

Hannes Gatterer

Sauerstoffaufnahme während eines Fußballspiels: Eine Fallbeschreibung

Oxygen uptake during soccer: a case report

Institut für Sportwissenschaft, Universität Innsbruck

Zusammenfassung

Die physiologische Beanspruchung während eines Fußballspiels wird in der bestehenden Literatur vorwiegend über die Herzfrequenz (Hf) bestimmt. Aus ihr wird indirekt über eine Hf-VO₂-Regressionsgleichung die Sauerstoffaufnahme (VO₂) ermittelt. Die Gültigkeit dieser Methode bei intermittierender Arbeitsweise kann jedoch angezweifelt werden. Ziel vorliegender Untersuchung ist es daher, die VO₂ während eines Fußballspiels anhand eines mobilen Spirometriegerätes direkt zu messen.

METHODE: Während eines Fußballfreundschaftsspiels wurden an zwei Amateurspielern eine Atemgasanalyse zur Bestimmung des VO₂-Verlaufs und eine Messung des Herzfrequenzverlaufs durchgeführt. Die maximale Sauerstoffaufnahme wurde anhand eines erschöpfenden 600 m-Laufs erhoben.

ERGEBNISSE: Die Probanden erreichten im Ausbelastungstest eine maximale VO₂ von 65,8 ml/(min*kg) bzw. 56,2 ml/(min*kg). Die durchschnittliche VO₂ während des Spiels betrug 37,4±6,8 ml/(min*kg) und 34,3±6,4 ml/(min*kg), was 56,8 % und 61,0 % der VO_{2max} entspricht.

DISKUSSION: Die aerobe Energiebereitstellung ist im Mittel während eines Spiels nicht limitierend (durchschnittliche Belastung: 56,8-61,0 % der VO_{2max}). Allerdings treten bei intensiven Phasen annähernd maximale Werte der VO₂ auf, die auf eine kurzfristige hohe Beanspruchung der aeroben Kapazität hindeuten. Die erhobenen Daten zeigen zudem, dass Abschätzungen der VO₂ während des Spiels durch die Hf-VO₂-Regressionsgleichung zu Fehlinterpretationen führen können.

Schlüsselwörter: Fußballspiel, Sauerstoffaufnahme, Herzfrequenz

Einleitung

Fußball ist gekennzeichnet durch ein intermittierendes Aktivitätsprofil, mit kurzen Sprints, schnellen Antritten, abrupten Stopps, Richtungsänderungen, Sprüngen, Schüssen usw. (12). Die physiologischen Anforderungen sind daher komplex und die Methoden der Datenerhebung schwierig.

Der einzige Parameter, der bisher allgemeine Akzeptanz in der Beurteilung der physiologischen Beanspruchung während eines Fußballspiels besitzt, ist die Hf. Eine Hf-Messung kann ohne Schwierigkeiten und ohne Einschränkung der Akteure durchgeführt werden und erlaubt zudem die Abschätzung der durchschnittlichen VO₂ während des Spiels bei bekannter Hf-VO₂-Regressionsgeraden. Esposito et al. (2004) berichten hierzu, dass die Hf einen guten Indikator zur Bestimmung der VO₂ darstellt (5). Es gibt jedoch auch Li-

Summary

So far, the physiological demands during soccer have been determined mainly by monitoring heart rate (HR). Establishing the relationship between HR and VO₂ in the laboratory subsequently allows calculating VO₂ in a game. However, the validity of the HR-VO₂ relationship in intermittent exercise may be questionable. Therefore, the aim of this study was to measure VO₂ with a portable gas analyser during real match play. **METHODS:** VO₂ and HR were measured during an amateur soccer match. VO_{2max} was determined by an exhausting 600 m-run.

RESULTS: Subjects attained a VO_{2max} of 65.8 mL/(min*kg) and 56.2 mL/(min*kg). The average VO₂ during match play were 37.4±6.8 mL/(min*kg) and 34.3±6.4 mL/(min*kg), corresponding to 56.8 % and 61.0 % of VO_{2max}.

DISCUSSION: The aerobic system during soccer play does not seem to be fully stressed (average intensity: 56.8-61.0 % of VO_{2max}). During high intensity periods of the game however, VO₂ nearly reaches the subjects' individual maximal values. Data also illustrate that estimation of VO₂ with the HR-VO₂ relationship during match play can possibly lead to misinterpretations.

Key words: soccer, oxygen uptake, heart rate

teraturhinweise (3, 9, 11), die vermuten lassen, dass diese Vorgehensweise keine korrekten Daten liefert, weil die Hf von vielen Faktoren während des Fußballspiels beeinflusst wird (z.B. psychischer Stress, isometrische Muskelkontraktion, Temperaturregulation).

