

Neue Methode zur Energieumsatzmessung in Ballsportspielen - Validierung des Multisensorsystems SenseWear® MF Armband und Empfehlung für Korrekturfaktoren: VaSeKo-Studie

A new Method for Energy Expenditure Measurements in Team Sports – Validation of the Multi-sensory-system SenseWear® MF Arm band and Recommendations for Correction Factors: The VaSeKo-study

Hoppe S¹, Falz R², Rüschi MI¹, Haber A¹, Brunn S², Bischoff C², Schlegel N¹, Rauchmaul H¹, Busse M²

¹Institut für Bewegungs- und Trainingswissenschaft der Sportarten I, Sportwissenschaftliche Fakultät, Universität Leipzig

²Institut für Sportmedizin und Prävention, Sportwissenschaftliche Fakultät, Universität Leipzig

Zusammenfassung

Hoppe S, Falz R, Rüschi MI, Haber A, Brunn S, Bischoff C, Schlegel N, Rauchmaul H, Busse M. Neue Methode zur Energieumsatzmessung in Ballsportspielen - Validierung des Multisensorsystems SenseWear® MF Armband und Empfehlung für Korrekturfaktoren: VaSeKo-Studie. *Klinische Sportmedizin/Clinical Sports Medicine – Germany (KCS) 2013, 14 (1) 1-7.*

Einleitung: Der Energieumsatz als metabolischer Parameter muss neben der Positionsanalyse in der objektiven Beurteilung von Sportlern berücksichtigt werden. Nur so ist eine genaue Einschätzung des Engagements und der Belastung möglich. Derzeit fehlen dazu evaluierte Messsysteme, welche den Sportler nicht einschränken und auch während offizieller Wettkämpfe eingesetzt werden können. Das Multisensorsystem SenseWear® MF Armband (SW, Bodymedia) soll für diesen Zweck geprüft werden. Ggf. folgen daraus Empfehlungen für Korrekturfaktoren.

Methoden: 55 gesunde Sportler (14-33y, männlich und weiblich) führten unter wettkampfählichen Bedingungen

jeweils ihren Ballsport (Fußball, Handball, Basketball, Volleyball) für die Dauer von 2 mal 10min durch. Dabei wurde der Energieumsatz (EE) mittels tragbarer Spirometrie (K4 b₂, Cosmed) und SW zeitgleich bestimmt und verglichen.

Ergebnisse: Die durch SW gemessenen EE lagen im Mittel 22,2% ±9,6 niedriger als die spirometrisch ermittelten Werte. Die Abweichungen waren sportartspezifisch. Dabei zeigte sich eine hohe Korrelation von r=0,924 und eine lineare Regression mit einem Anstieg von 0,684 ± 0,041.

Diskussion: Die dargestellten Resultate zeigen deutlich, dass zwingend vor einem Einsatz des SW-Armbands in der Leistungsdiagnostik eine sportartspezifische Eichung erfolgen muss. Je höher die Intensität und je komplexer die Bewegungen sind, um so höher ist die Abweichung. Aufgrund der hohen Reliabilität scheint der Einsatz im Leistungssport sinnvoll.

Schlüsselwörter: Energieumsatz, Fußball, Ballsportspiele, SenseWear®, Wettkampfanalyse

Abstract

Hoppe S, Falz R, Rüschi MI, Haber A, Brunn S, Bischoff C, Schlegel N, Rauchmaul H, Busse M. A new method for energy expenditure measurements in team sports – validation of the multi-sensory-system SenseWear® MF arm band and recommendations for correction factors: The VaSeKo-study. *Klinische Sportmedizin/Clinical Sports Medicine – Germany (KCS) 2013, 14 (1) 1-7.*

Objective: Next to position analysis the energy consumption as a metabolic parameter must be taken into consideration in order to objectively assess athletes. This is the only way to correctly evaluate commitment and workload. Currently, evaluated measuring systems, which do not limit the athletes and can also be used during official competitions, do not exist. Therefore, the multi-sensor system SenseWear® MF arm band (SW, Bodymedia), which measures energy expenditure indirectly, was tested for this purpose.

Methods: 55 healthy athletes (14-33y, male and female) performed their discipline (soccer, handball, basketball,

volleyball) under competition conditions (repeated 10 min periods). As reference method the energy consumption (EE) was measured via mobile spirometer devices (K4 b₂, Cosmed).

Results: On average EE values measured by SW were 22,2% ±9,6 lower than K4 b₂. The differences were specific to the sports discipline. Still there was a high correlation (r=0.924) and a linear regression with a slope of 0,684 ±0,041.

