

Müller C, Winter C, Rosenbaum D

Aktuelle objektive Messverfahren zur Erfassung körperlicher Aktivität im Vergleich zu subjektiven Erhebungsmethoden

Current Objective Techniques for Physical Activity Assessment in Comparison with Subjective Methods

Institut für Experimentelle Muskuloskelettale Medizin, Funktionsbereich Bewegungsanalytik, Universitätsklinikum Münster

ZUSAMMENFASSUNG

Die Erfassung von Alltagsaktivitäten (activities of daily life, ADL) ist unerlässlich, wenn der Zusammenhang von körperlicher Aktivität und Gesundheit aufgezeigt oder die Effizienz von Interventionen zur Steigerung der körperlichen Aktivität evaluiert werden soll. Derzeit existiert keine Methode, die präzise alle Formen der Alltagsaktivitäten erfassen kann. Diese Übersichtsarbeit beschreibt und vergleicht auf Basis einer umfassenden Literaturrecherche moderne Messverfahren zur Erfassung körperlicher Aktivitäten im Alltag, bei der die Darstellung objektiver Verfahren einen Schwerpunkt bildet.

Subjektive Erhebungsmethoden wie Fragebögen und objektive Aktivitätsmonitore, zu denen Schrittzähler und Akzelerometer zählen, sowie kombinierte Verfahren von Akzelerometrie und Herzfrequenz, sind derzeit die gängigsten Methoden, Alltagsaktivitäten zu erfassen. Daneben existieren weitere Möglichkeiten wie Doubly Labeled Water, Kalorimetrie oder direkte Beobachtungen der Testperson, die als Goldstandard des Activity Assessments angesehen und zur Validierung oben genannter Verfahren genutzt werden können. Obwohl diese Methoden das größte Potential bei der Erfassung körperlicher Aktivitäten hinsichtlich der Messpräzision haben, muss bei der Auswahl der Erhebungsmethode angesichts der Vielzahl an Möglichkeiten auch ihre Anwendbarkeit berücksichtigt werden. Die technischen Entwicklungen insbesondere im Bereich des Aktivitätsmonitorings machen eine ständige Auseinandersetzung mit seinen vielfältigen Möglichkeiten unerlässlich. Diese Übersicht soll für den Anwender eine Hilfestellung bei der Studienkonzipierung darstellen.

Schlüsselwörter: Aktivitätserfassung, Körperliche Aktivität, Akzelerometrie

EINLEITUNG

Körperliche Aktivitäten ('physical activity') äußern sich in einem erhöhten Energieverbrauch und können hinsichtlich Art, Intensität, Frequenz und Dauer der Bewegung charakterisiert werden. Die Herausforderung des „Activity Assessments“, d.h. der Erfassung dieser körperlichen Aktivität, liegt darin, sowohl das Bewegungsverhalten als auch den Energieverbrauch als Resultat der Aktivität quantitativ und qualitativ darzustellen. Es gibt eine Vielzahl von Möglichkeiten zur Erfassung der Alltagsaktivität, ohne dass derzeit ein wirklicher Goldstandard existiert, der diese Aktivitäten nach den genannten Kriterien umfassend erheben könnte. Idealerweise sollte eine solche Methode präzise und objektiv messen, einfach in der Handhabung und robust gegenüber externen Störfaktoren sein und dabei den Probanden in seinem Alltagsverhalten nicht beeinflussen.

SUMMARY

The assessment of physical activities is essential to demonstrate the association between physical activity and health and to evaluate the effectiveness of health-promotion programs. Currently no method exists that is able to assess all aspects of physical activities in daily life (ADL). This review describes and compares current physical activity assessment methods on the basis of an extensive literature research with an emphasis on objective methods.

Subjective techniques and objective activity monitoring with pedometers and accelerometers, as well as combined accelerometry and heart rate are the most frequently used methods within the field of activity assessment. Furthermore, there are more elaborate options like Doubly Labeled Water, calorimetry or the direct observation of test subjects, serving as gold standard techniques or criterion measures in validation studies of subjective and objective activity assessment methods. Although these techniques have the greatest potential concerning measurement accuracy, the feasibility of each approach has to be considered with respect to the large variety of assessment methods. Technical improvements in the field of activity monitoring make a permanent analysis with various assessment options essential. This review aims to assist the user in the selection of the appropriate measurement technology for research purposes.

Key words: Activity assessment, Physical activity, Accelerometry

Das Spektrum an Methoden zur Alltagsaktivitätsanalyse umfasst Messverfahren, die nach Beneke in drei Kategorien unterteilt werden können (5):

- Kategorie 1: Die Doubly Labeled Water – Methode (DLW) und indirekte Kalorimetrie (IK) sind Methoden, die aufgrund ihrer hohen Messpräzision bei der Bestimmung des Energieverbrauchs als Goldstandard gelten. Zusammen mit der direkten Beobachtung werden sie auch zur Validierung von Methoden der zweiten und dritten Kategorie genutzt (Tab.1).
- Kategorie 2: Objektive Technologien wie Herzfrequenzmessgeräte, Schrittzähler (Pedometer), Beschleunigungssensoren (Akzelerometer) und ADL-Monitore eignen sich schwerpunktmäßig für klinische Fragestellungen.
- Kategorie 3: Subjektive Methoden wie Sporttagebücher, Interviews und Fragebogenerhebungen, die besonders für umfangreiche epidemiologische Untersuchungen praktikabel sind.

Tabelle 1: Validitätskoeffizienten und Präzisionsangaben etablierter Assessmentverfahren

Erhebungsmethode	Instrument	Vergleichsmethode	Stichprobe (n)	Alter (Jahre)	Validität (r)	Präzision (%)	Autor
Fragebogen	IPAQ-LF	DLW	36	18 - 56	0,31		(47)
	Baecke	DLW	40	40 - 70	0,54 - 0,69		(40,65)
Pedometer	Yamax	Direkte Beobachtung	325	19 - 85		71 - 96	(55,85)
	New Lifestyles 2000	Direkte Beobachtung	90	32 - 43		88 - 99	(26,27,78,79)
			29	76 ± 4	0,99		(51)
Akzelerometer	Omron	Direkte Beobachtung	341	19 - 85		56 - 99	(27,33,55,78,79)
	MTI ActiGraph	IK	303	6 - 74	0,16 - 0,88		(3,7,34,86,87,91)
		DLW	269	4 - 71	0,18 - 0,58		(31,52,56)
	StepWatch 3	Direkte Beobachtung	244	5 - 86		94 - 99,9	(10,13,33,39,44,54,72,80)
				46	30 - 80	0,9 - 0,99	
	Actical	IK	89	3 - 18	0,6 - 0,9		(22,64,71)
Direkte Beobachtung		38	9 - 59	0,73 - 0,99		(32)	
ADL-Monitor	Sensewear	IK	518	10 - 66	0,11 - 0,9		(8,17,20,29,35,42,50,62)
	TriTrac R3D	IK	221	18 - 62	0,04 - 0,96		(19,43,61,81,91)
	ActivPAL	Direkte Beobachtung	51	23 - 87		96 - > 99	(37,38,76)
	DynaPort	Direkte Beobachtung	10	62 ± 6	0,75 - 0,99		(15,66)
	IDEEA	Direkte Beobachtung	105	13 - 76	0,97	99	(51,97)
		IK	27	15 - 61		95 - 99	(96)

