

**Aus der Kinderklinik und Poliklinik
der Universität Würzburg
Direktor: Professor Dr. med. C. P. Speer**

Erfassung der körperlichen Aktivität mittels Accelerometrie und Pedometrie

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der

Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

Katja Streng

aus Würzburg

Würzburg, Januar 2019

Referent: Prof. Dr. H. Hebestreit

Koreferent: Prof. Dr. H. Faller

Dekan: **Prof. Dr. M. Frosch**

Tag der mündlichen Prüfung: 15.07.2019

Die Promovendin ist Ärztin

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-----------|
| 1. Einleitung | 1 |
| 1.1 Körperliche Aktivität und Aktivitätsmessung..... | 1 |
| 1.1.1 Körperliche Aktivität: Definition und Empfehlungen | 1 |
| 1.1.2 Subjektive und objektive Aktivitätsmessung | 2 |
| 1.1.3 Aktivitätsmessung bei Mukoviszidose | 6 |
| 1.2 Fragestellung | 8 |
| 2. Material und Methoden | 9 |
| 2.1 Untersuchungskollektive | 9 |
| 2.2 Untersuchungsablauf | 10 |
| 2.3 Vorbereitung der Accelerometer und Pedometer | 12 |
| 2.4 Verarbeitung der Accelerometer-Daten..... | 13 |
| 2.4.1 Gültige Tage..... | 13 |
| 2.4.2 Wear Time Validation | 13 |
| 2.4.3 Scoring..... | 14 |
| 2.5 Verarbeitung der Pedometer-Daten..... | 15 |
| 2.6 Statistische Methoden..... | 16 |
| 3. Ergebnisse | 17 |
| 3.1 Patienten- und Probandenkollektiv | 17 |
| 3.2 Vergleiche zwischen den Accelerometer-Modellen | 18 |
| 3.2.1 Schritte pro Tag | 19 |
| 3.2.2 Zeitanteil in MVPA und cpm | 20 |
| 3.3 Zusammenhänge zwischen Pedometer- und Accelerometer- Messwerten | 22 |
| 3.3.1 Schritte pro Tag | 22 |
| 3.3.2 Schritte pro Tag – Zeitanteil in MVPA bzw. cpm..... | 27 |
| 3.3.3 Aerobe Schritte pro Tag – Zeitanteil in intensiver Aktivität bzw. Zeitanteil in MVPA | 28 |
| 3.3.4 Differenzierung der aktiven und inaktiven Probandenhälfte | 29 |
| 3.4 Aktivitätsempfehlung Pedometer – Accelerometer | 29 |
| 4. Diskussion | 32 |
| 4.1 Vergleich der Schritte zwischen den Geräten..... | 32 |
| 4.2 Vergleich der beiden Accelerometer-Modelle untereinander..... | 35 |
| 4.3 Zusammenhänge zwischen Accelerometer- und Pedometer-Messwerten | 37 |
| 4.4 Aktivitätsempfehlungen | 43 |
| 4.5 Vergleich des Aktivitätsverhaltens von Kollektiv 1 mit Kollektiv 2..... | 45 |

| | |
|--------------------------------------|-----------|
| 4.6 Limitationen der Studie | 47 |
| 4.7 Fazit | 48 |
| 4.7.1 Pedometer | 48 |
| 4.7.2 Accelerometer | 48 |
| 4.7.3 Ausblick | 49 |
| 5. Zusammenfassung | 51 |
| 6. Literaturverzeichnis | 53 |
| 7. Anhang | 57 |

1. Einleitung

Körperliche Aktivität hat positive Effekte auf Gesundheit und Wohlbefinden sowohl bei Gesunden als auch bei chronisch Kranken. Bewegungsmangel wurde durch die Weltgesundheitsorganisation als einer der führenden gesundheitlichen Risikofaktoren identifiziert, während eine ausreichende körperliche Betätigung den kardiovaskulären und metabolischen Zustand verbessert [1]. Dies gilt nicht nur für die gesunde Bevölkerung, sondern auch für chronisch erkrankte Kinder, Jugendliche und Erwachsene.

Nicht einheitlich geklärt ist hingegen die Frage, wie körperliche Aktivität im alltäglichen Leben gemessen werden kann.

1.1 Körperliche Aktivität und Aktivitätsmessung

1.1.1 Körperliche Aktivität: Definition und Empfehlungen

Körperliche Aktivität wurde 1985 von Caspersen et al. definiert als „any bodily movement produced by skeletal muscles that results in energy expenditure“ [2].

Zur Prävention von Folgeerkrankungen der körperlichen Inaktivität, sowie zur Steigerung von Gesundheit und Lebensqualität wurden von verschiedenen Institutionen und Organisationen Empfehlungen zum richtigen Maß körperlicher Aktivität aufgestellt. Erstmals wurde eine solche Empfehlung im Jahre 1995 von den *Centers for Disease Control and Prevention* in Zusammenarbeit mit dem *American College of Sports Medicine* erarbeitet. Danach sollten Erwachsenen mindestens 30 Minuten körperliche Aktivität in moderater Intensität an den meisten Tagen der Woche ausüben [3]. Ähnlich äußerte sich ein Jahr später das *US Department of Health and Human Services* [4]. Die *World Health Organization* empfiehlt heute Erwachsenen das Ausüben moderater Aktivität über mindestens 150 Minuten wöchentlich in Perioden von wenigstens 10-minütiger Dauer. Kinder und Jugendliche sollen täglich mindestens 60 Minuten mit moderater bzw. intensiver Aktivität verbringen [1].

Für chronisch kranke Menschen, wie z.B. Menschen mit Mukoviszidose, gibt es keine evidenzbasierten Aktivitätsempfehlungen, da genaue Zusammenhänge zwischen dem Ausmaß an Bewegung und gesundheitlichen Effekten, u.a. auch aufgrund fehlender

Möglichkeiten der Quantifizierung von Aktivität, bisher unklar sind. Gerade für diese Gruppe wäre eine genaue Messung des Bewegungsverhaltens mit anschließender Möglichkeit zur individuellen Beratung von besonderer Wichtigkeit [5].

1.1.2 Subjektive und objektive Aktivitätsmessung

Die Erfassung körperlicher Aktivität ist insbesondere erforderlich, um den tatsächlichen Ist-Zustand, sowie Veränderungen des Aktivitätszustandes von gesunden, wie auch von chronisch erkrankten Bevölkerungsgruppen, zu erfassen, Zusammenhänge zwischen körperlicher Aktivität und deren Auswirkungen auf die Gesundheit zu quantifizieren, und um Effekte von Interventionsprogrammen zu überprüfen [6].

Die Verfahren zur Aktivitätsmessung lassen sich in die Gruppe der subjektiven und der objektiven Methoden einteilen.

Zu den subjektiven Methoden werden hauptsächlich Fragebögen, Interviews und Aktivitäts-Tagebücher gezählt. Zu den objektiven Methoden gehören die direkte Observation, direkte und indirekte Kalorimetrie, Pedometrie (Schrittzählung), Accelerometrie (Beschleunigungsmessung) sowie die Herzfrequenz-Messung [7].

Vermehrt wird in aktuellen Aktivitätsstudien aufgrund von Zweifeln an der Validität subjektiver Verfahren wie Aktivitätsfragebögen auf objektive (apparative) Messmethoden zurückgegriffen. Eine Schwierigkeit der Aktivitätserfassung mittels Fragebögen ist die Genauigkeit der Information, welche insbesondere beeinflusst wird durch das Vermögen der Probanden, sich an alle relevanten Details ihrer Aktivitäten zu erinnern (Recall-Bias). Durch das wechselhaftere Aktivitätsverhalten und altersentsprechender Unterschiede hinsichtlich kognitiver und sprachbedingter Fertigkeiten ist es gerade für Kinder schwierig, ihre Aktivitäten anhand von Fragebögen, Interviews oder Tagebüchern exakt wiederzugeben. Beachtet werden muss außerdem, dass die Beantwortung der Fragen beeinflusst wird durch das Streben nach sozialer Erwünschtheit, dem sogenannten Response-Bias [6, 8, 9]. Die Messungen mit subjektiven Methoden weisen eine Tendenz zur Überschätzung der körperlichen Aktivität, insbesondere in den hohen Intensitätsbereichen auf. Vergleiche zwischen subjektiven und objektiven Messmethoden zeigen demnach nur geringe Korrelationen [6, 10].

Aktivitätsmessungen mit objektiven Methoden sollen in erster Linie die Genauigkeit verbessern und dem genannten Recall-Bias und Response-Bias entgegenwirken.

Unter den objektiven Messmethoden zeigt sich ein Trend zum Gebrauch tragbarer Geräte, wie Pedometer und Accelerometer [11], welche in dieser Studie untersucht werden und im Folgenden zunächst genauer beschrieben werden.

Schrittzähler (Pedometer)

Die Verwendung von Pedometern gewinnt immer mehr an Beliebtheit und die Zahl der Studien, die sich dieser Messmethode bedienen, wächst stetig. Studien aus den letzten Jahren beispielsweise ergaben für Kinder positive Zusammenhänge zwischen den täglich getätigten Schritten und dem aeroben Fitness-Level [12], der Knochendichte [13] und dem seelischen Wohlbefinden [14].

Neben der reinen Aktivitätsmessung werden Pedometer erfolgreich in Interventionsstudien als Motivationshilfe zum Erreichen definierter Ziele und zur Verhaltensänderung bei Interventionen eingesetzt [15-17].

Tudor-Locke et al. zeigten, dass man sich beim Tätigen von etwa 3000 Schritten pro halber Stunde in einem moderaten Aktivitätsbereich befindet. Damit stellte er auch für die Pedometrie einen Richtwert zur Einhaltung der empfohlenen Aktivitäts-Menge zur Verfügung: Gesunde Erwachsene sollten täglich 7000-8000 Schritte machen, davon circa 3000 in zügigem Tempo. Die empfohlenen 60 Minuten in mindestens moderater Aktivität für Jugendliche sollen durch ca. 11000 Schritten erreicht werden.

Ein anderes weit akzeptiertes und häufig angewandtes Ziel in (Interventions-)Studien ist das Erreichen von 10000 Schritten pro Tag [18-21].

Die Funktionsweise der heute gängigen Pedometer beruht auf elektronischer Messung per Piezoelektrizität. Die ursprüngliche mechanische Messung mittels Pendel-Mechanismus wurde weitestgehend ersetzt. Meist werden zudem mehrere Sensoren eingebaut, wodurch erreicht wird, dass die Ausrichtung und Positionierung des getragenen Pedometers an Bedeutung verliert, was die Genauigkeit der Messung erhöht [22].

Das in der vorliegenden Studie eingesetzte triaxiale Modell Omron HJ-322 ist in der Lage, die gesamte tägliche Schrittzahl sowie die sogenannten aeroben Schritte

(Aerobic Steps) zu bestimmen und daraus die zurückgelegte Wegstrecke und den Kalorienverbrauch abzuschätzen. Schritte werden dann als aerob klassifiziert, wenn der Träger über mindestens 10 aufeinanderfolgende Minuten mit einer Frequenz von mehr als 60 Schritten pro Minuten geht bzw. läuft. Die Werte der letzten sieben Tage bleiben auf dem 27 g schweren Gerät gespeichert und können jederzeit abgerufen werden.

Für das Modell Omron HJ-322 lässt sich bisher nur sehr wenig Literatur finden. In einer Validierungsstudie von Hasson 2009 wurde jedoch einem Vorgängermodell (Omron HJ-112) eine hohe Präzision und Genauigkeit zugesprochen, unabhängig von der BMI-Klasse und verschiedenen Positionierungen [22]. Holbrook et al. zeigten ebenfalls eine hohe Validität und Reliabilität für die Omron-Modelle HJ-151 und HJ-720ITC [23].

Beschleunigungssensoren (Accelerometer)

Accelerometer sind Beschleunigungssensoren, die Dauer, Häufigkeit und Intensität von Aktivität messen und dies in Form von Activity Counts aufzeichnen, wobei gilt: je höher die Intensität der Aktivität, desto höher die resultierenden Activity Counts [24].

Montoye et al. waren die Ersten, die 1983 die Technik der Accelerometrie zur objektiven Erfassung körperlicher Aktivität genutzt haben [25]. Seitdem lässt sich ein exponentielles Wachstum der Anzahl an Studien, die mit Accelerometer arbeiten, verzeichnen [26].

Bei den heute gängigen Accelerometern werden die Beschleunigungssignale durch kapazitive Messung erfasst. Eine Beschleunigung führt zur Auslenkung einer Kondensatorplatte, woraus eine der Beschleunigung proportionale Änderung der elektrischen Kapazität erfolgt. Die Daten werden digitalisiert und anschließend mit firmeneigenen Algorithmen gefiltert. Die Bandbreite dafür wird so ausgewählt, dass möglichst alle Beschleunigungswerte normaler menschlicher Bewegung erfasst, Bewegungen von außen (z.B. hervorgerufen durch eine U-Bahn-Fahrt) jedoch ausgeschlossen werden. Diese gefilterten Daten werden am Ende als Activity Counts ausgegeben [27]. Im Gegensatz zu den verwendeten Schrittzählern, die die Zahl der Schritte pro Tag aufsummieren, erlauben Accelerometer nicht nur eine Messung der Intensität einer Aktivität, sondern auch eine zeitlich hochaufgelöste (sekundengenaue) Darstellung des Aktivitätsprofils über einen Tag.

Für diese Studie wurden Accelerometer der Firma ActiGraph verwendet. Zur Verfügung standen die Modelle GT1M, GT3X+ und wGT3X-BT. Alle folgenden Informationen hierzu stammen aus den entsprechenden User's Manuals und Device Manuals von ActiGraph, sowie aus der Publikation von John et al. [27-30].

GT1M:

Der GT1M wurde als Nachfolger des AM7164 in den Jahren 2005-2008 hergestellt. Er erfasst Beschleunigungswerte im Bereich von 0,05-2,0 G. Die Daten werden mit einer Abtastrate von 30 Hz gesammelt und nach Durchlaufen der Filter innerhalb eines frei wählbaren Zeitintervalls (Epoch Length) akkumuliert. Die ersten Versionen des GT1M erfassten Beschleunigungen mit nur einer vertikalen Achse. Seit einem Firmware-Update im Juli 2008 kann die Beschleunigung in vertikaler und medio-lateraler Richtung gemessen werden.

GT3X+:

Das Modell GT3X+ erschien im Jahre 2010, ist etwas kleiner und leichter als sein Vorgänger und besitzt mehr Speicherkapazität. Beschleunigungen werden im Bereich +/-6 G gemessen und in drei Richtungen erfasst (triaxiale = dreiachsige Messung): vertikal, medio-lateral und anterior-posterior. Die Abtastrate ist nicht auf 30 Hz festgelegt, sondern ist zwischen 30 und 100 Hz frei wählbar. Neu ist die Speicherung der Daten in unverarbeiteter, ungefilterter, also roher Form in Einheiten der Erdbeschleunigung (G). Die Weiterverarbeitung der Rohdaten erfolgt erst über die Auswertungssoftware ActiLife 6, was zum Vorteil hat, dass verschiedene Einstellungen, wie beispielsweise die oben erwähnte Epoch Length erst nach abgeschlossener Datensammlung gewählt werden müssen und noch nach Belieben verändert und angepasst werden können.

wGT3X-BT:

Der wGT3X-BT entspricht in seiner Funktionsweise dem GT3X+. Die zusätzlichen Funktionen, wie beispielsweise die Kommunikationsmöglichkeiten via Bluetooth, sind für diese Studie unerheblich, weshalb die Modelle wGT3X-BT und GT3X+ hier als untereinander austauschbar betrachtet und eingesetzt werden.

Um den durch die Accelerometer aufgezeichneten Activity Counts eine physiologische Bedeutung zu geben, werden Kalibrierungsstudien durchgeführt. Dabei werden während des Ausführens von Aktivitäten gleichzeitig die Werte des Accelerometers (Activity Counts), sowie ein physiologischer Wert, beispielsweise der Sauerstoffverbrauch, gemessen. Durch Regressions-Gleichungen wird zwischen diesen Variablen ein Zusammenhang hergestellt, wodurch anschließend, ausgehend von den gemessenen Activity Counts, Aussagen über den Energieverbrauch, beispielsweise in Form von MET (metabolisches Äquivalent), getroffen werden können [31].

Ein MET entspricht hierbei dem durchschnittlichen Energieverbrauch einer Person in Ruhe und ist auf 3,5 ml O₂/kg/min festgelegt [32].

Den METs werden folgende Intensitätsbereiche zugeordnet [3]:

- Light intensity (geringe Intensität): Energieverbrauch von weniger als 3 MET.
- Moderate intensity (mittlere Intensität): Energieverbrauch von 3 bis 6 MET.
- Vigorous intensity (intensive Intensität): Energieverbrauch von mehr als 6 MET.

In der Accelerometrie werden sodann Grenzwerte (Cut Points) festgelegt, die die Aktivität des Probanden anhand der Höhe der gemessenen Activity Counts in die entsprechenden Intensitätskategorien einordnen. Anhand dieser Einordnung kann folglich bestimmt werden, wie viel Zeit bzw. welchen Zeitanteil der Teilnehmer in den einzelnen Intensitätsbereichen (light, moderate, vigorous) verbracht hat [31].

1.1.3 Aktivitätsmessung bei Mukoviszidose

Neben einer reduzierten Lungenfunktion wurde unter anderem die aerobe Fitness bei Mukoviszidose-Patienten als Prognosefaktor für das Überleben identifiziert [33, 34], weshalb körperliche Aktivität mittlerweile als fester Bestandteil in der Therapie der Mukoviszidose (Cystische Fibrose, CF) verankert ist.

Zu den positiven Effekten körperlicher Aktivität zählen eine Verbesserung der Lebensqualität [35, 36], eine Erhöhung des Körpergewichtes [37], eine geringere Abnahme bzw. der Erhalt der Lungenfunktion [38, 39] sowie die Verbesserung von aerober Kapazität und Belastungstoleranz [40-43]. Eine exakte und standardisierte Erfassung der Aktivität von Menschen mit Mukoviszidose ist aufgrund dieser vielen

positiven Auswirkungen auf den Krankheitsverlauf zur Therapieplanung und -überprüfung wichtig.

Durch die Messung von Aktivität ist es möglich, Zusammenhänge zwischen dem Maß an körperlicher Aktivität und dem Gesundheitszustand bei CF darzustellen. Beispielsweise konnte mit Hilfe von Accelerometern eine geringere Rate an jährlichen Exazerbationen bei vermehrter körperlicher Aktivität nachgewiesen werden [44].

Quon et al. zeigten, dass auch Pedometer eine gute Sensitivität hinsichtlich der Änderung des Gesundheitszustandes von Menschen mit Mukoviszidose aufweisen [45]. Eine Messung der täglichen Aktivität durch Accelerometer wies zudem Zusammenhänge zwischen psychologischem Wohlbefinden und der Anzahl täglicher Schritte nach [46]. Auch für ältere ActiGraph-Modelle konnte gezeigt werden, dass sie anhand des Aktivitäts-Levels der Betroffenen Unterschiede in deren Ausprägung der Erkrankung wiedergeben können [36].

