

Thiel C¹, Claußnitzer G², Vogt L¹, Banzer W¹

Validität herzfrequenzbasierter Energieverbrauchsberechnungen in der pädiatrischen Adipositas therapie

Energy expenditure estimation by flex heart rate method in obese children

¹Abteilung Sportmedizin, Institut für Sportwissenschaften, Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt/Main

²medinet Spessart-Klinik, Bad Orb

Zusammenfassung

Problemstellung: Zur Qualitätssicherung in der pädiatrischen Adipositas therapie und speziell der Bewertung der Wirksamkeit verschiedener Belastungsmodi ist eine präzise und ökonomische Erfassung des Energieumsatzes (EE) notwendig. Die herzfrequenzbasierte HF-Flex Methode zur Energieverbrauchsberechnung ist nicht-invasiv, kostengünstig und findet zunehmend Anwendung in Feldstudien. Die vorliegende Studie untersucht die Validität der HF-Flex Methode im Vergleich mit indirekter Kalorimetrie bei Kindern in der stationären Adipositas therapie. **Methoden:** In einem Vortest wurde bei 12 adipösen Kindern (12,9±1,8 Jahre, BMI 30,6±3,9 kg/m², VO_{2max} 29,8±4,5 ml/(kg*min)) ohne Komorbidität der individuelle Zusammenhang zwischen HF und EE bei einer Ruhemessung sowie einem modifizierten Bruce-Protokoll auf dem Laufband ermittelt. Bei verschiedenen bewegungstherapeutischen Angeboten im Rahmen der 4wöchigen Komplextherapie wurde der EE mittels indirekter Kalorimetrie erfasst (EE_{IndKal}) und mit dem HF-Flex basierten EE (EE_{HF-Flex}) verglichen. **Resultate:** Verglichen mit EE_{IndKal} betrug die durchschnittliche Abweichung von EE_{HF-Flex} für den 6 Minuten-Lauftest, Ballspiele, Fahrradergometer (65 W) und einen Kraftzirkel +3,6±15,4 %, +9,4±16,1 %, +14,7±20,1 % respektive +28,1±27,8 %. Der Pearson Korrelationskoeffizient für den Zusammenhang EE_{IndKal}-EE_{HF-Flex} lag zwischen r=0,92 (p<0,001) (6 Minuten-Lauf) und r=0,76 (p=0,01) (Kräftigungszirkel). **Diskussion:** Die Validität der HF-Flex Methode hängt bei adipösen Kindern vom Belastungsmodus ab. Bei Übereinstimmung von Kalibrierungs- und Erhebungsaktivität erlaubt die HF-Flex-Methode eine Einschätzung des Energieverbrauchs auf Gruppenebene. Bei intermittierenden Belastungen und Kräftigungsübungen wird der EE überschätzt. Für individuelle Aussagen ist das Verfahren ungeeignet.

Schlüsselwörter: Validität, HF-Flex Methode, Energieverbrauch, Adipositas, Kinder

Einführung

Übergewicht und Adipositas stellen bei Heranwachsenden ein Gesundheitsproblem mit rapide wachsendem Ausmaß dar. In Deutschland hat sich die Prävalenz von Adipositas bei Kindern in den letzten 20 Jahren erhöht und liegt aktuell zwischen 5 und 8 % (23).

Im Rahmen multimodaler Therapieansätze werden unter anderem körperlicher Aktivität und Sport aufgrund der Auslösung metabolischer, kardiorespiratorischer und psychischer Effekte große Bedeutung zugeschrieben. Gemessen an