Legende:

- IPAQ (International Physical Activity Questionnaire) ○ LF (Long Form) ○ SF (Short Form) • DLW (Doubly Labeled Water), • IK (Indirekte Kalorimetrie)

PROBLEM- UND ZIELSTELLUNG

Aufgrund des Fehlens einer umfassenden Methode zur validen und reliablen Erfassung des Alltagsaktivitätsniveaus werden im Folgenden die gängigen Methoden des Activity Assessments mit ihren Vorteilen und Limitierungen in den jeweiligen Anwendungsgebieten erläutert. Das Ziel dieser Übersicht liegt darin, dem Anwender bei der Studienkonzipierung eine Hilfestellung auf dem sich stetig weiter entwickelnden Gebiet des Activity Assessments zu bieten. Diese Arbeit stellt insofern eine Aktualisierung existierender Übersichten (57) um neuere objektive Technologien dar.

METHODIK

Es werden Validierungsstudien auf Grundlage einer ausführlichen Literaturrecherche dargestellt. Die Suche wurde in elektronischen MEDLINE-Datenbanken (DIMDI, PubMed) mit folgenden Stichworten durchgeführt: 'physical activity assessment, pedometer/pedometry, accelerometer/accelerometry, ADL Monitor/ADL Monitoring'. Zudem wurde die Suche der Begriffe „validity AND ...“, „reliability AND ...“ mit der jeweilige Messmethode kombiniert und durch eine manuelle Suche im Literaturverzeichnis (Schneeballverfahren) auf der Basis aktueller Validierungsstudien ausgeweitet. Es wurden deutsch- und englischsprachige Studien eingeschlossen. Für die Validierung von Aktivitätsmonitoren wurden aufgrund des Update-Charakters dieser Übersicht nur Arbeiten ab dem Jahr 1997 eingeschlossen. Validierungsstudien mussten Messmethoden erster Kategorie (DLW, IK, Beobachtung) als Referenzkriterien einsetzen.

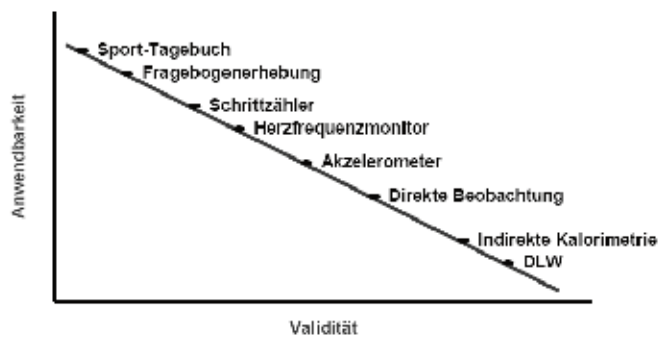


Abbildung 1: Anwendbarkeit und Validität von Möglichkeiten zur Alltagsaktivitätserfassung

LABORBASIERTE METHODEN UND BEOBACHTUNGEN

Das präziseste Verfahren zur Energieverbrauchsbestimmung stellt die Doubly Labeled Water – Methode dar, die ohne Einschränkung des täglichen Lebens den Gesamtenergieverbrauch eines Probanden messen kann (67). Hierzu wird eine definierte Menge Wasser getrunken, das mit den beiden stabilen Isotopen Deuterium (2H) und schwerem Sauerstoff (18O) angereichert ist. Deuterium wird als Wasser ausgeschieden, während schwerer Sauerstoff (18O) sowohl als Wasser als auch als Kohlendioxid ausgeschieden wird. Der Unterschied zwischen diesen beiden Eliminierungsraten liegt folglich in der CO₂-Produktion, die Aussagen über die verbrauchte Energie zulässt (93). Nachteile sind in den hohen Kosten der Methode zu sehen, die einer breiten Anwendung entgegenstehen.

Auch sportliche Belastungen lassen sich mit dieser Methode nicht detailliert darstellen, da die Untersuchung auf einen Zeitraum von vier bis 21 Tagen eingeschränkt ist (31).

Eine Alternative stellt die indirekte Kalorimetrie dar, bei der der Energieverbrauch über die Sauerstoffaufnahme und -abgabe des Probanden bestimmt wird. Messungen können im Labor, aber auch unter Feldbedingungen mithilfe portabler Systeme über Gesichtsmasken oder Mundstücke erfolgen. Limitierungen des Systems lassen sich in seltenen Fällen auf klaustrophobische Zustände, Geruchsbildung oder Atemnot der Patienten bei Nutzung der Gesichtsmaske zurückführen (63). Zudem ist ein Aktivitätsmonitoring nicht über mehrere Tage möglich.

Die direkte Beobachtung ist eine weitere Möglichkeit des Aktivitätsmonitorings. Hierbei wird die Zielperson entweder direkt oder per Videoüberwachung beobachtet (15). Diese Methode eignet sich zur Validierung von Akzelerometern und ADL-Monitoren (57), die körperliche Aktivitäten nicht primär über den Energieverbrauch, sondern über die Anzahl von Schritten und Körperhaltungen definieren. Nachteile stellen der hohe Aufwand für den Untersucher sowie die Aufdringlichkeit einer ständigen Überwachung für die Testperson dar. Somit sind die drei genannten Verfahren der ersten Kategorie einerseits valide, andererseits in ihrer Anwendbarkeit limitiert (Abb. 1).

SUBJEKTIVE METHODEN ZUR ERFASSUNG VON ALLTAGSAKTIVITÄTEN

Zu den subjektiven Methoden zählen neben Fragebogenerhebungen und Sporttagebüchern auch Interviews, die persönlich oder am Telefon durchgeführt werden. Sie weisen im Vergleich zu objektiven Methoden den entscheidenden Vorteil auf, dass sie sich aufgrund geringer Kosten für Studien mit großen Untersuchungstichproben eignen (77) und eine qualitative Erhebung körperlicher Aktivitäten z.B. in Beruf, Haushalt und Freizeit ermöglichen (41). Zudem können sie zwischen unterschiedlichen Sportarten differenzieren. Eine Fragebogenerhebung birgt im Vergleich zum Aktivitätsmonitoring einen zeitlichen Vorteil, da sie nicht mehrere Tage in Anspruch nimmt.

Die Informationen aus Fragebögen und Tagebüchern sind per Definition subjektiv und anfällig für recall bias, einer Erinnerungsverzerrung, die insbesondere bei älteren Personen auftreten kann (40). Dies ist besonders bei niedrig-intensiven Bewegungsformen der Fall, die charakteristisch für ältere Personen sind (89). Schwierigkeiten ergeben sich zudem bei Kindern aufgrund ihrer unregelmäßigen Bewegungsmuster im Alltag (2). Fragebögen können von subjektiven Einschätzungen gefärbt sein, die sich beispielsweise an sozialen Erwartungen orientieren (24). Mit zunehmender Länge des Zeitraums der Datenerhebung können die Ergebnisse unpräziser werden (57).

