ± 48,6	13	54,4 ± 49,2	13	57,2 ± 49,1	12	72,2 ± 48,4
	männlich	9	60,7 ± 54,7	9	63,2 ± 55,1	9	66,3 ± 54,9	9	77,3 ± 54,1
	weiblich	4	32,3 ± 27,3	4	34,5 ± 28,5	4	36,8 ± 28,6	3	56,7 ± 26,2

Von den insgesamt 13 nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen konnten zwei als präpubertär, acht als pubertär und drei als postpubertär eingestuft werden. Der überwiegende Teil der Kinder und Jugendlichen war neben dem Schulsport nicht (N = 6) oder nur gering (N = 3) körperlich aktiv. Vier Jungen betrieben jedoch mindestens zwei Mal pro Woche Sport und wurden somit als moderat körperlich aktiv eingestuft. Neben vier Grundschulern/-innen und drei Realschülern, besuchten jeweils zwei nierentransplantierte Kinder und Jugendliche ein Gymnasium, eine Sonderschule oder eine Berufsschule. Alle nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen waren immun-supprimiert und erhielten, mit Ausnahme eines Jungen, außerdem anti-hypertensive Medikamente sowie Glucocorticoide. Zusätzlich wurden fünf von ihnen mit einem Beta-Blocker und jeweils zwei mit Epoetin und/oder Somatropin behandelt (Tab. 45).

Auf Basis der Vollständigkeit der zurückgesendeten Trainingsprotokolle sowie der darin protokollierten Trainings-Herzfrequenzen und Borg-Werte konnten lediglich fünf nierentransplantierte Kinder und Jugendliche (2 x männlich/ 3 x weiblich) als compliant eingestuft werden. Die übrigen Patienten/-innen (N = 8) trainierten offensichtlich gar nicht oder weniger als die Hälfte des vorgeschriebenen Umfangs mit der Wii-Spielekonsole, sodass diese zur Subgruppe „geringe Compliance“ zusammengefasst wurden (Tab. 45).

Tab. 45: Häufigkeitsverteilung der  $TX_{Wii}$  in Bezug auf Pubertätsstatus, körperliche Aktivität, besuchte Schulform, Medikation sowie Compliance während der Trainingsintervention

		N		
		gesamt	männlich	weiblich
<b>Pubertät</b>	präpubertär	2	2	0
	pubertär	8	5	3
	postpubertär	3	2	1
<b>Körperliche Aktivität</b>	keine	6	3	3
	geringe	3	2	1
	moderate	4	4	0
<b>Schule</b>	Grundschule	4	3	1
	Realschule	3	3	0
	Gymnasium	2	1	1
	Sonderschule	2	1	1
	Berufsschule	2	1	1
<b>Medikation</b>	Immunsuppressiva	13	9	4
	Antihypertensiva	12	8	4
	Glucocorticoide	12	8	4
	Beta-Blocker	5	3	2
	Epoetin	2	1	1
	Somatropin	2	2	0
<b>Compliance Intervention</b>	geringe	8	7	1
	gute	5	2	3

Während für die acht nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen mit geringer Compliance aufgrund fehlender oder unvollständiger Trainingsprotokolle keine Trainingsherzfrequenzen und Borg-Werte analysiert werden konnten, lag die mittlere Trainingsherzfrequenz der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen mit guter Compliance im Mittel bei 65% (Spannweite: 56-77%) der in der Spiroergometrie ermittelten maximalen Herzfrequenz ( $HF_{peak}$ ). Das subjektive Anstrengungsempfinden während des Trainings mit der Wii-Spielekonsole wurde anhand der verwendeten Borg-Skala im Mittel mit 10,9 (Spannweite: 8,5 bis 12,5) eingeschätzt, was lediglich einer leichten Anstrengung entspricht (Borg, 1982).

### 3.2.2 Leistungsfähigkeit

Für die erreichten Maximalwerte in der Spiroergometrie vor Intervention (*prä*) wurden die Messergebnisse beider Eingangsuntersuchungen (T1 und T2) gemittelt. Die direkt nach der Intervention erfassten Messwerte können in den nachfolgenden Tabellen der Spalte *post* entnommen werden. Da bei zwei nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen während der Spiroergometrie nach der Trainingsintervention Messfehler vorlagen, konnten die Daten zur Atemgasanalyse lediglich für 11 Jungen und Mädchen gegenüber gestellt werden.

#### 3.2.2.1 Maximale Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2peak}$ )

In Bezug auf den Hauptzielparameter, die  $\dot{V}O_{2peak}/kg$  (ml/min/kg), zeigte sich nach Abschluss der Trainingsintervention eine signifikante ( $P = 0,044$ ) Reduktion von  $29,2 \pm 0,0$  ml/min/kg auf  $27,2 \pm 8,2$  ml/min/kg, was auf eine leichte Verschlechterung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen hindeutet (Tab. 46 & Abb. 25). Die absolute  $\dot{V}O_{2peak}$  (l/min) blieb von vor zu nach der Intervention hingegen unverändert, sodass der Schluss naheliegt, dass eine verstärkte Zunahme des Körpergewichts, über die Dauer der Trainingsintervention, die körpergewichtsbezogene kardiopulmonale Leistungsfähigkeit ( $\dot{V}O_{2peak}/kg$ ) negativ beeinflusst hat.

Tab. 46:  $\dot{V}O_{2peak}$  vor und nach der Trainingsintervention unter Verwendung der Spielekonsole Wii;  
\*  $P < 0,05$

	N	prä	post	P
		MW $\pm$ SD	MW $\pm$ SD	
$\dot{V}O_{2peak}$ [l/min]	11	1,5 $\pm$ 0,6	1,45 $\pm$ 0,5	0,374
$\dot{V}O_{2peak}/kg$ [ml/min/kg]	11	29,2 $\pm$ 9,0	27,2 $\pm$ 8,2	0,044*

Obwohl die absolute maximale Sauerstoffaufnahme nachweislich durch das Körpergewicht sowie die Körpergröße beeinflusst wird (vgl. dazu Abschnitt 3.1.2.1) ließ sich für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen ( $TX_{Wii}$ ) eine Verbindung zwischen der prozentualen Körpergewichts- bzw. Körpergrößenänderung und der prozentualen Änderung der  $\dot{V}O_{2peak}$  von vor zu nach der Intervention nicht nachweisen (Abb. 26).

Bei Betrachtung der individuellen Veränderungen der  $\dot{V}O_{2peak}$  sowie der  $\dot{V}O_{2peak}/kg$  (Abb. 25 A & B) von vor zu nach der Intervention fällt auf, dass sich einige nierentrans-

plantierte Kinder und Jugendliche verbesserten oder unveränderte Werte erzielten, andere jedoch starke Reduktionen aufwiesen.

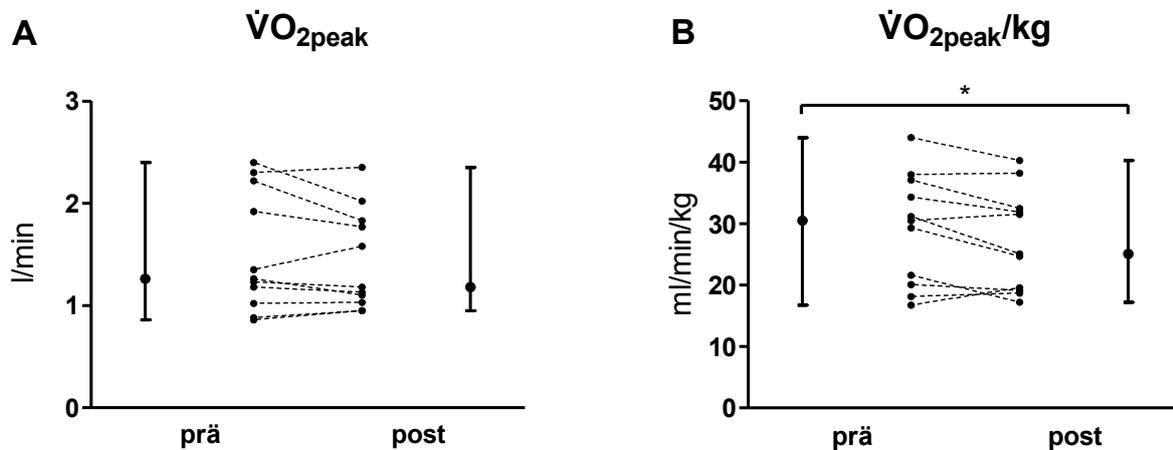


Abb. 25:  $\dot{V}O_{2peak}$  vor und nach der Trainingsintervention unter Verwendung der Spielekonsole Wii (individuelle prä-/post-Werte für alle  $TX_{Wii}$  sowie im Mittel (Median) mit den jeweiligen Minima und Maxima); \* $P < 0,05$

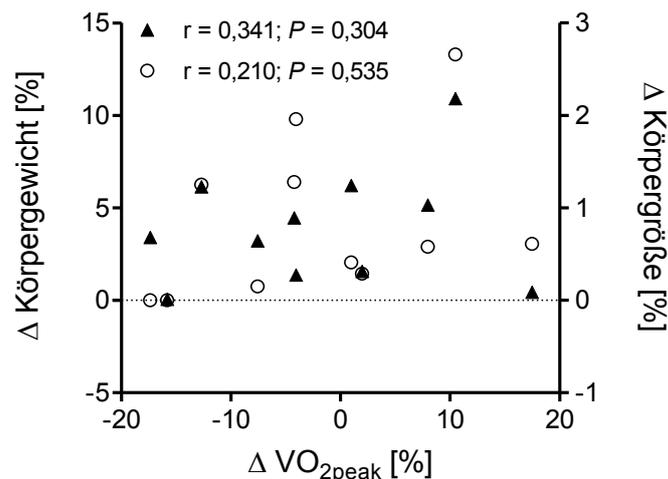


Abb. 26: Zusammenhang zwischen der Änderung der  $\dot{V}O_{2peak}$  und der Änderung des Körpergewichts ( $\blacktriangle$ ) sowie der Körpergröße ( $\circ$ ) von vor zu nach der Trainingsintervention

Differenziert nach dem zu Studienbeginn erfassten Umfang an regelmäßiger körperlicher Aktivität pro Woche konnten in Bezug auf die maximale Sauerstoffaufnahme kaum Veränderungen von vor zu nach der Trainingsintervention festgestellt werden. Während sich die absolute  $\dot{V}O_{2peak}$  lediglich bei den gering und moderat aktiven nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen minimal reduzierte, verschlechterte sich die  $\dot{V}O_{2peak}/kg$  bei den gering aktiven Kindern und Jugendlichen um rund 5 ml/min/kg (ca. 13%) (Tab. 47 & Abb. 27).

Tab. 47:  $\dot{V}O_{2peak}$  vor und nach der Trainingsintervention differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität

	Körperliche Aktivität	N	prä	post
			MW $\pm$ SD	MW $\pm$ SD
$\dot{V}O_{2peak}$ [l/min]	keine	5	1,3 $\pm$ 0,5	1,3 $\pm$ 0,4
	geringe	2	1,2 $\pm$ 0,1	1,1 $\pm$ 0,0
	moderate	4	1,9 $\pm$ 0,7	1,8 $\pm$ 0,6
$\dot{V}O_{2peak}/kg$ [ml/min/kg]	keine	5	22,2 $\pm$ 7,0	21,3 $\pm$ 6,0
	geringe	2	37,6 $\pm$ 9,1	32,7 $\pm$ 10,8
	moderate	4	33,7 $\pm$ 4,5	31,7 $\pm$ 5,5

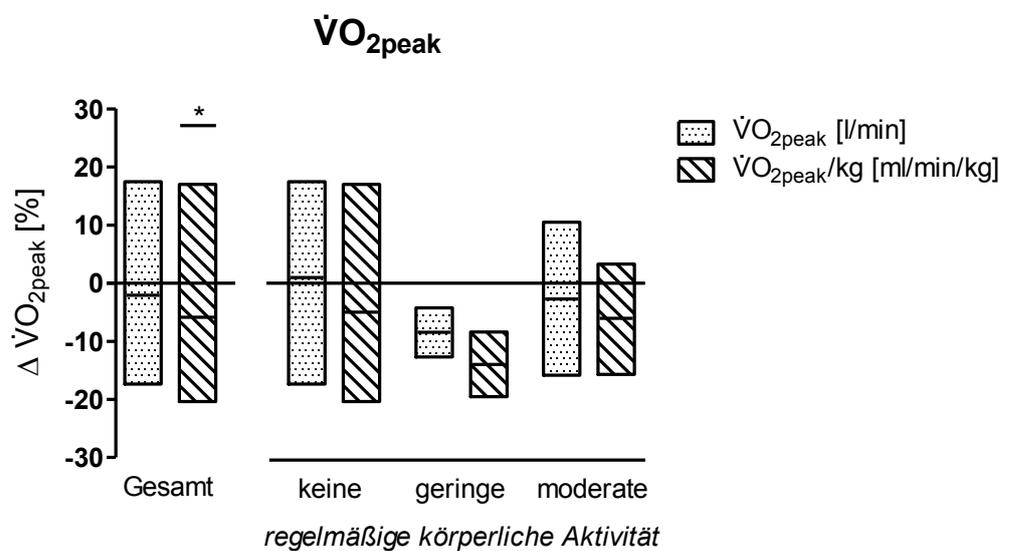


Abb. 27: Änderung der  $\dot{V}O_{2peak}$  nach der Trainingsintervention differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität; \* $P < 0,05$

Die Compliance der Interventionsdurchführung konnte lediglich bei fünf der 13 nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen als gut bewertet werden. Während die Patienten/-innen mit guter Compliance nach der Trainingsintervention keine Veränderungen in der  $\dot{V}O_{2peak}$  und der  $\dot{V}O_{2peak}/kg$  aufwiesen, reduzierte sich bei den nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen mit geringer Compliance die  $\dot{V}O_{2peak}/kg$  deutlich (-9%) (Tab. 48 & Abb. 28).

Tab. 48:  $\dot{V}O_{2peak}$  vor und nach der Trainingsintervention differenziert nach unterschiedlicher Compliance

	Compliance Intervention	N	prä	post
			MW $\pm$ SD	MW $\pm$ SD
$\dot{V}O_{2peak}$ [l/min]	geringe	8	1,3 $\pm$ 0,5	1,2 $\pm$ 0,4
	gute	3	2,0 $\pm$ 0,6	2,0 $\pm$ 0,4
$\dot{V}O_{2peak}/kg$ [ml/min/kg]	geringe	8	29,6 $\pm$ 9,1	27,0 $\pm$ 8,3
	gute	3	28,0 $\pm$ 10,7	27,5 $\pm$ 9,6

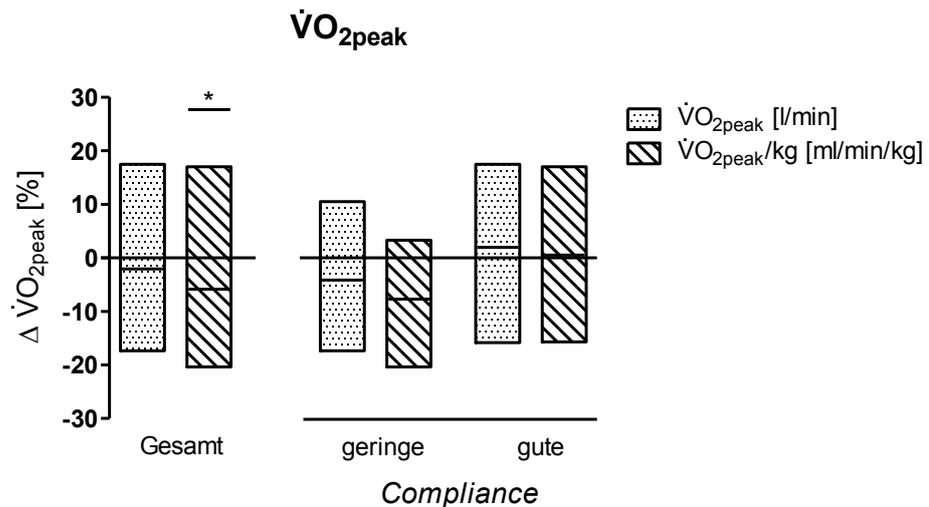


Abb. 28: Änderung der  $\dot{V}O_{2peak}$  nach der Trainingsintervention differenziert nach der Compliance; \* $P < 0,05$

### 3.2.2.2 Weitere Kenngrößen der maximalen Leistungsfähigkeit

Die maximale Leistung in Watt bzw. Watt/kg stellte sich nach der Trainingsintervention mit der Spielekonsole Wii unverändert dar (Tab. 49 & Abb. 29). Da ein Patient aufgrund seiner geringen Körpergröße auf dem Laufband belastet wurde, konnte nur für 12 nierentransplantierte Kinder und Jugendliche die maximale Leistung in Watt ermittelt werden. In Bezug auf die Atemgasparameter  $RQ_{peak}$  und  $\dot{V}E_{peak}$  sowie die  $HF_{peak}$  waren im Mittel ebenfalls keine Veränderungen von vor zu nach der Trainingsintervention festzustellen (Tab. 49).

In Hinblick auf die individuellen Leistungsänderungen fällt auf, dass ein nierentransplan- tierter Patient seine maximale Leistung überdurchschnittlich steigern konnte, während fünf weitere Kinder und Jugendliche eher Reduktionen aufwiesen (Abb. 29).

Tab. 49: Maximale Leistung,  $RQ_{peak}$ ,  $\dot{V}E_{peak}$  und  $HF_{peak}$  vor und nach der Trainingsintervention unter Verwendung der Spielekonsole Wii; \*  $P < 0,05$

	N	prä	post	P
		MW $\pm$ SD	MW $\pm$ SD	
max. Leistung [Watt]	12	99,3 $\pm$ 34,6	99,6 $\pm$ 37,7	0,933
max. Leistung/kg [W/kg]	12	1,9 $\pm$ 0,5	1,9 $\pm$ 0,6	0,742
$RQ_{peak}$ [ $\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$ ]	11	1,11 $\pm$ 0,1	1,11 $\pm$ 0,1	0,765
$\dot{V}E_{peak}$ [l/min]	11	56,4 $\pm$ 22,2	54,4 $\pm$ 19,5	0,569
$HF_{peak}$ [1/min]	13	166 $\pm$ 6,1	163 $\pm$ 6,2	0,326

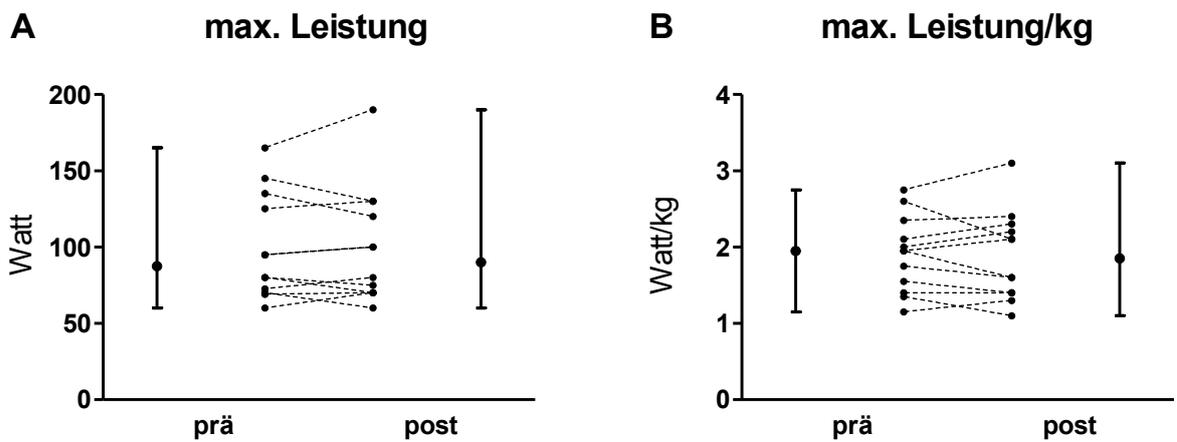


Abb. 29: Maximale Leistung vor und nach der Trainingsintervention unter Verwendung der Spielekonsole Wii (individuelle prä-/post-Werte für alle TX<sub>Wii</sub> sowie im Mittel (Median) mit den jeweiligen Minima und Maxima)

Tab. 50: Maximale Leistung vor und nach der Trainingsintervention differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität

	Körperliche Aktivität	N	prä	post
			MW $\pm$ SD	MW $\pm$ SD
max. Leistung [Watt]	keine	5	90,3 $\pm$ 26,9	89,0 $\pm$ 20,7
	geringe	3	81,7 $\pm$ 12,6	76,7 $\pm$ 20,8
	moderate	4	123,8 $\pm$ 45,5	130,0 $\pm$ 49,0
max. Leistung/kg [W/kg]	keine	5	1,5 $\pm$ 0,3	1,5 $\pm$ 0,4
	geringe	3	2,2 $\pm$ 0,4	1,9 $\pm$ 0,3
	moderate	4	2,2 $\pm$ 0,4	2,4 $\pm$ 0,6

Differenziert nach der regelmäßigen körperlichen Aktivität wiesen die inaktiven nieren-transplantierten Kinder und Jugendlichen keine Veränderungen in der maximalen Leis-

tung auf, während die Subgruppe der moderat aktiven Kinder und Jugendlichen ihre Leistungsfähigkeit von  $2,2 \pm 0,4$  W/kg auf  $2,4 \pm 0,6$  W/kg geringfügig steigern konnte. Für die nierentransplantierten Patienten/-innen mit geringer regelmäßiger körperlicher Aktivität waren sogar deutliche Reduktionen von  $2,2 \pm 0,4$  W/kg auf  $1,9 \pm 0,3$  W/kg zu verzeichnen (Tab. 50 & Abb. 30).

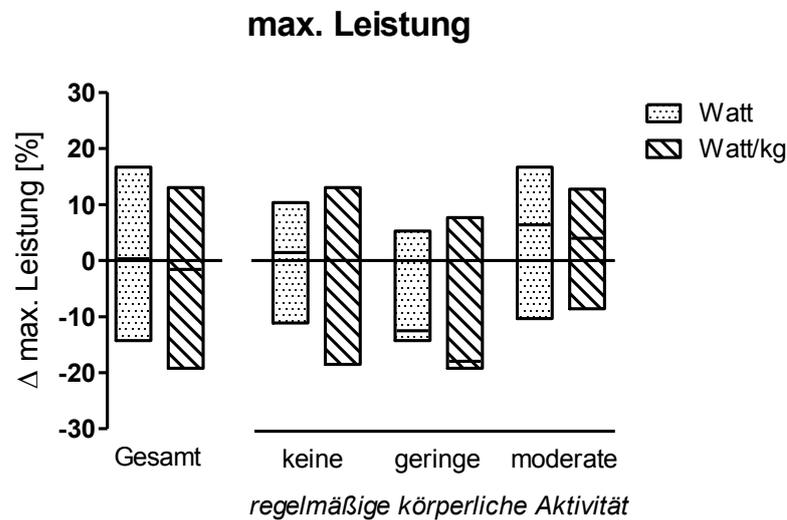


Abb. 30: Änderung der maximalen Leistung nach der Trainingsintervention differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität

In Bezug auf die Compliance während der Trainingsintervention zeigte sich, dass die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen mit guter Compliance ihre Leistungsfähigkeit nach der Intervention minimal um durchschnittlich  $0,1$  W/kg steigern konnten, während sich die maximale Leistung derjenigen mit geringer Compliance sogar leicht reduzierte (Tab. 51 & Abb. 31).

Tab. 51: Maximale Leistung vor und nach der Trainingsintervention differenziert nach unterschiedlicher Compliance

	Compliance Intervention	N	prä	post
			MW $\pm$ SD	MW $\pm$ SD
<b>max. Leistung [Watt]</b>	geringe	7	88,9 $\pm$ 29,0	86,4 $\pm$ 27,2
	gute	5	113,8 $\pm$ 39,7	118,0 $\pm$ 45,5
<b>max. Leistung/kg [W/kg]</b>	geringe	7	2,0 $\pm$ 0,4	1,9 $\pm$ 0,5
	gute	5	1,8 $\pm$ 0,6	1,9 $\pm$ 0,7

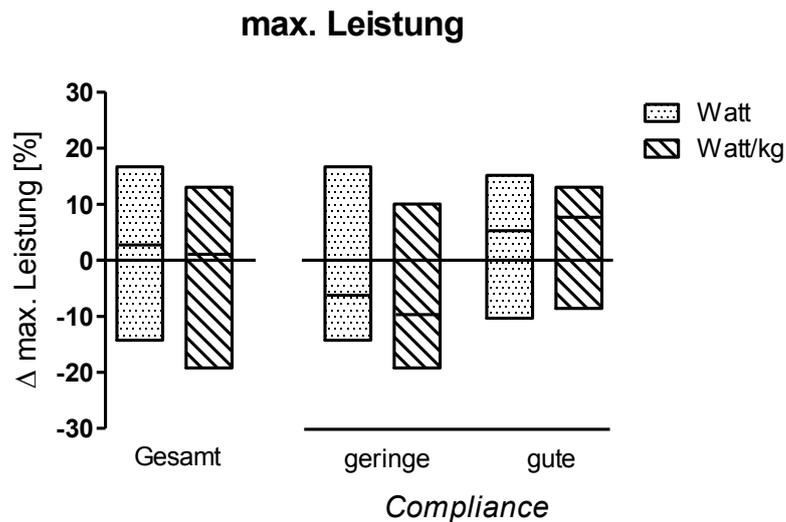


Abb. 31: Änderung der maximalen Leistung nach der Trainingsintervention differenziert nach der Compliance

### 3.2.2.3 Submaximale Leistungsfähigkeit (ventilatorische Schwellen)

Für die Beurteilung der mittels Spiroergometrie ermittelten submaximalen kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit wurden die ventilatorischen Schwellen VT1 und VT2 jeweils in Prozent der gemessenen  $\dot{V}O_{2peak}$  sowie als absolutes Maß der Sauerstoffaufnahme in ml/min/kg vor und nach der Intervention bestimmt. Es konnten nach der Trainingsintervention weder für die VT1 noch für die VT2 Veränderungen festgestellt werden. Allerdings reduzierte sich die Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_2/kg$ ) an der VT1 im Mittel um 7% und an der VT2 sogar signifikant um etwa 11% ( $P = 0,003$ ). Die mittlere Herzfrequenz an der VT1 blieb unverändert, während sich die Herzfrequenz an der VT2 um 5 Schläge pro Minute reduzierte ( $P = 0,085$ ) (Tab. 52).

Tab. 52: Leistungsparameter an den ventilatorischen Schwellen vor und nach der Trainingsintervention unter Verwendung der Spielekonsole Wii; \*  $P < 0,05$

	N	prä	post	P
		MW ± SD	MW ± SD	
VT1 [% von $\dot{V}O_{2peak}$ ]	10	49,0 ± 5,5	49,5 ± 7,5	0,737
$\dot{V}O_2/kg$ VT1 [ml/min/kg]		14,8 ± 4,6	13,8 ± 4,9	0,076
VT2 [% von $\dot{V}O_{2peak}$ ]		77,2 ± 6,5	75,7 ± 5,9	0,372
$\dot{V}O_2/kg$ VT2 [ml/min/kg]		23,4 ± 7,3	20,8 ± 2,0	0,003*
HF VT1 [1/min]		120 ± 20,4	121 ± 19,6	0,674
HF VT2 [1/min]		146 ± 25,6	141 ± 21,3	0,085

Differenziert nach der regelmäßigen körperlichen Aktivität zeigten sich nur geringfügige Veränderungen bei den ventilatorischen Schwellen sowie den Herzfrequenzwerten nach Abschluss der Intervention (Tab. 53). So war beispielsweise ein Anstieg der VT1 um etwa 4% sowie der Herzfrequenz an der VT1 um rund 7% für die gering körperlich aktiven Kinder und Jugendlichen zu verzeichnen. Im Gegensatz dazu konnte für die moderat aktive Subgruppe im Mittel ein Rückgang der VT2 (-6%) sowie der Herzfrequenz an der VT2 (-8%) beobachtet werden.

Die relative Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_2/\text{kg}$ ) reduzierte sich in allen aktivitätsbezogenen Subgruppen geringfügig an der VT1 als auch verstärkt an der VT2, was mit der beobachteten reduzierten  $\dot{V}O_{2\text{peak}}$  nach der Intervention einhergeht (vgl. Abschnitt 3.2.2.1).

Tab. 53: Leistungsparameter an den ventilatorischen Schwellen vor und nach der Trainingsintervention differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität

	Körperliche Aktivität	N	prä	post
			MW $\pm$ SD	MW $\pm$ SD
VT1 [% von $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ ]	keine	4	47,4 $\pm$ 5,0	47,0 $\pm$ 4,8
	geringe	2	49,8 $\pm$ 2,5	52,0 $\pm$ 5,7
	moderate	4	50,1 $\pm$ 7,7	50,8 $\pm$ 11,0
$\dot{V}O_2/\text{kg}$ VT1 [ml/min/kg]	keine	4	10,9 $\pm$ 3,9	10,3 $\pm$ 4,3
	geringe	2	18,7 $\pm$ 3,6	16,5 $\pm$ 6,2
	moderate	4	16,7 $\pm$ 2,8	15,9 $\pm$ 3,9
VT2 [% von $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ ]	keine	4	73,4 $\pm$ 4,3	73,8 $\pm$ 7,5
	geringe	2	75,8 $\pm$ 0,4	77,0 $\pm$ 2,8
	moderate	4	81,8 $\pm$ 7,6	77,0 $\pm$ 6,2
$\dot{V}O_2/\text{kg}$ VT2 [ml/min/kg]	keine	4	16,8 $\pm$ 5,6	15,7 $\pm$ 4,5
	geringe	2	28,5 $\pm$ 6,9	23,9 $\pm$ 5,4
	moderate	4	27,4 $\pm$ 3,8	24,3 $\pm$ 5,3
HF VT1 [1/min]	keine	4	115 $\pm$ 16,3	119 $\pm$ 18,8
	geringe	2	110 $\pm$ 29,0	118 $\pm$ 33,9
	moderate	4	129 $\pm$ 22,2	125 $\pm$ 19,3
HF VT2 [1/min]	keine	4	139 $\pm$ 24,4	140 $\pm$ 23,7
	geringe	2	133 $\pm$ 29,4	131 $\pm$ 29,7
	moderate	4	160 $\pm$ 25,6	147 $\pm$ 19,8

Interessanterweise wurden für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen mit guter Compliance in allen submaximalen Parametern Reduktionen deutlich, während

sich bei den Kindern und Jugendlichen mit geringer Compliance nach der Trainingsintervention lediglich die  $\dot{V}O_2/\text{kg}$  an den Schwellen reduzierte (Tab. 54). Die Herzfrequenzwerte an den Schwellen lagen für die Subgruppe mit geringer Compliance bereits vor der Intervention deutlich unter denen der Gruppe mit guter Compliance. An der VT1 stieg die Herzfrequenz in der Gruppe mit geringer Compliance um rund 6% an, während die Herzfrequenz an der VT2 im Mittel unverändert blieb. Im Gegensatz dazu reduzierten sich die Herzfrequenzwerte in der Gruppe mit guter Compliance sowohl an der VT1 als auch der VT2 um jeweils 8% (Tab. 54).

Tab. 54: Leistungsparameter an den ventilatorischen Schwellen vor und nach der Trainingsintervention differenziert nach unterschiedlicher Compliance

	Compliance Intervention	N	prä	post
			MW $\pm$ SD	MW $\pm$ SD
VT1 [% von $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ ]	geringe	7	49,4 $\pm$ 5,9	51,9 $\pm$ 7,8
	gute	3	48,0 $\pm$ 5,4	44,0 $\pm$ 2,7
$\dot{V}O_2/\text{kg}$ VT1 [ml/min/kg]	geringe	7	15,5 $\pm$ 4,8	14,6 $\pm$ 5,4
	gute	3	13,0 $\pm$ 4,2	11,7 $\pm$ 3,5
VT2 [% von $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ ]	geringe	7	76,3 $\pm$ 54,4	76,4 $\pm$ 6,8
	gute	3	79,3 $\pm$ 3,8	74,7 $\pm$ 4,2
$\dot{V}O_2/\text{kg}$ VT2 [ml/min/kg]	geringe	7	23,9 $\pm$ 7,2	21,0 $\pm$ 6,1
	gute	3	22,1 $\pm$ 8,9	20,2 $\pm$ 7,8
HF VT1 [1/min]	geringe	7	112 $\pm$ 15,4	119 $\pm$ 19,2
	gute	3	138 $\pm$ 20,5	127 $\pm$ 23,1
HF VT2 [1/min]	geringe	7	135 $\pm$ 19,2	133 $\pm$ 20,2
	gute	3	173 $\pm$ 18,1	159 $\pm$ 11,6

Bezugnehmend zu den in Abschnitt 3.2.2 dargestellten Untersuchungsergebnissen zur Leistungsfähigkeit, muss die Haupthypothese H1 abgelehnt werden, da eine Steigerung der maximalen Sauerstoffaufnahme und damit eine Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit nierentransplantierte Kinder und Jugendlicher durch den Einsatz eines videospieldbasierten Aktivitätsprogramms nicht nachgewiesen werden konnte.

