

T. Schmid¹
A. Mederer¹
P. Weishaupt¹
F. Möckel²
T. Prochnow²

Die wirbelsäulenstabilisierende Muskulatur bei Läufern

Spine-Stabilizing Muscles in Runners

Originalarbeit

59

Zusammenfassung

Eine gut ausgebildete wirbelsäulenstabilisierende Muskulatur bedeutet im Laufsport Verletzungsprophylaxe von Rückenbeschwerden (Denner 1998) und Leistungsreserve (Sommer 1998). Neben diesen bekannten Vorteilen einer starken Rumpfmuskulatur im Laufsport sind jedoch die Auswirkungen des Laufens auf den Funktionszustand dieser Muskelgruppen noch unbekannt. Um den muskulären Funktionszustand der Rücken- und Bauchmuskulatur zu analysieren, wurden 75 männliche beschwerdefreie Läufer im Alter zwischen 30 und 59 Jahren hinsichtlich der isometrischen Maximalkraft ihrer Rumpfextensoren und -flexoren untersucht und mit beschwerdefreien untrainierten Personen verglichen. Die 40- bis 49-jährigen Läufer zeigten für die isometrische Maximalkraft der Rumpfextensoren signifikant schwächere Werte als die Referenzgruppe. In den anderen Altersklassen (30- bis 39-Jährige und 50- bis 59-Jährige) gibt es bezüglich der isometrischen Maximalkraft der Rumpfextensoren und -flexoren keine signifikanten Unterschiede zu den Referenzwerten. Ebenso keine signifikanten Unterschiede zeigen die Maximalkraftwerte der Rumpfextensoren und -flexoren bei Läufergruppen mit unterschiedlichen Wochentrainingsumfängen von bis zu 40 km pro Woche bzw. über 40 km pro Woche. Daher kann geschlossen werden, dass das Lauftraining keinen adäquaten Trainingsreiz auf die Rumpfmuskulatur bewirkt und somit für Läufer ein separates Trainingsprogramm der rumpfstabilisierenden Muskulatur notwendig ist, um einwirkende Kräfte auf passive Strukturen des Stütz- und Bewegungsapparates und hier insbesondere der Wirbelsäule besser kompensieren zu können.

Schlüsselwörter

Laufen · Rückenschmerzen · Rumpfmuskulatur

Abstract

For running, a well-developed spine-stabilizing musculature provides prophylaxis against lesions, backache and enhances capacity reserves. Besides the well-known advantages of a strong spinal musculature for running, the effects of running on the stability and functioning of the musculature sections are still unknown. To analyse the muscular soundness of the back and abdominal muscles, 75 male, fit and healthy runners, aged 30 to 59 years, were examined with regard to their maximal isometric strength of trunk extensors and flexors. They were compared with persons of the same age and constitution who are not active in sports. The 40–49 year old runners showed for the isometric maximum power of the trunk extensors significantly weaker results than the reference group. In the other age groups (30–39 years and 50–59 years), no significant differences with regard to the isometric maximum power of the trunk extensors and flexors were seen. There were also no significant differences in the maximum power results of the trunk extensors and flexors in runners with up to 40 km/week or more than 40 km/week. Therefore, we can assume that running does not stimulate the back musculature adequately and that therefore, runners need a separate practice programme for the spine stabilizing muscles. This is necessary to compensate the force acting on the passive structures of the supporting and kinetic apparatus in particular the spine.

Key words

Running · backache · spinal musculature

Institutsangaben

¹Rücken- und Fortbildungs-Zentrum (RFZ), Regensburg
²Institut für Prävention und Diagnostik (IPD), Regensburg

Korrespondenzadresse

Thomas Schmid · Rücken- und Fortbildungs-Zentrum, Brüderlein & Weishaupt GmbH · Im Gewerbepark D 50 · 93059 Regensburg · Tel. + 49-941-49596 · Fax + 49-941-49598 · E-mail: RFZ.Regensburg@t-online.de

Bibliografie

Sportverl Sportschad 2002; 16: 59–63 © Georg Thieme Verlag Stuttgart · New York · ISSN 0932-0555

Im nachfolgenden Text ist die Rede von beschwerdefreien und untrainierten Läufern oder Referenzpersonen. Damit sind im Rumpfbereich beschwerdefreie und nicht spezifisch wirbelsäulen trainierte Läufer oder Referenzpersonen gemeint.

