



universität
wien

DIPLOMARBEIT / DIPLOMA THESIS

Titel der Diplomarbeit / Title of the Diploma Thesis

„Core Stability Training – Bedeutung der Rumpfstabilität
im Rahmen der Verletzungsprophylaxe – eine
systematische Literaturübersicht“

verfasst von / submitted by

Daniel Peham

angestrebter akademischer Grad / in partial fulfilment of the requirements for the degree of
Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer.nat.)

Wien, 2019 / Vienna, 2019

Studienkennzahl lt. Studienblatt /
degree programme code as it appears on
the student record sheet:

A 190 482 456

Studienrichtung lt. Studienblatt /
degree programme as it appears on
the student record sheet:

Lehramtsstudium
UF Bewegung und Sport
UF Geographie und Wirtschaftskunde

Betreut von / Supervisor:

Univ. -Prof. Mag. Dr. Harald Tschan

Danksagung

Zu Beginn möchte ich mich bei all jenen Bedanken, die es mir ermöglicht haben, mein Studium und somit auch diese Arbeit zu Ende zu führen. Zuallererst möchte ich meinen Eltern danken, die es mir ermöglicht haben, in Wien ein Studium zu absolvieren und mich stets in allem unterstützt und gefördert haben. Sie haben mich auf meinen Lebensweg so weit es ging begleitet und mir jegliche Ausbildung befürwortend ermöglicht, die ich absolvieren wollte. Ich bin stolz und dankbar Sie zu haben.

Ein weiterer Dank gilt meiner Freundin, die mich vor allem in den letzten Monaten unterstützt hat und mir immer wieder die Motivation gab, die ich benötigte um auch diese letzte Hürde zu bewältigen.

Besonderen Dank möchte ich auch meinem Diplomarbeits-Betreuer Univ.-Prof. Mag. Dr. Harald Tschan aussprechen, sowohl für die Bereitstellung des Themas, die Betreuung, als auch für die unkomplizierte Abwicklung.

Alles in allem, möchte ich auch noch allen anderen Danke sagen, die mich die letzten fünf Jahre durch die Höhen und Tiefen, die ein Studium mit sich bringt, begleitet und es zu einem unvergesslichen Erlebnis gemacht haben.

Zusammenfassung

Hintergrund: Einer guten Core-Stabilität (CS) wird in der Trainingspraxis ein hoher Stellenwert in der Verletzungsprophylaxe zugeschrieben, andererseits scheint aber ein Zusammenhang zwischen instabiler Rumpfmuskulatur und Verletzungsinzidenz nicht eindeutig gegeben zu sein.

Ziel: Ziel der Diplomarbeit ist es die Bedeutung eines Trainings der Rumpfstabilität hinsichtlich seiner Wirksamkeit im Rahmen der Verletzungsprävention an Hand einer systematischen Literaturübersicht zu beleuchten.

Methodik: Für die Erstellung der systematischen Literaturübersicht, wurden die beiden Datenbanken „PubMed“ und „Web of Science“, nach einem einheitlichen Suchstring, durchsucht und in mehreren Schritten systematisch Aussortiert. Die eingeschlossenen Studien mussten den Zustand der ProbandInnen (Core Stabilität, Verletzungen, oder biomechanische Parameter der unteren Extremitäten) zumindest einmal durch einen geeigneten Test messen, um einen Vergleich zwischen zwei Gruppen zu ermöglichen, oder an mindestens zwei Zeitpunkten eine Erhebung durchführen, um Interventionen beurteilen zu können. Somit wurden insgesamt 12 Studien in die Analyse eingeschlossen, wobei fünf Studien den Einsatz eines Core-Stabilitäts-Training (CST) hinsichtlich der Veränderungen der Biomechanik der unteren Extremitäten untersuchten, vier Studien durch Trainingsinterventionen die Auswirkungen auf die Verletzungsinzidenz untersuchten und drei Studien die Resultate von Messungen/Tests hinsichtlich verschiedener Prädiktoren (bspw. der CS) analysierten, die in Beziehung zu Verletzungen der unteren Extremitäten stehen. Die Qualität der Studien wurde mit der Newcastle-Ottawa Skala (NOS) bestimmt und die Ergebnisse wurden neben der Qualität auch hinsichtlich der Parameter „ProbandInnen“, „Interventionen“ und „Ergebnisse“ beurteilt.

Ergebnisse: Die Hälfte der eingeschlossenen Studien, bestätigte dass ein negativer Zusammenhang zwischen der Core Stabilität und Verletzungen der unteren Extremitäten, insbesondere des Knies, besteht. Weitere fünf Studien konnten auf Grund von zusätzlichen Interventionen, denselben Zusammenhang nicht eindeutig bestätigen. Eine weitere Studie wies nur in Kombination mit anderen Parametern einen Zusammenhang zu Verletzungen der unteren Extremitäten auf und wurde durch NOS mit „poor“ beurteilt.

Limitationen: Durch die geringe Anzahl an Studien und den zusätzlich meist kleinen Kohortengrößen der Studien, wird die Aussagekraft der Studien und generell der systematischen Literaturübersicht eingeschränkt.

