

Zur Wirkung des Dehnungstrainings als Verletzungsprophylaxe

Eine Analyse der empirischen Untersuchungen unter besonderer Berücksichtigung der Verletzungsarten

1 Einleitung

In den letzten Jahren wurden einige *Metaanalysen und Übersichtsarbeiten* zur Wirkung des Dehnungstrainings als Verletzungsprophylaxe veröffentlicht (HERBERT & GABRIEL 2002; MARSCHALL & RUCKELSHAUSEN 2004; THACKER, GILCHRIST, STROUP & KIMSEY 2004; WIEMEYER 2002), denen gemeinsam ist, dass das *abschließende Statement eher zurückhaltend* ausfällt, d.h., dem Dehnungstraining wird entweder nur eine geringe Wirkung bei der Verletzungsprophylaxe beigemessen (HERBERT & GABRIEL 2002, S. 5), oder es wird resümiert, dass „pauschale Aussagen zur verletzungsprophylaktischen Wirkung von Dehnen nicht zu belegen sind“ (MARSCHALL & RUCKELSHAUSEN 2004, S. 41).

Zur Beurteilung dieses Zusammenhanges werden von HERBERT & GABRIEL (2002), THACKER et al. (2004) und WIEMEYER (2002) solche Untersuchungen herangezogen, in denen kontrollierte Dehnprogramme durchgeführt wurden oder Sportler bzgl. ihrer Dehngewohnheiten befragt wurden. Im Gegensatz dazu werten MARSCHALL & RUCKELSHAUSEN (2004) auch Untersuchungen aus, innerhalb derer der Zusammenhang zwischen der Ausprägung der Beweglichkeit und der Verletzungshäufigkeit untersucht wurde. Bei beiden Fragestellungen fallen Primärstudien auf, bei denen nicht nur akute Muskelzerrungen und -faserrisse registriert wurden, sondern auch akute Verletzungen und Überlastungsschäden anderer Strukturen (Bänder, Schleimbeutel, Gelenke, Knochen), bei denen sich die Frage stellt, ob diese durch Dehnungsübungen vermieden werden können. Da die Beantwortung dieser Frage auch Konsequenzen auf die Aussagefähigkeit der Metaanalysen und Übersichtsarbeiten hat, wurden alle Primärstudien hinsichtlich der erhobenen Verletzungsarten einer differenzierten Analyse unterzogen.

2 Verletzungsarten

Bei der Frage, welche Art von Verletzungen durch Dehnen vermieden werden könnte, lassen sich zwei verschiedene Wirkungsdimensionen unterscheiden.

1) Am nahe liegendsten ist zu erwarten, dass Muskeln vor Zerrungen und Faserissen geschützt werden, also vor akuten Verletzungen, die sich während oder

unmittelbar nach der Belastung durch Schmerzen, Schwellungen oder Hämatome zeigen und meist Folge einer einmaligen Kraftereinwirkung sind, die den Gewebewiderstand überschreitet (Peterson & Renström 1987, S. 84). Vor allem bei den zweigelenkigen Muskeln wie den hinteren Oberschenkelmuskeln, dem Zwillingswadenmuskel, dem geraden Schenkelmuskel oder dem zweiköpfigen Armmuskel treten Muskelzerrungen und Muskelfaserrissen gehäuft auf, aber auch bei den eingelenkigen Adduktoren oder dem Lendendarmbeinmuskel. Auslöser der Muskelzerrungen und Muskelfaserrisse sind meist Bewegungen, die kurzzeitig hohe Anforderungen an die Schnellkraft stellen, wie z.B. ein Sprint, ein Sprung, der Schuss eines Balles, oder Bewegungen, die maximale Gelenkausschläge mit sich bringen, wie der Hürdenlauf (Wentz 2005). 41% der Verletzungen in Profi-Football-Mannschaften in England sind Muskelzerrungen, Zerrungen der hinteren Oberschenkelmuskeln haben ein Anteil von 13% an allen Verletzungen im Australischen Football (Dadebo, White & George 2004, S. 388). Als mögliche Gründe für den hohen Anteil der hinteren Oberschenkelmuskeln an der Gesamtzahl führen Dadebo et al. an, dass sie einen hohen Anteil an Typ-II-Fasern und wenig Titinproteine aufweisen.

Garrett (1996) untersuchte Muskelzerrungen mit der Computertomographie und fand die Verletzung der hinteren Oberschenkelmuskeln in den meisten Fällen im langen Kopf des M. biceps femoris proximal und lateral, am Muskel-Sehnen-Übergang zur gemeinsamen Sehne mit dem M. semitendinosus. Beim Zwillingswadenmuskel zeigten sich die Verletzungen am distalen Muskel-Sehnen-Übergang.

Da Muskeln und Sehnen als funktionelle Einheit agieren und bei Dehnungsübungen zusammen gedehnt werden, wird auch erwartet, dass die Anzahl akuter Sehnenverletzungen durch Dehnungsübungen reduziert wird. Beispiele von Sehnenverletzungen im Sport sind komplette oder inkomplette Risse der Achillessehne und der Patellasehne.

Die Erwartung, man könnte durch Dehnungsübungen akute Zerrungen der Muskeln und Sehnen reduzieren, basiert auf den Tatsachen, dass sich durch Dehnen sowohl kurz- als auch langfristig die Bewegungsreichweite und die Belastungstoleranz steigern lässt. Von Witvrouw, Mahieu, Danneels und McNair 2004 (2004) werden Untersuchungen angeführt, die zeigten, dass sich die Viskoelastizität von Sehnen sowohl kurzfristig als auch langfristig durch Dehnen verändern lässt und die Sehnen geschmeidiger werden. Sie schließen daraus, dass gedehnte Sehnen mehr Energie absorbieren können und somit sowohl die Sehnen als auch die Muskeln vor Verletzungen geschützt würden. Es wird aber auch beklagt, dass die wissenschaftlichen Grundlagen darüber, wie Dehnungstraining Verletzungen vermeiden soll, noch nicht ausreichend untersucht sind (Cross & Worrell 1999).

2) Wie eingangs bereits angemerkt wurde, werden in den Primärstudien zur Wirkung des Dehnungstrainings als Verletzungsprophylaxe aber nicht nur akute Sehnenverletzungen und akute Muskelzerrungen und Muskelfaserrisse erhoben, sondern auch andere akute Muskelverletzungen (Muskelprellungen) und akute Verletzungen und vor allem Überlastungsschäden von anderen Strukturen (Bänder, Schleimbeutel, Gelenke, Knochen). Beispiele von Überlastungsschäden sind das vordere Muskellogensyndrom, Knochenhautreizungen am Schienbein, Schleimbeutelentzündungen im Bereich des Kniegelenks, die Arthrose, die

Achillessehnenreizung und Ermüdungsbrüche, die z.B. am dritten Mittelfußknochen vorkommen, wie z.B. die „Marschfraktur“ bei Soldaten (Peterson & Renström 1987, S. 54). Überlastungsschäden treten vor allem bei den Ausdauersportarten auf, z.B. beim Langlauf ab einem Trainingsumfang von > 80 km pro Woche (Reuter 2005; Macera et al. 1989 und Walter, Hart, McIntosh & Sutton 1989, geben als kritische Größe 68 km pro Woche an), aber auch bei Sportarten, bei denen gleichartige Bewegungen ständig wiederholt werden (z.B. Tennis).