Summary

Objective: Accurate and economic measurement of energy expenditure (EE) is necessary to assess the effects of pediatric obesity therapy and its various modes of exercise. Flex heart rate (HR) monitoring, increasingly used in field studies, is a non-invasive, inexpensive method to predict EE from HR. This study validated the flex HR method against indirect calorimetry in children attending an in-hospital 4-week obesity therapy. **Methods:** According to the flex HR method, HR-EE relationships were obtained in 12 obese children without comorbidities (12.9±1.8 years, BMI 30.6±3.9 kg/m², VO_{2max} 29.8±4.5 ml/(kg*min)). Individual calibration and flex HR point definition were based on simultaneous recordings of VO₂ and HR during three resting modes and a modified Bruce treadmill protocol. Five characteristic exercise therapy programs were selected for field-test validation. There, EE was assessed by indirect calorimetry (EE_{IndKal}) and compared to the flex HR-based EE estimate (EE_{HF-Flex}). **Results:** Mean differences between EE_{HF-Flex} and EE_{IndKal} for a 6-minute running test, ball games, cycle ergometry (65 W) and strength/stability circuit were +3.6±15.4 %, +9.4±16.1 %, +14.7±20.1 % and +28.1±27.8 %, respectively. Pearson's correlation coefficients ranged from r=0.92 (running, p<0.001) to r=0.76 (strength/stability circuit, p=0.01). **Discussion:** The validity of EE_{HF-Flex} in obese children depends largely upon exercise mode. If calibration and field test activity correspond, the flex HR method provides a satisfactory estimate of group EE. The method overestimates actual EE in intermittent or strength-related exercises. It is not suitable for individual estimates.

Keywords: Validity, flex heart rate, energy expenditure, obesity, children

Kriterien der evidenzbasierten Medizin ist allerdings die Wirksamkeit gängiger Konzepte zur Bewegungsintervention in der Rehabilitation adipöser Kinder und Jugendlicher nicht hinreichend belegt (6, 20). Insbesondere ist nicht bekannt, in welcher Ausprägung Faktoren wie Art, Umfang und Intensität zur individuell bestmöglichen Wirkung eines Bewegungsprogramms beitragen.

Objektive Erfassungen des therapeutisch indizierten Energiemehrverbrauchs und des individuellen Beanspruchungsgrads helfen, bestehende Therapieprogramme zu evaluieren, geeignete Sport- und Bewegungsformen für zukünftige Interventionsformen zu identifizieren und zu ent-

wickeln, sowie die Qualität spezifischer Bewegungstherapieprogramme zu sichern (2, 16, 22).

Neben teilweise erheblichen Rückwirkungen auf Probanden und hohen Anschaffungs- oder Betriebskosten sind Methoden wie doppelt stabil markiertes Wasser, direkte und indirekte Kalorimetrie durch eine beschränkte Eignung für Gruppenmessungen in Feldstudien gekennzeichnet oder erlauben keine minütliche Erfassung des Energieumsatzes (10, 22). Diese Einschränkung gilt nicht für Herzfrequenz (HF)-Monitoring, welches jedoch keine Einschätzung des individuellen Bewegungsverhaltens gestattet.

Während körperlicher Aktivität weisen HF und VO_2 einen linearen Zusammenhang auf. Ist diese Beziehung für ein Individuum bekannt, kann auf Basis von HF Aufzeichnungen die Sauerstoffaufnahme und folglich auch der Energieumsatz bei Messungen im Feld berechnet werden. Die fehlende Linearität der HF- VO_2 Relation in Ruhe macht dabei die individuelle Definition einer Herzfrequenz erforderlich, welche zwischen Ruhe- und Belastungsbereich diskriminiert (HF-Flex Punkt). Die HF-Flex Methode als spezielle Variante des HF-Monitoring ist ökonomisch, weist eine geringe Rückwirkung auf und ist für die Messung von Gruppen im Feld geeignet (3, 8, 9, 11, 12, 18). Für eine Evaluation von Bewegungsverhalten und Bewegungsangeboten in der pädiatrischen Adipositas therapie ist sie jedoch nicht validiert. Ziel der vorliegenden Studie ist die vergleichende Untersuchung herzfrequenzbasierter und atemgasanalytischer Energieumsatzbestimmungen bei verschiedenen Formen der Sport- und Bewegungstherapie bei adipösen Kindern. Anders als bisher veröffentlichte Studien, die den Tagesenergieumsatz erheben (3, 8, 9, 11, 12, 18), erlaubt diese Vorgehensweise erstmalig einen zielgruppenspezifischen Vergleich der Effektivität verschiedener Sportarten und unterschiedlicher didaktisch-methodischer Herangehensweisen.

