

Hoff J, Kähler N, Helgerud J

Training sowie Ausdauer- und Krafttests von professionellen Fußballspielern

Training and testing physical capacities for elite football players

Medizinische Fakultät, Norwegische Universität von Wissenschaft und Technik, Trondheim, Norwegen

Zusammenfassung

Fußballspiele auf professionellem Niveau sind charakterisiert durch hohe körperliche Leistung und hohe Bewegungsgeschwindigkeit.

Fußballspieler trainieren deshalb Ausdauer und Kraft sowie die mit der Kraft zusammenhängenden Parameter Maximalgeschwindigkeit und Beschleunigungskraft. Die Sauerstoffaufnahme für internationale, professionelle Fußballspieler liegt zwischen 55 und 69 ml·kg⁻¹·min⁻¹ und die Maximalkraft bei halbtiefen Kniebeugen zwischen 120-180 kg. Das Herzschlagvolumen wird durch ein intensives Training gefördert. Das trägt damit zur Verbesserung der maximalen Sauerstoffaufnahme und damit zur Verbesserung der Spielleistung im Sinne von Laufstrecke sowie Anzahl der Ballkontakte und Sprints bei. Dieses Training basiert auf 4 x 4min-Laufintervallen bei 90-95 % maximaler Herzfrequenz (Hf_{max}), unterbrochen mit jeweils 3 min leichten Lauf bei ca. 70 % Hf_{max} . Ein fußballspezifisches Training mit dem Ball kann genauso effektiv wie reines Lauftraining sein. Krafttraining zur Förderung der neuronalen Adaption verbesserte nicht nur die Maximalkraft, sondern erwies sich als effektiv zur Verbesserung der Sprintgeschwindigkeit und der maximalen Sprunghöhe. Das gleiche Training führte zusätzlich zu einer Verbesserung der Laufökonomie und verbesserte damit die aerobe Ausdauerleistung des Athleten. Das Prinzip dieses Trainings wurde erfolgreich bei einer UEFA Champions League Mannschaft verwendet und basierte auf 4 x 4 Wiederholungen halbtiefer Kniebeugen mit spezieller Fokussierung auf eine explosive Kraftmobilisierung während der konzentrischen Aufwärtsbewegung.

Schlüsselwörter: Kraft, 1RM, Neuronale Adaption, VO_{2max} , Laktatschwelle

Einleitung

Fußball ist eine der weltweit verbreitetsten Sportarten, bei der technisches, taktisches und körperliches Geschick gefordert wird.

Diese Zusammenfassung befasst sich speziell mit der Entwicklung und Testung der Leistung des Spielers und ist fokussiert auf Untersuchungen unserer Abteilung.

Individuelle Technik, Taktik und körperliche Leistung sind in gleichem Maße wichtig, um die Gesamtleistung eines Spielers von der Gesamtleistung anderer zu unterscheiden. Es ist schwer, die relative Wichtigkeit eines dieser Faktoren hervorzuheben, wenn man Leistungsunter-

Summary

Top football matches are characterized by increased work and increased movement velocity. Football players spend a substantial amount of time to improve physical capacities such as aerobic endurance and strength and the strength derivatives speed and power. The average oxygen uptake for international level football teams is reported to range from 55 to 68 ml·kg⁻¹·min⁻¹ and the half-squat maximal strength from 120 to 180 kg. The hearts' stroke volume has recently been shown to be the element in the oxygen chain that mainly limits aerobic endurance for athletes. This finding has given rise to more intensive training interventions to secure high stroke volumes, that in turn have proved positive in changing both maximal oxygen uptake and football performance in terms of distance covered, involvements with the ball and number of sprints in a game. The training employed has consisted of 4x4 min interval training at 90 to 95 % of maximal heart rate uphill running interspersed with 3 min jogging at 70 % of maximal heart rate to facilitate removal of lactate. Research has revealed that a football-specific training routine with the ball is as effective as plain running. Strength training to produce neural adaptations has proven effective in changing not only strength in terms of "one repetition maximum", but also sprinting velocity and jumping height in elite football players without any change in body mass. The same training has also improved running economy and thus aerobic endurance performance. The effective training regimen used for a European Champions League team was 4 times 4 repetitions of half-squats with emphasis on maximal mobilisation of force in the concentric action.

Key words: Strength, 1RM, neural adaptations, lactate threshold, VO_{2max}

schiede zu differenzieren oder zu bewerten versucht. Innerhalb der physischen Ressourcen eines Spielers sind Muskelkraft und Muskelleistung ebenso wichtig wie die körperliche Ausdauer.

Ausdauertraining

Die durchschnittliche Arbeitsintensität eines Spielers während eines 90 min-Spiels liegt nahe der Laktatschwelle (T_{lac}), oder bei 80 bis 90 % der maximalen Herzfrequenz (Hf_{max})(7, 48). Bedingt durch die aus den Phasen der überdurchschnittlichen Arbeitsintensität resultierende Laktatakkumulation im Körper ist es physiologisch unmöglich,

eine entsprechend hohe Intensität über einen längeren Zeitraum aufrechtzuerhalten.

Während eines Fußballspieles stellen jedoch häufig diese Hochintensitätsperioden die interessantesten Abschnitte des Spieles dar. Die dabei zwangsläufig resultierende Laktatakkumulation im Körper führt zur Notwendigkeit von Phasen mit leichterer Arbeitsintensität, in welchen der Laktatspiegel abgebaut werden kann. Es gibt nach herrschender Meinung einen signifikanten Zusammenhang zwischen maximaler Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) und zurückgelegter Laufstrecke während eines Spiels (7, 61). Die gemessene Laufstrecke während eines Spiels unterschied sich aufgrund von Messmethodikfehlern noch in den 70iger Jahren gewaltig. Heutzutage sind die Messungen weitaus zuverlässiger (48) und die Unterschiede erweisen sich als bedeutend geringer. Einige dänische Studien beschreiben die durchschnittliche Laufstrecke männlicher Elitespieler als 10 245 m (66), 9 845 m (44) und 10 800 m (6). Australische Studien fanden 11 527 m (72) und die Studie eines norwegischen Juniorteam 10 335 m (25). Diese genannten Werte gelten als zuverlässig, objektiv und reproduzierbar.

Apor beschrieb 1988 (3), dass die Platzierung von 4 Teams der ungarischen Fußball-Liga der Platzierung ihres durchschnittlichen VO_{2max} entsprach. Diese Feststellung deutet darauf hin, dass es einen Zusammenhang zwischen VO_{2max} und der Spielleistung geben könnte. Wisløff et al. (70) stärkte diese Theorie indem er zeigte, dass es einen klaren Unterschied an VO_{2max} zwischen dem Top-Team der norwegischen Fußball-Liga und einem niedriger platzierten Team gab.

Der Durchschnittswert für VO_{2max} bei internationalen professionellen männlichen Fußballspielern liegt zwischen 55 und 68 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$, mit individuellen Spitzenwerten höher als 70 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ (17, 70). Diese Werte sind ähnlich zu denen anderer Mannschaftssportarten, jedoch deutlich niedriger als bei Spitzensportlern in Ausdauersportarten, bei denen Werte bis zu 90 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ gemessen wurden.

Die Definition von VO_{2max} als $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ deutet auf einen linearen Zusammenhang zwischen Sauerstoffverbrauch und Körpermasse hin, welcher nicht korrekt ist (12). Bei dieser Darstellung wird die Arbeitskapazität oder die Ausdauerleistung bei Personen mit leichtem Körpergewicht überbewertet und bei gewichtigen Personen unterbewertet. Das Gegenteil ist jedoch der Fall, wenn man den Sauerstoffverbrauch bei submaximaler Arbeitsleistung betrachtet.