### 3.2.3 Maximale Handkraft

Da für die maximale isometrische Handkraft in Bezug auf die Übungsausführung Gewöhnungseffekte vom ersten (T1) zum zweiten (T2) Messzeitpunkt zu erwarten waren, entsprechen die nachfolgend dargestellten prä-Werte den zum Zeitpunkt T2 ermittelten Kraftwerten. Außerdem konnten nur 12 Kinder und Jugendliche bei der Auswertung der maximalen Handkraft berücksichtigt werden, da bei einem nierentransplantierten Jungen gerätebedingt zum Zeitpunkt T2 keine Messung der maximalen Handkraft möglich war (Tab. 55).

Tab. 55: Maximale Handkraft vor und nach der Trainingsintervention insgesamt sowie differenziert nach unterschiedlicher körperlicher Aktivität und Compliance

		N	prä	post	P
			MW ± SD	MW ± SD	
<b>Gesamtstichprobe</b>		12	20,5 ± 9,9	20,8 ± 9,6	0,687
<b>Körperliche Aktivität</b>	keine	6	18,3 ± 8,5	18,2 ± 9,3	-
	geringe	2	15,5 ± 3,5	16,0 ± 2,8	
	moderate	4	26,3 ± 12,9	27,0 ± 10,7	
<b>Compliance Intervention</b>	geringe	7	17,3 ± 7,7	18,3 ± 8,5	-
	gute	5	25,0 ± 11,7	24,2 ± 11,0	

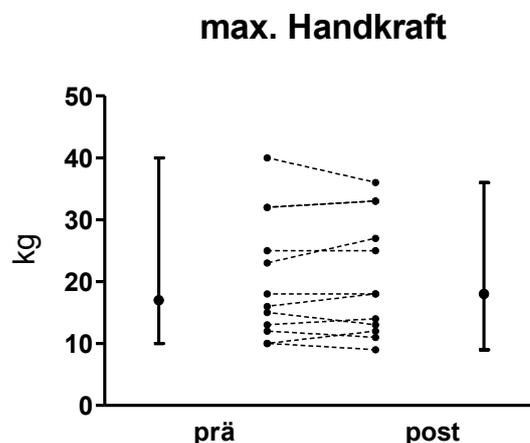


Abb. 32: Maximale Handkraft vor und nach der Trainingsintervention unter Verwendung der Spielekonsole Wii (individuelle prä-/post-Werte für alle TX<sub>Wii</sub> sowie im Mittel (Median) mit den jeweiligen Minima und Maxima)

Im Mittel konnten für die maximale Handkraft keine Veränderungen von vor zu nach der Intervention festgestellt werden (Tab. 55 & Abb. 32). Auch individuell betrachtet sind kaum gravierende Änderungen zu verzeichnen. Lediglich ein nierentransplantiertes Ju-

gendlicher konnte seine Handkraft nach der Intervention stark verbessern, während ein weiterer deutlich geringere Maximalwerte erzielte (Abb. 32).

Differenziert nach der regelmäßigen körperlichen Aktivität war in der Gruppe der gering aktiven Kinder und Jugendlichen eine minimale Zunahme von  $15,5 \pm 3,5$  auf  $16,0 \pm 2,8$  kg und in der Gruppe der moderat aktiven Kinder und Jugendlichen eine ebenso geringfügige Steigerung von  $26,3 \pm 12,9$  auf  $27,0 \pm 10,7$  kg zu verzeichnen. Die maximale Handkraft der inaktiven Subgruppe blieb hingegen unverändert (Tab. 55 & Abb. 33 A).

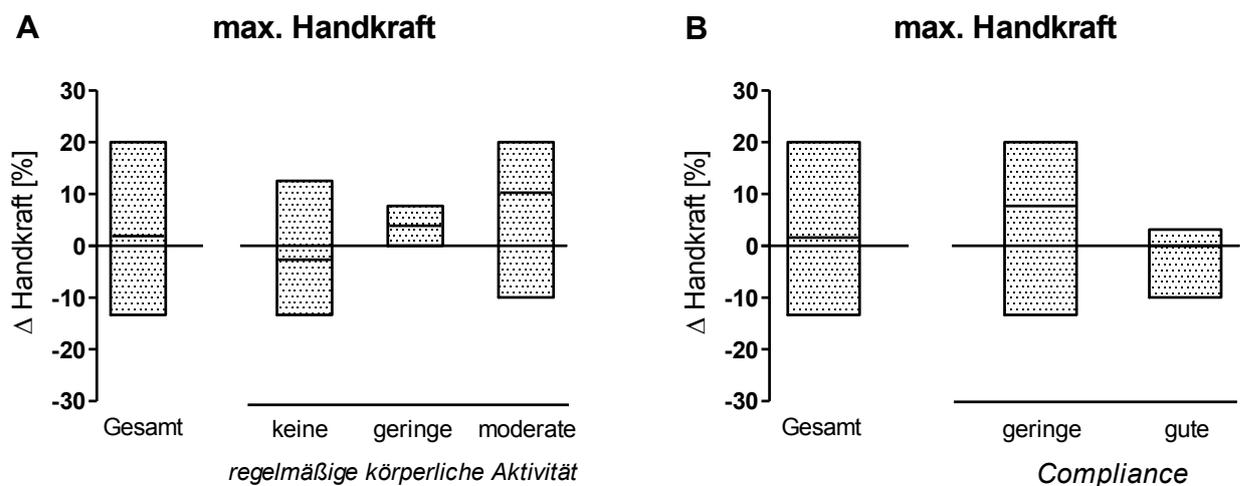


Abb. 33: Änderung der maximalen Handkraft nach der Trainingsintervention differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität (A) sowie der Compliance (B)

In Abhängigkeit von der Compliance während der Trainingsintervention fiel auf, dass die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen mit geringer Compliance ihre maximale isometrische Handkraft im Mittel um knapp 6% von  $17,3 \pm 7,7$  auf  $18,3 \pm 8,5$  kg steigern konnten, während sich die mittlere maximale Handkraft der Kinder und Jugendlichen mit guter Compliance sogar geringfügig (-3%) reduzierte (Tab. 55 & Abb. 33).

Auf Grundlage der vorliegenden Ergebnisse muss die Hypothese H2 abgelehnt werden, da sich die maximale isometrische Handkraft der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen nach Abschluss der Trainingsintervention mittels Wii-Spielekonsole nicht signifikant steigerte.

### 3.2.4 Koordination

Die koordinativen Fähigkeiten der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen wurde jeweils vor und nach der Intervention mit Hilfe des Körperkoordinationstests für Kinder (KTK) beurteilt. Dabei zeigten sich im Gesamt-Resultat aller vier Testaufgaben (*Gesamt-MQ*) sowie in Bezug auf das *Rückwärts Balancieren* und das *Seitliche Umsetzen* keine Veränderungen nach Abschluss der Intervention. Im *Seitlichen Hin- und Herspringen* steigerten sich die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen um 9% von  $79,9 \pm 21,5$  auf  $86,9 \pm 22,0$  Punkte ( $P = 0,152$ ), während sich der MQ im *Monopedalen Überhüpfen* um etwa 8% von  $62,7 \pm 24,2$  auf  $57,8 \pm 26,8$  Punkte signifikant ( $P = 0,030$ ) reduzierte (Tab. 56 & Abb. 34).

Tab. 56: MQ-Werte im KTK vor und nach der Trainingsintervention unter Verwendung der Spielekonsole Wii; \*  $P < 0,05$

	N	prä	post	P
		MW $\pm$ SD	MW $\pm$ SD	
<b>Gesamt-MQ</b>		61,5 $\pm$ 17,8	63,2 $\pm$ 21,1	0,376
<b>MQ Rückwärts Balancieren</b>		69,2 $\pm$ 17,4	71,9 $\pm$ 18,1	0,445
<b>MQ Monopedales Überhüpfen</b>	13	62,7 $\pm$ 24,2	57,8 $\pm$ 26,8	0,030*
<b>MQ Seitliches Hin- und Herspringen</b>		79,9 $\pm$ 21,5	86,9 $\pm$ 22,0	0,152
<b>MQ Seitliches Umsetzen</b>		70,5 $\pm$ 12,2	70,1 $\pm$ 15,3	0,826

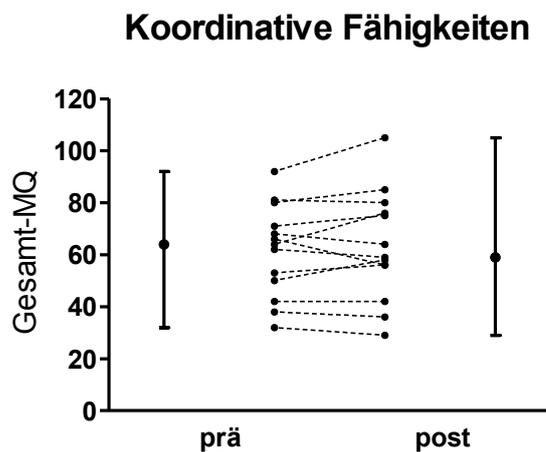


Abb. 34: Gesamt-MQ im KTK vor und nach der Trainingsintervention unter Verwendung der Spielekonsole Wii (individuelle prä-/post-Werte für alle TX<sub>Wii</sub> sowie im Mittel (Median) mit den jeweiligen Minima und Maxima)

In Bezug zu den von Kiphard und Schilling (2007) beschriebenen Referenzbereichen wiesen die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen, mit Ausnahme des *Seitlichen Hin- und Herspringens*, sowohl vor als auch nach der Trainingsintervention eine gestörte Körperkoordination (MQ = 56 bis 70) auf. Im *Seitlichen Hin- und Herspringen* lagen die Kinder und Jugendlichen bereits vor der Intervention mit durchschnittlich  $79,9 \pm 21,5$  Punkten im nächst besseren Bereich (MQ = 71 bis 85), wobei einzelne Patienten/-innen nach der Trainingsintervention sogar die Untergrenze des Normalbereichs (MQ = 86 bis 115) erlangten.

Tab. 57: MQ-Werte im KTK vor und nach der Trainingsintervention differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität

	Körperliche Aktivität	N	prä	post
			MW $\pm$ SD	MW $\pm$ SD
<b>Gesamt-MQ</b>	keine	6	55,0 $\pm$ 15,7	53,3 $\pm$ 17,7
	geringe	3	61,3 $\pm$ 17,1	64,7 $\pm$ 13,3
	moderate	4	71,3 $\pm$ 21,3	76,8 $\pm$ 26,3
<b>MQ Rückwärts Balancieren</b>	keine	6	64,3 $\pm$ 14,1	65,0 $\pm$ 18,2
	geringe	3	72,3 $\pm$ 21,1	75,7 $\pm$ 14,4
	moderate	4	74,0 $\pm$ 22,2	79,5 $\pm$ 20,8
<b>MQ Monopedales Überhüpfen</b>	keine	6	52,7 $\pm$ 13,0	48,3 $\pm$ 13,4
	geringe	3	57,7 $\pm$ 27,2	50,0 $\pm$ 30,1
	moderate	4	81,5 $\pm$ 29,4	77,8 $\pm$ 34,9
<b>MQ Seitliches Hin- und Herspringen</b>	keine	6	81,7 $\pm$ 24,9	80,2 $\pm$ 28,2
	geringe	3	74,7 $\pm$ 24,9	91,3 $\pm$ 4,9
	moderate	4	81,0 $\pm$ 19,2	93,8 $\pm$ 20,7
<b>MQ Seitliches Umsetzen</b>	keine	6	63,7 $\pm$ 9,8	63,8 $\pm$ 11,4
	geringe	3	77,0 $\pm$ 8,2	73,0 $\pm$ 14,0
	moderate	4	76,0 $\pm$ 14,7	77,3 $\pm$ 20,6

Differenziert nach der regelmäßigen körperlichen Aktivität pro Woche zeigte sich in Bezug auf den *Gesamt-MQ* eine leichte Steigerung der koordinativen Fähigkeiten bei den gering (+6%) und moderat (+8%) aktiven Kindern und Jugendlichen, während die Inaktiven nach der Intervention etwas niedrigere Werte erzielten (-3%). Unabhängig vom Aktivitätsniveau war für alle Subgruppen ein Rückgang der MQ-Werte im *Monopeden Überhüpfen* festzustellen. Die größten Anstiege waren für die gering und moderat aktiven Kinder und Jugendlichen im *Seitlichen Hin- und Herspringen* (+22% und +16%) zu

verzeichnen. In Bezug auf das *Seitliche Umsetzen* zeigten sich auch in Abhängigkeit von der regelmäßigen körperlichen Aktivität kaum Veränderungen nach der Intervention (Tab. 57 & Abb. 35).

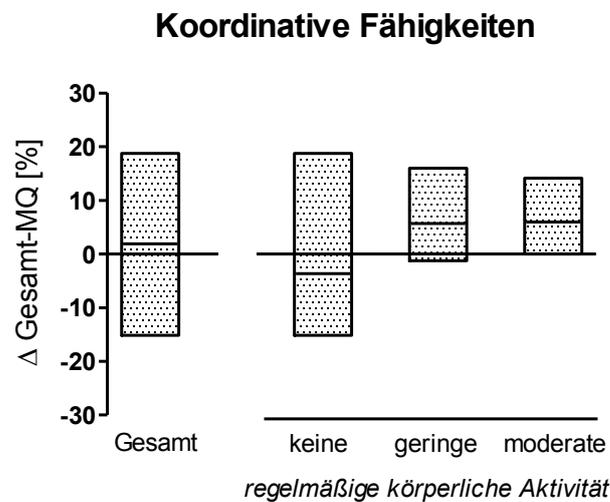


Abb. 35: Änderung des Gesamt-MQ im KTK nach der Trainingsintervention differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität

Tab. 58: MQ-Werte im KTK vor und nach der Trainingsintervention differenziert nach unterschiedlicher Compliance

	Compliance Intervention	N	prä	post
			MW ± SD	MW ± SD
<b>Gesamt-MQ</b>	geringe	8	67,8 ± 17,0	69,8 ± 21,3
	gute	5	51,4 ± 15,5	52,6 ± 17,6
<b>MQ Rückwärts Balancieren</b>	geringe	8	75,3 ± 16,9	76,3 ± 20,3
	gute	5	59,4 ± 14,6	65,0 ± 12,9
<b>MQ Monopedales Überhüpfen</b>	geringe	8	70,0 ± 23,6	63,6 ± 27,1
	gute	5	51,0 ± 22,3	48,4 ± 26,3
<b>MQ Seitliches Hin- und Herspringen</b>	geringe	8	82,1 ± 21,3	91,9 ± 20,1
	gute	5	76,2 ± 23,9	79,0 ± 24,9
<b>MQ Seitliches Umsetzen</b>	geringe	8	74,0 ± 13,2	75,1 ± 15,9
	gute	5	65,0 ± 9,0	62,0 ± 11,1

Unabhängig von der Compliance der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen blieb der *Gesamt-MQ* nach der Trainingsintervention im Vergleich zum Ausgangswert unverändert (Tab. 58 & Abb. 36). In Bezug auf das *Monopedale Überhüpfen* zeigten sich jedoch in beiden Subgruppen im Mittel Reduktionen von rund 9% bzw. 5%. Die

größte Zunahme von  $59,4 \pm 14,6$  auf  $65,0 \pm 12,9$  Punkte (+9%) wiesen die Kinder und Jugendlichen mit guter Compliance im Bereich des *Rückwärts Balancierens* auf, während diejenigen mit geringer Compliance den MQ für das *Seitliche Hin- und Herspringen* deutlich (+12%) steigern konnten (Tab. 58). Auffällig war jedoch, dass die Kinder und Jugendlichen mit geringer Compliance sowohl vor als auch nach der Trainingsintervention in allen Testaufgaben höhere MQ-Werte erreichten, als jene mit guter Compliance.

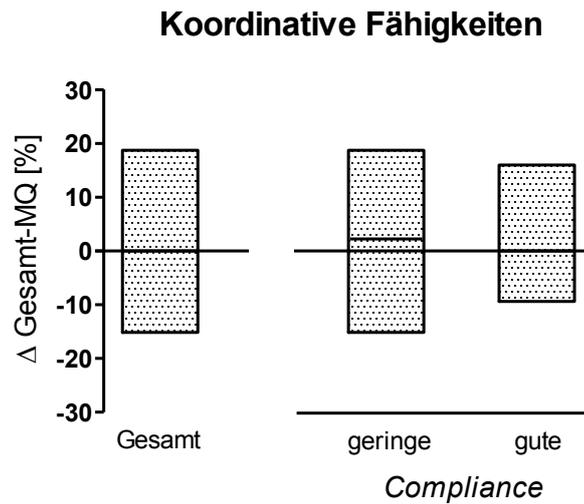


Abb. 36: Änderung des Gesamt-MQ im KTK nach der Trainingsintervention differenziert nach der Compliance

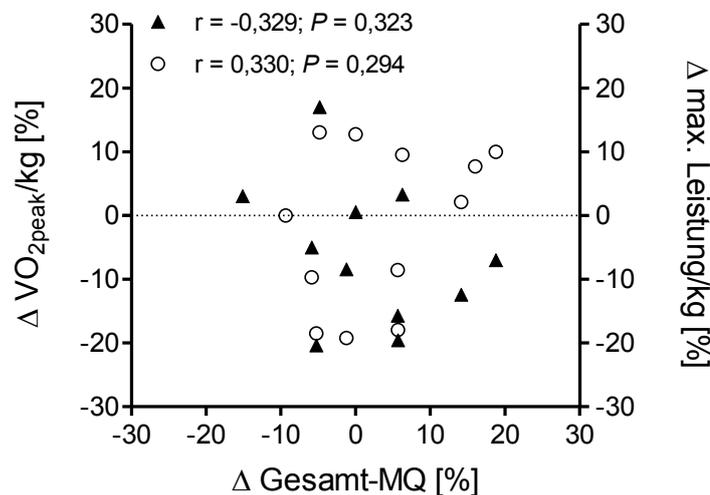


Abb. 37: Zusammenhang zwischen Änderungen der koordinativen Fähigkeiten (Gesamt-MQ) und Änderungen der  $\dot{V}O_{2peak}/kg$  (▲) sowie der max. Leistung/kg (○) von vor zu nach der Trainingsintervention

Inwiefern die prozentuale Änderung des *Gesamt-MQ* der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen nach Abschluss der Intervention mit einer Steigerung bzw. Reduktion

der körperrgewichtbezogenen Sauerstoffaufnahme sowie der maximalen Leistung einherging, wurde mit Hilfe einer Pearson-Produkt-Moment-Korrelation überprüft (Abb. 37). Sowohl für die Änderung der  $\dot{V}O_{2peak}/kg$  und des Gesamt-MQ ( $r = -0,329$ ;  $P = 0,232$ ) als auch für die Änderung der maximalen Leistung pro Kilogramm Körpergewicht und des Gesamt-MQ ( $r = 0,330$ ;  $P = 0,294$ ) konnten keine signifikanten Zusammenhänge nachgewiesen werden.

Da sich die koordinativen Fähigkeiten der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen nach Abschluss der Trainingsintervention unter Verwendung der Spielekonsole Wii nicht signifikant verbesserten, muss die Hypothese H3 abgelehnt werden.

### 3.2.5 Gesundheitsbezogene Lebensqualität (PedsQL 4.0)

Tab. 59: Gesundheitsbezogene Lebensqualität vor und nach der Trainingsintervention unter Verwendung der Spielekonsole Wii

	N	prä	post	P
		MW ± SD	MW ± SD	
<b>Selbsteinschätzung TX<sub>Wii</sub>:</b>				
<b>Gesamt-Score</b>	11	73,7 ± 15,5	78,7 ± 8,2	0,201
<b>Physische Funktionsfähigkeit</b>	11	79,8 ± 17,8	81,3 ± 12,1	0,696
<b>Emotionale Funktionsfähigkeit</b>	11	73,2 ± 16,9	78,6 ± 13,4	0,126
<b>Soziale Funktionsfähigkeit</b>	11	77,9 ± 23,7	84,5 ± 16,0	0,329
<b>Schulische Funktionsfähigkeit</b>	10	66,0 ± 17,9	72,0 ± 15,9	0,367
<b>Fremdeinschätzung Eltern:</b>				
<b>Gesamt-Score</b>	8	73,4 ± 10,7	72,4 ± 10,5	0,785
<b>Physische Funktionsfähigkeit</b>	8	78,1 ± 15,1	78,5 ± 12,0	0,935
<b>Emotionale Funktionsfähigkeit</b>	8	74,4 ± 14,3	72,5 ± 8,5	0,691
<b>Soziale Funktionsfähigkeit</b>	8	74,4 ± 19,7	68,8 ± 20,7	0,357
<b>Schulische Funktionsfähigkeit</b>	8	66,9 ± 11,9	70,0 ± 14,9	0,529

Die gesundheitsbezogene Lebensqualität wurde mit Hilfe des PedsQL 4.0 zu Studienbeginn und nochmals nach der Trainingsintervention erhoben. Anhand der Selbsteinschätzungen der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen steigerte sich die Lebensqualität nach Intervention geringfügig, jedoch nicht signifikant, um etwa 7% in Bezug auf den *Gesamt-Score* ( $P = 0,201$ ) sowie um rund 7% ( $P = 0,126$ ) in der *Emotiona-*

len, 8% ( $P = 0,329$ ) in der *Sozialen* und 9% ( $P = 0,367$ ) in der *Schulischen Funktionsfähigkeit*. Im Bereich der *Physischen Funktionsfähigkeit* berichteten die Kinder und Jugendlichen keine Veränderungen (Tab. 59). Im Gegensatz zur Selbsteinschätzung der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen konnten anhand der Fremdeinschätzung durch die Eltern keine Veränderungen in der Lebensqualität insgesamt (Gesamt-Score:  $73,4 \pm 10,7$  vs.  $72,4 \pm 10,5$ ;  $P = 0,785$ ) sowie in der *Physischen* ( $P = 0,935$ ) und *Emotionalen Funktionsfähigkeit* ( $P = 0,691$ ) festgestellt werden. In Bezug auf die *Soziale Funktionsfähigkeit* zeigte sich anhand der Einschätzung der Eltern eine leichte Reduktion der Lebensqualität um rund 7% ( $P = 0,357$ ), während die *Schulische Funktionsfähigkeit* nach Intervention etwa 5% höher ( $P = 0,529$ ) bewertet wurde (Tab. 59). Alle beschriebenen Änderungen waren jedoch nicht signifikant.

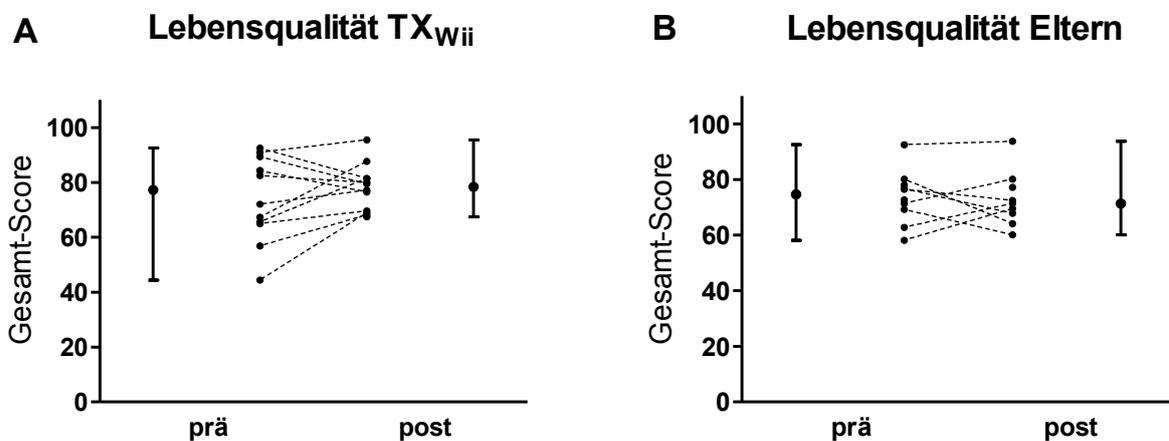


Abb. 38: Gesamt-Score im PedsQL 4.0 vor und nach der Trainingsintervention unter Verwendung der Spielekonsole Wii (individuelle prä-/post-Werte für alle TX<sub>Wii</sub> sowie im Mittel (Median) mit den jeweiligen Minima und Maxima); (A) Selbsteinschätzung TX<sub>Wii</sub> & (B) Fremdeinschätzung durch die Eltern

Differenziert nach der körperlichen Aktivität zeigten sich leichte Steigerungen der Lebensqualität insgesamt bei den inaktiven (+8%) und moderat aktiven (+9%) Kindern und Jugendlichen, während die Lebensqualität der beiden Kinder und Jugendlichen mit geringer körperlicher Aktivität weitgehend unverändert blieb (Abb. 39 & Tab. 60).

In Bezug auf die einzelnen Items konnten für die inaktiven nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen Verbesserungen in der *Emotionalen* (+9%) und *Sozialen Funktionsfähigkeit* (+18%) beobachtet werden, während die moderat aktiven Kinder und Jugendlichen ihre Lebensqualität im Bereich der *Emotionalen* (+10%), *Sozialen* (+9%) und *Schulischen Funktionsfähigkeit* (+22%) steigern konnten. Die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen mit geringer körperlicher Aktivität wiesen nach Abschluss der

Intervention eine geringe Reduktion im Bereich der *Sozialen Funktionsfähigkeit* auf, während für die übrigen Bereiche keine Veränderungen festgestellt werden konnten (Tab. 60).

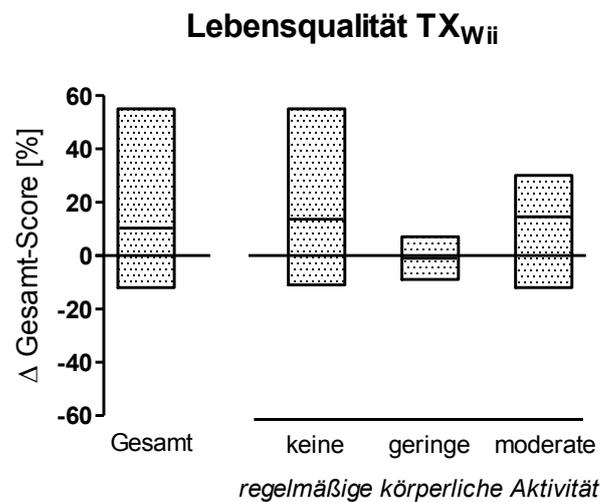


Abb. 39: Änderung des Gesamt-Scores im PedsQL 4.0 nach der Trainingsintervention anhand der Selbsteinschätzung der TX<sub>Wii</sub> differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität

Tab. 60: Gesundheitsbezogene Lebensqualität (Selbsteinschätzung) vor und nach der Trainingsintervention differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität

	Körperliche Aktivität	N	prä	post
			MW ± SD	MW ± SD
<b>Gesamt-Score</b>	keine	5	67,6 ± 18,4	73,2 ± 6,0
	geringe	2	78,1 ± 8,6	76,9 ± 0,5
	moderate	4	79,1 ± 14,6	86,5 ± 6,7
<b>Physische Funktionsfähigkeit</b>	keine	5	67,5 ± 19,0	70,0 ± 6,5
	geringe	2	87,5 ± 13,3	87,5 ± 8,8
	moderate	4	91,4 ± 6,9	92,2 ± 3,1
<b>Emotionale Funktionsfähigkeit</b>	keine	5	70,0 ± 22,6	76,0 ± 17,1
	geringe	2	72,5 ± 3,5	72,5 ± 3,5
	moderate	4	77,5 ± 15,0	85,0 ± 10,8
<b>Soziale Funktionsfähigkeit</b>	keine	5	72,0 ± 28,0	85,0 ± 5,0
	geringe	2	67,5 ± 31,8	60,0 ± 28,3
	moderate	4	85,0 ± 17,8	92,5 ± 8,7
<b>Schulische Funktionsfähigkeit</b>	keine	4	60,0 ± 14,7	60,0 ± 4,1
	geringe	2	85,0 ± 7,1	87,5 ± 17,7
	moderate	4	62,5 ± 20,6	76,3 ± 16,0

Tab. 61: Gesundheitsbezogene Lebensqualität (Selbsteinschätzung) vor und nach der Trainingsintervention differenziert nach unterschiedlicher Compliance

	Compliance Intervention	N	prä	post
			MW ± SD	MW ± SD
<b>Gesamt-Score</b>	geringe	7	73,9 ± 18,1	77,5 ± 7,0
	gute	4	73,4 ± 12,1	80,9 ± 10,9
<b>Physische Funktionsfähigkeit</b>	geringe	7	77,7 ± 21,8	77,7 ± 11,0
	gute	4	83,6 ± 8,6	87,5 ± 12,8
<b>Emotionale Funktionsfähigkeit</b>	geringe	7	74,3 ± 19,2	81,4 ± 11,8
	gute	4	71,3 ± 14,4	73,8 ± 16,5
<b>Soziale Funktionsfähigkeit</b>	geringe	7	80,7 ± 24,4	84,3 ± 4,5
	gute	4	67,5 ± 23,3	81,3 ± 28,4
<b>Schulische Funktionsfähigkeit</b>	geringe	7	62,9 ± 17,3	66,4 ± 12,2
	gute	3	73,3 ± 20,8	85,0 ± 18,0

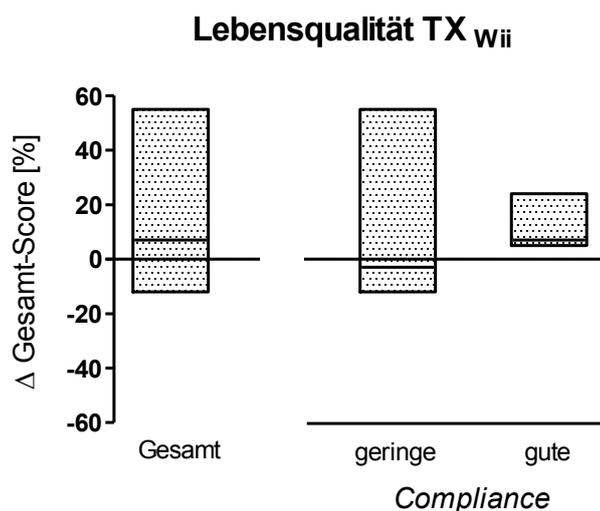


Abb. 40: Änderung des Gesamt-Scores im PedsQL 4.0 nach der Trainingsintervention anhand der Selbsteinschätzung der TX<sub>wii</sub> differenziert nach der Compliance

Sowohl für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen mit geringer Compliance (+5%) als auch für diejenigen mit guter Compliance (+10%) waren nach der Intervention leichte Steigerungen der Lebensqualität in Bezug auf den *Gesamt-Score* zu beobachten, wobei die individuellen Veränderungen in der Subgruppe mit geringer Compliance sehr differierten (Tab. 61 & Abb. 40). Die Kinder und Jugendlichen mit guter Compliance verbesserten ihre Lebensqualität in allen Teilbereichen. Die größten Zuwächse konnten diesbezüglich in der *Sozialen* (+20%) und *Schulischen Funktionsfähigkeit* (+16%) beobachtet werden. Diejenigen mit geringer Compliance steigerten sich in ver-

gleichsweise geringerem Maße, jedoch ebenfalls in allen Teilbereichen, mit Ausnahme der *Physischen Funktionsfähigkeit* (Tab. 61).

Auf Basis der beschriebenen Ergebnisse, muss die Hypothese H4 abgelehnt werden, da nicht nachgewiesen werden konnte, dass die gesteigerte körperliche Aktivität durch das Training mit der Wii-Spielekonsole zu einer signifikanten Steigerung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen führt.

### 3.2.6 Körperliche Aktivität im Alltag (SenseWear<sup>®</sup>-Messung)

Mit Hilfe eines SenseWear<sup>®</sup>-Armbandes wurde die körperliche Aktivität im Alltag sowohl vor als auch nach der Trainingsintervention erfasst. Hierbei zeigte sich für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen nach Abschluss der Intervention eine signifikante Zunahme der Schrittzahl von  $481 \pm 177$  auf  $602 \pm 226$  Schritte pro Stunde (+25%;  $P = 0,043$ ) (Abb. 41 & Tab. 62).

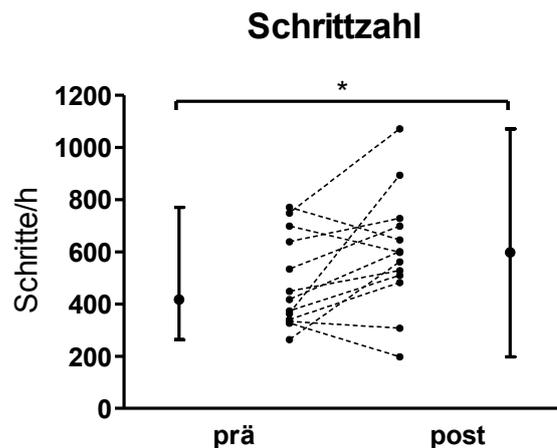


Abb. 41: Schrittzahl pro Stunde vor und nach der Trainingsintervention unter Verwendung der Spielekonsole Wii (individuelle prä-/post-Werte für alle TX<sub>Wii</sub> sowie im Mittel (Median) mit den jeweiligen Minima und Maxima)

Differenziert nach der regelmäßigen körperlichen Aktivität zeigten sich in allen Subgruppen Steigerungen der Schrittzahl pro Stunde, wobei die gering körperlich aktiven Kinder und Jugendlichen mit rund 57% die größten Zuwächse nach Intervention aufwiesen und im Subgruppen-Vergleich mit  $701 \pm 207$  die meisten Schritte pro Stunde zurücklegten (Tab. 62 & Abb. 42).