Discussion: The results significantly show that a sport-specific calibration is mandatory prior to the usage of the SW arm band in performance diagnostics. The higher the intensity and the complexity of the activities the higher is the difference between the measured EE. Based on the high reliability the usage in competitive sports makes sense.

Keywords: energy expenditure, soccer, ball games, SenseWear®, competition analysis

Einleitung

Spielsportarten stellen erhebliche Anforderungen an die Kondition der Sportler. Mit der Ermüdung kommt es zunehmend zu technischen und taktischen Fehlern, die den Spielverlauf nachhaltig beeinflussen können. Das Ausmaß der Ermüdung hängt im Wesentlichen von zwei Faktoren ab:

- Das individuelle Engagement in Abhängigkeit von der strategischen Position,
- Die durchschnittliche sportartspezifische Belastung in Prozent der maximalen aeroben Kapazität.

Von zentraler Bedeutung für die objektive Trainings- und Wettkampfgestaltung ist nicht nur die Kenntnis des individuellen Spielengagements, welches derzeit über Laufrunden und Geschwindigkeiten (inklusive hochintensiver Beschleunigungsphasen) gemessen wird, sondern auch die Kenntnis der individuellen maximalen aeroben Kapazität (gemessen als maximale Sauerstoffaufnahme im Belastungstest) und der individuellen metabolischen Auslastung im Wettkampf.

Derzeit wird die metabolische Auslastung mit aufwendigen Spirometrieeräten gemessen, die für die Wettkampfanalyse schon aufgrund der gültigen Verbandsbestimmungen und natürlich durch die Benachteiligung des Sportlers nicht in Frage kommen. Darüber hinaus ist ein Rückschluss über die Herzfrequenz nur sehr begrenzt möglich. Eine psychische Beeinflussung aufgrund der Wettkampfsituation und der Verlust der linearen Korrelation zur Belastungsintensität bei Inter-

vallbelastungen ist in den Ballsportspielen im Leistungsport zu erwarten und wurde mehrfach bestätigt. [1]

Es gilt also Alternative Messsystem hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit zu überprüfen. Eine einfache Möglichkeit ist der Einsatz von Akzelerometersystemen, mit denen der Energieumsatz (EE) bestimmt werden kann. Der Einbezug weiterer Messsensoren und damit Erhöhung der Messgenauigkeit wird durch die Firma BodyMedia (USA) in dem SenseWear® MF Armband (SW) angeboten. Der Einsatz dieses Armbandes ist in allen Sportarten denkbar und es wäre damit möglich spielbegleitend den EE zu erfassen.

In Relation zur maximalen Sauerstoffaufnahme und anaeroben Schwelle aus einem Belastungstest in Kombination mit Daten aus Positionserfassung ist damit die Bestimmung eines kompletten Spielerprofils im Hinblick auf Engagement, Bewegungsökonomie und sportartspezifischer Leistungsfähigkeit möglich. Dem Trainer stehen somit Erkenntnisse zur Verfügung die bisher allenfalls intuitiv und qualitativ zu ermitteln waren.

Den Haupteinflussfaktor auf die Kalkulation des EE solcher Messsysteme, wie dem SW, stellt sicherlich die Bewegungsform dar. Deshalb muss für sportsspezifische Fragestellungen zunächst eine Überprüfung der Messabweichung zum Goldstandard in den unterschiedlichen Sportspielen durchgeführt werden. [2] Diese wurde mit Hilfe einer tragbaren Spirometrie (K4b², COSMED, Italien) in einer wettkampfähnlichen Situation im Fußball, Handball, Volleyball und Basketball durchgeführt und ist Gegenstand der vorliegenden Untersuchung. Bei einer möglichen konstanten Abweichungen sollen daraus resultierende Korrekturfaktoren berechnet werden.

Methodik

Untersuchungsablauf

Zur Überprüfung der Messabweichung von SW zur Spirometrie wurde in verschiedenen Ballsportarten der EE in einer wettkampfähnlichen Trainingssituation möglichst spielnah ermittelt. Jeder Proband erhielt dafür sowohl ein SW und eine mobile Spirometrie über die Dauer von 10min. Vor jeder Datenaufzeichnung wurde das SW für mindestens 10min am linken Oberarm angelegt und zuvor mit den persönlichen Spielerdaten initialisiert. Die verwendete Generation der SW unterscheidet keine Armdominanz und soll laut Herstellerangaben immer links getragen werden. Eine verfrühte Anlage sollte eine Temperaturanpassung der Hardware des SW an die jeweilige Körpertemperatur gewährleisten und dadurch einen eventuellen Messfehler vermeiden.

Zusätzlich wurde vor jeder Messung eine Volumen- und Gaskalibrierung der Spirometrieinheiten durchgeführt und die systemspezifische Aufwärmphase eingehalten.