Eine positive Wirkung von Dehnungsübungen bei der Reduzierung der Überlastungsschäden wird erwartet, weil diese Strukturen ähnlich wie beim Aufwärmen kurzfristig auf die Belastung vorbereitet werden. Außerdem wurde angenommen, dass sich sowohl kurzfristig als auch langfristig die Ruhespannung von Muskeln durch Dehnungsübungen reduzieren und somit die Belastung für diese Strukturen verringern lässt. Da eine Reduzierung der Ruhespannung der Muskeln von 20% allerdings nur kurzfristig bewirkt wird (Klee 2003), Dehnungsübungen langfristig die Ruhespannung allerdings nicht verringern (Magnusson, Simonsen, Sorenson & Kjaer 1996; Wiemann 1994), ist diese Erwartung nur zum Teil berechtigt. Fraglich erscheint eine Verringerung der Überlastungsschäden von Bändern, Schleimbeuteln, Gelenken und Knochen aber auch, da diese Strukturen im Gegensatz zu den Muskeln und Sehnen bei Dehnungsübungen nur indirekt betroffen sind und da die Ursache von Überlastungsschäden in der Überlastung (eine zu hohe Summe von kleineren Einzelbelastungen und/oder durch zu kurze Regenerationsphasen) besteht.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Reduzierung von akuten Muskel- und Sehnenzerrungen durch Dehnungsübungen aufgrund der Wirkung von Dehnungsübungen und des Verletzungsmechanismus plausibel erscheint, während dies für akute Verletzungen und für Überlastungsschäden der Bänder, Schleimbeutel, Gelenke und Knochen weniger der Fall ist. Eine Konsequenz dieser Feststellung ist, dass bei Untersuchungen zur Wirkung des Dehnungstrainings als Verletzungsprophylaxe bei der Erhebung und Auswertung zwischen diesen Verletzungsarten getrennt werden muss.

3 Dehnungstraining und Verletzungsrisiko

Aus Tab. I ist zu entnehmen, welche Primärstudien von den vier Übersichtsarbeiten und Metaanalysen ausgewertet und welche Verletzungsarten erhoben wurden. Da bei Herbert und Gabriel (2002) nur zwei Primärstudien (Pope, Herbert & Kirwan 1998; Pope, Herbert, Kirwan & Graham 2000) berücksichtigt wurden, lässt sich hier schnell verdeutlichen, auf welchen Verletzungsarten diese Übersichtsarbeit basiert:

Bei Pope et al. (1998) wurden 1093 australische Rekruten während ihrer dreimonatigen Grundausbildung untersucht, von denen 549 vor den Belastungen 80 s ihre Wadenmuskeln dehnten, während die Kontrollgruppe nicht dehnte. Die Anzahl der Verletzungen unterschied sich kaum, 25 traten bei der Kontrollgruppe auf und 23 bei der Dehn-Gruppe. Betrachtet man die 48 Verletzungen genauer, so fällt auf, dass keine Muskelzerrungen auftraten, 90% der Verletzungen waren Verstauchungen des Fußgelenks und Ermüdungsbrüche des Wadenbeins und des

Tab. I: Primärstudien (3. Zeile) und deren Typisierung (1. und 2. Zeile) sowie die 4 Übersichtsarbeiten (1. Spalte) und die Angabe (X), welche Primärstudien jeweils analysiert wurden. Typ 1: Muskelzerrungen erhoben und ausgewertet. Typ 2: Muskelzerrungen und andere Verletzungen getrennt erhoben, aber nicht getrennt ausgewertet. Typ 3: Muskelzerrungen und andere Verletzungen nicht getrennt erhoben. Typ 4: Keine Muskelzerrungen erhoben, nur andere Verletzungen.

	experimentelle Studien						Befragungen					
	Typ 1	Typ 2	Typ 3		Typ 4		Typ 2			Typ 3	Typ 4	
	Cross et al. (1999)	Pope et al. (2000)	Bixler et al. (1992)	Hartig et al. (1999)	Andrish et al. (1974)	Pope et al. (1998)	Dirx et al. (1992)	Johannsen et al. (1993)	Mechelein (1993)	Macera et al. (1989)	Walter et al. (1989)	Wilber (1995)
Herbert & Gabriel (2002)		X				X						
Marschall & Ruckelshausen (2004)		X	X	X						X	X	
Wiemeyer (2002)		X					X	X	X		X	X
Thacker et al. (2004)	X	X	X	X	X	X						

Fußes, die restlichen 10 Prozent verteilten sich auf Knochenhautentzündungen (4%), Entzündungen der Achillessehne (2%) und das vordere Muskellogensyndrom (4%).

Auch bei der zweiten Untersuchung (Pope et al. 2000) lag die Anzahl der Verletzungen in der Dehn-Gruppe mit 158 nicht signifikant unter derjenigen in der Kontrollgruppe mit 175. Das Untersuchungsdesign war insofern etwas anders, als dass die Probanden der Dehn-Gruppe mehr Muskelgruppen dehnten (Wadenmuskeln, hintere Oberschenkelmuskeln, Quadrizeps, Adduktoren, Hüftbeuger) und auch insgesamt länger, nämlich 240 s. Außerdem wurden alle Verletzungen des gesamten Beines registriert.

Bei Pope et al. (2000) wurde bei der Auswertung der 333 aufgetretenen Verletzungen zwar unterschieden zwischen Knochenverletzungen (119) und Weichteilverletzungen (214), bei letzteren werden aber nur 35 Muskelzerrungen aufgeführt, der Rest verteilte sich auf 67 Verletzungen der Gelenke, 66 Verletzungen der Bänder, 37 Sehnenentzündungen, drei Meniskusverletzungen, zwei vordere Muskellogensyndrome und vier Schleimbeutelentzündungen. Bei beiden Untersuchungen wurden alle Verletzungen registriert, die dazu führten, dass die Rekruten drei Tage nicht symptomfrei ihre Pflichten übernehmen konnten.

Herbert und Gabriel gründen ihre somit Aussage, man müsse 23 Jahre dehnen, um eine Verletzung zu vermeiden (2002, S. 5), auf insgesamt 381 Verletzungen, von denen jedoch nur neun Prozent Muskelzerrungen waren. Dabei ist noch anzumerken, dass in der Untersuchung von Pope et al. (2000) in der Dehn-Gruppe mit 14 Muskelzerrungen sieben weniger auftraten als in der Kontrollgruppe. Diese Zahlen werden von den Autoren statistisch nicht ausgewertet.

Tab. II zeigt die 12 Primärstudien, die von den vier Übersichtsarbeiten berücksichtigt wurden, im Überblick, ergänzt durch eine neuere Arbeit (Dadebo et al. 2004).