Tab. 62: Schrittzahlen pro Stunde vor und nach der Trainingsintervention insgesamt sowie differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität und Compliance; \*  $P < 0,05$

		N	prä	post	P
			MW ± SD	MW ± SD	
<b>Gesamtstichprobe</b>		13	481 ± 177	602 ± 226	0,043*
<b>Körperliche Aktivität</b>	keine	6	522 ± 199	587 ± 310	-
	geringe	3	447 ± 166	701 ± 207	
	moderate	4	446 ± 185	549 ± 39	
<b>Compliance Intervention</b>	geringe	8	486 ± 192	581 ± 269	-
	gute	5	475 ± 169	636 ± 155	

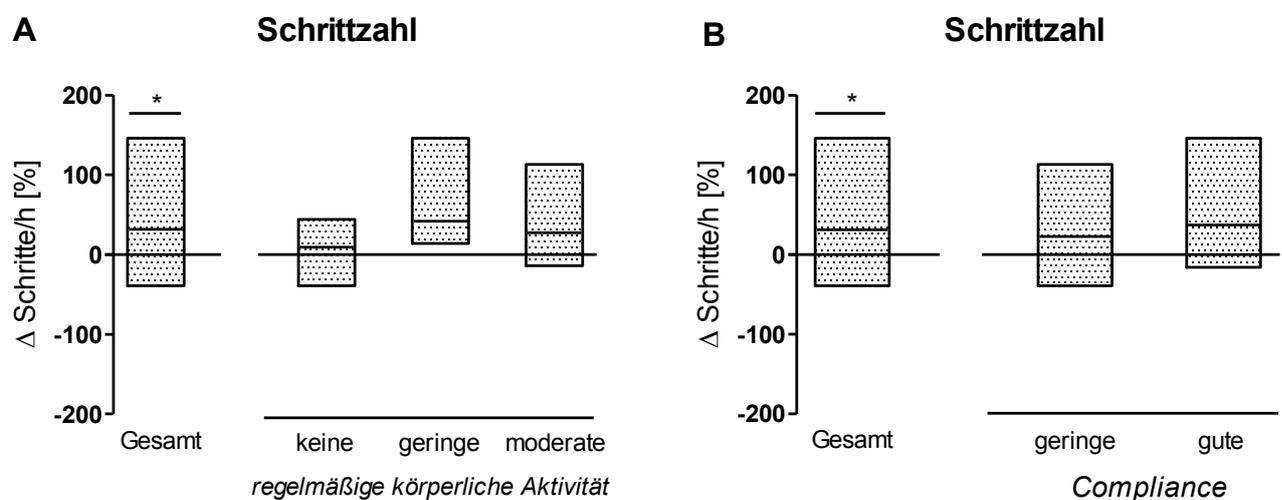


Abb. 42: Änderung der Schrittzahl pro Stunde nach der Trainingsintervention differenziert nach unterschiedlicher regelmäßiger körperlicher Aktivität (A) sowie der Compliance (B)

Vor Intervention absolvierten sowohl die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen mit geringer als auch diejenigen mit guter Compliance vergleichbare Schrittzahlen pro Stunde ( $486 \pm 192$  vs.  $475 \pm 169$ ). Beide Subgruppen konnten ihre durchschnittlichen Schrittzahlen nach Abschluss der Intervention steigern, wobei die Kinder und Jugendlichen mit guter Compliance die größere Zunahme mit rund +34% erzielten (Tab. 62 & Abb. 42).

Da nach Abschluss der Trainingsintervention unter Verwendung der Spielekonsole Wii die alltägliche körperliche Aktivität (Schrittzahl pro Stunde) der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen signifikant gesteigert werden konnte, kann die Hypothese H5 angenommen werden.

### 3.3 Verlaufsbeobachtung 1 Jahr nach Trainingsintervention

Potenzielle langfristige Effekte der Trainingsintervention mittels Wii-Spielekonsole wurden im Rahmen einer Follow-up-Messung (T4) etwa ein Jahr nach Abschluss der Wii-Phase überprüft. Von den 13 nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen, die an der Intervention teilgenommen haben, erklärten sich noch zwölf bereit, die Abschluss-Untersuchung zu absolvieren. Für die anthropometrischen und gesundheitsbezogenen Daten zum Zeitpunkt T4 sei an dieser Stelle auf den Abschnitt 3.2.1 verwiesen.

#### 3.3.1 Leistungsfähigkeit

##### 3.3.1.1 Maximale Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2peak}$ )

Die relative maximale Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2peak}/kg$ ) blieb ein Jahr nach Abschluss der Trainingsintervention unverändert ( $P = 0,486$ ). In Bezug auf die absolute  $\dot{V}O_{2peak}$  zeigte sich eine geringfügige positive Tendenz ( $P = 0,074$ ), die jedoch durch die körperliche Entwicklung (Größen- und Gewichtszunahme) der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen im Verlauf des Jahres begründet sein dürfte (Tab. 63 & Abb. 43).

Tab. 63:  $\dot{V}O_{2peak}$  direkt nach und ca. 1 Jahr nach der Trainingsintervention

	N	post	follow-up	P
		MW $\pm$ SD	MW $\pm$ SD	
$\dot{V}O_{2peak}$ [l/min]	10	1,4 $\pm$ 0,5	1,5 $\pm$ 0,6	0,074
$\dot{V}O_{2peak}/kg$ [ml/min/kg]	10	27,9 $\pm$ 8,2	28,4 $\pm$ 7,6	0,486

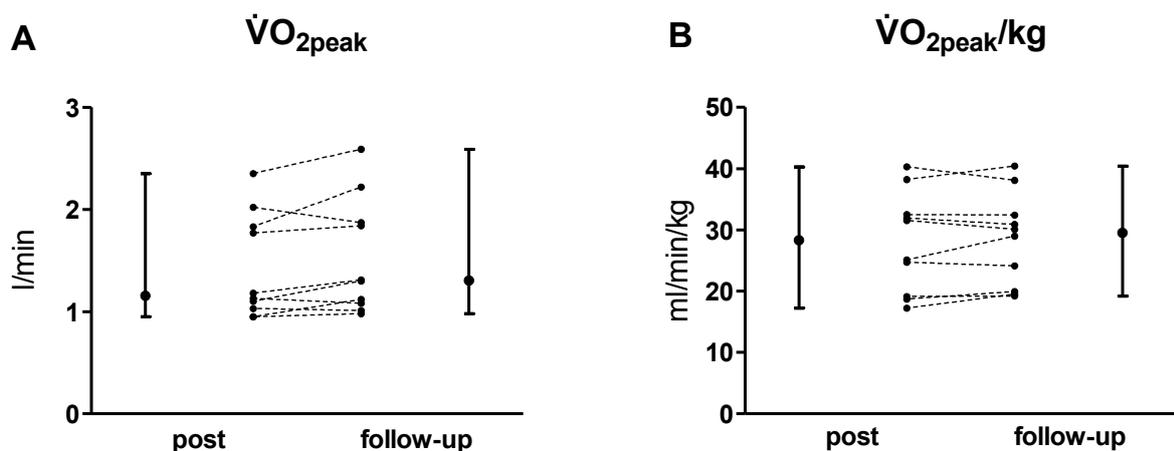


Abb. 43:  $\dot{V}O_{2peak}$  direkt nach (*post*) sowie etwa 1 Jahr nach Trainingsintervention (*follow-up*) für alle TX<sub>Wii</sub> separat sowie im Mittel (Median) mit den jeweiligen Minima und Maxima (Whiskers)

### 3.3.1.2 Weitere Kenngrößen der maximalen Leistungsfähigkeit

Ein Jahr nach Abschluss der Intervention zeigten sich in Bezug auf die absolute maximale Leistung in Watt ( $P = 0,280$ ) sowie die relative Maximalleistung in Watt/kg ( $P = 0,913$ ) keine Veränderungen (Tab. 64 & Abb. 44). Die  $\dot{V}E_{peak}$  sowie die  $HF_{peak}$  stiegen im Vergleich zu nach Intervention geringfügig, jedoch nicht signifikant an. Der  $RQ_{peak}$  überschritt sowohl direkt nach als auch ein Jahr nach Intervention die Ausbelastungsgrenze von 1,1, was auf eine große Anstrengungsbereitschaft und Mitarbeit der nieren-transplantierten Kinder und Jugendlichen zu beiden Messzeitpunkten hindeutet (Tab. 64).

Tab. 64: Maximale Leistung,  $RQ_{peak}$ ,  $\dot{V}E_{peak}$  und  $HF_{peak}$  direkt nach und ca. 1 Jahr nach Trainingsintervention

	N	post	follow-up	P
		MW $\pm$ SD	MW $\pm$ SD	
max. Leistung [Watt]	11	99,6 $\pm$ 39,5	103,6 $\pm$ 43,8	0,280
max. Leistung/kg [W/kg]	11	1,9 $\pm$ 0,6	1,9 $\pm$ 0,6	0,913
$RQ_{peak}$ [ $\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$ ]	10	1,12 $\pm$ 0,12	1,14 $\pm$ 0,10	0,496
$\dot{V}E_{peak}$ [l/min]	10	54,3 $\pm$ 20,5	59,1 $\pm$ 23,5	0,153
$HF_{peak}$ [1/min]	12	163 $\pm$ 23,5	169 $\pm$ 21,0	0,059

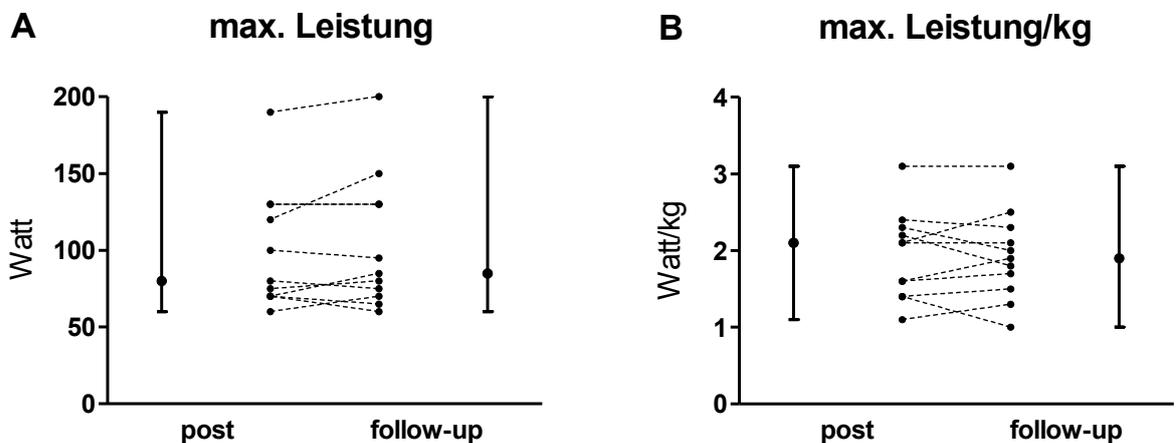


Abb. 44: Maximale Leistung direkt nach (*post*) sowie etwa 1 Jahr nach der Trainingsintervention (*follow-up*) für alle  $TX_{Wii}$  separat sowie im Mittel (Median) mit den jeweiligen Minima und Maxima (Whiskers)

### 3.3.1.3 Submaximale Leistungsfähigkeit (ventilatorische Schwellen)

Im Bereich der submaximalen Leistungsparameter zeigten sich im Rahmen der Follow-up-Messung Veränderungen in Bezug auf die ventilatorischen Schwellen, wobei sowohl die VT1 und die VT2 (% von  $\dot{V}O_{2peak}$ ) als auch die  $\dot{V}O_2/kg$  an den Schwellen anstiegen. Die Zunahme der  $\dot{V}O_2/kg$  an der VT2 war signifikant ( $P = 0,002$ ). Die Herzfrequenz im Bereich der VT1 erhöhte sich durchschnittlich um 5 Schläge/Minute ( $P = 0,150$ ), während im Bereich der VT2 sogar ein signifikanter ( $P = 0,018$ ) Herzfrequenzanstieg von durchschnittlich 12 Schlägen pro Minute beobachtet werden konnte (Tab. 65).

Tab. 65: Leistungsparameter an den ventilatorischen Schwellen direkt nach und ca. 1 Jahr nach der Trainingsintervention; \*  $P < 0,05$

	N	post	follow-up	P
		MW $\pm$ SD	MW $\pm$ SD	
VT1 [% von $\dot{V}O_{2peak}$ ]		49,9 $\pm$ 7,8	52,8 $\pm$ 8,7	0,377
$\dot{V}O_2/kg$ VT1 [ml/min/kg]		14,3 $\pm$ 4,9	15,5 $\pm$ 3,5	0,141
VT2 [% von $\dot{V}O_{2peak}$ ]	9	75,4 $\pm$ 6,2	78,3 $\pm$ 5,0	0,301
$\dot{V}O_2/kg$ VT2 [ml/min/kg]		21,4 $\pm$ 6,2	23,5 $\pm$ 5,9	0,002*
HF VT1 [1/min]		122 $\pm$ 20,6	127 $\pm$ 17,8	0,150
HF VT2 [1/min]		139 $\pm$ 22,2	151 $\pm$ 26,6	0,018*

### 3.3.2 Maximale Handkraft

Die maximale Handkraft der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen stellte sich ein Jahr nach Abschluss der Intervention unverändert dar ( $post = 19,4 \pm 9,8$  kg vs.  $follow-up = 19,5 \pm 8,9$  kg;  $P = 0,832$ ) (Abb. 45).

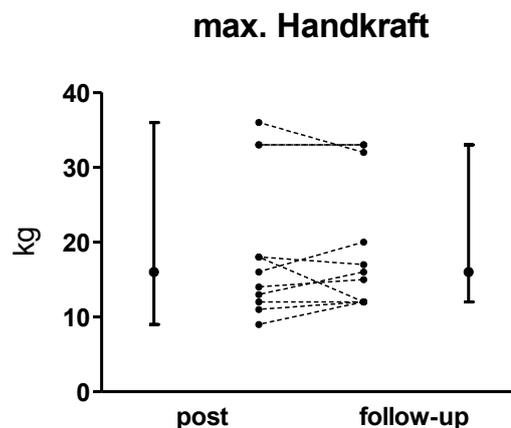


Abb. 45: Maximale Handkraft direkt nach ( $post$ ) sowie etwa 1 Jahr nach der Trainingsintervention ( $follow-up$ ) für alle  $TX_{Wii}$  separat sowie im Mittel (Median) mit den jeweiligen Minima und Maxima (Whiskers)

### 3.3.3 Koordination

Für die koordinativen Fähigkeiten war in Bezug auf den *Gesamt-MQ* ein Jahr nach Abschluss der Trainingsintervention (*follow-up*) im Vergleich zur Voruntersuchung direkt nach der Trainingsintervention (*post*) ein minimaler Anstieg von  $63,5 \pm 21,9$  auf  $67,0 \pm 16,7$  Punkte ( $P = 0,313$ ) zu verzeichnen. Die Veränderungen im Bereich der vier einzelnen motorischen Übungsaufgaben stellten sich diesbezüglich jedoch sehr verschieden dar (Tab. 66 & Abb. 46). Während hinsichtlich des *Monopedaalen Überhüpfens* leichte Reduktionen ( $60,2 \pm 26,5$  vs.  $56,6 \pm 22,0$ ;  $P = 0,245$ ) festgestellt werden konnten und im *Seitlichen Hin- und Herspringen* ( $87,3 \pm 23,0$  vs.  $94,3 \pm 20,3$ ;  $P = 0,203$ ) sowie im *Seitlichen Umsetzen* ( $69,3 \pm 15,7$  vs.  $76,4 \pm 15,6$ ;  $P = 0,031$ ) Steigerungen zu verzeichnen waren, blieb der MQ für das *Rückwärts Balancieren* ( $71,1 \pm 18,6$  vs.  $71,7 \pm 17,6$ ;  $P = 0,865$ ) auch ein Jahr nach Abschluss der Trainingsintervention unverändert (Tab. 66).

Tab. 66: MQ-Werte im KTK direkt nach und ca. 1 Jahr nach der Trainingsintervention; \*  $P < 0,05$

	N	post	follow-up	P
		MW $\pm$ SD	MW $\pm$ SD	
<b>Gesamt-MQ</b>		$63,5 \pm 21,9$	$67,0 \pm 16,7$	0,313
<b>MQ Rückwärts Balancieren</b>		$71,1 \pm 18,6$	$71,7 \pm 17,6$	0,865
<b>MQ Monopedaales Überhüpfen</b>	12	$60,2 \pm 26,5$	$56,6 \pm 22,0$	0,245
<b>MQ Seitliches Hin- und Herspringen</b>		$87,3 \pm 23,0$	$94,3 \pm 20,3$	0,203
<b>MQ Seitliches Umsetzen</b>		$69,3 \pm 15,7$	$76,4 \pm 15,6$	0,031*

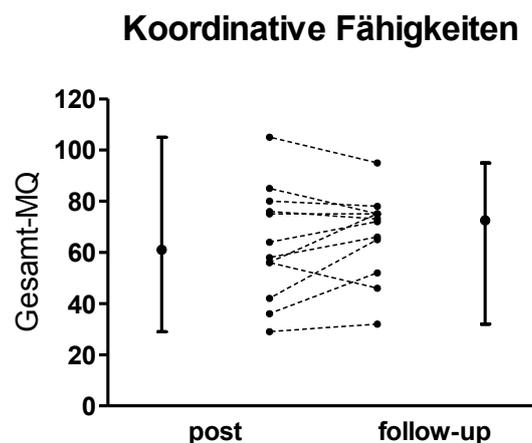


Abb. 46: Gesamt-MQ im KTK direkt nach (*post*) sowie etwa 1 Jahr nach der Trainingsintervention (*follow-up*) für alle  $TX_{Wii}$  separat sowie im Mittel (Median) mit den jeweiligen Minima und Maxima (Whiskers)

### 3.3.4 Gesundheitsbezogene Lebensqualität (PedsQL 4.0)

Die mit Hilfe des PedsQL 4.0 erfasste gesundheitsbezogene Lebensqualität der nieren-transplantierten Kinder und Jugendlichen blieb in Bezug auf den *Gesamt-Score* sowohl im Rahmen der Selbst- als auch der Fremdeinschätzung ein Jahr nach Abschluss der Trainingsintervention unverändert (Abb. 47 & Tab. 67).

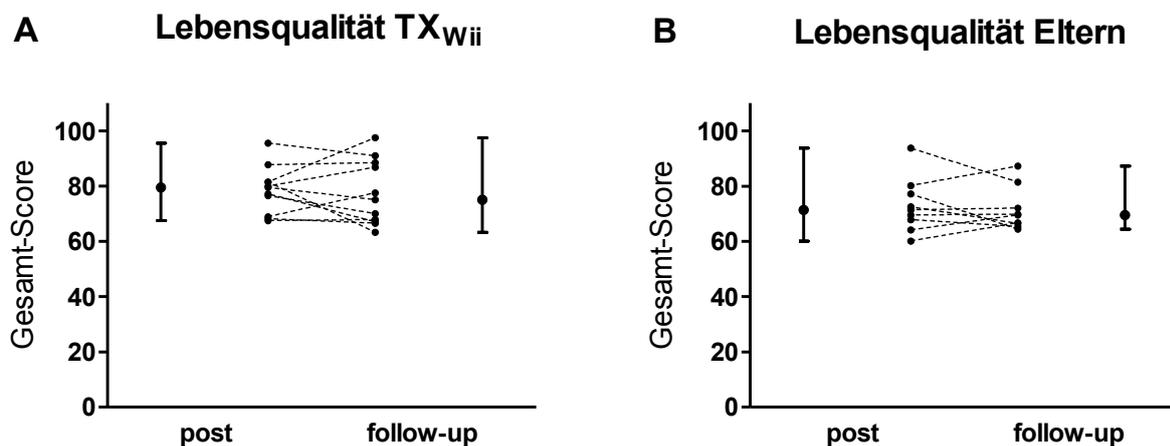


Abb. 47: Gesamt-Score im PedsQL 4.0 direkt nach (*post*) sowie etwa 1 Jahr nach der Trainingsintervention (*follow-up*) für alle TX<sub>Wii</sub> separat sowie im Mittel (Median) mit den jeweiligen Minima und Maxima (Whiskers); (A) Selbsteinschätzung TX<sub>Wii</sub> & (B) Fremdeinschätzung durch die Eltern

Tab. 67: Gesundheitsbezogene Lebensqualität direkt nach und ca. 1 Jahr nach der Trainingsintervention

	N	post	follow-up	P
		MW ± SD	MW ± SD	
<b>Selbsteinschätzung TX<sub>Wii</sub>:</b>				
<b>Gesamt-Score</b>		78,5 ± 8,5	77,3 ± 11,7	0,685
<b>Physische Funktionsfähigkeit</b>		79,6 ± 15,0	79,8 ± 12,2	0,943
<b>Emotionale Funktionsfähigkeit</b>	11	80,9 ± 10,9	74,1 ± 19,2	0,105
<b>Soziale Funktionsfähigkeit</b>		84,6 ± 16,8	81,4 ± 19,8	0,952
<b>Schulische Funktionsfähigkeit</b>		69,1 ± 17,9	74,1 ± 11,1	0,268
<b>Fremdeinschätzung Eltern:</b>				
<b>Gesamt-Score</b>		73,0 ± 9,9	71,4 ± 7,8	0,767
<b>Physische Funktionsfähigkeit</b>		77,4 ± 11,7	76,4 ± 14,7	0,735
<b>Emotionale Funktionsfähigkeit</b>	9	72,2 ± 8,0	74,7 ± 16,8	0,616
<b>Soziale Funktionsfähigkeit</b>		72,2 ± 22,0	69,4 ± 16,7	0,525
<b>Schulische Funktionsfähigkeit</b>		70,0 ± 13,9	65,1 ± 11,8	0,278

Bei Betrachtung der Einzel-Items fällt allerdings auf, dass die *Emotionale Funktionsfähigkeit* zur Follow-up-Untersuchung von den nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen mit  $74,1 \pm 19,2$  ( $P = 0,105$ ) Punkten tendenziell geringer eingeschätzt wurde, als noch direkt nach der Intervention ( $80,9 \pm 10,9$ ). Aus Sicht der Eltern wurde die *Emotionale Funktionsfähigkeit* zu beiden Messzeitpunkten vergleichbar beurteilt ( $72,2 \pm 8,0$  vs.  $74,7 \pm 11,1$ ;  $P = 0,616$ ). Die *Physische* und *Soziale Funktionsfähigkeit* blieben sowohl aus Sicht der Kinder und Jugendlichen als auch aus Sicht der Eltern weitgehend unverändert. In Bezug auf die *Schulische Funktionsfähigkeit* berichteten die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen eine minimale Steigerung von etwa 5 Punkten, während aus Sicht der Eltern eine entgegen gerichtete Entwicklung beobachtet werden konnte (Tab. 67).

### 3.3.5 Körperliche Aktivität im Alltag (SenseWear®-Messung)

Die über das SenseWear®-Armband gemessene Schrittzahl der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen reduzierte sich im Mittel geringfügig von  $602 \pm 236$  Schritten pro Stunde direkt nach der Trainingsintervention auf  $543 \pm 161$  Schritte pro Stunde etwa ein Jahr nach Intervention. Diese Veränderung war jedoch nicht signifikant ( $P = 0,160$ ; Abb. 48).

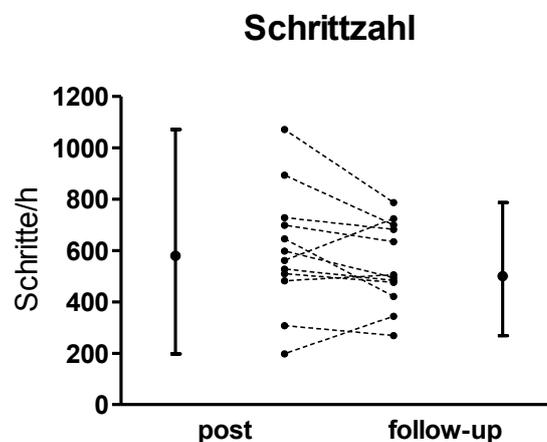


Abb. 48: Schrittzahl pro Stunde direkt nach (*post*) sowie etwa 1 Jahr nach der Trainingsintervention (*follow-up*) für alle TX<sub>Wii</sub> separat sowie im Mittel (Median) mit den jeweiligen Minima und Maxima (Whiskers); N = 12

Auf Grundlage der in Abschnitt 3.2 und Abschnitt 3.3 dargestellten Ergebnisse, muss die Hypothese H6 hinsichtlich einer nachhaltigen Steigerung der körperlichen Leistungsfähigkeit der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen durch den Einsatz

eines videospielbasierten Aktivitätsprogramms abgelehnt werden, da sich die körperliche Leistungsfähigkeit weder direkt nach der Trainingsintervention noch ein Jahr nach Abschluss dieser signifikant steigerte. Die alltägliche körperliche Aktivität (Schritte/h) hingegen steigerte sich direkt nach der Trainingsintervention signifikant und stellte sich auch ein Jahr später relativ unverändert dar, sodass die Hypothese H6, im Sinne einer nachhaltigen Steigerung der alltäglichen körperlichen Aktivität der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen, angenommen werden kann.

## 4 Diskussion

### 4.1 Vergleich nierentransplantierte Kinder und Jugendlicher mit gesunden Kontrollpersonen

#### 4.1.1 Leistungsfähigkeit

##### 4.1.1.1 Maximale Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2peak}$ )

Mit Hilfe der spiroergometrischen Untersuchungen sollte im Rahmen der vorliegenden Studie die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit nierentransplantierte sowie gesunder Kinder und Jugendlicher objektiviert werden. Dabei galt die auf das Körpergewicht bezogene maximale Sauerstoffaufnahme  $\dot{V}O_{2peak}/kg$  als Hauptzielparameter, da diese eine zentrale Kenngröße in der Beurteilung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit darstellt. Anhand der ermittelten Maximalwerte für die Sauerstoffaufnahme konnten signifikante Einschränkungen ( $P < 0,05$ ) bei den nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe festgestellt werden ( $\dot{V}O_{2peak}$ : -25%;  $\dot{V}O_{2peak}/kg$ : -31%) (Abb. 10 & Tab. 9). Die gemessenen Werte für die maximale Sauerstoffaufnahme sind demnach vergleichbar zu früheren Untersuchungen an nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen, bei denen ebenfalls Fahrrad- bzw. Laufband-Spiroergometrien zur Anwendung kamen (Clark *et al.*, 2012; Krull *et al.*, 1994; Painter *et al.*, 2007; Sethna *et al.*, 2009; Tangeraas *et al.*, 2010; Weaver *et al.*, 2008). Während Sethna *et al.* (2009) sowie Weaver *et al.* (2008) eine zu den nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen vergleichbare Kontrollgruppe untersuchten, bezogen die übrigen Autoren ihre Messwerte auf zum Teil stark veraltete Referenzwerte bzw. Populationen aus anderen Studien. Alle Autoren berichteten jedoch übereinstimmend eine reduzierte kardiopulmonale Leistungsfähigkeit bei Kindern und Jugendlichen nach Nierentransplantation im Vergleich zu gesunden Gleichaltrigen. Im Unterschied zu den früheren Untersuchungen, wurde in der vorliegenden Studie die maximale Sauerstoffaufnahme nierentransplantierte Kinder und Jugendlicher erstmals mit der maximalen Sauerstoffaufnahme gesunder Gleichaltriger verglichen, die neben des Geschlechts anhand des Pubertätsstatus, dem Umfang regelmäßiger körperlicher Aktivität sowie der besuchten Schulform zu den Nierentransplantierten gematcht wurden. Die deutliche und signifikante Reduktion der  $\dot{V}O_{2peak}$  sowie der  $\dot{V}O_{2peak}/kg$  der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen ist somit mit großer Wahrscheinlichkeit Folge der Erkrankung und nicht

auf zufällige Unterschiede in anderen determinierenden Faktoren zurückzuführen. Sethna et al. (2009) ermittelten mittels Fahrrad-Spiroergometrie (Rampen-Test) für 50 nierentransplantierte Kinder und Jugendliche (Alter:  $14,5 \pm 3,0$  Jahre) eine, im Vergleich zur vorliegenden Studie, vergleichbare körperrgewichtbezogene  $\dot{V}O_{2peak}$  von  $29,6 \pm 7,7$  ml/min/kg (vs.  $28,6 \pm 7,8$  ml/min/kg). Bei einem deutlich geringeren Körpergewicht der gesunden Kontrollpersonen in der vorliegenden Studie war die  $\dot{V}O_{2peak}/kg$  mit  $41,7 \pm 8,5$  ml/min/kg etwa 10 ml/min/kg höher als bei der von Sethna et al. (2009) untersuchten Kontrollgruppe ( $31,5 \pm 7,8$  ml/min/kg).

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung konnte gezeigt werden, dass sich die  $\dot{V}O_{2peak}/kg$  mit zunehmender pubertärer Entwicklung sowohl bei den nierentransplantierten als auch den gesunden Kindern und Jugendlichen reduziert (Tab. 11). Während bis zu einem Alter von etwa 13 Jahren in der Regel nur geringe Unterschiede zwischen der Leistungsfähigkeit von Jungen und Mädchen bestehen, weisen insbesondere pubertäre und postpubertäre Mädchen aufgrund des im Rahmen der körperlichen Entwicklung zunehmenden Körperfettanteils im Vergleich zu Jungen eine schlechtere körperrgewichtbezogene kardiopulmonale Leistungsfähigkeit auf (Cooper *et al.*, 1984; Klemm, 1988).

In sportmedizinischen Untersuchungen ist es üblich, die maximale Sauerstoffaufnahme auf das Körpergewicht der untersuchten Personen zu relativieren, um dadurch eine bessere inter-individuelle Vergleichbarkeit der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit zu gewährleisten. Bereits 1972 beschrieben Davies et al. auch bei Kindern und Jugendlichen einen engen Zusammenhang zwischen der maximalen Sauerstoffaufnahme und den Körpermaßen Gewicht, Größe sowie fettfreier Masse. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung konnten ebenfalls positive Zusammenhänge ( $P < 0,001$ ) zwischen dem Körpergewicht sowie der Körpergröße und der absoluten  $\dot{V}O_{2peak}$  nachgewiesen werden (Abb. 12). Da nierentransplantierte Kinder und Jugendliche im Vergleich zu gesunden Gleichaltrigen häufiger eine reduzierte Körpergröße aufweisen (Harambat und Cochat, 2009; Jalanko *et al.*, 2016), wäre bei diesen eine Relativierung der ermittelten  $\dot{V}O_{2peak}$  auf die Körpergröße ebenfalls denkbar gewesen. In Ermangelung diesbezüglicher Vergleichs-/Referenzwerte sowie aufgrund des vermeintlich stärkeren Einflusses des Körpergewichts (inkl. der Muskelmasse) wurde im Rahmen der vorliegenden Studie, trotz der reduzierten geschlechts- und altersabhängigen Körpergröße (Z-Score) der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen, auf eine entsprechende Berechnung verzichtet.

Offenbar hatte die medikamentöse Therapie mit Beta-Blockern, Epoetin sowie Somatropin keine Effekte auf die  $\dot{V}O_{2peak}/kg$  der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen (Tab. 15). Krull et al. (1994) hingegen beobachteten eine um 3,6 ml/min/kg signifikant ( $P < 0,05$ ) reduzierte  $\dot{V}O_{2peak}/kg$  für die mit Beta-Blocker behandelten nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen. Mit der Einnahme von Beta-Blockern wird nachweislich auch die Herzfrequenz in Ruhe sowie unter Belastung reduziert (Lopez-Sendon et al., 2004). Vergleichbar zu den Untersuchungen von Krull et al. (1994) konnte dies auch in der vorliegenden Studie bestätigt werden, denn die  $HF_{peak}$  bei den nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen ohne Beta-Blocker lag im Mittel acht Schläge pro Minute höher als bei der Gesamtstichprobe (Tab. 15).

