

Ferrauti A<sup>1</sup>, Giesen HT<sup>2</sup>, Merheim G<sup>3</sup>, Weber K<sup>3</sup>

## Indirekte Kalorimetrie im Fußballspiel

### *Indirect calorimetry in a soccer game*

<sup>1</sup>Ruhr-Universität Bochum, Fakultät für Sportwissenschaft, Arbeitsbereich Trainingswissenschaft, Bochum

<sup>2</sup>Allianz Private Krankenversicherung, Abt. Leistungs- und Gesundheitsmanagement, München

<sup>3</sup>Deutsche Sporthochschule Köln, Institut für Bewegungswissenschaft in den Sportspielen, Köln

#### Zusammenfassung

Mit einer portablen Spirometrie wurde ein Fußballspiel mit zehn Spielern (Alter 26,2±4,3 Jahre; Größe 183±5 cm; Gewicht 80,0±5,4 kg) an fünf Versuchstagen unter weitgehend standardisierten Bedingungen bei einem Trainingsspiel (11:11) über 90 min untersucht. Die Daten von jeweils einem Spieler pro Versuchstag und Mannschaft wurden für vier Spielzeitviertel (HZ 1<sub>A</sub>, HZ 1<sub>B</sub>, HZ 2<sub>A</sub>, HZ 2<sub>B</sub>) berechnet. Die durchschnittliche VO<sub>2</sub> fiel im Spielverlauf signifikant ab (HZ 1<sub>A</sub>: 42,4±6,3; - HZ 2<sub>B</sub>: 33,6±6,5 ml·min<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>, p<0,01). Die Blutlaktatkonzentration (HZ 1<sub>A</sub>: 4,8±2,1; HZ 2<sub>B</sub>: 3,0±1,4 mmol·l<sup>-1</sup>, p<0,01) fiel ebenfalls ab; die Herzfrequenz blieb weitgehend konstant (HZ 1<sub>A</sub>: 162±10; HZ 2<sub>B</sub>: 158±13 min<sup>-1</sup>). Der respiratorische Quotient (RQ) sank (HZ 1<sub>A</sub>: 0,95±0,08; HZ 2<sub>B</sub>: 0,88±0,09, p<0,01). Indirekt resultiert aus diesen Werten ein Energieumsatz von ca. 0,84 (HZ 1<sub>A</sub>) bis 0,63 kJ·min<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup> (HZ 2<sub>B</sub>) und ein Gesamtumsatz von ca. 5670 kJ (1350 kcal) über die gesamte Spieldauer. Der RQ lässt auf eine dominante Beteiligung der Kohlenhydrate im Bereich von 60-70% (ca. 160-200 g pro Spiel) am Energieumsatz schließen. Die Befunde untermauern die Bedeutung der Ausdauerleistungsfähigkeit im Fußball sowie die Empfehlung einer kohlenhydratreichen Ernährung.

**Schlüsselwörter:** portable Spirometrie, indirekte Kalorimetrie, respiratorischer Quotient

#### Einleitung

Die differenzierte Analyse der komplexen sportartspezifischen Wettkampfbeanspruchung gilt als unerlässliche Voraussetzung für eine angemessene trainingswissenschaftliche Handlungsstrategie in einer Sportart. Kinematische Analysen zeigen, dass im modernen Fußballspiel weitgehend unabhängig von der Spielposition insgesamt 10-12 km in einer unregelmäßigen und unvorhersehbaren Kombination aus hochintensiven Kurzsprints und längerem moderaten Lauf zurückgelegt werden (2, 18, 19, 22). Zusätzlich bestehen höchste Anforderungen an die kognitiven und motorischen Fähigkeiten der Feldspieler. Die resultierende mittlere Beanspruchung wird auf 65-80 % der VO<sub>2max</sub> geschätzt (4, 17, 19, 22).