Die vorliegende Untersuchung setzte sich daher zum Ziel, die VO₂ unter realen Spielbedingungen direkt zu messen.

Methoden

Testpersonen

Die Testpersonen waren 2 gesunde männliche Mittelfeldspieler (Alter: 24 und 25 Jahre, Größe: 179 und 178 cm, Gewicht: 77 und 69 kg) der 8. italienischen Liga (3 Trainingseinheiten/Woche, 90-120 min und ein Spiel). Die Untersuchung fand eine Woche nach Meisterschafts-Ende statt.

Versuchsablauf

Während eines Freundschaftsspiels wurden eine Atemgasanalyse zur Bestimmung des VO_2 -Verlaufs und eine Messung des Hf-Verlaufs durchgeführt. Die Atemgasanalyse erfolgte mit dem K4-System (800 g) (Fa. Cosmed, Italien) in Speicherintervallen von 5 sec (7). Beide Testpersonen spielten zwei Halbzeiten (40 Minuten), wobei die Hf kontinuierlich aufgezeichnet wurde. Die Atemgase hingegen wurden je Spieler nur für eine Spielzeit erhoben. Bei einem Probanden war nach 10,5 Minuten die Messung der VO_2 ausgefallen, da die Ventilation jedoch für die gesamte Spielzeit aufgezeichnet wurde, und sich in diesem Wert vor und nach dem Ausfall keine Unterschiede zeigten, sollten die Messungen der VO_2 der ersten Minuten für die gesamte Spielzeit gelten.

Zur Erhebung der VO_{2max} führten die Probanden in direktem Anschluss an die Spielzeit, die mit dem Cosmed-Gerät absolviert worden war, einen erschöpfenden 600-m-Lauf durch. Ein Proband wiederholte den Maximaltest 4 Tage nach dem Spiel unter vergleichbaren Bedingungen. Die

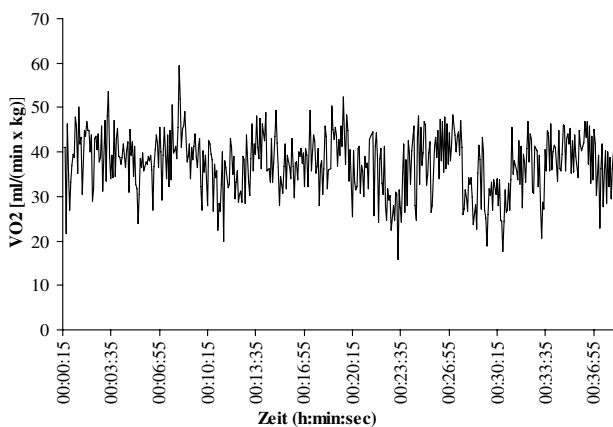


Abbildung 1: VO_2 -Verlauf eines Probanden

Ausbelastungskriterien waren eine Hf von 95 % der angenommenen Hf_{max} (220-Lebensalter) und ein RQ von $>1,1$ (2).

Statistik

Mittelwerte, Standardabweichungen und Häufigkeiten wurden mit den Programmen SPSS Version 11.5 und EXCEL berechnet.

Ergebnisse

Die Probanden erreichten im Ausbelastungstest eine maximale VO_2 von 65,8 ml/(min*kg) bzw. 5,1 l/min und 56,2 ml/(min*kg) bzw. 3,9 l/min und eine maximale Hf von 188 und 202 b/min.

Die durchschnittliche VO_2 während des Spiels betrug 37,4±6,8 ml/(min*kg) bzw. 2,9±0,5 l/min und 34,3±6,4 ml/(min*kg) bzw. 2,4±0,44 l/min. Dies entspricht 56,8 % und 61,0 % der VO_{2max} . Die höchsten VO_2 -Werte, die im Spiel erreicht wurden, lagen bei 59,3 und 48,3 ml/(min*kg), was 90,1 % und 86,0 % der VO_{2max} entspricht.

Die Probanden zeigten mittlere Hf-Werte von 167±9 und 176±11 b/min in der ersten und 164±10 und 179±11 b/min in der zweiten Halbzeit. Über das gesamte Spiel gesehen lagen die mittleren Hf-Werte bei 166±9 und 177±11 b/min, was 87,4 % und 87,7 % der maximalen Hf entspricht. Der durchschnittliche Energieverbrauch betrug 15,3±2,7 und 12,6±2,3 kcal/min.