Methodik

Stichprobe

An der Studie nahmen 12 adipöse Kinder (6 männlich, 6 weiblich, $12,9 \pm 1,8$ Jahre, BMI $30,6 \pm 3,9$ kg/m^2) ohne Komorbidität in der zweiten Woche einer 4-6-wöchigen stationären Komplextherapie in der medinet Spessartklinik

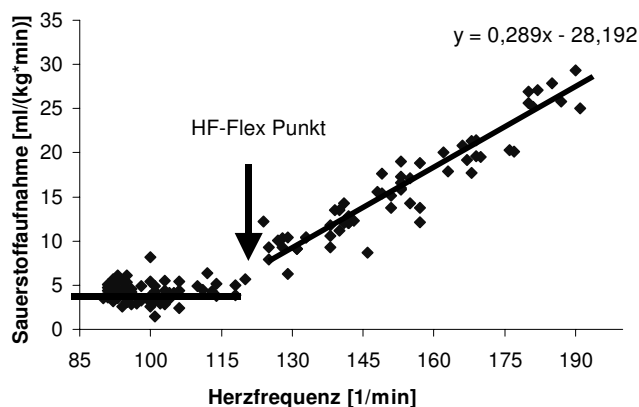


Abbildung 1: Typische HF- VO_2 Relation beim HF-Flex Vortest. Die Linien kennzeichnen Ruhe- VO_2 Durchschnittswert bzw. Belastungs- HF- VO_2 Regression.

Bad Orb teil. Alle Kinder hatten bereits erfolglos ambulante Therapieprogramme absolviert und wiesen vor Beginn der stationären Therapie ein reduziertes Bewegungsverhalten auf. Die Teilnehmer und deren Erziehungsberechtigte gaben ihre schriftliche Einverständniserklärung zu der Untersuchung, die von der Ethik-Kommission des Universitätsklinikums Frankfurt als berufsethisch und berufsrechtlich unbedenklich eingestuft wurde.

HF-Flex Vortest

Der HF-Flex Vortest ermittelte für jeden Probanden individuell unter standardisierten Belastungsbedingungen im Labor den Zusammenhang zwischen VO_2 und HF (1, 12, 19). Der Test erfolgte mindestens 4 h nach der letzten körperlichen Belastung und 2 h postprandial. Direkt vor Beginn der Messung verbrachten die Probanden 5 Minuten in Rückenlage.

Die Herzfrequenz sowie VO_2 und VCO_2 wurden mittels indirekter Kalorimetrie kontinuierlich und synchron in 5 s-Intervallen erfasst (Oxycon Mobile, Viasys Healthcare GmbH, Würzburg, mit Polar T61-Gurt, Polar Electro GmbH, Büttelborn). Das Atemgasanalytensystem wurde zuvor anhand von Umgebungsluft und Prüfgas (5 % CO_2 , 16 % O_2) kalibriert. Eine flexible Gesichtsmaske mit bidirektionaler Turbine zur opto-elektronischen Atemvolumenerfassung bedeckte Mund und Nase des Probanden. Atemgase wurden per Absaugstrecke an die portable Analyseeinheit geleitet. Die Signale wurden telemetrisch übertragen und zur offline Analyse über 5 Sekunden gemittelt digital gespeichert.