Muskelbiptische Befunde belegten bereits vor über 20 Jahren eine erhebliche Reduktion des Glykogengehalts im M. vastus lateralis zu Beginn der zweiten Halbzeit. Gleichzeitig

#### Summary

This is the first study using portable telemetry spirometry during soccer match play under training conditions. On five test days, 10 male 5<sup>th</sup>-7<sup>th</sup> division soccer players (age 26.2±4.3 yrs.; height 183±5 cm; body mass 80.0±5.4 kg) completed five soccer matches (11:11) under standardised conditions (teams, play-ground, time). On each day data were collected from one player in each team in the middle and at the end of each half time (HZ 1<sub>A</sub>, HZ 1<sub>B</sub>, HZ 2<sub>A</sub>, HZ 2<sub>B</sub>). VO<sub>2</sub> decreased significantly during the match (HZ 1<sub>A</sub>: 42.4±6.3; HZ 2<sub>B</sub>: 33.6±6.5 ml·min<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup>, p<0.01). Also blood lactate concentration (HZ 1<sub>A</sub>: 4.8±2.1; HZ 2<sub>B</sub>: 3.0±1.4 mmol·l<sup>-1</sup>, p<0.01) decreased during the game; heart rate remained constant (HZ 1<sub>A</sub>: 162±10; HZ 2<sub>B</sub>: 158±13 bpm). The respiratory quotient (RQ) decreased from 0.95±0.08 (HZ 1<sub>A</sub>) to 0.88±0.09 (HZ 2<sub>B</sub>) (p<0.01). By means of indirect caloric calculations these values result in an energy cost between 0.84 (HZ 1<sub>A</sub>) and 0.63 kJ·min<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup> (HZ 2<sub>B</sub>) and in a total cost of about 5670 kJ (1350 kcal) per match. According to the RQ, a dominant contribution of carbohydrates to the total energy supply in a range from 60-70% (apr. 160-200 g per match) can be concluded. The results underline the importance of endurance capacity in soccer and the recommendation of a high-carbohydrate diet.

**Key words:** portable spirometry, indirect calorimetry, respiratory quotient

wird während der zweiten Halbzeit eine Reduktion des Laufumfangs insbesondere bei höherem Tempo sowie im Sprint dokumentiert (6, 16, 21). Diese Ergebnisse im Verbund mit dem oben skizzierten Beanspruchungsprofil sprechen einheitlich für eine herausragende Bedeutung der Kohlenhydrate (KH) für die Energiebereitstellung im Fußball. Die tägliche KH-Zufuhr von Leistungsspielern erreicht gemäß zwei skandinavischer Studien nur 400-600 g, entsprechend 46 % der gesamten Energiezufuhr (3, 12). Zur Deckung des KH-Bedarfs werden im Rahmen der Vorwettkampfnahrung jedoch mindestens 55 % KH empfohlen (11). Begleitend wird die Aufnahme kohlenhydratreicher Getränke während des Spiels und in der Halbzeitpause angeraten, da hierdurch der Verbrauch von Muskelglykogen und die Abnahme der Laufleistung gegen Spielende nachweislich verringert werden können (13, 14).

Trotz der wertvollen muskelbiptischen Befunde im Fußballspiel, fehlen bislang valide Aussagen über respiratorische Größen und die hieraus quantifizierbaren kalorischen Mess-

größen zum Energie- und Substratverbrauch. Bangsbo (4) quantifizierte den Energieverbrauch eines 75 kg schweren Spielers auf 5700 KJ (1360 kcal) in einem 90-minütigen Spiel. Diese Angaben basieren auf der individuellen Herz-

### Untersuchungsgang und Messverfahren

Die Untersuchungen erfolgten an fünf festgelegten Spieltagen im Abstand von einer Woche auf einem Rasenplatz mit den üblichen Ausmaßen. Die Spielzeit betrug zweimal 45 min, die Halbzeitpause 15 min. An allen Versuchstagen traten zwei identische Mannschaften mit elf Spielern gegeneinander an.