Zur Überprüfung der Reliabilität wurde die Messung wiederholt. Dafür fand eine zweite Datenaufzeichnung über 10min nach einer Unterbrechung von ca. 10-15min statt. Während der Unterbrechung wurde das SW kurz vom Arm entfernt (off-body-Zeit) und neu angelegt. Die

Spirometrie wurde erneut gaskalibriert. Auf eine wiederholte Temperaturanpassung des SW vor Beginn der Datenaufzeichnung hätte aufgrund der kurzen off-body-Zeit verzichtet werden können. In der Regel wurde diese aber aufgrund des Zeitbedarfs für die Kalibrierung der Spirometrie trotzdem gewährleistet.

Untersuchungsdesign

Es handelt sich um eine offene, prospektive, monozentrische, einarmige Studie mit gesunden Jugendlichen und jungen Erwachsenen aus dem Leistungs- und Breitensport.

Kollektiv

Für die Validierung wurden insgesamt 61 gesunde Sportlerinnen und Sportler zwischen 14 und 33 Jahren aus unterschiedlichen Ballsportarten im Zeitraum von Oktober 2012 bis März 2013 untersucht. Davon mussten die Werte von fünf Spielern von der Analyse ausgeschlossen werden, da die spirometrische Messung des Sauerstoffpartialdrucks fehlerhaft war (identifiziert durch Atemäquivalente außerhalb der physiologischen Grenzen).

Somit konnten die Untersuchungen von 56 Probanden verschiedener Leistungsklassen (bis hin zur internationalen Ebene bei einzelnen Spielern) zu unterschiedlichen

Anteilen aus den in **Tab. 1** dargestellten Bereichen ausgewertet werden. Der Test wurde soweit möglich von allen Spielern einer Mannschaft durchgeführt.

Tab. 1: Aufteilung der Teilnehmer in Sportarten und Leistungsklassen

Sport	Team	Division / League	Amount
Soccer	Jugend männlich (U15, U16, U17)	B-Junioren Bundesliga Staffel Nord-Nordost B-Junioren Bezirksliga Nord Sachsen C-Junioren Regionalliga Mitteldeutschland	15
Soccer	1. Frauen	Frauen Landesliga Sachsen	7
Volleyball	1. Frauen	3. Liga Ost Frauen	8
Basketball	1. Herren	2. Basketball Bundesliga ProA	15
Handball	Jugend männlich	A-Jugend Bundesliga Ost B-Jugend Mitteldeutsche Oberliga C-Jugend Sachsenliga	11

Aufgrund der unterschiedlichen Altersbereiche und der unterschiedlichen Geschlechterverteilung in den einzelnen Mannschaften sind die anthropometrischen Daten sehr heterogen. Eine Gesamtübersicht und eine Auftei-

lung in den einzelnen Mannschaften ist in **Tab. 2** abgebildet. Insgesamt handelt es sich um ein gemischt geschlechtliches Kollektiv zu ungleichen Anteilen.

Tab. 2: Anthropometrie Mittelwerte mit Standardabweichung

Sport	Amount [n]	Age [y]	High [cm]	Weight [kg]	BMI [kg/m ²]	Training volume [h/week]
Soccer men	15	15 ±0,6	176 ±6,4	65,1 ±6,5	21 ±1,5	14,5 ±1,3
Soccer women	7	26 ±2,4	162 ±6,3	60,6 ±3,6	22,9 ±0,8	6,7 ±1,8
Volleyball women	8	25 ±2,7	178 ±5	72,6 ±11,3	22,8 ±2,8	9,9 ±1,3
Basketball men	15	26 ±3,2	195 ±6,3	92,6 ±5,3	24,3 ±1,1	11,3 ±5
Handball men	11	16 ±1,6	184 ±5,6	74,4 ±9,3	22 ±2,4	12,1 ±2
Overall/ average	56	21 ±5,7	181 ±11,9	74,8 ±13,8	22,6 ±2,1	11,6 ±3,5

Messsysteme

K4 b² mobile Spirometrie

Das tragbare offene Spirometriesystem K4 b² (Cosmed, Italien) misst während jedem Atemzug die Ventilation (Fluss) und die Gaskonzentration für Sauerstoff und Kohlenstoffdioxid. Die Daten werden analysiert und in der Messeinheit gespeichert. Zur Weiterverarbeitung steht eine Windows-basierte Software zur Verfügung, in welcher auf Grundlage des gemessenen Sauerstoffverbrauchs und Personendaten (Gewicht) der Energieumsatz berechnet wird. [2]

