



Bachelorarbeit

Effekte des Dehnens auf die Muskelfunktion und die Verletzungsprophylaxe

(Was sind die Effekte des Dehnens vor dem Sport auf die Muskelfunktion und die Verletzungsprophylaxe?)



Erstellt von:
Jasmin Wullschleger
Widenospen 13
8913 Ottenbach

Betreuende Lehrperson:
Andrea Zimmermann

ZHAW
Departement G
Klasse PT06b

Matrikelnummer: S06-538-862

19.06.2009

INHALTSVERZEICHNIS

1.	ABSTRACT	1
2.	EINFÜHRUNG	2
	2.1.DEFINITION DEHNEN	4
3.	HAUPTTEIL.....	5
	3.1.PHYSIOLOGISCHER HINTERGRUND - WAS WIRD GEDEHNT?	5
	3.1.1. <i>Muskelanatomie.....</i>	<i>5</i>
	3.1.2. <i>Kraftgeneration und Kraftübertragung.....</i>	<i>6</i>
	3.1.3. <i>Kraft-Längen-Verhältnis.....</i>	<i>6</i>
	3.1.4. <i>Dehn-Verkürzungs-Zyklus.....</i>	<i>7</i>
	3.1.5. <i>Übertragung eines passiven Dehnzuges auf die Muskulatur.....</i>	<i>7</i>
	3.1.6. <i>Physikalisches Erklärungsmodel der Gewebeeigenschaften.....</i>	<i>9</i>
	3.1.7. <i>Reflexhemmung / Dehnreflex.....</i>	<i>9</i>
	3.2.MÖGLICHE LEISTUNGSVERMINDERNDE / -STEIGERENDE MECHANISMEN	10
	Mechanische Faktoren.....	10
	Neuromuskuläre Faktoren.....	11
	3.3.MÖGLICHE MECHANISMEN WELCHE DAS VERLETZUNGSRISIKO	12
	BEEINFLUSSEN	12
	3.4.STUDIENERGEBNISSE	14
	3.4.1. <i>Effekte auf die Muskelfunktion.....</i>	<i>14</i>
	Peak-Torque	15
	Schnellkraft	16
	Durchschnittliche Muskelleistung	17
	Sprunghöhe.....	17
	Balance, Reaktions- und Bewegungszeit.....	17
	3.4.2. <i>Effekte auf das Verletzungsrisiko</i>	<i>18</i>
	Keine definitive Schlussfolgerung möglich	18
	Keine signifikante Wirkung mit Tendenz zur Erhöhung des Verletzungsrisikos	19
	Keine signifikante Wirkung mit Tendenz zur Senkung des Verletzungsrisikos.....	20
4.	DISKUSSION.....	20
	4.1.DISKUSSION ZUR MUSKELFUNKTION	21
	Peak-Torque	21
	Schnellkraft	22
	Sprunghöhe.....	23
	Balance, Reaktions- und Bewegungszeit.....	24

4.2.DISKUSSION ZUR VERLETZUNGSPROPHYLAXE	26
5. SCHLUSSTEIL	27
5.1.SCHLUSSFOLGERUNG	27
6. VERZEICHNISSE	29
6.1.LITERATURVERZEICHNIS	29
6.2.INTERNETQUELLEN	30
6.3.ABBILDUNGSVERZEICHNIS	31
7. EIGENSTÄNDIGKEITSERKLÄRUNG	32
8. ANHANG	33
8.1.TABELLE 1: ÜBERSICHT DER STUDIEN BEZÜGLICH MUSKELFUNKTION	33
8.2.TABELLE 2: QUALITÄTSBEURTEILUNG	36

1. Abstract

Kontext: Dehnen ist unter Sportlern weit verbreitet und wird oft mit dem Ziel der Verletzungsprophylaxe und der Steigerung der Muskelfunktion angewendet. Aktuell herrscht jedoch Unklarheit über die tatsächlichen Effekte des Dehnens auf die Muskelfunktion und die Verletzungsprophylaxe und man findet widersprüchliche Studienergebnisse.

Ziel: Das Ziel dieser Arbeit ist es einen Überblick über die aktuelle Literatur zum Thema Effekte des Dehnens auf die Muskelfunktion und die Verletzungsprophylaxe zu gewinnen, die Ergebnisse zu erörtern und nach Möglichkeit eine Empfehlung abzugeben, ob man vor dem Sport Dehnen soll oder nicht.

Methode: Die Literatursuche wurde in den Datenbanken Pubmed, CINAHL, Pedro und Cochrane durchgeführt. Um für diese Arbeit berücksichtigt zu werden, mussten die Studien deutscher oder englischer Sprache sein und die Effekte des Dehnens vor sportlichen Aktivitäten auf die Muskelfunktion und / oder die Verletzungsprophylaxe an erwachsenen, gesunden Menschen untersucht haben. Zu dem musste der PEDro Scale Score bei randomisierten, kontrollierten Studien mindesten fünf und bei Kohortenstudien mindestens drei betragen.

Ergebnisse: drei RCT's (Pedro-Score 7-8/10), drei Kohortenstudien (Pedro-Score 3-4/10) und sechs Reviews entsprachen den Einschlusskriterien.

Schlussfolgerung: Es kann geschlossen werden, dass sowohl die isometrische, wie auch die statische Peak-Torque unmittelbar nach statischem Dehnen von mindestens 30-sekündiger Dauer negativ beeinflusst wird. Statisches Dehnen vor dem Sport könnte tendenziell eher eine negative Auswirkung auf Schnellkraft, Sprunghöhe, Balance und Bewegungs- und Reaktionszeit haben.

Bezüglich der Verletzungsprophylaxe ist keine Aussage möglich.

2. Einführung

Dehnen ist sowohl in der Sport-, wie auch in der Berufswelt ein viel diskutiertes Thema, welches immer wieder Fragen und Unklarheiten aufwirft. Es ist auch für viele Diskussionen unter Physiotherapeuten verantwortlich, welche in ihrem beruflichen Alltag oft von ihren Patienten gefragt werden, ob sie vor dem Sport dehnen sollten oder nicht und wenn ja in welcher Form. Es herrscht Unklarheit darüber ob, und wenn ja in welcher Weise, Dehnen sinnvoll beziehungsweise nützlich ist und welche Effekte Dehnen auf die Muskelfunktion und die Verletzungsprophylaxe hat. Es existieren viele verschiedene widersprüchliche Theorien und Aussagen zu den Effekten des Dehnens, jedoch findet sich keine offizielle einheitliche Meinung dazu.

Diese Arbeit hat deshalb zum Ziel einen aktuellen Literaturüberblick zu geben, die Effekte des statischen Dehnens auf Muskelfunktion und Verletzungsprophylaxe zu erörtern, und nach Möglichkeit eine Empfehlung abgeben zu können, ob und wann Dehnen sinnvoll ist.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurde folgende Fragestellung generiert: Welches sind die Effekte des Dehnens vor einer Aktivität auf die Muskelfunktion und die Verletzungsprophylaxe?

Stretching wird allgemein zur Verbesserung der Leistung eingesetzt und hat vor allem in den frühen 80er-Jahren des vergangenen Jahrhunderts immer mehr an Bedeutung gewonnen. Es wurde zu einem absoluten Muss in Sport und Physiotherapie, was heisst, dass Dehnen eine grosse Bedeutung in der Sportvorbereitung und der Aufwärmphase einnahm. So waren zum Beispiel plyometrische Übungen^a zum Aufwärmen vor anstrengenden sportlichen Aktivitäten sehr beliebt und wurden durch zahlreiche Publikationen unterstützt.

^a Plyometrie bezeichnet eine Art von Schnellkrafttraining, die auf dem Dehnungsreflex der Muskeln und der Kontrolle über diesen sowie des Muskelspindelapparates beruht. Häufige Anwendung dieses Trainings findet man bei Hochspringern, Sprintern, Basketball-Spielern und Torwarten sowie in anderen Sportarten, die auf Sprintschnelligkeit oder Sprungkraft setzen.

Dem Mythos Dehnen werden im Allgemeinen folgende positive Wirkungen zugeschrieben:

- Vorbeugen von Verletzungen
- Verringerung von Muskelspannungen
- Vermindern des Muskelungleichgewichts
- Reduktion von Verkürzungen
- Erhöhung der Muskelleistung
- Steigerung der Flexibilität

(F. Zahnd (2005))

In den letzten zehn bis zwanzig Jahren allerdings wurden die Effekte des Dehnens vermehrt kritisch hinterfragt und erforscht. Es finden sich diverse Studien, vor allem **Reviews** (Zahnd, F. (2005), De Deyne, P. G. (2001), Witvrouw, E., Mahieu, N., Danneels, L., Mc Nair, P. (2004), Herbert, R. Gabriel, M. (2002), Shrier, I. (1999), Weldon, S. M. Hill, R. H. (2003)), **welche die Effekte des statischen Dehnens vor dem Sport auf die Verletzungsprophylaxe und die Muskelfunktion untersuchen**. In der für diese Arbeit durchgeführten Literatursuche wurden jedoch nur **wenige RCT** (Siatras, T. A. Mitta, V. P., Mameletzi, D. N., Vamvakoudis, E. A. (2008), Marek, S. M. Cramer, J. T., Fincher, A. L., Massey, L. L., Dangelmaier, S. M., Purkayastha, S., Fitz, K. A., Culertson, J. Y. (2005), Behm, D. G. Barmury, A., Cahill, F., Power, K. (2004)) **und Kohortenstudien** (Cornwell, A. Nelson, A. G., Sidaway, B. (2002), Handel, M. Horstmann, T., Dickhut, H.-H., Gülch, R. W. (1997)) **zu diesem Thema gefunden**.

Die Literatursuche erstreckte sich auf die üblichen Datenbanken Pubmed, CINAHL, Pedro und Cochrane. Mit den Schlagworten stretching AND (effects OR effectiveness) AND sport wurde nach Literatur zur Effektivität des Dehnens gesucht. Zur weiteren Eingrenzung wurden die Keywords physiotherapy OR physical therapy verwendet. Weiter wurde mit den Schlagwörtern injury AND prevention OR prophylaxis und muscle funktion nach Studien gesucht.

Um für diese Arbeit berücksichtigt zu werden, mussten die Studien deutscher oder englischer Sprache sein und die Effekte des Dehnens vor sportlichen Aktivitäten auf die Muskelfunktion und / oder die Verletzungsprophylaxe an erwachsenen, gesunden Menschen untersucht haben. Zu dem musste der PEDro Scale Score bei randomisierten, kontrollierten Studien mindesten fünf und bei Kohortenstudien mindestens drei betragen.

2.1. Definition Dehnen

Damit der Vorgang des Dehnens besser verstanden werden kann, muss dieser Begriff erst definiert werden.

Die Dehnung wird in der technischen Mechanik als eine Angabe für die relative Dimensionsänderung (Verlängerung bzw. Verkürzung) eines Körpers unter Belastung, beispielsweise durch eine Kraft oder durch eine Temperaturänderung (Wärmeausdehnung), definiert.^{(Hencky H. (1928))} Übertragen auf die Muskulatur im Sport und Physiotherapie Bereich bedeutet Dehnung im Allgemeinen die Verlängerung eines Muskels, die durch eine Veränderung der Gelenkstellung bzw. durch eine äussere Krafteinwirkung herbeigeführt wird.

Man unterscheidet fünf Arten von Stretching^{(Handel, M. et al. (1997) Klee, A., Wiemann, K.)}:

1. Dynamisches Dehnen

Das dynamische Dehnen zeichnet sich dadurch aus, dass die Dehnposition mit einer schnellen Bewegung eingenommen und direkt wieder verlassen wird um dann, meist mit kurzen Ausholbewegungen, wieder eingenommen zu werden.

2. Statisches Dehnen

Beim statischen Dehnen wird die Dehnposition mit einer langsamen Bewegung eingenommen und dann längere Zeit beibehalten.