Unterzieht man diese 13 Untersuchungen einer kritischen Betrachtung, so ist festzustellen, dass die diversen Verletzungsarten unterschiedlich in die Auswertung aufgenommen werden. Bei vier Untersuchungen (Dirx, Bouter & Geus 1992; Johannsen & Stallknecht 1993, Mechelen 1993, Pope et al. 2000) werden Muskelzerrungen und andere Verletzungen zwar getrennt erhoben, aber nicht getrennt ausgewertet. Bei vier weiteren Untersuchungen (Bixler und Jones 1992, Hartig und Henderson 1999, Macera et al. 1989, Walter et al. 1989) werden Muskelzerrungen und andere Verletzungen nicht getrennt registriert und in drei Untersuchungen (Andrish, Bergfeld & Walheim 1974, Pope et al. 1998, Wilber 1995) ausschließlich andere Verletzungen als Muskelzerrungen erfasst, so dass diese 11 Untersuchungen keine Aussagen über die Vermeidung von Muskelzerrungen durch Dehnen zulassen.

Die beiden letzten verbleibenden Untersuchungen sind diejenigen von Cross und Worrell (1999) und von Dadebo et al. (2004). Letztere hatten über Fragebogen ermittelt, wie die Spieler von 30 englischen Mannschaften der ersten drei Fußballligen dehnen und welche Muskelverletzungen, insbesondere Verletzungen der hinteren Oberschenkelmuskeln auftreten. Sie fokussierten demnach im Gegensatz zu den anderen Untersuchungen erstens auf eine Muskelgruppe, die besonders anfällig für Zerrungen ist, und zweitens auf eine Belastung, die besonders häufig zu Zerrungen führt (maximale Sprints). Die Autoren können in ihrer multifaktoriellen Auswertung die aufgetretenen 158 Verletzungen der hinteren Oberschenkelmuskeln zu einem erstaunlich hohem Prozentsatz von 79% durch die drei Faktoren „Haltezeit beim Dehnen“ (29%), „Verwendung eines Standard-Stretching-Protokolls“ (40%) und „angewendete Dehnmethode“ (10%) erklären, d.h. Spieler, die (1.) ein standardisiertes Dehnprogramm benutzten, (2.) die Dehnung 15-30 s hielten und (3.) statisches Dehnen oder eine PNF-Methode einsetzten, verletzten sich signifikant weniger. Auch die Ergebnisse dieser Studie sind jedoch aufgrund der Kritikpunkte, die es bei allen Befragungen gibt (Zuverlässigkeit der Informationen), zu relativieren.

Cross und Worrell (1999) hatten die Verletzungen von 193 Footballspielern über zwei Spielzeiten verfolgt. In der zweiten Saison dehnten die Sportler im Gegensatz zur ersten Saison vor jedem Sprinttraining die hinteren und vorderen Oberschenkelmuskeln, die Adduktoren und die Wadenmuskulatur. Die Anzahl der Verletzungen unterschied sich in den beiden Spielzeiten nicht (Erste Saison: 155, zweite Saison: 153), die Zahl der Muskel- und Sehnenzerrungen war mit 21 in der zweiten Saison hingegen signifikant geringer als in der ersten Saison (43). Dies zeigt, dass sich bei den Zerrungen durchaus ein signifikanter Unterschied zeigen kann, auch wenn sich dies bei dem Vergleich der Zahlen aller Verletzungen nicht offenbart. Beide Untersuchungen deuten also eher darauf hin, dass sich Zerrungen durch Dehnungstraining reduzieren lassen. Bei beiden Untersuchungen ist allerdings nicht zu klären, ob die positive Wirkung des Dehnens den kurz- oder den langfristigen Effekten zugeschrieben werden muss (vgl. Kap. 4).

Die kritische Betrachtung der Originalarbeiten soll durch einige Bemerkungen abgeschlossen werden.

Tab. II: Primärstudien zur Frage „Dehnungstraining und Verletzungsrisiko“

Studie	Probanden, Kontrollgruppe (KG)	Studiendesign, Intervention	Ergebnisse (Verletzungen, statistische Signifikanz), Bemerkungen
ANDRISH et al. (1974)	1324 Rekruten KG: 1453 Rekruten	Vier verschiedene Treatments: 1. Fersendämpfung 2. 3 x tägl. 3 min Dehnen der Wadenmuskeln 3. 1. und 2. Treatment 4. 2 Wochen vorbereitendes Laufen, Sommertraining, 2 Jahre	97 Knochenhautreizungen am Schienbein Keine Unterschiede zwischen den Gruppen Bem.: keine Muskelzerrungen
BIXLER & JONES (1992)	3 High-school Football-Mannschaften: 28 Spiele mit Intervention KG: 2 High-school Football-Mannschaften: 24 Spiele ohne Intervention	Aufwärmen (1,5 min) und Dehnen (1,5 min) in Halbzeit, eine Saison	108 Verletzungen, davon 38 (35%) Zerrungen und Bänderrisse Bei Dehngruppe mit einer Zerrung/Bänderriss signifikant weniger nach Treatment als bei KG (13); Bem.: 1) Zwischen den Wirkungen des Aufwärmens und des Dehnens kann nicht unterschieden werden, 2) Zerrungen und Bänderrisse werden nicht getrennt erhoben
Cross & WORRELL (1999)	195 College Football-Spieler	1. Saison ohne Dehnen, 2. Saison mit 6 min Dehnen der Beinmuskeln	1. Saison: 155 Verletzungen, 43 (27,7%) Muskelsehnenzerrungen 2. Saison: 153 Verletzungen, 21 (13,7%) Muskelsehnenzerrungen Unterschied (- 48,8%) bei Muskelsehnenzerrungen signifikant
DADEBO et al. (2004)	30 Fußballmannschaften	Befragung Eine Saison	1435 Verletzungen, 479 (33%) Zerrungen, davon 158 (11%) bei hinteren Oberschenkelmuskeln; Prädiktoren bei multipler Regression ($R^2 = 0,79$): 1. Verwendung eines Standard-Dehnprogramms (40%), 2. Haltezeit (29%), 3. Dehnmethode (10 %, statisches Dehnen oder PNF)
DIRX et al. (1992)	130 verletzte Handballspieler, KG: 512 unverletzte Handballspieler, (35% ♂, 65 ♀)	Befragung	33 (25%) der 130 Verletzungen sind Muskelzerrungen ; der Einfluss des Dehnens ist nicht signifikant; Alter erhöht Risiko zu Verletzungen; Bem.: Zerrungen werden nicht getrennt ausgewertet
HARTIG & HENDERSON (1999)	150 Rekruten KG: 148 Rekruten	Dehngruppe und KG dehnten vor Belastung, Dehngruppe zusätzlich 3mal täglich, 13 Wochen	Bei Dehngruppe mit 25 Überlastungsschäden signifikant weniger als bei KG (43) Dehngruppe verbesserte BRW um 7°, KG: 3°; Bem.: Muskelzerrungen und andere Verletzungen nicht getrennt erhoben