Einleitung

Einzelne sportliche Belastungen implizieren höchste Beanspruchungen des Stütz- und Bewegungsapparates und hier insbesondere der Wirbelsäule. Speziell im Laufsport zeigen Untersuchungen von Grosser (1987, S. 50) hierzu, „dass bereits im normalen Gehschritt die relevanten Muskeln Kräfte in Höhe des 2,2fachen Körpergewichts aufbringen müssen. Es ist einsichtig, dass beim Laufen (...) die Kraftgrößen durch die auftretenden Beschleunigungen sich wesentlich steigern“. Somit kommt einem guten Niveau der wirbelsäulenstabilisierenden Muskulatur im Laufsport als Präventionsmaßnahme von Rückenbeschwerden eine entscheidende Bedeutung zu. Denn im umgekehrten Fall einer schwach ausgebildeten Rücken- und Bauchmuskulatur ist eine häufige Ursache von Rückenbeschwerden zu sehen. Dies belegen u.a. Untersuchungen von Uhlig (in Denner, 1998, S. 11): Danach sind 97% der Rückenschmerzpatienten, welche in seiner orthopädischen Praxis untersucht worden sind, muskulär dekontioniert. Denner (1998, S. 11) liefert dazu folgenden Beleg: „Die isometrische Maximalkraft aller Hauptfunktionsmuskeln von Rumpf- und Halswirbelsäule ist bei Rückenschmerzpatienten hochsignifikant geringer als bei untrainierten, beschwerdefreien Referenzpersonen gleichen Alters.“

Verschiedene Untersuchungen zeigen, dass auch Läufer über Rückenbeschwerden klagen. Dies belegen Untersuchungen einer orthopädischen Ambulanz in Essen. Darin geben 15,8% der untersuchten Läufer Beschwerden im Bereich der Wirbelsäule an (Graff, 1985). Mayer et al. (2000) ermittelten bei 14,7% ihrer untersuchten Laufsportler der Jahre 1997 und 1998 Beschwerden im Lendenwirbelsäulenbereich.

Diese Untersuchungen sowie das Wissen von Prophylaxe und Therapie von Rückenbeschwerden durch eine starke rumpfstabilisierende Muskulatur zeugen von der Notwendigkeit einer gut ausgebildeten rumpfstabilisierenden Muskulatur im Laufsport.

Einen weiteren positiven Aspekt einer starken Rumpfmuskulatur stellt die Verbesserung der sportlichen Leistung dar. Diese resultiert aus einer stabilen Laufhaltung. Um nämlich „die von den Beinen entwickelten Impulse bzw. Kräfte möglichst trägheitsfrei in Bewegung umsetzen zu können, muss der Rumpf stabil über der Abstützfläche z.B. des Fußes gehalten werden. Wird der Rumpf zu weit nach vorn, hinten oder zur Seite geneigt, kommt es im Extremfall zum Sturz, in jedem Fall aber zu einer verzögerten Bewegung, d.h. verminderten Leistung. Die für diese Rumpfhaltung erforderliche Stabilität garantiert nicht nur die Knochen- und Knorpel-Anteile, d.h. das bindegewebige Skelett, sondern auch die Muskulatur, die die Wirbelsäule wie einen Segelmast gegen das Becken und den Schultergürtel verspannt. Dabei spielen die Rücken- und die Bauchmuskulatur die Hauptrolle“ (Sommer, 1998).

Somit sind zwei herausragende Vorteile einer starken wirbelsäulenstabilisierenden Muskulatur im Laufsport bekannt: Präven-

tion von Rückenbeschwerden sowie eine Verbesserung der sportlichen Leistung.