Der erste Teil des HF-Flex Vortests diente der synchronen Ermittlung von HF und VO_2 in relativer Ruhe (3 Minuten Rückenlage, 2 Minuten Sitzen, 1 Minute Stehen) (11). Im zweiten Teil des Vortests folgte mit dem modifizierten Bruce-Protokoll (7) ein standardisierter Belastungstest auf dem Laufbandergometer (Tunturi J6F, Tunturi Oy Ltd., Turku/Finnland). Die initiale Belastung von 1 km/h bei 6 % Steigung wurde alle drei Minuten progredient bis zur subjektiven Erschöpfung gesteigert (1,8 km/h bei 8 % - 2,7 km/h bei 10 % - 4,0 km/h bei 12 % - 5,5 km/h bei 14 % - 6,8 km/h bei 16 %).

Ermittlung der individuellen HF- VO_2 -Relation

Der HF-Flex Punkt (HF_{Flex}), definiert als Mittelwert aus der höchsten HF in Ruhe und der niedrigsten HF unter Belastung (12), dient zur Diskriminierung zwischen Ruhe- und Belastungsbereich. Oberhalb von HF-Flex weist die individuelle HF- VO_2 Relation im Vortest einen linearen Zusammenhang auf (Abb. 1). Um die Steady-state Bedingungen zu reflektieren, geht jeweils nur die letzte Minute einer Belastungsstufe in die Regression ein.

Zur herzfrequenzbasierten VO_2 -Ermittlung im Feld wird bei einer HF kleiner als HF-Flex der Ruhe- VO_2 , bei einer HF größer als HF_{Flex} der HF- VO_2 Regressionskoeffizient herangezogen (11).

Validierung in der Therapiestunde

Im Abstand von 72 h nach dem HF-Flex Vortest erfolgten synchrone Aufzeichnungen von Messgrößen der

Atemgasanalyse sowie der Herzfrequenz in fünf als repräsentativ ausgewählten Therapieangeboten (Fahrradergometer mit 65 und 85 W, Ballspiel in der Halle, Kräftigungszirkel und 6-Minuten-Lauf). Die Stunde wurde so geleitet, dass es zu einer möglichst geringen Rückwirkung auf die Probanden kam. Zur Analyse wurden für jede Belastungsform charakteristische Signalabschnitte mit einer Mindestdauer von 3 min herangezogen. Zur Auswertung kamen ausschließlich artefaktfreie Datensätze nach blickdiagnostischer Kontrolle.

Die HF Aufzeichnung wurde im Weiteren zur indirekten VO_2 Bestimmung benutzt. Bei einer HF unter dem HF-Flex Punkt wurde die gemittelte VO_2 aus den drei Vortest-Ruhebedingungen Liegen, Sitzen und Stehen herangezogen, bei einer höheren HF wurde die im Vortest ermittelte individuelle Regression zur Berechnung der Sauerstoffaufnahme verwendet.

Die für die ausgewählten Therapieabschnitte auf Basis des HF Monitoring errechneten bzw. mittels indirekter Kalorimetrie gemessenen VO_2 -Werte wurden unter Verwendung eines einheitlichen kalorischen Äquivalents von 20,3 KJ/l O_2 in die Einheit KJ/min umgerechnet.

Statistische Datenverarbeitung

Das Signifikanzniveau wurde auf $p < 0,05$ festgesetzt. Nach Prüfung der Testvoraussetzungen wurde zur Ermittlung des linearen Zusammenhangs zwischen EE_{IndKal} und $EE_{HF-Flex}$ der Pearson Produkt-Moment-Korrelationskoeffizient verwendet. Als weiteres Maß für die Validität der HF-Flex Methode wurde das Vergleichbarkeitskriterium nach Bland und Altman (4) herangezogen. Beurteilt wird neben der gruppenschnittlichen Differenz zweier Methoden (Bias) das Verhältnis der individuell berechneten Differenzen beider Messungen zu deren Mittelwert. Die Methoden sind dann vergleichbar, wenn die limits of agreement (gruppenschnittliche Differenz \pm doppelte Standardabweichung der Individualdifferenzen) in einem klinisch akzeptablen Bereich liegen.