Der Einfluss regelmäßiger körperlicher Aktivität auf die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit konnte sowohl für die nierentransplantierten als auch die gesunden Kinder und Jugendlichen zumindest tendenziell gezeigt werden, wobei eine vermehrte und regelmäßige körperliche Betätigung von mindestens 2 bis 3 Einheiten pro Woche mit einer verbesserten kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit einherging (Tab. 12 & Abb. 11). Vergleichbar zu den Untersuchungen von Lubrano et al. (2012), in denen gezeigt werden konnte, dass nierentransplantierte Jugendliche (Alter:  $16,55 \pm 2,25$  Jahre), die mehr als 3 Stunden pro Woche sportlich aktiv waren, sich hinsichtlich ihrer kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit ( $\dot{V}O_{2peak}/kg$ ) nicht von gesunden inaktiven Jugendlichen (Alter:  $15,0 \pm 2,8$  Jahre) unterscheiden, erreichten die moderat körperlich aktiven nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen der vorliegenden Studie nahezu die Werte der inaktiven und gering aktiven gesunden Kinder und Jugendlichen. Inwieweit der von Lubrano et al. (2012) als auch in der vorliegenden Studie beschriebene Einfluss der regelmäßigen körperlichen Aktivität auf die maximale kardiopulmonale Leistungsfähigkeit nierentransplantierten Kinder und Jugendlicher generalisierbar ist, müssten jedoch zukünftige Untersuchungen mit größeren Patientenkollektiven zeigen.

Zwischen den unterschiedlichen Schulformen, die die nierentransplantierten und gesunden Kinder und Jugendlichen besuchten, sowie der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit konnte kein eindeutiger Zusammenhang festgestellt werden (Tab. 13 & Tab. 14). Es fiel lediglich auf, dass die Grundschüler/-innen beider Gruppen sowie die Realschüler/-innen der Kontrollgruppe die jeweils höchste  $\dot{V}O_{2peak}/kg$  erreichten. Da der Einfluss der besuchten Schulform auf die  $\dot{V}O_{2peak}/kg$  von nierentransplantierten oder gesunden Kindern und Jugendlichen bisher nicht untersucht wurde, ist eine weiterführende Einordnung der Ergebnisse an dieser Stelle nicht möglich.

#### 4.1.1.2 Weitere Kenngrößen der Leistungsfähigkeit und ventilatorische Schwellen

Die maximale Leistungsfähigkeit der untersuchten nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen wies im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe signifikante ( $P < 0,05$ ) Einschränkungen auf (Watt: -31%; Watt/kg: -37%) (Tab. 16 & Abb. 13).

Lediglich Krull et al. (1994) veröffentlichten ebenfalls Daten zur maximalen Leistungsfähigkeit in Watt/kg bei nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen. Bei vergleichbarem rampenförmigem Belastungs-Protokoll erreichten die Mädchen ( $N = 33$ ) damals  $2,0 \pm 0,48$  Watt/kg, während die Jungen ( $N = 37$ ) im Mittel  $2,38 \pm 0,54$  Watt/kg leisteten (Krull et al., 1994). Im Unterschied zur vorliegenden Studie entsprach dies einer besseren Leistung von rund 0,4 Watt/kg für die etwa 4 Jahre älteren, jedoch auch 4 kg leichteren Jugendlichen von Krull et al. (1994).

Mit zunehmender pubertärer Entwicklung verringerte sich sowohl bei den nierentransplantierten als auch den gesunden Kindern und Jugendlichen die relative maximale Leistungsfähigkeit in Watt/kg (Tab. 18). Dies ist am ehestens durch die körperliche Entwicklung während der Pubertät, die mit einer Veränderung der Körperzusammensetzung einhergeht, begründbar (Cooper et al., 1984; Klemm, 1988).

Vergleichbar zu den Daten der maximalen Sauerstoffaufnahme, konnte sowohl für die nierentransplantierten als auch die gesunden Kinder und Jugendlichen eine höhere maximale Leistung pro Kilogramm Körpergewicht festgestellt werden, umso höher der Umfang regelmäßiger körperlicher Aktivität der Kinder und Jugendlichen war (Tab. 19 & Abb. 14). Ähnliches berichteten Lubrano et al. (2012), die zwar nicht die maximale Leistungsfähigkeit in Watt/kg untersuchten, jedoch für nierentransplantierte Kinder und Jugendliche von einer längeren Belastungsdauer während einer Laufbandergometrie berichteten, je häufiger diese regelmäßig körperlich aktiv waren.

Neben der maximalen Sauerstoffaufnahme als bestes Maß für die maximale kardiopulmonale Leistungsfähigkeit spielt in klinischen Settings im Rahmen von Prävention und Rehabilitation auch die submaximale Leistungsfähigkeit eine wichtige Rolle. Diese kann durch die Bestimmung der ventilatorischen Schwellen erfasst werden. Hierfür ist, im Gegensatz zur Messung der  $\dot{V}O_{2peak}$ , keine Ausbelastung erforderlich ist und sie ist somit weitgehend unabhängig von der Motivation und Mitarbeit der Patienten/-innen (Friedmann-Bette, 2011; Meyer et al., 2005; Scharhag-Rosenberger, 2010).

Die  $\dot{V}O_2/kg$  an den ventilatorischen Schwellen VT1 ( $13,8 \pm 3,9$  ml/min/kg vs.  $21,4 \pm 5,2$  ml/min/kg) und VT2 ( $22,1 \pm 7,0$  ml/min/kg vs.  $32,6 \pm 6,9$  ml/min/kg) war für die nie-

rentransplantierten Kinder und Jugendlichen im Vergleich zu den untersuchten gesunden Gleichaltrigen signifikant ( $P < 0,001$ ) reduziert (Tab. 22). Für gesunde Kinder und Jugendliche werden als Referenzbereich für die  $\dot{V}O_2/kg$  an der VT1 Werte zwischen 25 und 40 ml/min/kg angegeben (Meyer *et al.*, 2005). Es fällt in diesem Zusammenhang jedoch auf, dass weder die untersuchten nierentransplantierten noch die gesunden Kinder und Jugendlichen der vorliegenden Studie diese Werte erreichten. Für chronisch kranke Patienten werden generell deutlich niedrigere  $\dot{V}O_2$ -Werte an der VT1 berichtet, die in erster Linie mit einer ebenfalls und z.T. erheblich reduzierten  $\dot{V}O_{2peak}$  einhergehen. Allerdings scheint die  $\dot{V}O_2$  in Prozent der  $\dot{V}O_{2peak}$  insbesondere bei chronisch Kranken starken Schwankungen zu unterliegen und wird maßgeblich vom Trainings- und Gesundheitszustand sowie dem Alter der Patienten beeinflusst (Meyer *et al.*, 2005). Weiter berichten Meyer *et al.* (2005), dass beispielsweise bei älteren und chronisch herzinsuffizienten Patienten die  $\dot{V}O_2/kg$  an der VT1 mit zunehmender Schwere der Erkrankung (NYHA-Klassifizierung I-IV) abnimmt, während die  $\dot{V}O_2$  in Prozent der  $\dot{V}O_{2peak}$  auf bis zu 75% ansteigt. Bei einer Gruppe chronisch niereninsuffizienter Erwachsener (Koufaki *et al.*, 2002) konnte mit Hilfe eines Stufentests auf dem Fahrradergometer eine deutlich geringere, jedoch zu gesunden untrainierten Erwachsenen (Meyer *et al.*, 2005; Scharhag-Rosenberger, 2010) vergleichbare VT1 von 63 bis 66% der  $\dot{V}O_{2peak}$  bestimmt werden, wobei die  $\dot{V}O_2$  an der VT1 mit  $10,7 \pm 3,5$  bis  $12,9 \pm 3,2$  ml/min/kg stark reduziert war. Für die im Rahmen der vorliegenden Studie untersuchten nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen wurden, im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe, ebenfalls keine Unterschiede in Bezug auf die Schwellenwerte in Prozent der  $\dot{V}O_{2peak}$  beobachtet (VT1:  $P = 0,211$ ; VT2:  $P = 0,761$ ) (Tab. 22). Allerdings lagen hinsichtlich der VT1 auch die gesunden Kinder und Jugendlichen im Vergleich zu Referenzwerten von 60 bis 65% der  $\dot{V}O_{2peak}$  etwa 10% niedriger. Für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen ist, aufgrund fehlender Vergleichswerte, eine valide Einordnung der VT1 und VT2 in Prozent der  $\dot{V}O_{2peak}$  nicht möglich. Für beide Gruppen konnte jedoch zumindest tendenziell der Einfluss regelmäßiger körperlicher Aktivität auf die ventilatorischen Schwellen bestätigt werden (Meyer *et al.*, 2005; Scharhag-Rosenberger, 2010). So erreichten die körperlich aktiveren Kinder und Jugendlichen im Vergleich zu den Inaktiven höhere  $\dot{V}O_2/kg$  sowohl an der VT1 als auch an der VT2. Außerdem lag die VT2 der moderat aktiven nierentransplantierten und gesunden Kinder und Jugendlichen bei rund 82% der  $\dot{V}O_{2peak}$ , während für die weniger bzw. nicht regelmäßig aktiven Gleichaltrigen die VT2 bei durchschnittlich 75% der  $\dot{V}O_{2peak}$  identifiziert werden konnte (Tab. 25). Auch

wenn die Ermittlung von ventilatorischen Schwellen eine gewisse Sorgfalt und Erfahrung im Umgang mit spiroergometrisch erhobenen Daten voraussetzt, dienen die Schwellenwerte einer zuverlässigen Beurteilung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit chronisch kranker Patienten, bei denen in der Regel eine geringe Belastungsverträglichkeit vorliegt. Vor allem bei Untersuchungen an Kindern und Jugendlichen sollte diese Methode demnach häufiger angewendet werden.

#### 4.1.2 Maximale Handkraft

Die Messung der maximalen isometrischen Handkraft hat sich in den vergangenen Jahren als nützliche und einfach zu handhabende Methode etabliert, um einerseits die muskuloskelettale Entwicklung von Kindern und Jugendlichen und andererseits den allgemeinen Gesundheitszustand und die Muskelkraft gesunder sowie chronisch kranker Personen zu objektivieren (Bohannon, 2015).

Die im Rahmen der vorliegenden Studie mit Hilfe eines Handdynamometers ermittelte maximale Handkraft der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen war mit  $21,5 \pm 10,4$  kg im Vergleich zur Kontrollgruppe ( $26,0 \pm 12,3$  kg) leicht, jedoch nicht signifikant reduziert (Tab. 28 & Abb. 16). In Relation zu alters- und geschlechtsspezifischen Normwerten, die mit Hilfe der Eurofit Test-Batterie für insgesamt 24 europäische Länder ermittelt wurden (Tomkinson *et al.*, 2018) lagen die nierentransplantierten Jungen ( $22,7 \pm 11,1$  kg) und Mädchen ( $17,0 \pm 6,3$  kg) durchschnittlich im Bereich der 20. Perzentile. Im Gegensatz dazu erreichten die Jungen ( $27,5 \pm 13,3$  kg) und Mädchen ( $21,1 \pm 6,8$  kg) der gesunden Kontrollgruppe im Mittel die alters- und geschlechtsspezifische Referenz zwischen der 40. und 60. Perzentile (Tomkinson *et al.*, 2018). Nach den von Rauch *et al.* (2002) veröffentlichten alters- und geschlechtsspezifischen Referenzbereichen wiesen sowohl die nierentransplantierten als auch die gesunden Kinder und Jugendlichen normale Werte für die maximale Handkraft auf. Entgegen der vorliegenden Studie berichteten Rütth *et al.* (2004) von einer reduzierten maximalen Handkraft bei 55 nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen (Alter:  $15,8 \pm 4,1$  Jahre), wenn die Messwerte anhand des chronologischen Alters der Patienten ausgewertet wurden. Da deren Patientenkollektiv eine starke Retardierung in Bezug auf die Körpergröße aufwies (Z-Score:  $-1,87 \pm 1,14$ ), wurden die ermittelten Messwerte für die maximale Handkraft zusätzlich auf die Körpergröße relativiert. Danach konnte sowohl für die nierentransplantierten Jungen als auch für die Mädchen keine signifikante Reduktion der maximalen Handkraft mehr nachgewiesen werden, sodass geschlussfolgert werden könnte, dass

die 55 nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen gemäß ihrer körperlichen Entwicklung ein durchaus normales Kraftniveau aufwiesen (Rüth *et al.*, 2004).

Die körperliche Entwicklung von der Geburt bis ins Erwachsenenalter ist ein fortschreitender Prozess, der nicht nur durch kontinuierliches Körperlängenwachstum und Gewichtszunahme, sondern auch durch die Zunahme von Muskelmasse geprägt ist. Dabei entwickeln Jungen im Vergleich zu Mädchen ab Beginn der Pubertät deutlich mehr Muskelmasse, was unter anderem mit einem verhältnismäßig geringeren Körperfettgehalt einhergeht (Richter-Unruh *et al.*, 2018; Stronski, 2018). Vergleichbar zu einer früheren Studie (Neu *et al.*, 2002) konnte auch in der vorliegenden Untersuchung eine gesteigerte maximale Handkraft für die Jungen im Vergleich zu den Mädchen aufgezeigt werden (Tab. 28). Außerdem wurde sowohl für die nierentransplantierten als auch die gesunden Kinder und Jugendlichen eine Zunahme der maximalen Handkraft mit fortschreitender pubertärer Entwicklung beobachtet. Dabei verdoppelte sich in beiden Gruppen die maximale Handkraft von den präpubertären zu den pubertären Kindern und Jugendlichen und erhöhte sich nochmals um etwa 45% bzw. 30% zu den untersuchten postpubertären nierentransplantierten und gesunden Jugendlichen (Tab. 28).

In Anbetracht der vorliegenden Untersuchungsergebnisse, bestand eine deutliche Diskrepanz zwischen der signifikant reduzierten  $\dot{V}O_{2peak}/kg$ , als Maß für die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit, der ebenfalls signifikant eingeschränkten maximalen Leistungsfähigkeit (Watt/kg) sowie der fehlenden signifikanten Differenz in der maximalen Handkraft der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen im Vergleich zu den gesunden Gleichaltrigen. Aus diesem Grund, stellte die Messung der maximalen isometrischen Handkraft bei diesem Patientenkollektiv möglicherweise nicht die geeignetste Methode dar, um den tatsächlichen Gesundheitszustand sowie die Muskelkraft dieser jungen Patienten/-innen abzubilden.

#### 4.1.3 Koordination

Da es sich bei der Koordination um eine Klasse motorischer Fähigkeiten handelt, die in ihrem Zusammenwirken an der Realisierung motorischer Bewegungsaufgaben beteiligt sind (Schnabel *et al.*, 2008, S. 136-137), sollten diese im Rahmen der vorliegenden Studie mit Hilfe des vierteiligen *Körperkoordinationstests für Kinder (KTK)* objektiviert werden (Kiphard und Schilling, 2007). Dabei zeigte sich für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen ein signifikant ( $P < 0,001$ ) reduziertes Niveau koordinativer Fähigkeiten ( $Gesamt-MQ = 59,7 \pm 17,5$ ) im Vergleich zur gesunden Kontrollgruppe

(Gesamt-MQ =  $105,8 \pm 14,9$ ) (Tab. 29 & Abb. 17). Während die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen anhand der von Kiphard und Schilling (2007) beschriebenen fünf Referenzwertgruppen lediglich MQ-Werte im untersten „gestörten“ Bereich (MQ = 56 – 70) erzielten, wurden für die gesunden Kinder und Jugendlichen MQ-Werte im mittleren bzw. „normalen“ Bereich (MQ = 86 – 115) beobachtet.

Nach derzeitigem Kenntnisstand handelt es sich bei der vorliegenden Studie um die erste Untersuchung, die das Niveau koordinativer Fähigkeiten von nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen erfasst und mit einer gesunden Kontrollgruppe verglichen hat, was eine zuverlässige Einordnung der für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen gemessenen Körperkoordination erschwert.

Koordinative Fähigkeiten tragen als wesentlicher Bestandteil der motorischen Basisfähigkeiten zur Ausbildung und Verfeinerung spezifischer motorischer Fertigkeiten bei. Dabei werden die Grundlagen für das Erlernen von grob- aber auch feinmotorischen Bewegungshandlungen bereits im frühen Kindesalter gelegt (Stodden *et al.*, 2008). Ist die Phase der frühkindlichen motorischen Entwicklung durch chronische Erkrankungen und dauerhafte Inaktivität geprägt, sind erhebliche Einschränkungen in der Ausbildung und Vervollkommnung der motorischen Basisfähigkeiten zu erwarten. In der vorliegenden Studie erfolgten die Manifestation einer chronischen Niereninsuffizienz sowie die Nierentransplantation bei einem Großteil der untersuchten Kinder und Jugendlichen bereits im frühen Kindesalter. Zu Studieneinschluss lag die Nierentransplantation des beschriebenen Patientenkollektivs im Mittel 4,5 Jahre zurück, wobei die Spannweite von 8 Monaten bis hin zu 15 Jahren reichte (Tab. 7). Die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen sowie deren Eltern berichteten diesbezüglich von häufigen und zum Teil längeren Krankenhausaufenthalten, Dialysebehandlungen und transplantationsbedingten Schonzeiten, die eine regelmäßige körperliche Aktivität erschwerten oder gar verhinderten. Dies könnte ein wesentlicher Grund für das erheblich reduzierte Niveau koordinativer Fähigkeiten sein, welches bei den untersuchten nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen z.T. unterhalb des messbaren Referenzbereiches lag. Mögliche Zusammenhänge zwischen dem Ausprägungsgrad der koordinativen Fähigkeiten und dem Alter zu Beginn der Dialyse bzw. zum Zeitpunkt der Transplantation sowie der vergangenen Zeit nach Transplantation sind denkbar und wurden deshalb anhand der vorliegenden Daten überprüft. Aus statistischer Sicht konnten für das untersuchte Patientenkollektiv jedoch keine Zusammenhänge nachgewiesen werden (vgl. Abschnitt 3.1.4).

Sowohl in der vorliegenden Studie als auch im Rahmen früherer Untersuchungen an 6- bis 10-jährigen (D'Hondt *et al.*, 2013) bzw. 7-jährigen (Graf *et al.*, 2004) gesunden Kindern konnte gezeigt werden, dass regelmäßige körperliche Aktivität das Niveau koordinativer Fähigkeiten positiv beeinflusst. In Bezug auf den *Gesamt-MQ* erreichten die moderat, d.h. mindestens zwei Mal wöchentlich aktiven nierentransplantierten und gesunden Kinder und Jugendlichen die höchsten Werte. Allerdings konnte der positive Einfluss der körperlichen Aktivität bei den nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen hinsichtlich des *Seitlichen Hin- und Herspringens* sowie bei den gesunden Gleichaltrigen hinsichtlich des *Rückwärts Balancierens* und des *Seitlichen Umsetzens* nicht bestätigt werden (Tab. 32 & Abb. 18).

Zumeist ist körperliche Inaktivität auch mit einem erhöhten BMI bzw. Übergewicht oder Adipositas assoziiert. Dass diesbezüglich ebenfalls ein Zusammenhang mit dem Ausprägungsgrad der Körperkoordination besteht, konnte mit Hilfe der vorliegenden Studie zumindest für die gesunden, jedoch nicht für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen bestätigt werden (vgl. Abschnitt 3.1.4). Zu vergleichbaren Ergebnissen kamen auch D'Hondt *et al.* (2013) sowie Graf *et al.* (2004), die Übergewicht und einen erhöhten BMI als negative Prädiktoren für die Körperkoordination gesunder Kinder identifizierten.

Sowohl die nierentransplantierten als auch die gesunden Jungen erreichten in Bezug auf den *Gesamt-MQ* höhere Werte als die Mädchen, allerdings bestand im *Rückwärts Balancieren* für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen kein geschlechtsspezifischer Unterschied, während in der Kontrollgruppe die Mädchen etwas höhere Werte erreichten (Tab. 30). In einer Studie von Freitas *et al.* (2016) konnten für 11- bis 14-jährige gesunde Kinder und Jugendliche keine Geschlechterunterschiede in Bezug auf das *Rückwärts Balancieren* gezeigt werden, allerdings beschrieben die Autoren lediglich die mittleren Summenwerte der absolvierten Schritte und verwendeten nicht die von Kiphard und Schilling (2007) zur Verfügung gestellten alters- und geschlechtsspezifischen Referenzwerte zur Ermittlung des MQ. Die Autoren beschrieben außerdem sowohl für die 11- bis 14-jährigen (Freitas *et al.*, 2016) als auch für 7- bis 10-jährige gesunde Kinder aus einer weiteren Untersuchung (Freitas *et al.*, 2015) eine Verbesserung der Körperkoordination mit zunehmendem Alter. Eine altersentsprechend zu erwartende Verbesserung in den einzelnen Testaufgaben wurde bereits durch die von Kiphard und Schilling (2007) erstellten alters- und geschlechtsspezifischen Referenzwerte berücksichtigt. Bei einer altersgemäßen Entwicklung der Körperkoordination wäre demnach zu

erwarten, dass die Kinder und Jugendlichen unterschiedlichen Alters vergleichbare MQ-Werte erreichen, da bspw. ein 14-jähriger Junge im Vergleich zu einem 10-jährigen Jungen einen höheren Summenwert in einer Testaufgabe erzielen muss, um den gleichen MQ-Wert zu erhalten. In der vorliegenden Untersuchung konnten anhand der ermittelten MQ-Werte für die gesunde Kontrollgruppe, in Abhängigkeit von der pubertären Entwicklung, keine Unterschiede in Bezug auf den *Gesamt-MQ* beobachtet werden. Unter den nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen schnitten jedoch die postpubertären Jugendlichen im Vergleich zu den präpubertären und pubertären Kindern und Jugendlichen deutlich schlechter ab, was sich neben dem *Gesamt-MQ* insbesondere für das *Monopedale Überhüpfen* zeigte (Tab. 31). Eine Verbesserung der koordinativen Fähigkeiten mit zunehmendem Alter, die über die zu erwartende entwicklungsbedingte Steigerung der Motorik hinaus geht, konnte anhand der vorliegenden Untersuchung weder für die nierentransplantierten noch für die gesunden Kinder und Jugendlichen festgestellt werden.

Unter Berücksichtigung der besuchten Schulform fiel auf, dass die nierentransplantierten und gesunden Kinder und Jugendlichen, die eine Sonderschule besuchten, die größten Defizite in der Körperkoordination aufwiesen (Tab. 33 & Tab. 34). Die nierentransplantierten Sonderschüler/-innen unterschritten mit  $39,0 \pm 12,4$  Punkten den niedrigsten Referenzbereich im KTK (MQ = 56 – 70) deutlich, während die gesunden Sonderschüler/-innen immerhin einen MQ von  $80,7 \pm 6,7$  Punkten erreichten und damit nur 6 Punkte unterhalb des „normalen“ Bereichs lagen. Bisher wurde der Einfluss der besuchten Schulform auf die koordinativen Fähigkeiten nierentransplanteder Kinder und Jugendlicher nicht untersucht. Wie die im Rahmen der vorliegenden Studie festgestellten erheblichen Beeinträchtigungen der koordinativen Fähigkeiten nierentransplanteder Sonderschüler/-innen jedoch zeigen, sollte der besuchten Schulform auch bei Untersuchungen kleinerer Patientenkollektive verstärkt Beachtung geschenkt werden.

Anhand der vorliegenden Daten sowie der Kenntnis, dass die motorischen Basisfähigkeiten als Grundlagen für die weitere (sport-) motorische Entwicklung bereits im frühen Kindesalter ausgebildet werden, sollten Kindern so früh wie möglich verschiedenste Optionen zur körperlichen Betätigung angeboten werden. Wenn Kinder motorische Basisfähigkeiten wie Laufen, Springen, Werfen oder Fangen nicht oder nur unzureichend erlernen, stehen ihnen mit zunehmender Entwicklung deutlich weniger Möglichkeiten zur Verfügung, sportlichen Tätigkeiten nachzugehen. Außerdem haben es diese Kinder schwerer (sportart-) spezifische Fertigkeiten zu erlernen (Stodden *et al.*, 2008). Des

Weiteren scheint das Ausprägungsniveau motorischer Basisfähigkeiten im Kindesalter einen entscheidenden Einfluss auf die körperliche Fitness im späteren Jugend- sowie jungen Erwachsenenalter zu haben (Barnett *et al.*, 2008; Haga, 2008; Utesch *et al.*, 2019). Ein Zusammenhang zwischen den koordinativen Fähigkeiten (*Gesamt-MQ*) und der körperliche Fitness ( $\dot{V}O_{2peak}/kg$  und maximale Leistung/kg) konnte auch in der vorliegenden Untersuchung für die gesunde Kontrollgruppe, jedoch nicht für die nieren-transplantierten Kinder und Jugendlichen bestätigt werden (Abb. 19).

#### 4.1.4 Gesundheitsbezogene Lebensqualität

Die gesundheitsbezogene Lebensqualität hat in der Therapie und Nachsorge chronisch nierenkranker Menschen einen wichtigen Stellenwert. Insbesondere chronisch niereninsuffizienten Kindern und Jugendlichen, die im optimalen Fall noch viele Lebensjahre vor sich haben, soll mit Hilfe einer frühzeitigen Nierentransplantation zu einem möglichst uneingeschränkten Leben mit hoher Lebensqualität verholfen werden.

Um die gesundheitsbezogene Lebensqualität zu erfassen, stehen in Abhängigkeit von dem zu untersuchenden Kollektiv verschiedene Erhebungsmethoden zur Verfügung. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde der validierte Fragebogen PedsQL 4.0™ verwendet, welcher in altersentsprechenden Versionen speziell für die Befragung von chronisch kranken, aber auch gesunden Kindern und Jugendlichen („CHILD Report“) sowie deren Eltern („PARENT Report“) zur Verfügung steht (Varni, 2017; Varni *et al.*, 2001).

Bisherige Untersuchungen berichten eine insgesamt relativ zufriedenstellende gesundheitsbezogene Lebensqualität bei nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen (Jalanko *et al.*, 2016), wobei im Vergleich zu gesunden Gleichaltrigen die Lebensqualität dieser jungen Patienten dennoch erniedrigt ist (Akber *et al.*, 2012; Anthony *et al.*, 2010; Diseth *et al.*, 2011; Hamiwka *et al.*, 2009; McKenna *et al.*, 2006). Zu vergleichbaren Ergebnissen kam auch die vorliegende Untersuchung nierentransplantierte sowie gesunder Kinder und Jugendlicher. Der mittels PedsQL 4.0™ ermittelte *Gesamt-Score* für die gesundheitsbezogene Lebensqualität lag bei den nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen mit  $75,0 \pm 14,9$  Punkten signifikant ( $P = 0,017$ ) niedriger als bei der gesunden Kontrollgruppe ( $85,2 \pm 7,6$  Punkte) (Tab. 35 & Abb. 20). Vergleichbar zu den Messungen von Anthony *et al.* (2010) zeigten sich Einschränkungen der Lebensqualität insbesondere im Bereich der *Physischen, Sozialen* und *Schulischen Funktionsfähigkeit*, während in der *Emotionalen Funktionsfähigkeit* keine Differenzen zwischen den nieren-

transplantierten und gesunden Kindern und Jugendlichen beobachtet werden konnten. In Abhängigkeit vom Alter bzw. von der pubertären Entwicklung konnten Anthony et al. (2012) bezüglich des *Gesamt-Scores* im PedsQL 4.0™ keine Unterschiede zwischen 8- bis 12-jährigen Kindern und 13- bis 18-jährigen Jugendlichen feststellen, wobei jedoch die Kinder eine deutlich geringere *Emotionale Funktionsfähigkeit* und die Jugendlichen stärkere Einschränkungen in der *Schulischen Funktionsfähigkeit* aufwiesen. Auch in der vorliegenden Studie konnten differenziert nach dem Pubertätsstatus diese Tendenzen bestätigt werden. Im Gegensatz zu Anthony et al. (2012) berichteten jedoch die postpubertären nierentransplantierten Jugendlichen der vorliegenden Untersuchung zusätzlich eine deutlich bessere *Physische Funktionsfähigkeit* im Vergleich zu denjenigen, die als präpubertär und pubertär eingeschätzt wurden (Tab. 37).

Keine Unterschiede in der gesundheitsbezogenen Lebensqualität nierentransplantierte(r) Jugendlicher zu einer gesunden Referenzgruppe berichteten Dobbels et al. (2010) im Rahmen einer Pilotstudie. Im Gegensatz zu den zuvor genannten Untersuchungen sowie zur vorliegenden Studie verwendeten Dobbels et al. (2010) zur Erfassung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität jedoch nicht den PedsQL 4.0™ sondern den Fragebogen KIDSCREEN-27, welcher ebenfalls für die Verwendung bei chronisch kranken sowie gesunden Kindern und Jugendlichen entwickelt wurde und zusätzlich in einer Version für die Eltern zur Verfügung steht (Ravens-Sieberer et al., 2007).

Generell sollte neben der persönlichen Einschätzung der Lebensqualität durch die Patienten/-innen immer auch der Bewertung aus Sicht der Eltern bzw. Betreuungspersonen besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden, da diese zusätzlichen Informationen zum Gesundheitsstatus sowie zur gesundheitsbezogenen Lebensqualität der Patienten/-innen sehr wertvoll für eine bestmögliche und individualisierte Behandlung sein können (Eiser und Varni, 2013). Beim Vergleich der persönlichen Einschätzung der Lebensqualität durch die Patienten/-innen und der Einschätzung durch die Eltern konnten bereits frühere Untersuchungen zeigen, dass insbesondere bei chronisch kranken Kindern und Jugendlichen gegenüber gesunden Gleichaltrigen häufig eine bessere Übereinstimmung der Bewertung der Lebensqualität vorliegt (Diseth et al., 2011; Dobbels et al., 2010; Eiser und Morse, 2001; Hamiwka et al., 2009). Die Eltern der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen in der vorliegenden Studie schätzten die Lebensqualität ihrer Kinder jedoch tendenziell etwas niedriger ein (Tab. 35), was sich wiederum mit den Aussagen weiterer Autoren deckt, die bei knochenmarktransplantierten (Parsons et al., 1999) sowie nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen (Anthony et al., 2010;

McKenna *et al.*, 2006) ebenfalls eine Unterschätzung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität aus Sicht der befragten Eltern berichteten. Für die gesunde Kontrollgruppe konnten im Rahmen der vorliegenden Studie keine Differenzen zwischen der Fremdeinschätzung durch die Eltern sowie der Selbsteinschätzung durch die Kinder und Jugendlichen festgestellt werden, wobei diesbezüglich eher eine Überschätzung der Lebensqualität aus Sicht der Eltern zu erwarten gewesen wäre (Cremeens *et al.*, 2006). In Bezug auf solche Fremdeinschätzungen der gesundheitsbezogenen Lebensqualität scheint auch die persönliche Lebensqualität und psychische Gesundheit der Eltern einen entscheidenden Einfluss zu haben (Eiser *et al.*, 2005; Eiser und Varni, 2013). So konnten Eiser *et al.* (2005) beispielsweise zeigen, dass Mütter krebskranker Kinder, die selbst über eine eingeschränkte gesundheitsbezogene Lebensqualität berichteten, auch die Lebensqualität ihrer Kinder schlechter einschätzten. Zusätzlich scheinen auch die Einbindung der Eltern in die Behandlung ihrer Kinder, der soziale Status sowie der ethnische Hintergrund die Fremdbewertung der Lebensqualität entscheidend zu beeinflussen (Eiser und Varni, 2013).

Regelmäßige körperliche Aktivität und die damit verbundene körperliche Leistungsfähigkeit, aber auch ein sitzender Lebensstil gelten ebenfalls als bedeutende Einflussfaktoren auf die Bewertung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität von nierentransplantierten (Akber *et al.*, 2012; Diseth *et al.*, 2011; Hamiwka *et al.*, 2009; Thorsteinsdottir *et al.*, 2018) als auch von gesunden Kindern und Jugendlichen (Wu *et al.*, 2017). In der vorliegenden Untersuchung berichteten die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen, die mindestens einmal pro Woche sportlichen Tätigkeiten nachgingen, eine deutlich bessere gesundheitsbezogene Lebensqualität (*Gesamt-Score*) als die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen, die neben dem Schulsport nie körperlich aktiv waren (Tab. 38). Besonders deutlich zeigte sich dieser Unterschied in Bezug auf die *Physische Leistungsfähigkeit*, welche die körperlich aktiveren nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen mit durchschnittlich mehr als 91/100 Punkten bewerteten, während die Inaktiven lediglich rund 65/100 Punkten angaben. Gemessen über die durchschnittliche Schrittzahl als Maß für den Umfang körperlicher Aktivität konnten in der vorliegenden Studie, im Gegensatz zu Akber *et al.* (2012) sowie Hamiwka *et al.* (2009), keine positiven Zusammenhänge zur gesundheitsbezogenen Lebensqualität insgesamt sowie zur *Physischen Funktionsfähigkeit* der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen nachgewiesen werden (Abb. 24). Auch für die gesunde Kontrollgruppe konnten weder für die erfasste Schrittzahl, noch in Abhängigkeit von den

berichteten Umfängen an regelmäßiger körperlicher Aktivität positive Zusammenhänge zur gesundheitsbezogenen Lebensqualität bestätigt werden. Dass für chronisch kranke Kinder und Jugendliche, wie die untersuchten nierentransplantierten Patienten, jedoch durchaus positive Effekte einer frühzeitigen und regelmäßigen körperlichen Aktivität auf die gesundheitsbezogene Lebensqualität zu verzeichnen sind, zeigten Thorsteinsdottir et al. (2018), die ihre nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen bereits ein bis zwei Wochen nach erfolgter Transplantation mit individualisierter Physiotherapie mindestens zwei bis drei Mal pro Woche behandelten. Zusätzlich berichteten Diseth et al. (2011) signifikant positive Zusammenhänge ( $r = 0,66$ ;  $P < 0,01$ ) zwischen der ermittelten  $\dot{V}O_{2peak}$  und der gesundheitsbezogenen Lebensqualität im PedsQL 4.0™ bei 22 8- bis 19-jährigen nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen. Ein moderat positiver Zusammenhang konnte auch in der vorliegenden Untersuchung für die nierentransplantierten Patienten identifiziert werden (Abb. 22). Das Signifikanzniveau wurde jedoch nicht erreicht ( $r = 0,45$ ;  $P = 0,061$ ).