Unbekannt ist jedoch bisweilen der Funktionszustand der wirbelsäulenstabilisierenden Muskulatur bei Läufern.

Fragestellungen

1. Gibt es bezüglich der isometrischen Maximalkraft der lumbalen/thorakalen Rumpfmuskulatur (Extensoren, Flexoren) von beschwerdefreien, untrainierten Läufern zu beschwerdefreien, untrainierten Referenzpersonen in den Altersklassen 30–39-Jährige, 40–49-Jährige und 50–59-Jährige einen Unterschied?
2. Gibt es einen statistisch signifikanten Unterschied bezüglich der isometrischen Maximalkraft der Rumpflexoren und -flexoren bei Läufern mit einem wöchentlichen Trainingsumfang von höchstens 40 km im Vergleich zu Läufern mit einem wöchentlichen Trainingsumfang von mehr als 40 km?

Methodik

Probanden

An der Untersuchung nahmen 75 beschwerdefreie und nicht spezifisch wirbelsäulen trainierte männliche Läufer teil. Alle Probanden führten seit mindestens zwei Jahren zweimal pro Woche ein Lauftraining durch.

Die Läufer wurden zur Beantwortung der ersten Fragestellung in drei Gruppen verschiedener Altersklassen eingeteilt (30–39-Jährige, 40–49-Jährige und 50–59-Jährige).

Zur Beantwortung der Fragestellung zwei wurden die Läufer in zwei Gruppen unterteilt.

Diese Einteilung erfolgte in Anlehnung an die Ausführungen von Zintl (1997, S. 126 ff). Demnach absolvieren Läufer der Gruppe 1 wöchentliche Trainingsumfänge, die dem Gesundheitsbereich zuzuordnen sind (im nachfolgenden gesundheitsorientierte Läufer genannt). Darunter versteht Zintl den Trainingsbereich des Gesundheitsminimal- bzw. -optimalprogramms. Läufer in Gruppe 2, die mehr als 40 km pro Woche liefen, wurden als leistungsorientierte Läufer definiert. Hieraus resultierte die angewandte Einteilung in gesundheitsorientierte und leistungsorientierte Läufer dieser Studie.

Messsystem

Die Messungen des Nettodrehmoments für die isometrische Maximalkraft wurden an den Analyse- und Trainingsgeräten der Firma Schnell Trainingsgeräte GmbH, Peutenhausen, durchgeführt.

Als Normwerte wurden die von Denner erhobenen Referenzdaten für beschwerdefreie untrainierte Personen gleicher Altersgruppe, gleichen Geschlechts, gleicher Körperhöhe und gleichen Körpergewichts sowie gleicher Handseitigkeit verwendet. Das Nettodrehmoment wurde mittels Regressionsgleichung nach Zatorskij et al. (1984) an der Oberkörpermasse (OKM) relativiert.

Die Reproduzierbarkeit der Testergebnisse an den Analysesystemen mittels Test-Retest-Methode wurde von Eberhardt (1998) nachgewiesen.

Statistik

Die statistische Auswertung fand je nach Fragestellung durch Anwendung des t-Tests für abhängige bzw. unabhängige Stichproben statt. Als Signifikanzgrenze galt $p < 0,05$. Die Prüfung auf Normalverteilung und Varianzhomogenität wurde mittels Kolmogorov-Smirnov-Test bzw. F-Test durchgeführt.

Tab. 1 Mittelwerte mit den dazugehörigen Standardabweichungen (in Klammern) der anthropometrischen Merkmale der Läufer in den jeweiligen Altersklassen.