Studie	Probanden, Kontrollgruppe (KG)	Studiendesign, Intervention	Ergebnisse (Verletzungen, statistische Signifikanz), Bemerkungen
JOHANNSEN & STALLKNECHT (1993)	23 Orientierungsläufer (12 ♂, 11 ♀)	Befragung; Training, Verletzungen, Infektionen und Dehnen wurden über 3 Jahre registriert	219 Verletzungen und Infektionen, 55 akute Verletzungen, davon 5 Zerrungen ; bei Frauen korrelieren Dehnen und akute Verletzungen signifikant positiv; Bem.: Autoren vermuten, dass verletzte Frauen mehr dehnen und nicht intensiveres Dehnen zu Verletzungen führt, Bem.: Zerrungen werden nicht getrennt ausgewertet
MACERA et al. (1989)	583 Läufer (485 ♂, 98 ♀); 52% dehnten vorm Laufen	Befragung Ein Jahr	300 Verletzungen am Bein, die durch das Laufen verursacht wurden; kein Zusammenhang zum Dehnen; Prädiktoren sind: hoher Trainingsumfang, frühere Verletzungen; Bem.: Muskelzerrungen und andere Verletzungen nicht getrennt erhoben
MECHELEN (1993)	159 Läufer KG: 167 Läufer	Befragung; Die 159 Läufer wurden informiert über richtiges Aufwärmen und Dehnen (10 min, 4 Muskelgr.), danach wurde 16 Wochen ein Tagebuch geführt.	49 Verletzungen, 26 in Interventions-Gruppe, 23 in KG, kein Unterschied zwischen den Gruppen, 16 (33%) der 49 Verletzungen sind Zerrungen , Bem.: 1) Die Kontrollgruppe dehnte auch im vergleichbarem Umfang, 2) Zerrungen werden nicht getrennt ausgewertet
POPE et al. (1998)	549 Rekruten KG: 544 Rekruten	11 Wochen, 2mal 20 s Dehnung für Schollenmuskel und Zwillingswadenmuskel; KG dehnte Armmuskeln	48 Verletzungen, 23 in Dehn-Gruppe, 25 in KG, keine Muskelzerrungen , 43 (90%) Verstauchungen und Brüche
POPE et al. (2000)	735 Rekruten KG: 803 Rekruten	11 Wochen, jeweils 1mal 20 s für 6 Beinmuskeln, Erhebung bei allen Vpn: Größe, Gewicht, Alter, 20m Sprintzeit	333 Verletzungen, 158 in Dehn-Gruppe, 175 in KG, 214 Weichteilverletzungen, 94 in Dehn-Gruppe, 120 in KG, Unterschiede nicht signifikant, 35 (10,5%) Zerrungen ; 14 in Dehn-Gruppe, 21 in KG; Bem.: Zerrungen werden nicht getrennt ausgewertet , Prädiktoren für Verletzungen: 20m-Zeit, Alter, Jahreszeit; schlechte Fitness (schlechte 20m-Zeit) stärkster Prädiktor
WALTER et al. (1989)	1288 Läufer (985 ♂, 303 ♀), KG: 50% dehnten vorm Laufen	Befragung Ein Jahr	333 Verletzungen; Läufer, die manchmal dehnen, haben ein höheres Verletzungsrisiko als Läufer, die nie oder regelmäßig dehnen; Prädiktoren: Trainingsumfang, frühere Verletzung; Bem.: Muskelzerrungen und andere Verletzungen nicht getrennt erhoben
WILBER (1995)	518 Fahrradfahrer (294 ♂, 224 ♀)	Befragung Ein Jahr	440 Fahrradfahrer hatten einen oder mehrere Überlastungsschäden, 127 akute Verletzungen (Fahrradunfälle); Frauen, die 2 Minuten dehnen, haben weniger Überlastungsschäden der Leiste und des Gesäßes als Frauen, die eine Minute dehnen; Bem.: keine Muskelzerrungen

In den vorliegenden Untersuchungen wurde fast ausschließlich die Wirkung des statischen Dehnens untersucht, Untersuchungen zur Wirkung des dynamischen Dehnens fehlen.

Die Ausprägung der Dehnprogramme wird in einigen Untersuchungen nicht standardisiert (Dabedo et al. 2004; Macera et al. 1989; Walter et al. 1989) und ist in den Untersuchungen mit standardisierten Dehnprogrammen sehr unterschiedlich (Bixler & Jones 1992: 90 s; Cross & Worrell 1999: 180 s; Hartig & Henderson 1999: 600 s; Pope et al. 1998: 80 s; Pope et al. 2000: 240 s). Damit hatten sie mit Ausnahme der Untersuchung von Hartig und Henderson (1999) vermutlich wegen des geringen Umfangs kein langfristigen Effekte, auszuschließen ist dies jedoch nicht. Fraglich ist zudem, ob die Dehnprogramme tatsächlich unmittelbar vor der Belastung durchgeführt wurden.

Die Belastungen, die den jeweiligen Dehnprogrammen folgten und bei denen Verletzungen vermieden werden sollten, waren sehr unterschiedlich (Langlauf: Macera et al. 1989; Walter et al. 1989; Militärausbildung: Pope et al. 1998; 2000; Hartig & Henderson 1999; Football: Bixler & Jones 1992; Cross & Worrell 1999; Fußball: Dabedo et al. 2004). Witvrouw et al. (2004) begründen die widersprüchlichen Ergebnisse vor allem mit der Unterschiedlichkeit der Sportarten, bei denen das Dehnen zur Verletzungsprophylaxe eingesetzt wird.

Eine weitere Frage ist, zu welchem Zeitpunkt im Verlauf der Belastung die akuten Muskel- und Sehnenzerrungen auftreten. So ist es wahrscheinlicher, dass Dehnen kurzfristig solche Verletzungen vermeiden kann, die sich sonst am Anfang einer Belastung ereignet hätten, als Verletzungen, die gegen Ende der Belastung vorkommen, zu einem Zeitpunkt also, an dem die Ermüdung als Verletzungsursache an Bedeutung gewinnt. Auch hier wird in den vorliegenden Untersuchungen nicht differenziert.

4 Kurz- und langfristige Effekte bei der Verletzungsprophylaxe

Beim Untersuchungsschwerpunkt der Verletzungsprophylaxe müssen wie auch bei den anderen Effekten eines Dehnungstrainings sowohl bei den Dehnmaßnahmen wie auch bei den Dehneffekten zwei zeitliche Dimensionen unterschieden werden (Wiemann 1994):

1) Kurzzeitdehnen, d.h. 10 – 20 min dauernde Dehnprogramme, wie man sie innerhalb eines Aufwärmprogramms durchführt, die kurzfristige Effekte (Aufwärmeffekte) bewirken, die nach wenigen Minuten nachlassen und nach einer Stunde wieder abgeklungen sind.

2) Langzeitdehnen, d.h. über mehrere Wochen regelmäßig (täglich oder zumindest alle drei Tage) durchgeführte kurzzeitige Dehnprogramme, die zu Trainingsanpassungen führen, die über Wochen und Monate Bestand haben (langfristige Effekte, Wachstumsprozesse).