Helgerud et al. (24), Wisløff et al. (70) und Hoff, Helgerud (36), empfehlen daher, dass bei Vergleichen der Sauerstoffaufnahme bei Personen mit deutlich unterschiedlichem Körpergewicht, die Definition $ml \cdot kg^{-0.75} \cdot min^{-1}$ benutzt werden sollte. Eine allometrische Skalierung wird detaillierter an anderer Stelle beschrieben (4, 12, 24, 36, 70).

Der derzeit in der Literatur beschriebene höchste durchschnittliche VO_{2max} Wert eines professionellen Fußballteams wurde von Wisløff et al. 1998 (70) mit 67,6 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ oder 200,2 $ml \cdot kg^{-0.75} \cdot min^{-1}$ beim norwegischen Team Rosenborg gemessen.

Der Unterschied in Bezug auf Ausdauerleistung zu einem durchschnittlichen Team mit einem etwa 6 $ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$

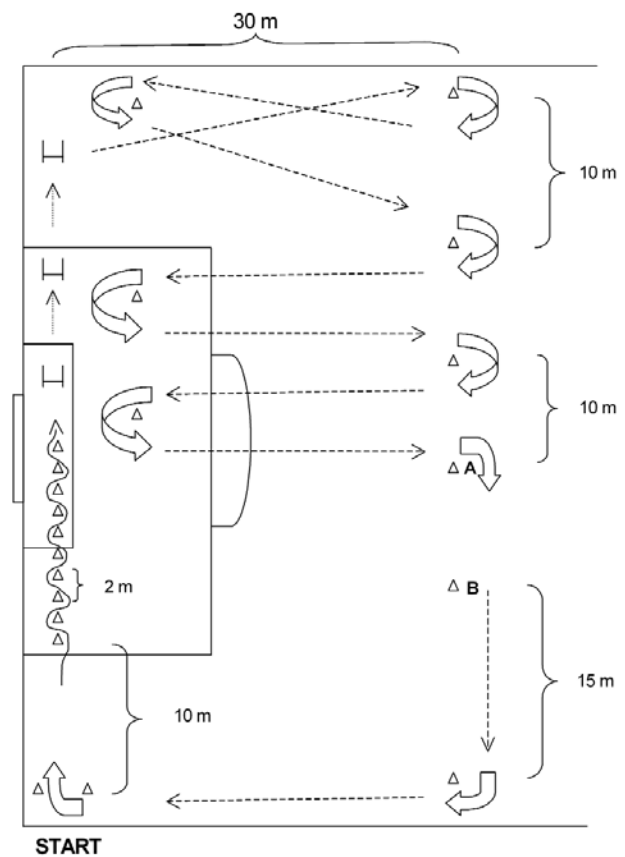


Abbildung 1: Fußballspezifischer Parcours zum Trainieren von Hochintensitätsintervallen und zur Messung der maximalen Sauerstoffaufnahme. Die Parcours-Strecke folgt den Pfeilen und wird, unter Dribbeln, mit einem Fußball abgelaufen. Rückwärtslaufen zwischen Punkt A und B. Die Spieler sollten 4min-Intervalle ausführen oder die Intensität gleichmäßig so steigern, dass sie ihre maximale Sauerstoffaufnahme nach 6 min erreicht haben.
 Δ : Kegel, H: Hürden 20 cm hoch

niedrigerem Durchschnittswert an VO_{2max} entspricht etwa der Laufleistung eines extra Spielers auf dem Spielfeld (36).

Ein Fußballspieler sollte idealerweise in der Lage sein, eine etwa gleich hohe Leistungsintensität während des gesamten Spieles aufrechtzuerhalten. Diverse Studien zeigen jedoch, dass es in der zweiten Halbzeit häufig zu einer Reduktion der Herzfrequenz, des Blutglukose- und des Laktatspiegels kommt. Diese Observation weist auf eine reduzierte Aktivität während der zweiten Halbzeit hin (18, 65).

Spieler mit einem hohen VO_{2max} verfügen über große Glykogenreserven, um bei Sprints und anderen extremen körperlichen Leistungen genug Energie aufbringen zu können. Sie haben ebenso eine erhöhte Erholungsrate (8, 18). Diese Spieler absolvieren die meisten Sprints und sind am häufigsten an spielentscheidenden Situationen beteiligt (61). Da die Glykogenreserven während eines Spiels abnehmen, muss zusätzlich Energie durch den Fettstoffwechsel bereitgestellt werden. Spieler mit einem hohen VO_{2max} mobilisieren und nutzen diese sekundäre Energiequelle effizienter und sind dadurch in der Lage, das Glykogen als „schnelle Energiequelle“ für die intensivsten und anstrengendsten Situationen zu sparen (52). Sie können daher länger unter hoher Intensität laufen, bevor sie aufgrund des abnehmenden Glykogens und der zunehmenden Laktatakkumulation zur Leistungsreduktion gezwungen werden. Diese Erschöpfung beeinflusst

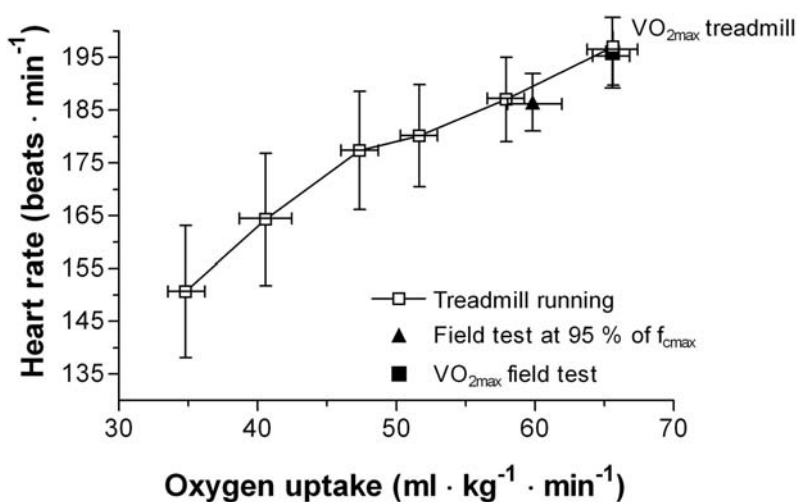


Abbildung 2: Die Korrelation zwischen Sauerstoffverbrauch (VO_2) und Herzfrequenz (f_c) bei verschiedenen submaximalen Geschwindigkeiten während der Messung auf einem Laufband, "five-a-side play" und beim Dribbeln als 4 min Intervalltraining bei 90-95 % maximaler Herzfrequenz

die Qualität der technischen und taktischen Elemente eines Spiels beträchtlich (18, 65). Dass hohe Laktatwerte die technischen Fähigkeiten reduzieren wurde in einer Studie demonstriert, bei der es Spieler vor dem Training schafften, einen Ball durchschnittlich 64mal auf dem Fuß zu jonglieren. Nach dem Training lag die durchschnittliche Wiederholungszahl noch bei 3 Wiederholungen (18).

Bei der Bestimmung der aeroben Leistung betrachtet man VO_{2max} als wichtigstes Element. Andere wichtige Faktoren sind Laktatschwelle (T_{lac}) und Laufökonomie (C_R) (24, 32, 33, 45). Die Laktatschwelle definiert die höchste Arbeitsleistung, Sauerstoffaufnahme oder Herzfrequenz, während dynamischer Arbeit mit großen Muskelgruppen, bei der die Produktion und Elimination von Laktat ausbalanciert ist (24). Die Laktatschwelle kann sich ohne Änderung an VO_{2max} ändern, was jedoch minimal ist. Eine höhere Laktatschwelle bedeutet, theoretisch gesehen, dass ein Spieler eine höhere körperliche Anstrengung beibehalten kann, ohne dass es zu einer Laktatakkumulation kommt (22). Werte für T_{lac} sind normalerweise als prozentuale Frequenz von maximaler Herzfrequenz oder als prozentualer Anteil an VO_{2max} angegeben.