3. AC-Stretching (AC = Antagonist-Contract)

Beim AC-Stretching wird während des Dehnens des Zielmuskels gleichzeitig der Antagonist (Gegenspieler) maximal kontrahiert und dadurch die Dehnposition verstärkt.

4. CR-Stretching (CR = Contract-Relax)

Das CR-Stretching ist auch als Anspannungs-Entspannungs-Dehnen bekannt und beinhaltet eine maximale isometrische Kontraktion des Zielmuskels. Erst nach dieser Kontraktionsphase folgt eine Statische Dehnung des Zielmuskels.

5. CR-AC-Stretching

Das CR-AC-Stretching ist eine Verknüpfung des CR-Stretching mit dem AC-Stretching.^{(Handel, M. et al. (1997), Klee, A. et al.)}

3. Hauptteil

3.1. Physiologischer Hintergrund - Was wird gedehnt?

Da die vertiefte Auseinandersetzung mit dem Thema Dehnen Kenntnisse der Muskelanatomie und der Muskelphysiologie voraussetzt, werden nachfolgend die Muskelanatomie, die physiologischen Grundlagen des Dehnens und die wichtigsten Begriffe in diesem Zusammenhang erläutert.

3.1.1. Muskelanatomie

Jeder Muskel besteht aus Muskelfaserbündeln (Faszikel), die sich wiederum aus vielen einzelnen Muskelfasern zusammensetzen. Jede einzelne Muskelfaser kann in verschiedene Untereinheiten, die Myofibrillen, eingeteilt werden, die das kontraktile Element der Muskelfaser darstellen. Jede Myofibrille wiederum besteht aus der Aneinanderreihung von Sarkomeren. Wenn man eine Myofibrille elektronenmikroskopisch betrachtet, erkennt man, dass sie aus zwei verschiedenen Filamentarten besteht: den dicken Myosin- und den dünnen Aktinfilamenten (siehe Abb.1)

Die Muskelteile sind über Bindegewebe miteinander verbunden, was den jeweils benachbarten Fasern im Faszikel Bewegungsmöglichkeiten verschafft. Darüber hinaus verbindet das Bindegewebe über das Epimysium andere Strukturen wie Haut, Sehnen, Knochenhaut und dergleichen, was für die Kraftübertragung äusserst wichtig ist. (Van den Berg, F. (2003))

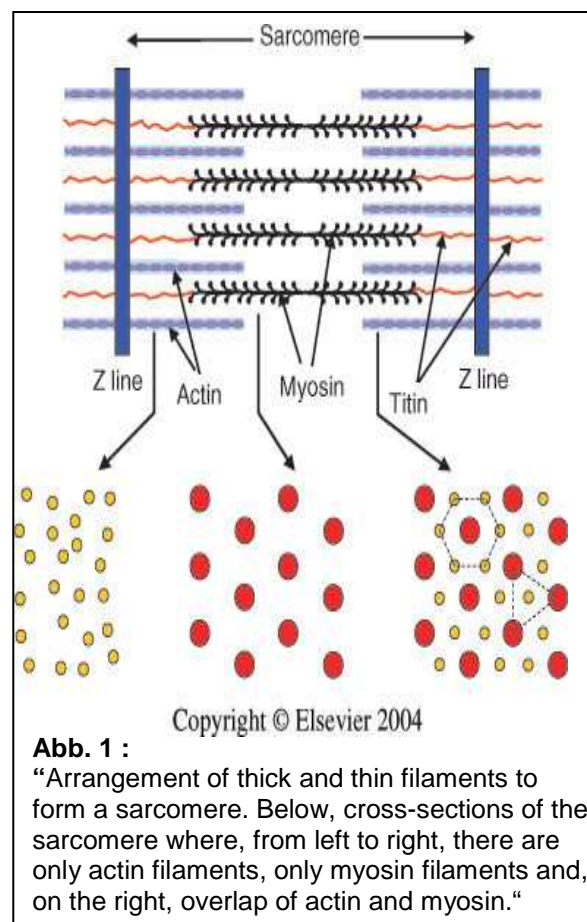


Abb. 1 :
 "Arrangement of thick and thin filaments to form a sarcomere. Below, cross-sections of the sarcomere where, from left to right, there are only actin filaments, only myosin filaments and, on the right, overlap of actin and myosin."

(Quelle: Jones, D., Roud, J., & de Haan, A. (2004). Mit freundlicher Genehmigung von Elsevier Limited.)

3.1.2. Kraftgeneration und Kraftübertragung

Die Muskelsehneneinheit kann auf zwei Wege Kraft generieren:

1. durch Übertragung / Umwandlung von metabolischer^b Energie in mechanische Arbeit, was vor allem bei konzentrischer Muskelaktivität der Fall ist, wie zum Beispiel beim Joggen, Schwimmen, Velofahren etc. (Witvrouw, E. et al. (2004)) Hierbei verkürzt sich der Muskel, indem, nach der Sliding-Filament-Theorie, die oben beschriebenen dicken- und dünnen Filamente (Myosin und Aktin) in- und aus-einander gleiten, ohne dass diese ihre jeweilige Länge verändern. Das heißt, dass die Kontraktion auf einem Ineinanderschieben der Filamente beruht (Abb. 2) (Van den Berg, F. (2003))
2. durch das Speichern von elastischer Energie, die durch so genannte Dehn-Verkürzungs-Zyklen entsteht. Dies geschieht vorwiegend bei exzentrischen Bewegungen (Witvrouw, E. et al. (2004)) Bei Sprüngen zum Beispiel ist der M. quadriceps bei der Landung exzentrisch aktiv und speichert somit elastische Energie, die er in einem unmittelbar folgenden Sprung zur Kraftgeneration gebrauchen kann.

Die so generierte Kraft wird vom Muskel auf die Sehnen und von dort auf die Knochen übertragen, was eine Winkelveränderung des beteiligten Gelenkes (Bewegung) zur Folge haben kann.

In diesem Zusammenhang wird oft von der Muskelsteifigkeit bzw. der Muskelnachgiebigkeit gesprochen, da die Geschwindigkeit der Kraftübertragung (das heißt die Zeit, die es braucht, bis die Kontraktionskraft am Knochen angelangt ist und eine Bewegung stattfindet), bei hoher Nachgiebigkeit der Muskel-Sehnen-Einheit ab und bei einer steifen eher zunimmt. (Weldon, S. M. et al. (2003), Cornwell, A. et al. (2002), Witvrouw, E. et al. (2004))

3.1.3. Kraft-Längen-Verhältnis

Die Kraft oder Spannung, die ein Muskel aufbauen kann, variiert mit der Länge, in der er stimuliert wird. Dieses Kraft-Längen-Verhältnis, auch als Kraft-Längen-Relation be-

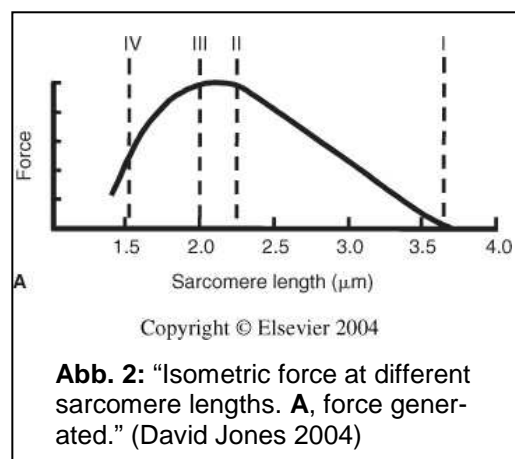


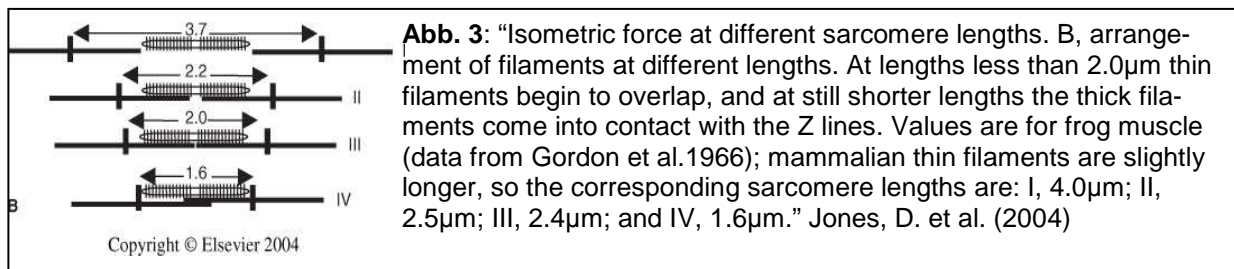
Abb. 2: "Isometric force at different sarcomere lengths. **A**, force generated." (David Jones 2004)

(Quelle: Jones, D., et al. (2004).
Mit freundlicher Genehmigung von Elsevier Limited.)

^b metabolisch = stoffwechselbedingt

kannt, besagt, dass eine Muskelfaser ihre Maximalkraft aus der Ruhelänge heraus erreicht. Wird der Muskel jedoch auf kürzere Längen zusammengezogen, so wird seine Kraft deutlich geringer. In gleichem Masse verhält es sich, wenn der Muskel gedehnt wird. (Grafische Darstellung des Kraft-Längen-Verhältnisses siehe Abb.2 & 3)

Dies bedeutet, dass die maximale isometrische Spannung nur bei der Ruhelänge des Sarkomers von 2,0 – 2,5 μm entsteht, da in dieser Länge die Anzahl der Aktin-



(Quelle: Jones, D. et al. (2004). Mit freundlicher Genehmigung von Elsevier Limited.)

Myosin-Brücken optimal ist. Nimmt das Sarkomer hingegen eine grössere Länge ein, so ist die Überlappung weniger günstig und die Anzahl an Aktin-Myosin-Brücken geringer - es kann also weniger Kraft entwickelt werden (Van den Berg, F. (2003))

3.1.4. Dehn-Verkürzungs-Zyklus

Die weiter oben bereits erwähnten Dehn-Verkürzungs-Zyklen finden während Bewegungen statt, bei welchen Muskeln zyklisch verkürzt und verlängert werden, wobei die Verlängerungsphase das Resultat einer antagonistischen Muskelkontraktion oder einer externalen Kraft ist. Dies ist zum Beispiel bei repetierten Sprüngen, bei der durch das Körpergewicht verursachten Dehnung der Wadenmuskulatur und des M. quadrizeps der Fall. Während des so entstandenen aktiven Dehnzuges wird die Bewegungsenergie in elastischen Komponenten gespeichert und in der darauf folgenden Sprungphase wieder freigesetzt. (Jones, D. et al. (2004))

3.1.5. Übertragung eines passiven Dehnzuges auf die Muskulatur

Die genauen Mechanismen der Übertragung eines passiven Dehnzuges auf das Gewebe sind bis heute nicht vollständig bekannt. Es gibt sogar Autoren, die behaupten, dass die Dehnung gar nicht bis in den Muskel fortgeleitet wird, sondern nur das umliegende Gewebe unter Zug kommt. Generell nimmt man jedoch an, dass der

passive Dehnzug über die umliegenden Gewebe auf die Muskelfasern übertragen wird.