Sowohl vom Kurzzeitdehnen als auch beim Langzeitdehnen wird eine Minderung der Verletzungsrate erwartet (Witvrouw et al. 2004). Von den Untersuchungen, die in Tab. II zusammengefasst sind, prüften bis auf Andrich et al. (1974) und Hartig und Henderson (1999) alle die Effekte eines Kurzzeitdehnens. Hartig und Henderson hatten zwei Gruppen von Rekruten im Verlauf ihrer 13-wöchigen

Grundausbildung miteinander verglichen. Während die erste Gruppe von 148 Rekruten nur ihre normalen Dehnungsübungen vor dem körperlichen Training absolvierten, führten die 150 Rekruten der Dehngruppe zusätzlich täglich vor dem Mittag- und Abendessen und vor dem Zubettgehen fünf 30-sekündige statische Dehnungen der hinteren Oberschenkelmuskeln durch. In der Kontrollgruppe traten mit 43 Fällen signifikant mehr Verletzungen auf als in der Dehngruppe mit 25 Fällen. Da auch in dieser Untersuchung nicht zwischen den verschiedenen Verletzungsarten unterschieden wird, lässt sie keine Aussagen über die Reduzierung von Muskelzerrungen zu.

Wie in Kap. 3 dargestellt wurde, lässt sich bei den beiden Untersuchungen von Cross und Worrell (1999) und von Dadebo et al. (2004) nicht eindeutig klären, ob die positive Wirkung des Dehnens auf die Verletzungsrate den kurz- oder den langfristigen Effekten zugeschrieben werden muss, da die Untersuchungsdesigns keine klare Trennung zulassen. Hätte man ausschließlich kurzfristige Effekte untersuchen wollen, dann hätten entweder immer wieder verschiedene Probanden untersucht werden müssen, oder es hätten längere Pausen (mehrere Wochen) zwischen den Dehnprogrammen eingelegt werden müssen, so dass keine langfristigen Effekte hätten auftreten können. Solche Untersuchungen liegen nicht vor, denn in diesen beiden und auch in den anderen Untersuchungen (vgl. Tab. II) wurde über einen längeren Zeitraum regelmäßig gedehnt, so dass nicht auszuschließen ist, dass mit zunehmendem Untersuchungszeitraum die Beteiligung langfristiger Effekte zugenommen hat und die Ergebnisse somit in beiderlei Hinsicht (kurzfristige und langfristige Effekte) hätten diskutiert werden müssen.

Will man hingegen ausschließlich langfristige Effekte untersuchen, muss das Dehnen in einer eigenen Trainingseinheit absolviert werden, d.h. nicht direkt vor derjenigen Belastung, bei der Verletzungen ausgelöst werden können. Wird keine Pause zwischen dem Dehnen und der Belastung eingelegt, in der die kurzfristigen Effekte abklingen können, so lassen sich die kurzfristigen Effekte nicht von den langfristigen trennen. Somit würden sich auch bei der Untersuchung von Hartig und Henderson (1999) die beiden Effekte nicht trennen lassen, da außer den drei täglichen Dehnprogrammen (Langzeitdehnen), die nicht vor der Belastung stattfanden, ein Dehnprogramm unmittelbar vor der Belastung durchgeführt wurde (Kurzzeitdehnen). Da das Dehnprogramm vor der Belastung aber auch von der Kontrollgruppe durchgeführt wurde, ist die Reduzierung der Überlastungsschäden dem Langzeitdehnen zuzuschreiben.

Wenn Kurzzeit- und Langzeitdehnen gleiche Effekte haben (Abnahme der Verletzungsgefahr), besitzen die eingesetzten Untersuchungsdesigns lediglich den Nachteil, dass man die Effekte nicht trennen kann. Da aber grundsätzlich auch gegensätzliche Effekte denkbar sind (ein intensives Kurzzeitdehnen könnte z.B. kurzfristig zu einer Zunahme des Verletzungsrisikos führen, Wiemann & Klee 2000), müssen diese Fragestellungen forschungsmethodisch deutlicher getrennt werden.

5 Beweglichkeit und Verletzungsrisiko

Marschall und Ruckelshausen (2004) trennen in ihrer Metaanalyse zwischen den Auswerteschwerpunkten „Dehnen und Verletzungsrisiko“ und

„Beweglichkeit und Verletzungsrisiko“ und den Ausführungen ist zu entnehmen, dass sie mit dem ersten die kurzfristigen Effekte eines Dehnens prüfen wollen und mit dem zweiten Rückschlüsse auf langfristige Effekte gezogen werden sollen.

Marschall und Ruckelshausen (2004) ziehen bei dem zweiten Auswerteschwerpunkt neun Untersuchungen heran, bei denen die Beweglichkeit gemessen und mit der Verletzungsrate korreliert wurde. Die ausgewerteten Untersuchungen prüften somit nicht die Wirkung eines langfristigen regelmäßigen Beweglichkeitstrainings, sondern den Zusammenhang zwischen dem vorhandenen Zustand der Beweglichkeit (z.T. Bänderschwäche z.B. an den Fingern und am Ellenbogen bei Diaz, Estevez & Guijo 1993; Grana & Moretz 1978; Krivickas & Feinberg 1996) und der Verletzungsrate.

So erscheint es z.B. überinterpretiert, wenn man aus der Untersuchung von Giladi et al. (1987) Schlüsse auf die Wirkung eines Dehnungstrainings bei der Verletzungsprophylaxe ziehen will. Giladi et al. hatten einen Zusammenhang nachgewiesen zwischen der überdurchschnittlichen Fähigkeit zur Außenrotation im Hüftgelenk (die nicht Folge eines Dehnungstrainings, sondern eher genetisch bedingt ist) und dem Auftreten von Verletzungen, bei denen man nur bei einer erweiterten Betrachtungsweise annehmen kann, dass diese durch ein Dehnungstraining vermieden werden können (Ermüdungsbrüche).

Marschall und Ruckelshausen (2004) kommen in ihrer Auswertung zu folgendem Ergebnis. Sie fanden vier Untersuchungen, die zeigten, dass das Verletzungsrisiko durch eine geringe Beweglichkeit erhöht wird (Ekstrand & Gillquist 1983; Hartig & Henderson 1999; Jones et al. 1993; Krivickas & Feinberg 1996), drei Untersuchungen mit dem Ergebnis, dass eine hohe Beweglichkeit das Verletzungsrisiko erhöht (Diaz et al. 1993; Giladi et al. 1987; Jones et al. 1993), und vier Untersuchungen, die keinen Zusammenhang zwischen der Beweglichkeit und dem Verletzungsrisiko feststellten (Ekstrand & Gillquist 1983; Grana & Moretz 1978; Knapik, Bauman, Jones, Harris & Vaughan 1991; Wiesler, Hunter, Martin, Curl & Hoen 1996).