Diskussion

Die durchschnittliche VO_2 der beiden Probanden während des Spiels betrug 37,4±6,8 ml/(min*kg) und 34,3±6,4 ml/(min*kg). Wird die Hf als Kriterium für die Spielintensität herangezogen, so handelt es sich bei den erhobenen Werten um die effektive in einem Spiel auftretende VO_2 . Die gemessenen Hf-Werte (mittlere Hf von 164±10 und 179±11 b/min) weisen nämlich eine vergleichbare Ausprägung auf, wie in der Literatur allgemein beschrieben (176±9, 173±10 und 170±12 b/min (1), 171 und 164 b/min (3), 165 b/min (10)). Zudem stimmt auch die rel. Intensität angegeben in % Hf_{max} mit Daten aus der Literatur weitgehend überein (87,4-87,7 % Hf_{max} in gegenwärtiger Untersuchung vs. 81,7-85,6 % Hf_{max} in der Literatur (8)). Anhand der Hf-Werte kann weiters gesehen werden, dass das Spirometriegerät, wenn überhaupt, dann nur einen geringen Einfluss auf die Akteure besaß, weil die Hf-Werte beider Probanden für die erste und zweite Spielzeit eine ähnliche Ausprägung aufwiesen (167±9 und 164±10 b/min bzw. 176±11 und 179±11 b/min).

Während des Spiels traten relative Intensitäten von 56,8 % und 61,0 % der VO_{2max} auf. Aufgrund der Art der Erhebung der VO_{2max} sollten hier jedoch, obgleich die Ausbelastungskriterien erfüllt wurden, mögliche Ungenauigkeiten Beachtung finden. Die Methode ist dennoch gerechtfertigt, weil nach Astrand et al. (2003) bei „hochgefahrenem“ Herz-Kreislaufsystem die VO_{2max} nach einer Minute erreicht werden kann (2). Ferrauti et al. (2003), die eine ähnliche Untersuchung durchgeführt haben, berichten einen Abfall der mittleren Ausnutzung der VO_{2max} von 77 auf 62 % während eines Spiels, bei konstanter Hf (6). Ogushi et al. (1992), die die VO_2 mit Douglasbags maßen (genaues Untersuchungsdesign nicht beschrieben), berichten Werte der durchschnittlichen Arbeitsintensitäten von 50-60 % der VO_{2max} während eines Fußballspiels bei einer durchschnittlichen Hf von ca.160 b/min(9). Allgemeinen werden in der Literatur relative Arbeitsintensitäten von 70-75 % der VO_{2max} während eines Fußballspiels angegeben, wobei die Bestimmung der VO_2 auf indirektem Wege über eine Hf- VO_2 -Regression erfolgte (3).

Aus der vorliegenden Studie (vergleichbare % Hf_{max} wie in der Literatur bei geringerer % VO_{2max}) und den Daten von Ferrauti et al. (konstante Hf bei abfallender VO_2) und Ogushi et al. (im Spiel gemessen % VO_{2max} von 47-60 % vs. im Labor durch Hf- VO_2 -Regression bestimmte % VO_{2max} während des Spiels von 61-79 %) kann vermutet werden, dass Messungen der Herzfrequenz als Indikator für die aerobe Beanspruchung

während des Fußballspiels zu Fehleinschätzungen führen können (6, 9), wie auch weitere Literaturhinweise bestätigen (3, 11).

Der über das gesamte Spiel gemittelte Anteil an der VO_{2max} , im Bereich von 55-60% gelegen, lässt vermuten, dass die aerobe Energiebereitstellung keineswegs ausgelastet ist. Die durchschnittliche Belastung lag weit unter der in der Literatur für Fußballspieler berichteten anaeroben Schwelle von ca. 79% der VO_{2max} (4). Es sollte jedoch berücksichtigt werden, dass durch das Mitteln der Werte über die gesamte Spielzeit wichtige Informationen der VO_2 verloren gehen. Betrachtet man nämlich den VO_2 -Verlauf (Abb. 1), so zeigen sich vereinzelt Werte der Sauerstoffaufnahme nahe der

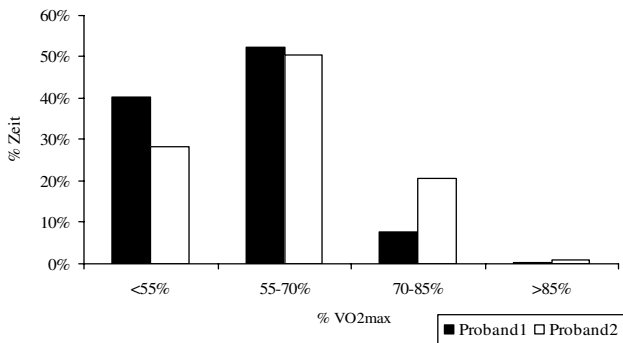


Abbildung 2: Prozentuelle Anteile an der Spielzeit, die die Probanden in verschiedenen Intensitäten, angegeben in % VO_{2max} , leisteten