Ergebnisse

Die Probanden absolvierten im Vortest zwischen 4,5 und 6 Stufen und wiesen im arithmetischen Mittel eine Peak-Sauerstoffaufnahme von $29,8 \pm 4,5$ ml/(kg*min) auf. Der durchschnittliche Energieumsatz bei verschiedenen

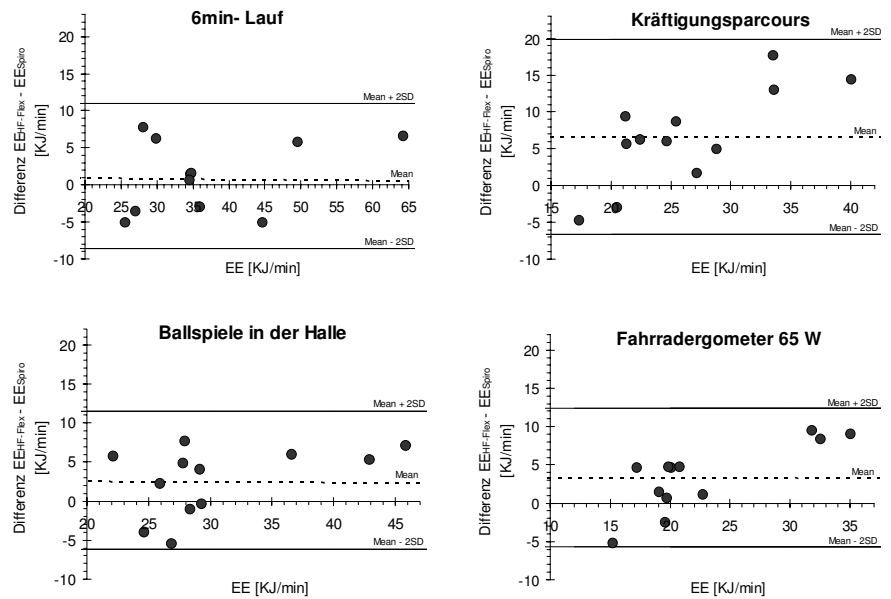


Abbildung 2: Bland- und Altman Plots der Differenzen zwischen atemgasanalytisch (EE_{IndKal}) und herzfrequenzbasiert ($EE_{HF-Flex}$) ermitteltem Energieverbrauch (EE) bei unterschiedlichen Belastungsformen in der pädiatrischen Adipositasstherapie. Gestrichelte Linie: Mittlere Differenz zwischen $EE_{HF-Flex}$ und EE_{IndKal} . Durchgezogene Linien: Limits of agreement (doppelte Standardabweichung der Differenzen um die Abweichung der Mittelwerte).

Sportarten in Abhängigkeit der Messmethode ist in Tabelle 1 dargestellt.

Der Bereich der geringsten Individualdifferenz zwischen beiden Bestimmungsmethoden fand sich beim 6 Minuten-Lauf und beim Ballspiel (-18,2 % bis +31,7 % bzw. -18,6 % bis +31,8 %), der größte mit -24,2 % bis +71,0 % beim Kräftigungszirkel. Der Pearson Korrelationskoeffizient wies für den 6 Minuten-Lauftest ($r=0,923$, $p < 0,001$) den höchsten, für den Kräftigungszirkel ($r=0,764$, $p=0,01$) den niedrigsten linearen Zusammenhang auf.

Anhand der Offset-Verschiebung der Mittelwertsdifferenzen dokumentieren die Bland und Altman Plots, abhängig von der Bewegungsform, eine unterschiedlich stark ausge-

Tabelle 1: Atemgasanalytisch (EE_{IndKal}) und herzfrequenzbasiert erhobener Energieverbrauch ($EE_{HF-Flex}$). Mittelwert \pm Standardabweichung, prozentuale Differenz.