Wie schon bei den Untersuchungen zur Wirkung des Dehnungstrainings (Kap. 3) so werden auch bei diesen Untersuchungen die verschiedenen Verletzungsarten nicht differenziert erhoben und/oder ausgewertet (vgl. Tab. III).

Solche Untersuchungen beinhalten immer auch das Problem der Scheinkorrelation, d.h., stellt man einen Zusammenhang fest zwischen z.B. einer gering ausgeprägten Beweglichkeit und dem Verletzungsrisiko, so lässt dies nicht auf einen kausalen Zusammenhang schließen, sondern beide Variablen können durch eine andere Variable (allgemeiner Trainingszustand) beeinflusst sein - dies merken z.B. Pope et al. an (1998, S. 171). Umgekehrt kann auch sein, dass in Fällen, in denen sich kein Zusammenhang nachweisen lässt, dies auf Suppressorvariablen zurückzuführen ist. Dieses Problem lässt sich nur lösen, wenn möglichst viele potenzielle Einflussfaktoren erhoben und im Rahmen einer multifaktoriellen Auswertung berücksichtigt werden. So weisen etwa Pope et al. (2000) den Zusammenhang zwischen der Verletzungsrate einerseits und der 20m-Sprintzeit, dem Alter und der Jahreszeit andererseits nach.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass die Untersuchungen, die den Zusammenhang zwischen der Beweglichkeit und dem Verletzungsrisiko untersuchen, kaum Rückschlüsse auf die Wirkung des Dehnungstrainings als

Tab. III: Primärstudien zur Frage „Beweglichkeit und Verletzungsrisiko“

Studie	Probanden	Studiendesign, Messparameter	Ergebnisse (Verletzungen, statistische Signifikanz), Bemerkungen
DIAZ et al. (1993)	675 Soldaten	2 Monate; Gelenkbeweglichkeit (5. Finger, Daumen, Ellenbogen, Knie, Rumpfbeuge)	85 Verletzungen, 29 (34%) Zerrungen , bei überbeweglichen Vpn signifikant mehr Gelenkverletzungen, bei Zerrungen umgekehrter Trend, aber nicht signifikant; Bem.: Messung nicht in Grad, sondern dichotomisiert (Kriterium erfüllt oder nicht)
EKSTRAND & GILLQUIST (1983)	180 Fußballer	Ein Jahr; Kraft und Bewegungsreichweite (Adduktoren, hintere und vordere Oberschenkelmuskeln, Wadenmuskeln)	256 Verletzungen, 44 (17%) Zerrungen und Sehnenentzündungen ; Vpn mit normaler Beweglichkeit haben signifikant weniger Zerrungen und Sehnenentzündungen als der Rest (10 ⇔ 34), die 13 Vpn mit Zerrungen und Sehnenentzündungen der Adduktoren hatten signifikant geringere Bewegungsreichweite als der Rest, bei den 13 Vpn mit Zerrungen der hinteren Oberschenkelmuskeln kein entsprechender Unterschied
GILADI et al. (1987)	295 Rekruten	14 Wochen, Bewegungsreichweite bei Innen- und Außenrotation der Hüfte und am Fußgelenk	184 Ermüdungsbrüche; Außenrotation der Hüfte größer 65° ist Prädiktor für Ermüdungsbrüche, Bem.: keine Muskelzerrungen
GRANA & MORETZ (1978)	672 Schüler (365 ♂, 307 ♀): 282 Sportler (Football, Basketball), 390 Nichtsportler	2 Spielzeiten, Bänderschwäche: Bewegungsreichweite bei Rotation der Arme und Beine, Überstreckung Kniegelenke, Rumpfbeuge)	106 Verletzungen, 24 (23%) Zerrungen , kein Unterschied zwischen verletzten und unverletzten Probanden bzgl. der Bewegungsreichweite; Bem.: 1) schlechte Darstellung der Methoden (Erhebung der Verletzung) 2) Messung nicht in Grad, sondern dichotomisiert (Kriterium erfüllt oder nicht)
HARTIG & HENDERSON (1999)	298 Rekruten	13 Wochen Passiver Kniestrecktest	68 Überlastungsschäden; beide extremen Ausprägungen der Beweglichkeit haben eine höhere Verletzungsrate zur Folge; ob dieses Ergebnis signifikant ist, ist dem Text nicht zu entnehmen, vermutlich aber nicht (es wird keine Irrtumswahrscheinlichkeit angegeben), Bem.: Muskelzerrungen und andere Verletzungen nicht getrennt erhoben

Studie	Probanden	Studiendesign, Messparameter	Ergebnisse (Verletzungen, statistische Signifikanz), Bemerkungen
JONES et al. (1993)	303 Rekruten	12 Wochen, Befragung (Alter, körperliche Aktivität) Sit-and-reach, Muskelkraft, 2-Meilenlauf	112 Verletzungen, 10 (8,6%) Zerrungen , beide extremen Ausprägungen der Beweglichkeit haben eine höhere Verletzungsrate zur Folge, Bem.: Zerrungen werden nicht getrennt ausgewertet ; Prädiktoren für Verletzungen: höheres Alter, Rauchen von mehr als 10 Zigaretten täglich, geringe körperliche Aktivität und geringe berufliche Beanspruchung
KNAPIK et al. (1991)	138 College-Sportlerinnen (Fußball, Volleyball, Hockey, Tennis, Fechten, Basketball, Squash)	3 Jahre, Bewegungsreichweite (Beinbeuger, -strecker, Adduktoren, Waden) und Kraft (Beinbeuger, -strecker)	55 Verletzungen, 15 (29%) Zerrungen , Bei Auswertung werden Quotienten berechnet (rechte Seite / linke Seite, Beuger / Strecker), mehr Verletzungen bei: rechter Beinstrecker 15% stärker als linker; rechte Hüftstrecker 15% beweglicher als linke; Bem.: Zerrungen werden nicht getrennt ausgewertet
KRIVICKAS & FEINBERG (1996)	201 College-Sportler (Football, Baseball, Basketball, Fußball, Volleyball)	Ein Jahr, Gelenkbeweglichkeit (5. Finger, Daumen, Ellenbogen, Knie, Rumpfbeuge), Dehnfähigkeit (Beinbeuger, Hüftbeuger)	115 Verletzungen, 42 (37%) Zerrungen , bei Frauen kein Zusammenhang zwischen Verletzungen und Gelenkbeweglichkeit (= Bänderschwäche), Dehnfähigkeit, bei Männern führt gute Dehnfähigkeit und hohe Gelenkbeweglichkeit zu weniger Verletzungen, Bem.: Zerrungen werden nicht getrennt ausgewertet
POPE et al. (1998)	1093 Rekruten	11 Wochen, Bewegungsreichweite des Fußgelenks	48 Verletzungen, keine Muskelzerrungen , 43 (90%) Verstauchungen und Brüche; eine geringe Bewegungsreichweite des Fußgelenks bringt ein höheres Verletzungsrisiko vor allem zum Bänderriss im Fußgelenk mit sich
WIESLER et al. (1996)	148 Tanzstudenten (29 ♂, 119 ♀)	Neun Monate, 7 Tests zur Bewegungsreichweite im Fußgelenk (Innen-, Außenrotation, Beugung, Streckung)	177 Verletzungen, 23 (13%) Zerrungen , kein Zusammenhang zwischen Bewegungsreichweite und Verletzungen, Prädiktoren für Verletzungen: Vorverletzungen, Bem.: Zerrungen werden nicht getrennt ausgewertet

Verletzungsprophylaxe zulassen, denn in diesen Untersuchungen wurde kein Dehnungstraining durchgeführt, es wurde kaum zwischen den verschiedenen Verletzungsarten unterschieden und bei der statistischen Auswertung wurden nur selten multifaktorielle Verfahren eingesetzt.