OBJEKTIVE VERFAHREN ZUR ERFASSUNG VON ALLTAGSAKTIVITÄTEN

Unter dem Begriff Aktivitätsmonitore lassen sich Bewegungssensoren wie Schrittzähler (Pedometer), Beschleunigungssensoren/ADL-Monitore (Akzelerometer) und Herzfrequenzmonitore zusammenfassen. Diese Geräte werden zunehmend kleiner und

leichter, so dass Probanden in ihren Alltagsaktivitäten weniger beeinträchtigt werden.

Pedometrie: Schrittzähler

Pedometer variieren in ihrer Technologie (Pendelarm-/Magnettechnologie, Piezokristall), jedoch definieren sämtliche Sensoren die Alltagsaktivität über Schrittzahlen. Diese werden im Untersuchungszeitraum fortlaufend summiert, so dass das Bewegungsspensum anhand der Gesamtschrittzahl beschrieben wird. Am präzisesten sind die Angaben der Pedometer für Schrittzahlen, weniger präzise für die zurückgelegte Distanz und am ungenaueren für den Energieverbrauch (27).

Überschreitet die Beschleunigung einen Schwellenwert, wird ein Schritt gewertet. Bleibt der Bewegungsausschlag unterhalb einer definierten Schwelle, so wird der Schritt nicht registriert. So lässt sich die häufig beschriebene erhöhte Messpräzision bei zunehmender Bewegungsgeschwindigkeit erklären (26, 44, 85). Melanson und Mitarbeiter (55) empfehlen daher für Studien, in denen sich Probanden langsam fortbewegen, die Anwendung von sensitiveren (piezoelektrischen) Pedometern.

Problematisch wird die Erfassung der Alltagsaktivität mit Schrittzählern bei anderen Bewegungsformen als Gehen oder Laufen. Die Pedometrie stößt an ihre Grenzen, wenn sportliche Belastungen wie Fahrradfahren, Schwimmen, Rudern oder Gerätetraining untersucht werden. Aufgrund der Befestigung am Becken führen diese Bewegungsformen nicht zu nennenswerten Signalen, so dass sie schlecht bzw. gar nicht erfasst werden können.

Akzelerometrie: Beschleunigungssensoren

Die Akzelerometrie ermöglicht sowohl eine objektive Erfassung des Energieverbrauchs als auch der Frequenz, Intensität und Dauer körperlicher Aktivitäten bei minimaler Einschränkung des Probanden im Alltag (91). Ein uniaxialer Akzelerometer (z.B. MTI Actigraph, Stepwatch 3) misst dabei die Beschleunigung ausschließlich in der vertikalen Ebene, während biaxiale (horizontal und vertikal, z.B. SWA Sensewear Armband) und triaxiale Akzelerometer (zusätzlich mediolateral, z.B. Tritrac R3D) zwei- bzw. dreidimensionale Bewegungen über Vektorgrößen erfassen können (93). Omnidirektionale Akzelerometer weisen die größte Sensitivität in der vertikalen Ebene auf (21).

Als Ergebnis einer Aktivitätsmessung mit dem Akzelerometer erhält der Anwender entweder Schrittzahlen/Gangzyklen und/oder einen 'activity counts'-Wert, der die Intensität, Frequenz und Dauer der körperlichen Aktivität beschreibt (21) und so Rückschlüsse auf den Energieverbrauch zulässt. „Counts“ werden über einen geräteinternen Algorithmus berechnet und unterscheiden sich somit von Modell zu Modell, so dass ein Vergleich zwischen verschiedenen Akzelerometern nicht möglich ist. Zudem handelt es sich bei den Activity Counts um einen abstrakten Wert, der – im Gegensatz zu Schrittzahlen – per se keinen Bezug zur Alltagsaktivität enthält.

Akzelerometrie: ADL-Monitore

ADL-Monitore kombinieren die Signale mehrerer Beschleunigungssensoren. Sie erlauben die Bestimmung von Körperhaltungen, -positionen und -bewegungen im Alltag, so dass zusätzlich zu den oben beschriebenen Funktionen der Akzelerometrie sitzende und liegende von stehenden Aktivitäten unterschieden werden können. Je mehr Sensoren für die Aktivitätserfassung eingesetzt werden,

Tabelle 2: Reliabilitätskoeffizienten etablierter Assessmentverfahren

Erhebungsmethode	Instrument	Stichprobe (n)	Alter (Jahre)	Reliabilität (r)	Zeitraum (Tage)	Autor
Fragebogen	IPAQ LF	1916	18-65	0,74 - 0,81	3 - 15	(25, 47)
	IPAQ SF	2058	15-75	0,43 - 0,76	3 - 21	(25, 48)
	Baecke	551	20 - 71	0,65 - 0,9	1-11M	(1, 68, 69, 73)
Pedometer	Yamax	20	22-69	0,992*		-79
	New Lifestyles 2000	30	22-69	0,99 - 0,995*		(27, 79)
	Omron	30	22-69	0,83 - 0,991*		(27, 79)
Akzelerometer	MTI ActiGraph	62	~29 - ~30	0,85 - 0,99		(53, 91)
	StepWatch3	73	~ 65 - ~67	0,83 - 0,99	2 Tage - Wochen	(39, 46, 58)
	Sensewear	20	22 - 32	0,87 - 0,94	2 Tage	-35
	TriTrac R3D	92	18 - 35	0,72 - 0,98	14 Tage	(43, 61, 91)
ADL-Monitor	ActivPAL	30	23 - 48	0,79 - 0,99		(38, 76)
	DynaPort	40	18 - 69	0,63 - 0,91	7 Tage	(60, 90)
	IDEEA	55	Jul 24	0,53 - 0,998	0-7 Tage	(45, 49)

* Reliabilität zwischen zwei Geräten desselben Modells (Intramodel Reliability)

desto präziser wird das Resultat bei gleichzeitig steigender Einschränkung des Probanden in seiner Alltagssituation. ADL-Monitore unterscheiden sich ebenfalls hinsichtlich ausgegebener Messparameter. Während der uniaxiale ActivPAL und der DynaPort ADL-Monitor (3 Sensoren) Alltagsaktivitäten über Schrittzahlen, Kadenz, Dauer und prozentuale Verteilung von Körperhaltungen beschreiben, erfasst der IDEEA ADL-Monitor zusätzlich den Energieverbrauch über fünf kabelverbundene Sensoren.

Herzfrequenzmonitoring

Herzfrequenzmonitore bieten zuverlässige Messungen über einen langen Zeitraum und ermöglichen eine direkte Beurteilung des aktuellen kardiovaskulären Status (9). Der lineare Zusammenhang zwischen Herzfrequenz und Sauerstoffaufnahme (VO_2) ist jedoch bei niedrig-intensiven körperlichen Aktivitäten nicht sehr konstant (83). In Ruhe oder bei leichter körperlicher Belastung gibt es andere Faktoren wie psychologische oder umweltbedingte Stresssituationen, Koffeinkonsum oder Medikationen, die einen signifikanten Einfluss auf das Herzfrequenzverhalten ausüben. Ein neuer Ansatz sieht ein kombiniertes Aktivitätsmonitoring mit Akzelerometern und Herzfrequenzmonitoren vor, um die Limitierungen beider Methoden zu kompensieren. Corder et al. (22) untersuchte 145 Kinder in Ruhe sowie bei Aktivitäten wie Gehen, Laufen und Spielen (erklärte Varianz $R^2 = 0,87-0,91$), und auch Strath et al. (84) verglichen den Energieverbrauch von 30 jungen Erwachsenen mit der indirekten Kalorimetrie bei Ergometerbelastungen und verschiedenen Aktivitäten wie Haus- und Gartenarbeiten ($R^2=0,81$). Die praktische Lösung bietet die Firma MiniMitter® mit dem Actiheart™.