	EE_{IndKal} [KJ/min]	$EE_{HF-Flex}$ [KJ/min]	Differenz [%]
Fahrradergometer 65W	21,13 \pm 4,96	24,51 \pm 8,43	+ 14,66 \pm 20,05
Fahrradergometer 80W	25,40 \pm 5,03	30,98 \pm 9,62	+ 20,91 \pm 21,21
Ballspiel	28,31 \pm 6,62	31,96 \pm 8,51	+ 9,42 \pm 16,1
Kräftigungszirkel	23,05 \pm 4,58	29,68 \pm 9,43	+ 28,10 \pm 27,76
6 Minuten-Lauftest	36,61 \pm 11,00	37,80 \pm 12,60	+ 3,56 \pm 15,40

prägte Überschätzung des tatsächlichen Energieverbrauchs (Abb. 2). Die Limits of agreement liegen zwischen +11,5 und -6,2 KJ/min (Ballspiel) und +19,7 und -6,6 KJ/min (Kräftigungszirkel).

Diskussion

Die vorliegende Untersuchung zeigt erstmalig bei adipösen Kindern, dass regressionsanalytisch berechneter

und per Atemgasanalyse gemessener Energieverbrauch in Abhängigkeit der untersuchten Belastungsform unterschiedlich stark voneinander abweichen.

Bei dem 6-Minuten-Lauf und beim Ballspielen weist die HF-Flex Methode im Gruppenmittel akzeptable Abweichungen zwischen 3–9 % auf. Die auf dem Laufband gewonnene HF-VO₂ Regression ist jedoch als weniger repräsentativ für Belastungen auf dem Fahrradergometer (+20,9±21,2 % bei 80 W) oder dem Kräftigungszirkel (+28,1±27,8 %) zu bewerten. Beim Kräftigungszirkel spielt neben der Beteiligung anderer Muskelgruppen und der zum Teil statischen Arbeitsform möglicherweise auch der schnelle Belastungs-Erholungs-Wechsel eine Rolle. Fällt die Belastungsintensität in den Pausen abrupt ab, sinkt die HF wesentlich langsamer als die VO₂ und bedingt rechnerisch einen für längere Zeit erhöhten Energieumsatz (1).

Anders als bei Studien, welche über einen Zeitraum von mindestens 24 h bei Erwachsenen Abweichungen im Gruppenmittel zwischen -1 und +17 % und individuelle Abweichungen von -22 bis +52 % zwischen EE_{HF-Flex} und Referenzmethoden ermittelten (9, 12, 18), scheint die Lage des HF-Flex Punktes in der vorliegenden Untersuchung aufgrund der höheren Belastungsintensität das Ergebnis nicht nachhaltig zu beeinflussen. Vernachlässigbar erscheint die Tatsache, dass EE_{IndKal} und EE_{HF-Flex} jeweils mit einem fixen kalorischen Äquivalent berechnet wurden (Nichtberücksichtigung des excess-CO₂), da sich Differenzen zwischen angenommenem und tatsächlichem kalorischen Äquivalent beim Methodenvergleich herauskürzen.

Beim Tagesenergieverbrauch von Kindern fanden Livingstone et al. -3,2±9,6 %, Bitar et al. +7,6±20,1 % und Treuth et al. +5±7 % Abweichung (3, 11, 21). Die zum Teil hohen Standardabweichungen lassen auf große Zwischenpersonenunterschiede schließen, die als Spannweite ausgedrückt mit den in der vorliegenden Erhebung bei einzelnen Belastungsformen gefundenen individuellen Abweichungen korrespondieren. Maffei et al. berichten von einer schlechteren Übereinstimmung von DLW- und HF-Flex bestimmtem Energieverbrauch bei adipösen Kindern als bei Normalgewichtigen gleichen Alters (14).