Altersklasse	n	Alter in Jahren	Größe in cm	Gewicht in kg
30–39-jährige	29	34,48 ($\pm 3,03$)	180,31 ($\pm 6,45$)	73,93 ($\pm 9,02$)
40–49-jährige	29	44,41 ($\pm 2,85$)	177,89 ($\pm 5,91$)	78,00 ($\pm 8,57$)
50–59-jährige	13	53,15 ($\pm 3,10$)	178,85 ($\pm 8,73$)	78,08 ($\pm 11,64$)

Ergebnisdarstellung

Zur Fragestellung 1

Die isometrische Maximalkraft der Rumpffextensoren und -flexoren bei im Rumpfbereich beschwerdefreien und spezifisch wirbelsäulenuntrainierten Läufern unterscheidet sich in den Altersgruppen der 30–39-Jährigen und der 50–59-Jährigen nicht signifikant von denen der im Rumpfbereich beschwerdefreien und spezifisch wirbelsäulenuntrainierten Referenzpersonen. Die einzige Ausnahme stellt die isometrische Maximalkraft der Rumpffextensoren bei der Altersklasse der 40–49-Jährigen Läufer dar: Hier zeigt sich, dass die Läufer eine signifikant schwächere Maximalkraft der Rumpffextensoren aufweisen als die Referenzgruppe (Tab. 2 u. 3).

Tab. 2 Relativierte isometrische Maximalkraftmittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern) der Rumpffextensoren bei beschwerdefreien und untrainierten Läufern und Referenzpersonen in den jeweiligen Altersklassen.

Altersklassen	... Läufer	n	... Referenzpersonen	n
30–39-jährige	5,39 ($\pm 1,29$)	29	5,70 ($\pm 1,54$)	92
40–49-jährige	5,13 ($\pm 0,89$)	29	5,72 ($\pm 1,50$)	63
50–59-jährige	4,77 ($\pm 1,09$)	13	5,40 ($\pm 1,49$)	43

Tab. 3 Relativierte isometrische Maximalkraftmittelwerte und Standardabweichungen (in Klammern) der Rumpfflexoren bei beschwerdefreien und untrainierten Läufern und Referenzpersonen in den jeweiligen Altersklassen.

Altersklassen	... Läufer	n	... Referenzpersonen	n
30–39-jährige	3,41 ($\pm 0,68$)	29	3,38 ($\pm 0,91$)	90
40–49-jährige	3,51 ($\pm 0,70$)	29	3,39 ($\pm 0,85$)	64
50–59-jährige	3,23 ($\pm 0,78$)	13	3,16 ($\pm 0,76$)	43

Zur Fragestellung 2

Die isometrische Maximalkraft der Rumpffextensoren und -flexoren von Läufern verschiedener Leistungsklassen unterscheidet sich statistisch nicht signifikant (Tab. 5). Die Einteilung in Leistungsklassen orientierte sich nicht an Wettkampfstrecken des Laufsports, sondern nur an gelaufenen Wochenkilometern.

Die anthropometrischen Merkmale beider Klassen sind in Tab. 4 dargestellt.

Tab. 5 zeigt die Mittelwerte (mit den dazugehörigen Standardabweichungen) der relativen Maximalkräfte der Rumpffextension und -flexion in der jeweiligen Leistungsgruppe.

Tab. 4 Mittelwerte mit den dazugehörigen Standardabweichungen (in Klammern) der anthropometrischen Merkmale der gesundheitsorientierten und leistungsorientierten Läufer.

Trainingsumfang in km pro Woche	n	Alter in Jahren	Größe in cm	Gewicht in kg
höchstens 40 km (= gesundheitsorientierte Läufer)	28	40,46 ($\pm 10,19$)	181,54 ($\pm 6,03$)	80,18 ($\pm 9,16$)
über 40 km (= leistungsorientierte Läufer)	47	41,30 ($\pm 7,37$)	177,57 ($\pm 6,58$)	73,68 ($\pm 8,54$)

Tab. 5 Mittelwerte (mit den dazugehörigen Standardabweichungen) der relativierten Maximalkraftwerte in den beiden Gruppen.