Jeweils ein Spieler pro Mannschaft und Spieltag wurde mit einem portablen Spirometriegerät (Cosmed K4b<sup>2</sup>, Rom) sowie der geräteüblichen Atemmaske einschließlich Flowmeter (15) ausgerüstet und anhand eines andersfarbigen Trikots kenntlich gemacht. Die Auswahl der zwei Probanden erfolgte eine Woche vor dem Spiel. Die Versuchspersonen trugen die Messgeräte über die gesamte Spielzeit hinweg. Die Außentemperaturen lagen im Mittel bei 22,5±3,5°C.

Vor Spielbeginn (R), zur Mitte (HZ 1<sub>A</sub>) und am Ende der ersten

Halbzeit (HZ 1<sub>B</sub>), nach der Halbzeitpause (HZP) sowie zur Mitte (HZ 2<sub>A</sub>) und am Ende der zweiten Halbzeit (HZ 2<sub>B</sub>) wurde die Blutlaktatkonzentration aus dem hämolysierten Kapillarblut nach vorausgegangener Zentrifugation (3 min bei 12.000 U/min) analysiert (Eppendorf EBIO plus, Düsseldorf). Zur Blutentnahme während der Spielzeit wurden beide Spieler ohne Unterbrechung des laufenden Spiels an den Spielfeldrand gerufen. Hierdurch entstand für die untersuchten Spieler eine Pause von maximal einer Minute.

Die spirometrischen Messwerte sowie die Herzfrequenz wurden durch den Datenlogger des Cosmed K4b<sup>2</sup> fortwährend gespeichert und für die Datenanalyse zunächst auf 10s-Intervalle gemittelt. Anschließend wurde das arithmetische Mittel dieser Daten für die einzelnen Spielzeitviertel (0:00-22:30 min = HZ 1<sub>A</sub>, 22:30-45:00 min = HZ 1<sub>B</sub>, 45:00-67:30 min = HZ 2<sub>A</sub>, 67:30-90:00 min = HZ 2<sub>B</sub>) und die 15 min Halbzeitpause (HZP) berechnet.

### Statistik

Als Verfahren der beschreibenden Statistik verwendeten wir arithmetisches Mittel ( $\bar{x}$ ) und Standardabweichung