Die Laufgeschwindigkeit bei T_{lac} oder VO_{2max} ist ebenso beeinflusst von der Laufökonomie (C_R). Costill et al. (16) und Helgerud (23) berichteten über individuelle Unterschiede der C_R . Die Gründe für diese Variationen sind wissenschaftlich noch nicht hinreichend erarbeitet, aber es wird vermutet, dass anatomische, mechanische und neuromuskuläre Eigenschaften sowie die Speicherfähigkeit von elastischer Energie dabei eine wichtige Rolle spielen (45). Es wurden weitaus bessere C_R -Werte bei gut trainierten Läufern als bei Freizeitläufern dokumentiert (23, 24, 46), was wahrscheinlich eine Folge ihres intensiveren Trainings ist. C_R wird normalerweise als O_2 -Verbrauch (VO_2) bei einer standardisierten Arbeitsbelastung oder VO_2 pro Meter während des Laufens definiert (23, 56). Hoff und Helgerud (35) haben gezeigt, wie aerobe Leistung durch eine günstigere C_R mit Hilfe eines speziellen Stärketrainings verbessert werden kann, ohne dabei VO_{2max} oder T_{lac} zu verändern. Bei der Wahl des Trainings, zur Ver-

besserung der aeroben Leistung, sollten die drei genannten Parameter (VO_{2max} , T_{lac} , C_R) in Betracht gezogen werden.

An eine mögliche Limitierung von VO_{2max} durch ein zentrales oder peripheres Element in der Sauerstofftransportkette sollte ebenfalls gedacht werden. Bei Aktivitäten, die die großen Muskelgruppen involvieren, führen meistens zentrale Faktoren wie das maximale Herzschlagvolumen zur Leistungsrestriktion (56, 59). Unterstützt wird diese These durch die Tatsache, dass große Muskeln eine 3- bis 4-fache Menge Blut aufnehmen können, solange das Herz in der Lage ist, diese Blutmenge zu liefern (57).

Studien, bei denen Elemente des Sauerstofftransportes zu einer Limitierung der aeroben Ausdauer führten, zeigten deutliche Unterschiede bei gut trainierten und schlecht trainierten Personen. Bei untrainierten Personen führte primär die reduzierte Sauerstoffutilisation der Muskeln zu einer Restriktion der aeroben Ausdauer, wohingegen bei gut trainierten Personen die Pumpfähigkeit des Herzens die Hauptursache der Leistungslimitierung war (53, 68). Das Herzschlagvolumen wird als wichtigster Faktor der physischen Maximalleistung betrachtet und kann bei gut trainierten Personen bis auf das Doppelte gesteigert werden. In der Literatur wird die Steigerung von Herzschlagvolumen und Herzfrequenz bis zu einem VO_{2max} von ca. 60 % als annähernd linear bezeichnet, bei dem es dann ein Plateau-Niveau erreicht. Bei Werten von über 60 % VO_{2max} ist das Herzschlagvolumen nur noch zu geringer Steigerung fähig. Dieses gilt für den trainierten als auch untrainierten Zustand. Gledhill et al. (20) and Zhou et al. (73) haben das Herzschlagvolumen bei hoher Belastung weiter untersucht und fanden, im Gegensatz zur bisherigen Annahme, dass das Herzschlagvolumen bei gut trainierten Sportlern tatsächlich bis zu VO_{2max} weiter ansteigt. Bei inaktiven und moderat aktiven Personen konnte die klassische Plateau-Phase bei 60 % VO_{2max} jedoch bestätigt werden. Diese Beobachtungen gaben den Anstoß, ein Hochintensitätstraining in das Ausdauertraining zu integrieren.

Ein Fußballspieler ist in der Lage, repetitive Hochintensitätsphasen für 3-8 min beizubehalten, wobei das maximale Herzschlagvolumen nach ca. 1-2 min erreicht wird. Es kommt hierbei jedoch schon nach etwa 4 min zu einer signifikanten Leistungsminderung. Eine geringere Leistungsintensität zeigte wiederum eine bedeutende Reduktion der Trainingseffektivität um mehr als 50 % (54).

Bei dieser Intensität wird die Laktatschwelle bei weitem überschritten und es kommt es zu einer Laktatakkumulation in Muskeln und Blut. Weniger intensive Perioden sind nun notwendig, um den Laktatüberschuss wieder abzubauen. Es haben sich hier 3 min intermittierende Pausen bei 70 % maximaler Herzfrequenz als besonders effektiv erwiesen. Der Laktat Spiegel konnte bei dieser Intensität weitaus schneller reduziert werden als bei totaler Inaktivität (27).

Helgerud et al. führten 2001 (25) eine Studie durch, bei der sie die Effektivität eines 4 x 4min-Intervalltrainings bei 90-95 % maximaler Herzfrequenz untersuchten. 50 % eines Elite-Junior Fußballteams trainierte nach diesem Intervallprinzip über 8 Wochen, 3 x die Woche. Die andere Hälfte des Teams diente als Kontrollgruppe und führte ihr gewöhnliches Fußballtraining fort.

Im Vergleich zur Kontrollgruppe konnte in der Intervalltrainingsgruppe eine durchschnittliche Steigerung von $6 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1} \text{ VO}_{2\text{max}}$ beobachtet werden. Zusätzlich wurde eine Verlängerung der zurückgelegten Laufstrecke von 1 700 m, eine Erhöhung des Ballkontakts um 24 % und eine Verdoppelung der Sprintanzahl im Vergleich zur Kontrollgruppe beobachtet (Abb. 3).

Helgerud et al. (26) haben das gleiche Intervalltraining bei einem Team der European Champions League verwendet und kamen zu dem gleichen Ergebnis. Während Helgerud et al. (25, 26) Bergaufwärtslaufen und Steigungslaufen am Laufergometer verwendeten, haben Hoff et al. (34) gezeigt, dass ein speziell entworfener Trainingsparcours (Abb. 1) mit beschleunigendem Bergauflaufen, kurzfristigen Richtungswechseln und die Verwendung eines Balls ebenso effektiv sein kann. Zusätzlich wurde beobachtet, dass das Spiel auf kleinem Spielfeld unter gewissen Voraussetzungen die gleiche Auswirkung auf $\text{VO}_{2\text{max}}$ haben kann, jedoch mit einem Limit bis ca. $65 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$ (Abb. 2). Die Umsetzung dieses beschriebenen Trainingskonzeptes führte zu einer durchschnittlichen Zunahme von $\text{VO}_{2\text{max}}$ um ca. 0,5 % pro Trainingseinheit (25, 26).

Die Aufrechterhaltung eines erhöhten $\text{VO}_{2\text{max}}$ ist abhängig von einem Minimum an 1-2 Trainingseinheiten pro Woche und wird als Erhaltung der aeroben Kapazität bezeichnet.

Da die beschriebene Herzfrequenz ein wichtiger Bestandteil des Trainingskonzeptes ist, kommt es bei gleichzeitiger Verbesserung der körperlichen Leistung zu einer automatischen Belastungssteigerung im Verlaufe der Trainings.