Trainingsumfang in km pro Woche	n	relative Maximalkraft Extension in Nm pro kg Oberkörpermasse	relative Maximalkraft Flexion in Nm pro kg Oberkörpermasse
höchstens 40 km (= gesundheitsorientierte Läufer)	28	4,93 ($\pm 1,01$)	3,33 ($\pm 0,63$)
über 40 km (= leistungsorientierte Läufer)	47	5,32 ($\pm 1,11$)	3,49 ($\pm 0,74$)

Diskussion

Einer gut ausgebildeten Rumpfmuskulatur kommt im Sport eine zentrale Bedeutung zu. Zur Erlangung dieser reichen sportart-spezifische Beanspruchungen häufig nicht aus.

Dieses zeigen Untersuchungsergebnisse (Dalichau et al. 2000, Weishaupt et al. 2000, Denner 1998, Carpenter 1994, Soukup 1997, Andersson 1988) zur wirbelsäulenstabilisierenden Muskulatur in verschiedenen Sportarten.

Dalichau et al. (2000) zeigten bei beschwerdefreien Schwimmern eine signifikante Abschwächung der Rumpffextensoren gegenüber Referenzpersonen, die ebenfalls beschwerdefrei und im Rumpfbereich untrainiert waren. Starke muskuläre Dysbalancen und Defizite in der wirbelsäulenstabilisierenden Muskulatur wiesen Weishaupt et al. (2000) bei beschwerdefreien und spezi-

fisch wirbelsäulenuntrainierten Golfern nach. Denner (1998) konnte bei Athleten aus den Sportarten American Football, Baseball, Eishockey, Fußball, Leichtathletik und Motorsport ausgeprägte Kraft- und Leistungsfähigkeitsdefizite der Rumpfmuskulatur nachweisen. Amerikanische Studien (Carpenter et al. 1994) mit männlichen und weiblichen Leichtathleten, Turnern, Schwimmern und Tennisspielern gelangten zu denselben Ergebnissen. Auch Soukup (1997) konnte bei Kaderspringern des DLV und American Footballspielern der nationalen Spitze keine adäquaten Anpassungserscheinungen der Rumpfmuskulatur verzeichnen. Ebenso wiesen Andersson et al. (1988) bei Athleten aus den Sportarten Fußball, Tennis, Turnen und Ringen keinen signifikanten Kraftunterschied der Rumpfmuskulatur gegenüber Normalpersonen nach. Die Ergebnisse der oben angeführten Studie zeigen, dass auch im Laufsport die sportartspezifischen Belastungen nicht genügen, um einen adäquaten Trainingsreiz auf die wirbelsäulenstabilisierende Muskulatur auszulösen.

Somit zeugen alle diese Untersuchungen von der Notwendigkeit eines zusätzlichen Krafttrainings der wirbelsäulenstabilisierenden Muskulatur im Sport. Gerade im Sport erfordern immer stärker wachsende Trainingsumfänge und -intensitäten, die das Bindegewebe besonders belasten und gefährden, ein spezielles Training zur Kräftigung und Erhöhung der Widerstandsfähigkeit des Bindegewebes, damit nicht Überlastungserscheinungen in den unterschiedlichsten Formen zu einem leistungslimitierenden Faktor werden. Speziell für den Laufsport fordert Beuker (1988, S. 37) explizit: „Die für die Kräftigung und Erhöhung der Widerstandsfähigkeit des Bindegewebes notwendigen adaptativen Reaktionen lassen sich ganz sicher nicht alleine über stoffwechselwirksames Training erzielen. Im Gegenteil: Die Belastungsfähigkeit der bradytrophischen Gewebe war schon immer auf der Basis eines langzeitigen, umfangsbetonten Krafttrainings am ehesten zu erreichen.“ Auf diese Aspekte der zusätzlichen Kräftigung der Muskulatur speziell im Bauch- und Rückenbereich bei Sportlern und besonders Läufern weisen Mediziner und Trainingswissenschaftler (Jeschke 1987, Jost 1994, Prochnow 1999) durch ihre Studien bereits seit Jahren mit Nachdruck hin.