Hierbei wird die Dehnung von der extrazellulären Matrix über die Basalmembran und von dort über die Muskelfasermembran und die intrazellulären Moleküle auf den kontraktilem Apparat in der Muskelfaser übertragen. Eine passive Kraft wird also durch die Interaktion von Kollagen, Glykoprotein, integralen Membranproteinen, Zellskelett-komplexen, nicht kontraktilem Zellskeletten und dem kontraktilem Apparat von aussen nach innen übertragen. Um den Dehnprozess besser verstehen zu können, ist in Abb. 4 die physikalische Verbindung von ausserhalb der Muskelfaser und dem kontraktilem Apparat dargestellt. (De Deyne, P. G. (2001))

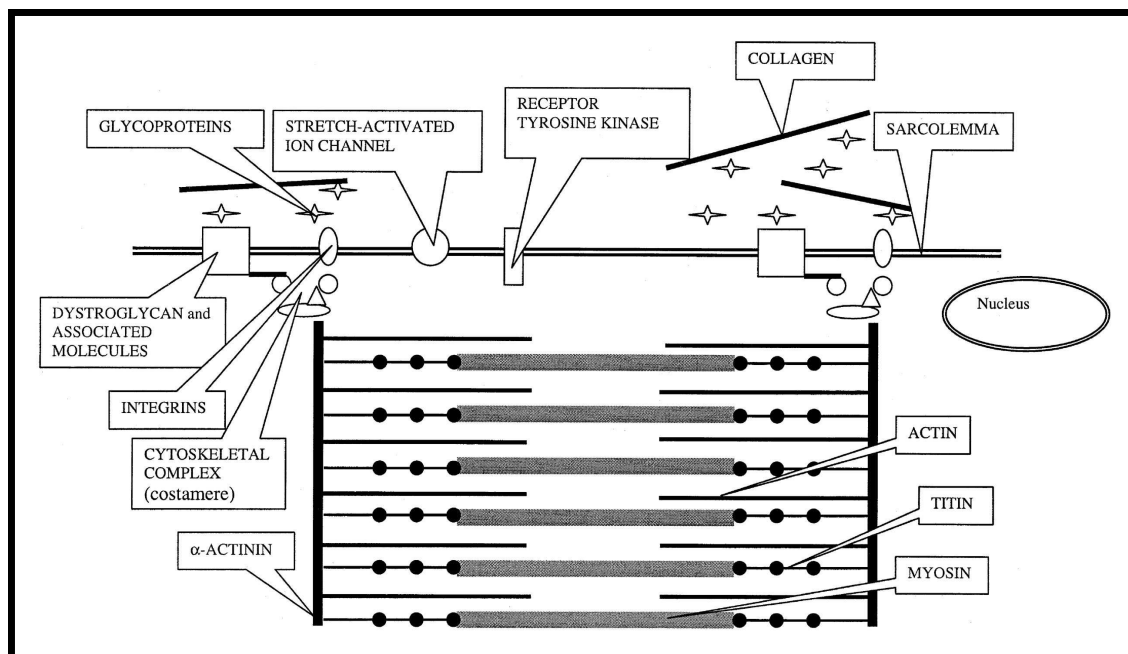


Abb. 4

« Model of force transduction in a muscle fiber. Stretch is transmitted through components of the extracellular matrix (collagen and glycoproteins). Glycoproteins (laminin, fibronectin) have the capacity to bind integral membrane proteins (integrins, dystroglycan complex). The intracellular portion of the latter molecules forms the basis for a chain of protein-protein interactions (including dystrophin, b-spectrin, talin, vinculin, desmin, and perhaps some as yet unidentified molecules) ending at the Z line in structures called "costameres." This model is able to link the contractile molecules with the noncontractile molecules in muscle. »

(Quelle Abb. 4 und Beschriftung: De Deyne, P. G. (2001))

Es besteht zudem die Theorie, dass die Muskelfaszien und die Muskelfasern den grössten Teil des mechanischen Stresses, der durch Stretching entsteht, absorbieren. Die Spannung soll sich, nach dieser Theorie, entsprechend der Muskelanatomie im Muskel verteilen. Die Menge des Stresses, der auf eine einzelne Muskelfaser

einwirkt, hängt von ihrer Orientierung zur Longitudinalachse des Muskels ab. (De Deyne, P. G. (2001))

3.1.6. Physikalisches Erklärungsmodell der Gewebeeigenschaften

Das Verhalten von Geweben auf mechanische Krafteinwirkung, wie zum Beispiel passives Dehnen, ist sehr komplex. Es lässt sich jedoch anhand eines physikalischen Erklärungsmodells zum Verhalten von bekannten Materialien anschaulich darstellen.

Dieses Modell besagt, dass eine Substanz, die einer passiven Kraft (Dehnung) ausgesetzt ist, sich bezüglich ihrer Materialeigenschaften deformiert. Und wenn nun eine relativ geringe Krafteinwirkung über eine lange Zeitperiode bestehen bleibt, werden die meisten Materialien sich in einem zeitabhängigen Schema deformieren. Dies ist ein Resultat der viskoelastischen Eigenschaften des Materials. Wenn der Zug jedoch aufhört, wird sich das Gewebe, abhängig von der Stärke der einwirkenden Kraft und den Materialeigenschaften, wieder in seine ursprüngliche Länge zurück bilden. Da fast alle Stoffe sich durch dieses Verhalten auszeichnen, lässt sich das Erklärungsmodell auch auf die Muskulatur übertragen. Demzufolge könnte man damit kurzzeitige reversible Veränderungen der Muskellänge erklären. (De Deyne, P. G. (2001)) Erst wenn die Aktin-Myosin-Fillamente über die Überlappungsgrenze hinaus gedehnt werden, besteht die Gefahr einer irreversiblen Veränderung bzw. einer Verletzung. (Weldon, S. M. et al. (2003), Shrier, I. (1999))

3.1.7. Reflexhemmung / Dehnreflex

In der Diskussion über die möglichen Ursachen des Effekts des Dehnens auf die Muskelfunktion wird unter anderem auch von der Reflexhemmung oder dem Dehnreflex gesprochen. Hierbei handelt es sich um eine der Willkür entzogene Kontraktion des Skelettmuskels als Antwort auf eine Reizung der Muskelspindel. Kommt ein Muskel unter Spannung, werden die Kernsackfasern und die Kettenfasern der Muskelspindel gereizt (Kernsackfasern reagieren auf Spannungsänderung, während Kettenfasern eher auf konstanten Zug reagieren) Dies führt zu einer Erhöhung der Entladungsfrequenz der Ia und II-Afferenzen. Dies wiederum bewirkt auf Rückenmarksebene eine Aktivierung des Alpha-Motoneurons (Efferenz), was zu einer Kontraktion

des gedehnten Muskels führt. Diese reflektorische Kontraktion dient der Längen- und Kraftstabilisierung des Muskels.^{(Jones, D. et al. (2004), Schrimpf, M. (2009), Van den Berg, F. (2003))}

3.2. Mögliche leistungsvermindernde / -steigernde Mechanismen

Die Mechanismen, welche für die Verminderung der Kraftproduktion nach statischem Dehnen verantwortlich sind, sind bis jetzt noch nicht vollständig geklärt. Es finden sich in der Literatur jedoch verschiedenste Theorien zu diesem Thema.

Es haben sich zwei primäre Hypothesen entwickelt, um das durch Dehnen verursachte Kraftdefizit zu erklären. In der ersten Hypothese werden mechanische Faktoren wie die Veränderung der Länge der Muskelsehneneinheit und die Verminderung derer Steifigkeit als Ursache der Leistungsverminderung genannt. Die zweite Hypothese bezieht sich auf neuromuskuläre Faktoren wie veränderte Moto-Kontroll-Systeme (zum Beispiel eine Verminderung der Aktivierung von Motor-untis)^{(Marek, S. M. et al. (2005), Behm, D. G. et al. (2004))}

Mechanische Faktoren

Mehrere Studien haben angegeben, dass eine steife Muskelsehneneinheit mit einer verbesserten konzentrischen Peak-Torque verbunden ist, da die Kontraktilen Elemente sich in einer besseren Position auf der Kraft-Längen-Kurve befinden.^{(Marek, S. M. et al. (2005), Behm, D. G. et al. (2004), Siatras, T. A. et al. (2008))} Dazu kommt, dass bei einer steifen Muskel-Sehnen-Einheit eine schnellere, und somit effizientere, Übertragung der in den kontraktile Elemente generierten Kraft auf die Knochen vermutet wird^{(Nelson, G. A. Driscoll, N. M., Landin, D. K., Young, M. A., Schexnayder, I. C. (2005), Witvrouw, E. et al. (2004), Behm, D. G. et al. (2004), Siatras, T. A. et al. (2008))} Zusätzlich wurde von David G. Behm et. al. (2004) die Hypothese aufgestellt, dass ein nachgiebigerer Muskel in Kombination mit einer gestörten Aktivierung die Reaktions- und Bewegungszeit verlangsamt.^{(Behm, D. G. et al. (2004))} Weiterführend kann die Erfassung und die Überwachung der Muskelspannung durch die Golgi-Sehnenorgane verspätet stattfinden, da eine weniger widerstandsfähige, bzw. geschmeidigere, Muskel-Sehnen-Einheit den Zug nicht so schnell auf die Golgi-Sehnenorgane weiterleitet wie eine steife Muskel-Sehnen-Einheit.

Eine weitere Theorie besagt, dass zusätzlich zu einer Veränderung des Kraft-Längen-Verhältnisses die plastische Deformation des verbindenden Gewebes

so verändert, dass die der Maximalkraft produzierenden Anteile einer Muskel-sehneneinheit limitiert werden könnten.^{(Marek, S. M. et al. (2005))}

Neuromuskuläre Faktoren

Des Weiteren werden auch neuromuskuläre Faktoren wie eine verminderte Muskelaktivierung, verminderte Frequenz der Aktionspotentiale und eine veränderte Sensibilität auf Reflexe im Zusammenhang mit den oben erwähnten Mechanismen diskutiert.^{(Marek, S. M. et al. (2005), Behm, D. G. et al. (2004), Siatras, T. A. et al. (2008))} So erwähnen David G. Behm et al. (2004), dass plötzliche Änderungen in der Muskelsehneneinheit bezüglich der Länge, der Steifigkeit, des Kraft-Outputs und der Muskelaktivierung die Möglichkeit Änderungen der unmittelbaren Umgebung wahrzunehmen (afferente Propriozeption) und darauf zu reagieren (efferente Muskelaktivierung), verändern könnte.

Die Theorie der neuromuskulären Faktoren wird zusätzlich von verschiedenen Studien unterstützt, die eine verminderte EMG-Aktivität nach statischem Dehnen nachweisen konnten^{(Marek, S. M. et al. (2005), Behm, D. G. et al. (2004))}

In diesem Zusammenhang wird auch von einer limitierten H-Reflex-Aktivität^c gesprochen, die direkt nach dem Dehnen gemessen werden konnte. Dies wird auf eine reduzierte Sensibilität der Muskelspindel zurückgeführt.^{(Siatras, T. A. et al. (2008))}

Ein unidentifizierter inhibitorischer Mechanismus des Zentralen Nervensystems wird ebenfalls als Mögliche Ursache für die verminderte Muskelaktivierung diskutiert.^{(Behm, D. G. et al. (2004), Siatras, T. A. et al. (2008))}

Ebenfalls wird auch ein Unterbruch der Dehn-Reflex-Aktivität (T-Reflex / Eigenreflex) als mögliche Ursache der Muskelfunktionsverminderung diskutiert. Dem zu Grunde liegt die Annahme, dass die exzentrische Phase einer Dehn-Verkürzungs-Bewegung ein myoelektrisches Potential initiiert, welches die Muskelaktivierung während der Periode der konzentrischen Arbeit steigert.^{(Nelson, G. A. et al. (2005), Cornwell, A. et al. (2002))} Zusätzlich können auch durch starke Dehnung stimulierte Schmerzrezeptoren in Muskel, Sehne und Gelenkscapsel

^c Der H-Reflex wird durch einen elektrischen Reiz der primären Afferenz ausgelöst und resultiert in einer muskulären Aktivierung, die sich in elektrischer Aktivität äussert.^{(Quelle: Vorlesung Physiologie Prof. Dr. Noack, Uni-Rostock. T- und H- Reflex [On-Line]. Available: <http://physiologie.med.uni-rostock.de/nur/2sem/motorik/1080.html> (26.03.2008))}

den für die Muskelaktivierung verantwortlichen neuronalen Mechanismus inhibieren. (Cornwell, A. et al. (2002))

Zu den möglichen Mechanismen, welche für eine allfällige Leistungssteigerung verantwortlich sein könnten wurde keine Theorie gefunden. Es findet sich einzig eine Vermutung von Handel, M et al. (1997), welcher sagt, dass eine verbesserte exzentrische Muskelleistung nach dem Dehnen auf eine erhöhte Schmerz- und Dehntoleranz zurück zu führen sein könnte, wobei sich dies ausschliesslich auf die exzentrische Kraft bezieht.