Schlussfolgerungen: Ein CST scheint sich insbesondere in den Sportsportarten als effektive Intervention zur Reduktion der Verletzungsinzidenz der unteren Extremitäten eignen, wobei es in Bezug auf Knieverletzungen besonders effektiv zu sein scheint. Dennoch bedarf es weiterer, Untersuchungen. Zum einen mit einer größeren Anzahl an ProbandInnen, um die Evidenz der Ergebnisse zu stärken und zum anderen mit Interventionen die ausschließlich Übungen zur Verbesserung der CS beinhalten.

Abstract

Background: Good core stability (CS) is considered a high priority in injury prevention practice, but on the other hand there seems to be no correlation between unstable core musculature and injury incidence.

Objective: The aim of the diploma thesis is to elucidate the importance of a training of core stability with regard to its effectiveness in the context of injury prevention, by means of a systematic literature review.

Methods: To create the systematic literature review, the two databases "PubMed" and "Web of Science" were searched for a consistent search string and systematically sorted out in several steps. The included studies had to measure the condition of the subjects (core stability, injuries, or biomechanical parameters of the lower extremities) at least once by a suitable test to allow comparison between two groups or had to perform a survey for at least two times to assess interventions. Thus, a total of 12 studies were included in the analysis, with five studies examining the use of Core Stability Training (CST) for changes in lower limb biomechanics, four studies using training interventions to investigate the effects on injury incidence and three studies evaluating the results of measurements / tests on various predictors (such as the CS) that are related to lower extremity injuries. The quality of the studies was determined using the Newcastle-Ottawa scale (NOS) and the results were evaluated in addition to the quality through the parameters "subjects", "interventions" and "results".

Results: Half of the included studies confirmed that there is a negative correlation between core stability and lower extremity injuries, especially injuries of the knee. Another five studies could not clearly confirm the same connection due to additional interventions. Another study was related to lower extremity injuries only in combination with other parameters and was rated "poor" by NOS.

Limitations: Due to the small number of studies and the mostly small cohort sizes of the studies, the meaningfulness of the studies and consequently of the systematic review in total is limited.

Conclusions: A CST seems to be an effective intervention to reduce the incidence of lower limb injury, especially in playing sports, with an particularly effectiveness in terms of knee injuries. Nevertheless, further investigations are needed. On the one hand a larger number of test persons is needed to strengthen the evidence of the results and on the other hand interventions should exclusively include exercises to improve the CS.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	7
1.1 Aufbau der Arbeit.....	8
1.2 Fragestellungen.....	9
2 Definition Core.....	10
3 Core-Muskulatur	13
3.1 Bestimmung der Core-Muskulatur.....	13
3.2 Unterteilung der Core-Muskulatur.....	26
4 Core-Stabilität.....	39
4.1 Definition Core-Stabilität.....	39
4.2 Messformen der Core-Stabilität.....	50
4.2.1 Core Endurance Tests McGill.....	52
4.2.2 Side Bridge Test.....	53
4.2.3 Flexor Endurance Test / Straight Leg Lowering Test.....	54
4.2.4 Extensor Endurance Test.....	55
4.2.5 Modified Biering-Sorensen Test.....	55
4.2.6 Sahrmann Assessment Protocol.....	56
4.2.7 Trunk Stability Push up Test	58
4.2.8 Alternative Trunk Stability Push up Test.....	59
4.2.9 Sportspezifischer Core-Muskeltest nach Mackenzie.....	61
4.2.10 Adaptierter Sportspezifischer Core-Muskeltest nach Tong, Wu & Nie.....	61
4.2.11 Quadruped Arm-raise Test.....	63
4.2.12 Star Excursion Test.....	66
4.2.13 Y Balance Test.....	68
4.3 Core-Stabilitäts-Training.....	70
5 Verletzungen der unteren Extremitäten.....	84
5.1 Definition und Abgrenzung der unteren Extremitäten.....	84
5.2 Statistiken zu Verletzungen der unteren Extremitäten.....	85

6 Verletzungsprävention.....	88
6.1 Definition der Verletzungsprävention	88
6.2 Allgemeines zur Verletzungsprävention.....	88
7 Vergleich von Studien.....	90
7.1 Methoden.....	90
7.1.1 Systematischer Review.....	90
7.1.2 Datenbankrecherche.....	91
7.1.3 Ein- und Ausschlusskriterien für die Auswahl der Studien.....	94
7.1.3.1 Studiendesign.....	94
7.1.3.2 Population.....	94
7.1.3.3 Studiendurchführung.....	94
7.1.3.4 Untersuchungsparameter.....	95
7.1.3.5 Ausschlusskriterien.....	95
7.1.4 Eingeschlossene Studien.....	96
7.2 Ergebnisse	97
7.3 Diskussion und Interpretation der Ergebnisse.....	111
7.4 Limitationen der Studien.....	128
8 Ausblick.....	128
Literaturverzeichnis.....	130
Eingeschlossene Studien.....	138
Ausgeschlossene Studien.....	140
Abkürzungsverzeichnis.....	145
Tabellenverzeichnis.....	147
Abbildungsverzeichnis.....	147
Eidesstattliche Erklärung.....	149
Anhang.....	150