Unsere derzeitige Empfehlung zur Verbesserung des $\text{VO}_{2\text{max}}$ bei Fußballspielern ist daher zusammenfassend das Konzept der 4 x 4min-Intervalle bei 90-95 % maximaler Herzfrequenz, mit 3 min aktiven Erholungsphasen bei 70 % maximaler Herzfrequenz zur Laktat Spiegelreduktion. Als Trainingsform wird Bergauflaufen, Ergometertraining auf dem Laufband oder ballspezifisches Training empfohlen.

Krafttraining

Innerhalb eines 90 min-Spieles kommt es durchschnittlich alle 90 Sekunden zu einer Sprintaktion (51), welche 2-4 Sekunden dauert (9, 43, 51). Sprinten umfasst etwa 1 bis 11 % der gesamt zurückgelegten Laufstrecke eines Spieles (9, 51), was ca. 0,5-3,0 % der effektiven Spielzeit mit dem Ball entspricht (1, 6, 9). Ein professioneller Fußballspieler macht während eines Spiels etwa 50 Richtungswechsel, die eine kraftvolle Muskelarbeit zur Balanceerhaltung und Beibehaltung der Ballkontrolle erfordern (72).

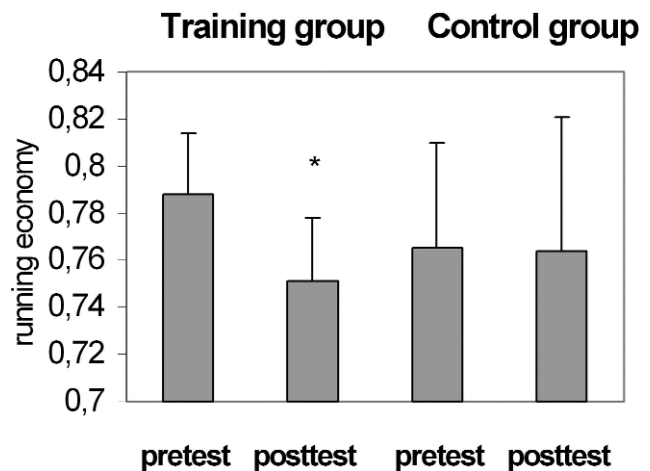


Abbildung 3: Verbesserung der Laufökonomie ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-0,75}\cdot\text{m}^{-1}$) bei T_{lac} einer Elite Junior Fußballmannschaft, die 4 Trainingseinheiten mit jeweils 4 Wiederholungen halbtiefe Kniebeugen, 3x die Woche über 8 Wochen trainierte

Im Sinne von basal-physiologischer Kapazität während eines Fußballspiels spielen Kraft und Power eine gleichermaßen wichtige Rolle wie die Ausdauer. Maximalstärke ist ein basaler Parameter, der die Leistung bedeutend beeinflusst. Die Steigerung der Maximalkraft steht normalerweise in engem Zusammenhang mit der Verbesserung der relativen Kraft und dadurch mit der Verbesserung der Leistungsfähigkeit. Es konnte ein signifikanter Zusammenhang zwischen der maximalen Kraft als Maximum für eine Wiederholung (1 RM), Beschleunigung und Bewegungsgeschwindigkeit beobachtet werden (14). Die enge Beziehung zwischen Maximalkraft und Gesamtleistung konnte durch Untersuchungen im Hochsprung sowie im 10 bis 20 m Sprint bestätigt werden (31, 58, 71) (Abb. 3). Durch die Erhöhung der Muskelkontraktionskraft in entsprechenden Muskelgruppen konnten Beschleunigung und technisches Vermögen so wie Richtungswechsel, Sprints und Kontrolle über Geschwindigkeitsänderung verbessert werden (9).

In der Literatur wird die Kraft eines Muskels als abhängig vom Muskeldurchmesser beschrieben. Spezifisches Training durch Body-Building fördert die Proteinsynthese im Muskel und führt dadurch zu einer Erhöhung des Muskeldurchmessers. Es ist durch 10-12 Wiederholungen bis zum Erschöpfungszustand des Muskels, moderate bis langsame Geschwindigkeit und viele Serien (5-6) charakterisiert (64).

Die neuronale Adaption spielt möglicherweise eine wichtige Rolle in der Kraftentwicklung des Muskels (55), obwohl sie laut Literaturangaben auf 6-8 Wochen der Anfangsphase des Stärketrainings limitiert ist. Hoff et al. (31) beobachteten jedoch ähnliche Verbesserungen bei einer World Cup Ski-springmannschaft, welche über 10 Jahre ein spezielles Kniebeuge-Springtraining absolvierte. Dieses deutet darauf hin, dass die neuronale Adaption, wie die meisten physiologischen Prozesse, nicht auf eine Startphase limitiert ist. Behm und Sale (11) wiesen darauf hin, dass möglicherweise die beabsichtigte Bewegungsgeschwindigkeit eine größere Rolle als die reelle Bewegungsgeschwindigkeit spielt, um einen möglichst großen Effekt bei geschwindigkeitsspezifischem Training hervorzurufen.

Ihre Trainingsempfehlung zur Verbesserung der neuronalen Adaption basiert daher auf zwei Hauptprinzipien. Erstens, um die schnellen motorischen Einheiten zu trainieren, welche die größte Kraft entwickeln, muss gegen hohen Wi-

derstand (1 RM) konnte dabei von 115 auf 176 kg und von 161 auf 215 kg (35) erhöht werden. Die Sprunghöhe nahm um ca. 30 mm in beiden Testgruppen zu und der 10 m-Sprint konnte um ca. 0,6 m und 0,8 m im Vergleich zur Kontrollgruppe verbessert werden.

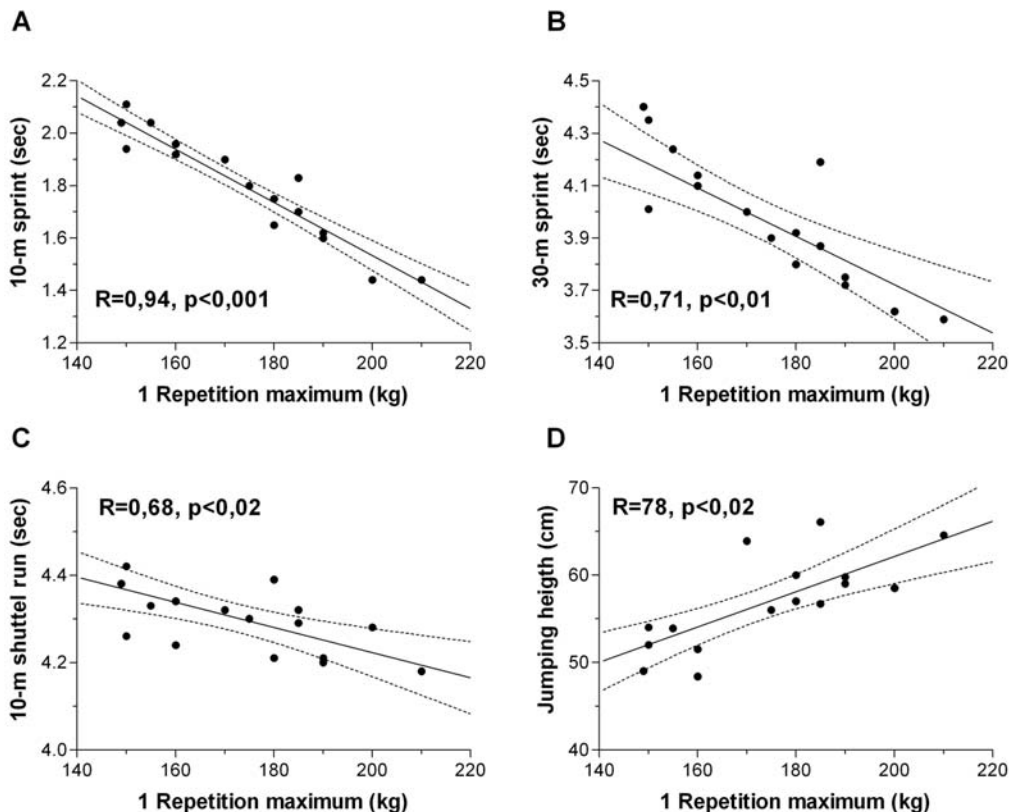


Abbildung 4: Die Korrelation zwischen maximaler Einmalwiederholung und Sprint- und Springleistung bei professionellen Fußballspielern