1.2 Fragestellung

Ziel dieser Studie war es, die Vergleichbarkeit der Information dreier Messsysteme (Accelerometer GT1M, Accelerometer GT3X+/wGT3X-BT, Pedometer Omron HJ-322) bezüglich der Beschreibung von Aktivität unter Alltagsbedingungen zu prüfen. Dies erfolgte sowohl an einem gesunden Probandenkollektiv (Kollektiv 1), als auch an einer Gruppe von Menschen mit Mukoviszidose (Kollektiv 2).

Folgende Fragestellungen standen dabei im Vordergrund:

- Ist eine Vergleichbarkeit der beiden Accelerometer-Modelle untereinander hinsichtlich der gemessenen Schritte und verschiedener Aktivitätsparameter gegeben?
- Sind die gemessenen Schritte der beiden Mess-Systeme Pedometer und Accelerometer vergleichbar?
- Lassen sich signifikante Zusammenhänge zwischen den durch Pedometer gemessenen Schritten und verschiedenen Accelerometer-Messwerten nachweisen?
- Sind die beschriebenen Aktivitätsempfehlungen für Accelerometrie und Pedometrie anwendbar?
- Gibt es signifikante Unterschiede im Aktivitätsverhalten zwischen Patienten mit Mukoviszidose und Gesunden?

2. Material und Methoden

2.1 Untersuchungskollektive

Das Untersuchungskollektiv setzte sich aus zwei unterschiedlichen Gruppen zusammen: Für das Kollektiv 1 wurden gesunde Probanden rekrutiert. Als Kollektiv 2 wurden Daten von Menschen mit Mukoviszidose genutzt, die im Rahmen der Studie ACTIVATE-CF erhoben wurden. Diese randomisierte kontrollierte Studie untersucht die Auswirkungen eines teilweise überwachten sportlichen Trainings auf die Lungenfunktion von Mukoviszidose-Patienten.

Kollektiv 1

Es konnten insgesamt 43 gesunde Teilnehmer rekrutiert werden (18 männlich, 25 weiblich). Ein Mindestalter von 12 Jahren war gefordert, als einziges Ausschlusskriterium galt eine bestehende Schwangerschaft. Ein positives Votum der Ethikkommission der Julius-Maximilians-Universität Würzburg wurde eingeholt (Votums-Nummer: 104/15). Bei der Rekrutierung der gesunden Probanden wurde darauf geachtet, dass wenigstens 10 Teilnehmer unter 18 Jahre alt sind, 10 Teilnehmer über 40 Jahre alt sind und wenigstens 10 Teilnehmer weniger aktiv sind. Die Rekrutierung erfolgte aus dem familiären Umfeld und Bekannten-/Freundeskreis der Durchführenden der Studie.

Drei Teilnehmer mussten wegen unzureichender Tragezeit der Accelerometer von der Auswertung der Daten ausgeschlossen werden.

Kollektiv 2

Es konnten die Daten von 15 an der multizentrischen Studie ACTIVATE-CF teilnehmenden Mukoviszidose-Patienten in diese Arbeit eingebracht werden. Darunter befanden sich 7 Patienten aus der Mukoviszidose-Ambulanz der Kinderklinik Hannover, sowie 8 Patienten aus dem Christiane-Herzog-Zentrum für Mukoviszidose in Würzburg.

Einschlusskriterien der Studie ACTIVATE-CF waren die Diagnose einer Mukoviszidose (gesichert durch zwei ursächliche Mutationen und/oder zwei positive Schweißtests mit einer Chloridkonzentration von >60 mmol/l), sowie eine FEV₁ von $\geq 35\%$ des Vorhersagewertes. Außerdem mussten die Teilnehmer ein Mindestalter von 12 Jahren und Zugang zum Internet haben. Die Ethikkommissionen der beteiligten

Einrichtungen erhoben keine Einwände gegen die Durchführung der Studie (Votums-Nummer: 174/13).

2.2 Untersuchungsablauf

Kollektiv 1

Für jeden Probanden war das zeitgleiche Tragen zweier verschiedener Beschleunigungssensoren der Firma ActiGraph (Pensacola, Florida, USA), sowie eines Schrittzählers (Omron HJ-322) über einen Zeitraum von sieben Tagen vorgesehen. Bei den Accelerometern handelte es sich um die Modelle GT1M und GT3X+/wGT3X-BT. Die Teilnehmer wurden am vereinbarten Termin über den Ablauf der Untersuchung aufgeklärt und eine schriftliche Einwilligungserklärung der Teilnehmer bzw. deren Erziehungsberechtigten (bei Teilnehmern <18 Jahre) wurde eingeholt. Es folgte die Bestimmung von Körpergewicht und Körpergröße. Die Teilnehmer bekamen anschließend die Messgeräte ausgehändigt. Die Beschleunigungssensoren wurden hintereinander an einem schwarzen elastischen Band befestigt, wobei das ältere Modell GT1M immer vor (bauchwärts) dem neueren Modell GT3X+/wGT3X-BT platziert wurde. Es wurde veranschaulicht, wie der Gürtel anzulegen ist, sodass die Messgeräte rechtsseitig auf Hüft-Höhe möglichst nahe des Körperschwerpunktes zu liegen kamen. Die verschiedenen Tragemöglichkeiten des Schrittzählers (in der Hosentasche, per mitgeliefertem Clip am Hosenbund oder per Clip ebenfalls am Accelerometer-Gürtel) wurden gezeigt, wobei sich der Großteil der Teilnehmer für letztere Möglichkeit entschied. Die Probanden wurden angewiesen, den Gürtel und den Schrittzähler morgens direkt nach dem Aufstehen anzulegen und erst abends vor dem Zu-Bett-Gehen wieder abzulegen. Leidglich zum Duschen und für Aktivitäten im Wasser (Schwimmen/Baden...) sollten die Geräte mangels Wasserdichtigkeit zwischenzeitlich abgelegt werden. Besonders betont wurde die Wichtigkeit des parallelen, also gleichzeitigen Tragens und Ablegens der Geräte, um eine Vergleichbarkeit der Geräte untereinander untersuchen zu können. Des Weiteren bekamen die Teilnehmer ein Aktivitäts-Tagebuch ausgehändigt. In dieses sollte täglich notiert werden, zu welcher Zeit die Sensoren an- und abgelegt und zu welchen Zeiten sie zwischenzeitlich beiseitegelegt wurden. Zusätzlich sollten besondere körperliche Aktivitäten (z.B. Fahrrad/Inliner fahren, Joggen) notiert und die vom Schrittzähler

aufgezeichnete Anzahl von gesamten Schritten sowie aeroben Schritten täglich in das Aktivitäts-Tagebuch übertragen werden. Das Ablesen dieser Werte vom Schrittzähler wurde den Teilnehmern demonstriert.

Kollektiv 2

Im Rahmen der Studie ACTIVATE-CF wurden die Mukoviszidose-Patienten in eine Interventions- und Kontrollgruppe randomisiert. Die Patienten der Interventionsgruppe wurden aufgefordert, wöchentlich zusätzlich zu ihrem gewöhnlichen Aktivitäts-Niveau drei Stunden intensive körperliche Aktivitäten auszuführen. Neben der Erfassung des primären Endpunkts (Veränderung des FEV₁-Wertes der Interventionsgruppe verglichen mit der Kontrollgruppe im Zeitraum Studienstart – 6 Monate) wurden unter anderem ebenfalls Aktivitätsmessungen mittels Accelerometrie und Pedometrie durchgeführt. Für die vorliegende Arbeit wurden diese Accelerometrie- und Pedometrie-Daten von 15 Mukoviszidose-Patienten vom Zeitpunkt „Baseline“ (vor Randomisierung) herangezogen. Der Umgang mit den Accelerometern, Pedometern und dem Aktivitätstagebuch war identisch zu dem oben Genannten (Kollektiv 1) und wurde den Teilnehmern ebenso erläutert. Mukoviszidose-Patienten mussten neben dem Pedometer lediglich ein einziges Accelerometer-Modell tragen. Dieses war für Würzburger Patienten der GT1M oder wGT3X-BT, für Patienten aus Hannover der GT3X+. Das Schrittzähler-Modell war identisch (Omron HJ-322). Lediglich Patienten mit vollständigen Daten der Baseline-Aktivitätsmessung wurden in diese Arbeit aufgenommen.

Es ließen sich insgesamt folgende Daten erheben:

| | N | GT1M- Aktivitätsmessung | GT1M- Schrittzählung | GT3X+/-wGT3X-BT Aktivitätsmessung | GT3X+/-wGT3X-BT Schrittzählung | Omron HJ-322 |
|----------------|----------|------------------------------------|---------------------------------|--|---|-------------------------|
| Kollektiv 1 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 | 40 |
| Kollektiv 2 | 15 | 5 | 1 | 10 | 10 | 15 |

Bei vier der Mukoviszidose-Patienten mit dem GT1M-Modell fand keine Schrittzählung durch den Accelerometer statt, weshalb diese von entsprechenden Analysen ausgeschlossen wurden. Von allen 55 Teilnehmern waren Daten des Schrittzählers Omron HJ-322 verfügbar.

2.3 Vorbereitung der Accelerometer und Pedometer

Die Accelerometer wurden wie folgt vorbereitet: Der Akku der Geräte wurde aufgeladen, anschließend fand die Initialisierung über die Software ActiLife 6 statt, wobei die sogenannte Epoch Length eingestellt wurde, ein frei wählbares Zeitintervall, das bestimmt, nach wie vielen Sekunden (in der Regel 1-60 Sekunden) die Summe der in diesem Intervall ermittelten Beschleunigungswerte in Form von Activity Counts gespeichert werden soll.

Eine kurze Epoch Length von nur wenigen Sekunden sollte insbesondere bei Studien mit Kindern und Jugendlichen verwendet werden: Deren Bewegungsverhalten unterscheidet sich von dem Erwachsener insofern, als dass sie sich häufiger spontan für nur wenige Sekunden in sehr hohen Intensitätslevels aufhalten und seltener konstante, über einen längeren Zeitraum andauernde Aktivitäten ausführen [8]. Bei zu großer Epoch Length (beispielsweise 60 Sekunden) würden Aktivitäten, die nur wenige Sekunden andauern, nicht adäquat abgebildet werden, da durch die summierten Activity Counts nur das durchschnittliche Aktivitätsniveau innerhalb dieser Minute angegeben wird. Kurz andauernde Aktivitäten hoher Intensität werden dadurch nicht richtig erfasst und eine zu lange Epoch Length könnte somit zu einer Unterschätzung der Intensität der körperlichen Aktivität führen [47]. Studien empfehlen bei Untersuchungen von Kindern eine Einstellung der Epoch length auf 5 Sekunden [48, 49].

Im Falle des GT1M wurde für diese Studie die Epoch Length auf 5 Sekunden gesetzt, die voreingestellte Abtastrate betrug 30 Hz. Da bei den neuen Modellen GT3X+/wGT3X-BT während der Messung die rohen, unbearbeiteten Daten gespeichert werden, und die Epoch Length erst nach dem Herunterladen der Daten festgelegt wird, musste bei der Initialisierung lediglich die Abtastrate eingestellt werden. Diese ist zwischen 30 und 100 Hz frei wählbar und wurde hier auf 30 Hz gesetzt. Zuletzt wurde der gewünschte Startpunkt der Messung (Zeit und Datum) angegeben.

Zum Starten des Schrittzählers mussten lediglich Datum, Uhrzeit, Körpergröße, Gewicht und Schrittlänge eingegeben werden, was direkt vor Ort nach Bestimmung der entsprechenden Parameter erfolgte. Der USB-Anschluss des Pedometers kam aus Gründen des Datenschutzes nicht zum Einsatz.

2.4 Verarbeitung der Accelerometer-Daten

Die Auswertung der Accelerometer-Daten wurde mit Hilfe der Software ActiLife 6 durchgeführt.

Für die im Folgenden erläuterten Auswertungs-Einstellungen hinsichtlich gültiger Tage, Wear Time Validation und Scoring wurde die Arbeit „Physical Activity in the United States“ von Troiano et al. als Grundlage verwendet [50]. Hierbei wurde erstmalig im Rahmen der NHANES-Untersuchung (National Health and Nutrition Examination Survey 2003-2004) eine objektive Aktivitätsmessung der US-amerikanischen Bevölkerung mittels Accelerometrie durchgeführt mit dem Ziel, anhand der erhaltenen 7176 Datensätzen die Einhaltung der empfohlenen Aktivitäts-Menge zu untersuchen.

2.4.1 Gültige Tage

Zunächst wurde geprüft, ob die Accelerometer ausreichend lange getragen wurden. Um eine verlässliche Aussage über die Aktivität machen zu können, ist es zum einen wichtig, dass ein einzelner gemessener Tag ausreichend viele gültige Stunden aufweist, in denen die Accelerometer getragen wurden. Zum anderen muss auch eine ausreichende Anzahl von Tagen der entsprechenden Woche in die Auswertung eingeschlossen werden können. Da sich das Aktivitäts-Verhalten an Wochentagen und Wochenendtagen unterscheidet, müssen beide in die Auswertung mit eingebracht werden [51].

In die Auswertung der vorliegenden Untersuchung gingen nur Daten von Probanden ein, die für wenigstens vier Tage, darunter zumindest ein Wochenendtag, valide Daten des Pedometers und mindestens eines Accelerometers haben. Nur bei einer Tragezeit von 10 oder mehr Stunden wurde, in Anlehnung an Troiano et al., der jeweilige Tag als valide erachtet. Aufgrund zu geringer Tragezeit mussten die Daten von 3 der 43 gesunden Probanden von der weiteren Auswertung ausgeschlossen werden. Die 10-stündige Tragezeit stellt auch in vielen weiteren Accelerometer-Studien ein gängiges Kriterium zur Erfassung valider Tage dar [52, 53].

2.4.2 Wear Time Validation

Ziel der Wear Time Validation ist es zu differenzieren, ob eine Reihe aufgezeichneter Null-Werte Ausdruck einer sehr geringen Aktivität des Probanden war, oder die Geräte

während dieser Zeit nicht getragen wurden (Non-Wear-Period). Identifizierte Non-Wear-Periods wurden von der weiteren Analyse ausgeschlossen.

Für die Wear Time Validation stehen bei ActiLife 6 die Kriterien von Troiano et al. und Choi et al. [54] als Voreinstellungen zur Verfügung, möglich ist aber auch ein selbstständiges Festsetzen der Grenzen für eine Non-Wear-Period. Für die vorliegende Studie wurde die voreingestellte Option „Troiano et al.“ ausgewählt. Eine Non-Wear-Period wird dabei definiert als ein Intervall von mindestens 60 aufeinanderfolgenden Minuten, in welchem keinerlei Aktivität registriert wird. Toleriert werden hierbei maximal zwei Minuten, während derer die Counts pro Minute zwischen 0 und 100 liegen dürfen.

2.4.3 Scoring

Nach erfolgter Wear Time Validation fand das sogenannte Scoring statt, bei dem anhand der Höhe der Activity Counts berechnet wird, wie viel Zeit der Proband in den einzelnen Intensitäts-Kategorien (sedentary – light – moderate – vigorous) verbracht hat. Es wurde für jede Kategorie sowohl die absolute Zeit in Minuten, als auch der Zeitanteil relativ zur Gesamttragezeit ermittelt. Dies erfolgte für jeden einzelnen validen Tag, als auch für alle gültigen Tage zusammengenommen. Zeit in moderater und intensiver körperlicher Aktivität addiert (MVPA) wurde ebenfalls als Absolut- und Relativwert berechnet. Wie bereits dargestellt, entstammen die Cut Points der Arbeit von Troiano et al., welche sich ihrerseits für die Aufstellung der Grenzwerte an den Kriterien vier verschiedener Studien orientiert haben [55-58].

- Geringe Intensität (light): < 2020 Counts per minute (cpm)
- Moderate Intensität (moderate): ≥ 2020 cpm (entspricht 3 MET)
- Intensive Intensität (vigorous): ≥ 5999 cpm (entspricht 6 MET)

Für die Jugendlichen im Alter von 12-17 Jahren wurden altersspezifische Cut Points verwendet, welche von Freedson et al. entwickelt [56] und von Trost et al. [59] veröffentlicht wurden. Die Grenzen für moderate bzw. intensive Aktivität wurden dabei, um den höheren Ruheenergieverbrauch Kinder bzw. Jugendlicher zu berücksichtigen [60], auf 4 MET bzw. 7 MET angehoben.

Die bisher beschriebene Auswertung (Gültige Tage, Wear Time Validation und Scoring) erfolgte zunächst für den GT1M, anschließend für den GT3X+/wGT3X-BT. Es wurde für die triaxialen Modelle GT3X+/wGT3X-BT sowohl eine Auswertung für die Messung mit einer einzigen Achse, als auch für die Messung unter Berücksichtigung aller drei Achsen durchgeführt.

2.5 Verarbeitung der Pedometer-Daten

Zur Auswertung der Pedometer wurden die Zahl der Schritte pro Tag sowie die Zahl der Aerobic Steps pro Tag herangezogen. Da das Pedometer die ermittelten Schritte der letzten sieben Tage auf dem Display abrufbar speichert, war es bei den meisten Probanden möglich, die im Aktivitäts-Tagebuch notierten Schritte mit den noch gespeicherten Schritten abzugleichen und gegebenenfalls auszubessern. Dies war bei drei erwachsenen Probanden bei jeweils einem Tag notwendig, wobei die Differenz zwischen notierter und gespeicherter Schrittzahl lediglich maximal 18 Schritte betrug.

2.6 statistische Methoden

Die statistische Auswertung wurde mit SPSS-Version 24 durchgeführt.

Anhand der Mediane und der Interquartilsabstände erfolgte zunächst die deskriptive Beschreibung beider Kollektive.

Grundlage aller folgenden Berechnungen waren jeweils die wöchentlichen Durchschnittswerte für die verschiedenen Messgrößen der einzelnen Probanden.

Bei der Analyse gleicher Messgrößen sowie beim Vergleich der beiden Accelerometrie-Systeme untereinander wurden Bland-Altman-Plots erstellt sowie Intraklassenkorrelationen berechnet.

Für die Bland-Altman-Plots wurde für jeden Teilnehmer die Differenz der anhand der beiden Methoden gemessenen Werte berechnet und gegen den Mittelwert dieser beiden Messungen aufgetragen. Bei einer hinreichend symmetrischen Verteilung der Differenzen liegen dabei 95% der Werte im Bereich $d \pm 2s$ (d = Mittelwert der Differenzen, s = Standardabweichung der Differenzen) [61].

Bezüglich der Interpretation der Intraklassenkorrelationen wurde ein ICC-Wert $> 0,9$ als exzellente Übereinstimmung der Mess-Systeme erachtet.

Bei genannten Auswertungen gleicher Messgrößen wurde weiterhin der nicht-parametrische Wilcoxon-Test (Vorzeichenrangtest) durchgeführt, sowie für jeden Probanden die relative Differenz zwischen den Ergebnissen beider Messungen berechnet.

Korrelationen für die Untersuchung der Zusammenhänge zwischen verschiedenen Messmethoden und Messgrößen wurden für beide Kollektive, bei teilweise fehlender Normalverteilung, einheitlich mit Hilfe des Spearman Rank Correlation Coefficient ermittelt.

Zum Vergleich der Mittelwerte zwischen der aktiven und inaktiven Probandenhälfte sowie zwischen Kollektiv 1 und Kollektiv 2 wurden Mittelwertvergleiche für unabhängige Stichproben mittels Man-Whitney-U-Test (MWU-Test) durchgeführt.