1 Einleitung

In Anbetracht seiner großen Beliebtheit im Fitnessbereich ist es laut Nelson (2012) erstaunlich, dass kein klarer Konsens darüber besteht was unter „core stability training“ – also einem Training der Rumpfmuskulatur tatsächlich zu verstehen ist und auch die Meinung darüber welche Muskeln mit dieser Trainingsform trainiert werden sollen erfolgt keineswegs einheitlich. Auch McNeill, 2010 weist darauf hin, dass der Terminus „core stability“ nicht präzise ist und unterschiedlich ausgelegt bzw. interpretiert werden kann. Es verwundert also nicht, dass es auch keinen Konsens über die Rolle der Core-Stabilität im Rahmen der Verletzungsprävention gibt.

Für bestimmte Verletzungen wurden zwar die Ursachen schon ausführlich aufgearbeitet und geklärt. De Blaiser et al. 2018 weist beispielsweise den erhöhten Knieabduktionswinkels und das daraus resultierende erhöhte Knieabduktionsmoments während der Bewegung, als Prädiktoren für Verletzungen des vorderen Kreuzbandes bei Sportlerinnen aus. Dennoch gibt es einige Zusammenhänge, insbesondere den eines instabilen Rumpfes und Verletzungen der unteren Extremitäten, die noch intensiver beforscht werden müssen. (vgl. Huxel Bliven & Anderson, 2013).

Wie vor kurzem De Blaiser et al. (2018) feststellte hat sich jedoch in den letzten 10 Jahren ein reges Interesse an diesem Thema entwickelt, weshalb die Frage nach einer Zusammenfassung der zu diesem Thema erbrachten Studien laut geworden ist. Zur Darlegung des aktuellen Stands der Forschung, wurde diese Diplomarbeit verfasst.

Dabei liegt das primäre Interesse, in der Aufarbeitung des Konnex zwischen der Core-Stabilität, genauer dem Core-Stabilitäts-Training und der Prävention von Verletzungen der unteren Extremitäten.

Die Frage nach dem Grund der Analyse der unteren Extremitäten, klärt sich spätestens bei der Betrachtung verschiedenster Unfallstatistiken und Statistiken von Sportverletzungen. So ergab eine Langzeiterhebung der NCAA, welche über einen Zeitraum von 16 Jahren (1988-1989 bis 2003-2004) insgesamt 182000 Verletzungen und etwas mehr als 1 Million Aufzeichnungen von Spielen/Trainings untersuchte, dass rund 54% der Verletzungen, sowohl in Spielen, als auch in Trainings, Verletzungen der unteren Extremitäten darstellen. (vgl. Hootman, Dick & Agel, 2007)

1.1 Aufbau der Arbeit

In den ersten Kapitel der Arbeit gilt es die „Theoretischen Grundlagen“ zu erläutern, um im Anschluß relevante Studien, auf einer einheitlichen Wissensbasis vergleichen zu können.

Dabei gilt es in einem ersten Schritt den „Core“ als solchen zu bestimmen und abzugrenzen, da trotz des vorhandenen Interesses bezüglich dieser Thematik, bis dato kein einheitliches und wissenschaftlich anerkanntes Konzept vorliegt. (vgl. Key, 2013).

Zusätzlich zu einer Gegenüberstellung von bestehenden Konzepten, die primär die Aufgaben und Funktion des Core offen legen, liegt hier ein besonderes Augenmerk, auf der am Core beteiligten Muskulatur. Am Ende dieses Kapitels wird versucht, aufbauend auf die betrachteten Definitionen und Erklärungen verschiedener Autoren, eine eigene Definition des Core's zu erstellen. Eine wissenschaftlich anerkannte und allgemein gültige Definition lässt sich jedoch auf Grund des nur eingeschränkten Zugangs zu Literatur und der sich daraus ergebenden Unvollständigkeit, nicht ableiten.

Daran anschließend stellt sich die Frage der Feststellung der Core-Stability (Rumpfstabilität). Nach der Begrifflichen Abgrenzung und Definition, ist hier vor allem die Messbarkeit und Trainierbarkeit von Interesse. Da auch dieser Begriff keiner einheitlichen Definition unterliegt, wie bereits Huxel Bliven und Anderson (2013) feststellen, so ist es wenig verwunderlich, dass die Frage der Trainierbarkeit und Messbarkeit der Core-Stability ebenfalls noch nicht vollständig geklärt ist.

Dabei herrscht nach Huxel Bliven und Anderson (2013), insbesondere hinsichtlich der Effektivität der verschiedenen Übungen zur Verbesserung der Rumpfstabilität, Uneinigkeit. Faries & Greenwood (2007) bemängeln zusätzlich die Bewertung und Messbarkeit der Rumpfstabilität.

Folglich werden, wie im vorherigen Teil, auch in diesem Abschnitt primär Literaturquellen miteinander verglichen, um einen Überblick über diese Thematik zu erhalten.