#### 4.1.5 Körperliche Aktivität im Alltag

Mit Fokus auf gesundheitswirksame Effekte spielt, neben regelmäßiger sportlicher Betätigung, insbesondere die alltägliche körperliche Aktivität eine zunehmend wichtige Rolle. Bereits im Kindes- und Jugendalter sind körperliche Inaktivität und ein überwiegend sitzender Lebensstil mit Übergewicht/Adipositas, Bluthochdruck, Fettstoffwechselstörungen sowie einer eingeschränkten körperlichen Leistungsfähigkeit und verstärkten motorischen Defiziten assoziiert (Graf et al., 2014; Janssen und Leblanc, 2010). Eine frühzeitige Förderung regelmäßiger körperlicher Aktivität kann diesen Risikofaktoren langfristig entgegenwirken und darüber hinaus das damit verbundene Mortalitätsrisiko verringern sowie die gesundheitsbezogene Lebensqualität verbessern (Arem et al., 2015; Hallal et al., 2006; Janssen und Leblanc, 2010).

Um die im Rahmen der vorliegenden Studie alltägliche körperliche Aktivität der nierentransplantierten sowie gesunden Kinder und Jugendlichen zu objektivieren, wurde diese mit Hilfe eines SenseWear®-Armbandes in Verbindung mit einem persönlich geführten Bewegungstagebuch aufgezeichnet. Da nur ein geringer Teil der Studienteilnehmer/-innen das Armband tatsächlich über die vorgegebenen fünf aufeinanderfolgenden Tage getragen hat, wurde im Vorfeld der Datenauswertung entschieden, alle Messungen zu integrieren, für die mindestens zwei aufeinanderfolgende Tage mit jeweils mindestens zwölf Stunden Aufzeichnungsdauer vorlagen. So konnte gewährleistet werden,

dass die Stichprobe für die Auswertung der Schrittzahlen nur geringfügig reduziert werden musste, auch wenn frühere Untersuchungen mit SenseWear<sup>®</sup>-Armbändern an gesunden Grundschulkindern (Ridgers *et al.*, 2016) und Erwachsenen (Scheers *et al.*, 2012) eine Aufzeichnungsdauer von zehn bzw. fünf aufeinanderfolgenden Tagen empfehlen. Um zusätzlich den Einfluss differierender Anzahlen an Aufzeichnungstagen und –stunden möglichst gering zu halten, wurden die Schrittzahlen in der vorliegenden Studie im Mittel auf eine Stunde relativiert.

Anhand der gemessenen Schrittzahl pro Stunde war die alltägliche körperliche Aktivität der untersuchten nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen ( $458 \pm 171$  Schritte/h) im Vergleich zu den gesunden Gleichaltrigen ( $687 \pm 280$  Schritte/h) signifikant ( $P = 0,001$ ) reduziert (Abb. 23 & Tab. 41). Im Mittel absolvierten die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen 7007 Schritte innerhalb von 15,3 Stunden ihrer Wachzeit, während die gesunde Kontrollgruppe 10305 Schritte in durchschnittlich 15 Stunden zurücklegte. Die für Kinder und Jugendliche, in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht, empfohlene Schrittzahl von 10.000 bis 15.000 Schritten pro Tag (Tudor-Locke *et al.*, 2011; Tudor-Locke *et al.*, 2004) erreichten somit weder die nierentransplantierten noch die gesunden Studienteilnehmer/-innen der vorliegenden Untersuchung. Dass die körperliche Aktivität nierentransplantierten Kinder und Jugendlicher im Vergleich zu gesunden Gleichaltrigen z.T. erheblich reduziert ist, konnten bereits frühere Studien mit Hilfe von Schrittzählern bzw. Akzelerometern (Akber *et al.*, 2012; Clark *et al.*, 2012; Hamiwka *et al.*, 2009) sowie Fragebogenerhebungen (Painter *et al.*, 2007; Tangeraas *et al.*, 2010) zeigen. Painter *et al.* (2007) verglichen nierentransplantierte Kinder und Jugendliche mit dialysepflichtigen Gleichaltrigen und berichteten, dass sich beide Gruppen hinsichtlich ihres Aktivitätslevels (in METs) nicht voneinander unterschieden, die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen jedoch deutlich häufiger am Schulsport teilnahmen. In Bezug auf die erfassten Schrittzahlen waren die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen der vorliegenden Studie noch weniger aktiv als nierentransplantierte Kohorten früherer Untersuchungen (Clark *et al.*, 2012; Hamiwka *et al.*, 2009), wobei im Gegensatz zu Akber *et al.* (2012) unter den untersuchten nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen die Jungen weniger Schritte absolvierten als die Mädchen und auch mit zunehmendem Alter keine kontinuierliche Abnahme der durchschnittlichen Schrittzahl beobachtet werden konnte (Tab. 41). In der gesunden Kontrollgruppe konnten die Beobachtungen von Akber *et al.* (2012) jedoch bestätigt werden. Hier waren sowohl für die untersuchten Jungen im Vergleich zu den Mädchen als auch bei den Jün-

geren im Vergleich zu den Älteren höhere durchschnittliche Schrittzahlen zu verzeichnen. Bei der geschlechtsabhängigen Gegenüberstellung konnte eine Schrittzahl-Differenz zu Gunsten der gesunden Kontrollgruppe jedoch lediglich für die Jungen bestätigt werden. Die nierentransplantierten Mädchen unterschieden sich nicht von den gesunden Mädchen (Tab. 41).

Als Hauptursachen für eine bereits vor einer geplanten Nierentransplantation reduzierte körperliche und sportliche Aktivität bei niereninsuffizienten Kindern und Jugendlichen konnten Fatigue sowie therapiebedingtes Unwohlsein identifiziert werden, während nach erfolgreicher Nierentransplantation das Aktivitätsniveau der meisten Patienten hauptsächlich aus Angst vor einer Transplantatschädigung reduziert ist (Wolf *et al.*, 2016). Häufig gehen solche Ängste auch mit übertriebener Vorsicht von Seiten der betreuenden Fachkräfte sowie der Eltern einher, wodurch die teilweise noch sehr jungen Patienten vermehrt geschont und zu Inaktivität erzogen werden, anstelle sie zu mehr körperlicher Aktivität zu animieren. Dass insbesondere die Ängste vor Verletzungen und Transplantatschädigungen unbegründet sein dürften, zeigten Wolf *et al.* (2016), die für lediglich drei von 101 nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen sportbezogene Transplantatschädigungen erfassten, welche jedoch keine weitere medizinische Behandlung nach sich zogen.

Körperliche Aktivität ist bei Kindern und Jugendlichen nicht nur positiv mit der körperlichen Leistungsfähigkeit und Gesundheit assoziiert, sondern beeinflusst nachweislich auch die gesundheitsbezogene Lebensqualität (Akber *et al.*, 2012; Hamiwka *et al.*, 2009; Wu *et al.*, 2017). Allerdings steht die alltägliche körperliche Aktivität, wie das regelmäßige zu Fuß gehen, welches beispielsweise mit der Messung von Schrittzahlen objektiviert werden kann, nicht automatisch mit dem Grad der sportlichen Betätigung im Zusammenhang. So konnten für die nierentransplantierten und gesunden Kinder und Jugendlichen in der vorliegenden Studie beispielsweise keine Unterschiede in der mittleren Schrittzahl pro Stunde in Abhängigkeit von der zu Studienbeginn erfragten regelmäßigen sportlichen Aktivität pro Woche festgestellt werden (Tab. 41). Es ist demnach nicht gesagt, dass die Kinder und Jugendlichen, die regelmäßig Sport treiben, auch im Alltag aktiver sind. Umgekehrt scheinen jedoch diejenigen, die neben dem Schulsport keinen weiteren Sport betreiben, ihre Freizeit nicht ausschließlich mit sitzenden Tätigkeiten zu verbringen. In der Praxis sollten demzufolge bei der Bewertung des Aktivitätsverhaltens und der gesundheitsförderlichen Lebensweise einer Person immer mehrere Faktoren berücksichtigt werden. Hierzu zählen neben der zuverlässigen Erfassung der

alltäglichen körperlichen Aktivität eben auch die Ermittlung von Umfängen und Intensitäten regelmäßiger sportlicher Betätigungen, von Ernährungsgewohnheiten sowie die Erfassung der Dauer sitzender Tätigkeiten in der Schule, bei der Arbeit und in der Freizeit.

## **4.2 Trainingsintervention unter Verwendung der Nintendo® - Spielekonsole Wii**

Video- und Computerspiele, die auf eine Steigerung der körperlichen Aktivität sowie eine Reduzierung der inaktiven Sitzzeiten ausgerichtet sind, haben sich in den vergangenen Jahren als effektive und einfach zu handhabende Methode bei gesunden, aber auch chronisch kranken Kindern und Jugendlichen (Benzing und Schmidt, 2018; Gao *et al.*, 2015) sowie Erwachsenen (Bonnechere *et al.*, 2016) heraus kristallisiert. Dabei können die sogenannten Exergames sowohl als Alternative als auch in Ergänzung zu herkömmlichen Bewegungsprogrammen eingesetzt werden (Bonnechere *et al.*, 2016; Gao *et al.*, 2015). Bisherige Untersuchungen an Erwachsenen nach Nierentransplantation (Wang *et al.*, 2014) oder mit rheumatoider Arthritis (Zernicke *et al.*, 2016) sowie an Kindern und Jugendlichen mit Übergewicht oder Adipositas (Christison und Khan, 2012; Staiano *et al.*, 2018), Mukoviszidose (Del Corral *et al.*, 2018; O'Donovan *et al.*, 2014a) oder auch motorischen Defiziten (Hammond *et al.*, 2014; Mombarg *et al.*, 2013; Smits-Engelsman *et al.*, 2017) zeigten positive und zu herkömmlichem Training vergleichbare Effekte videospiegelbasierter Aktivitätsprogramme auf die körperliche Aktivität, die körperliche Leistungsfähigkeit, die Motorik, die gesundheitsbezogene Lebensqualität sowie die Körperzusammensetzung der Patienten. Entsprechende Effekte videospiegelbasierter Aktivitätsprogramme bei nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen wurden jedoch bisher nicht untersucht. In der vorliegenden Studie sollte aus diesem Grund die potentielle Steigerung der maximalen Sauerstoffaufnahme nierentransplantierten Kinder und Jugendlicher, als bestes Maß für die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit, nach einem 6-wöchigen häuslichen Training unter Verwendung der Spielekonsole Wii überprüft werden. In einem weiteren Schritt wurden außerdem die Effekte des videospiegelbasierten Trainings auf die maximale Handkraft, die koordinativen Fähigkeiten, die gesundheitsbezogene Lebensqualität sowie die alltägliche körperliche Aktivität der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen untersucht und im Rahmen einer Verlaufsbeobachtung ein Jahr nach Abschluss der Trainingsintervention die nachhaltige Wirkung der Bewegungsintervention überprüft.

### 4.2.1 Leistungsfähigkeit

In den nachfolgenden Abschnitten 4.2.1.1 und 4.2.1.2 werden die im Rahmen der vorliegenden Studie erfassten Parameter der körperlichen Leistungsfähigkeit nierentransplantierter Kinder und Jugendlicher im Vergleich von vor zu nach der häuslichen Trainingsintervention mittels Wii-Spielekonsole ausführlich erläutert. Nachdem zunächst die Ergebnisse zum Hauptzielparameter  $\dot{V}O_{2peak}$  diskutiert werden, wird anschließend noch auf die maximale Leistungsfähigkeit sowie die submaximalen Leistungsparameter eingegangen. Abschließend erfolgt eine Einordnung der im vorliegenden Dissertationsprojekt überprüften Haupthypothese.

#### 4.2.1.1 Maximale Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2peak}$ )

Die auf das individuelle Körpergewicht relativierte maximale Sauerstoffaufnahme ( $\dot{V}O_{2peak}/kg$ ) gilt als beste Kenngröße zur Beurteilung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit und wurde deshalb im Rahmen der vorliegenden Studie als Hauptzielparameter herangezogen, um die Leistungsfähigkeit der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen vor und nach der 6-wöchigen häuslichen Trainingsintervention mittels einer Wii-Spielekonsole zu evaluieren.

Nach der häuslichen Trainingsintervention konnten für die 13 nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen keine Verbesserungen in Bezug auf die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit beobachtet werden (Tab. 46 & Abb. 25). Während die absolute  $\dot{V}O_{2peak}$  nach Abschluss der Intervention unverändert blieb ( $P = 0,374$ ), reduzierte sich die  $\dot{V}O_{2peak}/kg$  sogar signifikant ( $P = 0,044$ ). Die Reduktion der  $\dot{V}O_{2peak}/kg$  zeichnete sich insbesondere bei den acht Kindern und Jugendlichen mit geringer Compliance ab (Tab. 48 & Abb. 28). Die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen mit guter Compliance erreichten vor und nach der Wii-Intervention hingegen vergleichbare Werte für die  $\dot{V}O_{2peak}/kg$ . Die vermehrte Inaktivität derjenigen nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen mit geringer Compliance scheint demnach deren ohnehin bereits reduzierte kardiopulmonale Leistungsfähigkeit (Clark *et al.*, 2012; Krull *et al.*, 1994; Painter *et al.*, 2007; Sethna *et al.*, 2009; Tangeraas *et al.*, 2010; Weaver *et al.*, 2008) zusätzlich zu verschlechtern.

Dass die körperliche Aktivität mittels aktiver Videospiele sowohl kurz- als auch langfristig den Sauerstoffverbrauch und damit den aktiven Energieverbrauch im Vergleich zu Ruhemessungen sowie inaktiven Videospiele steigern kann, zeigten bereits vereinzelte Untersuchungen an gesunden (Graf *et al.*, 2009), aber auch an übergewichtigen und

adipösen Kindern und Jugendlichen (Lamboglia *et al.*, 2013; O'Donovan *et al.*, 2014b), an jungen Patienten mit Mukoviszidose (O'Donovan *et al.*, 2014a) sowie an Erwachsenen (Höchstmann *et al.*, 2016). Für nierentransplantierte Kinder und Jugendliche sind bei regelmäßiger körperlicher Aktivität ebenfalls langfristige Verbesserungen der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit möglich. So berichteten beispielsweise Lubrano *et al.* (2012), dass bei regelmäßigem Training von drei bis fünf Stunden pro Woche hinsichtlich der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit (ausgegeben als  $\dot{V}O_{2max}/kg$ ) kein signifikanter Unterschied zwischen nierentransplantierten Kindern und inaktiven gesunden Gleichaltrigen bestand. Auch Thorsteinsdottir *et al.* (2018) beschrieben für nierentransplantierte Kinder und Jugendliche eine signifikant bessere  $\dot{V}O_{2peak}/kg$ , wenn diese bereits ein bis zwei Wochen nach erfolgter Transplantation mehrmals wöchentlich, angepasst an die individuellen Bedürfnisse, physiotherapeutisch behandelt wurden.

Nach bisherigem Kenntnisstand handelt es sich bei der vorliegenden Untersuchung um die erste Studie, bei der mit Hilfe von videospiegelbasiertem häuslichem Training die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit nierentransplanzierter Kinder und Jugendlicher gesteigert werden sollte. Anhand der relativ niedrigen Trainingsherzfrequenz von 65% der  $HF_{peak}$  sowie der vorwiegend als leicht eingeschätzten subjektiven Anstrengung während des Trainings (Borg: 10,9) liegt der Schluss nahe, dass das vorgegebene Trainingsprogramm mit der Wii-Spielekonsole nicht intensiv und umfangreich genug war, um die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen effektiv zu steigern. Hinzu kommt, dass Studien mit herkömmlichen und als effektiv eingestuften Trainingsinterventionen bei nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen über eine Dauer von mindestens drei (Thorsteinsdottir *et al.*, 2018) bzw. bei nierentransplantierten Erwachsenen von etwa zwölf Monaten (Roi *et al.*, 2018) durchgeführt wurden, was die etwa 6-wöchige Interventionsdauer der vorliegenden Untersuchung um einiges übersteigt. Neben der annehmbar zu geringen Dauer und Intensität der Intervention fiel die Compliance der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen hinsichtlich der Trainingsdurchführung auffällig gering aus. Obwohl die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen wöchentlich kontaktiert wurden, um das Trainingsprogramm mit der Wii-Spielekonsole und eventuelle Schwierigkeiten zu besprechen, wurde das Ausmaß der erstaunlich geringen Compliance erst nach Abschluss der Interventionsphase deutlich. Die Überwachung der Kinder und Jugendlichen während der Trainingsintervention schien demnach nicht engmaschig bzw. nicht genau genug gewesen zu sein. Wie frühere Untersuchungen zeigen, scheinen Trainingsinterventionen bei

chronisch niereninsuffizienten Kindern und Jugendlichen durch verstärkte Drop-Out-Raten geprägt zu sein (Clapp *et al.*, 2012), während im Gegensatz dazu ein 24-wöchiges häusliches Exergaming-Programm bei übergewichtigen und adipösen Kindern auf großen Zuspruch stieß (Staiano *et al.*, 2018).

#### 4.2.1.2 Weitere Kenngrößen der Leistungsfähigkeit und ventilatorische Schwellen

Nach Abschluss der häuslichen Trainingsintervention mit der Wii-Spielekonsole wurden für die 13 nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen hinsichtlich der maximalen Leistungsfähigkeit in Watt ( $P = 0,933$ ) sowie in Watt/kg ( $P = 0,724$ ) keine Veränderungen festgestellt (Abb. 29 & Tab. 49). Ebenso blieben die  $\dot{V}E_{\text{peak}}$  sowie die  $HF_{\text{peak}}$  im Vergleich zu vor der Trainingsintervention unverändert. Da der  $RQ_{\text{peak}}$  sowohl vor als auch nach der Intervention im Mittel bei  $1,11 \pm 0,1$  lag, kann davon ausgegangen werden, dass die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen zu beiden Messzeitpunkten eine maximale Ausbelastung erreichten. Im Gegensatz zu den vorliegenden Studienergebnissen, konnten nierentransplantierte Erwachsene nach einer 8-wöchigen videospiegelbasierten Intervention ihre körperliche Leistungsfähigkeit signifikant steigern. Allerdings wurde deren Leistungsfähigkeit nicht mit Hilfe einer Fahrrad-Spiroergometrie, sondern über den 6-Minuten-Gehtest objektiviert (Wang *et al.*, 2014). Vergleichbare Daten für nierentransplantierte Kinder und Jugendliche liegen bisher nicht vor.

Wie bereits in Abschnitt 4.2.1.1 beschrieben, wies der überwiegende Anteil der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen eine lediglich geringe Compliance während der Trainingsintervention auf. Während die fünf nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen mit guter Compliance ihre maximale Leistungsfähigkeit auf dem Fahrrad-Ergometer ansatzweise steigern konnten, reduzierte sich die maximale Leistungsfähigkeit derjenigen mit geringer Compliance (Tab. 51 & Abb. 31). Unabhängig von der Compliance der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen zeigten sich nach Abschluss der Trainingsintervention auch in Bezug auf die submaximalen Leistungsparameter Reduktionen (Tab. 52). Dabei verringerte sich die  $\dot{V}O_2/\text{kg}$  an den ventilatorischen Schwellen VT1 und VT2, wobei die Reduktion der  $\dot{V}O_2/\text{kg}$  an der VT2 sogar signifikant ( $P = 0,003$ ) war. Ergänzend zu den Daten der maximalen Sauerstoffaufnahme (vgl. Abschnitt 4.2.1.1) scheint also die vermehrte Inaktivität nierentransplantierten Kinder und Jugendlicher auch mit einer weiteren Reduktion der körperlichen Leistungsfähigkeit sowie der submaximalen Leistungsparameter einherzugehen.

Die Haupthypothese der vorliegenden Arbeit, dass die maximale Sauerstoffaufnahme und damit die maximale körperliche Leistungsfähigkeit nierentransplantierte Kinder und Jugendlicher durch den Einsatz eines videospieldbasierten Bewegungsprogramms gesteigert werden können, konnte in Bezug auf das untersuchte Patientenkollektiv nicht bestätigt werden. Als besonders problematisch stellte sich diesbezüglich die geringe Compliance der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen während der Trainingsintervention heraus, wobei zumindest ansatzweise eine Veränderung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit der Compliance gezeigt wurde. Es kann demnach nicht abschließend beurteilt werden, ob bei einer hohen Compliance aller nierentransplantierte Studienteilnehmer/-innen während der videospieldbasierten Trainingsintervention, die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen gesteigert werden hätte können. Für eine bessere Motivation und Bindung der jungen Patienten an spezifische Trainingsprogramme sowie eine kontrollierte Steuerung der Belastungsreize währenddessen wären angeleitete Trainingsinterventionen mit geschultem Personal von Vorteil. Im Gegensatz zu den Programmen von Thorsteinsdottir et al. (2018) und Roi et al. (2018) war dies im Rahmen der vorliegenden Untersuchung, aufgrund der z.T. sehr weiten Anfahrtswege der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen zur Transplantationsambulanz bzw. Sportmedizin jedoch nicht möglich. Zukünftige Studien, die den Einsatz häuslicher Bewegungsprogramme untersuchen, sollten demnach eine engmaschigere und gegebenenfalls digitale Methode zur Trainingsüberwachung verwenden.

#### *4.2.2 Maximale Handkraft*

In Bezug auf die maximale Handkraft zeigten sich für die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen keine Veränderungen von vor zu nach der Wii-Intervention (Tab. 28 & Abb. 32). Interessanter Weise verbesserten sich in Abhängigkeit von der regelmäßigen körperlichen Aktivität diejenigen Kinder und Jugendlichen verstärkt, die von vornherein zur körperlich aktiveren Subgruppe zählten (Abb. 33 & Tab. 55). Zusätzlich fiel auf, dass eine Verbesserung oder auch Verschlechterung der maximalen Handkraft weitgehend unabhängig von der Compliance der Kinder und Jugendlichen zur Wii-Intervention auftrat (Abb. 33 & Tab. 55). Inwiefern Messungen der maximalen isometrischen Handkraft bei diesem Patientenkollektiv überhaupt verlässliche Aussagen ermöglichen, um die muskuloskelettale Entwicklung sowie den Gesundheitszustand und die körperliche Leis-

tungsfähigkeit der Kinder und Jugendlichen einschätzen zu können (Bohannon, 2015), kann an dieser Stelle nicht hinreichend beurteilt werden.

Insgesamt haben sich bisher nur wenige Arbeitsgruppen mit dem Einfluss videospieldasierter Aktivitätsprogramme auf die maximale isometrische Handkraft beschäftigt. Eine dieser Studien untersuchte Kinder und Jugendliche mit Mukoviszidose und konnte zeigen, dass ein 6-wöchiges Training (5x/Woche á 30-60 min) mit einer Wii-Spielekonsole im häuslichen Setting die maximale isometrische Handkraft im Vergleich zu einer nicht trainierenden Kontrollgruppe signifikant steigerte (Del Corral *et al.*, 2018). Eine weitere, jedoch deutlich kleinere Pilotstudie publizierten Kasee *et al.* (2017) zu sechs 7- bis 12-jährigen Kindern mit spastischer hemiplegischer Zerebralparese. Jeweils drei Kinder absolvierten zu Hause über sechs Wochen ein herkömmliches Krafttraining oder aber ein Aktivitätsprogramm mit einer Wii-Spielekonsole. Während zwei von drei Kindern aus der Krafttrainingsgruppe ihre maximale isometrische Handkraft nach der 6-wöchigen Intervention verbessern konnten, gelang dies lediglich einem von drei Kindern in der Wii-Trainingsgruppe (Kasee *et al.*, 2017). Neben der untersuchten Zielgruppe sowie der Dauer und des Umfangs des eingesetzten videospieldaserten Trainings scheint in Bezug auf zu erwartende Trainingseffekte auch die Übungsauswahl eine wesentliche Rolle zu spielen. So dürfte ein Training mit der Wii-Spielekonsole, welches explizit auf die Kräftigung der oberen Extremitäten ausgerichtet ist, hinsichtlich der Steigerung der isometrischen Handkraft effektiver sein, als ein reines Ausdauer- oder Koordinations-training. Da in der vorliegenden Studie der Fokus vorwiegend auf einem ausgewogenen und ganzheitlichen körperlichen Training lag und das vorgegebene Trainingsprogramm weniger auf die isolierte Kräftigung der Arm- oder Handmuskulatur abzielte, waren die Trainingsreize in Bezug auf die Steigerung der maximalen isometrischen Handkraft vermutlich zu gering.

#### 4.2.3 Koordination

Das vielfältige Training auf dem Balance Board der Wii-Spielekonsole sowie die positiv berichteten Effekte videospieldasierter Aktivitätsprogramme bei Kindern und Jugendlichen mit motorischen Defiziten (Hammond *et al.*, 2014; Mombarg *et al.*, 2013; Smits-Engelsman *et al.*, 2017), mit Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung (ADHS) (Benzing und Schmidt, 2019) oder nach Tumorerkrankung (Sabel *et al.*, 2016) ließen Verbesserungen in den erheblich reduzierten koordinativen Fähigkeiten der nieren-transplantierten Kinder und Jugendlichen nach der 6-wöchigen Trainingsintervention

erwarten. Dies war jedoch nicht der Fall. Während sich der *Gesamt-MQ*, das *Rückwärts Balancieren* und das *Seitliche Umsetzen* vor und nach der Intervention unverändert darstellten, wurde hinsichtlich des *Monopeden Überhüpfens* sogar eine signifikante Reduktion ( $P = 0,030$ ) deutlich (Tab. 56 & Abb. 34). Für das *Seitliche Hin- und Herspringen*, welches neben den koordinativen Fähigkeiten auch eine gewisse Schnelligkeitsfähigkeit und Ausdauer erfordert, wurden demgegenüber sogar leicht positive, jedoch nicht signifikante Veränderungen beobachtet ( $P = 0,152$ ). Allerdings waren die Veränderungen der koordinativen Fähigkeiten von vor zu nach der Trainingsintervention weitestgehend unabhängig von der Compliance der nierentransplantierten Patienten/-innen (Abb. 36). Dennoch fiel auf, dass die Kinder und Jugendlichen mit geringer Compliance sowohl vor als auch nach der Trainingsintervention in allen Testaufgaben höhere MQ-Werte erreichten als diejenigen mit guter Compliance (Tab. 58).

Da die vorliegende Studie, nach derzeitigem Kenntnisstand, die erste Untersuchung ist, die die koordinativen Fähigkeiten nierentransplantierte Kinder und Jugendlicher sowohl im Vergleich zu gesunden Gleichaltrigen als auch vor und nach eines videospielbasierten Aktivitätsprogramms erhoben hat, ist ein Vergleich der gewonnenen Daten lediglich zu Studien mit anderen Patientenkollektiven möglich. So konnten Benzing und Schmidt (2019) erst kürzlich zeigen, dass sich bei 8- bis 12-jährigen Kindern mit ADHS beispielsweise das *Seitliche Hin- und Herspringen* nach einem 8-wöchigen häuslichen Training mit der Videospiele-Konsole Xbox<sup>®</sup> Kinect<sup>®</sup> (Microsoft, Redmond, WA, USA) signifikant verbesserte. Allerdings berichteten die Autoren, vergleichbar zu den untersuchten nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen, eine relativ hohe Drop-Out-Rate bei den Kindern mit ADHS sowohl für das videospielbasierte Training im häuslichen Umfeld als auch für die Teilnahme an den Abschlussuntersuchungen. Mit Hilfe von wöchentlichem Internet-Coaching gelang es Sabel et al. (2016), 7- bis 17-jährige Kinder und Jugendliche, die nach einem Hirntumor erfolgreich behandelt wurden, über eine Dauer von zehn bis zwölf Wochen fünf Mal pro Woche für ein häusliches Wii-Training zu motivieren. Im Anschluss an die Wii-Intervention hatten die jungen Tumorpatienten ihre Körperkoordination um 15% signifikant gesteigert, wobei auch hierbei in Bezug auf die Balance keine Veränderungen beobachtet werden konnten. Ähnlich zu den Ergebnissen der vorliegenden Studie konnte eine weitere Untersuchung krebserkrankter Kinder und Jugendlicher nach einer 8-wöchigen Intervention mittels Wii-Spielkonsole, im Vergleich zu einer nicht trainierenden Kontrollgruppe, ebenfalls keine Veränderungen in der Körperkoordination feststellen (Hamari et al., 2019). Obwohl,

vergleichbar zu den untersuchten nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen, die krebserkrankten Kinder und ihre Erziehungsberechtigten das Training mit der Wii-Spielekonsole als durchaus freudbetont und sinnvoll erachteten, konnten die Autoren auf Basis der Trainings- und Aktivitätstagebücher lediglich einen Patienten identifizieren, der entsprechend der Vorgaben trainierte (Hamari *et al.*, 2019). Für eine hohe Compliance und damit verbundene positive Veränderungen nach Abschluss einer aktivitätsbezogenen Intervention scheinen also nicht nur die verwendeten Übungen, sondern vielmehr die regelmäßige und langfristige Anleitung und Unterstützung von außen von Bedeutung zu sein. Im Gegensatz zur vorliegenden Studie sowie zu den Untersuchungen von Benzing und Schmidt (2019), Hamari *et al.* (2019) und Sabel *et al.* (2016) konnten durch während der Schulzeit unter Anleitung durchgeführte Wii-Trainingsinterventionen in Kleingruppen bei gesunden Kindern mit motorischen Defiziten (Mombarg *et al.*, 2013) sowie bei Kindern mit entwicklungsbedingten Koordinationsstörungen (Hammond *et al.*, 2014; Smits-Engelsman *et al.*, 2017) größere Effekte in Bezug auf die Verbesserung der Körperkoordination erreicht werden. Eine entsprechende Überwachung während des Wii-Trainings, die vermutlich förderlicher für die Motivation und die Bindung der Kinder und Jugendlichen ist sowie zusätzliche Möglichkeiten bietet, auf individuelle Bedürfnisse einzugehen, war jedoch im Rahmen der vorliegenden Studie aufgrund der kleinen Stichprobe und in mehreren Fällen weit entfernter Wohnorte der Patienten nicht möglich.

Des Weiteren kann nicht ausgeschlossen werden, dass die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen aufgrund ihrer erheblich reduzierten motorischen Grundlagen durch das vorgegebene Trainingsprogramm mit teilweise hoch koordinativem Anspruch überfordert waren. Hinweise darauf könnten unter anderem die niedrige Trainingsherzfrequenz von durchschnittlich 65% der  $HF_{peak}$  sowie das geringe, anhand der Borg-Skala gemessene Anstrengungsempfinden (8,5 – 12,5) der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen geben. Zusätzlich könnte eine Überforderung der jungen Patienten zu Einschränkungen in der Motivation und der gewissenhaften Durchführung des Trainingsprogramms geführt haben, was sich in der beobachteten geringen Compliance der Kinder und Jugendlichen widerspiegelt. In diesem Zusammenhang wäre weiterhin denkbar, dass die hohen koordinativen und geistigen Anforderungen des Aktivitätsprogramms in Verbindung mit der eingeschränkten Körperkoordination die vorherrschende, jedoch unbegründete Angst verstärkt hat, das Transplantat durch die sportliche Betätigung zu schädigen oder sich anderweitig zu verletzen (Wolf *et al.*, 2016).

Da koordinative Fähigkeiten sowohl für die motorische Entwicklung insgesamt (Stodden *et al.*, 2008) als auch für die körperliche Fitness bis in das Erwachsenenalter (Barnett *et al.*, 2008; Utesch *et al.*, 2019) von enormer Bedeutung sind, sollten zukünftige Studien genau an diesen Punkten ansetzen und die Wirkungen angeleiteter sowie frühzeitig begonnener, koordinativer Trainingsprogramme bei nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen überprüfen.

#### 4.2.4 Gesundheitsbezogene Lebensqualität

Regelmäßige körperliche Aktivität sowie eine gute körperliche Leistungsfähigkeit stehen in engem Zusammenhang mit einer zufriedenstellenden gesundheitsbezogenen Lebensqualität. In Studien mit gesunden (Wu *et al.*, 2017), aber auch mit nierentransplantierten (Diseth *et al.*, 2011; Hamiwka *et al.*, 2009; Thorsteinsdottir *et al.*, 2018) oder an Mukoviszidose erkrankten (Del Corral *et al.*, 2018) Kindern und Jugendlichen sowie mit nierentransplantierten Erwachsenen (Calella *et al.*, 2019; Oguchi *et al.*, 2019; Painter *et al.*, 2002; Roi *et al.*, 2018) hatte ein regelmäßiges körperliches Training nicht nur auf die körperliche Leistungsfähigkeit, sondern auch auf die gesundheitsbezogene Lebensqualität einen positiven Einfluss.