95 % der individuellen EE_{HF-Flex}-EE_{IndKal} Differenzen (Limits of agreement nach Bland und Altman) (4) liegen zwischen +11,5 und -6,2 KJ/min (Ballspiel) bzw. +19,7 und -6,6 KJ/min (Kräftigungszirkel). Die vorliegende Erhebung bestätigt somit, dass herzfrequenzbasierte Energieumsatzberechnungen keine zuverlässige Grundlage für individuelle Analysen bieten (3, 8, 9, 11, 12, 18). Dies liegt auch an der hohen biologischen Variabilität der HF-VO₂ Beziehung unter Belastung mit intra-individuellen Schwankungen von bis zu 24 % in 24 h (15). Neben Umgebungsbedingungen wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit und physiologischen Faktoren wie kardiovaskulärer Drift und Hydratation ist speziell bei Kindern mit Einflüssen durch die Laborsituation auf die HF zu rechnen (1). Beeinflussungen und Gewöhnungseffekte beim Tragen der Atemgasmaske sind ebenfalls nicht vollständig auszuschließen.

Intervallartige Belastungen im Vortest oder die Einbeziehung der Erholungsphase in die Zuordnungsvorschrift der

kardiovaskulären Dynamik während der Erhebung könnten Übertragbarkeit und Aussagekraft des Prädiktionsmodells speziell bei komplexen Abfolgen spontaner Alltagshandlungen von Kindern erhöhen. Lange Kalibrierungsprozeduren stellen aber gerade für Kinder und Jugendliche eine unnötige zeitliche und psychophysische Belastung dar, ohne die Vorhersage wesentlich zu verbessern (13). Eine zu große Bandbreite unterschiedlicher Kalibrierungsaktivitäten beeinträchtigt zudem das Bestimmtheitsmaß der gewonnenen HF-VO₂ Regressionsgleichung.

Zukünftig erscheinen Verfahrenskombinationen von HF-Monitoring und Beschleunigungsmessung vielversprechend (5). Es besteht Klärungsbedarf, inwiefern kalibrierungsfordernde Zuordnungsvorschriften wie die HF-Flex Methode einer Erfassung der Belastungsintensität in Prozent der Herzfrequenzreserve oder der Ermittlung der rein herzfrequenzbasierten Tagesaktivität (Quotient aus 24-h-Herzfrequenz und Ruheherzfrequenz) auch bei kleineren Stichproben überlegen sind (17).

Fazit: Die HF-Flex Methode ist nicht für die individuelle, sondern nur für die gruppendurchschnittliche Erfassung des bewegungsinduzierten Energieumsatzes adipöser Kinder geeignet, und zudem nur dann valide, wenn sich Kalibrierungs- und Erhebungsaktivität entsprechen.

Literatur

1. Achten J, Jeukendrup AE: Heart rate monitoring: applications and limitations. *Sports Med.* 33 (2003) 517-538.
2. Ainslie PN, Reilly T, Westerterp KR: Estimating human energy expenditure. *Sports Med* 33 (2003) 683-698.
3. Bitar A, Vermorel M, Fellmann N, Bedu M, Chamoux A, Coudert J: Heart rate recording method validated by whole body indirect calorimetry in 10-year-old children. *J Appl Physiol.* 81 (1996) 1169-1173.
4. Bland JM, Altman DG: Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1 (1986) 307-310.
5. Brage S, Brage N, Franks PW, Ekelund U, Wong MY, Andersen LB, Froberg K, Wareham NJ: Branched equation modeling of simultaneous accelerometry and heart rate monitoring improves estimate of directly measured physical activity energy expenditure. *J Appl Physiol.* 96 (2004) 343-351.
6. Böhrer T, Alex C, Becker E, Becker R, Hoffmann S, Hutzler D, Jung C, Lauferweiler-Lochmann F, Radu C: Qualitätskriterien für ambulante Schulungsprogramme für übergewichtige und adipöse Kinder und Jugendliche. *Gesundheitswesen* 66 (2004) 748-753.
7. Bruce RA, Kusumi F, Hosmer D: Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. *American Heart Journal* 85 (1973) 546-562.
8. Dauncey MJ, James WPT: Assessment of the heart-rate method for determining energy expenditure in man, using a whole-body calorimeter. *Br J Nutr* 42 (1979) 1-13.
9. Davidson L, McNeill G, Haggarty P, Smith JS, Franklin MF: Free-living energy expenditure of adult men assessed by continuous heart-rate monitoring and doubly-labelled water. *British Journal of Nutrition* 78 (1997) 695-708.
10. Goran MI: Measurement issues related to studies of childhood obesity: assessment of body composition, body fat distribution, physical activity, and food intake. *Pediatrics* 101 (1998) 505-518.
11. Livingstone MB, Coward WA, Prentice AM, Davies PS, Strain JJ, McKenna PG, Mahoney CA, White JA, Stewart CM, Kerr MJ: Daily energy expenditure in free-living children: comparison of heart-rate monitoring with the doubly labeled water (2H2(18)O) method. *Am J Clin Nutr.* 56 (1992) 343-352.
12. Livingstone MB, Prentice AM, Coward WA, Ceesay SM, Strain JJ, McKenna PG, Nevill GB, Barker ME, Hickey RJ: Simultaneous measurement of free-living energy expenditure by the doubly-labelled water method and heart-rate monitoring. *Am J Clin Nutr* 52 (1990) 59-65.