SenseWear® MF Armband

Das SenseWear® MF Armband (Bodymedia, USA) ist ein flacher multisensorischer Aktivitätsmonitor, welcher am Oberarm getragen wird. Es beinhaltet vier verschiedene

Sensoren: zwei Temperatursensoren (Hauttemperatur und Wärmefluss), einen Impedanzsensor (galvanische Hautreaktion) und einen 3-Achsen Akzelerometer. Durch die sensorisch gemessenen Parameter und unter Berücksichtigung demographischer Faktoren (Geschlecht, Alter, Größe, Gewicht, Händigkeit und Nikotinkonsum) erfolgt durch eine Kontextregistrierung eine Aktivitätserkennung. Über einen Algorithmus wird daraus, unter anderen, der Energieumsatz kalkuliert und minutengenau ausgegeben. Für die Datenausgabe steht wiederum eine Windows-basierte Software des Herstellers zur Verfügung. Optional können die kalkulierten Parameter auch auf einem tragbaren Display (ähnlich einer Armbanduhr) dargestellt werden.

Biometrie

Zum Datenmanagement wurde Microsoft Excel 2008 for Mac Version 12 (Microsoft, USA) verwendet. Für die statistische Analyse und die graphische Darstellung der Ergebnisse wurde die Software GraphPad Prism 6 for Mac OS X (GraphPad Software, USA) genutzt. Es kamen folgende Tests und Berechnungen zur Anwendung:

- Reliabilität (Messwiederholung): Mann-Whitney-Test für ungepaarte Stichproben als Box-Plot [3]
- Validität (Konstanz der Abweichung von SW zur Spirometrie): Korrelationsanalyse Spearman r , lineare Regression, Bland-Altman Plot [4]

- Berechnung Korrekturfaktoren: Bestimmung anhand der Mittelwerte aus den Energieverbräuchen zwischen SW und Spirometrie

$$KF = EE_{\text{Spiro}} / EE_{\text{SW}}$$

EE_{Spiro} : Energieverbrauch spirometrisch ermittelt

EE_{SW} : Energieverbrauch mit SenseWear® ermittelt

KF : Korrekturfaktor (>1 ; <2)

Ergebnisse

Die durch SW gemessenen EE lagen im Mittel 22,2% \pm 9,6 niedriger als die spirometrisch ermittelten Werte. Bis auf ein Ergebnis in der Messwiederholung wurde immer eine negative Abweichung (EE_{SW} niedriger als $EE_{\text{Spirometrie}}$) ermittelt. Dabei zeigte sich eine hohe Korrelation zwischen beiden Messmethoden von $r=0,924$ und eine lineare Regression mit einem Anstieg von $0,684 \pm 0,041$. (Abb. 1)

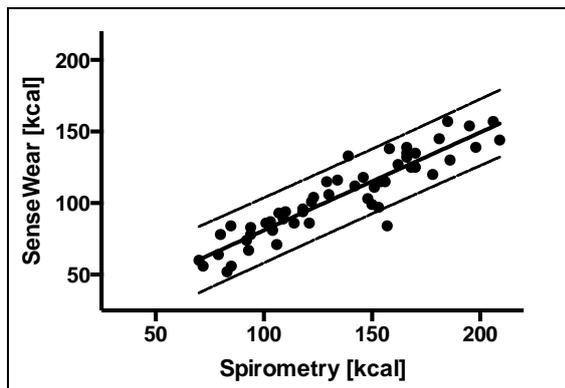


Abb. 1: lineare Regression der EE über 10min mit 95% Vorhersageintervallen, $n=56$

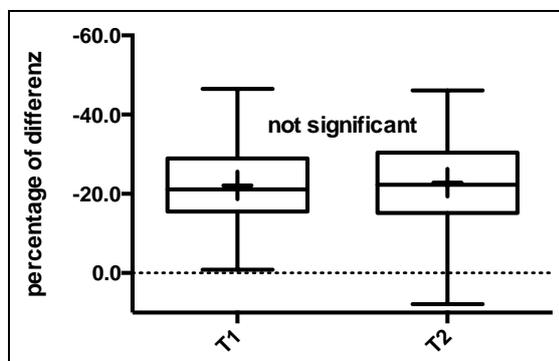


Abb. 2: Box-Plot (25-75% der Daten mit Median) der prozentualen Abweichung zwischen SW und Spirometrie bei Messwiederholung (mit Whisker von Min bis Max, Kreuz=MW), $n=47$

Bei der Überprüfung der Reliabilität zeigten sich durch eine Messwiederholung keine Unterschiede ($p=0,594$) in Höhe und Richtung der Abweichung zwischen SW und Spirometrie. (Abb. 2)

Die SD der prozentualen Differenzen zwischen SW und Spirometrie bei Messwiederholung beträgt 4,99%. Die erhobenen Daten zeigen somit eine hohe Reliabilität in der Konstanz der Abweichung des SW-Armbands.

