

Gernot Kalt

## **Entwicklung eines Meßprotokolls zur telemetrischen Sauerstoffverbrauchsmessung in der Fortbewegung bei gesunden und cerebralparetischen Kindern**

Geboren am 20.07.1972 in Heidelberg

Reifeprüfung am 27.05.1992 in Neckargemünd

Studiengang der Fachrichtung Zahnmedizin vom WS 1992 bis SS 1998

Physikum am 22.03.1995 an der Universität Heidelberg

Staatsexamen am 27.07.1998 an der Universität Heidelberg

Promotionsfach: Orthopädie

Doktorvater: Prof. Dr. H.J. Gerner

Das Gangbild von Kindern mit spastischer Di- bzw. Hemiparese ist im allgemeinen gekennzeichnet durch biomechanisch und energetisch ungünstige Bewegungsabläufe.

Um einen gezielten Einblick in die Pathologie dieser Bewegungsabläufe zu ermöglichen wurde an der Stiftung Orthopädische Universitätsklinik Heidelberg ein Laboratorium für instrumentelle Ganganalyse eingerichtet.

Neben bewährten Untersuchungsparametern wie Videoanalyse, Computerunterstützte 3-dimensionale Analyse von Bewegungsabläufen (Kinematik), Analyse von Drehmomenten an den unteren Extremitäten über in den Boden eingelassene Kraftmeßplatten (Kinetik) sowie elektromyographische Untersuchungen mit dem Ziel Informationen über Muskelaktivitäten zu erhalten, soll der Sauerstoffverbrauch in der Fortbewegung Informationen über die Gangökonomie liefern.

Ziel dieser Studie war es, zum einen ein Meßprotokoll zur telemetrischen Sauerstoffverbrauchsmessung in der Fortbewegung bei gesunden und cerebralparetischen Kindern zu entwickeln, und zum anderen, da dieses routinemäßiger Bestandteil einer Ganganalyse werden soll, dieses in Bezug auf die Reproduzierbarkeit der Meßergebnisse hin zu überprüfen bzw. den Rahmen der Standartabweichung exakt zu definieren.

Parallel sollten funktionelle Parameter wie die Atemfrequenz, das Atemminutenvolumen und die Herzfrequenz mit erfaßt werden. Diese Parameter wurden auf Reproduzierbarkeit hin untersucht, ferner in wieweit sie mit dem Sauerstoffverbrauch in Verbindung stehen, sowie die Frage geklärt, ob sie eine Sauerstoffverbrauchsmessung ersetzen können. Insbesondere wurde die Beziehung zwischen dem Sauerstoffverbrauch und der Herzfrequenz analysiert. Es sollte die Frage, ob eventuell die alleinige Herzfrequenzbestimmung im Rahmen einer Ganganalyse eine ausreichende Einschätzung des Energieaufwandes (Muskelarbeit) erlaubt, geklärt werden.

Der Sauerstoffverbrauch wurde mit dem „K2-Gerät“ der Firma Cosmed ermittelt. Es handelt sich um ein kleines tragbares telemetrisches System zur Bestimmung von Ventilation, Sauerstoffverbrauch und Herzfrequenz.

Um die intraindividuelle Reproduzierbarkeit verschiedener Sauerstoffverbrauchsmessungen vornehmen zu können, mußte die Geschwindigkeit mit in das Meßprotokoll einbezogen werden, da damit zu rechnen war, daß Kinder zu verschiedenen Zeitpunkten von Sauerstoffverbrauchsmessungen in der Fortbewegung beim freien Gehen in selbstgewählter Geschwindigkeit, verschiedene Geschwindigkeiten wählen.

Die Studie wurde an 7 gesunden Kindern im Alter von 6 bis 13 Jahren, sowie 6 Kindern mit spastischer Diparese im Alter von 8 bis 16 Jahren durchgeführt.

Die Messung begann zunächst im Sitzen, wobei darauf geachtet wurde, daß die Kinder keine Bewegungen durchführten, so daß die Möglichkeit auf Einstellung eines Steady states, das heißt ein konstanter Wert bezüglich Sauerstoffverbrauch, Herzfrequenz, Atemvolumen sowie respiratorischer Frequenz, bestand. Hatte sich ein solches „Ruhe-Steady state“ eingestellt, wurde das Kind aufgefordert auf der sich vor dem Stuhl befindenden Gehstrecke zu gehen, wobei das Kind solange zirkulär auf der Gehstrecke ging, bis sich ein zweites Steady state, das sogenannte Geh-Steady state eingestellt hatte.

Die Differenz beider Steady states sollte den Energieaufwand der Aktivität, das heißt die beim Gehen aufgebrauchte Muskelarbeit, widerspiegeln.