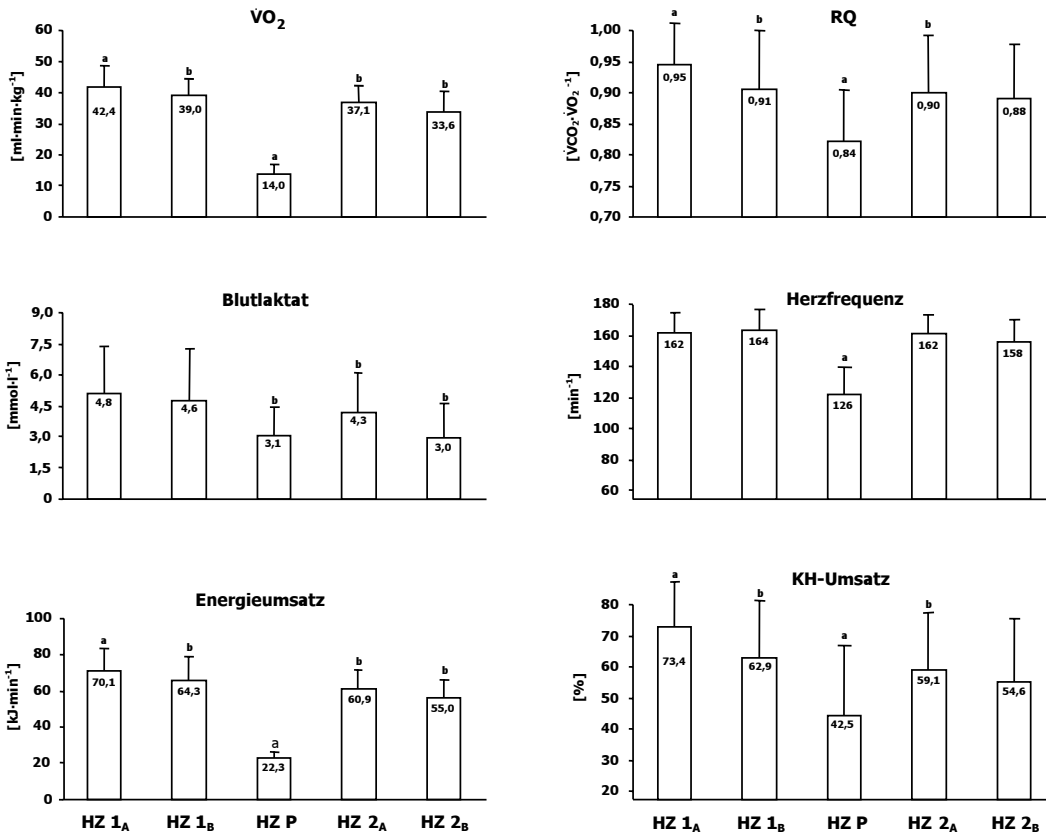


Abbildung 1: Mittelwerte für Sauerstoffaufnahme (VO<sub>2</sub>), respiratorischer Quotient (RQ), Blutlaktatkonzentration, Herzfrequenz, Energieumsatz und geschätzter prozentualer Kohlenhydratumsatz (indirekt abgeleitet aus dem RQ) für ausgewählte Spielabschnitte eines 90-minütigen Fußballspiels (a: p<0,05 gegenüber allen übrigen Messzeitpunkten, b: p<0,05 gegenüber dem vorherigen Messzeitpunkt; ANOVA Fallzahl jeweils n=10)

frequenz-VO<sub>2</sub> Relation unter Laborbedingungen und der Extrapolation dieses Verhältnisses auf das Herzfrequenzverhalten im Fußball. Trotz aktueller Befunde, die die Validität dieses Verfahrens stützen (7), unterzogen wir die vorgelegten Daten einer direkten spirometrisch basierten Kontrolle.

Mikrotechnologische Fortschritte erlauben inzwischen auch in den Sportspielen die Nutzung portabler Spirometer ohne nennenswerte Beeinträchtigung des Wettspielgeschehens (8). In der vorliegenden Studie wurden daher erstmalig Sauerstoffaufnahme und Kohlendioxidabgabe im Fußball während eines Trainingsspiels erfasst.

## Methodik

### Untersuchungsgut

An der Untersuchung nahmen zehn männliche Spieler mit Bezirksliga- bis Verbandsliganiveau teil (Alter 26,2±4,3 Jahre; Größe 183±5 cm; Gewicht 80,0±5,4 kg). Es wurden nur Mittelfeldspieler und Stürmer untersucht.

(±S). Als prüfstatisches Verfahren benutzten wir die einfaktorische Varianzanalyse mit Messwiederholung zur Feststellung von Veränderungen im Spielverlauf. Signifikante Einzeleffekte wurden post-hoc nach Scheffé berechnet. Die Überprüfung der Anwendungsvoraussetzungen wurde programmgesteuert nach Bartlett durchgeführt. Als Signifikanzschranke galt  $p < 0,05$ .

## Ergebnisse

Die mittlere Sauerstoffaufnahme sank von Spielbeginn (HZ 1<sub>A</sub>) bis Spielende (HZ 2<sub>B</sub>) kontinuierlich ab (Abb. 1).