3.3. Mögliche Mechanismen welche das Verletzungsrisiko beeinflussen

In der Literatur wird generell davon ausgegangen, dass Muskelverletzung hauptsächlich während exzentrischen Aktivitäten auftreten. (Witvrouw, E. et al. (2004), Zahnd, F. (2005), Shrier, I. (1999)) Wenn es jedoch um das Beschreiben, der für Verletzungen verantwortlichen Mechanismen, und wie diese durch Dehnen beeinflusst werden, geht, teilen sich die Meinungen.

So geht Witvrouw, E. et al. (2004) davon aus, dass mit Zunahme der Sehnensteifigkeit die Menge an Energie, welche die Kontraktilen Elemente absorbieren müssen, steigt, und somit sich das Verletzungsrisiko erhöht. Demzufolge würde Dehnen das Verletzungsrisiko senken. Dies setzt jedoch voraus, dass die Steifigkeit einer Sehne durch Dehnen beeinflusst werden kann. Diese Theorie wird von Zahnd, F. (2005) unterstützt, der jedoch darauf hinweist, dass es keine wissenschaftliche Nachweise gibt, dass die Zunahme der Dehnbarkeit des Gewebes die Fähigkeit Energie zu absorbieren steigert. Er geht ebenfalls davon aus, dass Verletzungen vor allem im Endbereich einer Bewegung auftreten. Uneinig sind sich die zwei Autoren auch darüber, in welchem Zeitpunkt der Bewegung Verletzungen auftreten. So ist Witvrouw, E. et al. (2004) der Meinung, dass Verletzungen vor allem am Bewegungsende auftreten, was der Ansicht von Zahnd, F. (2005) widerspricht, der darauf hinweist, dass Verletzungen im Endbereich einer Bewegung eher selten sind.

Shrier, I. (1999) hingegen hat eine widersprüchliche Theorie aufgestellt, in der er besagt, dass eine Erhöhung der Nachgiebigkeit einer Muskelsehneneinheit direkt mit einer Verminderung der Fähigkeit Energie zu absorbieren zusammenhängt. Somit

würde Dehnen das Verletzungsrisiko erhöhen. Des Weiteren weist er darauf hin, dass durch das Dehnen, der Muskel aus seinem optimalen Kraft-Längen-Verhältnis gebracht wird, was die Fähigkeit einer exzessiven Verlängerung der Sarkomere dem entgegen zu wirken vermindert. Dies ist bei einer durch äussere Kraft herbeigeführte exzentrischen Bewegung jedoch nötigen. Demzufolge kommt es zu Muskelverletzungen, wenn nicht genügend Kraft generiert werden kann um die exzessive Verlängerung der Sarkomere zu verhindern und diese über die Überlappungsgrenze hinaus gedehnt werden, wobei die Kraft auf das Zellskelett weitergeleitet wird, was zu einer Schädigung führen kann. Hierbei stellt sich allerdings die Frage, ob die Sarkomerlänge tatsächlich durch Dehnen beeinflusst werden kann.

Bekannt ist jedoch, dass während einer Bewegung die Länge der Sarkomere heterogen ist.^{(Shrier, I. (1999))} Dies bedeutet, dass einige Sarkomere sich verlängern, während andere sich verkürzen. Daher scheint es, dass die Sarkomerlänge eher für Muskelverletzungen verantwortlich ist als die totale Muskellänge.

Eine weitere Theorie besagt, dass durch das Dehnen die Schmerz- bzw. Dehntoleranz erhöht wird, was als möglicher Faktor für die Erhöhung des Verletzungsrisikos angeschaut werden sollte. Begründet wird diese Hypothese damit, dass durch die erhöhte Schmerzschwelle das frühzeitige Bemerken einer drohenden Schädigung beeinflussen könnte und somit die Schutzfunktion des Schmerzes verringert würde.^{(Weldon, S. M. et al. (2003), Shrier, I. (1999))}

Ein anderer Faktor, der im Zusammenhang mit Verletzungen im Sport in der Literatur diskutiert wird, ist die Ermüdung. So nehmen S. M. Weldon & R. H. Hill (2003) an, dass die Möglichkeit eines aktivierten Muskels einer Verlängerung zu verlangsamen oder zu verhindern und somit Verletzungen zu vermeiden stark von kontraktiver Stärke abhängt. Dies, so nehmen sie an, wird jedoch bei Ermüdung eines Muskels substantiell verringert.

3.4. Studienergebnisse

3.4.1. Effekte auf die Muskelfunktion

Im Rahmen der oben beschriebenen Literatursuche wurden drei RCT's (Behm, D. G. et al. (2004), Marek, S. M. et al. (2005), Siatras, T. A. et al. (2008)), zwei Kohortenstudien (Nelson, G. A. et al. (2005), Cornwell, A. et al. (2002)) und eine Review (Zahnd, F. (2005)) gefunden, welche die Effekte des statischen Dehnens auf die Muskelfunktion untersuchten. Zusätzlich wurde eine Kohortenstudie gefunden, welche die Effekte des Contract-Relax-Dehnens auf die Muskelfunktion bei Athleten untersuchte. (Handel, M. et al. (1997))

Insgesamt sind diese Studien, was die Teilnehmer, die Interventionen und die Messungen betrifft, eher heterogen. So wurden zwei Studien (Nelson, G. A. et al. (2005), Handel, M. et al. (1997)) an gesunden Athleten (11 ♂, 5 ♀ (21 ± 2 J.) und 16 ♂ (23.6 ± 3.6 J.)) durchgeführt. Zwei weitere Studien untersuchten nicht sportliche, gesunde Studenten im Alter von 19 bis 30 Jahren. Sahra M. Marek et al. 2005 (Marek, S. M. et al. (2005)) hingegen untersuchte 19 Freizeitsportler (21 ± 3 J.), welche pro Woche ein bis fünf Stunden Sport trieben. Die Autoren einer weitere Studie (Cornwell, A. et al. (2002)) wiederum machten keine Angaben zu den sportlichen Aktivitäten ihrer Probanden (22.5 ± 1.84 J.)

Ähnlich Unterschiedlich wie die Merkmale der Probanden sind auch die Interventionen und die jeweils vorgenommenen Messungen, da verschiedene Muskelgruppen unterschiedlich lang gedehnt wurden. So wurde in einer Studie nur der M. trizeps surae gedehnt (Cornwell, A. et al. (2002)), während in einer anderen der M. quadrizeps, die Hamstring und die Plantarflexoren gedehnt wurden (Behm, D. G. et al. (2004)) Die Hamstrings wurden jedoch noch in einer weiteren Studie gedehnt (Handel, M. et al. (1997)) und M. quadrizeps in dreien, was doch eine gewisse Übereinstimmung darstellt. Die totale Dehndauer ist mehrheitlich vergleichbar und variiert in vier Studien zwischen 135 und 480 Sekunden. Eine Studie (Siatras, T. A. et al. (2008)) hingegen untersuchte die Effekte der verschiedenen Dehndauern und es wurden demzufolge Dehnungen von 10, 20, 30 und 60 Sekunden durchgeführt (Siatras, T. A. et al. (2008)) Eine weitere Studie (Handel, M. et al. (1997)), die als Intervention das Contract-Relax-Dehnen verwendete, hat dementsprechend eine kurze totale Dehndauer von 20 bis 30 Sekunden. (Handel, M. et al. (1997))

Vergleichbar sind auch die Kointerventionen und die Interventionen der Kontrollgruppe, was heisst, dass in fünf der sechs Studien vor den Dehnprotokollen ein Aufwärmprogramm durchgeführt wurde. In drei Fällen fand das warm-up als fünfminütiges Velofahren auf dem Ergometer statt^{(Marek, S. M. et al. (2005), Behm, D. G. et al. (2004), Siatras, T. A. et al. (2008))}, eine Studie^{(Nelson, A. G. et al. (2005))} führte ein mindestens zweiminütiges Aufwärmen durch und eine weitere ein intensives Aufwärmprogramm, das 800 Meter Joggen, Vorwärtssprünge und Schersprünge beinhaltete.

Die Kontrollgruppen der drei RCT's ^{(Behm, D. G. et al. (2004), Marek, S. M. et al. (2005), Siatras, T. A. et al. (2008))} haben allesamt nur ein fünfminütiges warm-up auf dem Veloergometer durchgeführt, was der jeweiligen Kointervention der Interventionsgruppe entspricht.

Eine weitere Gemeinsamkeit ist, dass bei fünf der sechs Studien die Dehnung direkt vor den Messungen erfolgte und damit die kurzfristigen Effekte des Dehnens getestet wurden. Nur bei der Studie von M. Handel et al. (1997) wurde der Langzeiteffekt des Dehnens untersucht.

Ein Unterschied wiederum besteht in den verschiedenen Aspekten der Muskelfunktion, die untersucht wurden. Insgesamt wurden die Peak-Torque, die durchschnittliche Leistung, das EMG, das MMG, die Sprunghöhe, die Schnellkraft, die Kraftanpassung und die Balance, so wie die Reaktions- und Bewegungszeit untersucht.

Fünf der sechs verwendeten Studien zeigten sowohl nicht signifikante, wie auch signifikante Verminderungen der Muskelfunktion:

Peak-Torque^d

Die Peak-Torque wurde von vier Studien untersucht^{(Handel, M. et al. (1997), Siatras, T. A. et al. (2008), Marek, S. M. et al. (2005), Behm, D. G. et al. (2004))}, wobei zwischen isometrischer^e und isokinetischer^f Peak-Torque unterschieden wird.

Zwei Studien zeigten eine Reduktion der isometrischen Peak-Torque, wobei die Resultate von David G. et al. (2004) wohl eine Verminderung der Peak-Torque

^d Peak-torque = maximales Drehmoment, welches sich aus dem Vektorprodukt aus Muskelkraft mal Hebelarm zusammen setzt und in Newtonmeter (Nm) gemessen wird.