DISKUSSION

Grundsätzlich gibt es eine gegenläufige Beziehung zwischen der Anwendbarkeit und der Validität von Erhebungsmethoden zur Erfassung körperlicher Aktivitäten (Abb.1) (23). Etablierte Verfahren wie die DLW-Methode, die indirekte Kalorimetrie oder eine direkte Beobachtung von Probanden sind für die Alltagsaktivitätserfassung

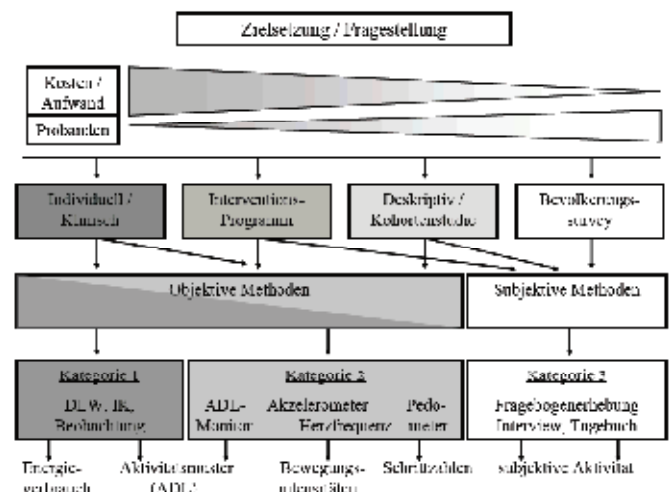


Abbildung 2: Vorüberlegungen bei der Methodenwahl nach (28)

sung aufgrund der Kosten und des Aufwands nicht praktikabel für größere Probandengruppen. Subjektive Methoden eignen sich besonders für große Bevölkerungssurveys, sind jedoch anfällig für den recall bias. Aktivitätsmonitore stellen eine Alternative dar, das Aktivitätsniveau bei gleichermaßen geringer Belastung von Probanden und Untersucher zu bestimmen. Auch die Kosten der Erhebungsmethode sind hinsichtlich der Anwendbarkeit zu berücksichtigen. Während Fragebogenerhebungen und Interviews mit nur geringen Kosten realisierbar sind, steigt der finanzielle Aufwand beim Einsatz von Pedometern, Akzelerometern und ADL-Monitoren an.

Empfehlungen für spezielle Untersuchungsstichproben

Kinder und Jugendliche: Das komplexe Bewegungsprofil von Kindern mit vielen spontanen und impulsiven Bewegungen stellt für das Activity Assessment eine große Herausforderung dar. Das Verfahren der direkten Beobachtung wäre die präziseste Methode zur Erfassung ihrer Alltagsaktivität (83), erscheint aufgrund des enormen Aufwands für den Untersucher und die untersuchten

Personen jedoch nicht geeignet. Schrittzähler ermöglichen eine kostengünstige valide und reliable Erfassung der Gesamtaktivität (Tab. 1,2), nicht jedoch der wechselhaften Bewegungsmuster oder -intensitäten (75). Akzelerometer und kombinierte Verfahren mit Herzfrequenzmessung oder subjektiven Erhebungsmethoden erhöhen einerseits die Messpräzision, schlagen sich andererseits jedoch in höheren Kosten nieder, was große Studien limitieren kann. Wenn ein Aktivitätsmonitor mit der Bekleidung bzw. den Modevorstellungen kollidiert, muss besonders bei Jugendlichen die Frage nach der Compliance gestellt werden (23).

Adipositas-Forschung: Schrittzähler werden häufig zur Untersuchung bzw. Steigerung der Alltagsaktivität von Übergewichtigen sowie in Studien mit dem Ziel der Gewichtsreduktion eingesetzt. Da viele Pedometer eine direkte Rückmeldung über Schrittzahlen und somit näherungsweise auch über den Kalorienverbrauch erlauben, eignen sie sich zusätzlich als Motivationshilfen. Für Übergewichtige werden piezoelektrische Schrittzähler (z.B. New Lifestyles) empfohlen (26), da bei Pedometern mit Hebelarmtechnik (z.B. Yamax) bei zunehmendem BMI ungenauere Ergebnisse erzielt wurden. Der Grund hierfür liegt in einem größeren Neigungswinkel des Schrittzählers am Becken und einer Dämpfung des auftretenden Beschleunigungssignals durch den größeren Weichteilmantel (30). In einer Übersicht von Westerterp (92) mit DLW als Referenzkriterium hingegen zeigten sich signifikante Korrelationen für einen triaxialen Akzelerometer und den Baecke Aktivitätsfragebogen in Stichproben mit adipösen Probanden ($r=0,73-0,8$ bzw. $r=0,69$).

Altersgruppe 50+: Für die Erfassung der physischen Aktivität bei Personen im mittleren und höheren Erwachsenenalter kommen Aktivitätsmonitore wie Schrittzähler und Akzelerometer infrage, da vor allem Spazierengehen in dieser Altersgruppe eine beliebte Freizeitaktivität darstellt. Eine Alternative besonders für große Bevölkerungssurveys stellt die Fragebogenerhebung oder Interviewmethode dar. Kürzlich wurde der „German-PAQ-50+“-Fragebogen mit einer Test-Retest-Reliabilität von $r=0,52-0,6$ vorgestellt, in dem körperliche (Haus-, Gartenarbeit und Freizeit) sowie sportliche Aktivitäten erhoben werden (41).

Senioren: Besondere Beachtung gilt der Erfassung von Alltagsaktivitäten bei Senioren und Personen mit körperlichen Einschränkungen. Schrittzähler korrelieren zwar mit der tatsächlichen Schrittzahl, geben aber aufgrund der geringen Gangdynamik häufig zu geringe Werte an. So wurde bei 33 älteren Patienten mit Hüftgelenksendoprothese gezeigt, dass der Sportline Schrittzähler signifikant zu wenig Schritte (34% weniger) im Vergleich zum StepWatch 3 erfasste, sich jedoch Korrelationen von $r=0,66$ ergaben (82). Auch Shepherd et al. (80) verglichen den Sportline Schrittzähler mit dem StepWatch 3 und fanden für schnelles und langsames Gehen sowie für Treppensteigen geringere Fehlerraten für den Akzelerometer (mittlere Fehlerrate: 0,5%) im Vergleich zum Schrittzähler (mittlere Fehlerrate: 2,8%). Besonders in klinischen Untersuchungen und Studien mit älteren Probanden erscheinen Akzelerometer als geeignete Methoden zur Erfassung von Alltagsaktivitäten (70).