In einem nächsten Schritt werden mögliche Verletzungen der unteren Extremitäten klassifiziert, bevor kurz auf den Begriff der Verletzungsprävention eingegangen wird.

Dieser Teil schließt die Erläuterung der „theoretischen Grundlagen“ ab und bildet den Übergang zu den vorliegenden Studien zum Thema. Zudem stellen die hier näher behandelten Konzepte und Begriffe, die Basis zur Beantwortung der Forschungsfrage dar.

1.2 Fragestellungen

Im Zuge der Aufarbeitung der Thematik, ergaben sich zusätzlich zur grundlegenden Forschungsfrage, folgende wissenschaftliche Fragestellungen:

- Was genau ist der „core“ und welche Funktion/en wird/werden diesem zugeschrieben?
- Welche Muskeln/Muskelgruppen gehören zum „core“ und wie können diese unterteilt werden?
- Was versteht man unter Core-Stabilitäts-Training und welche Methoden gibt es, um die Core-Stabilität zu messen?
- Gibt es einen Zusammenhang zwischen Trainingsinterventionen zur Verbesserung der Core-Stabilität und der Prävention von Verletzungen der unteren Extremitäten?

Ziel des zweiten Teils der Arbeit ist die Klärung der hier zuletzt angeführten Hauptforschungsfrage, sprich der Rolle der Core-Stabilität, bei der Verletzungsprävention der unteren Extremitäten. In Form eines systematischen Literaturreviews werden die Suchergebnisse gesammelt und nach deren Relevanz aussortiert. Die übriggebliebenen Arbeiten werden im Anschluss analysiert und dessen Aussagekraft wird bewertet. Abschließend werden die Ergebnisse dargestellt und es wird versucht die Forschungsfrage zu beantworten. Damit soll ein Überblick über den momentanen Stand der Wissenschaft geschaffen werden.

Da dieses Forschungsfeld nach De Blaiser et al. (2018) erst in den letzten Jahren in den Fokus einzelner Untersuchungen gerückt ist, wird von keinem eindeutigen Ergebnis ausgegangen. Abschließend stellt sich somit auch die Frage nach der Aussagekraft und möglicherweise der Limitation der bis jetzt vorliegenden und betrachteten Studien.

2 Definition Core

Wie bereits Key (2013) sagte, ist es trotz des Interesses am „Core“, schwierig eine prägnante Definition für ihn zu finden. Zudem seien stark vereinfachte und inkorrekte Beschreibungen des Core in der Öffentlichkeit verbreitet. Dabei wird der „Core“ oftmals fälschlich auf die Muskulatur des Bauches reduziert, obwohl diese Annahme keineswegs wissenschaftlich fundiert ist. (vgl. McGill, 2009)

Auch Joseph Pilates Arbeit ist mit dem Konzept des Core verbunden, obwohl er den Begriff selbst nie verwendet hat. Sein Interesse galt der körperlichen Fitness und der vollständigen Koordinierung von Körper Geist und Seele, sprich einer guten Haltung, Flexibilität und Vitalität. Seine Übungen sind Kräftigungsübungen mit oft hohen Lasten „high loads“ und einem starken Fokus auf die Aktivierung der Bauch- (in Lumbarflexion) und Gesäßmuskeln durch die Atmung. Spätere VerbreiterInnen seiner Methode verwenden den Begriff "powerhouse", der die Bauch-, Gesäß- und die untere Rückenmuskulatur im Kollektiv beschreibt. Das "powerhouse" gilt hier als Zentrum der Kraft und Kontrolle für den Rest des Körpers. Pilates-PraktikerInnen bezeichnen diese Region auch als "girdle of strength", oder als "core muscles". Somit ist nachzuvollziehen woher die begriffliche Verwirrung stammt und wie es zu einer Synonymisierung der ursprünglich durch Josef Pilates verwendeten Begriffe mit dem Begriff des „Core“ kommen konnte. Hier ist zudem zu beachten, dass der Begriff "powerhouse" eher auf eine "extrinsische" Kontrolle verweist und somit das Risiko besteht, dass die Kontrolle von Innen übersehen wird. (vgl. Key, 2013)

Ebenfalls lange bevor sich „der Core“ als Konzept einen Namen machte, hat Ida Rolf das myofasziale System in ein intrinsisches und extrinsisch unterteilt. Key (2013) fasste zusammen, dass unter dem intrinsischen System der eigentliche Core und die inneren Muskeln verstanden werden, während das extrinsische System die oberflächlichen Muskeln beinhaltet. Er ergänzt zudem, dass eine unangemessene Bewegungskontrolle durch die oberflächlichen Muskeln, ein Zeichen von somatischer Unreife, oder einer Funktionsstörung sind. Key (2013) fasst damit ein Konzept zusammen, dass einen zweischichtigen Aufbau des Core vorsieht.