Die Blutlaktatkonzentration blieb bis zur Mitte der zweiten Halbzeit weitgehend konstant und erreichte im Mittel zwischen 4 und 5 mmol·l<sup>-1</sup>. Nur in der Halbzeitpause und gegen Ende des Spiels war ein signifikanter Abfall zu beo-

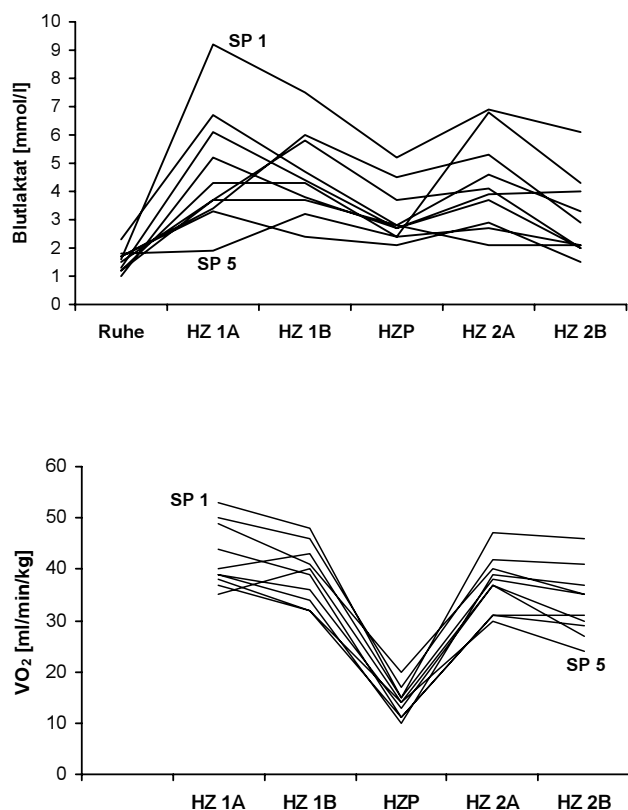


Abb. 2: Einzelwerte von zehn Fußballspielern für Blutlaktatkonzentration (oben) und Sauerstoffaufnahme ( $VO_2$ ) für ausgewählte Spielabschnitte eines 90-minütigen Fußballspiels (SP = Spieler).

bachten (Abb. 1). Erhebliche intraindividuelle Schwankungen im Spielverlauf sowie interindividuelle Unterschiede zwischen den Spielern (9,2 mmol·l<sup>-1</sup> bei Spieler 1, HZ 1<sub>A</sub>) und 1,9 mmol·l<sup>-1</sup> bei Spieler 5, HZ 1<sub>A</sub>) fielen auf (Abb. 2). Die durchschnittliche Herzfrequenz blieb innerhalb der Messzeiträume mit Ausnahme der Halbzeitpause weitgehend konstant und lag im Mittel zwischen 160 und 165 Schlägen·min<sup>-1</sup> (Abb. 1).

Der RQ lag während des ersten Spielzeitviertels signifikant über den Werten der übrigen Spielphasen. Während der

Halbzeitpause ergaben sich signifikant geringere Werte (Abb. 1).

Mittels indirekter Kalorimetrie kann unter den gegebenen Spielbedingungen ein Energieumsatz von ca. 0,84 (Spielbeginn) bis 0,63 kJ·min<sup>-1</sup>·kg<sup>-1</sup> (Spielende), entsprechend einem Gesamtumsatz über 90 min von durchschnittlich 5630 (min. 4430, max. 7290) kJ bzw. 1340 (1050, 1750) kcal berechnet werden. Bei einem prozentualen Anteil der Kohlenhydrate von 60-66 % am Gesamtumsatz resultiert ein KH-Bedarf von ca. 3400-3700 kJ bzw. 800-900 kcal, entsprechend ca. 180 g KH. Dieser Anteil kann im Einzelfall (Spieler 1) auf über 300 g KH ansteigen.