Empfehlungen für die Erfassung bestimmter Aktivitäten

Bei Interventionen zur Steigerung der körperlichen Aktivität eignen sich besonders Schrittzähler mit Feedback-Funktion, um eine Eigenmotivation des Probanden zu stimulieren (14). Bei orthopädischen Fragestellungen beispielsweise zur Haltbarkeit von Totalendoprothesen, gemessen in Lastwechseln, kommen ebenfalls Pedometer und Akzelerometer mit Schrittzahlangabe infrage (94,

95). Sollen neben der Schrittzahl zusätzliche körperliche Aktivitätsmuster erfasst werden, müssen andere Verfahren eingesetzt werden. Pedometer bilden Bewegungsformen wie Fahrradfahren, Schwimmen oder Rudern inadäquat ab, und Akzelerometer können statische körperliche Aktivitäten kaum oder gar nicht erheben. Neuere Technologien nutzen Multisensoren; so kann das Sensewear Armband neben Beschleunigungen auch Hauttemperatur, Hautimpedanz und Wärmefluss erfassen.

Bei der Bestimmung von Sportaktivitäten im Alltag können Akzelerometer eingesetzt werden, um präzise die Dauer, Frequenz und Intensität sportlicher Belastungen zu erheben. Allerdings können sie nicht zwischen verschiedenen Sportarten differenzieren, was den parallelen Einsatz eines Sporttagebuchs oder Fragebogens sinnvoll werden lässt. Wassersportarten machen den Einsatz eines wasserdichten Monitors notwendig, eine Eigenschaft, über die nur wenige Monitore bisher verfügen (z.B. StepWatch, Actical).

Für die Erfassung von Alltagsaktivitäten beispielsweise am Arbeitsplatz, bei denen die Bestimmung von Körperhaltungen und -positionen im Hinblick auf Arbeitsbelastungen relevant wird, eignen sich ADL-Monitore. In klinischen Studien werden überwiegend Fragebögen verwendet, um beispielsweise das Niveau körperlicher Aktivitäten prä- und postoperativ zu bestimmen, doch auch hier wurden ADL-Monitore bereits erfolgreich zur objektiven Aktivitätsbestimmung eingesetzt (12,74).

Einflüsse auf körperliche Aktivität und deren Berücksichtigung beim Activity Assessment

Im Verlauf eines Jahres wurden von Tudor-Locke (88) signifikante Unterschiede im Aktivitätsverhalten zwischen Sommer und Winter, Wochentagen und Wochenenden, Arbeits- und Urlaubstagen sowie Tagen mit und ohne Sport festgestellt. Bei Aktivitätsmessungen müssen daher saisonale Aspekte berücksichtigt werden. Unterschiede in den Witterungsbedingungen können bei Personen mit normalem Aktivitätsniveau von ca. 10.000 Schritten pro Tag bis zu 20% ausmachen (18). Auch die Tragedauer eines Aktivitätsmonitors ist relevant. Hier sollte, sofern der Monitor nicht 24h pro Tag getragen wird, eine Untergrenze für die Mindesttragedauer vorab festgelegt werden. Zudem nimmt das soziale Umfeld der Untersuchungsstichprobe Einfluss auf die Alltagsaktivität (36).

Offene Fragen des Aktivitätsmonitorings

Widersprüchliche Aussagen bestehen zur Validität von Schrittzählern (80,85) und Akzelerometern (42) bei erhöhtem BMI. Sie müssen in zukünftigen Untersuchungen abgesichert werden. Ein weiteres Problem stellt die Compliance der Probanden dar. Besteht der Verdacht, dass Aktivitätsmonitore aus Gründen mangelnder Motivation nicht oder nur unregelmäßig getragen werden, nützt auch ein valides Messinstrument wenig, so dass andere Erhebungsmethoden genutzt werden sollten.

Ob das bloße Tragen eines Aktivitätsmonitors bereits zu einer Motivierung des Probanden führt, sich im Alltag vermehrt zu bewegen, wird kontrovers diskutiert (4,16). Es sollte in Betracht gezogen werden, dass die Motivation, sich vermehrt zu bewegen, besonders zu Beginn einer Messung erhöht sein kann, so dass eine Mindesttragedauer von sieben Tagen anzustreben ist (11).

Implikation für die Praxis

Interventionsprogramme erfordern exakte Alltagsaktivitätsmessungen, um ihre Effektivität zur Steigerung des täglichen Bewe-

gungspensums zu belegen. Welche Verfahren hierbei zum Einsatz kommen können, hängt primär von den geforderten Daten, den vorhandenen, nicht zuletzt finanziellen Möglichkeiten ab sowie von der Untersuchungsstichprobe. Derzeit gibt es noch keine Methode, die präzise alle Formen der Alltagsaktivitäten erfassen kann. Sinnvoll ist daher für möglichst präzise Erhebungen die Kombination mehrerer Verfahren, um die Nachteile einzelner Methoden zu kompensieren. Sollen größere Studienpopulationen untersucht werden, ist nach wie vor die Fragebogenerhebung das Mittel der Wahl. Letztendlich sollte die Auswahl eines Instruments einen Kompromiss zwischen Validität und Anwendbarkeit darstellen und zu Beginn jeder Studie zur Erfassung der Alltagsaktivität neu überdacht werden (Abb. 2).

Angaben zu finanziellen Interessen und Beziehungen, wie Patente, Honorare oder Unterstützung durch Firmen: keine