Das Ziel solcher Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen der Ausprägung der Beweglichkeit und der Verletzungsrate kann auch nur darin bestehen, Empfehlungen für ein Langzeitdehnen zu formulieren. Sollten sich die Zusammenhänge zwischen einer unter- und überdurchschnittlichen Beweglichkeit und der Verletzungsrate erhärten, so sollte man der ersten Gruppe ein Langzeitdehnen empfehlen, der zweiten Gruppe hingegen davon abraten. Jones et al. (1993) nehmen an, dass eine unterdurchschnittliche Beweglichkeit infolge wenig dehnfähiger Muskeln ein größeres Risiko für Zerrungen mit sich bringt, während eine Hypermobilität in Form einer Bänderschwäche Ursache für Luxationen und Bänderrisse sein kann. Da den beiden Untersuchungen von Cross & Worrell (1999) und Dabedo et al. (2004) zufolge Kurzzeitdehnen Zerrungen reduziert, wäre beiden Gruppen ein Kurzzeitdehnen zu empfehlen.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Es hat sich gezeigt, dass bei der Beurteilung der Frage, ob ein Dehnungstraining Verletzungen vermeiden kann, ausschlaggebend ist, welche Aussagefähigkeit man den einzelnen Untersuchungen zubilligt. Ein entscheidender Filter ist, von welchen Verletzungen man glaubt, dass diese durch Dehnungstraining vermieden werden können. Hält man dies vor allem für Muskelzerrungen und -faserrisse für möglich und weniger für Verletzungen und Überlastungsschäden anderer Strukturen (Bänder, Schleimbeutel, Gelenke, Knochen), verlieren eine ganze Reihe von Metaanalysen ihre Bedeutung, auch solche, die in wissenschaftlichen und nichtwissenschaftlichen Veröffentlichungen viel Resonanz hatten, wie z.B. diejenige von Herbert & Gabriel (2002). Bei allen Untersuchungsergebnissen ist zudem immer wichtig mit zu nennen, ob es sich um kurz- oder langfristige Effekte des Dehnens handelt. Auf Probleme bei der Trennung dieser Effekte wurde hingewiesen. Untersuchungen, bei denen die Effekte ausschließlich einem Langzeitdehnen zugerechnet werden können, fehlen aufgrund der Tatsache, dass in den vorliegenden Untersuchungen das Dehnungstraining nicht in einer gesonderten Trainingseinheit, sondern direkt vor der Belastung absolviert wurde.

Ein weiterer Filter ist die Frage, ob Untersuchungen zum Zusammenhang zwischen der Beweglichkeit und dem Verletzungsrisiko, also Untersuchungen, in denen kein Dehnungstraining durchgeführt wurde, zur Beurteilung herangezogen werden können. Diese lassen allenfalls Trainingsempfehlungen für ein Langzeitdehnen zu, nicht aber für ein Kurzzeitdehnen. Zu fordern sind bei dieser Fragestellung vor allem Untersuchungen mit einer multifaktoriellen Datenerhebung und -auswertung.

Wie sich gezeigt hat, ist es zu früh zu resümieren, Dehnen hätte keine Bedeutung bei der Vorbeugung von Verletzungen, es sei denn man betont bei dieser Aussage ausdrücklich, dass mit Verletzungen vor allem solche von Knochen, Gelenken, Bändern, Sehnen und Schleimbeuteln gemeint sind und nicht

Muskelzerrungen. Für Zerrungen liegen keine Untersuchungen vor, die eine Aussage mit einer solchen Tragweite rechtfertigen könnten. Zwei Untersuchungen (Cross & Worrell 1999; Dabedo et al. 2004) zeigen eher, dass Zerrungen durch Dehnungstraining reduziert werden können. Auch hier ist nicht zu entscheiden, ob dies den kurz- oder den langfristigen Effekten zuzuschreiben ist.

Welche Perspektiven eröffnen sich für diesen Forschungszweig? Hier sind zunächst einmal die tierexperimentellen Studien zu nennen, bei denen es allerdings wie bei den Untersuchungen am Menschen zurzeit Untersuchungen gibt, die einen positiven Einfluss des Dehnens bei der Verletzungsprophylaxe vermuten lassen (Koh, Peterson, Pizza & Brooks 2003; Pizza, Koh, McGregor & Brooks 2002), als auch gegenteilige Ergebnisse (Black & Stevens 2001; Black, Freeman & Stevens 2002). Es ist zu hoffen, dass dieser Forschungszweig in den nächsten Jahren weitere Ergebnisse liefert. Vielleicht gibt es Schwellenwerte, die bei Black und Stevens (2001) und bei Black et al. (2002) nicht erreicht wurden und die es erst noch auszutariieren gilt. Dazu ist allerdings anzumerken, dass bei der Übertragung der Ergebnisse von Untersuchungen zum Langzeitdehnen auf den Menschen die unterschiedlichen Eiweißsyntheseraten von Tieren und Menschen bedacht werden müssen (Klee 2003, S. 77).

Außerdem könnten Untersuchungsdesigns, in denen ein Bein mit einem Dehnungstraining behandelt wird und das kontralaterale als Kontrolle dient, helfen, Störvariablen auszuschließen. Ein solches Versuchsdesign ist bei den tierexperimentellen Studien sehr verbreitet und wird auch bei Untersuchungen zum Dehnungstraining am Menschen bereits eingesetzt.

Literatur

- ANDRISH, J.T., BERGFELD, T.A. & WALHEIM, J. (1974). A prospective study on the management of shin splits. *J. Bone. Joint. Surg.*, 56-A, 1697-1700.
- BIXLER, B. & JONES, R.L. (1992). High-school football injuries: effects of a post-halftime warm-up and stretching routine. *Fam Pract Res J.*, 12 (2), 131-139.
- BLACK, J.D. & STEVENS, E.D. (2001). Passive stretching does not protect against acute contraction-induced injury in mouse EDL muscle. *J Muscle Res Cell Motil.*, 22 (4), 301-310.
- BLACK, J.D., FREEMAN, M. & STEVENS, E.D. (2002). A 2 week routine stretching programme did not prevent contraction-induced injury in mouse muscle. *J Physiol.* 544 (Pt 1), 137-147.
- CROSS, K.M. & WORRELL, T.W. (1999). Effects of a static stretching program on the incidence of lower extremity musculotendinous strains. *J. Athl. Train.*, 34, 11-14.
- DADEBO, B., WHITE, J. & GEORGE, K.P. (2004). A survey of flexibility training protocols and hamstring strains in professional football clubs in England. *Br J Sports Med.*, 38 (4), 388-394.
- DIAZ, M.A., ESTEVEZ, E.C., & GUIJO, P.S. (1993). Joint hyperlaxity and musculo-ligamentous lesions: study of a Population of homogeneous age, sex, and physical education. *British journal of Rheumatology*, 32, 120-122.
- DIRX, M., BOUTER, L.M., GEUS, de, G.H. (1992). Aetiology of handball injuries. *Br J Sports Med.*, 26 (3), 121-124.