derstand bzw. mit schweren Gewichten trainiert werden. Es sollte dabei ein Widerstand zwischen 85–95 % der maximalen Kraft für eine Wiederholung (1 RM) gewählt werden, um eine maximale Kontraktion zu gewährleisten. Zweitens, es sollte mit möglichst hoher Geschwindigkeit gegen den Widerstand oder das Gewicht gearbeitet werden. Voigt und Klausen (67) zeigten, dass bei maximalem Krafttraining, in klassischem Sinne (high force – low velocity), durch Fokussierung auf die beabsichtigte Bewegungsgeschwindigkeit, die tatsächliche Geschwindigkeit erhöht werden konnte (low force – high velocity).

Die Arbeitsgruppe um Hoff und Almaasbakk (2, 29) hat gezeigt, dass hohe Lasten mit Schwerpunkt auf maximale Rekrutierung der Kraft unheimlich wirkungsvoll in Steigerung der Geschwindigkeit und niedriger Kraftbewegungen sind (high velocity – low force). Dieses Trainingskonzept zeigte auch einen sehr guten Effekt auf die Sprint- und Springleistung im Fußballspiel, ohne dabei das Körpergewicht des Spielers zu verändern. Es stützt die vorher beschriebene These der neuronalen Adaption (31, 35). Das Training basierte auf halbtiefen Kniebeugen (bis 90° im Kniegelenk, „half-squats“), wenigen Wiederholungen (4–5), 4 Serien und hatte den Schwerpunkt auf die maximale Mobilisation gegen den Widerstand. Die maximale Kraft für eine Wieder-

holung (1 RM) konnte dabei von 115 auf 176 kg und von 161 auf 215 kg (35) erhöht werden. Die Sprunghöhe nahm um ca. 30 mm in beiden Testgruppen zu und der 10 m-Sprint konnte um ca. 0,6 m und 0,8 m im Vergleich zur Kontrollgruppe verbessert werden.

Die Anwendung des beschriebenen Trainings führte durchschnittlich zu einer Kraftzunahme der maximalen Kraft für eine Wiederholung (1 RM) um ca. 2 % pro Trainingseinheit bei bis zu drei Trainingseinheiten pro Woche (26, 35). Eine Trainingseinheit innerhalb einer bis zwei Wochen reicht normalerweise aus, um die Kraftfähigkeiten aufrecht zu erhalten. Das Trainingskonzept hat einen automatischen Progressionsverlauf und es konnte nur eine geringe Reduktion des Trainingseffektes beobachtet werden, nachdem ein hohes Niveau der Muskelkraft erreicht wurde (31).

Unsere derzeitige Empfehlung zur Verbesserung der Sprintfähigkeit und der Sprunghöhe bei Profi-Fußballspielern ist das Trainieren von 4 Serien mit jeweils 4 Wiederholungen halbtiefer Kniebeugen, mit spezieller Fokussierung auf die maximale Mobilisation in der konzentrischen Bewegungsphase. Zusätzlich sollte der Widerstand, bzw. das Gewicht, bei jeder neuen Trainingseinheit erhöht werden.

Krafttrainingseffekte auf aerobe Ausdauerleistung

Es gibt nur wenige Studien, die die Wirkung des Krafttrainings auf die Ausdauerleistung untersucht haben.

Das primäre Ziel des vorangehenden Krafttrainings war es, die neuronale Adaption zu verbessern, ohne dabei den Effekt einer Muskelhypertrophie hervorzurufen. Die These, dass Krafttraining zwangsläufig das Körpergewicht erhöht und damit die Ausdauerfähigkeit reduziert, ist damit nicht länger haltbar.

Es wurde weiter gezeigt, dass das beschriebene Maximalkrafttraining mit wenigen Wiederholungen, hohem Widerstand und mit maximaler Mobilisationsgeschwindigkeit die aerobe Ausdauerfähigkeit erhöht.

Das Training führte bei Skilangläufern zu einer Verbesserung der Arbeitsökonomie durch reduzierten Sauerstoff-

verbrauch (30, 32) und verbesserte die Laufökonomie um 4,7 % (26, 30).

Die Sprunghöhe und die Sprintleistung konnten durch den Gebrauch von hohem Widerstand, dem Trainieren mit wenigen Wiederholungen und wenigen Serien sowie mit spezieller Fokussierung auf schnelle Mobilisierung gegen den Widerstand verbessert werden, ebenso die aerobe Ausdauerleistung durch Verbesserung der Laufökonomie.

Unsere derzeitige Empfehlung zur Verbesserung der Laufökonomie ist daher das Training von 4 Serien mit jeweils 4 halbtiefen Kniebeugen, unter spezieller Fokussierung auf maximale Mobilisation in der konzentrischen Bewegungsphase. Es sollte zusätzlich der Widerstand (Gewicht) bei jeder neuen Trainingseinheit erhöht werden. Diese Empfehlung entspricht der Empfehlung zur Verbesserung der Sprintfähigkeit und Sprunghöhe.

Testung von Ausdauerparametern

Die Ausdauerkapazität bei Fußballspielern wird repräsentiert durch die Quantität geleisteter Arbeit während eines Spieles.

Dieser „Output“-Parameter ist verhältnismäßig schwer zu bestimmen. Die zurückgelegte Strecke während eines Spieles ist dafür ein brauchbarer Indikator, aber auch die Anzahl an durchgeführten Sprints. Auch andere intensive Aktivitäten während eines Spieles können hier eine beeinflussende Rolle spielen. Bei Fußballspielern ist die Bestimmung durch verschiedene Tests möglich. Typische Leistungs-Tests sind der „Yo-Yo intermittent recovery test“ (7), der „Loughborough Intermittent Shuttle test“ (42), und diverse andere (39, 47). Die meisten dieser Tests versuchen, bestimmte Aktivitätsmuster eines Fußballspieles zu simulieren, um einen starken Bezug zur Ausdauerleistung während eines Spieles zu gewähren. Diese Entwicklung ist vom physiologischen Standpunkt gesehen nicht logisch, da die zurückgelegte Strecke während eines Spieles die höchste Korrelation zur Ausdauerleistung wiedergibt.

Der Physiologe selbst ist wahrscheinlich mehr interessiert an der Analyse und Verbesserung der verschiedenen biologischen Mechanismen, welche die fußballerische Ausdauerleistung beeinflussen, um dann deren direkte Auswirkung auf die Spielleistung zu analysieren.

Einige Autoren argumentieren, dass bei Spielern auf unterschiedlichem Leistungsniveau anaerobe Fitness besser als aerobe Ausdauerleistung zu differenzieren ist (21, 65). Trotzdem dauert ein Fußballspiel 90 min und etwa 98 % der gebrauchten Energie stammt aus dem aeroben Metabolismus und nur 2 % kommen aus dem anaeroben Metabolismus (7).