LITERATUR

1. BAECKE JA, BUREMA J, FRIJTERS JE: A short questionnaire for the measurement of habitual physical activity in epidemiological studies. *Am J Clin Nutr* 36 (1982) 936-942.
2. BAILEY RC, OLSON J, PEPPER SL, PORSZASZ J, BARSTOW TJ, COOPER DM: The level and tempo of children's physical activities: an observational study. *Med Sci Sports Exerc* 27 (1995) 1033-1041.
3. BASSETT DR JR, AINSWORTH BE, SWARTZ AM, STRATH SJ, O'BRIEN WL, KING GA: Validity of four motion sensors in measuring moderate intensity physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 32 (2000) S471-80.
4. BEHRENS TK, DINGER MK: Motion sensor reactivity in physically active young adults. *Res Q Exerc Sport* 78 (2007) 1-8.
5. BENEKE R, LEITHÄUSER RM: Körperliche Aktivität im Kindesalter - Messverfahren. *Dtsch Z Sportmed* 59 (2008) 215-222.
6. BERGMAN RJ, BASSETT DR JR, MUTHUKRISHNAN S, KLEIN DA: Validity of 2 devices for measuring steps taken by older adults in assisted-living facilities. *J Phys Act Health* 5 Suppl 1 (2008) 166-175.
7. BERNTSEN S, HAGEBERG R, AANDSTAD A, MOWINCKEL P, ANDERSEN SA, CARLSEN KH, ANDERSEN LB: Validity of physical activity monitors in adults participating in free living activities. *Br J Sports Med* (in Druck).
8. BERTOLI S, POSATA A, BATTEZZATI A, SPADAFRANCA A, TESTOLIN G, BEDOGNI G: Poor agreement between a portable armband and indirect calorimetry in the assessment of resting energy expenditure. *Clin Nutr* 27 (2008) 307-310.
9. BJORNSON KF: Physical activity monitoring in children and youths. *Pediatr Phys Ther* 17 (2005) 37-45.
10. BOWDEN MG, BEHRMAN AL: Step Activity Monitor: Accuracy and test-retest reliability in persons with incomplete spinal cord injury. *J Rehabil Res Dev* 44 (2007) 355-362.
11. BRANDES M, ROSENBAUM D: Correlations between the step activity monitor and the DynaPort ADL-monitor. *Clin Biomech* (Bristol, Avon) 19 (2004) 91-94.
12. BRANDES M, SCHOMAKER R, MOLLENHOFF G, ROSENBAUM D: Quantity versus quality of gait and quality of life in patients with osteoarthritis. *Gait Posture* 28 (2008) 74-79.
13. BRANDES M, ZIJLSTRA W, HEIKENS S, VAN LUMMEL R, ROSENBAUM D: Accelerometry based assessment of gait parameters in children. *Gait Posture* 24 (2006) 482-486.
14. BRAVATA DM, SMITH-SPANGLER C, SUNDARAM V, GIENGER AL, LIN N, LEWIS R, STAVE CD, OLKIN I, SIRARD JR: Using pedometers to increase physical activity and improve health: a systematic review. *JAMA* 298 (2007) 2296-2304.
15. BUSSEER HJ, DE KORTE WG, GLERUM EB, VAN LUMMEL RC: Method for objective assessment of physical work load at the workplace. *Ergonomics* 41 (1998) 1519-1526.
16. BUTCHER Z, FAIRCLOUGH S, STRATTON G, RICHARDSON D: The effect of feedback and information on children's pedometer step counts at school. *Pediatr Exerc Sci* 19 (2007) 29-38.
17. CEREDA E, TURRINI M, CIAPANNA D, MARBELLO L, PIETROBELLI A, CORRADI E: Assessing energy expenditure in cancer patients: a pilot validation of a new wearable device. *JPEN J Parenter Enteral Nutr* 31 (2007) 502-507.
18. CHAN CB, RYAN DA, TUDOR-LOCKE C: Relationship between objective measures of physical activity and weather: a longitudinal study. *Int J Behav Nutr Phys Act* 3 (2006) 21.
19. CHEN KY, SUN M: Improving energy expenditure estimation by using a triaxial accelerometer. *J Appl Physiol* 83 (1997) 2112-2122.
20. COLE PJ, LEMURA LM, KLINGER TA, STROHECKER K, MC CONNELL TR: Measuring energy expenditure in cardiac patients using the Body Media Armband versus indirect calorimetry. A validation study. *J Sports Med Phys Fitness* 44 (2004) 262-271.
21. CORDER K, BRAGE S, EKELUND U: Accelerometers and pedometers: methodology and clinical application. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 10 (2007) 597-603.
22. CORDER K, BRAGE S, MATTOCKS C, NESS A, RIDDOCH C, WAREHAM NJ, EKELUND U: Comparison of Two Methods to Assess PAEE during Six Activities in Children. *Med Sci Sports Exerc* 39 (2007) 2180-2188.
23. CORDER K, EKELUND U, STEELE RM, WAREHAM NJ, BRAGE S: Assessment of physical activity in youth. *J Appl Physiol* 105 (2008) 977-987.
24. COUGHLIN SS: Recall bias in epidemiologic studies. *J Clin Epidemiol* 43 (1990) 87-91.
25. CRAIG CL, MARSHALL AL, SJOSTROM M, BAUMAN AE, BOOTH ML, AINSWORTH BE, PRATT M, EKELUND U, YNGVE A, SALLIS JF, OJA P: International physical activity questionnaire: 12-country reliability and validity. *Med Sci Sports Exerc* 35 (2003) 1381-1395.
26. CROUTER SE, SCHNEIDER PL, BASSETT DR JR: Spring-levered versus piezo-electric pedometer accuracy in overweight and obese adults. *Med Sci Sports Exerc* 37 (2005) 1673-1679.
27. CROUTER SE, SCHNEIDER PL, KARABULUT M, BASSETT DR JR: Validity of 10 electronic pedometers for measuring steps, distance, and energy cost. *Med Sci Sports Exerc* 35 (2003) 1455-1460.
28. DOLLMANN J, OKELY AD, HARDY L, TIMPERIO A, SALMON J, HILLS AP: A hitchhiker's guide to assessing young people's physical activity: Deciding what method to use. *J Sci Med Sport* 12 (2009) 518-525.
29. DORMINY CA, CHOI L, AKOHOUE SA, CHEN KY, BUCHOWSKI MS: Validity of a multisensor armband in estimating 24-h energy expenditure in children. *Med Sci Sports Exerc* 40 (2008) 699-706.
30. DUNCAN JS, SCHOFIELD G, DUNCAN EK, HINCKSON EA: Effects of age, walking speed, and body composition on pedometer accuracy in children. *Res Q Exerc Sport* 78 (2007) 420-428.
31. EKELUND U, SJOSTROM M, YNGVE A, POORTVLIET E, NILSSON A, FROBERG K, WEDDERKOPP N, WESTERTERP K: Physical activity assessed by activity monitor and doubly labeled water in children. *Med Sci Sports Exerc* 33 (2001) 275-281.
32. ESLIGER DW, PROBERT A, GORBER SC, BRYAN S, LAVIOLETTE M, TREMBLAY MS: Validity of the actical accelerometer step-count function. *Med Sci Sports Exerc* 39 (2007) 1200-1204.
33. FOSTER RC, LANNINGHAM-FOSTER LM, MANOHAR C, MCCRADY SK, NYSSE LJ, KAUFMAN KR, PADGETT DJ, LEVINE JA: Precision and accuracy of an ankle-worn accelerometer-based pedometer in step counting and energy expenditure. *Prev Med* 41 (2005) 778-783.
34. FREEDSON PS, MELANSON E, SIRARD J: Calibration of the Computer Science and Applications, Inc. accelerometer. *Med Sci Sports Exerc* 30 (1998) 777-781.
35. FRUIN ML, RANKIN JW: Validity of a multi-sensor armband in estimating rest and exercise energy expenditure. *Med Sci Sports Exerc* 36 (2004) 1063-1069.
36. GILES-CORTI B, DONOVAN RJ: Relative influences of individual, social environmental, and physical environmental correlates of walking. *Am J Public Health* 93 (2003) 1583-1589.
37. GRANT PM, DALL PM, MITCHELL SL, GRANAT MH: Activity-monitor accuracy in measuring step number and cadence in community-dwelling older adults. *J Aging Phys Act* 16 (2008) 201-214.