Für das Kollektiv 1 wurden Ranglisten erstellt, die den Probanden anhand der untersuchten Variablen (Schritte pro Tag, Zeitanteil in MVPA, etc.) einen Platz von 1 bis 40 zuwies. Es wurde geprüft, wie viele Teilnehmer sich unter den oberen zehn und den unteren zehn Rängen in den jeweils zu vergleichenden Geräten wiederfanden. Dabei wurde nicht die exakte Reihenfolge beachtet, sondern lediglich das Erscheinen des entsprechenden Probanden innerhalb der obersten bzw. untersten zehn Ränge.

3. Ergebnisse

Eine ausführliche Darstellung aller Ergebnisse findet sich in den Tabellen im Anhang. Die relevantesten werden im Folgenden präsentiert.

3.1 Patienten- und Probandenkollektiv

Tabelle 1

Charakteristika der Probandenkollektive (Median, Interquartilsabstand)

Fett = signifikanter Unterschied

| | Kollektiv 1: Gesunde Probanden (N=40) | Kollektiv 2: Patienten mit CF (N=15) | p-Wert |
|---------------------------------------|--|--|------------------|
| Alter (Jahre) | 23,9 (18,1; 43,7) | 18,1 (16,0; 21,6) | p = 0,006 |
| Größe (cm) | 170,0 (165,3; 179,5) | 169,0 (162,0; 176,0) | p = 0,427 |
| Gewicht (kg) | 64,6 (55,3; 72,1) | 56,0 (51,0; 58,0) | p = 0,013 |
| Geschlecht (m:w) | 17:23 | 8:7 | |
| Gültige Tage | 5 Tage: 1/40 (2,5%) 6 Tage: 9/40 (22,5%) 7 Tage: 30/40 (75,0%) | 5 Tage: 5/15 (33,3%) 6 Tage: 2/15 (13,3%) 7 Tage: 8/15 (53,3%) | p = 0,044 |
| Tragezeit/Tag (min) | 896,3 (846,5; 945,2) | 825,9 (794,9; 893,8) | p = 0,041 |
| Schritte/Tag (Omron) | 9065 (6178,2; 11053,2) | 5740 (3464,4; 9013,0) | p = 0,016 |
| Aerobe Schritte/Tag (Omron) | 1786 (486,9; 3190,9) | 664 (314,7; 1471,6) | p = 0,054 |
| Zeitanteil in MVPA (%) * | 5,86 (4,31; 7,69) | 4,12 (2,33; 6,16) | p = 0,047 |
| Counts per Minute (cpm) * | 367,4 (278,0; 474,6) | 291,1 (177,2; 362,9) | p = 0,050 |
| Zeitanteil in Vigorous Activity (%) * | 0,45 (0,15; 1,35) | 0,28 (0,07; 0,61) | p = 0,064 |

* Kollektiv 1: GT1M; Kollektiv 2: GT1M bzw. GT3X+/wGT3X-BT(einachsigt)

Tabelle 1 zeigt die Charakteristika beider Probandenkollektive.

Patienten mit Mukoviszidose waren signifikant jünger mit signifikant geringerem Körpergewicht bei vergleichbarer Körpergröße. Sie erzielten eine signifikant geringere Anzahl an Schritten pro Tag, gemessen durch den Schrittzähler, und verbrachten signifikant weniger Zeit in der Intensitätskategorie MVPA, gemessen durch die Accelerometer. Ebenso zeigte sich eine geringere Compliance hinsichtlich des Tragens der Geräte, es wurden insgesamt weniger gültige Tage erreicht und die durchschnittliche tägliche Tragezeit war im Mittel um 43 Minuten geringer als bei den gesunden Probanden.

3.2 Vergleiche zwischen den Accelerometer-Modellen

Anhand der Variablen aus Tabelle 2 wurde mit den Messwerten des Kollektivs 1 untersucht, ob eine Vergleichbarkeit zwischen den Accelerometer-Modellen GT1M und GT3X+/wGT3X-BT (einachsige und dreiachsige Messung) gegeben ist.

Tabelle 2

Vergleich der Accelerometer-Modelle hinsichtlich Schritte pro Tag, Zeitanteil in MVPA und Counts per Minute

(Median (Interquartilsabstand))

| | GT1M | GT3X+/wGT3X-BT (einachsige) | GT3X+/wGT3X-BT (dreiachsige) |
|------------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| Schritte pro Tag | 9790,3 (6927,7; 11573,4) | 9484,3 (6952,7; 11568,5) | 9484,3 (6952,7; 11568,5) |
| Zeitanteil in MVPA (%) | 5,86 (4,31; 7,69) | 5,22 (4,26; 7,79) | 12,75 (10,20; 15,33) |
| Counts per Minute | 367,4 (278,0; 474,6) | 359,0 (268,0; 461,9) | 622,8 (520,8; 774,9) |

3.2.1 Schritte pro Tag

Abbildung 1 zeigt den Bland-Altman-Plot (BAP) für den Vergleich der gemessenen Schritte pro Tag zwischen GT1M und GT3X+/wGT3X-BT. Der Mittelwert der Differenzen lag bei 25 Schritten.

In 23 von 40 Fällen ergab die Messung mit dem GT1M höhere Werte als die Schrittzählung mit dem GT3X+/wGT3X-BT.

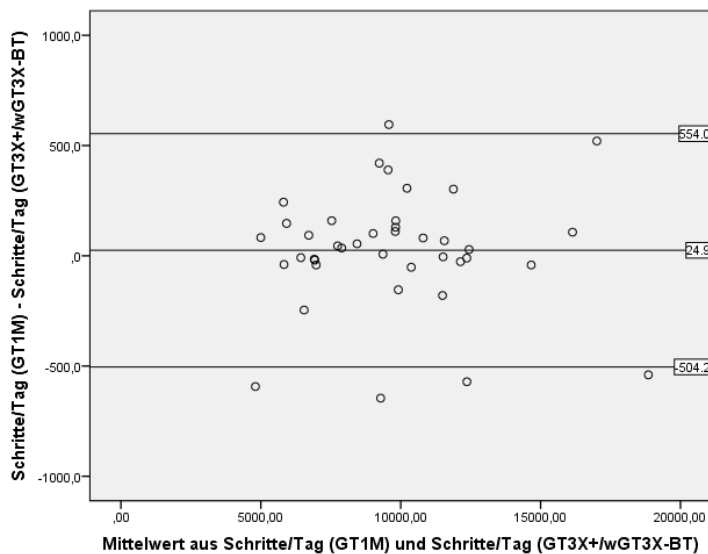
Ein Unterschied zwischen der GT1M- und GT3X+/wGT3X-BT- Messung von mehr als 5% fand sich bei drei der 40 Probanden, im Mittel betrug der Unterschied 2,04%.

Die Rang-Korrelation für die täglichen Schritte des GT1M mit den Schritten des GT3X+/wGT3X-BT war mit $r = 0,989$ ($p < 0,01$) sehr hoch. Der Wilcoxon-Test ergab für den Vergleich der täglichen Schritte zwischen GT1M und GT3X+/wGT3X-BT keinen signifikanten Unterschied, die Intraklassenkorrelation zeigte eine exzellente Übereinstimmung zwischen beiden Mess-Systemen ($ICC = 0,998$).

Es zeigte sich eine nahezu perfekte Übereinstimmung hinsichtlich der Ranglisten, wobei sich unter den Plätzen 1-10 neun der zehn Probanden und unter den Plätzen 31-40 alle zehn Probanden auf beiden Ranglisten wiederfanden.

Abbildung 1

Bland-Altman-Plot für den Vergleich Schritte/Tag (GT1M) und Schritte/Tag (GT3X+/wGT3X-BT)
Kollektiv 1 (n=40)



Mittelwert der Differenz = 25 Schritte;
Standardabweichung = 270,0

3.2.2 Zeitanteil in MVPA und Aktivitätscounts (cpm)

Einen Messunterschied $> 5\%$ zwischen den Accelerometer-Modellen GT1M und der einachsigen GT3X+/wGT3X-BT-Messung für den Zeitanteil in MVPA zeigten 12 der 40 Probanden, für die Betrachtung der Aktivitätscounts per minute (cpm) 6 der 40 Probanden. Die mittleren Unterschiede zwischen den beiden einachsigen Messungen betragen jeweils $4,34\%$ (für Zeitanteil in MVPA) und $3,14\%$ (für cpm). Abbildung 2 und 3 zeigen die entsprechenden Bland-Altman-Plots.

Wie auch beim Vergleich der Schritte fanden sich in 23 der 40 Messungen höhere MVPA- und cpm-Werte für die GT1M-Messung.

Nicht nur die Korrelation zwischen den einachsigen Messungen der MVPA mit den beiden Accelerometer-Modellen war mit $r = 0,985$ ($p < 0,01$) sehr hoch, auch bezüglich der Aktivitätscounts (cpm) zeigte sich eine hohe Korrelation $r = 0,992$ ($p < 0,01$). Der Wilcoxon-Test erbrachte keinen signifikanten Unterschied für die MVPA-/bzw. cpm-Messung zwischen GT1M und GT3X+/wGT3X-BT, die Intraklassenkorrelationen zeigten eine ähnliche gute Übereinstimmung wie beim Vergleich der Schritte zwischen beiden Geräten ($ICC \geq 0,995$).

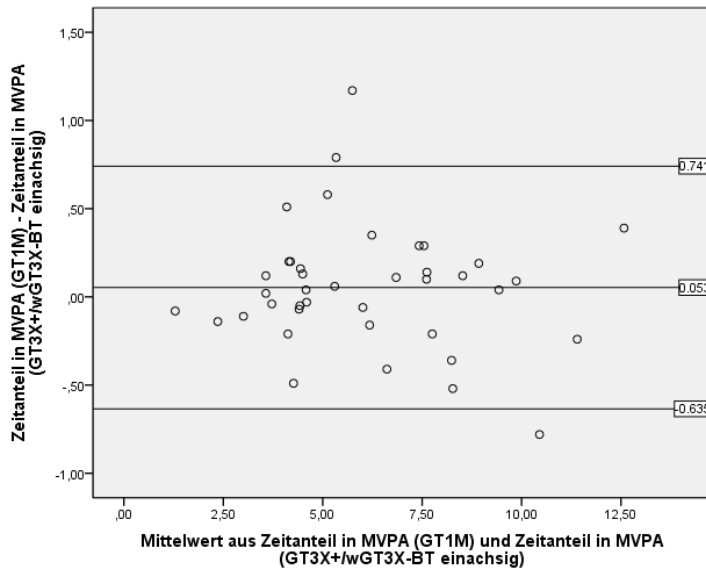
Die Ranglistenvergleiche zeigten ebenfalls nahezu perfekte Übereinstimmungen zwischen den einachsigen Messmethoden.

Auch unter Einbezug der dreiachsigen GT3X+/wGT3X-BT-Messung blieben die Zusammenhänge mit Korrelationskoeffizienten von $r \geq 0,88$ ($p < 0,01$) hoch, während die Ranglistenvergleiche geringere Übereinstimmungen (7 von 10) boten.

Abbildung 2

Bland-Altman-Plot für den Vergleich Zeitanteil in MVPA (GT1M) und Zeitanteil in MVPA (GT3X+/wGT3X-BT einachsig)

Kollektiv 1 (n=40)

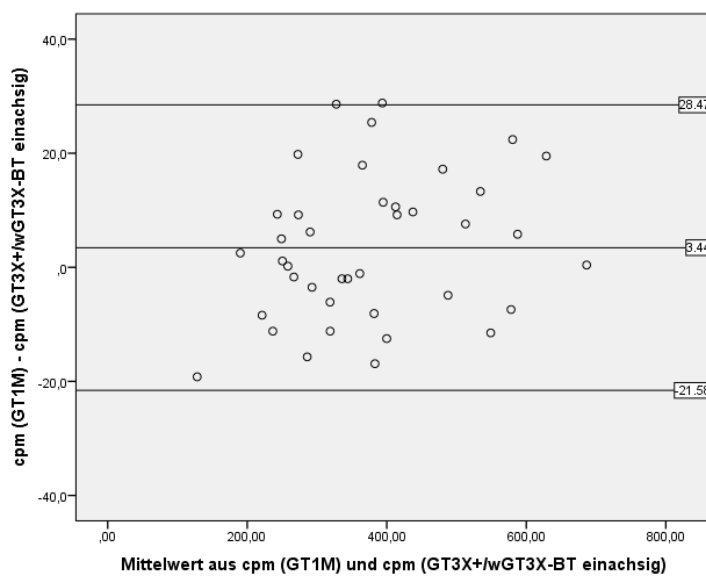


Mittelwert der Differenz = 0,053%;
Standardabweichung = 0,351

Abbildung 3

Bland-Altman-Plot für den Vergleich cpm (GT1M) und cpm (GT3X+/wGT3X-BT einachsig)

Kollektiv 1 (n=40)



Mittelwert der Differenz = 3,4 cpm;
Standardabweichung = 12,77;

3.3 Zusammenhänge zwischen Pedometer- und Accelerometer- Messwerten

Zur Untersuchung der Übereinstimmung der Messergebnisse zwischen Schrittzählern und Accelerometern wurden Korrelationen zwischen den Aktivitätswerten der Accelerometer (Schritte pro Tag, Zeitanteil in MVPA, Zeitanteil in Vigorous Activity, cpm) mit den von den Pedometern gezählten (aeroben) Schritten pro Tag analysiert. Diese Tests erfolgten für beide Kollektive, die Ergebnisse werden im Folgenden systematisch dargestellt.

3.3.1 Schritte pro Tag

Kollektiv 1

Bei den Vergleichen der täglichen Schrittzählung vom Schrittzähler Omron HJ-322 mit dem Accelerometer GT1M und Omron HJ-322 mit dem Accelerometer GT3X+/wGT3X-BT lag der Mittelwert der Differenzen bei mehr als 630 Schritten täglich (Abbildung 4). Dabei hat in der Mehrzahl der Fälle (29 bzw. 30 Probanden) der Accelerometer eine höhere Anzahl an Schritten gemessen als das Pedometer.

Im Mittel lagen die mit dem GT1M gemessenen Schritte 10,3% und die mit dem GT3X+/wGT3x-BT bestimmten Schritte 9,4% höher als die Messergebnisse des Omron HJ-322.

Der durchgeführte Wilcoxon-Test erbrachte signifikante Unterschiede zwischen den Messmethoden (für Omron vs. GT1M: $Z(N=40) = -3,790$ und $p < 0,01$; für Omron vs. GT3X+/wGT3X-BT: $Z(N=40) = -3,831$ und $p < 0,01$).

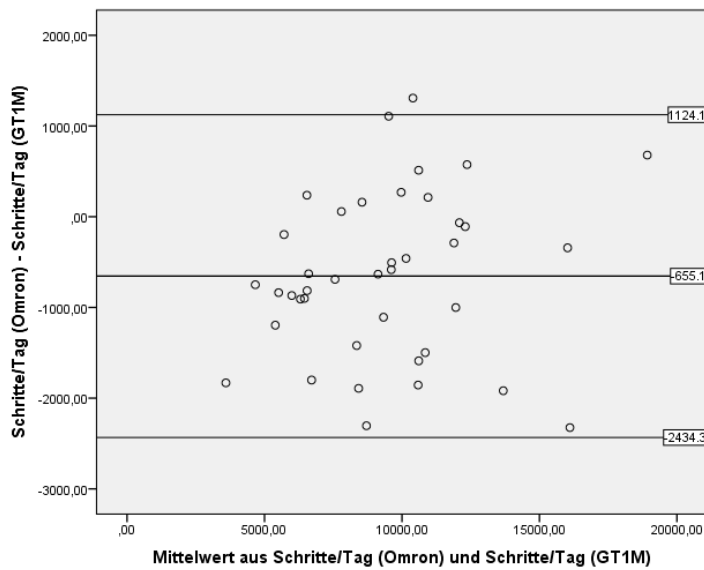
Die Korrelationen zeigten jedoch mit $r = 0,943$ und $r = 0,953$ ($p < 0,01$) einen hohen Zusammenhang der Messergebnisse der drei Systeme (Abbildung 5). Eine hohe Übereinstimmung wurde durch Intraklassenkoeffizienten $ICC \geq 0,981$ belegt.

Unter Einbezug aller drei Systeme, die eine Schrittzählung durchführen konnten (Omron, GT1M, GT3X+/wGT3X-BT) zeigte sich ein ICC von 0,991.

Abbildung 4

Bland-Altman-Plot: Schritte/Tag (GT1M) und Schritte/Tag (Omron)

Kollektiv 1 (n=40)

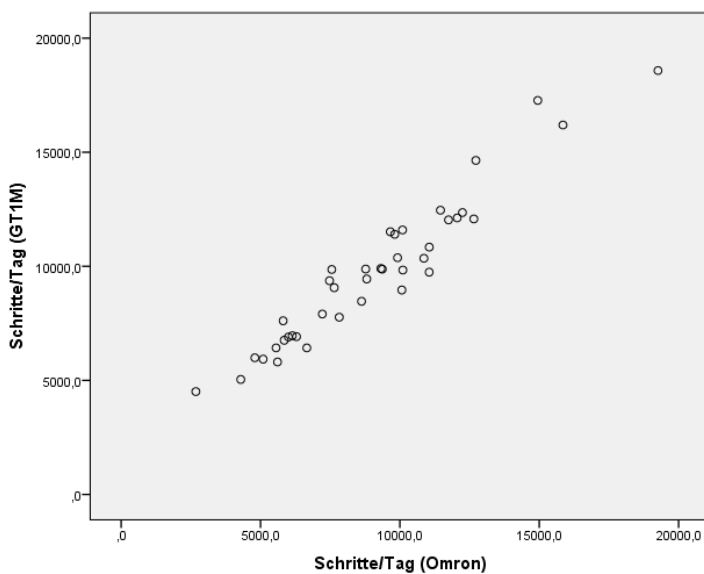


Mittelwert der Differenz = -655;
Standardabweichung = 907,8

Abbildung 5

Spearman-Korrelation: Schritte/Tag (GT1M) und Schritte/Tag (Omron)

Kollektiv 1 (n=40)

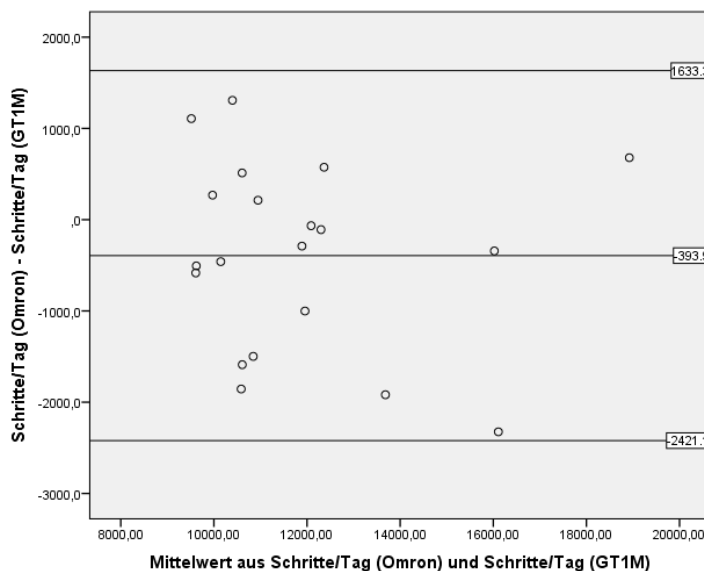


Korrelationskoeffizient = 0,943 (p < 0,01)

Es wurden zwei weitere Bland-Altman-Plots (Abbildung 6, 7) für den Vergleich der Messung der Schritte pro Tag von Omron HJ-322 mit Accelerometer GT1M unter Aufteilung der Probanden in aktiv und inaktiv erstellt. Die Aufteilung erfolgte anhand der Anzahl der Pedometer-Schritte pro Tag. Bei den 20 Aktiveren sank der Mittelwert der Differenzen auf unter 400 Schritte pro Tag. Bei den 20 inaktiveren Teilnehmern stieg die mittlere Differenz auf mehr als 900 Schritte pro Tag. Im Gegensatz zum Gesamt-Kollektiv ergab der Wilcoxon-Test bei ausschließlicher Betrachtung der aktiven Hälfte keinen signifikanten Unterschied mehr zwischen der Schrittzählung mittels Accelerometer und Pedometer.