Im Rahmen der vorliegenden Studie konnte ein solch positiver Zusammenhang lediglich ansatzweise aufgezeigt werden. So waren für die untersuchten nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen nach dem 6-wöchigen Training mit der Wii-Spielekonsole geringe Verbesserungen in der gesundheitsbezogenen Lebensqualität insgesamt sowie in Bezug auf die *Emotionale*, die *Soziale* und die *Schulische Funktionsfähigkeit* festzustellen (Tab. 59 & Abb. 38). Dabei steigerten die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen mit guter Compliance ihre gesundheitsbezogene Lebensqualität in etwas stärkerem Ausmaß als diejenigen mit geringerer interventionsbezogener Compliance (Tab. 61 & Abb. 40). Demzufolge wäre eine generelle Verbesserung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität mit zunehmendem Umfang regelmäßiger körperlicher Aktivität denkbar. Ähnliche Zusammenhänge für nierentransplantierte Kinder und Jugendliche berichteten Hamiwka *et al.* (2009), die eine signifikant lineare Korrelation zwischen der zurückgelegten Schrittzahl und der gesundheitsbezogenen Lebensqualität nachweisen konnten. Des Weiteren berichteten Thorsteinsdottir *et al.* (2018) von einer verbesserten gesundheitsbezogenen Lebensqualität bei denjenigen Kindern und Jugendlichen, die bereits kurz nach erfolgter Nierentransplantation regelmäßig physiotherapeutisch behandelt wurden und somit häufiger körperlich aktiv waren als nierentransplantierte Kinder und

Jugendliche ohne entsprechende physio- bzw. sporttherapeutische Maßnahmen. Im Gegensatz zu dieser (Thorsteinsdottir *et al.*, 2018) sowie einer weiteren Studie, bei der ein 12-monatiges kombiniertes Ausdauer- und Krafttraining mit nierentransplantierten Erwachsenen durchgeführt wurde (Roi *et al.*, 2018), trainierten die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen der vorliegenden Studie selbstbestimmt im häuslichen Setting und wurden lediglich durch wöchentliche Kontaktaufnahmen via Telefon oder E-Mail durch die Studienleitung unterstützt. Dass zu Hause durchgeführte Trainingsprogramme hinsichtlich der Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit und der gesundheitsbezogenen Lebensqualität jedoch eine gute Alternative zum angeleiteten Training im Sport- oder Therapiezentrum darstellen können, zeigen vereinzelte Studien an chronisch niereninsuffizienten (Aoike *et al.*, 2018) und nierentransplantierten (Painter *et al.*, 2002) Erwachsenen sowie Kindern und Jugendlichen mit Mukoviszidose (Del Corral *et al.*, 2018). Während Aoike *et al.* (2018) und Painter *et al.* (2002) ein herkömmliches, vorwiegend ausdauerorientiertes Training über 24 Wochen bzw. zwölf Monate anwendeten, nutzten Del Corral *et al.* (2018), vergleichbar zur vorliegenden Studie, eine Wii-Spielekonsole für ein 6-wöchiges Training an fünf Tagen pro Woche. Während das häusliche Training mit der Wii-Spielekonsole bei Kindern und Jugendlichen mit Mukoviszidose neben der maximalen Handkraft und der Strecke im 6-Minuten-Gehtest auch die gesundheitsbezogene Lebensqualität steigern konnte (Del Corral *et al.*, 2018), berichten Staiano *et al.* (2018) für übergewichtige und adipöse Kinder und Jugendliche trotz sehr guter Compliance keine Veränderungen in der gesundheitsbezogenen Lebensqualität nach einem 24-wöchigen Training mit der Spielekonsole Xbox 360® Kinect® (Microsoft, Redmond, WA, USA) im häuslichen Umfeld. Auch bei Erwachsenen mit Diabetes mellitus Typ 2 konnte ein 4-wöchiges, angeleitetes virtuelles Tennis-Training mittels Wii-Spielekonsole in Kleingruppen keine Veränderungen in der gesundheitsbezogenen Lebensqualität bewirken (Senior *et al.*, 2016).

Insgesamt liegen noch relativ wenige Veröffentlichungen vor, die den Einfluss eines videospieldbasierten körperlichen Trainings auf die gesundheitsbezogene Lebensqualität untersucht haben. Aufgrund variabler Interventionsdauern und -inhalte, unterschiedlicher Patientenkollektive sowie diverser verwendeter Fragebögen zur Erfassung der gesundheitsbezogenen Lebensqualität, sind zuverlässige Vergleiche der Studienergebnisse sowie aussagekräftige Schlussfolgerungen kaum möglich.

Mit Blick auf das Langzeit-Outcome nierentransplantierte Kinder und Jugendlicher sollten jedoch die gezeigten, leicht positiven Tendenzen in der gesundheitsbezogenen Le-

bensqualität der jungen Patienten nach dem videospiegelbasierten Aktivitätsprogramm im Rahmen zukünftiger Studien an größeren Patientenkollektiven überprüft werden. Hierzu wäre der Einsatz vergleichbarer Aktivitätsprogramme mit verlängerter Interventionsdauer und einer stärkeren Überwachung des Trainings zur Gewährleistung einer hohen Compliance ratsam.

#### 4.2.5 Körperliche Aktivität im Alltag

Die mit Hilfe des SenseWear<sup>®</sup>-Armbandes vor und nach Abschluss der videospiegelbasierten Intervention bestimmte Schrittzahl pro Stunde, als Maß für die alltägliche körperliche Aktivität, konnte nach Abschluss der Intervention signifikant ( $P = 0,043$ ) um 121 Schritte pro Stunde gesteigert werden (Tab. 62 & Abb. 41). Dies entspricht etwa 2720 zusätzlichen Schritten pro Tag. Trotz dieser deutlichen Verbesserung erreichten die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen nicht die zu Studienbeginn gemessene Schrittzahl der gesunden Kontrollgruppe (Tab. 41) und auch nicht die gängigen Empfehlungen für gesunde Kinder und Jugendliche (Tudor-Locke *et al.*, 2011; Tudor-Locke *et al.*, 2004).

Videospiegelbasiertes körperliches Training hat das Potential, den Umfang und die Intensität körperlicher Aktivität bei Kindern und Jugendlichen zu steigern sowie die Dauer inaktiver Sitzzeiten zu reduzieren (Benzing und Schmidt, 2018; Best, 2013; Lamboglia *et al.*, 2013). Allerdings liegen bisher keine evidenten Empfehlungen zu einer individuellen, zielgruppenspezifischen und möglichst effektiven Gestaltung videospiegelbasierter Aktivitätsprogramme vor, sodass deren Möglichkeiten sicher nicht voll ausgeschöpft werden (Benzing und Schmidt, 2018; Best, 2013). So finden sich nur wenige Studien, die die Effekte eines videospiegelbasierten Trainings auf die alltägliche körperliche Aktivität von gesunden sowie chronisch kranken Personen untersucht haben (Christison und Khan, 2012; Senior *et al.*, 2016; Staiano *et al.*, 2018). Senior *et al.* (2016) konnten beispielsweise mit Hilfe des International Physical Activity Questionnaires (IPAQ) nach einem lediglich 4-wöchigen angeleiteten Wii-Training mit erwachsenen Typ-2-Diabetikern eine Verbesserung des Umfangs an körperlicher Aktivität pro Woche in MET-Minuten feststellen. Auch Christison und Khan (2012) berichteten nach einem 10-maligen überwachten Training mit verschiedenen Videospiegelkonsolen eine signifikante Steigerung der körperlich aktiven Stunden pro Woche bei übergewichtigen Kindern und Jugendlichen. Während im Rahmen dieser beiden Studien die körperliche Aktivität vor und nach einer Intervention lediglich über einen Fragebogen erhoben wurde, ermittelten Staiano

et al. (2018), vergleichbar zur vorliegenden Studie, die alltägliche körperliche Aktivität über ein Akzelerometer. Die hierbei untersuchten übergewichtigen Kinder und Jugendlichen verbesserten nach einem 24-wöchigen videospiegelbasierten Training im häuslichen Umfeld die Dauer ihrer mäßigen bis intensiven körperlichen Aktivität um 3,4 Minuten pro Tag, während eine ebenfalls untersuchte Kontrollgruppe ohne Intervention ihre körperliche Aktivität um acht Minuten pro Tag reduzierte (Staiano *et al.*, 2018). Trotz des von Staiano et al. (2018) berichteten signifikanten Unterschieds zwischen den beiden Gruppen in der Veränderung der Dauer der mäßigen bis intensiven körperlichen Aktivität nach Abschluss der Interventionsphase, sollte die praktische Relevanz dieser rund drei bzw. acht Minuten Differenz kritisch betrachtet werden. Im Vergleich zu Staiano et al. (2018) konnten Masajtis-Zagajewska et al. (2018) nach einem 12-wöchigen, jedoch nicht videobasierten Ausdauertraining mit nierentransplantierten sowie chronisch niereninsuffizienten Erwachsenen sowohl signifikante Verbesserungen in der Dauer der körperlichen Aktivität pro Tag als auch in der zurückgelegten Schrittzahl pro Tag feststellen. Während sich die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen der vorliegenden Studie nach dem 6-wöchigen Wii-Training hinsichtlich der Schrittzahl um rund 25% signifikant verbessern konnten, entsprach die Steigerung der Schritte pro Tag bei den nierentransplantierten Erwachsenen, die über zwölf Wochen an je fünf Tagen trainierten, sogar rund 106% (Masajtis-Zagajewska *et al.*, 2018). Da sich sowohl die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen mit guter als auch diejenigen mit geringer Compliance in Bezug auf die Schrittzahl pro Stunde verbesserten (Tab. 62 & Abb. 42) und valide Untersuchungen zum Einfluss videospiegelbasierter Trainingsinterventionen auf die alltägliche Schrittzahl fehlen, wäre denkbar, dass neben einem potentiellen Effekt des Wii-Trainings bereits die Teilnahme an dieser Studie oder aber das reine Tragen des SenseWear<sup>®</sup>-Armbandes die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen dazu motiviert hat, ihre alltägliche körperliche Aktivität zu verbessern. Ähnliche Beobachtungen machten Akber et al. (2014), die nierentransplantierte sowie chronisch niereninsuffiziente und dialysepflichtige Kinder und Jugendliche über zwölf Wochen mit einem Schrittzähler ausstatteten. Eingangs wurden die Patienten und ihre Eltern ausführlich über den Nutzen und die potentiellen Effekte einer gesteigerten körperlichen Aktivität beraten und anschließend erhielten sie wöchentlich neue zu erreichende Schrittziele. So konnte beispielsweise die alltägliche körperliche Aktivität von etwa der Hälfte der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen innerhalb von zwölf Wochen um etwa 1000 Schritte/Tag gesteigert werden (Akber *et al.*, 2014).

Ob die 6-wöchige videospieldbasierte Intervention oder aber die Studienteilnahme und/oder das Tragen des SenseWear®-Armbandes letztlich zur Verbesserung der Schrittzahl der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen beigetragen hat, kann abschließend leider nicht beurteilt werden. Allerdings zeigte sich, dass positive Veränderungen mit Hilfe von Interventionsstudien, die auf die Steigerung der körperlichen Aktivität und Leistungsfähigkeit nierentransplantierte Kinder und Jugendlicher ausgerichtet sind, durchaus erreicht werden können und demzufolge häufiger Bestandteil wissenschaftlicher Untersuchungen sein sollten.

#### 4.2.6 Verlaufsbeobachtung 1 Jahr nach Trainingsintervention

Ziel der Verlaufsbeobachtung ein Jahr nach Abschluss der Interventionsphase war es, potentielle langfristige Effekte der videospieldbasierten Intervention auf die körperliche Leistungsfähigkeit und die gesundheitsbezogene Lebensqualität sowie die nachhaltige Integration und Steigerung der alltäglichen körperlichen Aktivität der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen zu überprüfen. In Bezug auf die  $\dot{V}O_{2peak}/kg$  (Abb. 43 & Tab. 63) sowie die maximale Leistung (Watt/kg) (Abb. 44 & Tab. 64) zeigten sich ein Jahr nach Abschluss der Intervention keine Veränderungen. Jedoch waren die submaximalen Werte (ventilatorische Schwellen) im Rahmen der Follow-up-Messung etwas höher als direkt nach der Wii-Intervention, wobei die Zunahme der  $\dot{V}O_2/kg$  an der VT2 sogar signifikant ( $P = 0,002$ ) war (Tab. 65). Bei vergleichbarer maximaler Sauerstoffaufnahme und maximaler Herzfrequenz sowie unter Beachtung der geringen Stichprobengröße von neun auswertbaren Studienteilnehmern/-innen, scheinen diese Wertveränderungen jedoch am ehesten auf methodische Schwierigkeiten bei der Ermittlung der Schwellenwerte zurückzuführen zu sein.

In Bezug auf die maximale Handkraft (Abb. 45), den *Gesamt-MQ* im KTK (Abb. 46 & Tab. 66) sowie die gesundheitsbezogene Lebensqualität (Abb. 47 & Tab. 67) wurden im Mittel keine signifikanten Änderungen ein Jahr nach Abschluss der Intervention beobachtet. Allerdings steigerten sich die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen im *Seitlichen Umsetzen* (KTK) signifikant ( $P = 0,031$ ). Die mittels SenseWear®-Armband gemessene Schrittzahl pro Stunde reduzierte sich durchschnittlich um 59 Schritte ( $P = 0,160$ ) (vgl. Abschnitt 3.3.5). Damit wurde zwar ein geringfügiger Rückgang hinsichtlich der alltäglichen körperlichen Aktivität der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen deutlich, allerdings lag die gemessene Schrittzahl der Abschlussuntersuchung weiterhin über der zu Studienbeginn erfassten Schrittzahl.

Die Untersuchung nachhaltiger Effekte aktivitätsbezogener Interventionsprogramme an chronisch kranken Kindern, Jugendlichen oder Erwachsenen war bisher nur selten Gegenstand wissenschaftlicher Arbeiten. So sind, neben der vorliegenden Studie, lediglich die Arbeiten von Del Corral et al. (2018) sowie Hamari et al. (2019) zu nennen, die eine 6- bzw. 8-wöchige Wii-Intervention mit an Mukoviszidose bzw. an Krebs erkrankten Kindern und Jugendlichen durchführten. Del Corral et al. (2018) untersuchten ihre jungen Patienten sowohl vor als auch direkt nach der Interventionsphase sowie 12 Monate nach Abschluss der Intervention hinsichtlich ihrer körperlichen Leistungsfähigkeit, verschiedener Kraftparameter und der gesundheitsbezogenen Lebensqualität. Im Unterschied zur vorliegenden Studie berichteten die Autoren für die Mukoviszidose-Patienten eine hohe Compliance (95%) während ihrer 6-wöchigen Wii-Intervention, welche sich jedoch nach Abschluss der Intervention über die sich anschließenden zwölf Monate drastisch reduzierte (35%). Während die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen der vorliegenden Studie nach Beendigung der Wii-Phase lediglich über Möglichkeiten zur Fortführung regelmäßiger körperlicher Aktivität oder die Teilnahme an wohnortnahen Sportangeboten beraten wurden, waren die Mukoviszidose-Patienten dazu angehalten, selbständig mindestens zwei Mal pro Woche für jeweils 20 Minuten das Training mit der Wii-Konsole fortzuführen (Del Corral *et al.*, 2018). Trotz der relativ geringen Compliance von 35% berichteten die Autoren auch zwölf Monate nach Abschluss der eigentlichen Wii-Intervention z.T. weitere Steigerungen oder aber gleichbleibende Ergebnisse in Bezug auf die erfassten Parameter zur körperlichen Leistungsfähigkeit und Muskelkraft. Lediglich im 6-Minuten-Gehtest reduzierte sich die zurückgelegte Strecke geringfügig im Vergleich zur Messung nach Intervention (Del Corral *et al.*, 2018). Hamari et al. (2019) berichteten etwa ein Jahr nach Abschluss einer 8-wöchigen Wii-Intervention, bei der krebskranke Kinder und Jugendliche an fünf Tagen pro Woche für 30 Minuten trainieren sollten, lediglich Daten zur körperlichen Aktivität, die mit Hilfe eines Akzelerometers (Fitbit Ultra) erfasst wurden. Vergleichbar zur vorliegenden Studie sowie einer von Hamari et al. (2019) gleichzeitig untersuchten Kontrollgruppe krebskranker Kinder und Jugendlicher mit herkömmlicher Therapie, konnte für die krebskranken Kinder und Jugendlichen mit 8-wöchiger Wii-Intervention auch ein Jahr später keine signifikante Veränderung in der alltäglichen körperlichen Aktivität festgestellt werden (Hamari *et al.*, 2019). Auch bei dieser Gruppe junger Patienten scheinen neben einer individualisierten und langfristigen Betreuung unter Einbeziehung ihrer Angehörigen, die persönliche Motivation und das dauerhafte Dabeibleiben wesentliche Faktoren in Bezug

auf den Erfolg aktivitätsbezogener Interventionsprogramme darzustellen (Hamari *et al.*, 2019).

Neben einer frühzeitigen und regelmäßigen körperlichen Aktivität nach erfolgreicher Nierentransplantation ist insbesondere die dauerhafte Integration der Aktivität in den Alltag von erheblicher Bedeutung für die Wiedererlangung und den Erhalt der körperlichen Leistungsfähigkeit und der gesundheitsbezogenen Lebensqualität sowie für das Langzeit-Outcome der Patienten (Painter *et al.*, 2002; Thorsteinsdottir *et al.*, 2018). Kinder (Thorsteinsdottir *et al.*, 2018) bzw. Erwachsene (Painter *et al.*, 2002), die Studien zufolge nach erfolgreicher Nierentransplantation regelmäßig körperlich aktiv waren, wiesen im Vergleich zu nierentransplantierten Patienten mit herkömmlichem Rehabilitations- und Nachsorgeprogramm ohne entsprechenden Fokus eine deutlich verbesserte Leistungsfähigkeit und Lebensqualität auf. Entscheidend scheint in erster Linie also nicht die Art der körperlichen Aktivität, sondern vielmehr die dauerhafte und regelmäßige körperliche Betätigung zu sein, um nachhaltig die Leistungsfähigkeit und Lebensqualität zu stärken.

### **4.3 Limitationen**

Wie im Rahmen der vorangegangenen Diskussion der Studienergebnisse bereits ansatzweise thematisiert wurde, weist die vorliegende Studie einige Limitationen auf. Allen voran sind die geringe Stichprobengröße sowie die Heterogenität der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen hinsichtlich ihrer Grunderkrankung, des Alters sowie ihrer individuellen physischen und psychischen Besonderheiten zu nennen. Die Größe der Stichprobe erklärt sich in erster Linie aus der relativ geringen Prävalenz der Kinder und Jugendlichen, die aufgrund terminaler Niereninsuffizienz in Deutschland nierentransplantiert und im Kindertransplantationszentrum des Universitätsklinikums Heidelberg betreut werden. Da ein Großteil der betroffenen Kinder und Jugendlichen zusätzlich Komorbiditäten aufweist, die eine Teilnahme an Studien mit gesteigerter körperlicher Aktivität erschweren oder sogar verbieten, kamen am Standort Heidelberg zu Beginn der Studie lediglich 48 nierentransplantierte Kinder und Jugendliche als potentielle Probanden/-innen in Frage. Mit 20 nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen, die zumindest die Basisuntersuchungen absolvierten, konnten immerhin 42% der in Frage kommenden Patienten/-innen rekrutiert werden. Aufgrund der ohnehin großen krankheitsbedingten Belastung der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen und ihrer

Familien, wurde ihnen die Teilnahme an der 6-wöchigen Wii-Intervention sowie der weiteren Messzeitpunkte freigestellt. Mit Hilfe dieses Ansatzes wurde versucht, so viele nierentransplantierte Kinder und Jugendliche wie möglich völlig zwanglos für die aktivitätsbezogene Intervention zu gewinnen, auch wenn dadurch auf eine nicht trainierende Vergleichsgruppe nierentransplanterter Kinder und Jugendlicher verzichtet und eine relativ geringe Stichprobengröße in Kauf genommen wurde. Zusätzlich darf in diesem Zusammenhang natürlich nicht außer Acht gelassen werden, dass sich möglicherweise vorrangig diejenigen Familien zur Studienteilnahme bereit erklärten, die per se eher positiv gegenüber körperlicher Aktivität eingestellt sind.

Auch in Bezug auf die gesunde Kontrollgruppe konnte das Ziel, für alle nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen anhand der vier Matching-Kriterien zwei Vergleichsprobanden/-innen zu finden, nicht ganz erreicht werden, wobei aus statistischer Sicht dennoch eine gute Vergleichbarkeit der nierentransplantierten und gesunden Kinder und Jugendlichen gegeben war (vgl. Tab. 4).

Hinsichtlich der Messzeitpunkte stellte die Abhängigkeit von den Routine-Terminen in der Transplantationsambulanz eine weitere wesentliche Limitation dar, auf welche die Studienleitung nur selten Einfluss nehmen konnte. Zum einen wurden die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen aufgrund ihrer medizinischen Befunde in unterschiedlichen Abständen zur Routine-Nachsorge einbestellt, zum anderen wurden diese Termine aufgrund von akuten Infekten, Schulferien oder weiteren Gründen hin und wieder kurzfristig abgesagt bzw. verschoben, sodass eine gewisse Varianz hinsichtlich der Abstände zwischen den studienrelevanten Messzeitpunkten entstand. Dadurch konnte leider auch nicht vollständig gewährleistet werden, dass die nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen ausschließlich von den gleichen Versuchsleitern untersucht bzw. getestet wurden. Bei Bedarf wurden die studienleitende Ärztin und die hauptverantwortliche Sportwissenschaftlerin durch zwei Medizinisch-technische Assistentinnen sowie Assistenzärzte/-innen der Sportmedizin unterstützt, welche jedoch zuvor entsprechend geschult wurden.

Da koordinative Übungen ein hohes Maß an Konzentration und Aufmerksamkeit erfordern und möglichst im ausgeruhten Zustand durchgeführt werden sollten, wurde darauf geachtet, dass im Anschluss an die körperlichen Untersuchungen zunächst der KTK und anschließend die Messung der maximalen Handkraft sowie der kardiopulmonale Ausbelastungstest durchgeführt wurden. Aufgrund des teilweise parallel ablaufenden Ambulanzbetriebs in der Sportmedizin, kam es in seltenen Fällen jedoch zu Abwei-

chungen in der beschriebenen Reihenfolge. Da dies leider nicht ausreichend protokolliert wurde, sind im Nachhinein keine Rückschlüsse auf potentielle Einflüsse variabler Testreihenfolgen auf die Studienergebnisse möglich, was eine weitere Limitation in der methodischen Durchführung der Studie darstellt. Nicht auszuschließen ist zudem, dass die Kinder und Jugendlichen während des Körperkoordinationstests durch vorbeilauende Personen abgelenkt wurden, da aufgrund begrenzt zur Verfügung stehender Räumlichkeiten das *Monopedale Überhüpfen*, das *Seitliche Hin- und Herspringen* sowie das *Seitliche Umsetzen* im Gang vor den Ambulanzräumen der Sportmedizin durchgeführt wurden. Lediglich das *Rückwärts Balancieren* sowie die übrigen studienrelevanten Messungen (Handkraftmessung, Spiroergometrie, PedsQL 4.0) fanden in geschlossenen Räumen statt.

Ebenfalls negativ anzumerken ist, dass in zwei Fällen zu jeweils einem Messzeitpunkt die Materialien für den Körperkoordinationstest bzw. für die Messung der maximalen Handkraft nicht zur Verfügung standen, da diese, als Leihgeräte des Instituts für Sport und Sportwissenschaft, gleichzeitig an anderer Stelle benötigt wurden. Dadurch reduzierte sich die ohnehin geringe Stichprobengröße zusätzlich in Bezug auf vereinzelte Parameter.

Aufgrund der starken Heterogenität der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen hinsichtlich des Alters und der variierenden Körpermaße, war es nicht möglich, bei allen Probanden/-innen die Spiroergometrie auf dem Fahrradergometer durchzuführen. Für diejenigen nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen (N=3) und die dazu gematchten gesunden Vergleichspersonen (N=5), die auf dem Laufband belastet wurden, konnten demnach keine Angaben zur maximal erreichten Leistung (Watt) gemacht werden, da sich aus den Laufbandbelastungsstufen (Steigerung über Geschwindigkeit und Neigungswinkel) die Wattleistung nur ungenau über Umrechnungsformeln bestimmen lässt (Kroidl *et al.*, 2015, S. 46-54). In Bezug auf die maximale Sauerstoffaufnahme ist bekannt, dass die auf dem Laufband ermittelten Maximalwerte im Vergleich zum Fahrradergometer, aufgrund des höheren Anteils aktiver Muskelmasse, in der Regel höher sind (Kroidl *et al.*, 2015, S. 46-54; Loftin *et al.*, 2004; Saengsuwan *et al.*, 2015). Da es jedoch nicht Ziel der Studie war, unterschiedliche Belastungsformen (Laufband vs. Fahrradergometer) sondern die Leistungsfähigkeit zweier vergleichbarer Gruppen gegenüberzustellen, wurden die ermittelten Maximalwerte für die Sauerstoffaufnahme aller nierentransplantierten sowie gesunder Kinder und Jugendlicher gemeinsam ausgewertet. Neben der ohnehin geringen Stichprobe war für dieses Vorgehen entscheidend,

dass die Probanden/-innen während der Studie die Belastungsform nicht wechselten und auch die gesunden Vergleichskinder entsprechend ihrer nierentransplantierten Matchingpartner/-innen belastet wurden. Somit war zumindest das Verhältnis an Laufband- und Fahrradbelastungen in beiden Gruppen vergleichbar.

Neben den bereits beschriebenen Limitationen muss außerdem die geringe Compliance der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen als wesentliche Einschränkung in Bezug auf die erwartete Leistungssteigerung nach Absolvierung der Wii-Intervention erwähnt werden. Diese resultierte vermutlich aus der generell überwiegend reduzierten Motivation der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen gegenüber körperlicher Aktivität verbunden mit einem fehlenden Problem- und Körperbewusstsein sowie den beschriebenen Ängsten vor Verletzungen und Überlastungen durch sportliche Betätigung. Außerdem spielt die durchaus hohe krankheitsbezogene Belastung der jungen Patienten/-innen und ihrer Familien eine wesentliche Rolle. Wie bereits beschrieben, führten andere supervidierte Interventionsstudien zu Leistungssteigerungen bei nierentransplantierten Erwachsenen (Roi *et al.*, 2018), bei Kindern und Jugendlichen mit motorischen Defiziten (Hammond *et al.*, 2014; Mombarg *et al.*, 2013; Smits-Engelsman *et al.*, 2017) oder mit Übergewicht und Adipositas (Christison und Khan, 2012). Vor diesem Hintergrund muss auch die selbständige Durchführung der videospiegelbezogenen Aktivitäten im häuslichen Umfeld mit lediglich wöchentlicher Kontaktaufnahme zu den nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen durch die Studienleitung als limitierender Faktor der vorliegenden Studie angesehen werden. Möglicherweise waren zusätzlich die Dauer der Intervention zu kurz und/oder die vorgegebenen Übungen nicht intensiv genug gewählt, um deutliche Steigerungen in der Leistungsfähigkeit zu erreichen. Aus der z.T. reduzierten Bereitschaft, an der Wii-Intervention teilzunehmen sowie aus dem persönlichen Gespräch mit den jungen Patienten/-innen ergaben sich außerdem Hinweise, dass die Wahl der Wii-Spielekonsole für das häusliche Training scheinbar nicht für alle nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen die passende Methode war, um selbständig, effektiv, sicher und freudbetont sportlich aktiv zu sein.

## 4.4 Schlussfolgerung

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie deuten darauf hin, dass eine effektive Steigerung der körperlichen Aktivität sowie der körperlichen Leistungsfähigkeit bei nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen nicht so ohne weiteres möglich ist. Es bedarf vielmehr einer individualisierten Herangehensweise, die viel Ausdauer und Engagement erfordert, um die jungen Patienten/-innen und ihre Familien nachhaltig zu motivieren, regelmäßig und dauerhaft körperlich aktiv zu sein. Dabei erscheint es überaus wichtig, die Kinder und ihre Angehörigen bereits zu Beginn einer Nierenersatztherapie über die Notwendigkeit und die positiven Effekte regelmäßiger körperlicher Aktivität und einer damit verbundenen gesünderen Lebensweise aufzuklären. Darüber hinaus sollte durch konkrete Empfehlungen zum sicheren Sporttreiben, wie bspw. Radfahren, Tanzen, Wandern oder Rudern, den Familien die Angst vor einer Transplantatschädigung oder verstärkter Infektionsgefahr genommen werden. Unter bestimmten Voraussetzungen können betroffene Kinder und Jugendliche bereits im Vorfeld einer Nierentransplantation während der Dialysebehandlung z.B. mit Hilfe eines Fahrradergometers körperlich aktiv sein und somit etwas für den Erhalt ihrer körperlichen Leistungsfähigkeit tun (Goldstein und Montgomery, 2009; Paglialonga *et al.*, 2014).

Da sich jedoch nicht nur in der allgemeinen, kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit (ermittelt über die Spiroergometrie) erhebliche Defizite bei nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen zeigten, sondern insbesondere auch die koordinativen Fähigkeiten im Vergleich zu den untersuchten gesunden Gleichaltrigen deutlich reduziert waren, sollte in der medizinischen Betreuung der niereninsuffizienten und nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen auf eine frühzeitige Integration vielseitiger Bewegungsangebote geachtet werden, die auf den Erhalt bzw. die Verbesserung der allgemeinen Leistungsfähigkeit sowie der motorischen Fähigkeiten ausgerichtet sind.

Videospielgestützte Aktivitätsprogramme, wie das in der vorliegenden Studie verwendete Wii fit Programm, könnten in Abhängigkeit individueller Vorlieben und Bedürfnisse eine Möglichkeit zur Steigerung der körperlichen Aktivität und zur Verbesserung der Leistungsfähigkeit darstellen. Allerdings haben diese und frühere Studien an Kindern und Jugendlichen gezeigt (Christison und Khan, 2012; Hammond *et al.*, 2014; Mombarg *et al.*, 2013), dass, im Vergleich zu selbständiger Aktivität, eine angeleitete und überwachte regelmäßige Betätigung zu einer höheren Compliance und darüber hinaus zu einer Verbesserung der körperlichen Leistungsfähigkeit und Koordination führt.

Neben der körperlichen Betätigung vor, während und direkt nach einer Nierentransplantation ist vor allem die dauerhafte Fortführung regelmäßiger körperlicher Aktivität im alltäglichen Leben der jungen Patienten/-innen von enormer Bedeutung für das Langzeit-Outcome. Mit dem TransDia-Sport Deutschland e.V. existiert bereits seit den 1980er Jahren ein Verein in Deutschland, der sich der Förderung der sportlichen Aktivität organtransplantiertes und dialysepflichtiger Erwachsener und Kinder verschrieben hat. Der Verein richtet jährlich bspw. Deutsche Meisterschaften in den Disziplinen Leichtathletik, Schwimmen, Radfahren, Tischtennis, Tennis, Badminton und Volleyball sowie ein Sport-Camp für organtransplantierte Kinder aus, damit diese wieder Freude an der Bewegung erlangen und ihren Körper sowie ihre motorischen Fähigkeiten wieder neu entdecken (Transdia-Sport Deutschland e.V., 2020). Mit einem einmal jährlich stattfindenden Sport-Camp ist es jedoch schwierig, die Kinder und Jugendlichen dauerhaft für körperliche Aktivität zu begeistern und eine regelmäßige sportliche Betätigung zu sichern. Wichtiger wäre diesbezüglich ein wohnortnahes Sportangebot für chronisch kranke Kinder und Jugendliche in regionalen Sportvereinen. Da jedoch verhältnismäßig wenige Kinder und Jugendliche in Deutschland von einer chronischen Niereninsuffizienz betroffen sind, ist es unmöglich, erkrankungshomogene Sportgruppen im näheren Wohnumfeld zu bilden. Alternativ könnten Kinder mit unterschiedlichen chronischen Erkrankungen gemeinsam Sport treiben oder aber unter gewissen Bedingungen (z.B. keine Kontakt- und Zweikampfsportarten, Einhaltung der Hygienemaßnahmen, Gewährleistung individuell notwendiger und ausreichender Erholungsphasen) in normale Kindersportgruppen integriert werden.

Die Studienlage zeigt deutlich, dass dringender Handlungsbedarf in Bezug auf die körperliche Aktivität und die damit verbundenen Wirkungen auf die körperliche Leistungsfähigkeit und gesundheitsbezogene Lebensqualität nierentransplantiertes Kinder und Jugendlicher besteht. Neben dem Alter und Geschlecht der jungen Patienten/-innen, konnten in der vorliegenden Studie Faktoren, wie die pubertäre Entwicklung, die besuchte Schulform und die regelmäßige körperliche Aktivität als teilweise entscheidende Einflussgrößen der Alltagsaktivität und körperlichen Leistungsfähigkeit identifiziert werden. Demnach sollte im Rahmen der Betreuung chronisch kranker Kinder und Jugendlicher auch nach diesen Faktoren differenziert werden.