38. GRANT PM, RYAN CG, TIGBE WW, GRANAT MH: The validation of a novel activity monitor in the measurement of posture and motion during everyday activities. *Br J Sports Med* 40 (2006) 992-997.
39. HAEUBER E, SHAUGHNESSY M, FORRESTER LW, COLEMAN KL, MACKO RF: Accelerometer monitoring of home- and community-based ambulatory activity after stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 85 (2004) 1997-2001.
40. HERTOIGH EM, MONNINKHOF EM, SCHOUTEN EG, PEETERS PH, SCHUIT AJ: Validity of the Modified Baecke Questionnaire: comparison with energy expenditure according to the doubly labeled water method. *Int J Behav Nutr Phys Act* 5 (2008) 30.
41. HUY C, SCHNEIDER S: Instrument für die Erfassung der physischen Aktivität bei Personen im mittleren und höheren Erwachsenenalter: Entwicklung, Prüfung und Anwendung des "German-PAQ-50+". *Z Gerontol Geriatr* 41 (2008) 208-216.
42. JAKICIC JM, MARCUS M, GALLAGHER KI, RANDALL C, THOMAS E, GOSS FL, ROBERTSON RJ: Evaluation of the SenseWear Pro Armband to assess energy expenditure during exercise. *Med Sci Sports Exerc* 36 (2004) 897-904.
43. JAKICIC JM, WINTERS C, LAGALLY K, HO J, ROBERTSON RJ, WING RR: The accuracy of the TriTrac-R3D accelerometer to estimate energy expenditure. *Med Sci Sports Exerc* 31 (1999) 747-754.
44. KARABULUT M, CROUTER SE, BASSETT DR JR: Comparison of two waist-mounted and two ankle-mounted electronic pedometers. *Eur J Appl Physiol* 95 (2005) 335-343.
45. MACKEY AH, STOTT NS, WALT SE: Reliability and validity of an activity monitor (IDEEA) in the determination of temporal-spatial gait parameters in individuals with cerebral palsy. *Gait Posture* 28 (2008) 634-639.
46. MACKO RF, HAEUBER E, SHAUGHNESSY M, COLEMAN KL, BOONE DA, SMITH GV, SILVER KH: Microprocessor-based ambulatory activity monitoring in stroke patients. *Med Sci Sports Exerc* 34 (2002) 394-399.
47. MADDISON R, NI MHURCHU C, JIANG Y, VANDER HOORN S, RODGERS A, LAWES CM, RUSH E: International Physical Activity Questionnaire (IPAQ) and New Zealand Physical Activity Questionnaire (NZPAQ): A doubly labelled water validation. *Int J Behav Nutr Phys Act* 4 (2007) 62.
48. MADER U, MARTIN BW, SCHUTZ Y, MARTI B: Validity of four short physical activity questionnaires in middle-aged persons. *Med Sci Sports Exerc* 38 (2006) 1255-1266.
49. MAFFIULETTI NA, GORELICK M, KRAMERS-DE QUERVAIN I, BIZZINI M, MUNZINGER JP, TOMASETTI S, STACOFF A: Concurrent validity and intrasession reliability of the IDEEA accelerometry system for the quantification of spatiotemporal gait parameters. *Gait Posture* 27 (2008) 160-163.
50. MALAVOLTI M, PIETROBELLI A, DUGONI M, POLI M, ROMAGNOLI E, DE CRISTOFARO P, BATTISTINI NC: A NEW DEVICE FOR MEASURING RESTING ENERGY EXPENDITURE (REE) in healthy subjects. *Nutr Metab Cardiovasc Dis* 17 (2007) 338-343.
51. MARSH AP, VANCE RM, FREDERICK TL, HESSELMANN SA, REJESKI WJ: Objective assessment of activity in older adults at risk for mobility disability. *Med Sci Sports Exerc* 39 (2007) 1020-1026.
52. MASSE LC, FULTON JE, WATSON KL, MAHAR MT, MEYERS MC, WONG WW: Influence of body composition on physical activity validation studies using doubly labeled water. *J Appl Physiol* 96 (2004) 1357-1364.
53. MCCLAIN JJ, SISSON SB, TUDOR-LOCKE C: Actigraph accelerometer interinstrument reliability during free-living in adults. *Med Sci Sports Exerc* 39 (2007) 1509-1514.
54. McDONALD CM, WIDMAN L, ABRESCH RT, WALSH SA, WALSH DD: Utility of a step activity monitor for the measurement of daily ambulatory activity in children. *Arch Phys Med Rehabil* 86 (2005) 793-801.
55. MELANSON EL, KNOLL JR, BELL ML, DONAHOO WT, HILL JO, NYSSE LJ, LANNINGHAM-FOSTER L, PETERS JC, LEVINE JA: Commercially available pedometers: considerations for accurate step counting. *Prev Med* 39 (2004) 361-368.
56. MONTGOMERY C, REILLY JJ, JACKSON DM, KELLY LA, SLATER C, PATON JY, GRANT S: Relation between physical activity and energy expenditure in a representative sample of young children. *Am J Clin Nutr* 80 (2004) 591-596.
57. MONTOYE HJ: Measuring physical activity and energy expenditure. (1996) 191.
58. MUDGE S, STOTT NS: Test-retest reliability of the StepWatch Activity Monitor outputs in individuals with chronic stroke. *Clin Rehabil* 22 (2008) 871-877.
59. MUDGE S, STOTT NS, WALT SE: Criterion validity of the StepWatch Activity Monitor as a measure of walking activity in patients after stroke. *Arch Phys Med Rehabil* 88 (2007) 1710-1715.
60. MUNNEKE M, DE JONG Z, ZWINDERMAN AH, TIJHUIS GJ, HAZES JM, VLIET VLIELAND TP: The value of a continuous ambulatory activity monitor to quantify the amount and intensity of daily activity in patients with rheumatoid arthritis. *J Rheumatol* 28 (2001) 745-750.
61. NICHOLS JF, MORGAN CG, SARKIN JA, SALLIS JF, CALFAS KJ: Validity, reliability, and calibration of the Tritrac accelerometer as a measure of physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 31 (1999) 908-912.
62. PAPAZOGLU D, AUGELLO G, TAGLIAFERRI M, SAVIA G, MARZULLO P, MALTEZOS E, LIUZZI A: Evaluation of a multisensor armband in estimating energy expenditure in obese individuals. *Obesity (Silver Spring)* 14 (2006) 2217-2223.
63. PATT PL, AGENA SM, VOGEL LC, FOLEY S, ANDERSON CJ: Estimation of resting energy expenditure in children with spinal cord injuries. *J Spinal Cord Med* 30 Suppl 1 (2007) 83-87.
64. PFEIFFER KA, MC IVER KL, DOWDA M, ALMEIDA MJ, PATE RR: Validation and calibration of the Actical accelerometer in preschool children. *Med Sci Sports Exerc* 38 (2006) 152-157.
65. PHILIPPAERTS RM, WESTERTERP KR, LEFEVRE J: Doubly labelled water validation of three physical activity questionnaires. *Int J Sports Med* 20 (1999) 284-289.
66. PITTA F, TROOSTERS T, SPRUIT MA, DECRAMER M, GOSSELINK R: Activity monitoring for assessment of physical activities in daily life in patients with chronic obstructive pulmonary disease. *Arch Phys Med Rehabil* 86 (2005) 1979-1985.
67. PLATTE P, HELLHAMMER J, ZIMMER J, PIRKE KM: Grundumsatz und Energieverbrauch im höheren Lebensalter. *Z Gerontol Geriatr* 37 (2004) 387-392.
68. POLS MA, PEETERS PH, BUENO-DE-MESQUITA HB, OCKE MC, WENTINK CA, KEMPER HC, COLLETTE HJ: Validity and repeatability of a modified Baecke questionnaire on physical activity. *Int J Epidemiol* 24 (1995) 381-388.
69. POLS MA, PEETERS PH, KEMPER HC, COLLETTE HJ: Repeatability and relative validity of two physical activity questionnaires in elderly women. *Med Sci Sports Exerc* 28 (1996) 1020-1025.
70. PRUITT LA, GLYNN NW, KING AC, GURALNIK JM, AIKEN EK, MILLER G, HASKELL WL: Use of accelerometry to measure physical activity in older adults at risk for mobility disability. *J Aging Phys Act* 16 (2008) 416-434.
71. PUYAU MR, ADOLPH AL, VOHRA FA, ZAKERI I, BUTTE NF: Prediction of activity energy expenditure using accelerometers in children. *Med Sci Sports Exerc* 36 (2004) 1625-1631.
72. RESNICK B, NAHM ES, ORWIG D, ZIMMERMAN SS, MAGAZINER J: Measurement of activity in older adults: reliability and validity of the Step Activity Monitor. *J Nurs Meas* 9 (2001) 275-290.
73. RICHARDSON MT, AINSWORTH BE, WU HC, JACOBS DR, JR, LEON AS: Ability of the Atherosclerosis Risk in Communities (ARIC)/Baecke Questionnaire to assess leisure-time physical activity. *Int J Epidemiol* 24 (1995) 685-693.
74. ROSENBAUM D, BRANDES M, HARDES J, GOSHEGER G, RODL R: Physical activity levels after limb salvage surgery are not related to clinical scores-objective activity assessment in 22 patients after malignant bone tumor treatment with modular prostheses. *J Surg Oncol* 98 (2008) 97-100.
75. ROWLANDS AV, ESTON RG: The measurement and interpretation of children's physical activity. *JSSM* 6 (2007) 270-276.
76. RYAN CG, GRANT PM, TIGBE WW, GRANAT MH: The validity and reliability of a novel activity monitor as a measure of walking. *Br J Sports Med* 40 (2006) 779-784.
77. SCHNEIDER S: Zur diametralen Wirkung körperlicher Bewegung in Beruf und Freizeit auf das Rückenschmerzrisiko - Eine bundesweite Repräsentativstudie unter Berücksichtigung weiterer sozialer Risikofaktoren. *Dtsch Z Sportmed* 58 (2007) 433-440.