13. Livingstone MB, Robson PJ, Totton M: Energy expenditure by heart rate in children: an evaluation of calibration techniques. *Med Sci Sports Exerc* 32 (2000) 1513-1519.
14. Maffei C, Pinelli L, Zaffanello M, Schena F, Iacumin P, Schutz Y: Daily energy expenditure in free-living conditions in obese and non-obese children: comparison of doubly labelled water ($2\text{H}_2^{18}\text{O}$) method and heart-rate monitoring. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 19 (1995) 671-677.
15. McCrory MA, Mole PA, Nommsen-Rivers LA, Dewey KG: Between-day and within-day variability in the relation between heart rate and oxygen consumption: effect on the estimation of energy expenditure by heart-rate monitoring. *Am J Clin Nutr.* 66 (1997) 18-25.
16. Reinehr T, Wollenhaupt A, Chahda C, Kersting M, Andler W: Ambulante Adipositaschulungen im Kindesalter. Vergleichskriterien zur Entwicklung validierter Behandlungsempfehlungen. *Klin Pädiatr* 214 (2002) 83-88.
17. Schutz Y, Weinsier RL, Hunter GR: Assessment of free-living physical activity in humans: an overview of currently available and proposed new measures. *Obes. Res.* 9 (2001) 368-379.
18. Spurr GB, Prentice AM, Murgatroyd PR, Goldberg GR, Reina JC, Christman NT: Energy expenditure from minute-by-minute heart-rate recording: comparison with indirect calorimetry. *Am J Clin Nutr* 48 (1988) 552-559.
19. Strath SJ, Swartz AM, Bassett Jr DR, O'Brien WL, King GA, Ainsworth BE: Evaluation of heart rate as a method for assessing moderate intensity physical activity. *Med Sci Sports Exerc* 32 (2000) S456-S470.
20. Summerbell CD, Ashton V, Campbell KJ, Edmunds L, Kelly S, Waters E: Interventions for treating obesity in children. *Cochrane Database Syst Rev.* (2003) CD001872.
21. Treuth MS, Adolph AL, Butte NF: Energy expenditure in children predicted from heart rate and activity calibrated against respiration calorimetry. *Am J Physiol* 275 (1998) E12-18.
22. Vanhees L, Lefevre J, Philippaerts R, Martens M, Huygens W, Troosters T, Beunen G: How to assess physical activity? How to assess physical fitness? *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil.* 12 (2005) 102-114.
23. Wabitsch M, Kunze D, Keller E, Kiess W, Krohmeyer-Hausschild K: Adipositas bei Kindern und Jugendlichen in Deutschland. *Fortsch der Medizin* 120 (2002) 99-106.

Korrespondenzadresse:

Dr. Christian Thiel

Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt/Main

Institut für Sportwissenschaften

Abteilung Sportmedizin

Ginnheimer Landstraße 39

60487 Frankfurt/Main

e-Mail: c.thiel@sport.uni-frankfurt.de