Aerobe Ausdauerleistung im Fußball ist bestimmt durch die Elemente VO_{2max} , T_{lac} und C_R (45), von denen VO_{2max} der wichtigste ist (7, 25, 28, 35, 49). C_R bei Fußballspielern, Sauerstoffverbrauch bei T_{lac} und Sauerstoffverbrauch bei $11 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ sind bereit publiziert (24, 25, 35).

Die wohl genaueste Methode, um VO_{2max} , T_{lac} und C_R bei Fußballern zu bestimmen, ist mit Hilfe eines Laufbandergometers. Die Analyse sollte von erfahrenem Personal an hochwertigen Geräten durchgeführt werden.

Viele sportspezifische Felduntersuchungen (5, 7, 10, 13, 19, 47, 62, 63) sind in Gebrauch, um die maximale Sauerstoffaufnahme (VO_{2max}) zu bestimmen. In der Regel erreichen diese eine Genauigkeit von etwa $\pm 10\text{-}15\%$ (4). Tests, die bis zum Erschöpfungszustand des Athleten führen (15), sind den submaximalen Tests überlegen. Dieser 12 min-Test wird auf einer horizontalen Laufbahn durchgeführt, und VO_{2max} kann hier in der Regel aufgrund von technischen Einschränkungen nicht erreicht werden (4). Er enthält zusätzlich anaerobe Elemente sowie Unterschiede in C_R und T_{lac} , was dazu führt, dass eine höhere Genauigkeit als 5-7 % nicht erwartet werden kann. Da an das professionelle Fußballtraining und seine Analysen immer höhere Forderungen gestellt werden ist es notwendig, zumindest zwischen VO_{2max} - und C_R -Veränderungen zu unterscheiden, und falls möglich, auch zwischen denen von T_{lac} , obwohl diese den Veränderungen von VO_{2max} zu folgen scheinen (26, 40). Eine Genauigkeit von $\pm 10\text{-}15\%$ ist in dieser Hinsicht nicht länger akzeptabel, und der Cooper-Test allein kann nicht zwischen Verbesserungen zu Gunsten von VO_{2max} oder C_R unterscheiden.

Seit der neuen Entwicklung von kleinen tragbaren Messgeräten zur Erfassung von metabolischen Messwerten ist es nun möglich, die Sauerstoffaufnahme direkt während des fußballspezifischen Tests zu messen. Es hat sich gezeigt, dass mit einer Steigung des Laufbands eine größere Muskelmasse rekrutiert wird, was es der Testperson nun ermöglicht, seinen tatsächlichen VO_{2max} zu erreichen (4). Reilly und Ball (50) konnten einen zusätzlichen Sauerstoffbedarf während des Dribbelns mit einem Fußball feststellen, welcher der Extrabelastung eines inklinierten Ergometertrainings entspricht (34). Somit konnte ein spezieller Laufparcours (Abb. 1) mit dem Fußball und tragbarem Messgerät entwickelt werden, welcher zur Bestimmung von VO_{2max} angemessen ist (38).

Unsere derzeitige Empfehlung zur Messung von Ausdauerkapazitäts-Parametern bei professionellen Fußballspielern ist die direkte Messung von VO_{2max} auf einem Laufbandergometer oder während eines speziellen Laufparcours. Der Test sollte durch die Bestimmung der Laufökonomie erweitert werden, um krafttrainingspezifische Effekte herauszudifferenzieren.

Testung von Kraftparametern

Krafttraining wird heutzutage in fast allen Sportarten durchgeführt, die eine hohe Beschleunigung als wichtigen Bestandteil aufweisen (69). Kraft ist definiert als das Resultat einer willkürlichen Kontraktion von einem oder mehrerer Muskel, isometrisch oder dynamisch.

Typischerweise ist die Maximalkraft definiert als die maximale Kraft für eine Wiederholung (1 RM) bei einer standardisierten Übung, wie z.B. der halbtiefen Kniebeuge (squat). Muskelleistung wird definiert als das Produkt von Kraft und Bewegungsgeschwindigkeit.

Da es ein festes Zusammenspiel zwischen Kraft, Muskelkraft und Beschleunigung während des Sprints und Springens gibt, sollten in der Testung von professionellen Fußballspielern halbtiefe Kniebeugen (squats) enthalten sein, welche als maximale Kraft für eine Wiederholung (1 RM) ausgeführt werden. Der Spieler sollte hierzu frei von Rückenproblemen sein.

Die halbtiefen Kniebeugen sollten bis zu 90° zwischen Femur und Tibia ausgeführt werden.

Wenn der Körper selbst in Bewegung ist, ist die relative Kraft ($1RM/Körpergewicht^{-0,67}$) von Bedeutung, was jedoch erfordert, auf mögliche Änderungen der Körpermasse zu achten. Hoff et al. (31) schafften es, die maximale Kraft für eine Wiederholung (1 RM) eines Ski-spring-World-Cup-Teams ohne Veränderung der Körpermasse so zu verbessern, dass hieraus eine Verbesserung der Beschleunigung und der Sprunghöhe resultierte.

Die Schnelligkeit des Kraftanstiegs (rate of force development) verändert sich typischerweise stärker als 1 RM bei spezifischem Training der neuralen Adaption (32, 35). Der zeitliche Kraftanstieg repräsentiert das Innervationsmuster im Muskel. Die Aktivierung von mehr motorischen Einheiten mit hoher Innervationsschwelle beeinflusst in positivem Maße die Beschleunigung und verbessert die Arbeitsleistung. Ein schnellerer Anstieg der Kraftentwicklung steht in engem Bezug zur Balance.

Der zeitliche Kraftanstieg wird berechnet aus den gemessenen vertikalen Kräften während eines Sprunges aus der Kniebeuge.

Die Sprunghöhe ist ein Leistungsparameter, welcher sich mit der Änderung von 1 RM ändert, und der kann mit Hilfe einer Kraftmessplatte bestimmt werden, die die örtliche Verschiebung des Körperschwerpunktes berechnet. Seargent's Test oder Testmatten, die die Zeit zur Berechnung der Sprunghöhe verwenden, haben eine höhere Meßabweichung als eigentlich erwünscht, sind jedoch nützlich zur Einschätzung von Muskelkraft in den Beinen.

Beschleunigung und Sprint sind Parameter, die häufig über 10- bis 40m-Strecke mit Hilfe von Photozellen getestet werden. Bei gut trainierten Fußballspielern findet man jedoch einen engen Zusammenhang zwischen Stärke, Sprinten und Springen (Abb. 3).

Unsere derzeitige Empfehlung zur Messung von Kraftparametern bei professionellen Fußballspielern ist die Bestimmung der maximalen Kraft für eine Wiederholung (1 RM) bei halbtiefen Kniebeugen, der Sprintzeit bei 10 m und bei 20-40 m sowie die Messung der Sprunghöhe. Für genauere Analysen sollte zusätzlich der zeitliche Kraftanstieg mit Hilfe einer Kraftmessplatte bestimmt werden.

Schlußfolgerung

Unsere derzeitige Empfehlung zur Verbesserung des VO_{2max} bei Fußballspielern ist daher das Konzept der 4 x 4min-Intervalle bei 90-95 % max. Herzfrequenz, mit 3 min Laufpausen bei 70 % maximaler Herzfrequenz zur Laktat Spiegelreduktion. Als Trainingsform wird Bergauflaufen, Training auf dem Laufergometer oder ballspezifisches Training empfohlen.

Zur Verbesserung der Sprintfähigkeit und der Sprunghöhe bei Elite-Fußballspielern empfehlen wir das Trainieren von 4 Serien mit jeweils 4 Wiederholungen halbtiefer Kniebeugen, mit spezieller Fokussierung auf die maximale Mobilisation in der konzentrischen Bewegungsphase. Zusätzlich sollte der Widerstand bzw. das Gewicht bei jeder neuen Trainingseinheit erhöht werden.