Zusätzlich sollten die behandelnden Mediziner und Pflegekräfte, aber auch die Eltern geschult werden, die regelmäßige körperliche Aktivität nierentransplantiertes Kinder und Jugendlicher in Abhängigkeit von den individuellen Voraussetzungen und Bedürfnissen

zu forcieren und deren dauerhafte Integration in den Alltag der jungen Patienten/-innen zu unterstützen. Denkbar wäre außerdem die Integration einer einfachen, jedoch standardisierten Testbatterie in die Betreuung nierentransplantierter Kinder und Jugendlicher in den Transplantationsambulanzen, um die motorischen Fähigkeiten in regelmäßigen Abständen zu erfassen. Dadurch könnten motorische Defizite bereits von Behandlungsbeginn an identifiziert und durch gezieltes Training vor, während und nach einer Nierentransplantation verbessert werden.

## 5 Zusammenfassung

Für Kinder und Jugendliche mit terminaler Niereninsuffizienz gilt die vorzugsweise präemptiv durchgeführte Nierentransplantation als die vielversprechendste Behandlungsmethode, da hiermit im Vergleich zur Dialyse die verbleibende Lebenserwartung sowie die Lebensqualität der jungen Patienten/-innen erheblich gesteigert werden können. Bisherige Studien belegen, dass nierentransplantierte Kinder und Jugendliche im Vergleich zu gesunden Gleichaltrigen eine reduzierte körperliche Leistungsfähigkeit aufweisen und seltener körperlich aktiven Betätigungen nachgehen. Dies erhöht das bei nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen bestehende Risiko zusätzlich, im weiteren Verlauf des Lebens kardiovaskuläre und metabolische Folgeerkrankungen, wie arterielle Hypertonie, Fettstoffwechselstörungen, Übergewicht/ Adipositas oder Diabetes mellitus Typ 2 zu erleiden. Regelmäßige körperliche Aktivität hat nachweislich positive Effekte sowohl auf die körperliche Leistungsfähigkeit als auch auf kardiovaskuläre Risikofaktoren und ist zudem mit einer höheren Lebenserwartung sowie einer verbesserten Lebensqualität assoziiert. Eine Möglichkeit zur Steigerung der regelmäßigen körperlichen Aktivität stellen sogenannte *Exergames* oder *Active Video Games* dar, bei denen die betreffenden Personen mit Hilfe von Videospielekonsolen körperlich aktiv sind. Der Erfolg solcher videospielbasierter Aktivitätsprogramme konnte bereits für gesunde, aber auch für chronisch kranke Kinder, Jugendliche und Erwachsene nachgewiesen werden. Für nierentransplantierte Kinder und Jugendliche liegen jedoch bisher keine vergleichbaren Daten vor. Die Hauptfragestellung der vorliegenden Studie war deshalb, ob mit Hilfe eines 6-wöchigen videospielbasierten Aktivitätsprogramms im häuslichen Umfeld die maximale Sauerstoffaufnahme und damit die körperliche Leistungsfähigkeit nierentransplantierte Kinder und Jugendlicher gesteigert werden kann. Des Weiteren wurde überprüft, ob die videospielbasierte Trainingsintervention die koordinativen Fähigkeiten, die maximale Handkraft, die gesundheitsbezogene Lebensqualität sowie die Alltagsaktivität nierentransplantierte Kinder und Jugendlicher steigert. Zusätzlich wurden die erfassten Parameter mit denen einer gesunden, nach Geschlecht, Pubertätsstatus, körperlicher Aktivität und Schulform gemachter Kontrollgruppe verglichen.

Die körperliche Leistungsfähigkeit, die koordinativen Fähigkeiten, die gesundheitsbezogene Lebensqualität sowie die alltägliche Aktivität (gemessen über die durchschnittliche Schrittzahl pro Stunde) waren bei den nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen im Vergleich zu gemachten gesunden Gleichaltrigen deutlich reduziert. Nur für die ma-

ximale Handkraft wurde kein signifikanter Unterschied beobachtet. Nach der Trainingsintervention war die alltägliche körperliche Aktivität der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen signifikant gesteigert. Demgegenüber konnten weder die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit, noch die Körperkoordination, die maximale Handkraft oder die gesundheitsbezogene Lebensqualität verbessert werden. Der Hauptzielparameter, die maximale Sauerstoffaufnahme, hatte sich nach der Trainingsintervention sogar signifikant verschlechtert. Als vorrangig limitierender Faktor stellte sich die interventionsbezogene (Non-)Compliance der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen heraus. Lediglich fünf der 13 Patienten/-innen, die die videospiegelbasierte Trainingsintervention durchführten, absolvierten das Aktivitätsprogramm entsprechend der Vorgaben. Dabei erreichten sie während des Trainings nur 65 Prozent der individuell ermittelten maximalen Herzfrequenz und schätzten die vorgegebenen Übungen anhand einer Borg-Skala als lediglich leicht anstrengend ein. Es ist daher anzunehmen, dass die nach der Trainingsintervention erwartete Steigerung der körperlichen Leistungsfähigkeit, der Körperkoordination sowie der Lebensqualität nicht nur wegen der geringen Compliance der Patienten/-innen sondern auch aufgrund einer zu geringen Übungintensität und/oder einer zu kurzen Interventionsdauer ausblieb. Zusätzlich könnte der verstärkte koordinative Anspruch der vorgegebenen Übungen zu einer Überforderung der motorisch deutlich eingeschränkten nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen und somit zu einer weiteren Reduktion deren Motivation geführt haben.

Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit unterstreichen die bereits in früheren Studien festgestellte reduzierte kardiopulmonale Leistungsfähigkeit, Alltagsaktivität sowie Lebensqualität nierentransplantierten Kinder und Jugendlicher im Vergleich zu gesunden Gleichaltrigen. Erstmals wurden auch die koordinativen Fähigkeiten nierentransplantierten Kinder und Jugendlicher untersucht und diesbezüglich erhebliche Einschränkungen nachgewiesen. Der Einsatz des häuslichen videospiegelbasierten Bewegungsprogramms hat sich, in Bezug auf dieses Patientenkollektiv, als durchaus machbar, jedoch wenig effektiv herausgestellt, auch wenn zumindest in Einzelfällen das Bewusstsein für eine körperlich aktivere Alltagsgestaltung geschult werden konnte. Eine nachhaltige Integration regelmäßiger, auf die individuellen Voraussetzungen und Bedürfnisse angepasster körperlicher Aktivität in die medizinische Betreuung sowie den Alltag nierentransplantierten Kinder und Jugendlicher sollte angestrebt werden. Damit könnten diese jungen Patienten/-innen langfristig vor kardiovaskulären Folgeerkrankungen geschützt und folglich die Lebenserwartung sowie die Lebensqualität dauerhaft verbessert werden.

## 6 Literaturverzeichnis

- Akber, A., Portale, A. A. und Johansen, K. L. (2012). **Pedometer-assessed physical activity in children and young adults with CKD**. *Clin J Am Soc Nephrol* 7, 720-726, doi: 10.2215/CJN.06330611.
- Akber, A., Portale, A. A. und Johansen, K. L. (2014). **Use of pedometers to increase physical activity among children and adolescents with chronic kidney disease**. *Pediatr Nephrol* 29, 1395-1402, doi: 10.1007/s00467-014-2787-6.
- Alvarez-Bueno, C., Pesce, C., Cervero-Redondo, I., Sanchez-Lopez, M., Martinez-Hortelano, J. A. und Martinez-Vizcaino, V. (2017). **The Effect of Physical Activity Interventions on Children's Cognition and Metacognition: A Systematic Review and Meta-Analysis**. *J Am Acad Child Adolesc Psychiatry* 56, 729-738, doi: 10.1016/j.jaac.2017.06.012.
- American Thoracic Society (2002). **ATS Statement: Guidelines for the Six-Minute Walk Test**. *Am J Respir Crit Care Med* 166, 111-117, doi: 10.1164/ajrccm.166.1.at1102.
- Anthony, S. J., Hebert, D., Todd, L., Korus, M., Langlois, V., Pool, R., Robinson, L. A., Williams, A. und Pollock-BarZiv, S. M. (2010). **Child and parental perspectives of multidimensional quality of life outcomes after kidney transplantation**. *Pediatr Transplant* 14, 249-256, doi: 10.1111/j.1399-3046.2009.01214.x.
- Aoike, D. T., Baria, F., Kamimura, M. A., Ammirati, A. und Cuppari, L. (2018). **Home-based versus center-based aerobic exercise on cardiopulmonary performance, physical function, quality of life and quality of sleep of overweight patients with chronic kidney disease**. *Clin Exp Nephrol* 22, 87-98, doi: 10.1007/s10157-017-1429-2.
- Arem, H., Moore, S. C., Patel, A., Hartge, P., Berrington de Gonzalez, A., Viswanathan, K., Campbell, P. T., Freedman, M., Weiderpass, E., Adami, H. O., Linet, M. S., Lee, I. M. und Matthews, C. E. (2015). **Leisure time physical activity and mortality: a detailed pooled analysis of the dose-response relationship**. *JAMA Intern Med* 175, 959-967, doi: 10.1001/jamainternmed.2015.0533.

- Bacchetta, J., Ranchin, B., Demede, D. und Allard, L. (2013). **The consequences of pediatric renal transplantation on bone metabolism and growth.** *Curr Opin Organ Transplant* 18, 555-562, doi: 10.1097/MOT.0b013e3283651b21.
- Barnett, L. M., Van Beurden, E., Morgan, P. J., Brooks, L. O. und Beard, J. R. (2008). **Does childhood motor skill proficiency predict adolescent fitness?** *Med Sci Sports Exerc* 40, 2137-2144, doi: 10.1249/MSS.0b013e31818160d3.
- Beaver, W. L., Wasserman, K. und Whipp, B. J. (1986). **A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange.** *J Appl Physiol* (1985) 60, 2020-2027, doi: 10.1152/jappl.1986.60.6.2020.
- Becker-Cohen, R., Nir, A., Rinat, C., Feinstein, S., Algur, N., Farber, B. und Frishberg, Y. (2006). **Risk Factors for Cardiovascular Disease in Children and Young Adults after Renal Transplantation.** *Clin J Am Soc Nephrol* 1, 1284-1292, doi: 10.2215/cjn.01480506.
- Beneke, R. und Leithäuser, R. M. (2008). **Körperliche Aktivität im Kindesalter - Messverfahren.** *Dtsch Z Sportmed* 59, 215-222.
- Benzing, V. und Schmidt, M. (2018). **Exergaming for Children and Adolescents: Strengths, Weaknesses, Opportunities and Threats.** *J Clin Med* 7, URL: [https://res.mdpi.com/jcm/jcm-07-00422/article\\_deploy/jcm-07-00422.pdf](https://res.mdpi.com/jcm/jcm-07-00422/article_deploy/jcm-07-00422.pdf), doi: 10.3390/jcm7110422.
- Benzing, V. und Schmidt, M. (2019). **The effect of exergaming on executive functions in children with ADHD: A randomized clinical trial.** *Scand J Med Sci Sports* 29, 1243-1253, doi: 10.1111/sms.13446.
- Best, J. R. (2013). **Exergaming in Youth: Effects on Physical and Cognitive Health.** *Z Psychol* 221, 72-78, doi: 10.1027/2151-2604/a000137.
- BodyMedia (2012). **Manual & Quick Start Guide.** URL: <https://images-na.ssl-images-amazon.com/images/I/914jo5hgdhS.pdf> [Stand:18. Juli 2019].
- Bohannon, R. W. (2015). **Muscle strength: clinical and prognostic value of hand-grip dynamometry.** *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 18, 465-470, doi: 10.1097/mco.0000000000000202.

- Bonnechere, B., Jansen, B., Omelina, L. und Van Sint Jan, S. (2016). **The use of commercial video games in rehabilitation: a systematic review**. *Int J Rehabil Res* 39, 277-290, doi: 10.1097/MRR.000000000000190.
- Borg, G. (2004). **Anstrengungsempfinden und körperliche Aktivität**. *Dtsch Arztebl Int* 101, 1016-1021.
- Borg, G. A. (1982). **Psychophysical bases of perceived exertion**. *Med Sci Sports Exerc* 14, 377-381.
- Bös, K., Pfeifer, K., Stoll, O., Tittelbach, S. und Woll, A. (2001a). **Testtheoretische Grundlagen**. In: *Handbuch Motorische Tests*, Hrsg. Bös, K., 2. Aufl., Hogrefe, Göttingen, S. 531-569.
- Bös, K., Tittelbach, S., Pfeifer, K., Stoll, O. und Woll, A. (2001b). **Motorische Verhaltenstests**. In: *Handbuch Motorische Tests*, Hrsg. Bös, K., 2. Aufl., Hogrefe, Göttingen, S. 1-207.
- Calabro, M. A., Stewart, J. M. und Welk, G. J. (2013). **Validation of pattern-recognition monitors in children using doubly labeled water**. *Med Sci Sports Exerc* 45, 1313-1322, doi: 10.1249/MSS.0b013e31828579c3.
- Calella, P., Hernández-Sánchez, S., Garofalo, C., Ruiz, J. R., Carrero, J. J. und Bellizzi, V. (2019). **Exercise training in kidney transplant recipients: a systematic review**. *J Nephrol* 32, 567-579, doi: 10.1007/s40620-019-00583-5.
- Caspersen, C. J., Powell, K. E. und Christenson, G. M. (1985). **Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research**. *Public Health Rep* 100, 126-131.
- Christison, A. und Khan, H. A. (2012). **Exergaming for health: a community-based pediatric weight management program using active video gaming**. *Clin Pediatr (Phila)* 51, 382-388, doi: 10.1177/0009922811429480.
- Clapp, E. L., Bevington, A. und Smith, A. C. (2012). **Exercise for children with chronic kidney disease and end-stage renal disease**. *Pediatr Nephrol* 27, 165-172, doi: 10.1007/s00467-010-1753-1.

- Clark, C. G., Cantell, M., Crawford, S. und Hamiwka, L. A. (2012). **Accelerometry-based physical activity and exercise capacity in pediatric kidney transplant patients**. *Pediatr Nephrol* 27, 659-665, doi: 10.1007/s00467-011-2054-z.
- Cooper, D. M., Weiler-Ravell, D., Whipp, B. J. und Wasserman, K. (1984). **Aerobic parameters of exercise as a function of body size during growth in children**. *J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol* 56, 628-634, doi: 10.1152/jappl.1984.56.3.628.
- Creameens, J., Eiser, C. und Blades, M. (2006). **Factors influencing agreement between child self-report and parent proxy-reports on the Pediatric Quality of Life Inventory 4.0 (PedsQL) generic core scales**. *Health Qual Life Outcomes* 4, 58, doi: 10.1186/1477-7525-4-58.
- D'Hondt, E., Deforche, B., Gentier, I., De Bourdeaudhuij, I., Vaeyens, R., Philippaerts, R. und Lenoir, M. (2013). **A longitudinal analysis of gross motor coordination in overweight and obese children versus normal-weight peers**. *Int J Obes* 37, 61-67, doi: 10.1038/ijo.2012.55.
- Davies, C. T., Barnes, C. und Godfrey, S. (1972). **Body composition and maximal exercise performance in children**. *Hum Biol* 44, 195-214.
- Del Corral, T., Cebria, I. I. M. A., Lopez-de-Uralde-Villanueva, I., Martinez-Alejos, R., Blanco, I. und Vilaro, J. (2018). **Effectiveness of a Home-Based Active Video Game Programme in Young Cystic Fibrosis Patients**. *Respiration* 95, 87-97, doi: 10.1159/000481264.
- Deutsche Adipositas-Gesellschaft e.V. (2014). **Interdisziplinäre Leitlinie der Qualität S3 zur „Prävention und Therapie der Adipositas“**. URL: [https://www.adipositas-gesellschaft.de/fileadmin/PDF/Leitlinien/050-001I\\_S3\\_Adipositas\\_Praevention\\_Therapie\\_2014-11.pdf](https://www.adipositas-gesellschaft.de/fileadmin/PDF/Leitlinien/050-001I_S3_Adipositas_Praevention_Therapie_2014-11.pdf) [Stand:01. April 2019].
- Diseth, T. H., Tangeraas, T., Reinfjell, T. und Bjerre, A. (2011). **Kidney transplantation in childhood: mental health and quality of life of children and caregivers**. *Pediatr Nephrol* 26, 1881-1892, doi: 10.1007/s00467-011-1887-9.

- Dobbels, F., Decorte, A., Roskams, A. und Van Damme-Lombaerts, R. (2010). **Health-related quality of life, treatment adherence, symptom experience and depression in adolescent renal transplant patients**. *Pediatr Transplant* 14, 216-223, doi: 10.1111/j.1399-3046.2009.01197.x.
- Eiser, C., Eiser, J. R. und Stride, C. B. (2005). **Quality of life in children newly diagnosed with cancer and their mothers**. *Health Qual Life Outcomes* 3, 29, doi: 10.1186/1477-7525-3-29.
- Eiser, C. und Morse, R. (2001). **Can parents rate their child's health-related quality of life? Results of a systematic review**. *Qual Life Res* 10, 347-357.
- Eiser, C. und Varni, J. W. (2013). **Health-related quality of life and symptom reporting: similarities and differences between children and their parents**. *Eur J Pediatr* 172, 1299-1304, doi: 10.1007/s00431-013-2049-9.
- Evaristo, S., Moreira, C., Lopes, L., Oliveira, A., Abreu, S., Agostinis-Sobrinho, C., Oliveira-Santos, J., Povoas, S., Santos, R. und Mota, J. (2019). **Muscular fitness and cardiorespiratory fitness are associated with health-related quality of life: Results from labmed physical activity study**. *J Exerc Sci Fit* 17, 55-61, doi: 10.1016/j.jesf.2019.01.002.
- Finger, J. D., Varnaccia, G., Borrmann, A., Lange, C. und Mensink, G. (2018). **Körperliche Aktivität von Kindern und Jugendlichen in Deutschland – Querschnittergebnisse aus KiGGS Welle 2 und Trends**. *Journal of Health Monitoring* 3, 24-31, doi: 10.25646/2957.2.
- Förster, H. (2017). **Kindersportmedizin**. In: *Kompendium der Sportmedizin: Physiologie, Innere Medizin und Pädiatrie*, Hrsg. Wonisch, M., Hofmann, P., Förster, H., et al., Springer Vienna, Vienna, S. 419-432.
- Freitas, D. L., Lausen, B., Maia, J. A., Gouveia, E. R., Thomis, M., Lefevre, J., Silva, R. D. und Malina, R. M. (2016). **Skeletal Maturation, Body Size, and Motor Coordination in Youth 11-14 Years**. *Med Sci Sports Exerc* 48, 1129-1135, doi: 10.1249/mss.0000000000000873.

- Freitas, D. L., Lausen, B., Maia, J. A., Lefevre, J., Gouveia, E. R., Thomis, M., Antunes, A. M., Claessens, A. L., Beunen, G. und Malina, R. M. (2015). **Skeletal maturation, fundamental motor skills and motor coordination in children 7-10 years**. *J Sports Sci* 33, 924-934, doi: 10.1080/02640414.2014.977935.
- Friedmann-Bette, B. (2011). **Die Spiroergometrie in der sportmedizinischen Leistungsdiagnostik**. *Dtsch Z Sportmed* 62, 10-15.
- Froböse, I. und Wilke, C. (2002). **Medizinische Trainingstherapie**. In: *Bewegung und Training*, Hrsg. Froböse, I., Hartmann, C., Minow, H.-J., et al., Urban & Fischer, München, Jena, S. 293-329.
- Fuchs, R. (2003). **Sport, Gesundheit und Public Health**, 1. Aufl., Hogrefe, Hildesheim.
- Gaede-Illig, C., Alfermann, D., Zachariae, S. und Menzel, C. (2014). **Körperliche Aktivität erfassen – ein Vergleich vom IPAQ-SF und dem SenseWear Pro Armband**. *Dtsch Z Sportmed* 65, 154-159, doi: 10.5960/dzsm.2014.130.
- Gao, Z., Chen, S., Pasco, D. und Pope, Z. (2015). **A meta-analysis of active video games on health outcomes among children and adolescents**. *Obes Rev* 16, 783-794, doi: 10.1111/obr.12287.
- Gastin, P. B., Cayzer, C., Dwyer, D. und Robertson, S. (2018). **Validity of the ActiGraph GT3X+ and BodyMedia SenseWear Armband to estimate energy expenditure during physical activity and sport**. *J Sci Med Sport* 21, 291-295, doi: 10.1016/j.jsams.2017.07.022.
- Goldstein, S. L. und Montgomery, L. R. (2009). **A pilot study of twice-weekly exercise during hemodialysis in children**. *Pediatr Nephrol* 24, 833-839, doi: 10.1007/s00467-008-1079-4.
- Graf, C., Beneke, R., Bloch, W., Bucksch, J., Dordel, S., Eiser, S., Ferrari, N., Koch, B., Krug, S., Lawrenz, W., Manz, K., Naul, R., Oberhoffer, R., Quilling, E., Schulz, H., Stemper, T., Stibbe, G., Tokarski, W., Volker, K. und Woll, A. (2014). **Recommendations for promoting physical activity for children and adolescents in Germany. A consensus statement**. *Obes Facts* 7, 178-190, doi: 10.1159/000362485.

- Graf, C., Koch, B., Kretschmann-Kandel, E., Falkowski, G., Christ, H., Coburger, S., Lehmacher, W., Bjarnason-Wehrens, B., Platen, P., Tokarski, W., Predel, H. G. und Dordel, S. (2004). **Correlation between BMI, leisure habits and motor abilities in childhood (CHILT-Project)**. *Int J Obes* 28, 22-26, doi: 10.1038/sj.ijo.0802428.
- Graf, D. L., Pratt, L. V., Hester, C. N. und Short, K. R. (2009). **Playing active video games increases energy expenditure in children**. *Pediatrics* 124, 534-540, doi: 10.1542/peds.2008-2851.
- Green, S. und Askew, C. (2018). **Vo<sub>2</sub>peak is an acceptable estimate of cardiorespiratory fitness but not Vo<sub>2</sub>max**. *Journal of Applied Physiology* 125, 229-232, doi: 10.1152/jappphysiol.00850.2017.
- Haga, M. (2008). **The relationship between physical fitness and motor competence in children**. *Child Care Health Dev* 34, 329-334, doi: 10.1111/j.1365-2214.2008.00814.x.
- Hallal, P. C., Victora, C. G., Azevedo, M. R. und Wells, J. C. (2006). **Adolescent physical activity and health: a systematic review**. *Sports Med* 36, 1019-1030, doi: 10.2165/00007256-200636120-00003.
- Hamari, L., Järvelä, L. S., Lähteenmäki, P. M., Arola, M., Axelin, A., Vahlberg, T. und Salanterä, S. (2019). **The effect of an active video game intervention on physical activity, motor performance, and fatigue in children with cancer: a randomized controlled trial**. *BMC research notes* 12, 784-784, doi: 10.1186/s13104-019-4821-z.
- Hamiwka, L. A., Cantell, M., Crawford, S. und Clark, C. G. (2009). **Physical activity and health related quality of life in children following kidney transplantation**. *Pediatr Transplant* 13, 861-867, doi: 10.1111/j.1399-3046.2009.01195.x.
- Hammond, J., Jones, V., Hill, E. L., Green, D. und Male, I. (2014). **An investigation of the impact of regular use of the Wii Fit to improve motor and psychosocial outcomes in children with movement difficulties: a pilot study**. *Child Care Health Dev* 40, 165-175, doi: 10.1111/cch.12029.

- Harambat, J. und Cochat, P. (2009). **Growth after renal transplantation**. *Pediatr Nephrol* 24, 1297-1306, doi: 10.1007/s00467-008-0787-0.
- Hartmann, C., Minow, H.-J. und Senf, G. (2002). **Bewegungs- und Trainingswissenschaftliche Grundlagen**. In: *Bewegung und Training*, Hrsg. Froböse, I., Hartmann, C., Minow, H.-J., et al., Urban & Fischer, München, Jena, S. 1-193.
- HBSC-Studienverbund Deutschland (2015). **Studie Health Behaviour in School-aged Children – Faktenblatt „Körperliche Aktivität bei Kindern und Jugendlichen“**. URL: [http://www.gbe-bund.de/pdf/Faktenbl\\_koerperl\\_aktivitaet\\_2013\\_14.pdf](http://www.gbe-bund.de/pdf/Faktenbl_koerperl_aktivitaet_2013_14.pdf) [Stand: 01. April 2019].
- Hebestreit, H., Lawrenz, W., Zelger, O., Kienast, W. und Jüngst, B.-K. (1997). **Ergometrie im Kindes- und Jugendalter**. *Monatsschr Kinderheilkd* 145, 1326-1336, doi: 10.1007/s001120050235.
- Höchsmann, C., Schüpbach, M. und Schmidt-Trucksäss, A. (2016). **Effects of Exergaming on Physical Activity in Overweight Individuals**. *Sports Med* 46, 845-860, doi: 10.1007/s40279-015-0455-z.
- Höcker, B., Weber, L. T., Feneberg, R., Drube, J., John, U., Fehrenbach, H., Pohl, M., Zimmering, M., Frund, S., Klaus, G., Wühl, E. und Tönshoff, B. (2010). **Improved growth and cardiovascular risk after late steroid withdrawal: 2-year results of a prospective, randomised trial in paediatric renal transplantation**. *Nephrol Dial Transplant* 25, 617-624, doi: 10.1093/ndt/gfp506.
- Howie, E. K., Campbell, A. C. und Straker, L. M. (2016). **An active video game intervention does not improve physical activity and sedentary time of children at-risk for developmental coordination disorder: a crossover randomized trial**. *Child Care Health Dev* 42, 253-260, doi: 10.1111/cch.12305.
- Jalanko, H., Mattila, I. und Holmberg, C. (2016). **Renal transplantation in infants**. *Pediatr Nephrol* 31, 725-735, doi: 10.1007/s00467-015-3144-0.
- Janssen, I. und Leblanc, A. G. (2010). **Systematic review of the health benefits of physical activity and fitness in school-aged children and youth**. *Int J Behav Nutr Phys Act* 7, 40, doi: 10.1186/1479-5868-7-40.

- Kahlert, D. und Brand, R. (2011). **Befragungsdaten und Akzelerometermessung im Vergleich - ein Beitrag zur Validierung des MoMo-Aktivitätsfragebogens.** Dtsch Z Sportmed 62, 36-41.
- Kaidar, M., Berant, M., Krauze, I., Cleper, R., Mor, E., Bar-Nathan, N. und Davidovits, M. (2014). **Cardiovascular risk factors in children after kidney transplantation - from short-term to long-term follow-up.** *Pediatr Transplant* 18, 23-28, doi: 10.1111/petr.12174.
- Kassee, C., Hunt, C., Holmes, M. W. R. und Lloyd, M. (2017). **Home-based Nintendo Wii training to improve upper-limb function in children ages 7 to 12 with spastic hemiplegic cerebral palsy.** *J Pediatr Rehabil Med* 10, 145-154, doi: 10.3233/prm-170439.
- Kiphard, E. J. und Schilling, F. (2007). **Körperkoordinationstest für Kinder** 2.Aufl., Beltz Test, Göttingen.
- Klemt, U. (1988). **Die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit im Kindes- und Jugendalter**, Sport und Buch Strauß, Köln.
- Klepper, S. E. (2008). **Exercise in pediatric rheumatic diseases.** *Curr Opin Rheumatol* 20, 619-624, doi: 10.1097/BOR.0b013e32830634ee.
- Koufaki, P., Mercer, T. H. und Naish, P. F. (2002). **Effects of exercise training on aerobic and functional capacity of end-stage renal disease patients.** *Clin Physiol Funct Imaging* 22, 115-124.
- Kroidl, R. F., Schwarz, S., Lehnigk, B. und Fritsch, J. (2015). **Kursbuch Spiroergometrie**, 3. Aufl., Georg Thieme, Stuttgart New York.
- Kromeyer-Hauschild, K., Wabitsch, M., Kunze, D., Geller, F., Geiß, H. C., Hesse, V., von Hippel, A., Jaeger, U., Johnsen, D., Korte, W., Menner, K., Müller, G., Müller, J. M., Niemann-Pilatus, A., Remer, T., Schaefer, F., Wittchen, H.-U., Zabransky, S., Zellner, K., Ziegler, A. und Hebebrand, J. (2001). **Perzentile für den Body-mass-Index für das Kindes- und Jugendalter unter Heranziehung verschiedener deutscher Stichproben.** *Monatsschr Kinderheilkd* 149, 807-818, doi: 10.1007/s001120170107.

- Krull, F., Schulze-Neick, I., Hatopp, A., Offner, G. und Brodehl, J. (1994). **Exercise capacity and blood pressure response in children and adolescents after renal transplantation.** *Acta Paediatr* 83, 1296-1302.
- Krüll, M. (2016). **Ausdauerleistungsdiagnostik.** In: *Praktische Sportmedizin*, Hrsg. Raschka, C. und Nitsche, L., Georg Thieme, Stuttgart, S. 77-92.
- Lamboglia, C. M., da Silva, V. T., de Vasconcelos Filho, J. E., Pinheiro, M. H., Munguba, M. C., Silva Junior, F. V., de Paula, F. A. und da Silva, C. A. (2013). **Exergaming as a strategic tool in the fight against childhood obesity: a systematic review.** *J Obes* 2013, 438364, doi: 10.1155/2013/438364.
- Lange-Sperandio, B. und Dötsch, J. (2013). **Chronische Niereninsuffizienz im Kindesalter.** *Monatsschr Kinderheilkd* 161, 988-994, doi: 10.1007/s00112-013-2946-z.
- Lee, J. M., Kim, Y., Bai, Y., Gaesser, G. A. und Welk, G. J. (2016). **Validation of the SenseWear mini armband in children during semi-structure activity settings.** *J Sci Med Sport* 19, 41-45, doi: 10.1016/j.jsams.2014.10.004.
- Lemanne, D., Cassileth, B. und Gubili, J. (2013). **The role of physical activity in cancer prevention, treatment, recovery, and survivorship.** *Oncology (Williston Park)* 27, 580-585.
- Levin, A., Stevens, P. E., Bilous, R. W., Coresh, J., De Francisco, A. L. M., De Jong, P. E., Griffith, K. E., Hemmelgarn, B. R., Iseki, K., Lamb, E. J., Levey, A. S., Riella, M. C., Shlipak, M. G., Wang, H., White, C. T. und Winearls, C. G. (2013). **KDIGO 2012 Clinical Practice Guideline for the Evaluation and Management of Chronic Kidney Disease.** *Kidney Int Suppl* 3, 19-62, doi: 10.1038/kisup.2012.73.
- Litwin, M. und Niemirska, A. (2014). **Metabolic syndrome in children with chronic kidney disease and after renal transplantation.** *Pediatr Nephrol* 29, 203-216, doi: 10.1007/s00467-013-2500-1.
- Loftin, M., Sothorn, M., Warren, B. und Udall, J. (2004). **Comparison of VO2 Peak during Treadmill and Cycle Ergometry in Severely Overweight Youth.** *J Sports Sci Med* 3, 554-560.

- Lopez-Sendon, J., Swedberg, K., McMurray, J., Tamargo, J., Maggioni, A. P., Dargie, H., Tendera, M., Waagstein, F., Kjekshus, J., Lechat, P. und Torp-Pedersen, C. (2004). **Expert consensus document on beta-adrenergic receptor blockers**. *Eur Heart J* 25, 1341-1362, doi: 10.1016/j.ehj.2004.06.002.
- Lopez, G. A., Brond, J. C., Andersen, L. B., Dencker, M. und Arvidsson, D. (2018). **Validation of SenseWear Armband in children, adolescents, and adults**. *Scand J Med Sci Sports* 28, 487-495, doi: 10.1111/sms.12920.
- Lubrano, R., Tancredi, G., Bellelli, E., Gentile, I., Scateni, S., Masciangelo, R., De Castro, G., Versacci, P. und Elli, M. (2012). **Influence of physical activity on cardiorespiratory fitness in children after renal transplantation**. *Nephrol Dial Transplant* 27, 1677-1681, doi: 10.1093/ndt/gfr434.
- Maggio, A. B. R., Hofer, M. F., Martin, X. E., Marchand, L. M., Beghetti, M. und Farpour-Lambert, N. J. (2010). **Reduced physical activity level and cardiorespiratory fitness in children with chronic diseases**. *Eur J Pediatr* 169, 1187-1193, doi: 10.1007/s00431-010-1199-2.
- Manz, K., Schlack, R., Poethko-Müller, C., Mensink, G., Finger, J., Lampert, T. und Group, K. S. (2014). **Körperlich-sportliche Aktivität und Nutzung elektronischer Medien im Kindes- und Jugendalter**. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 57, 840-848, doi: 10.1007/s00103-014-1986-4.
- Masajtis-Zagajewska, A., Muras, K. und Nowicki, M. (2018). **Effects of a Structured Physical Activity Program on Habitual Physical Activity and Body Composition in Patients With Chronic Kidney Disease and in Kidney Transplant Recipients**. *Exp Clin Transplant*, 1-10, URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/29766773>, doi: 10.6002/ect.2017.0305.
- Master Sankar Raj, V., Patel, D. R. und Ramachandran, L. (2017). **Chronic kidney disease and sports participation by children and adolescents**. *Transl Pediatr* 6, 207-214, doi: 10.21037/tp.2017.06.03.