VO_{2max} (VO_2 Spitzenwerte von 59,3 ml/(min*kg) und 48,3 ml/(min*kg), entspricht 90,1% und 86,0% der VO_{2max}). Aus der Betrachtung des Messwertverlaufs kann also vermutet werden, dass eine hohe VO_{2max} für Fußballspieler von Nöten ist, um die auftretenden intensiven Phasen des Spiels zu überstehen und während weniger intensiver Phasen schneller zu regenerieren.

Vergleicht man die beiden Probanden, so zeigt sich, dass der Proband mit der geringeren VO_{2max} (Proband 2 in Abb. 2) trotz einer besseren prozentuellen Ausnutzung der VO_{2max} (61,0% vs. 56,8% der VO_{2max}) und eines erhöhten Anteiles intensiver Belastungen (70-85% VO_{2max}) (Abb. 2) dennoch einen, über das gesamte Spiel betrachteten, 8,3% verringerten absoluten aeroben Energiebeitrag aufwies (34,3±6,4 ml/(min*kg) vs. 37,4±6,8 ml/(min*kg)). Es kann vermutet werden, dass trotz höherer prozentueller Ausnutzung der VO_{2max} und intensiverer Belastung ein Defizit an aerober Fitness nicht kompensiert werden kann.

Der durchschnittliche Energieverbrauch während des Spiels lag bei 15,3±2,7 und 12,6±2,3 kcal/min. Auf das gesamte Spiel gesehen ergibt sich hieraus ein Gesamtumsatz von ca. 1377 und 1134 kcal/90min.

Aus vorliegender Fallbeschreibung kann gesehen werden, dass Messungen der VO_2 mittels portabler telemetrischer Spirometrie während eines Fußballspiels grundsätzlich möglich sind auch wenn durch die Charakteristik des Spiels, Schwierigkeiten in der Datenerhebung einkalkuliert werden sollten.

Zukünftig gilt es vorliegende Ergebnisse in umfangreicheren Untersuchungen zu verifizieren, und die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf höhere Spielklassen zu prüfen.

Literatur

1. Ali A, Farrally M: Recording soccer players' heart rates during matches. *Journal of Sports Science* 9 (1991) 183-189.
2. Astrand PO, Rodahl K, Dahl HA, Stromme SB: *Textbook of Work Physiology. Physiological Bases of Exercise. Fourth Edition.* Human Kinetics, Canada, 2003.
3. Bangsbo J: Energy demands in competitive soccer. *Journal of Sports Science* 12 (1994) 5-12.
4. Casajus JA: Seasonal variation in fitness variables in professional soccer players. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 41 (2001) 463-469.
5. Esposito F, Impellizzeri FM, Margonato V, Vanni R, Veicsteinas JPA: Validity of heart rate as an indicator of aerobic demand during soccer activities in amateur soccer players. *European Journal of Applied Physiology* 93 (2004) 167-1726.
6. Ferrauti A, Merheim G, Blum S, Krenn R, Giesen HAT, Weber K: Analyse der metabolischen Beanspruchung im Fußball mittels portabler telemetrischer Spirometrie. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin* 54 (2003) 77.
7. Hausswirth C, Bigard AX, Chevalier JM: The Cosmed K4-Telemetry-System as an accurate device for oxygen uptake measurement during exercise. *Int. J. Sports Med.* 18 (1997) 449-453.
8. Helgerud J, Engen LC, Wisloff U, Hoff J: Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33 (2001) 1925-1931.
9. Ogushi T, Ohashi J, Nagahama H, Isokawa M, Suzuki S: Work intensity during soccer match-play: A case study. *Journal of Sports Science* 10 (1992) 168.
10. Reilly T: Energetics of high-intensity exercise (soccer) with particular reference to fatigue. *Journal of Sports Science* 15 (1997) 257-263.
11. Tumilty D: Physiological characteristics of elite soccer players. *Sports Med.* 16 (1993) 80-96.
12. Wisloff U, Helgerud J, Hoff J: Strength and endurance of elite soccer players. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30 (1998) 462-467.

Korrespondenzadresse:

Hannes Gatterer
 Institut für Sportwissenschaft
 Universität Innsbruck
 Fürstenweg 185
 6020 Innsbruck
 e-Mail: hannes.gatterer@uibk.ac.at