Um die Validität der SW-Messung gegenüber der Spirometrie zu überprüfen wurden die gemessenen EE jeweils in Bland-Altman Plots dargestellt. (Abb. 3) In Abb. 3A und 3B wurden die Absolutwerte aufgetragen. Um einen Einfluss der Körperkonstitution der Sportler auf die Messergebnisse zu kontrollieren wurden zusätzlich die auf die fettfreie Körpermasse (FFM) relativierten Energieumsätze dargestellt (Abb. 3C und 3D). Es zeigte sich bei allen Darstellungen, dass die SW prinzipiell niedriger misst als die Spirometrie und nahezu alle Werte in den Übereinstimmungsgrenzen (1,96fache SD) liegen. Weiterhin lässt sich bei den absoluten Werten tendenziell eine erhöhte Differenz bei höheren Messwerten erkennen, was allerdings keinen Einfluss auf die Konstanz der prozentualen Abweichung hat. Es wird deutlich, dass sowohl die Höhe des EE als auch die Abweichungen über die Messdauer von 10 Minuten sportartspezifisch sind. Das unterstreicht die Darstellung der Relativierung auf die FFM (Abb. 3D). Die niedrigsten absoluten Energieumsätze wurden durch die Volleyballerinnen und die höchsten durch die männlichen Basketballspieler erzielt. Dies wird durch die Relativierung zumindest bei den Volleyballerinnen klar erkennbar. Im Gegensatz dazu vermischen sich die übrigen Sportarten nach der Relativierung etwas mehr. Die höchsten Kalorienverbräuche sind dann nicht mehr deutlich in eine der überprüften Sportarten differenzierbar (Abb. 3D).