Abbildung 6

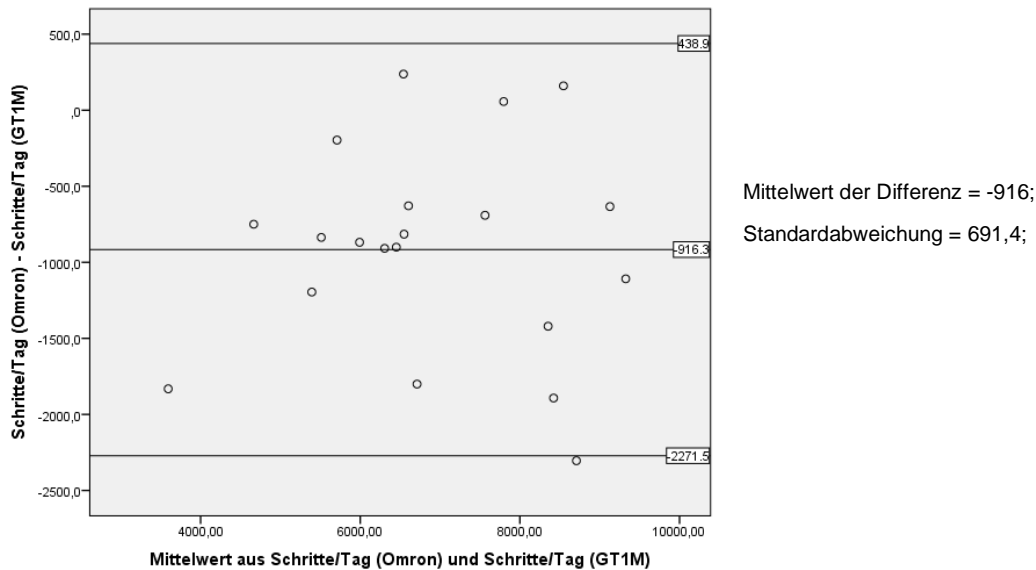
Bland-Altman-Plot: Schritte/Tag (GT1M) und Schritte/Tag (Omron) der aktiveren Probandenhälfte Kollektiv 1 (n=20)



Mittelwert der Differenz = -394;
Standardabweichung = 1034,3;

Abbildung 7

Bland-Altman-Plot: Schritte/Tag (GT1M) und Schritte/Tag (Omron) der inaktiveren Probandenhälfte Kollektiv 1 (n=20)



Kollektiv 2

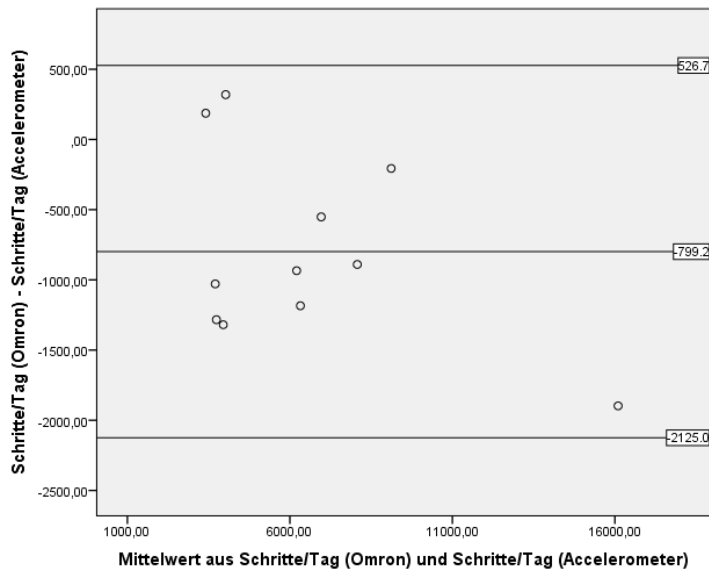
Für den Vergleich der Schritt-Messungen in der Gruppe der Mukoviszidose-Patienten wurden nur die 11 Datensätze der Probanden einbezogen, bei denen sowohl eine Schrittzählung durch einen Accelerometer, als auch durch ein Pedometer erfolgte.

Der Bland-Altman-Plot zeigte eine noch höhere mittlere Differenz als bei Kollektiv 1 von knapp 800 Schritten pro Tag (Abbildung 8). Auch hier ergab in der Mehrzahl der Fälle (9 von 11 der Probanden) die Accelerometer-Messung eine höhere Anzahl von Schritten als die Pedometer-Messung. Der Mittelwert der Unterschiede zwischen Accelerometer- und Pedometer-Messung war mit 14,4% höher als bei den Gesunden. Der Wilcoxon-Test zeigte mit $Z(N=11) = -2,578$ und $p = 0,01$ einen signifikanten Unterschied zwischen Accelerometer und Pedometer in Bezug auf die Schrittzählung. Die Korrelation zwischen den mit dem Omron HJ-322 gemessenen täglichen Schritten und den mittels Accelerometer bestimmten Schritten belegt einen engen Zusammenhang ($r = 0,845$; $p < 0,01$) (Abbildung 9), ebenso die Intraklassen-Korrelation ($ICC = 0,992$).

Abbildung 8

Bland-Altman-Plot: Schritte/Tag (Accelerometer) und Schritte/Tag (Omron)

Kollektiv 2 (n=11)

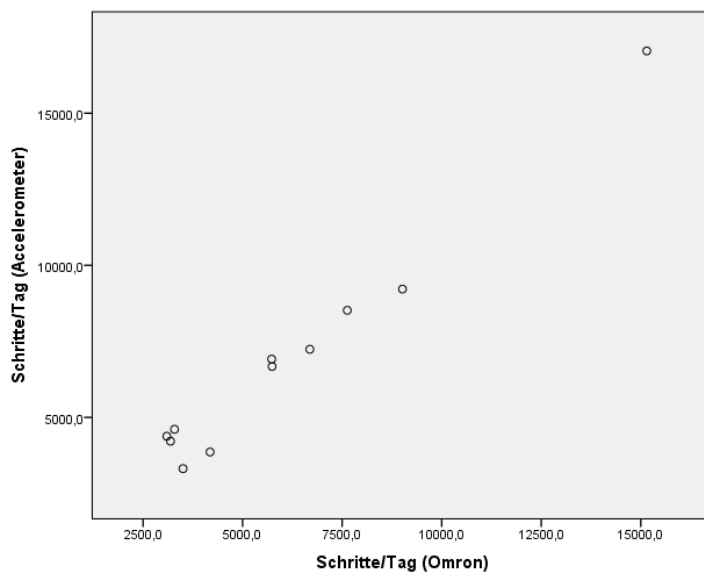


Mittelwert der Differenz = -799;
Standardabweichung = 676,5

Abbildung 9

Spearman-Korrelation: Schritte/Tag (GT1M) und Schritte/Tag (Omron)

Kollektiv 2 (n=11)



Korrelationskoeffizient = 0,845 (p < 0,01)

3.3.2 Schritte pro Tag – Zeitanteil in MVPA bzw. cpm

Alle untersuchten Korrelationen beider Kollektive sind in Tabelle 3 aufgelistet.

Alle Korrelationen waren signifikant und es zeigten sich mit $r > 0,7$ durchwegs enge Zusammenhänge zwischen den durch Pedometer gezählten täglichen Schritte und den Aktivitätswerten der Accelerometer.

Weiterhin wurden im Kollektiv 1 diese Zusammenhänge für Subgruppen hinsichtlich Alter und Aktivität (maßgebend hierbei war die tägliche Schrittzahl nach Pedometer) ausgewertet (Tabelle 4). Lediglich die Korrelation zwischen Omron-Schritten und Zeitanteil in MVPA der Gruppe der Kinder und Jugendlichen erreichte keinen signifikanten Zusammenhang mehr.

Der Einsatz der cpm im Vergleich mit MVPA als Aktivitäts-Maß erzielte insbesondere bei inaktiveren Probanden einen besseren Zusammenhang mit Pedometer-Schritten.

Die Ranglisten des Kollektivs 1 zeigten für Zeitanteil in MVPA und Pedometer-Schritte pro Tag Übereinstimmungen bei 7 Probanden innerhalb der obersten zehn Ränge und bei lediglich 4-5 Probanden innerhalb der untersten zehn Ränge. Mit jeweils 7-8 Übereinstimmungen brachte der Vergleich zwischen Omron-Schritten pro Tag und cpm etwas bessere Ergebnisse.

Tabelle 3

Korrelationen zwischen Pedometer-Schritten/Tag und Zeitanteil in MVPA bzw. cpm

| | Kollektiv 1 (N=40) | | | Kollektiv 2 (N=15) |
|---------------------|----------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------|
| | Omron – GT1M | Omron – GT3X+/wGT3X-BT (einachsig) | Omron – GT3X+/wGT3X-BT (dreiachsig) | Omron - Accelerometer |
| Schritte/Tag - MVPA | $r = 0,749;$ $p < 0,01$ | $r = 0,746;$ $p < 0,01$ | $r = 0,707;$ $p < 0,01$ | $r = 0,714;$ $p < 0,01$ |
| Schritte/Tag - cpm | $r = 0,795;$ $p < 0,01$ | $r = 0,806;$ $p < 0,01$ | $r = 0,792;$ $p < 0,01$ | $r = 0,793;$ $p < 0,01$ |

Tabelle 4

Korrelationen zwischen Pedometer-Schritten/Tag und Zeitanteil in MVPA bzw. cpm (GT1M); aufgeteilt nach Subgruppen (Kollektiv 1)

| | Kinder/Jugendliche (n=10) | Erwachsene (n=30) | Aktive Probandenhälfte (n=20) | Inaktive Probandenhälfte (n=20) |
|--|--|------------------------|-------------------------------------|---------------------------------------|
| Omron (Schritte/Tag) – GT1M (MVPA) | r = 0,442; p = 0,2 (nicht signifikant) | r = 0,806; p < 0,01 | r = 0,611; p < 0,01 | r = 0,516; p < 0,05 |
| Omron (Schritte/Tag) – GT1M (cpm) | r = 0,709; p < 0,05 | r = 0,828; p < 0,01 | r = 0,626; p < 0,01 | r = 0,780; p < 0,01 |

3.3.3 aerobe Schritte pro Tag – Zeitanteil in intensiver Aktivität bzw. Zeitanteil in MVPA

Vergleichsweise schwache positive Korrelationen erbrachten die Untersuchungen auf Zusammenhänge zwischen dem Zeitanteil in der höchsten Intensitätskategorie Vigorous Activity und den vom Schrittzähler gezählten Aerobic Steps pro Tag (je nach Accelerometer-Modell im Kollektiv 1: r = 0,525 – 0,562, p < 0,01). Der schwächere Zusammenhang spiegelte sich auch in den Ranglisten wieder mit lediglich 5-6 Übereinstimmungen zwischen jeweils zwei Geräten.

Ähnliches zeigte sich für den Zusammenhang des Zeitanteils in MVPA und den Aerobic Steps pro Tag mit Korrelationskoeffizienten von r = 0,420 – 0,531, p < 0,01 und Ranglisten-Übereinstimmungen von 6-8 von 10 für die aktivsten Probanden und lediglich 3-4 von 10 für die inaktivsten Probanden.

Bei den Mukoviszidose-Patienten zeigten sich zwischen den Aerobic Steps pro Tag und dem Zeitanteil in Vigorous Activity bzw. MVPA nur geringe positive Zusammenhänge, die statistisch nicht signifikant waren (r = 0,324 und r = 0,454; p > 0,08).

3.3.4 Differenzierung der aktiven und inaktiven Probandenhälfte

Die Probanden des Kollektiv 1 wurden abhängig von der Zahl der täglichen Pedometer-Schritte in eine aktive und inaktive Probandenhälfte aufgeteilt.

Der Man-Whitney-U-Test ergab signifikante Unterschiede zwischen beiden Gruppen in den Accelerometer-Kategorien Zeitanteil in MVPA ($U = 57,0$, $p < 0,01$), cpm ($U = 58,0$, $p < 0,01$) und Zeitanteil in Vigorous Activity ($U = 122,0$, $p = 0,035$).

Bei Aufteilung der Probanden des Kollektiv 1 in aktiv und inaktiv anhand der Anzahl der Aerobic Steps pro Tag, ergab sich ebenfalls ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der verbrachten Zeit in Vigorous Activity ($U = 96,5$, $p = 0,005$) bzw. MVPA ($U = 89,5$, $p = 0,003$) und den cpm ($U = 100$, $p = 0,007$) zwischen beiden Gruppen.

Ebenso zeigte die Probandenhälfte mit geringerem Zeitanteil in MVPA signifikant weniger gesamte Pedometer-Schritte pro Tag ($U = 42,0$, $p < 0,01$) sowie aerobe Schritte pro Tag ($U = 100$, $p = 0,007$).

3.4 Aktivitätsempfehlung Pedometer – Accelerometer

Zuletzt wurde untersucht, wie viele der 30 gesunden erwachsenen Probanden die empfohlene Aktivitätsmenge anhand eingangs beschriebener Pedometer- bzw. Accelerometer-Kriterien erzielten (Tabelle 5, 6). Die Kriterien waren, in Anlehnung an verschiedene, in der Einleitung genannte Empfehlungen, wie folgt: (a) > 150 Minuten MVPA/Woche, (b) > 10000 Schritte/Tag und (c) > 8000 Schritte/Tag. Für das Kollektiv 1 wurden dafür die Accelerometer-Messwerte des GT1M bzw. die Schritte des Pedometers herangezogen.

29 der 30 gesunden Erwachsenen erzielten die geforderten 150 Minuten MVPA in der Woche - darunter befinden sich auch die Teilnehmer, die nur 6 gültige Tage aufgezeichnet hatten.

Ein weiteres, oftmals unberücksichtigt gelassenes Kriterium der WHO-Aktivitätsempfehlung ist, dass die entsprechende MVPA-Aktivität über eine Dauer von mindestens 10 Minuten ausgeführt werden muss, um zu den geforderten 150 Minuten gerechnet zu werden. Unter diesen Bedingungen und unter Ausschluss der Probanden, die weniger als 7 gültige Tage aufwiesen, erreichten nur 8 von 26 Teilnehmern die 150 Minuten MVPA pro Woche.

Tabelle 5

Erzielen der empfohlenen Aktivitätsmenge nach Accelerometer-Kriterium 150 Minuten MVPA/Woche in Perioden von mindestens 10 Minuten und Pedometer-Kriterium 8000 Schritte/Tag (N=26; (Ausschluss der 4 Probanden mit < 7 gültigen Tagen))

| | > 8000 Schritte/Tag | < 8000 Schritte/Tag | Gesamt |
|--------------------------|---------------------|---------------------|--------|
| > 150 Minuten MVPA/Woche | 7 | 1 | 8 |
| < 150 Minuten MVPA/Woche | 10 | 8 | 18 |
| Gesamt | 17 | 9 | 26 |

Tabelle 6

Erzielen der empfohlenen Aktivitätsmenge nach Accelerometer-Kriterium 150 Minuten MVPA/Woche in Perioden von mindestens 10 Minuten und Pedometer-Kriterium 10000 Schritte/Tag (N=26; (Ausschluss der 4 Probanden mit < 7 gültigen Tagen))

| | > 10000 Schritte/Tag | < 10000 Schritte/Tag | Gesamt |
|--------------------------|----------------------|----------------------|--------|
| > 150 Minuten MVPA/Woche | 7 | 1 | 8 |
| < 150 Minuten MVPA/Woche | 5 | 13 | 18 |
| Gesamt | 12 | 14 | 26 |

17 Probanden erreichten im Durchschnitt mindestens 8000 Schritte pro Tag, 12 Probanden erzielten 10000 Schritte und mehr pro Tag. Dies bedeutet, dass 10 bzw. 5 Probanden die empfohlene Aktivitätsmenge nach Pedometer-Kriterien, jedoch nicht nach Accelerometer-Kriterien erreichten, während lediglich ein Teilnehmer zwar die 150 Minuten — Marke erreichte, dabei aber keine 8000 Schritte täglich erzielte.

Von den Kindern und Jugendlichen (12-17 Jahre) erreichten aus beiden Kollektiven jeweils ein einziger Proband im Durchschnitt 60 Minuten MVPA pro Tag und erzielte dabei auch 11000 Schritte pro Tag, womit er sowohl die Accelerometer- als auch Pedometer-Aktivitätskriterien erfüllte. Das 10-Minuten-Kriterium findet bei Kindern und Jugendlichen keine Anwendung.

Unter den 8 erwachsenen Mukoviszidose-Patienten fanden sich nur fünf Teilnehmer, welche sieben gültige Tage hatten. Unter diesen erfüllte ein einziger die geforderte Aktivitätsmenge sowohl seitens der Schritte pro Tag als auch der Zeit im Intensitätslevel MVPA. Die anderen vier erreichten weder 8000 Schritte pro Tag noch 150 Minuten MVPA in der Woche.

4. Diskussion

4.1 Vergleich der Schrittmessungen zwischen den Geräten

Beim Vergleich der gemessenen Schritte pro Tag vom Schrittzähler mit den beiden Accelerometer-Modellen zeigten sich sehr enge positive Rang-Korrelationen ($r(40) > 0,94$; $p < 0,05$) sowie Intraklassen-Korrelationen (ICC = 0,991 für die Übereinstimmung aller drei Geräte). Die nähere Betrachtung der absoluten Schrittzahl anhand von Bland-Altman-Plots ergab jedoch deutlich geringere Übereinstimmung zwischen den mittels Pedometer gemessenen Schritten pro Tag und den Messergebnissen der Accelerometer. Im Mittel wurden durch den GT1M 655 und durch den GT3X+/wGT3X-BT 630 Schritte mehr gezählt als durch das Pedometer. Trotz enger Korrelationen ist diese Differenz von über 600 Schritten pro Tag zu groß, um Accelerometer und Pedometer hinsichtlich der Schrittzählung bedenkenlos gegeneinander austauschen und miteinander vergleichen zu können. Dieses Ergebnis wird von den durchgeführten Wilcoxon-Tests unterstützt, die einen signifikanten Unterschied zwischen den mittels Pedometer gezählten Schritten und den mittels GT1M bzw. GT3X+/wGT3X-BT erhobenen Messwerten nachwiesen.

Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen Tudor-Locke et al., die die Vergleichbarkeit zwischen dem ActiGraph-Accelerometer CSA und dem Yamax Pedometer untersuchten. Auch bei ihnen zeigt sich trotz starker Korrelation eine zu hohe Differenz zwischen der täglichen mittels Accelerometer und Pedometer ermittelten Schrittzahl [62]. Ebenso warnen auch Barreira et al. nach Untersuchungen zum Vergleich von Schrittmessungen mit GT3X+ und Pedometer (Modell NL-1000) bei älteren Menschen, sowie mit GT3X und Pedometer (Modell Yamax SW-200) bei adipösen Probanden, vor uneingeschränkter Vergleichbarkeit zwischen den beiden Mess-Systemen [63, 64]. Mit einer mittleren Differenz von 698 Schritten pro Tag erzielten Rosenberger et al. eine nahezu identische Abweichung zwischen den Messergebnissen des GT3X+ und dem Omron-Modell HJ-112 wie in der aktuellen Untersuchung [65].

In der vorliegenden Studie wurden in 30 von 40 Fällen durch den GT1M (bzw. 29 von 40 Fällen durch den GT3X+/wGT3X-BT) höhere Werte gemessen als durch das Pedometer. Dies ist ebenfalls konsistent mit dem Ergebnis von Tudor-Locke et al., die dafür die geringere Sensitivität der Schrittzähler bei der Detektion vertikaler Beschleunigung verantwortlich machen [62].

Ein eingebauter Filter soll aus den Daten des Pedometers Omron HJ-322 diejenigen Bewegungen, die keine Schritte darstellen, herausfiltern. Dazu werden erkannte Bewegungen solange nicht als Schritte gezählt, bis sechs aufeinanderfolgende Schritte registriert wurden, welche dann auf einmal zur Gesamtsumme addiert werden. Werden nun lediglich fünf Schritte am Stück getätigt, oder wird eine Pause zwischen dem fünften und sechsten Schritt eingelegt, so werden dadurch 0 Schritte registriert. Auch dies kann zur Erklärung der geringeren Anzahl von Schritten durch das in der aktuellen Untersuchung verwandte Pedometer beitragen.

Mehrere Studien haben gezeigt, dass Schrittzähler besonders bei langsamen Geschwindigkeiten die Anzahl der Schritte nicht exakt erfassen können, da durch die geringe vertikale Beschleunigung der Grenzwert zur Registrierung eines Schrittes nicht immer erreicht wird. Das erlangt besonders bei Probanden höheren Alters oder Patienten mit langsamer Gehgeschwindigkeit Bedeutung [66-68]. Passend dazu zeigte sich bei den weniger aktiven gesunden Probanden eine höhere Abweichung der durch die unterschiedlichen Systeme gemessenen Schritte pro Tag als bei den aktiveren Probanden (vergl. Abbildungen 6 und 7).

Sollte die signifikant geringere Anzahl an täglichen Schritten in der Gruppe der Mukoviszidose-Patienten auch mit einer langsameren Gehgeschwindigkeit einhergehen, so kann auch dies eine Erklärung für die nochmals größere Differenz zwischen Pedometer- und Accelerometer-Schritten bei Kollektiv 2 im Vergleich zur Gruppe der Gesunden sein.

Für einen Vorläufer des hier eingesetzten Schrittzählers, den Omron HJ-105, wurde im Gegensatz zu den meisten anderen getesteten Pedometer-Modellen eher eine Überschätzung der Schritte, insbesondere bei langsamen Geschwindigkeiten, aber auch über den gesamten Tag verteilt, nachgewiesen [66, 69]. Das hier eingesetzte Modell Omron HJ-322 scheint aber, zumindest im Vergleich mit den hier untersuchten Accelerometern, eher wieder zu einer Unterschätzung der Schritte, besonders bei inaktiveren Personen, zu neigen. Zu einem direkten Vergleich mit anderen Pedometer-Modellen wurden bisher keine Untersuchungen durchgeführt.

Die größere Anzahl der durch die Accelerometer gemessenen Schritte wird also am wahrscheinlichsten durch deren höhere Sensitivität bei der Detektion eines Schrittes

erklärt [62, 68], was einerseits eine exaktere Messung bei langsamen Geschwindigkeiten erlaubt, auf der anderen Seite aber auch fälschlicherweise das Mitzählen von Aktivitäten bzw. Beschleunigungen bedingt, die keinen Schritten entsprechen. Le Masurier et al. konnten zeigen, dass sowohl Accelerometer (getestet wurde der CSA) als auch Pedometer (Yamax) während einer Autofahrt fälschlicherweise Schritte zählten, die Anzahl dieser fälschlicherweise „gemessenen“ Schritte jedoch beim Accelerometer 19fach höher als beim Pedometer war [68].

Da es jedoch aufgrund der Durchführung der Studie im alltäglichen Leben der Probanden nicht möglich war, die tatsächliche Anzahl der Schritte zu erfassen, ist es schlussendlich hier nicht möglich, die Überlegenheit des einen über das andere Instrument zu bestimmen.

Der Vergleich der Schritte zwischen den beiden Accelerometer-Modellen GT1M und GT3X+/wGT3X-BT zeigte eine Differenz von lediglich 25 Schritten pro Tag, die insgesamt betrachtet durch den GT1M mehr gezählt wurden. Die Rang-Korrelation mit $r(40) = 0,989$ ($p < 0,05$) und die Intraklassen-Korrelation mit $ICC = 0,998$ war sehr stark und der Wilcoxon-Rangtest wies keine signifikanten Unterschiede auf. Bei lediglich drei der 40 Probanden fand sich eine Abweichung von $> 5\%$ zwischen den beiden Messungen. Insgesamt kann man von einer guten Vergleichbarkeit der Schritt-Zählung zwischen den Accelerometer-Modellen GT1M und GT3X+/wGT3X-BT ausgehen. Auch mit einer mehr als doppelt so hohen Differenz von 58 Schritten pro Tag sprechen Kaminsky et al. in ihrer Studie noch von einer sehr guten Übereinstimmung zwischen GT1M und GT3X [70].

Für die relativ hohe Zahl an „Ausreißern“ im Bland-Altman-Plot (5 der 40 Probanden kamen außerhalb des Bereichs von ± 2 Standardabweichungen zu liegen) ließen sich keine Gemeinsamkeiten hinsichtlich Aktivitätsverhalten, Alter oder Seriennummer der Accelerometer-Modelle feststellen, ein systematischer Fehler erscheint also unwahrscheinlich.

Für jedes der drei Geräte (GT1M, GT3X+/wGT3X-BT, Omron HJ-322) wurden die Probanden anhand der getätigten Schritte pro Tag in einer Reihenfolge sortiert. Dieselben neun Probanden waren bei allen drei Messgeräten unter den Rängen 1-10 zu finden. Unter den zehn inaktivsten Probanden finden sich acht Probanden bei allen drei Geräten auf den hintersten zehn Plätzen.

Fazit:

Es konnte gezeigt werden, dass eine Vergleichbarkeit der durch Pedometer bzw. Accelerometer gezählten absoluten Schritte pro Tag nicht gegeben ist. Am wahrscheinlichsten erscheint, dass aufgrund unterschiedlicher Sensitivität bei der Detektion eines Schrittes der Accelerometer mehr Schritte erfasst als das Pedometer. Bei ausschließlicher Betrachtung der aktiveren Teilnehmer reduzierten sich diese Differenzen in der Schrittzählung zwischen beiden Mess-Systemen.

Eine Vergleichbarkeit zwischen beiden getesteten Accelerometer-Modellen bezüglich der Schrittzählung ist gegeben, es fanden sich hier keine relevanten Unterschiede.

Trotz bedeutender Differenzen zwischen Accelerometer- und Pedometer-Schritten, zeigte sich eine ausreichend gute Übereinstimmung, wenn lediglich die Sortierung und Ränge der Probanden hinsichtlich der täglichen Schrittzahl von Interesse sind.

4.2 Vergleich der beiden Accelerometer-Modelle untereinander

Zum Vergleich von Studien-Ergebnissen und zur Beantwortung der Frage, ob unterschiedliche Accelerometer-Modelle in derselben Studie eingesetzt werden können, ist es wichtig zu wissen, wie gut deren Übereinstimmung ist.

Die Messergebnisse für cpm bzw. Zeitanteil in MVPA der beiden Accelerometer GT1M und GT3X+/wGT3X-BT (einachsiger Modus) lieferten jeweils sehr ähnliche Ergebnisse mit mittleren Differenzen von $< 5\%$.

Unsere Ergebnisse werden von einer großen Anzahl an Studien unterstützt, die für eine gute Vergleichbarkeit der uniaxialen Daten und die Möglichkeit des gleichzeitigen Einsetzens der Modelle der neueren Generation (ab GT1M) innerhalb von (Interventions-)Studien sprechen. So erzielten Grydeland et al. bei einem Vergleich zwischen den ActiGraph-Modellen 7164, GT1M und GT3X+ an Kindern unter Alltagsbedingungen ähnliche Ergebnisse, jedoch nur für die beiden neueren Generationen, mit mittleren Differenzen von $\leq 3,5\%$. Das ältere Modell 7164 wies eine nur ungenügende Übereinstimmung zu den neueren Modellen auf [71]. Ried-Larsen et al. zeigten bei mechanischer Testung verschiedener Accelerometer-Generationen eine gute Übereinstimmung unter den neueren Modellen (GT1M/GT3X/GT3X+), allerdings ebenfalls nicht für den Vorgänger 7164.

Cut Points zur Abgrenzung der verschiedenen Aktivitäts-Niveaus sollten folglich bestenfalls generationenspezifisch gehalten werden und die Entwicklung von Cut Points für neue Accelerometer-Generationen durch Kalibrierungsstudien auch unter Einsatz der entsprechenden neuen Modelle durchgeführt werden [71, 72].

Beim Vergleich der Activity Counts und Zeitanteile in MVPA zwischen GT1M, GT3X und GT3X+ sprachen Robusto et al. von „nahezu perfekter Übereinstimmung“ [73]. Kaminsky et al. wiesen Unterschiede zwischen GT1M und GT3X im Bereich von lediglich 0,4-2,3% nach; Die Korrelationen zeigten sich, ähnlich wie bei den hier vorliegenden Ergebnissen, mit $r > 0,9$ sehr hoch [70].

Ein wichtiges Ergebnis dieser Untersuchung ist somit die Bestätigung, dass die Accelerometer der neueren Generation (GT1M/GT3X+/wGT3X-BT) eine sehr gute Vergleichbarkeit untereinander aufweisen und deshalb parallel in Studien eingesetzt werden können, solange man sich auf die Betrachtung der uniaxialen Messung beschränkt. Diese Schlussfolgerung gilt für Kinder, Jugendliche und Erwachsene gleichermaßen.

Bei den geringen Unterschieden zwischen GT1M und GT3X+/wGT3X-BT in dieser Studie stellt sich die Frage, ob diese sich durch die verschiedenen ActiGraph-Generationen begründen oder ob andere Faktoren, wie beispielsweise die Positionierung der Geräte, die Unterschiede verursachen könnten. Die Geräte wurden bei allen Probanden stets in derselben Reihenfolge am Band befestigt (vorne am Band = bauchwärts GT1M; hinten am Band = rückenwärts GT3X+/wGT3X-BT), weshalb eine Überprüfung der Fragestellung im Nachhinein nicht möglich war. Je nach Platzierung der Geräte (Hüfte vs. unterer Rücken) waren bei Yngve et al. unter überwachten Bedingungen zwar nur geringe, aber dennoch signifikante Abweichungen der Activity Counts zu sehen, diese waren nicht mehr nachweisbar bei mehrtägiger Aktivitätsmessung unter Alltagsbedingungen [58]. Hinsichtlich der über den Tag aufaddierten cpm zeigten sich auch bei Nilsson et al. keine signifikanten Unterschiede zwischen der Positionierung an Rücken bzw. Hüfte [49]. Bei Welk et al. hingegen zeigte sich für die ActiGraph-Modelle ein kleiner, aber signifikanter Unterschied zwischen den Platzierungen in der vorderen Axillar-Linie, der mittleren Axillar-Linie und der hinteren Axillar-Linie über der Hüfte. Hier stellt sich jedoch die Frage der praktischen Relevanz dieses Ergebnisses, da es für die Teilnehmer kaum

möglich ist, die Geräte täglich an exakt derselben Position zu tragen [74]. Die Tatsache, dass das Modell GT3X+/wGT3X-BT in dieser Studie stets etwas weiter rückenwärts getragen wurde als der GT1M, scheint also für die geringen (aber nicht signifikanten) Unterschiede, die zwischen den Ergebnissen beider Modelle detektiert wurden, allenfalls eine geringe Rolle zu spielen.

Da die verwendeten Cut Points von Troiano et al. ausschließlich für einachsige Accelerometer-Messungen aufgestellt wurden, lassen sich zwischen der dreiachsigen GT3X+/wGT3X-BT-Messung und den einachsigen Messungen mit GT1M und GT3X+/wGT3X-BT keine Vergleiche bzgl. der absoluten Messwerte ziehen. Die Korrelationen stellten einen zwar etwas geringeren Zusammenhang als zwischen den jeweiligen einachsigen Messungen, aber dennoch einen engen positiven Zusammenhang zu beiden einachsigen Messungen dar.

Für die moderneren Geräte mit dreiachsiger Mess-Möglichkeit, bedarf es eigener Cut Points, um die Activity Counts den richtigen Intensitätsbereichen zuzuordnen, wie z.B. von Sasaki et al. entwickelt [75]. Beim Vergleich mit älteren Daten aus einachsigen Messungen muss darauf geachtet werden, entsprechend auch nur eine Achse zum Vergleich heranzuziehen.

Fazit:

Eine Vergleichbarkeit zwischen den Accelerometer-Modellen GT1M und GT3X+/wGT3X-BT im einachsigen Modus für die Messungen der Aktivitäts-Counts cpm und dem Zeitanteil in moderater und intensiver Aktivität MVPA, ist gegeben. Der parallele Einsatz beider Modelle innerhalb einer Studie ist möglich.

Trotz dieser Ergebnisse muss auf einen kritischen Umgang beim Vergleich mit anderen Studien geachtet werden, insbesondere darauf, welche und wie viele Achsen der Accelerometer in die Auswertung mit einbezogen wurden.

4.3 Zusammenhänge zwischen Accelerometer- und Pedometer-Messwerten

In einer Studie von Ayabe et al. wurde anhand zweier Gruppen der Einsatz von Accelerometer vs. Pedometer als Motivationshilfe zur Steigerung der körperlichen

Aktivität getestet. Die Gruppe mit Accelerometer und einer Zielsetzung von mindestens 30 min in MVPA pro Tag erreichte sowohl eine Steigerung von MVPA, als auch der Anzahl der täglichen Schritte. Die Gruppe mit Pedometer und einer Zielsetzung von 10000 Schritten/Tag erreichten zwar ebenfalls eine höhere Anzahl täglicher Schritte, jedoch keine MVPA-Verbesserung [76]. Ähnliche Ergebnisse, nämlich dass eine hohe Anzahl von Schritten nicht mit einer hohen Aktivität nach Accelerometer-Kriterien einhergeht, wurden durchaus auch bei einzelnen Teilnehmern der vorliegenden Untersuchung beobachtet. Dem kann zum einen zugrunde liegen, dass es durch Aktivitäten, wie beispielsweise dem Spaziergehen, tatsächlich zu vielen Schritten bei relativ geringen Beschleunigungswerten kommt. Zum anderen gibt es typische Aktivitäten, deren Beschleunigungswerte durch Accelerometer nicht genau erfasst werden können.

Ein Beispiel dafür ist Proband Nr. 9927 aus Kollektiv 1, der bei mehreren Auswertungen als „Ausreißer“ auffiel.

Bei diesem Teilnehmer handelte es sich um einen sportlich aktiven Menschen, der aufgrund seines Ironman-Trainings neben dem Joggen auch viele Kilometer auf dem Rennrad zurückgelegt hat. Zu finden war eine hohe Anzahl an Schritten pro Tag, im Verhältnis dazu jedoch auffallend wenig gemessene Accelerometer-Werte (cpm, Zeitanteil in MVPA und Zeitanteil in Vigorous Activity). In den Ranglisten, welche die Probanden nach der Anzahl an täglichen Schritten ordneten, fand sich 9927 mit allen Messgeräten (Omron, GT1M, GT3X+/wGT3X-BT) stets auf Rang 1. Bei den Ranglisten für die Accelerometer-Messwerte Zeit in MVPA, Zeit in Vigorous Activity und cpm hingegen lediglich auf den Rängen 2-9. Deutlich zeigte sich auch das Missverhältnis Schritte – MVPA/cpm/Vigorous Activity bei den entsprechenden Korrelationen. Am wahrscheinlichsten wurde bei diesem Teilnehmer durch das Fahrradfahren zwar Schritte, nicht jedoch ausreichend Aktivität hoher Intensität durch den Accelerometer aufgezeichnet.

Die Problematik, dass Bewegungssensoren nicht alle Arten von Aktivität messen können, ist bekannt. Dies betrifft insbesondere Aktivitäten, die verstärkt den Oberkörper involvieren, da sie aufgrund der Trageposition der Geräte auf Hüfthöhe nur ungenügend abgebildet werden. Das Tragen von Lasten, stationäres Training wie beispielsweise Gewichtheben, Fahrrad fahren und nicht zuletzt Aktivitäten im Wasser können weder durch Accelerometer noch durch Pedometer korrekt erfasst werden.

Diese Problematik macht sich vor allem bei der Messung von Alltagsaktivitäten bemerkbar.

Bei der Austestung des Accelerometers RT3 durch Howe et al. 2009 zeigte sich, dass bei Aktivitäten, welche auf dem Laufband ausgeführt wurden, die Genauigkeit sowohl der einachsigen Messung, als auch der dreiachsigen Messung deutlich höher ist als für die sogenannten „Aktivitäten des täglichen Lebens“ (Treppen steigen, putzen, etc.), welche vermehrt Bewegungen des Oberkörpers miteinschließen. Tätigkeiten, die nicht unter kontrollierten Bedingungen im Labor auf dem Laufband, sondern im Alltag des Probanden stattfinden, werden unterschätzt [77]. Auch Hendelman et al. beschreiben eine Unterschätzung von Alltags-Aktivitäten um bis zu 56% und warnen davor, Regressionsgleichungen, die anhand von wenigen bestimmten Aktivitäten im Labor entwickelt wurden, einfach auf eine große Anzahl verschiedener Alltags-Aktivitäten zu übertragen. Der Zusammenhang zwischen dem tatsächlichen Energieverbrauch und den gemessenen Activity Counts fällt bei der Erfassung von Alltagsaktivitäten deutlich niedriger aus als bei Kalibrierungsstudien mit Gehen und Laufen in unterschiedlichen Geschwindigkeiten auf dem Laufband [78].

Um der Schwierigkeit der nicht im ausreichenden Maße erfassten Aktivitäten mit Oberkörper-Beteiligung zu begegnen, untersuchten Swartz et al. das zusätzliche Tragen eines ActiGraph-Accelerometers am Handgelenk, was jedoch keine relevanten Vorteile brachte [79].