Die Laufökonomie kann verbessert werden durch das Trainieren von 4 Serien mit jeweils 4 halbtiefen Kniebeugen, unter spezieller Fokussierung auf maximale Mobilisation in der konzentrischen Bewegungsphase. Es sollte zusätzlich der Widerstand (Gewicht) bei jeder neuen Trainingseinheit erhöht werden. Diese Empfehlung entspricht dem Vorschlag zur Verbesserung der Sprintfähigkeit und der Sprunghöhe.

Zur Messung der Ausdauerkapazitätsparameter bei professionellen Fußballspielern ist die direkte Messung von VO_{2max} auf einem Laufergometer oder während eines speziellen Laufparcours zu empfehlen. Der Test sollte durch die Bestimmung der Laufökonomie erweitert werden, um krafttrainingspezifische Effekte herauszudifferenzieren.

Abschließend empfehlen wir zur Messung von Kraftparametern bei professionellen Fußballspielern, die Bestimmung der maximalen Kraft für eine Wiederholung (1 RM) bei halbtiefen Kniebeugen, der Sprintzeit bei 10 m und bei 20-40 m sowie die Messung der Sprunghöhe. Für genauere Analysen sollte zusätzlich der zeitliche Kraftanstieg mit Hilfe einer Kraftmessplatte bestimmt werden.

Danksagung

Die Autoren möchten Herrn PD. Dr. Tim Meyer und Herrn Niels Fahrenkrug für ihre freundliche Hilfe und Unterstützung bei der Erstellung dieses Artikels danken.

Literatur

1. Ali A, Farrally M: A computer-video aided time-motion analysis technique for match analysis. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 31 (1991) 82-88.
2. Almaasbakk B, Hoff J: Coordination, the determinant of velocity Specificity. *Journal of Applied Physiology* 80 (1996) 2046-2052.
3. Apor P: Successful formulae for fitness training, in: Reilly T, Lees A, Davids K, Murphy WJ (Hrsg.): *Science and Football*. E & F.N. Spon., London, 1988, 95-105.
4. Åstrand PO, Rodahl K: *Textbook of Work Physiology*. McGraw-Hill Book Company, New York, 1986.

5. *Balsom PD*: A field test to evaluate physical performance capacity of association football players. *Science of Football* 6 (1990) 34-40.
6. *Bangsbo J*: Time and motion characteristics of competition soccer. *Science and Football* 1 (1992) 34-40.
7. *Bangsbo J*: Physiological demands, in: Ekl B (Hrsg.): *Football (Soccer)*. Blackwell Publishing, London, 1994, 43-58.
8. *Bangsbo J, Mizuno M*: Morph. and metabolic alteration in soccer players with detraining and retraining and their relation to performance, in: Reilly T, Lees A, Davids K, Murphy WJ (Hrsg.): *Science and Football*. E & F.N. Spon., London, 1988, 114-124.
9. *Bangsbo J, Nørregaard L, Thorsøe F*: Active profile of competition soccer. *Canadian Journal of Sports Sciences* 16 (1991) 110-116.
10. *Bassett FA, Boulay MR*: Specif. of treadmill and cycle ergometer tests in triathletes, runners and cyclists. *European Journal of Applied Physiology* 80 (2000) 214-221.
11. *Behm DG, Sale DG*: Intended rather than actual movement velocity determines velocity-specific training response. *Journal of Applied Physiology* 74 (1993) 359-368.
12. *Bergh U, Sjødin B, Forsberg A, Svedenahg J*: The relationship between body mass and oxygen uptake during running in humans. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 23 (1991) 205-211.
13. *Brahler CJ, Blank SE*: Ver. Climbing elicits higher VO_{2max} than does treadmill running or rowing ergometry. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 27 (1995) 249-254.
14. *Bührlle M, Schmidtbleicher D*: Der Einfluss von Maximalkrafttraining auf die Bewegungsschnelligkeit (The influence of maximal strength training on movement velocity). *Leistungssport* 7 (1977) 3-10.
15. *Cooper K*: Correlation between field and treadmill testing as a means for assessing maximal oxygen intake. *The Journal of the American Medical Association* 203 (1968) 201-204.
16. *Costill DL, Thomas H, Roberts E*: Fractional utiliz. of the aerobic capacity during distance running. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 5 (1973) 248-252.
17. *Davies J, Brewer J, Atkin D*: Pre-season phys. characteristics of English first and second division soccer players. *Journal of Sports Sciences* 10 (1992) 541-547.
18. *Eklblom B*: Applied physiology of soccer. *Sports Medicine* 3 (1986) 50-60.
19. *Eklblom B*: A field test for soccer players. *Science and Football* 1 (1989) 13-15.
20. *Gledhill N, Cox D, Jamnik R*: Endurance athletes' stroke vol. does not plateau: major advantage in diastolic function. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 26 (1994) 1116-1121.
21. *Green S*: Anthropometric and physiological characteristics of South Australian soccer players. *Australian Journal of Science and Medicine in Sport* 24 (1992) 3-7.
22. *Heck H, Mader A, Hess G, Mucke S, Muller R, Hollmann W*: Justification of the 4-mmol/l lactate threshold. *International Journal of Sports Medicine* 6 (1985) 117-130.
23. *Helgerud J*: Maximal oxygen uptake, anaerobic threshold and running economy in women and men with similar performances level in marathons. *European Journal of Applied Physiology* 68 (1994) 155-161.
24. *Helgerud J, Ingjer F, Strømme SB*: Sex differences in performance-matched marathon runners. *European Journal of Applied Physiology* 61 (1990) 433-439.
25. *Helgerud J, Engen LC, Wisløff U, Hoff J*: Aerobic endur. training improves soccer performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 33 (2001) 1925-1931.
26. *Helgerud J, Kemi OJ, Hoff J*: Pre-season concurrent strength and endurance development in elite soccer players, in: Hoff J, Helgerud J (Hrsg.): *Football (Soccer)*, New Developments in Physical Training Research. NTNU, Trondheim, 2003, 55-66.
27. *Hermansen L, Stensvold I*: Production and removal of lactate during exercise in man. *Acta Physiologica Scandinavica* 86 (1972) 191-201.
28. *Hoff J*: Training and testing physical capac. for elite soccer players. Invited review. *Journal of Sport Sciences* 23 (2005) 573-582.
29. *Hoff J, Almåsbaek B*: The effects of maximum strength training on throwing velocity and muscle strength in female team-handball players. *Journal of Strength and Conditioning Research* 9 (1995) 255-258.
30. *Hoff J, Helgerud J, Wisløff U*: Maximal strength training improves work economy in trained female cross-country skiers. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 31 (1999) 870-877.
31. *Hoff J, Berdahl GO, Bråten S*: Jumping height develop. and body mass considerations in ski jumping, in: Müller E, Schwameder H, Raschner C, Lidinger S, Kornel E (Hrsg.): *Science and Skiing II*, Verlag Dr. Kovac, Hamburg, 2001, 403-412.
32. *Hoff J, Gran A, Helgerud J*: Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports and Exercise* 12 (2002) 288-295.
33. *Hoff J, Helgerud J, Wisløff U*: Endurance training into the next millennium; Muscular strength training effects on aerobic endurance performance. *American Journal of Medicine and Sports* 4 (2002) 58-67.
34. *Hoff J, Wisløff U, Kemi OJ, Helgerud J*: Soccer specific aerobic endurance training. *British Journal of Sports Medicine* 36 (2002) 218-221.
35. *Hoff J, Helgerud J*: Maximal strength training enhances running economy and aerobic endurance performance, in: Hoff J, Helgerud J (Hrsg.): *Football (Soccer)*. New Developments in Physical Training Research, NTNU, Trondheim, 2003, 39-55.
36. *Hoff J, Helgerud J*: Endur. and strength training for soccer players; Physiological considerations. *Sports Medicine* 34 (2004) 165-180.
37. *Jacobs I*: Blood lactate. Implications for training and sports performance. *Sports Medicine* 3 (1986) 10-25.
38. *Kemi OJ, Hoff J, Engen LC, Helgerud J, Wisløff U*: Soccer specific testing of maximal oxygen uptake. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* 43 (2003) 139-144.
39. *Leger LA, Lambert J*: A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict VO_{2max} . *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 49 (1982) 1-12.
40. *McMillan K, Helgerud J, Macdonald R, Hoff J*: Physiol. adaptations to soccer-specific endurance training in professional youth soccer players. *British Journal of Sports Medicine* 39 (2005) 273-277.
41. *McMillan K, Helgerud J, Grant S, Newell J, Hoff J*: Lactate threshold responses to a season of professional British youth soccer. *British Journal of Sports Medicine* 39 (2005) 432-436.
42. *Nicholas CW, Nuttall FE, Williams C*: The Loughborough intermittent shuttle test: A field test that simulates the activity pattern of soccer. *Journal of Sports Sciences* 18 (2000) 97-104.
43. *O'Donoghue P*: Time-motion analysis of work rate in elite soccer, in: Tavares M (Hrsg.): *Notational analysis of sport IV*. Centre for team sports studies, Faculty of Sport Sciences and Physical Education, University of Porto, Porto, 2001, 65-67.
44. *Ohashi J, Togari H, Isokawa M, Suzuki S*: Measuring movement speeds and distances covered during soccer matchplay, in: Reilly T, Lees A, Davids K, Murphy WJ (Hrsg.): *Science and Football*. E. & F.N. Spon., London, 1988, 329-333.
45. *Pate RR, Kriska A*: Physiological basis of the sex difference in cardiorespiratory endurance. *Sports Medicine* 1 (1984) 87-98.
46. *Pate RR, Sparling PB, Wilson GE, Cureton KJ, Miller BJ*: Cardiorespiratory and metabolic responses to submaximal and maximal exercise in elite women distance runners. *International Journal of Sports Medicine*, 8, Suppl 2 (1987) 91-95.
47. *Ramsbottom R, Brewer J, Williams C*: A progres. shuttle run test to estimate maximal oxygen uptake. *British Journal of Sports Medicine* 22 (1988) 141-144.
48. *Reilly T*: Football, in: Reilly T, Secher N, Snell P, Williams C (Hrsg.): *Physiology of Sports*. E & F Spon., London, 1990, 371-426.
49. *Reilly T*: Physiological profile of the player, in: Eklblom B (Hrsg.): *Football (Soccer)*. Blackwell, London, 1994, 78-95.
50. *Reilly T, Ball D*: The net physiol. cost of dribbling a soccer ball. *Research Quarterly of Exercise and Sport* 55 (1984) 267-271.
51. *Reilly T, Thomas V*: A motion analysis of work-rate in different positional roles in professional football match-play. *Journal of Human Movement Studies* 2 (1976) 87-97.
52. *Reilly T, Thomas V*: Estimated daily expenditures of professional association. *Ergonomics* 22 (1979) 541-548.
53. *Richardson RS*: What governs skeletal muscle VO_{2max} ? New evidence. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 32 (2000) 100-107.
54. *Rognmo Ø, Hetland E, Helgerud J, Hoff J, Slørdahl S*: High intensity aerobic interval exercise is superior to moderate intensity exercise for increasing aerobic capacity in patients with coronary artery disease. *European Journal of cardiovascular prevention and rehabilitation* 11 (2004) 216-222.
55. *Sale DG*: Neural adapt. to strength training, in: Komi P (Hrsg.): *Strength and Power in Sport*. Blackwell, Oxford, 1992, 249-265.