Die Anforderungen an ein wirbelsäulenstabilisierendes Krafttraining sind jedoch hoch: So bedürfen spezifische Adaptationen spezifischer Trainingsreize. Dies belegen auch Untersuchungen von Denner (1998, S. 130) an hochtrainierten männlichen und weiblichen Athleten aus den Sportarten American Football, Baseball, Eishockey, Fußball, Leichtathletik und Motorsport. „Trotz ihrer genetischen Prädisposition für Kraftentwicklung und regelmäßigen Trainings konnten die meisten Athleten aus der Anwendung unspezifischer apparativer und nicht-apparativer Kräftigungsübungen so gut wie keinen Nutzen ziehen.“ Es ergibt sich nämlich aus verschiedenen Gesichtspunkten eine besondere Problematik für das Training der wirbelsäulenstabilisierenden Muskulatur. So wurden die gängigen, effektiv eingeschätzten Trainingsmethoden der Muskulatur in Untersuchungen an der Extremitätenmuskulatur erforscht (Schmidtbleicher, 1987). Ihre Anwendbarkeit auf die Muskulatur des Rumpfes ist bisher nicht in ausreichendem Maße nachgewiesen. Weiterhin kann nicht davon ausgegangen werden, dass die vorwiegend tonisch agierende Muskulatur des Rumpfes eine vergleichbare Muskelfaserzusammensetzung aufweist und in gleicher Weise trainiert werden muss, wie die Extremitätenmuskulatur. Nach Schmidtbleicher (1994, S. 134) ist die Trainierbarkeit der rumpfstabilisieren-

den Muskulatur sogar um 30–50% reduziert. Außerdem wird die Auswahl der Krafttrainingsübungen für das Training der Rumpfmuskulatur erschwert, da die optimale Beanspruchung des angesteuerten Muskels und somit optimale Trainingseffekte aufgrund der Wechselwirkungen der unterschiedlichsten Muskelgruppen auf die Bewegungen des Rumpfes nicht in jedem Fall gewährleistet sind (Konrad et al. 1999). Somit steht beim Training der Rumpfmuskulatur umso mehr die Qualität des Trainings im Vordergrund. Nach Fulton u. Mooney (1992) erfüllten die meisten Übungen, die zur Verbesserung der Kraftfähigkeiten der Lendenwirbelsäule angewandt werden, nicht ihren Zweck, sondern vergrößerten allenfalls die Kraft der Hüft- und Oberschenkelmuskulatur. In ihren Untersuchungen wiesen sogar Athleten, die jahrelanges Training der Rückenextensoren durchgeführt hatten, muskuläre Defizite im Bereich des Rückens auf. Um ein effektives Training der Muskulatur der Lendenwirbelsäule zu gewährleisten, ist demnach ein spezifisches, zielgerichtetes Training notwendig. Darin gilt es zu beachten, dass die Arbeit der zu trainierenden schwachen Muskeln nicht durch stärkere Synergisten übernommen wird. Dies kann durch das isolierte Arbeiten der betreffenden Muskeln erreicht werden, was herkömmliche Krafttrainingsgeräte und funktionsgymnastische Übungen häufig nur unzulänglich erfüllen (Konrad et al. 1999).

Danksagung

Die Autoren bedanken sich bei den Mitgliedern des LLC Marathon Regensburg für die engagierte Teilnahme an dieser Studie. Unser besonderer Dank gilt dem Präsidenten des LLC Marathon Regensburg, Herrn Manfred Hübner.