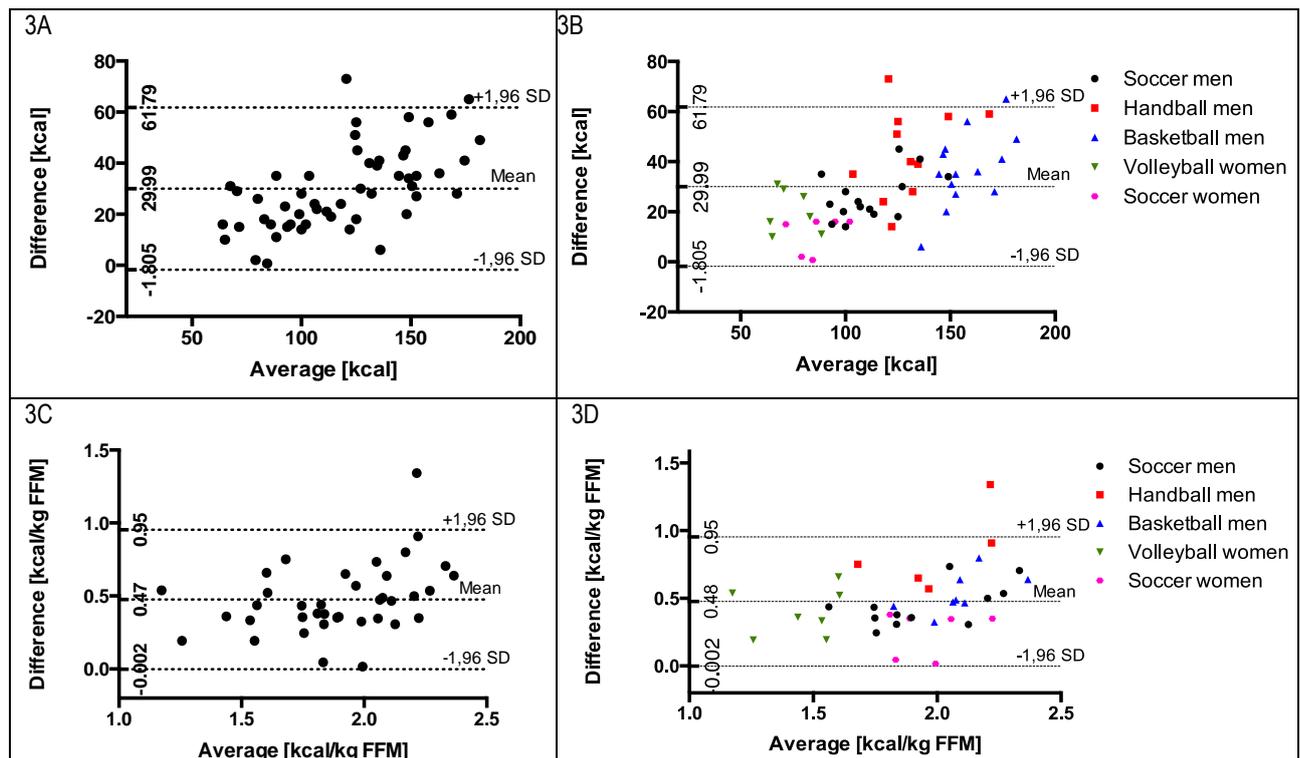
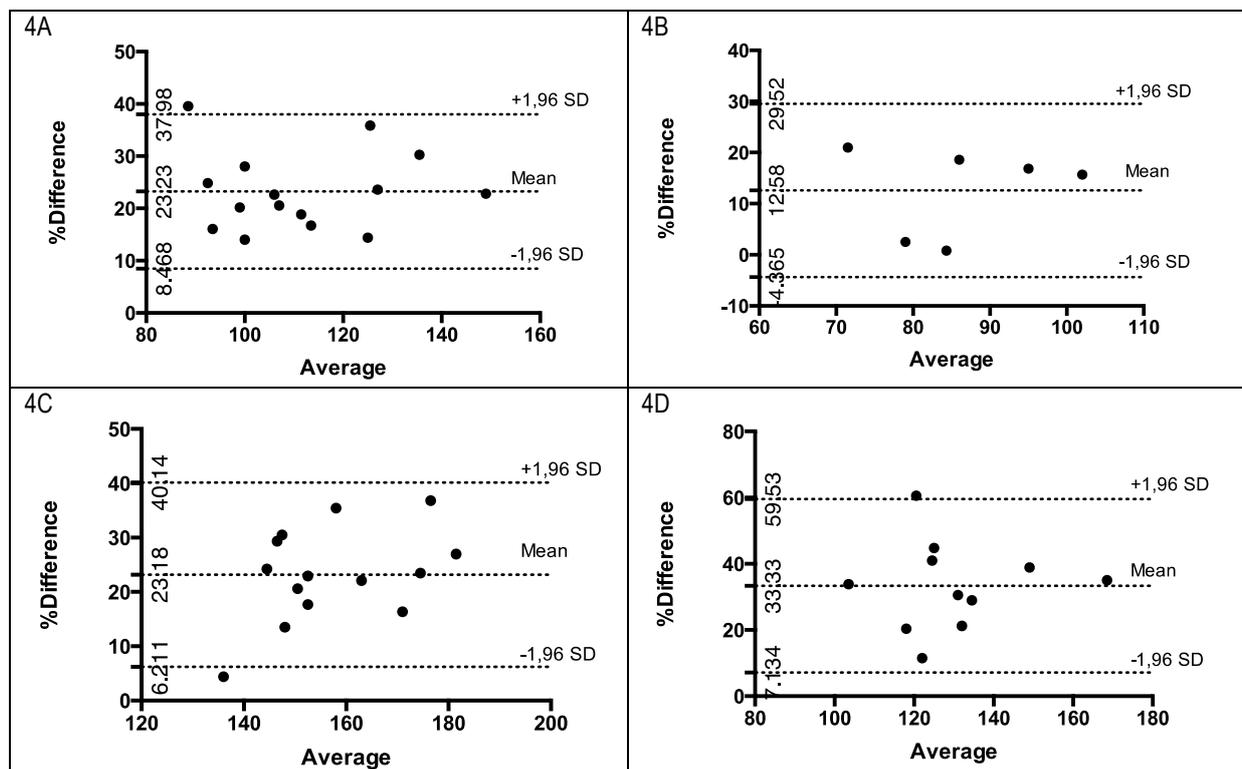


Abb. 3: Bland-Altman Plots jeweils mit Mittelwert der Differenz und Mittelwert der Differenz +/-1,96facher SD der Differenz. Absoluter Kalorienverbrauch über 10 Minuten sportartspezifischer Aktivität (n=56) des gesamten Kollektivs (A) und nach verschiedene Sportarten (B). Kalorienverbrauchs relativ auf die fettfreie Körpermasse über 10 Minuten sportartspezifischer Aktivität (n=39) des gesamten Kollektivs (C) und nach verschiedene Sportarten (D).

Aufgrund der augenscheinlich durch die Sportart bedingten unterschiedlichen Abweichungen zwischen SW und

Spirometrie wurden in Abb. 4 eine Einzelbetrachtung durchgeführt.