## Diskussion

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie erlauben durch den Einsatz der portablen Spirometrie mit Messung des respiratorischen Quotienten erstmals konkretere Aussagen über Energieumsatz und Substratverwertung im Fußballspiel unter Trainingsbedingungen. Die hieraus indirekt kalorisch abgeleiteten Aussagen (z.B. Gewichtung von Kohlenhydrat- und Fettstoffwechsel) vervollständigen den bisherigen Erkenntnisstand zum komplexen Beanspruchungsprofil im Fußballspiel. Alle bislang publizierten energetisch relevanten Angaben basieren einzig auf Herzfrequenzmessungen im Spiel und der aus Referenzgrößen begleitender Laboruntersuchungen auf das Fußballspiel übertragenen Sauerstoffaufnahme (4).

Zur Relativierung von Spielbelastung und individueller Maximalleistung erfolgte eine Grobeinschätzung der maximalen Sauerstoffaufnahme jedes Spielers aus der im Spiel ermittelten durchschnittlichen  $VO_2$ -Herzfrequenz Relation gemäß dem Nomogramm nach Åstrand und Ryhming (1). Die mittlere Intensität der untersuchten Trainingsspiele erforderte demzufolge eine durchschnittliche Ausschöpfung von 62-77 % der geschätzten maximalen Sauerstoffaufnahme (Abb. 1). Diese Angaben entsprechen weitgehend den Befunden anderer Autoren, die die Beanspruchung im Fußball mit 65-80 % der  $VO_{2max}$  angeben (4, 17, 19). Erwartungsgemäß werden korrespondierende Befunde zur Leistung in anderen Sportspielen wie Tennis (50-60 % der  $VO_{2max}$ ) deutlich überschritten (8), so dass auch in Anbetracht der Belastungsdauer im Fußballspiel von einer beachtlichen Bedeutung der Ausdauerleistungsfähigkeit ausgegangen werden kann.

Gegen Ende der zweiten Halbzeit sinkt die körperliche Beanspruchung signifikant ab. Dies betrifft gleichermaßen Sauerstoffaufnahme und Blutlaktatkonzentration, einzig die Herzfrequenz bleibt weitgehend konstant (Abb. 1, 2). Letzteres scheint jedoch die metabolische Beanspruchung nicht real abzubilden, bekanntlich steigt die Herzfrequenz auch bei konstanter Dauerbelastung unterhalb oder im Bereich der aerob-anaeroben Schwelle stetig an, was in der Literatur als „cardiovascular drift“ bezeichnet wird (5). Eine Abnahme der körperlichen Belastung im Verlauf eines Fußballspiels wurde bereits von anderen Autoren beschrieben (2, 10, 16, 20).

Mögliche Ursachen sind einerseits vorentscheidende Spielstände, die je nach Spielverlauf die Leistungsmotivation senken und andererseits eine bereits mehrfach beschriebene erhebliche Entleerung des Muskelglykogens in der Arbeitsmuskulatur (6, 21). Diese Befunde sind aus taktischer (z.B. Auswechslung zur Aufrechterhaltung der energetischen Mannschaftsleistung) und leistungsphysiologischer Sicht (stetige KH-Substitution vom Spielfeldrand) von Relevanz.

Der Energieumsatz betrug in den untersuchten Trainingsspielen durchschnittlich 5630 kJ. Die hierbei verwendete indirekte Kalorimetrie führte zu einer exakten Reproduktion des von Bangsbo (4) aus der Laborsituation extrapolierten Umsatzes von 5700 kJ für einen 75 kg schweren Spieler. Auch die Angaben von Reilly (17) in Höhe von 70 kJ·min<sup>-1</sup> werden durch die vorliegenden Befunde bestätigt (Abb. 1). Dies spricht einerseits für die Genauigkeit der bislang publizierten energetischen Angaben (7). Andererseits wurden die Daten der vorliegenden Studie unter Trainingsbedingungen erhoben und es bestehen berechtigte Zweifel an der Übertragbarkeit der genannten Größen auf die reale Wettspielsituation im Ligabetrieb oder gar bei internationalen Turnieren. Im Tennissport konnten wir unter realen Turnierbedingungen einen um Faktor 3,5 höheren Katecholaminrelease mit erheblichen Konsequenzen für Glykogenolyse und Glykolyse feststellen (9). Diese enorme Diskrepanz im Verbund mit der Vermutung, dass Spieler (und Gegner) durch das portable Messinstrument (und das andersfarbige Trikot) in ihrem körperlichen Einsatz gebremst oder zumindest gehemmt waren, sprechen dafür, dass sowohl die bislang publizierten Größen als auch die vorliegenden Befunde die reale Turnierbeanspruchung unterschätzen.