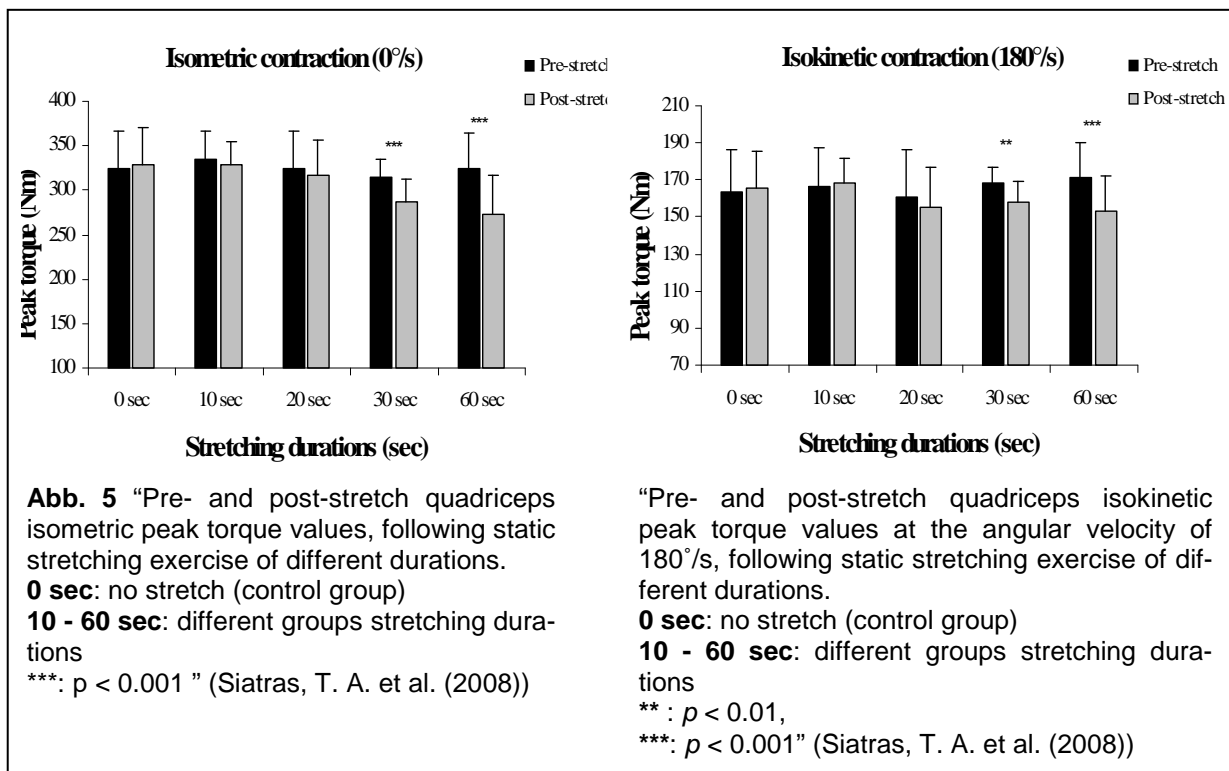
^e Isometrisch = Form der Muskelkontraktion, wobei sich „die Spannung (Kraft) sich bei konstanter Muskellänge verändert.“(Mielke, C.)

^f Isokinetisch = Form der Muskelkontraktion, wobei „die äussere Kraft trotz der sich ständig ändernden Hebelverhältnisse bzw. Drehmomente so hoch gehalten wird, dass das Nerven-Muskel-System in jeder Phase des Bewegungsablaufs gegen angepasste hohe Widerstände mit gleichmässiger Geschwindigkeit tätig sein kann.“(Mielke, C.)

um 1.6% aufweisen, dies jedoch nicht als statistisch signifikant gilt. Siatras T. A. et al. (2008) hingegen zeigte nach 30- und nach 60sekündiger Dehnung eine signifikante Reduktion der isometrischen und isokinetischen Peak-Torque ($t = 8.125$, $P < 0.001$ und $t = 11.648$, $P < 0.001$) Wurde die Dehnung nur 10 oder 20 Sekunden gehalten, konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. (Siehe **Abb. 5**)

Auch nach Sahra M. et al. (2005) wird die Isokinetische Peak-Torque durch statisches Dehnen negativ beeinflusst. Ihre Ergebnisse weisen eine Verringerung der Peak-Torque um 1.9 Nm auf ($P = 0.051$) auf.

Nur eine Studie zeigte einen positiven Effekt des Dehnens auf die Peak-Torque auf (Handel, M. et al. (1997)) Nach M. Handel et al. (1997) erhöhte sich die Peak-Torque der Knieextensoren signifikant um 23.0% und die der Knieflexoren um 18.2%. Es ist allerdings zu beachten, dass sich die Autoren auf ein achtwöchiges CR-Dehnprogramm beziehen, welches die Langzeiteffekte untersuchte.



(Quelle: Siatras, T. A., et al. (2008)). Mit freundlicher Genehmigung von T. Siatras

Schnellkraft

Mit der Schnellkraft befasste sich nur Arnold G. Nelson et al. (2005), welcher an 16 Spitzen-Athleten (Sprintern) die Effekte des statischen Dehnens auf die

Schnellkraft untersuchte. Er berücksichtigte 4 verschiedene Dehnprotokolle: Kein Stretch (NS), Stretching des Beins, welches beim Start vorne ist (FS), Stretching des hinteren Beins (RS) und Dehnen beider Beine (BS) Vor den Dehnprotokollen wurde jedoch ein umfangreiches Aufwärmtraining durchgeführt. Die Untersucher kamen auf Grund der Ergebnisse zum Schluss, dass Schnellkraft und Leistungsfähigkeit durch vorangehendes Dehnen negativ beeinflusst werden könnten. Durch die Zeitmessung eines 20 Meter Sprints nach den durchgeführten Dehnprotokollen, kamen sie zu dem Ergebnis, dass die Sportler nach vorgängiger Dehnung (sowohl nach BS, FS und RS) rund 0.1 Sekunden langsamer waren als ohne Dehnen, was als statistisch signifikant angegeben wird ($P = 0.009$). (Nelson, G. A. et al. (2005))

Durchschnittliche Muskelleistung

Die durchschnittliche Muskelleistung wurde nur von Sahra M. et al. (2005) untersucht, die zu dem Schluss kam, dass sich die durchschnittliche Muskelleistung nach statischem Dehnen um 4.4 Nm ($P = 0.041$) vermindert. (Marek, S. M. et al. (2005))

Sprunghöhe

Andrew Cornwell et. al. (2002) untersuchte die Sprunghöhe nach statischem Dehnen des M. trizeps surae. Es wurde sowohl die statische Sprunghöhe, wie auch die Sprunghöhe bei vorangehender Vordehnung durch eine Gegenbewegung gemessen. Während der Sprungdurchführung durfte das Kniegelenk nicht mehr als fünf Grad in Flexion kommen, was bedeutet, dass die Sprünge über das Sprunggelenk initiiert wurden. Die Sprunghöhe mit Vordehnung fielen nach vorhergehendem Dehnprogramm um 1.9% tiefer aus als ohne vorgängige Dehnung, wogegen bei den statischen Sprüngen kein Unterschied festgestellt wurde. (Cornwell, A. et al. (2002))

Balance, Reaktions- und Bewegungszeit

Als einziger untersuchte Behm, D. G. et al. (2004) die Balance und die Reaktions- und Bewegungszeit an 16 männlichen Universitätsstudenten nach statischem Dehnen des M. quadrizeps, der Hamstrings und der Plantarflexoren, die je drei mal 45 Sekunden gedehnt wurden. Sie beobachteten, dass die Kontroll-

gruppe nach der Dehnung eine signifikante Steigerung der Balancefähigkeit um 17.3% aufwies, bei der Interventionsgruppe jedoch eine nicht signifikante Senkung um 2.2% auszumachen war. Die Reaktionszeit der Interventionsgruppe war um 11% langsamer als die Kontrollgruppe. Auch bei der Bewegungszeit zeigte sich bei der Interventionsgruppe eine Verlangsamung von 13% gegenüber der Kontrollgruppe.

Weitere Informationen bezüglich der Studienergebnisse sind im Anhang in der Tabelle 1 zu finden.

3.4.2. Effekte auf das Verletzungsrisiko

Zu den Effekten des Dehnens auf das Verletzungsrisiko wurden nur zwei Literaturübersichten (Zahnd, F. (2005), Witvrouw, E. et al. (2004)) und drei systematische Reviews (Weldon, S. M. et al. (2003), Herbert, R. et al. (2002), Shrier, I. (1999)) gefunden. Alle drei systematischen Reviews beschreiben das Vorgehen bei der Literatursuche, die Ein- und Ausschlusskriterien und die Bewertung der berücksichtigten Studien, wobei eine nur RCT's (Shrier, I. (1999)), die anderen zwei jedoch RCT's und CCT's bzw. quasi randomisierte Studien berücksichtigten. (Weldon, S. M. et al. (2003), Herbert, R. et al. (2002))

Obwohl sowohl Rob D. Herbert & Michael Gabriel 2002 (Herbert, R. et al. (2002)) wie auch Shrier Ian (1999) und Weldon S. M. et al. (2003) keine klinischen Evidenzen finden konnten, welche die Hypothese, dass das Dehnen vor Übungen das Verletzungsrisiko senkt, klar unterstützen, kamen sie zu unterschiedlichen Schlussfolgerungen:

Keine definitive Schlussfolgerung möglich

Die von S.M. Weldon & R. H. Hill (2003) berücksichtigten Studien (4 RCT's, 3 CCT's) zeigten grosse Unterschiede in der Qualität und kamen zu unterschiedlichen Ergebnissen. Drei RCT's von moderater bis hoher Qualität (42 bis 68 Punkte von 100 nach Tulder-Richtlinien (1997)) wiesen negative Resultate auf, was bedeutet, dass die Ergebnisse keine Veränderung oder eine Erhöhung des Verletzungsrisikos aufweisen. Die restlichen drei Studien (2 CCT's, 1 RCT) wiesen positive Effekte aus. Hierbei ist zu beachten, dass alle Studien, die positive Resultate aufwiesen, von schlechter Qualität waren (weniger als 31 Punkte) Auf

Grund der Heterogenität und der schlechten Qualität der Studien konnten die Autoren keine definitive Schlussfolgerung bezüglich der Frage, ob Dehnen die Häufigkeit der übungsbezogenen Verletzungen beeinflusst, ziehen.^{(Weldon, S. M. et al. (2003))}

Keine signifikante Wirkung mit Tendenz zur Erhöhung des Verletzungsrisikos

Shrier Ian (1999) hat in seiner systematischen Literaturarbeit zwölf RCT's berücksichtigt. Von diesen zwölf Studien, kamen vier zum Ergebnis, dass Dehnen vor dem Sport das Verletzungsrisiko senkt. Drei beobachteten eine Erhöhung des Verletzungsrisikos und die anderen fünf konnten keine Differenzen zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe finden.

Shrier Ian (1999) macht keine Angaben zur Qualität der verwendeten Studien. Er hebt jedoch hervor, dass alle vier Studien, die einen positiven Effekt aufzeigten, komplette Programme, die viele Kointerventionen enthalten untersuchten. Es ist somit nicht möglich herauszufinden, welche der Interventionen für die Senkung des Verletzungsrisikos verantwortlich sind. Die Studien, welche nur Stretching alleine, als einzige Intervention untersuchten, fanden keinen signifikanten Unterschied in der Verletzungsrate. Sie wiesen jedoch nicht signifikante Erhöhungen auf.^{(Shrier, I. (1999))}

Bei den Studien, welche eine signifikante Erhöhung des Verletzungsrisikos aufzeigen, haben die Autoren keine anderen Faktoren wie Trainingsdistanz, Erfahrung etc. kontrolliert, was die Ergebnisse nach Shrier Ian (1999) nur mit Vorsicht interpretieren lässt.

Ian Shrier (1999) kommt zum Schluss, dass Dehnen vor einer Übung das Verletzungsrisiko eher erhöht als senkt.

Unterstützt wird diese Schlussfolgerung auch durch Zahnd, F. (2005), der in seiner Review zu dem Ergebnis kommt, dass Stretching keine Verletzungen verhindert. Ebenfalls könnte es sein, dass Dehnen das Verletzungsrisiko erhöht, da eine methodisch gut durchgeführte Studie ein signifikant verringertes Gleichgewicht und erhöhte Reaktions- und Bewegungszeit feststellte, was klinisch äusserst relevant sein könnte.^{(Zahnd, F. (2005))}

Keine signifikante Wirkung mit Tendenz zur Senkung des Verletzungsrisikos

Die Autoren einer weiteren systematischen Review^{(Herbert, R. et al. (2002))} berücksichtigten zwei RCT's mit einem PEDro-Score von drei und sieben, die den Effekt des Dehnens vor dem Sport auf die Verletzungsprophylaxe untersuchten. Beide Studien untersuchten die Verletzungshäufigkeit an über 1000 Rekruten und kamen zum Ergebnis, dass die Interventionsgruppe weniger Verletzungen aufwies. Der Unterschied zwischen Interventions- und Kontrollgruppe war jedoch statistisch nicht signifikant. Rob D. Herbert und Michael Gabriel (2002) schlossen daraus, dass Dehnen vor einer Übung höchstwahrscheinlich keinen bedeutenden Einfluss auf die Verletzungswahrscheinlichkeit hat.