56. *Saltin B*: Maximal oxygen uptake: limitations and malleability, in: Nazar K, Terjung RT (Hrsg.): International Perspectives in Exercise Physiology. Human Kinetics Publishers, Champaign (Ill.), 1990, 26-40.
57. *Savard G, Strange S, Kiens B, Richter EA, Christensen NJ, Saltin B*: No-radrenaline spillover during exercise in active versus resting skeletal muscle in man. *Acta Physiologica Scandinavica* 131 (1987) 507-515.
58. *Schmidtbleicher D*: Training for power events, in: Komi P (Hrsg.): Strength and Power in Sport, Blackwell, London, 1992, 381-395.
59. *Shephard RJ*: Endurance Fitness. University of Toronto Press, Toronto, 2. Auflage, 1977.
60. *Shephard RJ*: Biology and medicine of soccer: An update. *Journal of Sport Sciences* 17 (1999) 757-786.
61. *Smaros G*: Energy usage during a football match, in: Vecchiet L (Hrsg.): Proceedings of the 1st International Congress on Sports Medicine Applied to Football. Guanillo D, Rome, 1980, 795-801.
62. *Smekal G, Pokan R, von Duvillard SP, Baron R, Tschan H, Bachl N*: Comparison of laboratory and "on-court" endurance testing in tennis. *Journal of Sports Sciences* 21 (2000) 242-249.
63. *Smith TB, Hopkins WG, Taylor NA*: Respir. responses of elite oarsmen, former oarsmen, and highly trained non-rowers during rowing, cycling and running. *European Journal of Applied Physiology* 69 (1994) 44-49.
64. *Tesch PA*: Short- and long-term histochemical and biolog. adaptations in muscle, in: Komi P (Hrsg.): Strength and Power in Sport Blackwell, London, 1992, 381-395.
65. *Tumilty D*: Physiological characteristics of elite soccer players. *Sports Medicine* 16 (1993) 80-96.
66. *Van Gool D, Van Gerven D, Boutmans J*: The physiological load imposed on soccer players during real match-play, in: Reilly T, Lees A, Davids K, Murphy W (Hrsg.): Science and Football. Spon, London, 1988, 51-59.
67. *Voigt M, Klausen K*: Changes in muscle strength and speed of an unloaded movement after various training programmes. *European Journal of Applied Physiology* 60 (1990) 370-376.
68. *Wagner PD*: New ideas on limitations to $\dot{V}O_{2max}$. *Exercise and Sport Science Reviews* 1 (2000) 10-14.
69. *Wilson G, Newton RU, Murphy AJ, Humphries B*: The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 25 (1993) 1279-1286.
70. *Wisløff U, Helgerud J, Hoff J*: Strength and endurance of elite soccer players. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 3 (1998) 462-467.
71. *Wisløff U, Castagna C, Helgerud J, Jones R, Hoff J*: Max. squat strength is strongly correlated to sprint performance in elite soccer players. *British Journal of Sports Medicine* 38 (2004) 285-288.
72. *Withers RT, Maricic Z, Wasilewski S, Kelly L*: Match analysis of Australian professional soccer players. *Journal of Human Movement Studies*, 8 (1982) 159-176.
73. *Zhou B, Conlee RK, Jensen R, Fellingham GW, George JD, Fisher GA*: Stroke volume does not plateau during graded exercise in elite male distance runners. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 33 (2001) 1849-1854.

Korrespondenzadresse:
Dr. med. Nils Kähler
NTNU, Det Medisinske Fakultæt
MTFS/NKSOI
Olav Kyrres Gt. 3
7489 Trondheim
Norwegen
E-mail: nils.kahler@medisin.ntnu.no