Differenzierte Aussagen zur Substratverwertung (Kohlenhydrate und Fette) mittels indirekter Kalorimetrie basieren auf der Interpretation des respiratorischen Quotienten und unterliegen bei intermittierenden Belastungen insbesondere bei phasenweise hoher glykolytischer Aktivität erheblichen Störgrößen. Ein extremer Anstieg des Blutlaktats bewirkt zur Kompensation einer metabolischen Azidose beispielsweise eine vermehrte Austreibung von "nicht-metabolischem" CO<sub>2</sub> aus dem Bikarbonatpuffer. In diesen Situationen gilt das Verhältnis zwischen CO<sub>2</sub>-Abatmung und O<sub>2</sub>-Aufnahme nicht als Ausdruck der Stoffwechselvorgänge sondern spiegelt einzig die momentanen Ventilationsverhältnisse wider. Vor diesem Hintergrund kann die nach dem RQ eingeschätzte Verstoffwechslung von KH und Fetten im Fußball allenfalls der Groborientierung dienen. Dies gilt speziell für den ersten Messabschnitt in dem die Blutlaktatkonzentration vom Ruhewert auf ca. 5 mmol·l<sup>-1</sup> anstieg.

Gemäß den vorliegenden Daten kann der Anteil der Kohlenhydrate auf durchschnittlich 60-70 % (im Einzelfall 90 %) des Gesamtumsatzes geschätzt werden. Hieraus resultiert ein KH-Bedarf von ca. 180 g (einzelne Spieler ca. 300 g KH) während eines 90-minütigen Trainingsspiels. In Anbetracht der Einschränkungen von Bewegungsumfang und -intensität durch die Messapparatur, der reduzierten körperlichen und psychischen Beanspruchung eines Trainingsspiels (9) sowie des beträchtlichen KH-verbrauchs im Rahmen der

anaeroben Glykolyse ist von einem prozentual höheren KH-Anteil speziell unter realen Turnierbedingungen auszugehen. Schließlich sprechen auch diverse Unzulänglichkeiten des COSMED K4b<sup>2</sup> (15) mit Überschätzung der VO<sub>2</sub> und Unterschätzung der CO<sub>2</sub> für eine messmethodisch bedingte Verringerung des RQ und des hieraus abgeleiteten KH-Stoffwechsels.

### Schlussfolgerung

Die vorgelegten Befunde zum Energieumsatz im Fußballspiel stimmen mit den bislang publizierten Berechnungen überein und belegen, dass sich die Erschöpfung der Glykogenspeicher in der Arbeitsmuskulatur bei Spielern mit hohem Energieumsatz (insbesondere bei bedeutsamen Wettspielen, in der Verlängerung sowie bei Hitze) leistungslimitierend auswirken kann. Eine Optimierung der Kohlenhydratzufuhr vor, während (z.B. Halbzeitpause, KH-/Elektrolytgetränke vom Spielfeldrand) und nach dem Spiel sowie eine langfristige Steigerung der Ausdauerleistungsfähigkeit können leistungsunterstützend wirken.