Unterstützt wird diese Annahme durch Eric Witvrouw et al. (2004) die in Ihrer Review zu dem Schluss kommen, dass Dehnen vor Sportarten, die eine hohe Zahl an Dehn-Verkürzungs-Zyklen beinhalten, das Verletzungsrisiko reduzieren könnte, und somit eine wichtige Prophylaxemassnahme ist.

4.Diskussion

In der Literatur finden sich zum Thema Dehnen und dessen Effekte auf die Muskelfunktion und Verletzungsprophylaxe widersprüchliche Ergebnisse und nur wenige aktuelle Studien. Dazu kommt, dass viele Studien von geringer^{(Cornwell, A. et al. (2002), Nelson, A. G. et al. (2005))} oder schlechter Qualität^{(Handel, M. et al. (1997))} sind und nur wenige RCT'S^{(Behm, D. G. et al. (2004), Siatras, T. A. et al. (2008), Marek, S. M. et al. (2005))} gefunden werden konnten. Die Übersicht zur Qualitätsbeurteilung kann im Anhang unter

Tabelle 2 gefunden werden. Eine weitere Schwierigkeit stellen die unterschiedlichen Samples und Interventionen dar, da die meisten Studien unterschiedliche Sportler untersuchten und verschiedene Dehndauern verwendeten, so wie unterschiedliche Muskelgruppen gedehnt wurden.

4.1. Diskussion zur Muskelfunktion

Fünf der sechs berücksichtigten Studien (Nelson, A. G. et al. (2005), Behm, D. G. et al. (2004), Siatras, T. A. et al. (2008), Marek, S. M. et al. (2005), Cornwell, A. et al. (2002)) (siehe Tabelle 1 im Anhang), welche die Effekte des Dehnens auf die Muskelfunktion untersuchten, zeigten eine Verminderung der Muskelfunktion. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass die gemessenen Werte der Verminderung nur bei drei Studien (Marek, S. M. et al. (2005), Nelson, A. G. et al. (2005), Siatras, T. A. et al. (2008)) als statistisch signifikant gelten. Um die Ergebnisse korrekt interpretieren zu können, muss sowohl das Studiendesign wie auch die Qualität der Studien berücksichtigt werden.

Peak-Torque

Es zeigt sich, dass die drei berücksichtigten RCT's unter anderem die Peak-Torque untersucht haben und eine Verminderung der Muskelfunktion aufweisen. Alle drei RCT's (Marek, S. M. et al. (2005), Nelson, A. G. et al. (2005), Siatras, T. A. et al. (2008)) sind von guter Qualität (PEDro-Score 7 bis 8 von 11) und sind im Bezug auf Intervention (statisches Dehnen vor dem Sport) und die durchgeführten Messungen (Peak-Torque) vergleichbar, wobei der Unterschied zwischen Kontroll- und Interventionsgruppe bei David G. Behm et al. (2004) als statistisch nicht signifikant gilt. Es ist jedoch zu beachten, dass diese Studie nur 16 Probanden umfasste, was das Erreichen eines signifikanten Wertes rein statistisch erschwert. Unterstützt werden diese Ergebnisse, durch die Theorien von Marek, S. M. et al. (2005), Behm, D. G. et al. (2004), Siatras, T. A. et al. (2008), Nelson, G. A. et al. (2005) und Witvrouw, E. et al. (2004) zur dehnungsbedingten Verlangsamung der Kraftübertragung. Eine nachgiebigere Muskelsehneneinheit könnte demzufolge in einem Verlust der Kraftproduktion durch eine veränderte intramuskuläre Länge (verändertes Kraft-Längen-Verhältnis) und ein damit verbundene Veränderung des Kraft-Geschwindigkeits-Verhältnisses resultieren. (Siatras, T. A. et al. (2008))

M. Handel et al. (1997) zeigten als Einzige eine signifikante Verbesserung der Peak-Torque auf, wobei sich dies nur auf die exzentrische Kraft der Knieflexoren und –extensoren bezieht. Bei der Interpretation dieser Ergebnisse ist zu beachten, dass es sich hier um eine ältere Kohortenstudie von schlechter bis geringer Qualität (PEDro-Score 3) handelt, die weniger gewichtet wird als eine randomisierte kontrollierte Studie. Ein weiterer Grund die Ergebnisse von M. Handel et al. (1997) mit Vorsicht zu betrachten ist, dass die totale Dehndauer lediglich 20 bis 30 Sekunden betrug, was nach Siatras, T. A. et al. (2008) zu keinem bedeutendem Einfluss auf die Muskelfunktion führt. Er hat in seiner Studie nachgewiesen, dass das statische Dehnen erst ab einer Dehndauer von 30 Sekunden eine signifikante Verminderung der Muskelfunktion zur Folge hat. Dazu kommt, dass M. Handel et al. (1997) die Langzeiteffekte des CR-Stretching an 16 Sportlern unterschiedlicher Sportarten (8 Schwimmer, 6 Fussballer und 2 Läufer) untersucht haben und somit nur bedingt mit den restlichen verwendeten Studien vergleichbar ist, die allesamt die Effekte des statischen Dehnens unmittelbar vor den Messungen untersucht haben.

Eine mögliche Erklärung für die Verbesserung der exzentrischen Kraft wäre, dass die von den Probanden als schmerzhaft empfundenen exzentrischen Übungen als Folge einer Erhöhung der Schmerzgrenze durch das mehrwöchige Dehnprogramm besser toleriert wurden. Dazu kommt, dass das CR-Stretching während der aktiven Phase auch eine Art isometrisches Kräftigungstraining enthält und die Verbesserung der exzentrischen Kraft somit ein Ergebnis dieses Trainings sein könnte.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sowohl die isometrische, wie auch die isokinetische Peak-Torque unmittelbar nach statischem Dehnen von mindestens 30 Sekunden negativ beeinflusst werden. Demzufolge wäre Sportlern, welche in ihrem Sport einen maximalen Kraftoutput benötigen, vom Dehnen vor dem Sport abzuraten.

Schnellkraft

Arnold G. et al. (2005) haben in ihrer Studie mit Sprintern eine Erhöhung der für einen 20-Meter-Sprint benötigten Zeit von 0.1 Sekunde gemessen, was im

Sprintsport durchaus von Bedeutung ist. Schaut man die Rangliste der Athleten an, welche am 100m Sprint Weltklasse Zürich 2008 teilgenommen haben (verfügbar unter <http://www.weltklassezurich.ch/de/medien/statistik.html>), sieht man, dass bereits wenige Tausendstelsekunden entscheidend sein können.

Im Rahmen der Literatursuche dieser Arbeit wurde keine vergleichbare Studie gefunden. Somit ist eine Interpretation dieser Ergebnisse erschwert, da kein Vergleich möglich ist. Zudem ist zu beachten, dass es sich hier um eine Kohortenstudie von geringer bis moderater Qualität handelt (PEDro-Score 4/10) und zusätzlich zu den Dehnprotokollen ein umfangreiches Aufwärmprogramm durchgeführt wurde. Somit lassen sich die gemessenen Ergebnisse nicht mit Sicherheit auf die Dehnintervention zurückführen.

Unterstützt werden die Resultate von Arnold G. et al. (2005) allerdings durch die von Nelson, G. A. et al. (2005), Behm D. G. et al. (2004), und Siatras, T. A. et al. (2008) aufgestellte Theorie der verlangsamten Kraftübertragung, welche übertragen auf die Sprintleistung eine Erhöhung der für den 20-Meter-Sprint benötigten Zeit zur Folge hätte. Daher wäre einem Sprinter vom Dehnen vor dem Sport eher abzuraten. Es bedarf allerdings noch weiterer Forschung, um eine definitive Schlussfolgerung zu treffen.

Sprunghöhe

Ebenfalls mit Vorsicht zu interpretieren sind die Ergebnisse bezüglich der Sprunghöhe. Denn auch hier wurde nur eine Studie gefunden, welche von geringer bis moderater Qualität (PEDro-Score 4/10) ist. Weiter zu beachten ist, dass die Sprünge nur über die Sprunggelenke ausgeführt wurden und es somit fraglich ist, inwiefern die Ergebnisse auf sportliche Aktivitäten übertragbar sind, da Sprünge meist unter Beteiligung der gesamten unteren Extremität ausgeführt werden. Auf Grund der geringen Qualität und des Mangels an weiteren Studien zu diesem Thema ist eine Schlussfolgerung nicht möglich. Daher muss auf dem Gebiet der Effekte des Dehnens auf die Sprunghöhe noch mehr Forschung betrieben werden.

Wenn man hingegen berücksichtigt, dass Sprünge eine maximale Kraftproduktion benötigen, läge die Schlussfolgerung nahe, dass durch die beobachtete Abnahme der Peak-Torque auch die Sprungleistung vermindert wird. Unterstützt

wird die Verminderung der Sprunghöhe auch durch die Theorie der beteiligten neuromuskulären Faktoren von Nelson, G. A. et al. (2005) und Cornwell, A. et al. (2002), woraus Nelson, A. G. et al. (2004) ableitet, dass Dehnübungen vor dem Training die Leistung bei Aktivitäten, welche Dehn-Verkürzungs-Zyklen beinhalten, durch das Hemmen von myoelektrischen Potentialen negativ beeinflussen könnte. Dem widerspricht hingegen die Theorie von Witvrouw, E. et al. (2004), dass Aktivitäten mit einem hohen Anteil an Dehn-Verkürzungs-Zyklen (zum Beispiel Sprünge) von einer nachgiebigeren Muskelsehneneinheit durch das Speichern elastischer Energie profitieren würden.

Balance, Reaktions- und Bewegungszeit

Bei der Interpretation der Ergebnisse von Behm, D. G. et al. (2004) zu den Effekten des Dehnens auf die Balance, die Reaktionszeit und die Bewegungszeit ist zu beachten, dass im Rahmen dieser Arbeit keine weiteren Studien zu diesem Thema gefunden wurden, und somit die Ergebnisse nicht vergleichbar und nur mit Vorsicht zu betrachten sind. Die Studie ist jedoch von guter Qualität (Pedro-Score 8/10). Dazu kommt dass sich die Verminderung von Balance, Reaktions- und Bewegungszeit durch die Theorie der durch Dehnen herbeigeführten neuromuskulären Mechanismen von Marek, S. M. et al. (2005), Behm, D. G. et al. (2004), Siatras, T. A. et al. (2008) erklären lassen.

Es lässt sich also sagen, dass durch statisches Dehnen vor einer Aktivität die Balance und die Reaktions- und Bewegungszeit tendenziell negativ beeinflusst werden. Es kann jedoch auf Grund des Mangels an weiteren Studien diesbezüglich keine definitive Aussage gemacht werden und es bedarf weiterer Forschung.