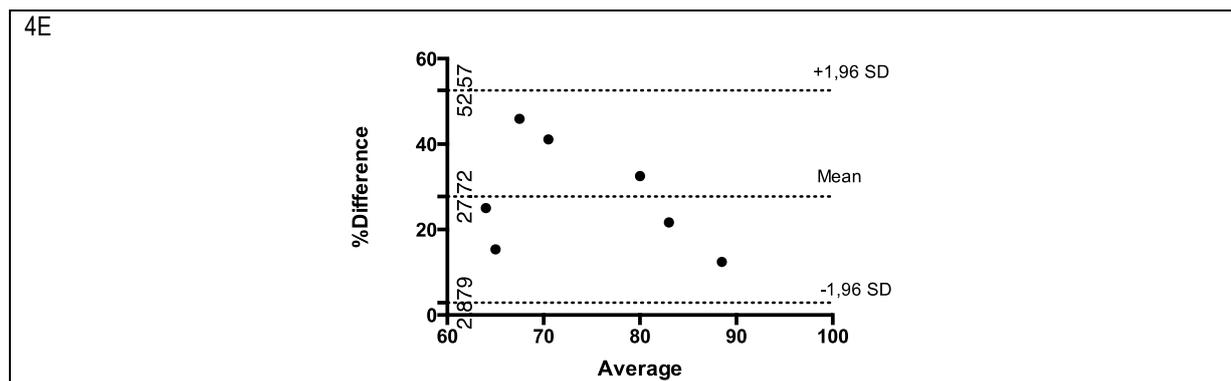


Abb. 4: Blad-Altman Plots der prozentualen Abweichung im EE von SW zur Spirometrie über eine Messdauer von 10 Minuten. Aufteilung in verschiedene sportartspezifische Aktivitäten. Soccer men, n=15 (A). Soccer women, n=7 (B). Basketball men, n=14 (C). Handball men, n=11 (D). Volleyball women, n=7 (E).

Ersichtlich sind unterschiedliche mittlere Differenzen der beiden Messsysteme und entsprechend unterschiedlich Übereinstimmungsgrenzen. Dabei wurden im Frauenfuß

ball (Abb. 4B) die im Mittel niedrigste Abweichung mit 12,58% und im Handball (Abb. 4D) die im Mittel höchste Abweichung mit 33,33% gemessen.

Diskussion

Prinzipiell zeigte sich bei dieser ersten Datenerhebung, dass die EE während der Durchführung von Ballsportarten durch SW zu niedrig kalkuliert werden. Auffällig ist dabei, dass je höher die EE gemessen werden, um so höher ist die prozentuale Differenz zu den spirometrisch ermittelten EE. Die Abweichung nimmt also mit steigender Intensivität der Belastung zu. Dies wurde auch in der Untersuchung von GRAMS et al. (2011) zumindest für höhere Intensitäten (signifikant bei Radfahren und Treppe steigen) bestätigt, in welcher ein Accelerometer und ein SW-Armband bei unterschiedlichen Aktivitätslevel unter kontrollierten Bedingungen gegen eine mobile Spirometrie validiert wurde. Bei leichteren Aktivitäten (Gehen und sitzende Tätigkeiten) wurden durch SW gleiche bzw. höhere EE im Vergleich zur Spirometrie ermittelt. [5]

Es zeigte sich also deutlich, dass die ermittelten EE und die Abweichungen der Messsysteme von der Art der Bewegungen abhängig sind. Eine Beeinflussung durch körperbauliche Merkmale konnte in der vorliegenden Untersuchung durch eine Relativierung auf die fettfreie Masse ausgeschlossen werden. Die sportartspezifischen Unterschiede blieben weiterhin bestehen.

Das SW-Armband scheint ein gutes Messsystem zur Erfassung des EE in der Wettkampf- oder Trainingssituation zu sein. Die konstante Abweichung ist vermutlich auf die kurze Messdauer zurückzuführen. Der Hersteller gibt ganz klar an, dass der verwendete Algorithmus zur Aktivitätserkennung um so genauer funktioniert, um so länger eine Datenaufzeichnung stattfindet. Zusätzlich scheint es so, je vielfältiger und intensiver die Bewegungsabläufe sind, um so mehr vergrößert sich die Messabweichung. Einen Einfluss durch das Alter der Probanden konnte noch nicht nachgewiesen werden. (Vgl. eigene Daten und ARVIDSSON et al. 2007) [6]