### Literatur

1. Åstrand PO, Ryhming I: A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work. *J Appl Physiol* 7 (1954) 218-221.
2. Bangsbo J, Nørregaard L, Thorsøe F: Activity profile of competition soccer. *Can J Sport Sci* 16 (1991) 110-116.
3. Bangsbo J, Nørregaard L, Thorsøe F: The effect of carbohydrate diet on intermittent exercise performance. *Int J Sports Med* 13 (1992) 152-157.
4. Bangsbo J: Energy demands in competitive soccer. *J Sports Sci* 12 (1994) S5-S12.
6. Coyle EF: Cardiovascular drift during prolonged exercise and the effects of dehydration. *Int J Sports Med* 19 (1998) 121-124.
7. Ekblom B: Applied physiology of soccer. *Sports Med* 13 (1986) 50-60.
8. Esposito F, Impellizzeri FM, Margonato V, Vanni R, Pizzini G, Veicsteinas A: Validity of heart rate as an indicator of aerobic demand during soccer activities in amateur soccer players. *Eur J Appl Physiol* 93 (2004) 167-172.
9. Ferrauti A, Bergeron MF, Pluim BM, Weber K: Physiological responses in tennis and running with similar oxygen uptake. *Eur J Appl Physiol* 85 (2001) 27-33.
10. Ferrauti A, Neumann G, Weber K, Keul J: Urine catecholamine concentrations and psychophysical stress in elite tennis under practice and tournament conditions. *J Sports Med Phys Fitness* 41 (2001) 269-274.
11. Gerisch G, Rutemöller E, Weber K: Sports medical measurements of performance in soccer, in: Reilly T, Lees K, Davis W, Murphy J (Hrsg.): Science and football. E & FN Spon, London/New York, 1988, 60-67.
12. Hargreaves M: Carbohydrate and lipid requirements of soccer. *J Sports Sci* 12 (1994) S13-S16.
13. Jacobs I, Westlin N, Karlsson J, Rasmusson M, Houghton B: Muscle glycogen and diet in elite soccer players. *Eur J Appl Physiol* 48 (1982) 297-302.
14. Kirkendall DT: Effects of nutrition on performance in soccer. *Med Sci Sports Exerc* 25 (1993) 1370-1374.
15. Leatt PB, Jacobs I: Effects of glucose polymer ingestion on glycogen depletion during a soccer match. *Can J Sports Sci* 14 (1989) 112-116.
16. McLaughlin JE, King GA, Howley ET, Basset Jr DR, Ainsworth BE: Validation of the COSMED K4b<sup>2</sup> portable metabolic system. *Int J Sports Med* 22 (2001) 280-284.
17. Mohr M, Krstrup P, Nybo L, Nielsen JJ, Bangsbo J: Muscle temperature and sprint performance during soccer matches - beneficial effects of re-warm-up at half-time. *Scand J Med Sci Sports* 14 (2004) 156-162.

18. *Reilly T*: Energetics of high-intensity exercise (soccer) with particular reference to fatigue. *J Sports Sci* 15 (1997) 257-263.
19. *Reilly T*: An ergonomics model of the soccer training process. *J Sports Sci* 23 (2005) 561-572.
20. *Reilly T, Gilbourne D*: Science and football: a review of applied research in the football codes. *J Sports Sci* 21 (2003) 693-705.
21. *Rhode HC, Esperson T*: Work intensity during soccer training and match play, in: *Reilly T, Lees K, Davis W, Murphy J* (Ed.): *Science and football*. E&F N Spon, London/New York, 1988, 68-75.
22. *Saltin B*: Metabolic fundamentals in exercise. *Med Sci Sports* 5 (1973) 137-146.
23. *Stolen T, Chamari K, Castagna C, Wisloff U*: Physiology of soccer: an update. *Sports Med* 35 (2005) 501-536.

**Korrespondenzadresse:**  
**Prof. Dr. Alexander Ferrauti**  
**Ruhr-Universität Bochum**  
**Fakultät für Sportwissenschaft**  
**Stiepeler Straße 129 UHW**  
**44780 Bochum**  
**E-mail: alexander.ferrauti@rub.de**