Des Weiteren lässt sich sagen, dass jede Sportart einen anderen Anspruch an die Muskelsehneneinheit hat und somit auch differenziert betrachtet werden sollte. Diese Problematik wird in der Literatur rege diskutiert, wobei hauptsächlich zwischen Sportarten, welche viele Dehn-Verkürzungs-Zyklen beinhalten, wie zum Beispiel Fussball, und solchen, die nur wenig Dehn-Verkürzungs-Zyklen beinhalten, wie zum Beispiel Fahrradfahren, Schwimmen und Joggen) unterschieden wird. (Witvrouw, E. et al. (2004)) Hiernach würde sich die Fähigkeit einer nachgiebigeren Muskelsehneneinheit,

Energie in erhöhtem Masse zu absorbieren, positiv auf die Kraftentwicklung bei Sportarten mit grossem Anteil an Dehn-Verkürzungs-Zyklen auswirken. Sportarten, welche nur wenig Dehn-Verkürzungs-Zyklen beinhalten und auf eine möglichst schnelle Übertragung der Kraft auf die Knochen angewiesen sind, profitierten jedoch eher von einer steifen Muskelsehneneinheit. Dies wiederum würde bedeuten, dass verschiedene Sportarten ein unterschiedliches Mass an Steifigkeit bzw. Nachgiebigkeit der Muskelsehneneinheit benötigen.^{(Witvrouw, E. et al. (2004))} Somit wäre allen Sportlern, die in ihrem Sport nur geringamplitudige Bewegungen ausführen, welche nur wenige Dehn-Verkürzungs-Zyklen beinhalten, im Bezug auf die Muskelfunktion tendenziell eher von dem Dehnen vor dem Sport abzuraten. Sportlern, welche grossamplitudige Bewegungen ausführen, die ein hohes Mass an Dehn-Verkürzungs-Zyklen beinhalten, wäre Dehnen vor dem Sport zu empfehlen. Es kann anhand der berücksichtigten Studien jedoch keine klare Aussage bezüglich spezifischen Sportarten gemacht werden, da in zwei Studien^{(Marek, S. M. et al. (2005), Behm, D. G. et al. (2004))} keine Angaben zur sportlichen Aktivität der Probanden gemacht wurden, eine Studie^{(Siatras, T. A. et al. (2008))} nicht athletische Probanden untersuchte und eine weitere Studie^{(Handel, M. et al. (1997))} Probanden, die verschiedene Sportarten ausübten, beinhaltete. Nur Nelson, A. G. et al. (2005) hat seine Untersuchungen an Probanden einer spezifischen Sportart (Sprinter) durchgeführt. Anhand der oben diskutierten Theorie und der Ergebnisse dieser Studie lässt sich sagen, dass statisches Dehnen vor dem Sprint tendenziell leistungsvermindernd wirkt.

In diesem Zusammenhang bedarf es daher weiterer Studien, welche sich spezifisch auf eine Sportart beziehen, um eine klare, sportartspezifische Aussage bezüglich des Effektes des Dehnens auf die Muskelfunktion zu ermöglichen.

Ebenfalls zu erwähnen ist, dass bis auf eine der verwendeten Studien alle das statische Dehnen unmittelbar vor einer Aktivität untersucht haben und die in dieser Arbeit beschriebenen Ergebnisse und Aussagen somit nur auf das statische Dehnen vor dem Sport zu übertragen sind. Die Effekte aller weiteren Dehnformen benötigen zusätzlicher Forschung.

4.2. Diskussion zur Verletzungsprophylaxe

Die Effekte des Dehnens wurden wie bereits erwähnt von drei systematic-Reviews und zwei Literaturübersichten thematisiert^{(Weldon, S. M. et al. (2003), Herbert, R. et al. (2002), Zahnd, F. (2005), Shrier, I. (1999), Witvrouw, E. et al. (2004))} Eine Studie^{(Weldon, S. M. et al. (2003))} (systematische Review) kam zu dem Ergebnis, dass keine definitive Schlussfolgerung möglich ist, zwei (eine systematische Review und eine Literaturübersicht) sind der Meinung, dass Dehnen keine signifikante Wirkung hat mit Tendenz zur Erhöhung des Verletzungsrisikos und zwei weitere Studien (eine systematische Review und eine Literaturübersicht) kamen zum Schluss, das Dehnen keine signifikante Wirkung mit Tendenz zur Senkung des Verletzungsrisikos aufweist. Die Interpretation dieser Schlussfolgerungen gestaltet sich schwierig, da Reviews nur schwer qualitativ zu beurteilen sind. Allgemein gilt jedoch die systematische Review als Gold-Standard der Forschung, da sie RCT's miteinander vergleicht. Literaturübersichten hingegen gelten als qualitativ schlechter als RCT's, da sie oftmals keine Angaben zum Design der berücksichtigten Studien und deren Qualitäten machen.

Die Interpretation der verwendeten Studien wird zusätzlich erschwert, indem alle drei für diese Arbeit verwendeten systematischen Reviews zu einer anderen Schlussfolgerung kommen.

Es fällt jedoch auf, dass die in den systematischen Reviews verwendeten RCT's von hoher Qualität keine Veränderung oder eine Erhöhung des Verletzungsrisikos aufzeigten, jene von geringer Qualität hingegen eine Senkung des Verletzungsrisikos aufwiesen. Dazu kommt, dass bis auf eine Review^{(Shrier, I. (1999))} keiner der Autoren Angaben zu den Kointerventionen der berücksichtigten Studien macht. Ian Shrier (1999), hat in seiner Review festgestellt, dass alle von ihm verwendeten Studien, welche positive Effekte aufwiesen, komplette Programme mit vielen Kointerventionen untersuchten. Wurde hingegen nur das Dehnen alleine untersucht, konnte kein signifikanter Unterschied zwischen der Kontroll- und der Interventionsgruppe festgestellt werden.

Beim Auswerten der Studienergebnisse ist ebenfalls zu beachten, dass verschiedene Sportarten unterschiedliche Ansprüche an die Eigenschaften der Muskelsehneneinheit haben und Dehnen auf jede Sportart einen anderen Einfluss hat^{(Witvrouw, E. et al. (2004))}, was die widersprüchlichen Ergebnisse erklären könnte. Unter Berücksichtigung dieser Tatsache müssten sich alle Studien auf eine spezifische Sportart beziehen

und es müsste noch viel Forschung betrieben werden, um für jede Sportart eine klare Aussage bezüglich des Effektes des Dehnens auf die Verletzungsprophylaxe zu ermöglichen.

Eine Verminderung des Verletzungsrisikos bei Sportarten mit hohem Anteil an Dehn-Verkürzungs-Zyklen liesse sich durch die Theorie von Witvrouw, E. et al. (2004), erklären. Es lässt sich daraus ebenfalls schliessen, dass Dehnen bei Sportarten wie Schwimmen und Fahrrad fahren mit wenig Dehn-Verkürzungs-Zyklen keinen positive Wirkung zeigt. Hierfür spricht, dass solche Sportarten nur wenig der Energie absorbierenden Kapazität benötigen und nur ein geringes Verletzungsrisiko aufweisen. Somit wäre in Anbetracht der bereits erwähnten Verlangsamung der Kraftübertragung Sportlern, die wenige Dehn-Verkürzungs-Zyklen ausführen, vom Dehnen vor dem Sport abzuraten. Dem wiederum widerspricht die Theorie von Zahnd, F. (2005), nach der eine erhöhte Beweglichkeit keinen Einfluss auf das Verletzungsrisiko hat.

Auf Grund der widersprüchlichen Aussagen und des Mangels an aktuellen RCT's sowie den widersprüchlichen Hypothesen zu den möglichen verletzungsrisikobeeinflussenden Mechanismen kann keine Schlussfolgerung bezüglich der Effekte des Dehnens auf die Muskelfunktion gezogen werden.

5. Schlussteil

5.1. Schlussfolgerung

Die Auswertung der eingeschlossenen Studien lässt den Schluss zu, dass sowohl die isometrische, wie auch die statische Peak-Torque unmittelbar nach statischem Dehnen von 30-sekündiger Dauer negativ beeinflusst werden und somit die Muskelfunktion beeinträchtigt wird.

In Bezug auf die Schnellkraft, die Sprunghöhe, die Balance und die Reaktions- und Bewegungszeit kann auf Grund fehlender Vergleichsmöglichkeiten keine definitive Schlussfolgerung gezogen werden und es bedarf auf diesen Gebieten weiterer Forschung. Es lässt sich jedoch sagen, dass statisches Dehnen vor dem Sport tendenziell eher eine negative Auswirkung auf Schnellkraft, Sprunghöhe, Balance und Bewegungs- und Reaktionszeit haben könnte.

Im Bezug auf die Verletzungsprophylaxe ist auf Grund der Heterogenität und der Widersprüchlichkeit, so wie auf Grund des Mangels an aktuellen RCT's keine Schlussfolgerung möglich.

Die Unklarheiten könnten darauf zurückzuführen sein, dass jede Sportart einen anderen Anspruch an die Eigenschaften der Muskelsehneneinheit hat, und somit die spezifischen Sportarten differenziert betrachtet werden sollten.

Die Literatur zeigt des Weiteren, dass Sportarten, welche ein hohes Mass an Dehn-Verkürzungs-Zyklen beinhalten, von einer flexibleren Muskelsehneneinheit profitieren. Solche, die nur wenige Dehn-Verkürzungs-Zyklen beinhalten profitieren eher von einer steifen Muskelsehneneinheit.

Demzufolge ist allen Sportlern, die in ihrem Sport nur geringamplitudige Bewegungen ausführen, welche nur wenige Dehn-Verkürzungs-Zyklen beinhalten, im Bezug auf die Muskelfunktion vom Dehnen vor dem Sport abzuraten. Sportlern, welche grossamplitudige Bewegungen ausführen, die ein hohes Mass an Dehn-Verkürzungs-Zyklen beinhalten, wäre Dehnen vor dem Sport eher zu empfehlen. Es kann anhand der berücksichtigten Studien jedoch keine klare Aussage bezüglich spezifischen Sportarten gemacht werden

Ebenfalls bleibt die Frage offen, ob die Steifigkeit der Muskelsehneneinheit überhaupt durch Dehnen beeinflusst werden kann.

Es bedarf demzufolge weitere Studien, die sich auf spezifische Sportarten beziehen, um eine klare sportartspezifische Aussage bezüglich der Effekte des Dehnens auf die Muskelfunktion und die Verletzungsprophylaxe zu ermöglichen.

6. Verzeichnisse

6.1. Literaturverzeichnis

- Behm, D. G., Barmury, A., Cahill, F., Power, K. (2004). Effect of acute static stretching on force, balance, reaction time and movement time. *Medecin & Sience in Sport & Exerciese*, 1397 – 1402.
- Cornwell, A., Nelson, A. G., Sidaway, B. (2002). Acute effects of stretching on the neuromechanicalproperties of the trizeps surae muscle complex. *European journal of Applied Physiology*, 86, 428 – 434.
- De Deyne, P. (2001). Application of passive stretch and its implications for muscle fibers. *Physical Therapy*, 81(2), 819 – 827.
- Handel, M., Horstmann, T., Dickhut, H.-H., Gülch, R. W. (1997). Effects of contract-relax stretching training on muscle performance in athlets. *European Journal of Applied Physiologie*, 76, 400 – 4008.
- Hencky, H. (1928). Über die Form des Elastizitätsgesetzes bei ideal elastischen Stoffen. *Zeitschrift für technische Physik*, 9, 215-220
- Herbert, R., Gabriel, M. (2002). Effects of stretching before and after exercising an muscle soreness and risk of injury: systematic review. *BMJ*
- Jones, D., Roud, J., & de Haan, A. (2004). *Skeletal Muscle from Molecules to movement. A Textbook of Muscle Physiology for Sport, Exercise, Physiotherapy and Medicine*. London: Elsevier Limited.
- Marek, S. M., Cramer, J. T., Fincher, A. L., Massey, L. L., Dangelmaier, S. M., Purkayastha, S., Fitz, K. A., Culertson, J. Y. (2005). Acute effects of static and proprioceptive neuromuscular facilitation stretching on muscle strength and power output. *Journal of Athletic Training*, 40(2), 94 – 101.
- Nelson, A. G., Driscoll, N. M., Landin, D. K., Young, M. A., Schexnayder, I. C. (2005). Acute effects of passive muscle stretching on sprint performance. *Journal of Sport Science*, 23(5), 449 – 454.
- Schrimpf, M. (2009). *Skript Rückenmarkaufbau und Physiologie des motorischen Systems 1*

- Shrier, I. (1999). Stretchin before exercise does not reduce the risk of local muscle injury: A critical review of the clinical and basic science literature. *Clinical Journal of Sports Medicine*, 9, 221 – 227.
- Siatras, T. A., Mitta, V. P., Mameletzi, D. N., Vamvakoudis, E. A. (2008). The duration of the inhibitory effects witch static stretching on quadrizeps peak torque production. *Journal of Strength and Conditioning Researche*, 22(1), 40 – 46.
- Van den Berg, F. (2003). *Angewandte Physiologie 1 Das Bindegewebe des Bewegungsaparates verstehen und beeinflussen*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Weldon, S. M., Hill, R. H. (2003). The efficacy of stretching for prevention of exercise-related injury: a systematic review of literature. *Manual Therapy*, 8(3), 141 – 150.
- Witvrouw, E., Mahieu, N., Danneels, L., Mc Nair, P. (2004). Stretching and injury prevention an obscure relationship. *Sports Medicine*, 34(7), 443 – 449.
- Zahnd, F. (2005). Stretching – Suche nach Erklärungen. *Manuelle Therapie*, 9, 171 – 178.