Zwar lässt sich argumentieren, dass trotz der Vielzahl an Aktivitäten und Bewegungsformen, die zweibeinige gehende Bewegung die bedeutendste Form der Fortbewegung im täglichen Leben ist und für die Erstellung von Aktivitätskriterien und Cut Points im Vordergrund steht [19]. Aber auch für das normale Gehen konnten Kozey et al. zeigen, dass bereits eine Differenzierung zwischen Gehen in der Ebene und Gehen mit Steigung durch Accelerometer nicht im ausreichenden Maße möglich war [31].

Mit der Einführung der dreiachsigen Messungen in der Accelerometrie bestand in erster Linie die Hoffnung auf eine Verbesserung der Genauigkeit bei der Erfassung verschiedener Aktivitäten, insbesondere derer, die nicht unter Studienbedingungen im Labor, sondern im häuslichen Umfeld im Alltag eines Probanden ausgeführt werden. In dieser Studie zeigten sich für nahezu alle durchgeführten Korrelationen sowohl zwischen Pedometer- und Accelerometer-Werten, als auch zwischen den

Accelerometer-Modellen stets geringfügig niedrigere Zusammenhänge, sobald die dritte Achse der Accelerometer mit einbezogen wurde.

In mehreren Studien wurde bereits untersucht, wie groß der Vorteil der dreiachsigen Messung im Vergleich zur einachsigen Messung tatsächlich ist. Kelly et al. zogen einen Vergleich zwischen der einachsigen GT1M-Messung und der dreiachsigen GT3X-Messung, wobei die Korrelation der Messungen von Activity Counts mit $r = 0,937$ sehr hoch ausfiel, geringfügig höher als das Ergebnis vorliegender Studie ($r = 0,898$). Für die Korrelation mit dem parallel gemessenen Sauerstoffverbrauch während der vorgegebenen Aktivitäten, ergab sich bei Kelly et al. kein wesentlicher Unterschied zwischen den Messungen mit einer bzw. drei Achsen, ganz besonders aber keine Verbesserung der Genauigkeit durch den Einsatz dreier Achsen [80].

Howe et al., die Gehen und Joggen auf dem Laufband und Aktivitäten des täglichen Lebens separat betrachteten, zeigten, dass auch aus der Messung mit zwei zusätzlichen Achsen keine Verbesserung oben genannter Problematik hinsichtlich der Unterschätzung von Aktivitäten des täglichen Lebens resultierte [77].

Bisher wird für die Berechnung des Vector Magnitudes (= der Vektor, der alle drei Achsen eines Accelerometers mit einbezieht) allen drei einzelnen Achsen derselbe Stellenwert zugeschrieben, die jeweils gemessenen Activity Counts gehen also mit derselben Gewichtung in die Gleichung ein. Howe et al. beschreiben in ihrer Studie jedoch, dass alleine durch die vertikale Achse, welche für die alltäglichen menschlichen Bewegungen die bedeutendste ist, mehr als 50% der Activity Counts abgebildet werden [77]. Eine Verbesserung der Genauigkeit bei der Messung von Aktivität könnte somit eventuell durch ein besseres Verständnis der Bedeutung einzelner Achsen mit entsprechender Gewichtung in der Vector Magnitude-Gleichung erzielt werden.

Genauere Untersuchungen zu den Vorteilen der dreiachsigen Messung wurden bei der vorliegenden Studie nicht durchgeführt, es zeigte sich, wie oben beschrieben, lediglich, dass die Korrelationen zwischen den Accelerometer-Werten (Zeitanteil in MVPA/ cpm/ Zeitanteil in Vigorous Activity) und den Schrittzähler-Schritten für die dreiachsige Messung stets etwas niedriger lagen als für die einachsige Messung. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen neben den erwähnten Studien von Kelly et al. 2013 und Howe et al. 2009 eine Reihe weiterer Untersuchungen [24, 81, 82].

Trotz der angesprochenen Problematik, dass sowohl durch Pedometer als auch durch Accelerometer - auch nach Einführung der dreiachsigen Messung - nicht alle Arten von Aktivität genau abgebildet werden können, zeigten sich insgesamt betrachtet für beide Kollektive gute Zusammenhänge ($r > 0,7$) zwischen den täglichen Pedometer-Schritten pro Tag und den Accelerometer-Werten cpm bzw. Zeitanteil in MVPA. Dies stimmt mit den Ergebnissen von Tudor-Locke et al. überein, die eine enge Korrelation ($r = 0,74 - 0,86$) zwischen Pedometer-Schritten und verschiedenen Accelerometer-Werten beschreiben [62]. Ebenso kommen De Craemer et al. aufgrund einer guten Korrelation ($r = 0,65$) zwischen Pedometer-Schritten (Omron Walking Style Pro) und Activity Counts (GT1M) bei Vorschulkindern zu dem Schluss, dass neben der Accelerometrie auch die Schrittzählung eine geeignete Methode zur Erfassung der körperlichen Aktivität ist [83].

Eine signifikante Korrelation zwischen den Pedometer-Schritten und den einachsig gemessenen Accelerometer-Werten Zeitanteil in MVPA bzw. cpm ließ sich auch bei Betrachtung der Untergruppen Erwachsene, Inaktive und Aktive des Kollektivs 1 nachweisen. Lediglich bei ausschließlicher Betrachtung der zehn Jugendlichen < 18 Jahre wurde kein signifikanter Zusammenhang mehr erreicht.

Ein guter Zusammenhang zwischen beiden Mess-Systemen zeigte sich auch darin, dass es in dieser Studie zum einen möglich war, durch signifikant höhere Aktivitätswerte in der Accelerometrie, die Teilnehmerhälfte mit mehr (aeroben) Pedometer-Schritten von der Teilnehmerhälfte mit weniger (aeroben) Pedometer-Schritten zu differenzieren. Zum anderen konnte auch die nach Accelerometrie-Kriterien inaktivere Probandenhälfte (maßgeblich war der durchschnittliche relative Zeitanteil in MVPA) durch signifikant weniger Pedometer-Schritte von der aktiveren Hälfte differenziert werden.

Die Accelerometer-Messwerte cpm zeigten sich im Vergleich mit der Messgröße Zeitanteil in MVPA bei allen durchgeführten Korrelationen mit den Pedometer-Schritten etwas im Vorteil. Am ausgeprägtesten zeigte sich dies bei separater Betrachtung der inaktiveren Probandenhälfte. Dies liegt am wahrscheinlichsten daran, dass alle durchgeführten Aktivitäten und auch Ruhephasen in den cpm abgebildet werden, während der Zeitanteil in MVPA nur die Aktivität aus den mindestens moderaten oder noch höheren Intensitätsleveln einbezieht und geringere Aktivität keine Beachtung findet. Die gemessenen cpm bilden die gesamte Alltagsaktivität der

Probanden besser ab. Es wird somit verständlich, dass die Korrelationen mit der Anzahl täglicher Schritte, welche ja durchaus auch im Rahmen von Aktivitäten geringerer Intensität getätigt werden, bei Betrachtung der cpm höher ausfällt als bei Betrachtung des Zeitanteils in MVPA. Der fehlende „Einfluss“ von Aktivitäten aus den geringeren Intensitätsbereichen bei MVPA-Betrachtung spiegelte sich auch in den Ranglistenvergleichen wieder. Hier fanden sich (ebenfalls im Vergleich mit der cpm-Auswertung) speziell in den Bereichen der inaktivsten zehn Probanden deutlich weniger Übereinstimmungen als bei Betrachtung der cpm.

Die Erwartung, mittels der Messung aerober Schritte eine Möglichkeit zur Abbildung der Intensität körperlicher Aktivität auch durch Pedometer zu haben, wurde in dieser Auswertung nicht erfüllt.

Deutlich schwächere Zusammenhänge ergaben sich für die Vergleiche zwischen den Aerobic Steps pro Tag mit den Accelerometer-Werten Zeitanteil in MVPA bzw. dem Zeitanteil in der höchsten Intensitätskategorie Vigorous Activity im Kollektiv 1. Die Mukoviszidose-Patienten aus Kollektiv 2 zeigten keine signifikanten Korrelationen mehr zwischen aeroben Schritten und Accelerometer-Messwerten.

Damit Schritte als Aerobic Steps gezählt werden, mussten die Teilnehmer mindestens zehn Minuten lang mit einer Frequenz von 60 Schritten pro Minute gehen oder laufen. Dies kann beispielsweise bereits erreicht werden durch mäßig zügiges Spaziergehen, was jedoch nur geringer Accelerometer-Aktivität entspricht. Bei Sportarten, welche mit wiederkehrenden kurzen Intervallen hoher Intensität einhergehen, so beispielsweise beim Fußballspielen, werden kaum Aerobic Steps aufgezeichnet, da die geforderten zehn kontinuierlichen Minuten meist nicht erreicht werden. Die Bestimmung der Aerobic Steps mag möglicherweise für ältere Menschen, deren hauptsächliche Aktivität aus längerem Gehen am Stück besteht, einen Nutzen im Sinne einer zusätzlichen Motivationshilfe bringen. Die Intensität körperlicher Aktivität bei jüngeren Menschen wie sie an der aktuellen Studie teilnahmen, lässt sich durch die Auswertung der Aerobic Steps nicht ausreichend beschreiben.

Fazit:

Enge Korrelationen wurden zwischen den mittels Pedometer gemessenen Schritten pro Tag und verschiedenen mit der Accelerometrie erfassten Aktivitätsindikatoren gemessen.

Signifikante Unterschiede zwischen aktiveren und weniger aktiven Teilnehmern bzgl. der Schrittzahlen und Aktivitätsindikatoren stützen die Validität der Systeme.

Weder Pedometer noch Accelerometer sind jedoch in der Lage, alle Formen von Aktivität zu erfassen. Die unter anderem aus diesem Grund entwickelte dreiachsige Messung in der Accelerometrie erbrachte in der durchgeführten Untersuchung keine Vorteile gegenüber der einachsigen Messung.

Die Korrelationen mit der Anzahl täglicher Pedometer-Schritte fällt insbesondere bei den weniger aktiven Probanden bei Betrachtung der Aktivitäts-Counts cpm höher aus als bei Betrachtung des Zeitanteils in MVPA, was vermutlich auf einer besseren Abbildung der Aktivitäten geringerer Intensität durch die Aktivitäts-Counts cpm beruht. Aerobic Steps zeigten schwächere Zusammenhänge mit Accelerometer-Werten als die erfassten Gesamt-Schritte und waren in dieser Auswertung nicht in der Lage, die Intensität körperlicher Aktivität abzubilden.

4.4 Aktivitätsempfehlungen

46% der gesunden erwachsenen Probanden erzielten im Durchschnitt > 10000 Schritte pro Tag. Diese Zahl ist gut vergleichbar mit Ergebnissen etlicher Erhebungen, beispielsweise an belgischen, australischen oder englischen Populationen [84-86]. Geringer fallen die Werte bei Messung der US-amerikanischen Bevölkerung aus [87, 88].

Von den 26 gesunden erwachsenen Probanden mit einer Tragezeit von 7 Tagen, erreichten 25 das von der WHO empfohlene Maß an körperlicher Aktivität, wöchentlich 150 Minuten Zeit in zumindest moderater Intensität zu verbringen (96,1%). Beachtet man jedoch das zusätzliche Kriterium, dass lediglich Aktivitäten, die über eine Dauer von mindestens 10 Minuten in moderater Intensität stattfinden, gewertet werden dürfen, so erreichen nur noch 8 Probanden (30,8%) dieses Ziel. 17 Probanden (65,4%) konnten mit dem Erreichen von mindestens 8000 Schritten pro Tag der von Tudor-Locke et al. aufgestellten Empfehlung nachkommen, 12 Teilnehmer (46,2%) erreichten im Wochendurchschnitt mindestens 10000 Schritte pro Tag.

Schon die Diskrepanzen in diesen Beispielen zeigen, dass bei Vergleichen zwischen Studien exakt darauf geachtet werden sollte, welche Kriterien für die Auswertung der

Accelerometer bzw. für die Einteilung in Erfüllung/Nicht-Erfüllung der Aktivitätsempfehlungen herangezogen werden.

Das Ziel von Tudor-Locke et al. war es, für die gängige Aktivitätsempfehlung (wöchentlich 150 Minuten mindestens moderate Aktivität in Perioden von wenigstens 10-minütiger Dauer) entsprechende Richtwerte für die Pedometrie zu definieren. Mit 7000-8000 Schritten täglich, davon circa 3000 in zügigem Tempo, sollen die Aktivitätsempfehlungen erfüllt sein [19, 20].

Unter den 17 Probanden unserer gesunden Erwachsenen, welche mehr als 8000 Schritte täglich erzielten, erreichten über die Hälfte (10) keine 150 Minuten in MVPA während der erfassten sieben Tage.

Nicht überprüft werden konnte, ob 3000 Schritte in zügigem Tempo gegangen wurden, was möglicherweise die Zahl derer, die das Pedometer-Ziel erreichten, gesenkt hätte. In Anlehnung an die Aktivitätsempfehlungen für Accelerometer-Kriterien sollte auch in der Pedometrie die Aktivität in Perioden mit einer Dauer von mindestens zehn Minuten definiert werden [19]. Bisher gibt es allerdings bei den verwendeten Pedometern keine Möglichkeit zu überprüfen, in welchen Zeitperioden die Schritte gesammelt wurden.

Für die Zählung von Aerobic Steps muss der Omron-Träger über eine Periode von mindestens 10 Minuten eine bestimmte Schrittfrequenz einhalten. Der Zusammenhang zwischen Accelerometer-Werten und Aerobic Steps zeigte sich, wie oben genannt, schwächer als bei Betrachtung der erfassten Gesamt-Schritte. Jedoch findet sich eine stark positive Korrelation ($r = 0,916$) zwischen Aerobic Steps und der Dauer, in welcher Accelerometer-Aktivität innerhalb von 10-Minuten-Perioden ausgeführt wurde. Somit könnte die Messung von Aerobic Steps ein Ansatz sein, die Pedometer-Schritte, ähnlich der zeitlichen Perioden in der Accelerometrie, zeitlich besser einteilen zu können.

Fazit:

Es muss genau darauf geachtet werden, welche Kriterien zur Überprüfung der Einhaltung von Aktivitätsempfehlungen herangezogen werden. Nur dann können entsprechende Studien sinnvoll miteinander verglichen werden. Es erwies sich als schwierig, standardisierte und hinreichend mit den Accelerometer-Kriterien

übereinstimmende Empfehlungen für eine Mindestanzahl von täglichen Schritten zu definieren.

4.5 Vergleich des Aktivitätsverhaltens von Kollektiv 1 mit Kollektiv 2

Der Aktivitäts-Vergleich zwischen Patienten mit Mukoviszidose und gesunden Probanden ergab einen signifikanten Unterschied hinsichtlich der gemessenen täglichen Schritte und dem Zeitanteil in MVPA, wobei die niedrigeren Werte im Kollektiv 2 gemessen wurden.

Geringere körperliche Aktivität von Patienten mit Mukoviszidose wurde auch in anderen Studien festgestellt. Meist zeigte sich jedoch kein deutlicher Unterschied in der Gesamtmenge der täglichen Aktivität, sondern vielmehr eine reduzierte körperliche Betätigung in den hohen Intensitätskategorien [89-91].

In diesem Zusammenhang muss beachtet werden, dass für Mukoviszidose-Patienten ein erhöhter Ruheenergieverbrauch bekannt ist und somit die Energiekosten für körperliche Aktivitäten im Vergleich mit Gesunden im höheren MET-Bereich liegen. Der Energieverbrauch bei Aktivität steigt also überdurchschnittlich [5, 92]. Stephens et al. wiesen in einer Studie nach, dass aktuell eingesetzte Regressionsgleichungen und Cut Points der Accelerometrie nicht für chronisch kranke Kinder anwendbar sind. Trotzdem werden regelmäßig die ursprünglich für Gesunde aufgestellten Cut Points angewandt, ohne die krankheitsbedingten Unterschiede zu berücksichtigen, womit das Bild der körperlichen Aktivität der Teilnehmer aus Kollektiv 2 verzerrt und als zu niedrig klassifiziert werden könnte [5].

Aber auch in der Pedometrie, welche einen direkten Vergleich zwischen Gesunden und Mukoviszidose-Patienten besser zulässt, zeigte sich eine signifikant geringere Zahl an täglichen Schritten im Kollektiv 2.

Quon et al. beschreiben die Pedometrie als eine gute Möglichkeit zur Messung körperlicher Aktivität bei Patienten mit Mukoviszidose mit ausreichender Sensitivität, Änderungen des Gesundheitszustandes zu detektieren [45]. Der Autorin der vorliegenden Arbeit sind bisher keine Studien bekannt, welche die Unterschiede hinsichtlich der täglichen Schrittzahl zwischen Gesunden und Patienten mit Mukoviszidose aufzeigen. Die hier durchgeführte Messung ergab im Mittel einen

Unterschied in der Anzahl der täglichen Schritte zwischen beiden Kollektiven von über 2400. Bei einer Differenz der Mittelwerte von mehr als 1300 aeroben Schritten pro Tag ist auch hier der Unterschied zwischen den Gruppen deutlich, auch wenn dieser nicht als signifikant nachgewiesen werden konnte.

Trotz der eingangs beschriebenen bekannten positiven Effekte körperlicher Aktivität auf den Krankheitsverlauf der Mukoviszidose, scheinen sich die Patienten nicht ausreichend körperlich zu betätigen. Diese Beobachtung mag darauf zurückzuführen sein, dass für die Studie ACTIVATE-CF insbesondere wenig-aktive Patienten angesprochen wurden. Es ist nicht unwahrscheinlich, dass dadurch ein Selection-Bias vorliegt. Weiterhin könnte für den beobachteten Unterschied der Faktor Zeit eine Rolle spielen. Bei einem durchschnittlichen Zeitaufwand von ca. 80 Minuten, welche von Mukoviszidose-Patienten für ihre tägliche Therapie aufgebracht werden muss [93], wird verständlich, dass weniger Zeit bleibt, körperlich aktiv zu werden. Körperliche Symptome beim Sport wie Husten und Kurzatmigkeit, gemeinsam mit dem Gefühl, weniger leistungsfähig als gesunde Gleichaltrige zu sein, können zudem zu Vermeidungsverhalten führen [94, 95].

Ein weiterer beachtenswerter Unterschied zwischen beiden Kollektiven, der nicht durch die Auswahl der Teilnehmer erklärbar ist, ist eine signifikant geringere Compliance hinsichtlich der täglichen Tragezeit der Geräte in der Gruppe der Patienten mit Mukoviszidose. Vermutlich lässt sich dies auch auf eine schwierigere Motivierbarkeit im Rahmen der sowieso schon hohen täglichen Therapie-Last zurückzuführen. An dieser Problematik setzt die Studie ACTIVATE-CF, in deren Rahmen die hier verwendeten Patientendaten erhoben wurden, an, um körperliche Aktivität in den Alltag der Patienten zu integrieren, ohne dass dies als eine weitere Form unbeliebter Therapie wirkt.

Die geringere Compliance, auch hinsichtlich des gleichzeitigen Tragens von Accelerometer und Pedometer, eine schmalere Range der Wertebereiche und die kleinere Anzahl an Teilnehmern im Kollektiv 2, führt wahrscheinlich zu der fast durchgängig festgestellten Abschwächung der Korrelationen im Vergleich zum Kollektiv 1.