Um die Reproduzierbarkeit dieser Steady states zu überprüfen wurde dieser Vorgang 3 mal direkt hintereinander wiederholt. Um eine Aussage über die Reproduzierbarkeit der ermittelten Steady states an verschiedenen Tagen zu ermöglichen, wurde diese Versuchsanordnung wiederum an drei direkt aufeinanderfolgenden Tagen wiederholt.

Ergebnis dieser Studie ist zunächst, daß sich bezüglich der direkt ermittelten Parameter - Sauerstoffverbrauch, Atemvolumen, respiratorische Frequenz und Herzfrequenz – bei sowohl Patienten als auch Probanden bei allen Messungen sowohl in Ruhe als auch im Gehen ein Steady state eingestellt hat.

Für die Festlegung des routinemäßigen Versuchsprotokolls ist wichtig, daß eine Zeit für die Sitz- bzw. Gehphase festgelegt wird, innerhalb der sich mit größter Wahrscheinlichkeit jeweils ein Steady state einstellt. Die in dieser Versuchsreihe maximal benötigten Zeiten sollten von daher für das routinemäßige Meßprotokoll herangezogen werden. Im Falle des Ruhe-steady states bedeutet dies eine Sitzzeit von 4 min.. Die im Gehen maximal benötigte Zeit betrug  $3\frac{1}{2}$  min., so daß bei einer Zugabe von 30 sec. mit 4 min. das Erreichen der Geh-Steady states ebenfalls zeitlich sichergestellt sein müßte.

Der intraindividuell insgesamt am besten reproduzierbarste direkt ermittelte Parameter ist der Sauerstoffverbrauch. Eine nochmalige Verbesserung der intraindividuellen Reproduzierbarkeit brachte die Einbeziehung der Geschwindigkeit in Form des Oxygen cost index (ml/kg/m). Für den Oxygen cost index wurde ein maximaler prozentualer Variationskoeffizient von 4,1% gefunden.

Die Parameter Atemvolumen und respiratorische Frequenz eignen sich nicht als Parameter für die Gangökonomie, da sie bereits intraindividuell über mehrere Messungen stärkeren Schwankungen unterliegen, die keinen direkten Zusammenhang mit dem Sauerstoffverbrauch erkennen lassen.

Die Herzfrequenz läßt zwar intraindividuell eine direkte lineare Beziehung mit dem Sauerstoffverbrauch erkennen, sie eignet sich aber dennoch nicht als Ersatz für die Sauerstoffverbrauchsmessung, da die intraindividuelle Beziehung zwischen Sauerstoffverbrauch und Herzfrequenz zum einen weniger gut korreliert als der reine Sauerstoffverbrauch, und zum anderen eine allgemeingültige Beziehung beider Parameter interindividuell nicht besteht.

Aufgrund der sehr guten intraindividuellen Reproduzierbarkeit der Sauerstoffwerte sowohl innerhalb eines Tages als auch über 3 aufeinanderfolgende Tage, sowie der deutlich gemachten Beziehung der Sauerstoffverbrauchswerte mit der Geschwindigkeit, kann davon ausgegangen werden, daß die beim Gehen aufgewandte Muskelarbeit mit einem entsprechend hohen Energieaufwand, deutlich gemacht über den Sauerstoffverbrauch, korreliert.

Aus therapeutischer Sicht kann beispielsweise anhand von Sauerstoffverbrauchsmessungen individuell die ökonomischste Gehhilfe ermittelt werden.

Der interindividuelle Vergleich der Sauerstoffverbrauchswerte zeigte bereits bei den Ruhewerten eine starke Varianz, die auch nicht durch Einbeziehung des Körpergewichts („simple ratio standard“) ausgeglichen werden konnte. Neben Alter, Geschlecht, Körpergröße etc. sind sicher auch genetisch bedingte interindividuelle Unterschiede diesbezüglich verantwortlich. Soll dennoch ein interindividueller Vergleich vor allem von Kindern mit Cerebralparese und gesunden Kindern erfolgen, muß zunächst auf der Grundlage dieser Studie eine weitere Studie folgen, in der die Beziehung von Alter, Geschlecht, Körpergröße, Körpergewicht sowie die Gehgeschwindigkeit mit dem Sauerstoffverbrauch analysiert wird. Um einen intraindividuellen Vergleich über mehrere Jahre beispielsweise im Rahmen von postoperativen Kontrolluntersuchungen vornehmen zu können, müssen Parameter wie Alter, Körpergröße Körpergewicht und eine sich ändernde Gehgeschwindigkeit ebenfalls mit in die Analyse einbezogen werden. Es empfiehlt sich von daher eine weitere Studie durchzuführen, die den Einfluß genannter Parameter auf den Sauerstoffverbrauch im Laufe der kindlichen Entwicklung über mehrere Jahre ebenso analysiert.