Ein weiterer Erklärungsansatz für die Messabweichung von SW wurde durch die Gruppe um JAKIĆIĆ (2004) publiziert. Für die Validierung von SW zur Spirometrie

wurden wiederum verschiedene Aktivitäten (Lauf-, Rad-, Stepp- und Armergometer) an 40 Probanden untersucht. Es resultierte wiederum eine Unterschätzung durch SW für Lauf- und Radergometrie. Die EE bei Stepp- und Armergometrie wurden allerdings überschätzt, was vermutlich durch den deutlich vergrößerten Armeinsatz (Anlageposition des SW) bedingt war. Auf abweichende Beschleunigungswerte der Ergometrie im Vergleich zur natürlichen Bewegungen wurde nicht weiter eingegangen. Das Interessante an der Studie ist allerdings, dass in Zusammenarbeit mit dem Hersteller von SW ein zweiter sportartspezifischer Algorithmus für die Kalkulation des EE zur Anwendung kam. Mit dieser Modifikation des Messsystems wurden keine signifikanten Messabweichungen bei den beschriebenen Aktivitäten registriert. [7] Leider konnte bei den eigenen Recherchen keine weiteren Untersuchungen zu anderen, sportartspezifischeren Algorithmen gefunden werden. Scheinbar wurde dieser Schritt zur Verbesserung der Anwendbarkeit über die Erkennung von Alltagsaktivitäten hinaus nicht weiter verfolgt. Zur effizienteren Anwendung in Ballspielen und für Leistungsdiagnostik in anderen Sportarten ist weitere Entwicklungsarbeit wünschenswert.

Trotz beschriebener Abweichungen konnten die Daten dieser Arbeit eine sehr hohe Reliabilität nachweisen. Deshalb scheint der Einsatz bei Fragestellungen aus dem Leistungssport auch bei mittellangen Aufzeichnungen sinnvoll, speziell wenn nicht die absolut erreichten, sondern die relativierten Werte (z. B. Prozent des maximalen EE) von Interesse sind. Für den intra- und erst recht interindividuellen Vergleich sollten relativierte Ergebnisse grundsätzlich das Mittel der Wahl sein.

Die dargestellten Resultate zeigen deutlich, dass bei einem Einsatz des SW-Armbands in der Leistungsdiagnostik zuvor zwingend eine sportartspezifische Eichung erfolgen muss. Auf Grundlage dessen können Korrekturfaktoren bestimmt werden. Entsprechende Referenzwerte müssen in Abhängigkeit der Sportart

(Bewegungsmuster) und ggf. der anthropometrischen Daten erstellt werden.

Aus den aktuell vorliegenden Daten können, bei teilweise kleinen Kollektiven, folgende Korrekturfaktoren (rechts) empfohlen werden. Diese gilt es nun durch eine Fallzahl-erhöhung zu kräftigen und durch Untersuchungen in anderen Sportarten zu erweitern. Eine Aktualisierung in regelmäßigen Abständen ist vorgesehen.

Soccer men	1,2323
Soccer women	1,1258
Basketball men	1,2318
Handball men	1,3333
Volleyball women	1,2772

Literatur

1. **Alexandre D, da Silva CD, Hill-Haas S, et al.** Heart rate monitoring in soccer: interest and limits during competitive match play and training, practical application. *J Strength Cond Res Natl Strength Cond Assoc.* 2012;26(10):2890–2906.
2. **McLaughlin JE, King GA, Howley ET, Bassett, Jr DR, Ainsworth BE.** Validation of the COSMED K4 b2 Portable Metabolic System. *Int J Sports Med.* 2001;22(4):280–284.
3. **Mann HB, Whitney DR.** On a Test of Whether one of Two Random Variables is Stochastically Larger than the Other. *Ann Math Stat.* 1947;18(1):50–60.
4. **Grouven U, Bender R, Ziegler A, Lange S.** Comparing methods of measurement. *Dtsch Med Wochenschr.* 2007;132 Suppl 1:e69–73.
5. **Grams L, Tegtbur U, Kück M, Gützlaff E, Marschollek M, Kerling A.** Energieumsatzmessungen unter kontrollierten Bedingungen - Vergleich von Accelerometer, Multisensorsystem und mobiler Spiroergometrie. *Dtsch Z Für Sportmed.* 2011;62(6):160–165.
6. **Arvidsson D, Slinde F, Larsson S, Hulthén L.** Energy cost of physical activities in children: validation of SenseWear® Armband. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39(11):2076–2084.
7. **Jakicic JM, Marcus M, Gallagher KI, et al.** Evaluation of the SenseWear® Pro Armband to assess energy expenditure during exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(5):897–904.

Korrespondenzadresse:

Stephan Hoppe, MSc
 Institut für Bewegungs- und Trainingswissenschaft der Sportarten I
 Sportwissenschaftliche Fakultät, Universität Leipzig
 Marschner Straße 29a, 04109 Leipzig
 E-Mail: stephan.hoppe@uni-leipzig.de
 Fax: +49341-9731689; Tel.: +49341-9831646