Fazit:

Ein signifikant geringerer Zeitanteil in der Intensitätskategorie MVPA, eine signifikant geringere Anzahl täglicher Schritte sowie eine signifikant geringere Tragezeit der Geräte wurde in der Gruppe der Patienten mit Mukoviszidose nachgewiesen.

Cut Points der Accelerometrie wurden bislang anhand von Gesunden errechnet und berücksichtigen höhere Energiekosten für körperliche Aktivität bei chronisch Kranken nicht, was zu einer falschen Klassifikation und Unterschätzung deren Aktivität führen kann. Solange keine auf die CF-Population angepassten Cut Points verfügbar sind, ist es somit sicherlich von Vorteil, Aktivitäts-Vergleiche zwischen Gesunden und Mukoviszidose-Patienten vorrangig unter Einsatz von Pedometern zu ziehen.

4.6 Limitationen der Studie

In der vorliegenden Studie wurden die Troiano-Cut Points, welche anhand des ActiGraph-Modells 7164 entwickelt wurden, auf die neueren ActiGraph-Generationen GT1M und GT3X+/wGT3X-BT angewandt und somit nicht generationenspezifisch gewählt. Da bei Grydeland et al. Aktivität durch den 7164 im Vergleich zu GT1M und GT3X+ deutlich höher eingestuft wurde, könnte man vermuten, dass dadurch insgesamt eine zu niedrige Aktivität der Probanden abgebildet wurde [71].

Auf der anderen Seite gibt es auch Studien, die dafürsprechen, dass auch der 7164 gut mit den neueren Accelerometer-Modellen vergleichbar ist und somit Cut Points, welche anhand des 7164 entwickelt wurden, auch für die aktuellen Modelle eingesetzt werden können [73, 96, 97].

Die Cut Points von Troiano wurden zudem lediglich für einachsige Messungen entwickelt, weshalb in dieser Studie keine absoluten Vergleiche zu den dreiachsigen Messungen gezogen wurden.

Da die Messung der Aktivitäten im Alltag der Probanden stattfand, konnte die Zuverlässigkeit des Tragens der Geräte, insbesondere das gleichzeitige Tragen aller Mess-Geräte, nicht überprüft werden. Um sicher zu gehen, dass die zu vergleichenden Geräte zeitgleich getragen werden, wären Studien unter kontrollierten Bedingungen nötig.

4.7 Fazit

4.7.1 Pedometer

Pedometer eignen sich insbesondere gut für Interventionen, bei welchen Probanden ein direktes und einfach zu verstehendes Feedback erhalten sollen. Es konnten in dieser Studie gute Korrelationen mit verschiedenen Aktivitäts-Werten nachgewiesen werden, sodass auch Pedometer ein gutes Messinstrument zur Erfassung der körperlichen Aktivität darstellen. Noch nicht möglich für Pedometer ist die detaillierte Beschreibung verschiedener Aktivitäts-Dimensionen (Intensität, genaue zeitliche Einteilung und Klassifizierung der Aktivität, etc.). Besonders für den ersten Eindruck der Basis-Aktivität von Probanden bzw. Patienten können Pedometer sicherlich sinnvoll eingesetzt werden. Bei Beschränkung alleine auf die Zahl der täglichen Anzahl von Schritten liegt der Vorteil von Pedometern darin, dass diese Größe nicht viele verschiedene Auswertungs- und Interpretationsmöglichkeiten zulässt und dadurch der Vergleich mit anderen Studien vereinfacht wird. Allerdings muss auch bei Pedometern darauf geachtet werden, dass unter verschiedenen Modellen teils deutliche Differenzen zwischen den Messergebnissen existieren [69]. Die Genauigkeit von Pedometern kann jedoch mit relativ einfachen Mitteln, wie beispielsweise dem Laufen auf dem Laufband und gleichzeitiger direkter Observation überprüft werden. Unter free-living-Konditionen allerdings gibt es dafür keinen Goldstandard [69]. Wünschenswert wären zukünftig weitere Entwicklungen, welche eine zeitliche Einteilung der absolvierten Schritte ermöglichen und somit das Erfassen des Musters der körperlichen Aktivität im Tagesverlauf zulassen.

4.7.2 Accelerometer

Accelerometer betreffend ist das hervorstechendste Problem aktuell die fehlende Standardisierung, die zu einer schlechten Vergleichbarkeit verschiedener Studienergebnisse führt. Einen wesentlichen Anteil daran hat die nicht-standardisierte Durchführung von Kalibrierungsstudien, wodurch auch für dieselben Accelerometer-Modelle eine Vielzahl unterschiedlicher Regressionsgleichungen und Cut Points entstehen [31]. Erschwerend kommen die nicht einheitlichen Definitionen in der Datenverarbeitung hinsichtlich Non Wear Time, Epoch Length, Minimalanzahl gültiger Tage, minimaler Tragezeit pro Tag etc. hinzu. Für Vergleiche zwischen verschiedenen Probanden-Gruppen wären zukünftig Cut Points wünschenswert, welche über

Anpassungsmöglichkeiten an das Accelerometer-Modell (einachsig – mehrachsig) sowie an Besonderheiten einer Population (z.B. erhöhter Ruheenergieverbrauch bei chronisch Kranken) verfügen, sodass eine korrekte Klassifikation der ausgeführten Aktivität gewährleistet werden kann.

Die Problematik der Unterschätzung von Alltagsaktivitäten aufgrund der unter Labor-Bedingungen durchgeführten Kalibrierungsstudien wurde oben bereits erläutert. Accelerometer sind teurer in der Anschaffung und es wird für Vorbereitung und Auswertung zusätzliches Personal und mehr Zeit benötigt.

Vorteilhaft ist im Vergleich zu Pedometern die Möglichkeit der genaueren Charakterisierung von Aktivität (Frequenz, Intensität, Dauer, etc.) und von Aktivitäts-Mustern der Probanden, mit der Möglichkeit zur Speicherung von Daten über lange Zeiträume.

4.7.3 Ausblick

Die Entscheidung zwischen dem Einsatz Pedometer und Accelerometer in Studien ist letztlich abhängig von Faktoren wie der Anzahl der Probanden, Budget, Anzahl der verfügbaren Mitarbeiter und der Dauer der Messung. Da es beiden Geräten nicht möglich ist, die komplette Bandbreite an Aktivitäten zu erfassen, kann auch anhand des zu erwartenden Aktivitätsspektrums eine Entscheidung erleichtert werden.

Bei einer Interventionsstudie wie ACTIVATE-CF, bei der die Probanden über einen längeren Zeitraum aktiv in die Überprüfung der eigenen Aktivität mit einbezogen werden, auch um dadurch möglichst nachhaltig motiviert zu werden, ist der Einsatz von Pedometern sicherlich die günstigere Alternative.

Die Vergleichbarkeit zwischen Studien wird auch weiterhin durch die wachsende Zahl an Messgeräten und verschiedenen Interpretations- und Auswertungsmöglichkeiten, schwierig bleiben. Ganz besonders wenn es um die Therapie von Erkrankungen, wie beispielsweise der Mukoviszidose geht, wäre jedoch eine standardisierte Erfassung von körperlicher Aktivität nötig, sodass die Möglichkeit zum Vergleich zwischen (Interventions-) Studien und zwischen Mukoviszidose-Ambulanzen gegeben wird. Wünschenswert wäre für die Patienten in der Folge zum einen die Entwicklung krankheitsspezifischer Regressionsgleichungen und Cut Points mit z.B. Anpassung an einen erhöhten Ruheenergieverbrauch, zum anderen die Erarbeitung übereinstimmender Richtlinien und Empfehlungen für messbare Größen wie der

Anzahl der täglichen Schritte oder dem Zeitanteil in verschiedenen Intensitätskategorien.

5. Zusammenfassung

Eine hohe körperliche Aktivität verbessert das allgemeine Wohlbefinden und reduziert gesundheitliche Risikofaktoren. Von verschiedenen Gesellschaften existieren daher Empfehlungen zum Ausmaß der körperlichen Aktivität. Auch bei einigen chronischen Erkrankungen, wie beispielsweise der Mukoviszidose, ist die körperliche Aktivität fester Bestandteil der Therapie. Es lässt sich hierbei eine Steigerung von unter anderem Lebensqualität, Lungenfunktion und Belastungstoleranz durch vermehrte körperliche Betätigung nachweisen.

Bei der Messung körperlicher Aktivität rücken zunehmend objektive Mess-Systeme wie z.B. Pedometrie und Accelerometrie in den Fokus, um den Ungenauigkeiten durch Erfassung mittels Fragebögen etc. zu begegnen.

Ziel dieser Studie war es, das Pedometer-Modell Omron HJ-322 und Accelerometer-Modelle unterschiedlicher Generationen (ActiGraph GT1M und ActiGraph GT3X+/wGT3X-BT) hinsichtlich ihrer Beschreibung von Aktivität unter Alltagsbedingungen miteinander zu vergleichen. Dies erfolgte durch das parallele Tragen der jeweiligen Geräte über 7 Tage bei 40 gesunden Probanden sowie 15 Mukoviszidose-Patienten, bei welchen eine Aktivitätsmessung im Rahmen der Studie ACTIVATE-CF erfolgte. Alle Teilnehmer waren älter als 12 Jahre.

Die Ergebnisse zeigten, dass eine Vergleichbarkeit der durch Pedometer bzw. Accelerometer gezählten absoluten Schritte pro Tag nicht gegeben ist. Die Accelerometer erfassten mehr Schritte als die Pedometer, am wahrscheinlichsten aufgrund unterschiedlicher Sensitivität bei der Detektion eines Schrittes.

Eine Vergleichbarkeit zwischen den Accelerometer-Modellen GT1M und GT3X+/wGT3X-BT für die gezählten Schritte pro Tag, die Aktivitäts-Werte Counts per Minute (cpm) und Zeitanteil in moderater und intensiver Aktivität (MVPA) ist gegeben, was das parallele Einsetzen beider Modelle im einachsigen Modus innerhalb einer Studie ermöglicht. Trotz dieser Ergebnisse muss aufgrund fehlender Standardisierung bzgl. Regressionsgleichungen, Cut Points und Einbezug der verschiedenen Achsen stets auf einen kritischen Umgang beim Vergleich mit anderen Studien geachtet werden.

Enge Beziehungen wurden zwischen den gezählten Schritten mittels Pedometer und unterschiedlichen Aktivitäts-Werten der Accelerometer gemessen. Abgeschwächt wurden diese Zusammenhänge bei Betrachtung der Aerobic Steps. Die Erwartung, durch Messung der aeroben Schritte, die Intensität körperlicher Aktivität auch durch Pedometrie darstellen zu können, wurde nicht erfüllt.

Signifikante Unterschiede zwischen aktiveren und weniger aktiven Teilnehmern bzgl. der Schrittzahlen und Aktivitätsindikatoren stützen die Validität der Systeme.

Bei der Überprüfung der Einhaltung von Aktivitätsempfehlungen muss genau darauf geachtet werden, welche Kriterien herangezogen wurden. Nur dann können entsprechende Studien sinnvoll miteinander verglichen werden.

Patienten mit Mukoviszidose zeigten signifikant geringere Werte in der Aktivitätskategorie MVPA. Dies könnte durch eine zu geringe Klassifikation deren Aktivität bei Verwendung der anhand und für Gesunde entwickelten Accelerometer-Cut Points bedingt sein, da ein nachgewiesener erhöhter Energieverbrauch bei chronisch Kranken nicht berücksichtigt wird. Da zusätzlich die Anzahl der täglichen Schritte signifikant niedriger war, ist jedoch von einer tatsächlich geringeren körperlichen Betätigung der teilnehmenden Patienten mit Mukoviszidose im Vergleich mit den gesunden Probanden auszugehen.

Letztlich ist die Entscheidung, welches Messgerät zur möglichst objektiven Bestimmung der körperlichen Aktivität eingesetzt werden soll, abhängig von Faktoren wie der Anzahl der Probanden, Budget, Dauer der Messung, dem zu erwartenden Aktivitätsspektrum und der Zielsetzung bzw. Fragestellung der Studie.

Die Vergleichbarkeit zwischen Studien wird auch weiterhin durch die wachsende Zahl an Messgeräten und verschiedenen Interpretations- und Auswertungsmöglichkeiten, schwierig bleiben. Insbesondere wenn es um die Therapie von Erkrankungen, wie der Mukoviszidose geht, wäre jedoch eine standardisierte Erfassung von körperlicher Aktivität wichtig. Dabei sollten zukünftig auch verstärkt krankheitsspezifische Besonderheiten beachtet werden und entsprechende spezifische Grenzwerte entwickelt werden. Wünschenswert wären für die Patienten in der Folge auch übereinstimmende Richtlinien und Empfehlungen für messbare Aktivitäts-Größen wie die Anzahl der täglichen Schritte oder der Zeitanteil in verschiedenen Intensitätskategorien.

6. Literaturverzeichnis

1. World Health Organization, *Global Recommendations on Physical Activity for Health* 2010.
2. Caspersen, C.J., K.E. Powell, and G.M. Christenson, *Physical activity, exercise, and physical fitness: definitions and distinctions for health-related research*. Public Health Rep, 1985. **100**(2): p. 126-31.
3. Pate, R.R., et al., *Physical activity and public health. A recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine*. JAMA, 1995. **273**(5): p. 402-7.
4. U.S. Department of Health and Human Services, *Physical Activity and Health: A Report of the Surgeon General, Atlanta, GA*. 1996.
5. Stephens, S., et al., *Validation of Accelerometer Prediction Equations in Children with Chronic Disease*. *Pediatr Exerc Sci*, 2016. **28**(1): p. 117-32.
6. Adamo, K.B., et al., *A comparison of indirect versus direct measures for assessing physical activity in the pediatric population: a systematic review*. *Int J Pediatr Obes*, 2009. **4**(1): p. 2-27.
7. Corder, K., et al., *Assessment of physical activity in youth*. *J Appl Physiol* (1985), 2008. **105**(3): p. 977-87.
8. Bailey, R.C., et al., *The level and tempo of children's physical activities: an observational study*. *Med Sci Sports Exerc*, 1995. **27**(7): p. 1033-41.
9. Sallis, J.F., *Self-report measures of children's physical activity*. *J Sch Health*, 1991. **61**(5): p. 215-9.
10. Prince, S.A., et al., *A comparison of direct versus self-report measures for assessing physical activity in adults: a systematic review*. *Int J Behav Nutr Phys Act*, 2008. **5**: p. 56.
11. Ainsworth, B., et al., *The current state of physical activity assessment tools*. *Prog Cardiovasc Dis*, 2015. **57**(4): p. 387-95.
12. Le Masurier, G.C. and C.B. Corbin, *Steps counts among middle school students vary with aerobic fitness level*. *Res Q Exerc Sport*, 2006. **77**(1): p. 14-22.
13. Rowlands, A.V., et al., *Relationship Between Bone Mass and Habitual Physical Activity and Calcium Intake in 8- to 11-Year-Old Boys and Girls*. *Pediatric Exercise Science* 2002. **14**(4): p. 358-368.
14. Parfitt, G. and R.G. Eston, *The relationship between children's habitual activity level and psychological well-being*. *Acta Paediatr*, 2005. **94**(12): p. 1791-7.
15. Tudor-Locke, C., et al., *Controlled outcome evaluation of the First Step Program: a daily physical activity intervention for individuals with type II diabetes*. *Int J Obes Relat Metab Disord*, 2004. **28**(1): p. 113-9.
16. Lubans, D.R., P.J. Morgan, and C. Tudor-Locke, *A systematic review of studies using pedometers to promote physical activity among youth*. *Prev Med*, 2009. **48**(4): p. 307-15.
17. Chan, C.B., D.A. Ryan, and C. Tudor-Locke, *Health benefits of a pedometer-based physical activity intervention in sedentary workers*. *Prev Med*, 2004. **39**(6): p. 1215-22.
18. Tudor-Locke, C., et al., *How many steps/day are enough? for children and adolescents*. *Int J Behav Nutr Phys Act*, 2011. **8**: p. 78.
19. Tudor-Locke, C., et al., *How many steps/day are enough? For adults*. *Int J Behav Nutr Phys Act*, 2011. **8**: p. 79.
20. Tudor-Locke, C., et al., *Accelerometer steps/day translation of moderate-to-vigorous activity*. *Prev Med*, 2011. **53**(1-2): p. 31-3.
21. Tudor-Locke, C., et al., *Pedometer-determined step count guidelines for classifying walking intensity in a young ostensibly healthy population*. *Can J Appl Physiol*, 2005. **30**(6): p. 666-76.
22. Hasson, R.E., et al., *Validity of the Omron HJ-112 pedometer during treadmill walking*. *Med Sci Sports Exerc*, 2009. **41**(4): p. 805-9.
23. Holbrook, E.A., T.V. Barreira, and M. Kang, *Validity and reliability of Omron pedometers for prescribed and self-paced walking*. *Med Sci Sports Exerc*, 2009. **41**(3): p. 670-4.

24. Freedson, P., D. Pober, and K.F. Janz, *Calibration of accelerometer output for children*. Med Sci Sports Exerc, 2005. **37**(11 Suppl): p. S523-30.
25. Montoye, H.J., et al., *Estimation of energy expenditure by a portable accelerometer*. Med Sci Sports Exerc, 1983. **15**(5): p. 403-7.
26. Troiano, R.P., et al., *Evolution of accelerometer methods for physical activity research*. Br J Sports Med, 2014. **48**(13): p. 1019-23.
27. John, D. and P. Freedson, *ActiGraph and Actical physical activity monitors: a peek under the hood*. Med Sci Sports Exerc, 2012. **44**(1 Suppl 1): p. S86-9.
28. ActiGraph, *GT3X+ and wGT3X+ Device Manual* 2013.
29. ActiGraph, *wGT3X-BT User's Manual* 2014.
30. ActiGraph, *ActiLife 6 User's Manual* 2012.
31. Kozey, S.L., et al., *Accelerometer output and MET values of common physical activities*. Med Sci Sports Exerc, 2010. **42**(9): p. 1776-84.
32. Ainsworth, B.E., et al., *Compendium of physical activities: classification of energy costs of human physical activities*. Med Sci Sports Exerc, 1993. **25**(1): p. 71-80.
33. Kerem, E., et al., *Prediction of mortality in patients with cystic fibrosis*. N Engl J Med, 1992. **326**(18): p. 1187-91.
34. Nixon, P.A., et al., *The prognostic value of exercise testing in patients with cystic fibrosis*. N Engl J Med, 1992. **327**(25): p. 1785-8.
35. Orenstein, D.M., et al., *The quality of well-being in cystic fibrosis*. Chest, 1989. **95**(2): p. 344-7.
36. Selvadurai, H.C., et al., *Gender differences in habitual activity in children with cystic fibrosis*. Arch Dis Child, 2004. **89**(10): p. 928-33.
37. Orenstein, D.M., et al., *Strength vs aerobic training in children with cystic fibrosis: a randomized controlled trial*. Chest, 2004. **126**(4): p. 1204-14.
38. Schneiderman, J.E., et al., *Longitudinal relationship between physical activity and lung health in patients with cystic fibrosis*. Eur Respir J, 2014. **43**(3): p. 817-23.
39. Kriemler, S., et al., *Effect of supervised training on FEV1 in cystic fibrosis: a randomised controlled trial*. J Cyst Fibros, 2013. **12**(6): p. 714-20.
40. Klijn, P.H., et al., *Effects of anaerobic training in children with cystic fibrosis: a randomized controlled study*. Chest, 2004. **125**(4): p. 1299-305.
41. Selvadurai, H.C., et al., *Randomized controlled study of in-hospital exercise training programs in children with cystic fibrosis*. Pediatr Pulmonol, 2002. **33**(3): p. 194-200.
42. Orenstein, D.M., et al., *Exercise conditioning and cardiopulmonary fitness in cystic fibrosis. The effects of a three-month supervised running program*. Chest, 1981. **80**(4): p. 392-8.
43. Hebestreit, H., et al., *Long-term effects of a partially supervised conditioning programme in cystic fibrosis*. Eur Respir J, 2010. **35**(3): p. 578-83.
44. Savi, D., et al., *Relationship between pulmonary exacerbations and daily physical activity in adults with cystic fibrosis*. BMC Pulm Med, 2015. **15**: p. 151.
45. Quon, B.S., et al., *Feasibility of using pedometers to measure daily step counts in cystic fibrosis and an assessment of its responsiveness to changes in health state*. J Cyst Fibros, 2012. **11**(3): p. 216-22.
46. Savi, D., et al., *Relationship between daily physical activity and aerobic fitness in adults with cystic fibrosis*. BMC Pulm Med, 2015. **15**: p. 59.
47. Trost, S.G., K.L. Mclver, and R.R. Pate, *Conducting accelerometer-based activity assessments in field-based research*. Med Sci Sports Exerc, 2005. **37**(11 Suppl): p. S531-43.
48. McClain, J.J., et al., *Epoch length and accelerometer outputs in children: comparison to direct observation*. Med Sci Sports Exerc, 2008. **40**(12): p. 2080-7.
49. Nilsson, A., et al., *Assessing physical activity among children with accelerometers using different time sampling intervals and placements*. Pediatr Exerc Sci, 2002. **14**: p. 87-96.
50. Troiano, R.P., et al., *Physical activity in the United States measured by accelerometer*. Med Sci Sports Exerc, 2008. **40**(1): p. 181-8.