Eine gute Zusammenfassung der Core-Konzepte bietet aber auch schon zuvor Günther Pappert (2010). Dabei beschreibt er den Core als Zentrum des gesamten Bewegungsgeschehens. Er geht zuerst auf den doppelschichtigen Aufbau des Core ein und

hebt im Anschluss das neuronale System, welches als darüber liegende Instanz die Funktionsweise des Systems kontrolliert und steuert, hervor. Als wesentliche Aufgaben des Core sieht er vor allem die Gewährleistung einer dynamischen Stabilität, welche insbesondere dem Schutz der Wirbelsäule dient. Außer Acht lässt er jedoch die weitaus öfter diskutierte und meist dem Core als primäre Funktion zugeschriebene, Übertragung von Kräften.

Dabei ist anzumerken, dass es hier zwei disparate Ansichten gibt, die im Anschluss kurz beschrieben werden.

Autoren wie Verstegen und Williams (2007) gehen davon aus, dass im Core Kräfte generiert werden, welche auf die Extremitäten übertragen werden. Sie beschreiben neben der Entstehung von Bewegungen, auch die daraus resultierenden Kräfte. Bei einer ineffizienten Weitergabe von diesen Kräften, so fügen Sie an, kommt es zu Abnutzungen. Ob es sich hierbei um Mikrotraumata, die Schädigung von Gewebe, oder sonstige Verletzungen handelt, wird an dieser Stelle nicht weiter ausgeführt. Dennoch geben sie bereits erste Hinweise, für einen möglichen Zusammenhang zwischen dem Core und Verletzungen.

Auch die Forschungsgruppe Yuki Miyake's, (Miyake, Kobayashi, Kelepecz und Nakajima, 2013) geht davon aus, dass alle Bewegungen ihren Ursprung im Core haben. Dabei bedienen sie sich unter anderem der Definition von Vleeming, der davon ausgeht, dass alle Bewegungen im Core generiert und auf die Extremitäten übertragen werden. Die Forschungsgruppe beschreibt den Core als ein muskuläres Korsett, dass wie eine Box rund um die Wirbelsäule gelegt wurde (Abb.1). Der Core hat die Aufgabe, die Wirbelsäule und somit den gesamten Körper zu stabilisieren und dient sowohl als funktionales, wie auch anatomisches Zentrum und 'Powerhouse' des Körpers.

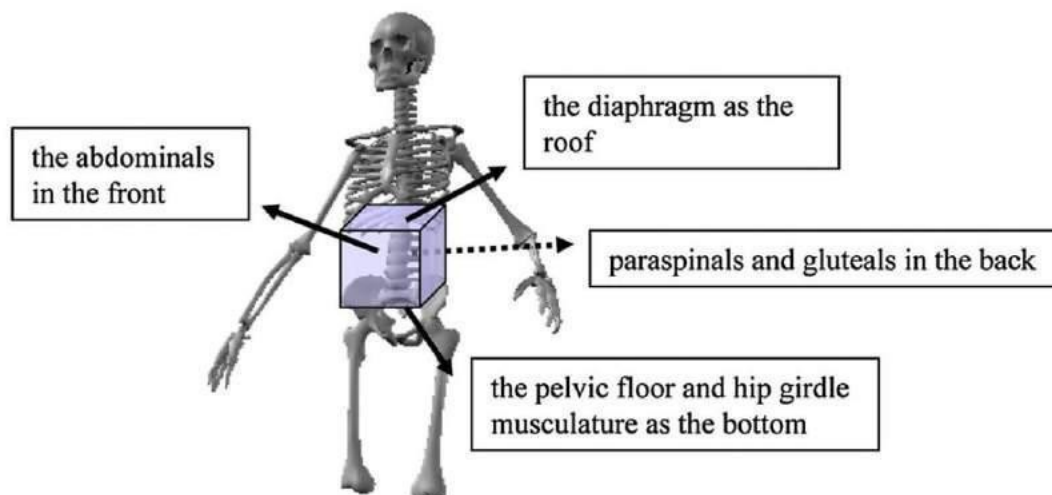


Abbildung 1: Quelle: Miyaki, Kobayashi, Kelepecz, Nakajima (2013, S. 260)

Bliss und Teeple (2005) teilen diese Ansicht, bilden mit ihrer angesprochenen Funktion des Core als Brücke, jedoch den Übergang zur entgegengesetzten Theorie, die den Core nicht als Zentrum aller Bewegungen sieht, sondern davon ausgeht, dass im Core nur Kräfte weitergeleitet und übertragen werden. Bekannte Vertreter dieser Theorie sind unter anderen McGill und Willardson. McGill stellt bereits 2010 fest, dass der Core niemals Kräfte generiert. Ihm zufolge werden Kräfte größtenteils in der Hüfte erzeugt und über einen steifen Core übertragen. In Zusammenarbeit mit Santana und Brown, ergänzt McGill 2015 sein Konzept des Core's, dass nun ebenfalls in zwei Teilen untergliedert wird. Dabei bildet der Torso zwischen den Kugel- und Pfannengelenken der Schultern und Hüften das, was traditionell als Core angesehen wird. Die Muskeln, die das Becken, die Wirbelsäule und den Brustkorb befestigen, sind im Allgemeinen dafür verantwortlich, die Bewegung anzuhalten. Der zweite Teil des Core's verbessert die Funktion durch die Muskeln, die die Schultern und Hüften mit den oberen und unteren Gliedmaßen kreuzen. Denn auf Grund seiner Größe und seiner Fähigkeit, starr zu werden, dient der Core als Art Anker für die Gliedmaßen - insbesondere für die oberen Extremitäten.