- Mathur, S., Janaudis-Ferreira, T., Wickerson, L., Singer, L. G., Patcai, J., Rozenberg, D., Blydt-Hansen, T., Hartmann, E. L., Haykowsky, M., Helm, D., High, K., Howes, N., Kamath, B. M., Lands, L., Marzolini, S. und Sonnenday, C. (2014). **Meeting report: consensus recommendations for a research agenda in exercise in solid organ transplantation**. *Am J Transplant* 14, 2235-2245, doi: 10.1111/ajt.12874.
- McKenna, A. M., Keating, L. E., Vigneux, A., Stevens, S., Williams, A. und Geary, D. F. (2006). **Quality of life in children with chronic kidney disease-patient and caregiver assessments**. *Nephrol Dial Transplant* 21, 1899-1905, doi: 10.1093/ndt/gfl091.
- Meyer, T., Lucia, A., Earnest, C. P. und Kindermann, W. (2005). **A conceptual framework for performance diagnosis and training prescription from submaximal gas exchange parameters-theory and application**. *Int J Sports Med* 26 *Suppl 1*, S38-48, doi: 10.1055/s-2004-830514.
- Mombarg, R., Jelsma, D. und Hartman, E. (2013). **Effect of Wii-intervention on balance of children with poor motor performance**. *Res Dev Disabil* 34, 2996-3003, doi: 10.1016/j.ridd.2013.06.008.
- Müller, C., Winter, C. und Rosenbaum, D. (2010). **Aktuelle objektive Messverfahren zur Erfassung körperlicher Aktivität im Vergleich zu subjektiven Erhebungsmethoden**. *Dtsch Z Sportmed* 61, 11-18.
- Neu, C. M., Rauch, F., Rittweger, J., Manz, F. und Schoenau, E. (2002). **Influence of puberty on muscle development at the forearm**. *Am J Physiol Endocrinol Metab* 283, E103-107, doi: 10.1152/ajpendo.00445.2001.
- Neuhauser, H., Schienkiewitz, A., Rosario, A. S., Dortschy, R. und Kurth, B.-M. (2013). **Referenzperzentile für anthropometrische Maßzahlen und Blutdruck aus der Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland (KiGGS)**, 2. Aufl., Robert Koch-Institut, Berlin.
- Nixon, P. A., Orenstein, D. M. und Kelsey, S. F. (2001). **Habitual physical activity in children and adolescents with cystic fibrosis**. *Med Sci Sports Exerc* 33, 30-35.

- O'Donovan, C., Grealley, P., Canny, G., McNally, P. und Hussey, J. (2014a). **Active video games as an exercise tool for children with cystic fibrosis**. *J Cyst Fibros* 13, 341-346, doi: 10.1016/j.jcf.2013.10.008.
- O'Donovan, C., Roche, E. F. und Hussey, J. (2014b). **The energy cost of playing active video games in children with obesity and children of a healthy weight**. *Pediatr Obes* 9, 310-317, doi: 10.1111/j.2047-6310.2013.00172.x.
- Oguchi, H., Tsujita, M., Yazawa, M., Kawaguchi, T., Hoshino, J., Kohzuki, M., Ito, O., Yamagata, K., Shibagaki, Y. und Sofue, T. (2019). **The efficacy of exercise training in kidney transplant recipients: a meta-analysis and systematic review**. *Clin Exp Nephrol* 23, 275-284, doi: 10.1007/s10157-018-1633-8.
- Paglialonga, F., Lopopolo, A., Scarfia, R. V., Consolo, S., Galli, M. A., Salera, S., Grassi, M. R., Brivio, A. und Edefonti, A. (2014). **Intradialytic cycling in children and young adults on chronic hemodialysis**. *Pediatr Nephrol* 29, 431-438, doi: 10.1007/s00467-013-2675-5.
- Painter, P., Krasnoff, J. und Mathias, R. (2007). **Exercise capacity and physical fitness in pediatric dialysis and kidney transplant patients**. *Pediatr Nephrol* 22, 1030-1039, doi: 10.1007/s00467-007-0458-6.
- Painter, P. L., Hector, L., Ray, K., Lynes, L., Dibble, S., Paul, S. M., Tomlanovich, S. L. und Ascher, N. L. (2002). **A randomized trial of exercise training after renal transplantation**. *Transplantation* 74, 42-48.
- Parsons, S. K., Barlow, S. E., Levy, S. L., Supran, S. E. und Kaplan, S. H. (1999). **Health-related quality of life in pediatric bone marrow transplant survivors: according to whom?** *Int J Cancer Suppl* 12, 46-51.
- Rauch, F., Neu, C. M., Wassmer, G., Beck, B., Rieger-Wettengl, G., Rietschel, E., Manz, F. und Schoenau, E. (2002). **Muscle Analysis by Measurement of Maximal Isometric Grip Force: New Reference Data and Clinical Applications in Pediatrics**. *Pediatr Res* 51, 505-510, doi: 10.1203/00006450-200204000-00017.

- Ravens-Sieberer, U., Auquier, P., Erhart, M., Gosch, A., Rajmil, L., Bruil, J., Power, M., Duer, W., Cloetta, B., Czemy, L., Mazur, J., Czimbalmos, A., Tountas, Y., Hagquist, C., Kilroe, J. und European, K. G. (2007). **The KIDSCREEN-27 quality of life measure for children and adolescents: psychometric results from a cross-cultural survey in 13 European countries**. *Qual Life Res* 16, 1347-1356, doi: 10.1007/s11136-007-9240-2.
- Reinken, L. und van Oost, G. (1992). **Longitudinale Körperentwicklung gesunder Kinder von 0 bis 18 Jahren**. *Klin Padiatr* 204, 129-133, doi: 10.1055/s-2007-1025337.
- Richter-Unruh, A., Doerfer, J. und Schwab, K. O. (2018). **Körperliche Entwicklung im Jugendalter**. In: *Jugendmedizin*, Hrsg. Stier, B., Weissenrieder, N. und Schwab, K. O., 2. Aufl., Springer, Berlin, S. 3-18.
- Ridgers, N. D., Hnatiuk, J. A., Vincent, G. E., Timperio, A., Barnett, L. M. und Salmon, J. (2016). **How many days of monitoring are needed to reliably assess SenseWear Armband outcomes in primary school-aged children?** *J Sci Med Sport* 19, 999-1003, doi: 10.1016/j.jsams.2016.02.009.
- Roi, G. S., Mosconi, G., Totti, V., Angelini, M. L., Brugin, E., Sarto, P., Merlo, L., Sgarzi, S., Stancari, M., Todeschini, P., La Manna, G., Ermolao, A., Tripi, F., Andreoli, L., Sella, G., Anedda, A., Stefani, L., Galanti, G., Di Michele, R., Merni, F., Trerotola, M., Storani, D. und Nanni Costa, A. (2018). **Renal function and physical fitness after 12-mo supervised training in kidney transplant recipients**. *World J Transplant* 8, 13-22, doi: 10.5500/wjt.v8.i1.13.
- Rüth, E.-M., Weber, L. T., Schoenau, E., Wunsch, R., Seibel, M. J., Feneberg, R., Mehls, O. und Tönshoff, B. (2004). **Analysis of the functional muscle-bone unit of the forearm in pediatric renal transplant recipients**. *Kidney Int* 66, 1694-1706, doi: 10.1111/j.1523-1755.2004.00937.
- Sabel, M., Sjolund, A., Broeren, J., Arvidsson, D., Saury, J. M., Blomgren, K., Lannering, B. und Emanuelson, I. (2016). **Active video gaming improves body coordination in survivors of childhood brain tumours**. *Disabil Rehabil* 38, 2073-2084, doi: 10.3109/09638288.2015.1116619.

- Saengsuwan, J., Nef, T., Laubacher, M. und Hunt, K. J. (2015). **Comparison of peak cardiopulmonary performance parameters on a robotics-assisted tilt table, a cycle and a treadmill.** PloS one 10, e0122767-e0122767, doi: 10.1371/journal.pone.0122767.
- Santos-Lozano, A., Hernandez-Vicente, A., Perez-Isaac, R., Santin-Medeiros, F., Cristi-Montero, C., Casajus, J. A. und Garatachea, N. (2017). **Is the SenseWear Armband accurate enough to quantify and estimate energy expenditure in healthy adults?** Ann Transl Med 5, 97, doi: 10.21037/atm.2017.02.31.
- Scharhag-Rosenberger, F. (2010). **Standards der Sportmedizin: Spiroergometrie zur Ausdauerleistungsdiagnostik.** Dtsch Z Sportmed 61, 146-147.
- Scheers, T., Philippaerts, R. und Lefevre, J. (2012). **Variability in physical activity patterns as measured by the SenseWear Armband: how many days are needed?** Eur J Appl Physiol 112, 1653-1662, doi: 10.1007/s00421-011-2131-9.
- Schlicht, W. und Brand, R. (2007). **Körperliche Aktivität, Sport und Gesundheit : eine interdisziplinäre Einführung**, 1. Aufl., Juventa-Verl., Weinheim.
- Schnabel, G., Harre, H.-D. und Krug, J. (2008). **Trainingslehre- Trainingswissenschaft**, Meyer & Meyer, Aachen.
- Schulz, K.-H. und Thaiss, F. (2012). **Langzeitüberleben bei chronischer Niereninsuffizienz.** Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz 55, 543-551, doi: 10.1007/s00103-012-1450-2.
- Schwartz, G. J., Munoz, A., Schneider, M. F., Mak, R. H., Kaskel, F., Warady, B. A. und Furth, S. L. (2009). **New equations to estimate GFR in children with CKD.** J Am Soc Nephrol 20, 629-637, doi: 10.1681/ASN.2008030287.
- Selvadurai, H. C., Blimkie, C. J., Cooper, P. J., Mellis, C. M. und Van Asperen, P. P. (2004). **Gender differences in habitual activity in children with cystic fibrosis.** Arch Dis Child 89, 928-933, doi: 10.1136/adc.2003.034249.
- Senior, H., Henwood, T., D, D. E. S. und Mitchell, G. (2016). **Investigating innovative means of prompting activity uptake in older adults with type 2 diabetes: a feasibility study of exergaming.** J Sports Med Phys Fitness 56, 1221-1225.

- Sethna, C. B., Salerno, A. E., McBride, M. G., Shults, J., Paridon, S. M., Sharma, N., Meyers, K. E. und Leonard, M. B. (2009). **Cardiorespiratory fitness in pediatric renal transplant recipients**. *Transplantation* 88, 395-401, doi: 10.1097/TP.0b013e3181aed7d1.
- Siaplaouras, J. (2016). **Pädiatrie**. In: *Praktische Sportmedizin*, Hrsg. Raschka, C. und Nitsche, L., Georg Thieme, Stuttgart, S. 197-203.
- Smith, J. J., Eather, N., Morgan, P. J., Plotnikoff, R. C., Faigenbaum, A. D. und Lubans, D. R. (2014). **The health benefits of muscular fitness for children and adolescents: a systematic review and meta-analysis**. *Sports Med* 44, 1209-1223, doi: 10.1007/s40279-014-0196-4.
- Smits-Engelsman, B. C. M., Jelsma, L. D. und Ferguson, G. D. (2017). **The effect of exergames on functional strength, anaerobic fitness, balance and agility in children with and without motor coordination difficulties living in low-income communities**. *Hum Mov Sci* 55, 327-337, doi: 10.1016/j.humov.2016.07.006.
- Staiano, A. E., Beyl, R. A., Guan, W., Hendrick, C. A., Hsia, D. S. und Newton, R. L., Jr. (2018). **Home-based exergaming among children with overweight and obesity: a randomized clinical trial**. *Pediatr Obes* 13, 724-733, doi: 10.1111/ijpo.12438.
- Steene-Johannessen, J., Anderssen, S. A., van der Ploeg, H. P., Hendriksen, I. J., Donnelly, A. E., Brage, S. und Ekelund, U. (2016). **Are Self-report Measures Able to Define Individuals as Physically Active or Inactive?** *Med Sci Sports Exerc* 48, 235-244, doi: 10.1249/MSS.0000000000000760.
- Stodden, D. F., Goodway, J. D., Langendorfer, S. J., Roberton, M. A., Rudisill, M. E., Garcia, C. und Garcia, L. E. (2008). **A Developmental Perspective on the Role of Motor Skill Competence in Physical Activity: An Emergent Relationship**. *Quest* 60, 290-306, doi: 10.1080/00336297.2008.10483582.
- Stronski, S. M. (2018). **Körperbild bei Mädchen und Jungen in der Pubertät**. In: *Jugendmedizin*, Hrsg. Stier, B., Weissenrieder, N. und Schwab, K. O., Springer, Berlin, S. 25-29.

- Strunk, K. (2002). **Bewegungserziehung**. In: Bewegung und Training, Hrsg. Froböse, I., Hartmann, C., Minow, H.-J., et al., Urban & Fischer, München, Jena, S. 194-292.
- Tangeraas, T., Midtvedt, K., Cvancarova, M., Hirth, A., Fredriksen, P. M., Tonstad, S., Isaksen, G. A. und Bjerre, A. (2011). **Cardiorespiratory fitness in young adults with a history of renal transplantation in childhood**. *Pediatr Nephrol* 26, 2041-2049, doi: 10.1007/s00467-011-1898-6.
- Tangeraas, T., Midtvedt, K., Fredriksen, P. M., Cvancarova, M., Morkrid, L. und Bjerre, A. (2010). **Cardiorespiratory fitness is a marker of cardiovascular health in renal transplanted children**. *Pediatr Nephrol* 25, 2343-2350, doi: 10.1007/s00467-010-1596-9.
- Thorsteinsdottir, H., Diseth, T. H., Lie, A., Tangeraas, T., Matthews, I., Asberg, A. und Bjerre, A. (2018). **Small effort, high impact: Focus on physical activity improves oxygen uptake (VO<sub>2</sub>peak), quality of life, and mental health after pediatric renal transplantation**. *Pediatr Transplant* 22, e13242, doi: 10.1111/petr.13242.
- Thumfart, J., Querfeld, U. und Müller, D. (2014). **Pädiatrische Nephrologie**. *Der Nephrologe* 9, 395-403, doi: 10.1007/s11560-014-0895-8.
- Tomkinson, G. R., Carver, K. D., Atkinson, F., Daniell, N. D., Lewis, L. K., Fitzgerald, J. S., Lang, J. J. und Ortega, F. B. (2018). **European normative values for physical fitness in children and adolescents aged 9-17 years: results from 2 779 165 Eurofit performances representing 30 countries**. *Br J Sports Med* 52, 1445-14563, doi: 10.1136/bjsports-2017-098253.
- Tönshoff, B., Becker, J. U. und Pape, L. (2017). **Nierentransplantation**. In: Nierenerkrankungen im Kindes- und Jugendalter, Hrsg. Dötsch, J. und Weber, L. T., Springer, Berlin Heidelberg, S. 243-274.
- Tönshoff, B., Billing, H., Rieger, S. und Höcker, B. (2012). **Nierentransplantation im Kindesalter**. *Monatsschr Kinderheilkd* 160, 335-342, doi: 10.1007/s00112-011-2562-8.
- Transdia-Sport Deutschland e.V. (2020). URL: <https://www.transdiaev.de/> [Stand:12. März 2020].

- Tudor-Locke, C., Craig, C. L., Beets, M. W., Belton, S., Cardon, G. M., Duncan, S., Hatano, Y., Lubans, D. R., Olds, T. S., Raustorp, A., Rowe, D. A., Spence, J. C., Tanaka, S. und Blair, S. N. (2011). **How many steps/day are enough? for children and adolescents**. *Int J Behav Nutr Phys Act* 8, 78, doi: 10.1186/1479-5868-8-78.
- Tudor-Locke, C., Pangrazi, R. P., Corbin, C. B., Rutherford, W. J., Vincent, S. D., Raustorp, A., Tomson, L. M. und Cuddihy, T. F. (2004). **BMI-referenced standards for recommended pedometer-determined steps/day in children**. *Prev Med* 38, 857-864, doi: 10.1016/j.ypmed.2003.12.018.
- Tully, C., Aronow, L., Mackey, E. und Streisand, R. (2016). **Physical Activity in Youth With Type 1 Diabetes: a Review**. *Curr Diab Rep* 16, 85, URL: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007%2Fs11892-016-0779-6.pdf> [Stand: 06. August 2019], doi: 10.1007/s11892-016-0779-6.
- Utesch, T., Bardid, F., Büsch, D. und Strauss, B. (2019). **The Relationship Between Motor Competence and Physical Fitness from Early Childhood to Early Adulthood: A Meta-Analysis**. *Sports Medicine* 49, 541-551, doi: 10.1007/s40279-019-01068-y.
- Varni, J. W. (2017). **Scaling and scoring of the Pediatric Quality of Life Inventory™ PedsQL™**. 7-10, URL: <http://www.pedsq.org/PedsQL-Scoring.pdf> [Stand: 17. Juli 2018].
- Varni, J. W., Seid, M. und Kurtin, P. S. (2001). **PedsQL™ 4.0: Reliability and Validity of the Pediatric Quality of Life Inventory™ Version 4.0 Generic Core Scales in Healthy and Patient Populations**. *Med Care* 39, 800-812.
- Wang, D. W., Sills, L. L., MacDonald, S. B., Maianski, Z. und Alwayn, I. (2014). **Active video gaming in patients with renal transplant: a pilot study**. *Transplant Res* 3, 15, doi: 10.1186/2047-1440-3-15.
- Weaver, D. J., Jr., Kimball, T. R., Knilans, T., Mays, W., Knecht, S. K., Gerdes, Y. M., Witt, S., Glascock, B. J., Kartal, J., Khoury, P. und Mitsnefes, M. M. (2008). **Decreased maximal aerobic capacity in pediatric chronic kidney disease**. *J Am Soc Nephrol* 19, 624-630, doi: 10.1681/asn.2007070773.

- Westerterp, K. R. (2017). **Doubly labelled water assessment of energy expenditure: principle, practice, and promise.** *Eur J Appl Physiol* 117, 1277-1285, doi: 10.1007/s00421-017-3641-x.
- Williams, C. A. und Stevens, D. (2013). **Physical activity and exercise training in young people with cystic fibrosis: Current recommendations and evidence.** *J Sport Health Sci* 2, 39-46, doi: 10.1016/j.jshs.2012.11.002.
- Wolf, M. F., George, R. P., Warshaw, B., Wang, E. und Greenbaum, L. A. (2016). **Physical Activity and Kidney Injury in Pediatric and Young Adult Kidney Transplant Recipients.** *J Pediatr* 179, 90-95 e92, doi: 10.1016/j.jpeds.2016.08.079.
- World Health Organization (2011). **Geneva (CH): Global Recommendations on Physical Activity for Health. 5-17 years old.** URL: [http://www.who.int/ncds/prevention/physical-activity/factsheet\\_young\\_people/en/](http://www.who.int/ncds/prevention/physical-activity/factsheet_young_people/en/) [Stand:26. November 2018].
- World Health Organization (2018). **Germany Physical Activity Factsheet 2018.** URL: [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0020/382511/germany-eng.pdf?ua=1](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0020/382511/germany-eng.pdf?ua=1) [Stand:01.04.2019].
- Wu, X. Y., Han, L. H., Zhang, J. H., Luo, S., Hu, J. W. und Sun, K. (2017). **The influence of physical activity, sedentary behavior on health-related quality of life among the general population of children and adolescents: A systematic review.** *PLoS One* 12, URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5679623/pdf/pone.0187668.pdf>, doi: 10.1371/journal.pone.0187668.
- Zernicke, J., Kedor, C., Muller, A., Burmester, G. R., Reissauer, A. und Feist, E. (2016). **A prospective pilot study to evaluate an animated home-based physical exercise program as a treatment option for patients with rheumatoid arthritis.** *BMC Musculoskelet Disord* 17, 351, doi: 10.1186/s12891-016-1208-3.

## 7 Eigene Veröffentlichungen

Aus dem vorliegenden Dissertationsprojekt ging eine im *Pediatric Transplantation* publizierte Originalarbeit mit dem Titel *"Physical fitness and health-related quality of life in pediatric renal transplant recipients: An interventional trial with active video gaming"* hervor, welche die wesentlichen Ergebnisse des Vergleichs nierentransplantiertes und gesunder Kinder und Jugendlicher sowie der Trainingsintervention mittels Wii-Spielekonsole beinhaltet. Die Verlaufsbeobachtung 1 Jahr nach Abschluss der Trainingsintervention wurde jedoch nicht thematisiert. Gemeinsam mit Frau Dr. med. Kathrin Pfeil und Frau Dr. med. Theresa Betz habe ich die Daten erhoben. Des Weiteren führte ich selbstständig die statistische Datenauswertung sowie die Erstellung der Abbildungen durch, wobei mir Frau Dr. Anja Sander, Frau apl. Prof. Dr. med. Birgit Friedmann-Bette und Herr Prof. Dr. med. Burkhard Tönshoff beratend zur Seite standen. Den Manuskripttext habe ich mit fachlicher Unterstützung von Frau apl. Prof. Dr. med. Birgit Friedmann-Bette und Herr Prof. Dr. med. Burkhard Tönshoff weitgehend eigenständig verfasst.

Ausgewählte Studienergebnisse wurden außerdem am 7./8. Dezember 2018 im Rahmen des 40. Symposiums der *Interdisciplinary Study Group Renal Transplantation in Paediatrics* (Heidelberg) mit dem Titel *"Interventional Trial on Physical Activity in Pediatric Renal Transplant Recipients"* präsentiert. Des Weiteren erfolgte eine Vorstellung der Studienergebnisse im Rahmen von Posterpräsentationen bei der 50. Jahrestagung der *Gesellschaft für Pädiatrische Nephrologie* in Köln (27. - 30. März 2019) sowie bei der 66. Jahrestagung des *American College of Sports Medicine* in Orlando, Florida (USA; 28. Mai – 01. Juni 2019). Der zur 50. Jahrestagung der *Gesellschaft für Pädiatrische Nephrologie* eingereichte Abstract wurde außerdem innerhalb eines dazugehörigen Abstractbandes in der Zeitschrift *Nieren- und Hochdruckkrankheiten* (Jg. 48, Heft 3 – März 2019) mit dem Titel *„Videobasiertes Aktivitätsprogramm im häuslichen Umfeld: geeignete Maßnahme zur Verbesserung der reduzierten körperlichen Leistungsfähigkeit nierentransplantiertes Kinder und Jugendlicher?“* veröffentlicht.

## Originalarbeit

Weigmann-Faßbender, S., Pfeil, K., Betz, T., Sander, A., Weiß, K., Tönshoff, B. und Friedmann-Bette, B. (2020). **Physical fitness and health-related quality of life in pediatric renal transplant recipients: An interventional trial with active video gaming.** *Pediatric Transplantation* 24, e13630, doi: 10.1111/petr.13630.

## Abstract

Weigmann-Faßbender, S., Pfeil, K., Huber, G., Weiß, K., Betz, T., Friedmann-Bette, B. und Tönshoff, B. (2019). **Videobasiertes Aktivitätsprogramm im häuslichen Umfeld: geeignete Maßnahme zur Verbesserung der reduzierten körperlichen Leistungsfähigkeit nierentransplantierte Kinder und Jugendlicher?** *Nieren- und Hochdruckkrankheiten* 48 (3), 154.

## **Anhang**

- A Informationsblatt zur Rekrutierung der gesunden Studienteilnehmer/-innen
- B Bewegungstagebuch
- C Wii-Trainingsprotokoll

## A Informationsblatt zur Rekrutierung der gesunden Studienteilnehmer/-innen



UniversitätsKlinikum Heidelberg



Sportmedizin  
Heidelberg

### Kinder und Jugendliche für sportmedizinischen Check-Up gesucht!

Liebe Eltern,

wir führen derzeit eine Studie zur körperlichen Leistungsfähigkeit nierentransplantierter Kinder und Jugendlicher durch und haben festgestellt, dass diese aufgrund ihrer Grunderkrankung in der körperlichen Leistungsfähigkeit z. T. erheblich eingeschränkt sind.

Um die bisher erfassten Daten besser einordnen zu können, suchen wir gesunde 9- bis 11-jährige Jungen, die ebenfalls unsere Testungen absolvieren. Dabei sei darauf hingewiesen, dass wir insbesondere Kinder suchen, die nicht regelmäßig Sport treiben. Die Untersuchungen finden an zwei vereinbarten Tagen in der Medizinischen Klinik (Im Neuenheimer Feld 410, 69120 Heidelberg) statt und dauern jeweils ca. 1,5 Stunden.

**Was wollen wir machen?**

- eine Belastungsuntersuchung
- einen Koordinationstest
- eine Handkraft- und Aktivitätsmessung

*Es werden keine eingreifenden Maßnahmen durchgeführt!*

**Was hat Ihr Kind davon?**

- Beurteilung des Gesundheits- und Fitnessstatus durch einen Sportmediziner
- Beratung zur gesundheitsförderlichen Alltagsgestaltung
- Einen Amazon-Gutschein im Wert von 30,00€

Bei Interesse senden Sie mir bitte Ihren Namen und Telefonnummer per E-Mail an [Sandra.Weigmann-Fassbender@med.uni-heidelberg.de](mailto:Sandra.Weigmann-Fassbender@med.uni-heidelberg.de) sowie mögliche Zeiten, zu denen ich Sie zurückrufen darf.  
Außerdem bin ich dienstags von 14 – 17 Uhr unter 06221-568105 für Sie erreichbar.

-----

Alternativ geben Sie bitte diesen Abriss mit Ihrem Namen und Ihrer Telefonnummer im Sekretariat der Schule ab. Ich rufe Sie dann zurück.

Name: \_\_\_\_\_ Tel.: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Vielen Dank!  
Sandra Weigmann-Faßbender

## B Bewegungstagebuch

Datum	Schlaf von ... bis ... Uhr	Arbeit / Schule von ... bis ... Uhr	Sport Was? Wie lange? Wie anstrengend (s. Borg-Skala)?	Besonderheiten an diesem Tag?
<b>z.B. 01.01.2017</b>	23 – 6.30 Uhr	8 – 13.15 Uhr	Schwimmen, 1 h, 5	Schnupfen
<b>Bewegungstagebuch – Vielen Dank für Deine Mithilfe!</b>				

## C Wii-Trainingsprotokoll

### Woche 1:

#### Tag 1 ( \_\_\_\_\_ )

	Was		Herzfrequenz	Belastung (s. Borg-Skala)
2x	Hula Hoop	Aerobic		
2x kurze Strecke	Joggen	Aerobic		
2x	Basic Step	Aerobic		
2x 10 Wiederholungen	Liegestütz	Muskelübung		
2x 10 Wiederholungen pro Bein	Ausfallschritt	Muskelübung		
2x	Skislalom	Balanceübung		

#### Besonderheiten Tag 1:

---

---

#### Tag 2 ( \_\_\_\_\_ )

	Was		Herzfrequenz	Belastung (s. Borg-Skala)
1x lange Strecke	Joggen	Aerobic		
2x	Basic Step	Aerobic		
2x 10 Wiederholungen	Liegestütz	Muskelübung		
2x 10 Wiederholungen pro Bein	Ausfallschritt	Muskelübung		
2x	Taillendreher	Muskelübung		
2x	Kugelballett	Balanceübung		

#### Besonderheiten Tag 2:

---

---

**Tag 3 ( \_\_\_\_\_ )**

	<b>Was</b>		<b>Herzfrequenz</b>	<b>Belastung (s. Borg-Skala)</b>
2x 6 Wiederholungen pro Arm und Bein	Beinstrecker	Muskelübung		
2x	Hula Hoop	Aerobic		
2x lange Strecke	Joggen	Aerobic		
2x	Basic Step	Aerobic		
2x 10 Wiederholungen	Liegestütz	Muskelübung		
2x 10 Wiederholungen pro Bein	Ausfallschritt	Muskelübung		
2x	Balanceübung deiner Wahl	Balanceübung		

**Besonderheiten Tag 3:**

---

---

**Zusätzliche körperliche Aktivität in Woche 1: \_\_\_\_\_**

---



## Danksagung

An erster Stelle möchte ich mich bei Frau apl. Prof. Dr. med. Birgit Friedmann-Bette bedanken, die es mir ermöglicht hat, neben meiner Anstellung in der Abteilung Sportmedizin das vorliegende Dissertationsprojekt zu bearbeiten. Ich bin überaus dankbar für ihre engagierte und umfangreiche fachliche Beratung während der Planung, Durchführung und Auswertung der Studie sowie für ihre Geduld und Unterstützung bei der Erstellung der Publikation, der Präsentationen und Poster, die aus dem vorliegenden Dissertationsprojekt hervorgingen. Des Weiteren möchte ich mich für die finanzielle Unterstützung bedanken, die neben der Durchführung der Studie unter anderem meine Teilnahme an der 66. Jahrestagung des American College of Sports Medicine in Orlando (Florida, USA) möglich machte!

Herrn Prof. Dr. med. Burkhard Tönshoff gilt mein Dank insbesondere für die fachkundige Beratung und Unterstützung auf dem Gebiet der pädiatrischen Nierentransplantation sowie für die kritischen Hinweise bei der Datenauswertung und der Erstellung des Manuskripts sowie der Kongressvorträge. Außerdem möchte ich mich für die Bereitstellung der Wert-Gutscheine bedanken, die wir den Kindern und Jugendlichen der Kontrollgruppe als Aufwandsentschädigung zur Verfügung stellten.

Weiterhin möchte ich mich bei Frau Dr. med. Kathrin Pfeil bedanken, die das Projekt zu Beginn als hauptverantwortliche Studienleiterin führte, mir stets beratend zur Seite stand und mich bei der Rekrutierung der nierentransplantierten Kinder und Jugendlichen sowie bei der Datenerhebung unterstützte.

Frau Dr. med. Theresa Betz danke ich ebenfalls für die umfangreiche Unterstützung bei der Durchführung der studienrelevanten Testungen, die nicht selten über die reguläre Arbeitszeit hinausgingen.

Des Weiteren bedanke ich mich bei Herrn Dr. phil. Klaus Weiß für die Bereitstellung und jeweilige Vorbereitung der SenseWear<sup>®</sup>-Armbänder sowie die fachkundige Beratung bei der Auswertung der Aktivitätsdaten. Herrn Dr. phil. Markus Buchner und Herrn Prof. Dr. phil. Gerhard Huber danke ich für die Bereitstellung der KTK-Testutensilien sowie des Jamar<sup>®</sup> Handdynamometers.

Frau Dr. sc. hum. Anja Sander möchte ich für die biometrische Beratung bei der Planung der gesunden Kontrollgruppe sowie für ihre Geduld und Hilfsbereitschaft im Zuge der statistischen Datenauswertung danken.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinem Ehemann Jan, meinen Eltern sowie meinen Schwiegereltern, die mich zu jeder Zeit bei diesem Projekt unterstützt und mir in anstrengenden und stressigen Zeiten den Rücken freigehalten haben.

Für das kritische Gegenlesen meiner Dissertationsschrift möchte ich mich außerdem bei meinem Vater Ingo sowie Herrn Mario Parstorfer bedanken.

Abschließend bedanke ich mich bei allen nierentransplantierten und gesunden Kindern und Jugendlichen sowie deren Familien für die Teilnahme an der Studie und bei den Mitarbeitern/-innen der Nierentransplantationsambulanz der Universitätskinderklinik Heidelberg sowie der Schulen im Raum Heidelberg für die Unterstützung bei der Rekrutierung der Studienteilnehmer/-innen.

## Eidesstattliche Versicherung

1. Bei der eingereichten Dissertation zu dem Thema *Körperliche Aktivität, Leistungsfähigkeit und gesundheitsbezogene Lebensqualität bei nierentransplantierten Kindern und Jugendlichen: Positive Effekte durch Einsatz videobasierter Aktivitätsprogramme im häuslichen Umfeld?* handelt es sich um meine eigenständig erbrachte Leistung.
2. Ich habe nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und mich keiner unzulässigen Hilfe Dritter bedient. Insbesondere habe ich wörtlich oder sinngemäß aus anderen Werken übernommene Inhalte als solche kenntlich gemacht.
3. Die Arbeit oder Teile davon habe ich bisher nicht an einer Hochschule des In- oder Auslands als Bestandteil einer Prüfungs- oder Qualifikationsleistung vorgelegt.
4. Die Richtigkeit der vorstehenden Erklärung bestätige ich.
5. Die Bedeutung der eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unrichtigen oder unvollständigen eidesstattlichen Versicherung sind mir bekannt. Ich versichere an Eides statt, dass ich nach bestem Willen die reine Wahrheit erklärt und nichts verschwiegen habe.

Ort und Datum

Unterschrift