51. Trost, S.G., et al., *Using objective physical activity measures with youth: how many days of monitoring are needed?* Med Sci Sports Exerc, 2000. **32**(2): p. 426-31.
52. Colley, R., S. Connor Gorber, and M.S. Tremblay, *Quality control and data reduction procedures for accelerometry-derived measures of physical activity.* Health Rep, 2010. **21**(1): p. 63-9.
53. Winkler, E.A., et al., *Identifying sedentary time using automated estimates of accelerometer wear time.* Br J Sports Med, 2012. **46**(6): p. 436-42.
54. Choi, L., et al., *Validation of accelerometer wear and nonwear time classification algorithm.* Med Sci Sports Exerc, 2011. **43**(2): p. 357-64.
55. Brage, S., et al., *Reexamination of validity and reliability of the CSA monitor in walking and running.* Med Sci Sports Exerc, 2003. **35**(8): p. 1447-54.
56. Freedson, P.S., E. Melanson, and J. Sirard, *Calibration of the Computer Science and Applications, Inc. accelerometer.* Med Sci Sports Exerc, 1998. **30**(5): p. 777-81.
57. Leenders, N.Y., et al., *Evaluation of methods to assess physical activity in free-living conditions.* Med Sci Sports Exerc, 2001. **33**(7): p. 1233-40.
58. Yngve, A., et al., *Effect of monitor placement and of activity setting on the MTI accelerometer output.* Med Sci Sports Exerc, 2003. **35**(2): p. 320-6.
59. Trost, S.G., et al., *Age and gender differences in objectively measured physical activity in youth.* Med Sci Sports Exerc, 2002. **34**(2): p. 350-5.
60. Harrell, J.S., et al., *Energy costs of physical activities in children and adolescents.* Med Sci Sports Exerc, 2005. **37**(2): p. 329-36.
61. Bland, J.M. and D.G. Altman, *Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement.* Lancet, 1986. **1**(8476): p. 307-10.
62. Tudor-Locke, C., et al., *Comparison of pedometer and accelerometer measures of free-living physical activity.* Med Sci Sports Exerc, 2002. **34**(12): p. 2045-51.
63. Barreira, T.V., et al., *Comparison of older adults' steps per day using NL-1000 pedometer and two GT3X+ accelerometer filters.* J Aging Phys Act, 2013. **21**(4): p. 402-16.
64. Barreira, T.V., et al., *Comparison of GT3X accelerometer and YAMAX pedometer steps/day in a free-living sample of overweight and obese adults.* J Phys Act Health, 2013. **10**(2): p. 263-70.
65. Rosenberger, M.E., et al., *Twenty-four Hours of Sleep, Sedentary Behavior, and Physical Activity with Nine Wearable Devices.* Med Sci Sports Exerc, 2016. **48**(3): p. 457-65.
66. Crouter, S.E., et al., *Validity of 10 electronic pedometers for measuring steps, distance, and energy cost.* Med Sci Sports Exerc, 2003. **35**(8): p. 1455-60.
67. Beets, M.W., M.M. Patton, and S. Edwards, *The accuracy of pedometer steps and time during walking in children.* Med Sci Sports Exerc, 2005. **37**(3): p. 513-20.
68. Le Masurier, G.C. and C. Tudor-Locke, *Comparison of pedometer and accelerometer accuracy under controlled conditions.* Med Sci Sports Exerc, 2003. **35**(5): p. 867-71.
69. Schneider, P.L., S. Crouter, and D.R. Bassett, *Pedometer measures of free-living physical activity: comparison of 13 models.* Med Sci Sports Exerc, 2004. **36**(2): p. 331-5.
70. Kaminsky, L.A. and C. Ozemek, *A comparison of the Actigraph GT1M and GT3X accelerometers under standardized and free-living conditions.* Physiol Meas, 2012. **33**(11): p. 1869-76.
71. Grydeland, M., et al., *Comparison of three generations of ActiGraph activity monitors under free-living conditions: do they provide comparable assessments of overall physical activity in 9-year old children?* BMC Sports Sci Med Rehabil, 2014. **6**: p. 26.
72. Ried-Larsen, M., et al., *Mechanical and free living comparisons of four generations of the Actigraph activity monitor.* Int J Behav Nutr Phys Act, 2012. **9**: p. 113.
73. Robusto, K.M. and S.G. Trost, *Comparison of three generations of ActiGraph activity monitors in children and adolescents.* J Sports Sci, 2012. **30**(13): p. 1429-35.
74. Welk, G.J., et al., *A comparative evaluation of three accelerometry-based physical activity monitors.* Med Sci Sports Exerc, 2000. **32**(9 Suppl): p. S489-97.
75. Sasaki, J.E., D. John, and P.S. Freedson, *Validation and comparison of ActiGraph activity monitors.* J Sci Med Sport, 2011. **14**(5): p. 411-6.

76. Ayabe, M., et al., *Self-monitoring moderate-vigorous physical activity versus steps/day is more effective in chronic disease exercise programs*. J Cardiopulm Rehabil Prev, 2010. **30**(2): p. 111-5.
77. Howe, C.A., J.W. Staudenmayer, and P.S. Freedson, *Accelerometer prediction of energy expenditure: vector magnitude versus vertical axis*. Med Sci Sports Exerc, 2009. **41**(12): p. 2199-206.
78. Hendelman, D., et al., *Validity of accelerometry for the assessment of moderate intensity physical activity in the field*. Med Sci Sports Exerc, 2000. **32**(9 Suppl): p. S442-9.
79. Swartz, A.M., et al., *Estimation of energy expenditure using CSA accelerometers at hip and wrist sites*. Med Sci Sports Exerc, 2000. **32**(9 Suppl): p. S450-6.
80. Kelly, L.A., et al., *Validity of actigraphs uniaxial and triaxial accelerometers for assessment of physical activity in adults in laboratory conditions*. BMC Med Phys, 2013. **13**(1): p. 5.
81. Hislop, J.F., et al., *Comparison of epoch and uniaxial versus triaxial accelerometers in the measurement of physical activity in preschool children: a validation study*. Pediatr Exerc Sci, 2012. **24**(3): p. 450-60.
82. Vanhelst, J., et al., *Comparison of uniaxial and triaxial accelerometry in the assessment of physical activity among adolescents under free-living conditions: the HELENA study*. BMC Med Res Methodol, 2012. **12**: p. 26.
83. De Craemer, M., et al., *Validity of the Omron pedometer and the actigraph step count function in preschoolers*. J Sci Med Sport, 2015. **18**(3): p. 289-93.
84. McCormack, G., B. Giles-Corti, and R. Milligan, *Demographic and individual correlates of achieving 10,000 steps/day: use of pedometers in a population-based study*. Health Promot J Austr, 2006. **17**(1): p. 43-7.
85. De Cocker, K., G. Cardon, and I. De Bourdeaudhuij, *Pedometer-determined physical activity and its comparison with the International Physical Activity Questionnaire in a sample of Belgian adults*. Res Q Exerc Sport, 2007. **78**(5): p. 429-37.
86. Clemes, S.A., S.L. Hamilton, and P.L. Griffiths, *Summer to winter variability in the step counts of normal weight and overweight adults living in the UK*. J Phys Act Health, 2011. **8**(1): p. 36-44.
87. Wyatt, H.R., et al., *A Colorado statewide survey of walking and its relation to excessive weight*. Med Sci Sports Exerc, 2005. **37**(5): p. 724-30.
88. Tudor-Locke, C., et al., *Descriptive epidemiology of pedometer-determined physical activity*. Med Sci Sports Exerc, 2004. **36**(9): p. 1567-73.
89. Troosters, T., et al., *Skeletal muscle weakness, exercise tolerance and physical activity in adults with cystic fibrosis*. Eur Respir J, 2009. **33**(1): p. 99-106.
90. Nixon, P.A., D.M. Orenstein, and S.F. Kelsey, *Habitual physical activity in children and adolescents with cystic fibrosis*. Med Sci Sports Exerc, 2001. **33**(1): p. 30-5.
91. Aznar, S., et al., *Levels of moderate--vigorous physical activity are low in Spanish children with cystic fibrosis: a comparison with healthy controls*. J Cyst Fibros, 2014. **13**(3): p. 335-40.
92. Tomezsko, J.L., et al., *Energy expenditure and genotype of children with cystic fibrosis*. Pediatr Res, 1994. **35**(4 Pt 1): p. 451-60.
93. Sawicki, G.S., D.E. Sellers, and W.M. Robinson, *High treatment burden in adults with cystic fibrosis: challenges to disease self-management*. J Cyst Fibros, 2009. **8**(2): p. 91-6.
94. Moola, F.J., G.E. Faulkner, and J.E. Schneiderman, *"No time to play": perceptions toward physical activity in youth with cystic fibrosis*. Adapt Phys Activ Q, 2012. **29**(1): p. 44-62.
95. Swisher, A.K. and M. Erickson, *Perceptions of physical activity in a group of adolescents with cystic fibrosis*. Cardiopulm Phys Ther J, 2008. **19**(4): p. 107-13.
96. John, D., B. Tyo, and D.R. Bassett, *Comparison of four ActiGraph accelerometers during walking and running*. Med Sci Sports Exerc, 2010. **42**(2): p. 368-74.
97. Kozey, S.L., et al., *Comparison of the ActiGraph 7164 and the ActiGraph GT1M during self-paced locomotion*. Med Sci Sports Exerc, 2010. **42**(5): p. 971-6.

7. Anhang

Tabelle zu 3.2: Vergleiche zwischen den Accelerometer-Modellen (Kollektiv 1 (n=40))

| | | Korrelation | Intraklassen-Korrelation | Ranglisten - Übereinstimmungen | | Bland-Altman-Plot (MW = Mittelwert; STD = Standardabweichung) | Mittlerer Unterschied | Wilcoxon-Test |
|--------------------|--|-----------------------|--------------------------|--------------------------------|------------|---|-----------------------|-------------------------|
| | | | | Rang 1-10 | Rang 31-40 | | | |
| Schritte/Tag | GT1M – GT3X+/wGT3X-BT | r = 0,989 p < 0,01 | ICC = 0,998 | 9/10 | 10/10 | MW = 24,9 STD = 269,96 | 2,04% | Z = -1,384 p = 0,166 |
| Zeitanteil in MVPA | GT1M – GT3X+/wGT3X-BT (einachsig) | r = 0,985 p < 0,01 | ICC = 0,995 | 9/10 | 9/10 | MW = 0,053 STD = 0,3509 | 4,34% | Z = -0,928 p = 0,354 |
| | GT1M – GT3X+/wGT3X-BT (dreiachsig) | r = 0,883 p < 0,01 | ICC = 0,828 | 7/10 | 8/10 | | | |
| | GT3X+/wGT3X-BT (einachsig) - GT3X+/wGT3X-BT (dreiachsig) | r = 0,880 p < 0,01 | ICC = 0,825 | 7/10 | 9/10 | | | |
| Cpm | GT1M – GT3X+/wGT3X-BT (einachsig) | r = 0,992 p < 0,01 | ICC = 0,998 | 10/10 | 9/10 | MW = 3,44 STD = 12,767 | 3,14% | Z = -1,445 p = 0,148 |
| | GT1M – GT3X+/wGT3X-BT (dreiachsig) | r = 0,898 p < 0,01 | ICC = 0,902 | 7/10 | 7/10 | | | |
| | GT3X+/wGT3X-BT (einachsig) - GT3X+/wGT3X-BT (dreiachsig) | r = 0,903 p < 0,01 | ICC = 0,896 | 7/10 | 7/10 | | | |

Tabelle zu 3.3.1: Zusammenhänge zwischen Pedometer- und Accelerometer-Messwerten (Schritte pro Tag)

| | | | Korrelation | Intraklassen-Korrelation | Ranglisten - Übereinstimmungen | | Bland-Altman-Plot (MW = Mittelwert; STD = Standardabweichung) | Mittlerer Unterschied | Wilcoxon-Test |
|--------------------|------------------------|--------------------------|-----------------------|--------------------------|--------------------------------|------------|---|-----------------------|-------------------------|
| | | | | | Rang 1-10 | Rang 31-40 | | | |
| Kollektiv 1 (n=40) | | | | | | | | | |
| Schritte/Tag | Omron – GT1M | Gesamtes Kollektiv 1 | r = 0,943 p < 0,01 | ICC = 0,981 | 9/10 | 8/10 | MW = -655,1 STD = 907,77 | 10,31% | Z = -3,790 p < 0,01 |
| | | Aktive Probandenhälfte | r = 0,794 p < 0,01 | ICC = 0,958 | | | MW = -393,9 STD = 1034,28 | 7,14% | Z = -1,419 p = 0,156 |
| | | Inaktive Probandenhälfte | r = 0,898 p < 0,01 | ICC = 0,950 | | | MW = -916,3 STD = 691,44 | 13,48% | Z = -3,659 p < 0,01 |
| | Omron – GT3X+ wGT3X-BT | | r = 0,953 p < 0,01 | ICC = 0,982 | 9/10 | 8/10 | MW = -630,2 STD = 877,84 | 9,40% | Z = -3,831 p < 0,01 |
| Kollektiv 2 (n=11) | | | | | | | | | |
| Schritte/Tag | Omron – Accelerometer | | r = 0,845 p < 0,01 | ICC = 0,992 | | | MW = -799,2 STD = 676,46 | 14,4% | Z = -2,578 p = 0,01 |

Zu 3.3.2 und 3.3.3: Zusammenhänge zwischen Pedometer- und Accelerometer-Messwerten

| | | | Korrelation | Ranglisten- Übereinstimmungen | |
|---------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------|
| | | | | Rang 1-10 | Rang 31-40 |
| Kollektiv 1 (n=40) | | | | | |
| Schritte/Tag – MVPA | Omron – GT1M | Gesamtes Kollektiv 1 | r = 0,749 p < 0,01 | 7/10 | 5/10 |
| | | Kinder/Jugendliche (n=10) | r = 0,442 p = 0,2 (n.s.) | | |
| | | Erwachsene (n=30) | r = 0,806 p < 0,01 | | |
| | | Aktive Probandenhälfte (n=20) | r = 0,611 p < 0,01 | | |
| | | Inaktive Probandenhälfte (n = 20) | r = 0,516 p < 0,05 | | |
| | Omron – GT3X+/wGT3X-BT (einachsig) | | r = 0,746 p < 0,01 | 7/10 | 5/10 |
| | Omron – GT3X+/wGT3X-BT (dreiachsig) | | r = 0,707 p < 0,01 | 7/10 | 4/10 |
| Schritte/Tag - cpm | Omron – GT1M | Gesamtes Kollektiv 1 | r = 0,795 p < 0,01 | 8/10 | 8/10 |
| | | Kinder/Jugendliche (n=10) | r = 0,709 p < 0,05 | | |
| | | Erwachsene (n=30) | r = 0,828 p < 0,01 | | |
| | | Aktive Probandenhälfte (n=20) | r = 0,626 p < 0,01 | | |
| | | Inaktive Probandenhälfte (n = 20) | r = 0,780 p < 0,01 | | |
| | Omron – GT3X+/wGT3X-BT (einachsig) | | r = 0,806 p < 0,01 | 8/10 | 7/10 |
| | Omron – GT3X+/wGT3X-BT (dreiachsig) | | r = 0,792 p < 0,01 | 7/10 | 7/10 |

| | | | | | |
|----------------------------------|-------------------------------------|--|-----------------------------------|------|------|
| Aer.Schritte/Tag – Vig. Activity | Omron – GT1M | | $r = 0,562$ $p < 0,01$ | 6/10 | 5/10 |
| | Omron – GT3X+/wGT3X-BT (einachsig) | | $r = 0,562$ $p < 0,01$ | 6/10 | 5/10 |
| | Omron – GT3X+/wGT3X-BT (dreiachsig) | | $r = 0,525$ $p < 0,01$ | 6/10 | 6/10 |
| Aer.Schritte/Tag - MVPA | Omron – GT1M | | $r = 0,511$ $p < 0,01$ | 7/10 | 4/10 |
| | Omron – GT3X+/wGT3X-BT (einachsig) | | $r = 0,531$ $p < 0,01$ | 8/10 | 4/10 |
| | Omron – GT3X+/wGT3X-BT (dreiachsig) | | $r = 0,420$ $p < 0,01$ | 6/10 | 3/10 |
| Kollektiv 2 (n=15) | | | | | |
| Schritte/Tag - MVPA | Omron – Accelerometer | | $r = 0,714$ $p < 0,01$ | | |
| Schritte/Tag – cpm | Omron – Accelerometer | | $r = 0,793$ $p < 0,01$ | | |
| Aer.Schritte/Tag – Vig. Activity | Omron – Accelerometer | | $r = 0,324$ $p = 0,24$ (n.s.) | | |
| Aer.Schritte/Tag - MVPA | Omron – Accelerometer | | $r = 0,454$ $p = 0,089$ (n.s.) | | |

Aer. = aerob vig. = Vigorous

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Prof. H. Hebestreit für die Überlassung des Themas, die stets verständnisvolle Unterstützung und konstruktiven Anregungen bei der Durchsicht des Manuskriptes.

Einen herzlichen Dank möchte ich auch Herrn Prof. Faller für die Übernahme des Koreferates aussprechen.

Nicht unerwähnt bleiben sollen alle Probanden, die zuverlässig und mit viel Engagement an der Durchführung dieser Studie mitgewirkt haben.