Sie gehen somit ebenfalls davon aus, dass der Core dazu dient Kräfte zu übertragen und beschreiben die Steifheit des Core's als essentiell um Stabilität zu gewährleisten und Kräfte, wie bei einer Peitsche zu übertragen. Weiters soll der Core auf Grund dieser Funktionen, eine Schlüsselfunktion in der Verletzungsprophylaxe tragen.

Ein Konnex der beiden hier vorgestellten Konzepte, ist bezüglich der Aufgaben des Core zu finden. Denn sowohl Miyake's als auch McGill's Forschungsgruppe schreibt dem Core, als einer seiner Hauptaufgaben, die Stabilisation des Körpers zu.

Eine ganz andere Sichtweise und folglich auch Definition des Core, sieht die Biomechanik vor. Hierbei handelt es sich weniger um ein funktionelles Konzept, als um den Versuch einer punktuellen Verortung des Core. Betrachtet man den Core aus biomechanischer Sicht, so befindet sich der mechanische Kern des Körpers, in einer anatomisch, stehenden Position des Menschen, vor dem zweiten Kreuzbeinsegment (S2). Somit stellt hier das Becken, das Zentrum der Gewichtsverlagerung und des "Lasttransfers" im Körper dar. Strukturell reicht der Core von den Sitzbeinhöckern bis zum mittleren Thorax, wo das Zwerchfell und der M. transversus abdominis anliegen, die wiederum eine tragende Rolle bei der Bewegungskontrolle spielen. Folglich wird die Thorakoabdominal-Beckenhöhle in der

Biomechanik oftmals als "Core" bezeichnet. (vgl. Key, 2013) Auch Jakubek (2007) bezeichnet den Teil des Körpers, der den Körperschwerpunkt umgibt, ebenfalls als Core.

Die hier angeführten Definitionen und Beschreibungen des Core, haben zwar keinesfalls den Anspruch auf Vollständigkeit, dennoch geben sie Aufschluss über die Bandbreite an vorliegenden Konzepten.

Betrachtet man den Aufbau des Core näher, so wird dieser oftmals als zweischichtig beschrieben. (Key, 2013; Pappert, 2010) Darunter wird sowohl ein zweischichtiger muskulärer Aufbau (intrinsisch – im inneren liegenden Muskeln/extrinsisch - große, oberflächliche „Arbeits-“ Muskeln, doppelwandiger Zylinder), als auch eine zweischichtige nervöse Steuerung (intrinsische/extrinsische Kontrolle) verstanden.

Uneinigkeit herrscht darüber, ob der Core an sich das Zentrum all unserer Bewegungen ist, sprich das „Powerhouse“ darstellt, oder ob durch den Core lediglich Kräfte weitergeleitet und übertragen werden.

Der Core gilt als muskuläres Korsett, dass vor allem zur Gewährleistung der dynamischen Stabilität besteht, welche insbesondere dem Schutz der Wirbelsäule dient. Näheres dazu, ist im Kapitel 4 zu finden.

Unter der Prämisse, dass der Core für Stabilität sorgt und einen effizienten Transfer von Kräften ermöglicht, wird ihm unter anderem auch die Verletzungsprophylaxe zugeschrieben. Zur Klärung dieser Annahme wird auf die folgenden Kapitel verwiesen.

Bevor eine vollständige Definition des Core erstellt werden kann, gilt es im Anschluss, zusätzlich zu den bisher aufgegriffen Konzepten, die am Core beteiligten Muskelgruppen und Muskeln näher zu betrachten und zu bestimmen.

3 Core-Muskulatur

3.1 Bestimmung der Core-Muskulatur

Wie bereits bei den zuvor dargestellten allgemeinen Konzepten des Core, so gibt es auch bei der anatomischen Abgrenzung von Autor zu Autor Unterschiede.

Key (2013) fasst zusammen, dass unter dem Core oftmals nur die Muskulatur verstanden wird, die das Zwerchfell umwickelt und nach innen zieht, jedoch ist der Core weitaus komplexer.

Laut Kibler, Press und Sciascia (2006) wird der Komplex, der als Core-Muskulatur bekannt ist, neben den Strukturen der Wirbelsäule, Hüften, des Beckens, der proximalen unteren Extremitäten und Bauchstrukturen, durch zahlreiche Muskeln gebildet, die diese Strukturen umgeben und verbinden. Einige sind kleine, kurze Muskeln mit kleinen Hebelarmen, die einzelne Gelenke überspannen. Diese werden in 'length dependent' (längen abhängigen) Muskelaktivierungsmustern aktiviert. Andere umfassen zahlreiche Wirbelsäulenabschnitte und fungieren als „prime mover muscles“, die mehrere Gelenke integrieren und Kraft erzeugen. Sie werden in 'force dependent' (kraftabhängigen) Aktivierungsmustern aktiviert. Die Koordination beider Aktivierungsmuster ist bei mehrfach unterteilten Strukturen wie beispielsweise der Wirbelsäule erforderlich. Die Aufgabe der Muskulatur liegt neben der Aufrechterhaltung der Stabilität der Wirbelsäule und des Beckens, die es wiederum ermöglicht, dass die distalen Segmente ihre spezifische Funktion ausüben können, auch bei der Erzeugung und Übertragung von Energie von großen zu kleinen Körperteilen während vieler sportlicher Aktivitäten (Laufen, Werfen, Treten).