78. SCHNEIDER PL, CROUTER SE, BASSETT DR: Pedometer measures of free-living physical activity: comparison of 13 models. *Med Sci Sports Exerc* 36 (2004) 331-335.
79. SCHNEIDER PL, CROUTER SE, LUKAJIC O, BASSETT DR, JR: Accuracy and reliability of 10 pedometers for measuring steps over a 400-m walk. *Med Sci Sports Exerc* 35 (2003) 1779-1784.
80. SHEPHERD EF, TOLOZA E, MCCLUNG CD, SCHMALZRIED TP: Step activity monitor: increased accuracy in quantifying ambulatory activity. *J Orthop Res* 17 (1999) 703-708.
81. SHERMAN WM, MORRIS DM, KIRBY TE, PETOSA RA, SMITH BA, FRID DJ, LEENDERS N: Evaluation of a commercial accelerometer (Tritrac-R3 D) to measure energy expenditure during ambulation. *Int J Sports Med* 19 (1998) 43-47.
82. SILVA M, SHEPHERD EF, JACKSON WO, DOREY FJ, SCHMALZRIED TP: Average patient walking activity approaches 2 million cycles per year: pedometers under-record walking activity. *J Arthroplasty* 17 (2002) 693-697.
83. SIRARD JR, PATE RR: Physical activity assessment in children and adolescents. *Sports Med* 31 (2001) 439-454.
84. STRATH SJ, BASSETT DR, JR, SWARTZ AM, THOMPSON DL: Simultaneous heart rate-motion sensor technique to estimate energy expenditure. *Med Sci Sports Exerc* 33 (2001) 2118-2123.
85. SWARTZ AM, BASSETT DR, JR, MOORE JB, THOMPSON DL, STRATH SJ: Effects of body mass index on the accuracy of an electronic pedometer. *Int J Sports Med* 24 (2003) 588-592.
86. SWARTZ AM, STRATH SJ, BASSETT DR, JR, O'BRIEN WL, KING GA, AINSWORTH BE: Estimation of energy expenditure using CSA accelerometers at hip and wrist sites. *Med Sci Sports Exerc* 32 (2000) 450-456.
87. TROST SG, WARD DS, MOOREHEAD SM, WATSON PD, RINER W, BURKE JR: Validity of the computer science and applications (CSA) activity monitor in children. *Med Sci Sports Exerc* 30 (1998) 629-633.
88. TUDOR-LOCKE C, BASSETT DR, SWARTZ AM, STRATH SJ, PARR BB, REIS JP, DUBOSE KD, AINSWORTH BE: A preliminary study of one year of pedometer self-monitoring. *Ann Behav Med* 28 (2004) 158-162.
89. TUDOR-LOCKE CE, MYERS AM: Methodological considerations for researchers and practitioners using pedometers to measure physical (ambulatory) activity. *Res Q Exerc Sport* 72 (2001) 1-12.
90. VAN DAM MS, KOK GJ, MUNNEKE M, VOGELAAR FJ, VLIET VLIELAND TP, TAMINIAU AH: Measuring physical activity in patients after surgery for a malignant tumour in the leg. The reliability and validity of a continuous ambulatory activity monitor. *J Bone Joint Surg Br* 83 (2001) 1015-1019.
91. WELK GJ, BLAIR SN, WOOD K, JONES S, THOMPSON RW: A comparative evaluation of three accelerometry-based physical activity monitors. *Med Sci Sports Exerc* 32 (2000) 489-97.
92. WESTERTERP KR: Assessment of physical activity level in relation to obesity: current evidence and research issues. *Med Sci Sports Exerc* 31 (1999) 522-525.
93. WESTERTERP KR, PLASQUI G: Physical activity and human energy expenditure. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care* 7 (2004) 607-613.
94. WOLLMERSTEDT N, NOTH U, MAHLMEISTER F, LOTZE A, FINN A, EULERT J, HENDRICH C: Aktivitätsmessung von Patienten mit Hüfttotalendoprothesen. *Orthopäde* 35 (2006) 1237-1245.
95. ZAHIRI CA, SCHMALZRIED TP, SZUSZCZEWICZ ES, AMSTUTZ HC: Assessing activity in joint replacement patients. *J Arthroplasty* 13 (1998) 890-895.
96. ZHANG K, PI-SUNYER FX, BOOZER CN: Improving energy expenditure estimation for physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 36 (2004) 883-889.
97. ZHANG K, WERNER P, SUN M, PI-SUNYER FX, BOOZER CN: Measurement of human daily physical activity. *Obes Res* 11 (2003) 33-40.

Korrespondenzadresse:

Carsten Müller

Funktionsbereich Bewegungsanalytik

Institut für Experimentelle Muskuloskeletale Medizin

UKM

Domagkstr. 3

48149 Münster

E-Mail: c.mueller@uni-muenster.de