Literatur

- Andersson E, Swärd L, Thorstensson A. Trunk muscle strength in athletes. *Med Sci Sports Exercise* 1988; 20 (6): 587–593
- Beuker F. Krafttraining bei Läufern. In: *Ausdauersport. Erfahrungen und Probleme*. Augsburg: Selbstverlag, 1988: 36–45
- Carpenter D, et al. Low back strength comparison of elite female collegiate athletes. *Med Sci Sports Exercise* 1994; 26 (5): 113
- Denner A. Analyse und Training der wirbelsäulenstabilisierenden Muskulatur. Berlin: Springer, 1998
- Dalichau S, Swietlicka M, Scheele K. Muskelkraftprofile männlicher Leistungsschwimmer und ihre Bedeutung für das Auftreten von Überlastungsreaktionen des Haltungs- und Bewegungsapparates. *Leistungssport* 2000; 4: 37–41
- Eberhardt M. Reliabilitätskontrolle von Analysesystemen zur Bestimmung der Rumpfkraft in verschiedenen Ebenen. Köln: Deutsche Sportschule, 1998
- Fulton M. Evaluation of rehabilitative protocols. *Informationsschrift der University of Florida, Center for Exercise Science, Gainesville/Florida* (1992). In: Denner A. *Muskuläre Profile der Wirbelsäule*. Band 1. Köln: 1995: 6–7
- Graff KH, Prager G. Der „Kreuzschmerz“ der Leichtathleten. Die Lehre der Leichtathletik. In: *Leichtathletik*. 1985; 24; 33: 1687–1694
- Grosser M. Die sportliche Bewegung: anatomische und biomechanische Grundlagen. München: BLV, 1987
- Jeschke D, Heitkamp H-C. Probleme des Stütz- und Bewegungsapparates bei Dauerläufern im Vergleich zu Untrainierten. München: *Prakt Sport-Traumatol Sportmed* 1987; 3: 8–16
- Jost H. Laufen. Reinbek bei Hamburg: Rohwolt, 1994
- Konrad P, Denner A, Schmitz K, Starischka S. EMG-Befunde zur Haltungs- und Koordinations- und zu ausgewählten Kräftigungsübungen der Rumpfmuskulatur. *Orthopädische Praxis* 1999; 35 (11): 698–708

- ¹³ Mayer F, Grau S, Bäurle W, Beck M, Krauss I, Maiwald C, Baur H. Achillessehnenbeschwerden im Laufsport – eine aktuelle Übersicht. Dtsch Zeitschr Sportmed 2000; 5: 161 – 167
- ¹⁴ Mooney V. The difference between impairment and disability. Vortrag anlässlich des internationalen Symposiums „Spine and Strength“, San Diego/USA. 17./18. Juli 1992. In: Denner A. Muskuläre Profile der Wirbelsäule. Band 1. Köln: 1995: 6 – 7
- ¹⁵ Prochnow T, Welz R. Laufen in Regensburg: Trainingstips für Anfänger und Fortgeschrittene mit den schönsten Laufstrecken der Region. Regensburg: LAS-Verlag, 1999
- ¹⁶ Schmidbleicher D. Motorische Beanspruchungsform Kraft. Dtsch Zeitschr Sportmed 1987; 9: 357 – 377
- ¹⁷ Schmidbleicher D. Entwicklung der Kraft und Schnelligkeit. In: Baur J, Bös K, Singer R. Motorische Entwicklung Schondorf: 1994: 134
- ¹⁸ Sommer H-M, Hottenrott K. Schnelle Beine allein genügen nicht. SportsCare – Zeitschrift für den informierten Sportler 1998; 3: 10
- ¹⁹ Soukup H. Vergleich von Maximalkräften der Extensoren und Flexoren des Rumpfes und der unteren Extremitäten. Frankfurt: Diplomarbeit am Institut für Sportwissenschaften der Johann-Wolfgang-Goethe Universität, 1997
- ²⁰ Weishaupt P, Obermüller R, Hofmann A. Die wirbelsäulenstabilisierende Muskulatur bei Golfspielern. Sportverletzung Sportschaden Stuttgart, New York: Thieme, 2000; 2: 55 – 58
- ²¹ Zachiorskij VM, Aurin AS, Selujanov VN. Biomechanik des menschlichen Bewegungsapparates. Berlin: Sportverlag, 1984
- ²² Zintl F. Ausdauertraining. Grundlagen, Methoden, Trainingssteuerung. München: BLV, 1997