Damit bieten sie zwar nur einen groben Überblick der am Core beteiligten Muskulatur, erklären aber die primären Aufgaben des Core sehr umfassend.

Wallden (2013a) greift hingegen die Definitionen von Richardson et al. (1999) und Lee (2003) auf, die den Core als funktionale Einheit des M. transversus abdominis, der Beckenbodenmuskulatur, des Diaphragmas und der Mm. Multifidi beschreiben. Er geht nicht weiter auf die Funktionen und Aufgaben der Core-Muskulatur ein.

Ähnlich sehen das auch Bliss und Teeple (2005) und ergänzen diese Definition geringfügig. Für sie ist der Core anatomisch gesehen die Muskulatur, die den Lenden-Becken-Bereich umgibt und die Bauchmuskeln anterior, die paraspinale und gluteale Muskulatur posterior, die Beckenbodenmuskulatur inferior, die Hüftabduktoren und -rotatoren lateral und das Zwerchfell superior, umfasst. Alle diese Muskeln haben eine direkte, oder indirekte Bindung an die ausgedehnte thorakolumbale Faszie und an die Wirbelsäule, welche zusammen die oberen und unteren Gliedmaßen verbinden. Folglich wird von Bliss und Teeple angenommen, dass die Rumpfmuskulatur und die thorakolumbale Faszie eine Rolle bei der Rumpfrotation und der Lastübertragung und somit der Stabilität der Lenden-Becken-Region spielen.

McGill (2010) beschreibt den Core und die dazugehörenden Muskeln, wie Bliss und Teeple (2005) ebenfalls sehr oberflächlich und geht nur bedingt auf einzelne Muskeln ein. Laut ihm besteht der Core aus der Lendenwirbelsäule, den Muskeln der Bauchdecke, den

Rückenstreckern und der quadratische Lendenmuskel. Ebenfalls enthalten sind die vielgelenkigen Muskeln, der breiteste Rückenmuskel und der große Lendenmuskel, die durch den Core gehen und ihn mit dem Becken, den Beinen, Schultern und Armen verbinden. Angesichts der anatomischen und biomechanischen Synergie mit dem Becken, kann die gluteale Muskulatur ebenfalls als essentielle Komponente der „primary power generators“ angesehen werden. Er hebt zudem hervor, dass die Core-Muskulatur anders funktioniert, als die Muskulatur der Extremitäten, da die Core-Muskulatur gemeinsam kontrahiert und dadurch den Rumpf versteift, so dass alle Muskeln zu Synergisten werden.

Wallden (2013a) bezieht sich bei seinem Konzept des Core's, auf die Definition von Chek (1998), der damals äußerte, dass der Core all das ist, was übrig bleibt, wenn man die oberen und unteren Extremitäten ausblendet. Denn diese Erklärung passt am besten zu einem evolutionären und funktionalen Verständnis des Core's. Explizit erwähnt er jedoch nur den Transversus abdominis (TrA), die Beckenbodenmuskulatur, das Zwerchfell und den Multifidus.

Abigail Ellsworth beschäftigt sich 2010 näher mit dem anatomisch korrekten Core Training. 2012 folgte die Übersetzung ihres Buch ins Deutsche, wobei der „Core“ wörtlich als „Körpermitte“ übersetzt wurde. Folglich ist bei Ihrer Definition der Core Muskeln, immer die Rede von den Muskeln der Körpermitte. Ihre Definition des Core schließt ebenfalls sowohl die inneren als auch die äußeren Muskeln mit ein. Jedoch unterscheiden sich ihre außenliegenden Muskeln entscheidend von denen die Wallden nannte. Für sie ist der Core weitreichender und es werden auch die größeren Muskeln rundherum, als „sekundäre Synergisten“ mit einbezogen.