- EKSTRAND, J. & GILLQUIST, J. (1983). The avoidability of soccer injuries. *Int J Sports Med.*, 4 (2), 124-128.
- ENGELHARDT, M., KRÜGER-FARNKE, M., PIEPER, H.-G. & SIEBERT, Ch.H. (2005). *Sportverletzungen – Sportschäden*. Stuttgart: Thieme.
- GARRETT W.E. (1996). Muscle strain injuries. *Am J Sports Med.*, 24 (6), 2-8.
- GILADI, M., MILGROM, C., STEIN, M., KASHTAN, H., MARGULIES, J., CHISIN, R. et al. (1987). External rotation of the hip. *Clinical Orthopaedics and Related Research*, 216, 131-134.
- GRANA, W.A. & MORETZ, J.A. (1978). Ligamentous laxity in secondary school athletes. *JAMA*, 240, 1975-1976.
- HARTIG, D.E. & HENDERSON, J.M. (1999). Increasing hamstring flexibility decreases lower extremity overuse injuries in military basic trainees. *Am J Sports Med.*, 27 (2), 173-176.
- HERBERT, R.D. & GABRIEL, M. (2002). Effects of stretching before and after exercising on muscle soreness and risk of injury. systematic review. *BMJ*, 325, 1-5.
- JOHANNSEN, F. & STALLKNECHT, B. (1993). Training, injuries and infections among elite orienteers. *Scan J Med Sci Sports*, 3, 273-278.
- JONES, B.H., COWAN, D.N., TOMLINSON, J.P., ROBINSON, J.R., POLLY, D.W. & FRYKMAN, P.N. (1993). Epidemiology of injuries associated with physical training among young men in the army. *Med Sci Sports Exerc.*, 25 (2), 197-203.
- KLEE, A. (2003). *Methoden und Wirkungen des Dehnungstrainings. Die Ruhespannungs-Dehnungskurve - ihre Erhebung beim M. rectus femoris und ihre Veränderung im Rahmen kurzfristiger Treatments*. Habilitationsschrift. Schorn-dorf: Hofmann.
- KNAPIK, J.J., BAUMAN, C.L., JONES, B.H., HARRIS, J.M. & VAUGHAN, L. (1991). Pre-season strength and flexibility imbalances associated with athletic injuries in female collegiate athletes. *Am J Sports Med.*, 19 (1), 76-81.
- KOH, T.J., PETERSON, J.M., PIZZA, F.X. & BROOKS, S.V. (2003). Passive stretches protect skeletal muscle of adult and old mice from lengthening contraction-induced injury. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.*, 58, 592-597.
- KRIVICKAS, L.S. & FEINBERG, J.H. (1996). Lower extremity injuries in college athletes: relation between ligamentous laxity and lower extremity muscle tightness. *Arch Phys Med Rehabil.*, 77, 1139-1143.
- MACERA, C.A., PATE, R.R., POWELL, K.E., JACKSON, K.L., KENDRICK, J.S. & CRAVEN, T.E. (1989). Predicting lower-extremity injuries among habitual runners. *Arch Intern Med.*, 149, 2565-2568.
- MAGNUSSON, S.P., SIMONSEN, E.B., SORENSON, H. & KJAER, M. (1996). A mechanism for altered flexibility in human skeletal muscle. *J. Physiol.*, 497, 291-298.
- MARSCHALL, F. & RUCKELSHAUSEN, B. (2004). Dient Dehnen der Verletzungsprophylaxe? Eine qualitative Metaanalyse. *Spectrum* 16 (1), 31-47.
- MECHELEN, W. van (1993). Prevention of running injuries by warm up. *Am J Sports Med.*, 21 (5), 711-719.
- PETERSON, L. & RENSTRÖM, P. (1987). *Verletzungen im Sport*. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag.
- PIZZA, F.X., KOH, T.J., MCGREGOR, S.J. & BROOKS, S.V. (2002). Muscle inflammatory cells after passive stretches, isometric contractions, and lengthening contractions. *J Appl Physiol.*, 92, 1873-1878.

- POPE, R.P., HERBERT, R.D. & KIRWAN, J.D. (1998). Effects of ankle dorsiflexion range and pre-exercise calf muscle stretching on injury risk in army recruits. *Australian J Physiother*, 44, 165-177.
- POPE, R.P., HERBERT, R.D., KIRWAN, J.D. & GRAHAM, B.J. (2000). A randomized trial of preexercise stretching for prevention of lower-limb injury. *Med Sci Sports Exerc.*, 32 (2), 271-277.
- REUTER, I. (2005). *Laufen*. In ENGELHARDT et al. (S. 105–114).
- THACKER, S.B., GILCHRIST, J., STROUP, D.F. & KIMSEY, C.D. Jr. (2004). The impact of stretching on sports injury risk: a systematic review of the literature. *Med Sci Sports Exerc.* 36, 371-378.
- WALTER, S.D., HART, L.E., MCINTOSH, J.M. & SUTTON, J.R. (1989). The Ontario cohort study of running-related injuries. *Arch Intern Med.*, 149, 2561-2564.
- WENTZ, S. (2005). *Leichtathletik (Schnellkraftdisziplinen)*. In ENGELHARDT et al. (S. 151–154).
- WIEMANN, K. (1994). Beeinflussung muskulärer Parameter durch unterschiedliche Dehnverfahren. In HOSTER, M. & H.-U. NEPPER (Hrsg.), *Dehnen und Mobilisieren*. (S. 40-71). Waldenburg: Sport Consult.
- WIEMANN, K. & KLEE, A. (2000). Die Bedeutung von Dehnungsübungen für die Aufwärmphase. *Leistungssport*, 30 (4), 5-9.
- WIEMEYER, J. (2002). Dehnen – eine sinnvolle Vorbereitungsmaßnahme. *Spectrum*, 14 (1), 53-80.
- WIESLER, E.R., HUNTER, D.M., MARTIN, D.F., CURL, W.W. & HOEN, H. (1996). Ankle flexibility and injury patterns in dancers. *Am J Sports Med.*, 24, 754-757.
- WILBER, C.A. (1995). An epidemiological analyse of overuse injuries among recreational cyclists. *Int J Sports Med.*, 16 (3), 201-206.
- WITVROUW, E., MAHIEU, N., DANNEELS, L. & MCNAIR, P. (2004). Stretching and injury prevention: an obscure relationship. *Sports Med.*, 34 (7), 443-449.