6.2. Internetquellen

- Christoph Mielke. *Kraft* [On-Line]. Available: <http://user.phil-fak.uni-duesseldorf.de/~wastl/Wastl/Training/TL03-Kraft01.PDF> (26.03.2009).
- Klee, A., Wiemann, K. *Methoden und Wirkungen des Dehnungstrainings* [On-Line]. Available: <http://www2.uniwuppertal.de/FB3/sport/bewegungslehre/wiemann/Klee%20Wiemann%20Oostende2.pdf> (10.02.2009).
- Noack Prof. Dr., Uni-Rostock Vorlesung Physiologie. *T- und H- Reflex* [On-Line]. Available: <http://physiologie.med.uni-rostock.de/nur/2sem/motorik/1080.html> (26.03.2009).
- Weltklasse Zürich (2008). *Statistik* [On-Line]. Available: <http://www.weltklassezurich.ch/de/medien/statistik.html>

6.3. Abbildungsverzeichnis

Fotos Titelblatt: Wullschleger Jasmin (Eigenproduktion)

- Abb. 1: Jones, D., Roud, J., & de Haan, A. (2004). *Skeletal Muscle from Molecules to movement. A Textbook of Muscle Physiology for Sport, Exercise, Physiotherapy and Medicine*. London: Elsevier Limited.
(Die Bilder wurden der beigelegten CD-Rom entnommen)
- Abb. 2: Jones, D., Roud, J., & de Haan, A. (2004). *Skeletal Muscle from Molecules to movement. A Textbook of Muscle Physiology for Sport, Exercise, Physiotherapy and Medicine*. London: Elsevier Limited.
(Die Bilder wurden der beigelegten CD-Rom entnommen)
- Abb. 3: Jones, D., Roud, J., & de Haan, A. (2004). *Skeletal Muscle from Molecules to movement. A Textbook of Muscle Physiology for Sport, Exercise, Physiotherapy and Medicine*. London: Elsevier Limited.
(Die Bilder wurden der beigelegten CD-Rom entnommen)
- Abb. 4: De Deyne, P G. (2001). Application of passive stretch and its implications for muscle fibers. *Physical Therapy, Volume 7, Number 2*, 819 – 827.
- Abb. 5: Siatras, T. A., Mittas, V. P., Mameletzi, D. N. & Vamakoudis, E. A. (2008). The duration of the inhibitory effects with static stretching on quadriceps peak torque produktion. *Journal of Strength and Conditioning Association*, 22(1), 40 – 46.

7. Eigenständigkeitserklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig, ohne Mithilfe Dritter und unter Benützung der angegebenen Quellen verfasst habe.

Datum und Ort:

Unterschrift:

8. Anhang

8.1. Tabelle 1: Übersicht der Studien bezüglich Muskelfunktion

Autor	Studien- typ	Sample	Intervention	Was wurde getestet / Un- tersucht?	Ergebnisse	PEDro Scale Score
Nelson, A. G. et al. (2005)	Kohor- tenstudie	16 Athleten des Louisiana State University Nationalteam (11 Männer (21±2 J.), 5 Frauen (19±1 J.)), die mindestens seit 2 Jahren Sprintstarts trainieren	<p>> Warm-up: 800m joggen, Vorwärts-sprünge (4x30m), Sprünge zur Seite (im Scherenschritt) (4x30m) und Rückwärtssprünge (4x30m)</p> <p>> 4 verschiedenen Dehnprotokolle:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. NS (kein Stretching) 2. BS (Stretching beider Beine) 3. FS (nur vorderes Bein der Startposition wurde gedehnt) 4. RS (nur hinteres Bein der Startposition wurde gedehnt) <p>> statische Dehnung von 4x30s. pro Muskelgruppe</p> <p>> Gedehnte Muskeln: Ischiokruralmuskulatur, Quadrizeps und Trizeps surae</p>	<p>Sprint performance (20m Sprint)</p> <p>> Zeitmessung des 20m Sprints</p>	Nach vorgängiger Dehnung (BS, FS und RS) waren die Sportler rund 0.1 Sekunde langsamer (P=0.009 → statistisch signifikant).	4

Effekte des Dehnens auf die Muskelfunktion und die Verletzungsprophylaxe

Behm, D. G. et al. (2004)	RCT	16 gesunde männliche Universitätsstudenten (24.1 ± 7.4 J.) randomisierte Gruppenzuordnung.	<p>> 5 min warm-up auf Veloergometer</p> <p>> statische Dehnung des M. Quadrizeps, Hamstrings und der Plantarflexoren. 3x45sek.</p>	<p>> isometrische Kraft (MVC = maximal willentliche Kontraktion)</p> <p>> Statische Balance</p> <p>> Reaktions- und Bewegungszeit</p> <p>> Kraftanpassung (Fähigkeit 30% und 50% der Maximalkraft zu generieren.)</p>	<p>Die Ergebnisse der Kraftmessung waren bei der Interventionsgruppe 1.6% schlechter als bei der Kontrollgruppe → statistisch nicht signifikant</p> <p>Auch die Kraftanpassung zeigte keine signifikante Unterschiede.</p> <p>Während die Kontrollgruppe eine signifikante Steigerung der Balancefähigkeit um 17.3% zu beobachten war ist diejenige der Interventionsgruppe um 2.2% gesunken (nicht signifikant).</p> <p>Die Reaktions- und Bewegungszeit der Interventionsgruppe ist um 11% bzw. 13.8% langsamer als die der Kontrollgruppe.</p>	8
Siatras, T. A. et al. (2008)	RCT	50 männliche, nicht athletische Studenten (19 bis 23 J.) wurden randomisiert in 5 Gruppen eingeteilt	<p>> 5 Minuten warm-up auf Veloergometer</p> <p>> Jede Interventionsgruppe führte eine statische Dehnung des M. quadrizeps von unterschiedlicher Dauer aus. (10, 20, 30 oder 60 Sekunden)</p>	<p>> Kniegelenksbeweglichkeit</p> <p>> Isometrische und isokinetische Peak-Torque</p>	<p>Es zeigten sich erst nach 30 und 60sekündiger Dehnung eine signifikante Verbesserung der Beweglichkeit und eine signifikante Reduktion der Isometrischen und der Isokinetischen Peak-torque</p>	8

Effekte des Dehnens auf die Muskelfunktion und die Verletzungsprophylaxe

Handel, M. et al. (1997)	Kohortenstudie	16 männliche Athleten davon 8 Schwimmer, 6 Fussballer, 2 Langstreckenläufer (23.6 ± 3.6 J.)	<ul style="list-style-type: none"> > 5 min warm-up auf Veloergometer vor jeder Testserie > 10-minütiges Contract-Relax-Dehnprogramm, das an 3 Tagen die Woche während acht Wochen durchgeführt wurden. > Es wurden die Knieflexoren und -extensoren eines Beines gedehnt 	<ul style="list-style-type: none"> > aktive und Passive ROM > isokinetische und isometrische Peak-Torque > Oberflächen EMG 	Es zeigte sich eine Verbesserung der aktiven und passiven Beweglichkeit in Flexion und in Extension und eine signifikante Erhöhung der isometrischen und isokinetischen Peak-Torque der Flexoren.	3
Marek, S. M. et al. (2005)	RCT	10 Frauen (23.3 ± 3 J.), 9 Männer (21 ± 3 J.)	<ul style="list-style-type: none"> > 5 min warm-up auf einem Veloergometer > statisches oder PNF Dehnen des M. quadrizeps des dominanten Beins (4x30sec.) 	<ul style="list-style-type: none"> > max. konzentrisch isokinetische Peak-Torque > durchschnittliche Muskelleistung > EMG > MMG 	Nach statischem Dehnen hat sich die Peak-Torque um 1.9 Nm und die durchschnittliche Leistung um 4.4 Nm verringert (bei einer Geschwindigkeit von 300°s ⁻¹) Die EMG-Amplitude hat sich nach dem statischen Dehnen verringert wogegen sich die MMG-Amplitude vergrößert hat.	7
Andrew Cornwell, A. et al. (2002)	Kohortenstudie	10 Männer (22.5 ± 1.84 J.), die noch nie eine trizeps surae Verletzung hatten.	> zwei verschiedene Dehnungen des M. trizeps surae (je Dehnung 3x30s)	<ul style="list-style-type: none"> > aktive Steifigkeit des M. trizeps surae Muskel-Sehnen-Komplex > passive ROM des oberen- und unteren Sprunggelenkes. > statische Sprunghöhe > Sprunghöhe bei vorangehender Gegenbewegung (Vordehnung) > EMG 	Die Sprünge mit Vordehnung wiesen nach der Durchführung der Dehnprotokolle um 1.9% signifikant tiefer aus. Bei der statischen Sprunghöhe konnten jedoch keine Unterschiede festgestellt werden. Die aktive Steifheit verminderte sich von 30.53 kN/m signifikant auf 29.69 kN/m	4

8.2. Tabelle 2: Qualitätsbeurteilung

Pedro Scale Kriterium	Behm, D. G. et al. (2004)	Handel, M. et al. (1997)	Cornwell, A. et al. (2002)	Marek, S. M. et al. (2005)	Nelson, A. G. et al. (2005)	Siatras, T. A. et al. (2008)
1. Die Ein- und Ausschlusskriterien wurden spezifiziert	Ja	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja
2. die Probanden wurden den Gruppen randomisiert zugeordnet	Ja	Nein	Nein	Ja	Nein	Ja
3. Die Zuordnung zu den Gruppen erfolgte verborgen	Ja	Nein	Nein	Ja	Nein	Ja
4. Zu Beginn der Studie waren die Gruppen bzgl. Der wichtigsten prognostischen Indikatoren einander ähnlich	Ja	Nein	Ja	Nein	k.A.	Ja
5. Alle Probanden waren geblindet	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
6. Alle Therapeuten, die eine Therapie durchgeführt haben waren geblindet	Nein	Nein	Nein.	Nein	Nein	Nein
7. Alle Untersucher, die zumindest ein zentrales Outcome gemessen haben, waren geblindet	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
8. Von mehr als 85% der ursprünglichen Gruppen zugeordneten Probanden wurde zumindest ein zentrales Outcome gemessen	Ja	k.A.	k.A.	Ja	k.A.	Ja
9. Alle Probanden, für die Ergebnismessungen zur Verfügung standen, haben die Behandlung oder Kontrollanwendung bekommen wie zugeordnet oder es wurden, wenn dies nicht der Fall war, Daten für zu mindest ein zentrales Outcome durch eine, intention to treat Methode analysiert	Ja	k.A.	Ja	Ja	k.A.	Ja
10. Für mindestens ein zentrales Outcome wurden die Ergebnisse statistischer Gruppenvergleiche berichtet	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
11. Die Studie berichtet sowohl Punkt- als auch Streumasse für zumindest ein zentrales Outcome	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Pedro Score	8	3	4	7	4	8