„Die Körpermitte setzt sich aus den meist tiefen Muskelschichten zusammen, die rund um die Wirbelsäule angesiedelt sind und den ganzen Körper stabilisieren. Sie können im Körper Druck erzeugen für starke Pressbewegungen (wie beim Geburtsvorgang), oder um Dinge auszustoßen (Erbrochenes, Fäkalien oder Körpergase). Die Hauptmuskeln der Körpermitte entspringen im Rumpf oder setzen dort an und decken den Bauch und den unteren bis oberen Rücken ab. Dazu gehören die Muskeln des Beckenbodens (Levator ani, Pubococcygeus, Iliococcygeus, Puborektalis und Coccygeus), die Bauchmuskeln (Rectus

abdominis, Transversus abdominis, Obliquus externus und internus), die Rückenstreckmuskulatur (Erector spinae, Multifidus, Splenius, Longissimus thoracis und Semispinalis) und das Zwerchfell. Sekundär zählen auch oberflächliche Muskeln wie der Latissimus dorsi, der Glutaeus maximus und der Trapezius dazu. Sie werden aktiv, wenn der Körper für Tätigkeiten oder Bewegungen zusätzlich Stabilität benötigt.“ (Ellsworth, 2012)

Für Boyle (2010) gehören die Bauchmuskulatur (Mm. Rectus abdominis, transversus abdominis, obliquus internus und externus abdominis), Rückenmuskulatur (Mm. Multifidus, quadratus lumborum, erector spinae) und Teile der Streckerkette wie Gesäßmuskulatur, hintere Oberschenkelmuskulatur und Hüftrotatoren zu den „Rumpfmuskeln“. Wenn alle diese Muskeln, die den Ober- und Unterkörper miteinander verbinden und für Stabilität sorgen, trainiert werden, stelle dies, einen wesentlichen Beitrag zur Verletzungsprophylaxe dar. Er greift somit einige Bereiche des Core's die andere Autoren hervorheben (Beckenbodenmuskulatur, Diaphragma) nicht auf, gibt aber erste Hinweise auf andere wichtige Aufgabenbereiche des Core's.

Oliver, Dwelly, Sarantis, Helmer und Bonacci (2010) beschreiben den Core, als den „lumbopelvic hip complex“ (lumbopelvinen Hüftgelenkkomplex). Innerhalb von diesem Komplex arbeiten mehr als 29 Muskelpaare, die bei funktionellen Bewegungen die Wirbelsäule, das Becken und die Hüfte stabilisieren. Der Core schließt anterior den rectus abdominis und den transversus abdominis, posterior den erector spinae, den multifidus, gluteus maximus und die ischiocrurale Muskulatur, lateral den gluteus medius, minimus und den quadratum lumborum, und medial den Adduktor magnus, longus, brevis und pectineus, mit ein. Die Basis des Hüftkomplexes bildet der Beckenboden, mit dem Zwerchfell als Deckel. Mit einer effizienten Funktionalität des gesamten lumbopelvinen Hüftgelenkkomplexes ist es dem Körper möglich für alle Bewegungen, eine starke, stabile und funktionelle Basis bereitzustellen. Laut dem Modell der kinetischen Kette, beinhalten alle sportlichen Bewegungen die Übertragung von Energie von einem Segment zum nächsten. Deshalb sei es, unabhängig von den Fähigkeiten eines Sporttreibenden wichtig, dass bei Bewegungsaufgaben eine richtige Haltung eingenommen wird. Oliver et al. (2010) stellen fest, wenn Wettkämpfer die posturale Kontrolle fehlt, dass diese die Energie nicht optimal

auf die distalen Segmente übertragen können. Dadurch kommt es zu kompensatorischen Bewegungen die unternommen werden, um den Mangel an Kraftproduktion auszugleichen, die zu einer Verletzungsanfälligkeit führen kann. Der lumbopelvine Hüftgelenkskomplex dient weiters zur Kontrolle der anterioren Beckenneigung.

Oliver et al. (2010) definieren den Core somit sehr ähnlich wie Ellsworth (2012), gehen aber nicht auf die sekundären Synergisten ein. Sie ergänzen die bisherigen Definitionen um den Aspekt der Verletzungsanfälligkeit, durch kompensatorische Bewegungen und ergänzen somit die Annahme Boyle's (2010).

Die bezüglich der am Core beteiligten Muskulatur, bei weitem umfassendste Definition, stammt von einem Runden-Tisch zum Thema „Core strength training“ bereits aus dem Jahr (2002). Laut Allen, Dudley, Iosia, Stanforth und Steuerwald (2002) umfasst die Muskulatur des Core, die Muskeln des Rumpfes und des Beckens, die für die Aufrechterhaltung der Stabilität der Wirbelsäule und des Beckens, sowie für die Energieübertragung von großen zu kleinen Körperteilen während vieler sportlicher Aktivitäten entscheidend sind. Zu diesen Gruppen gehören die Bauchmuskeln (rectus abdominis, transversus abdominis, obliquus internus und externus abdominis), die Hüftmuskulatur (Iliopsoas; Rectus Femoris; Sartorius; Tensor Fasciae Latae; Pectineus; Gluteus Maximus, Medius und Minimus; semitendinosus; semimembranosus; biceps femoris; adductor brevis, longus, and magnus; gemellus superior und inferior; obturator internus und externus; quadratus femoris; piriformis), und die Rückenmuskulatur (erector spinae; quadratus lumborum; paraspinals; trapezius; psoas major; quadratus lumborum (sic); multifidus; iliocostalis lumborum und thoracis; rotatores; latissimus dorsi; serratus anterior).

Im Vergleich zu den Definitionen der anderen Autoren (Bliss & Teeple, 2005; Ellsworth, 2012; Oliver et al., 2010; Wallden, 2013) werden Bestandteile des Core, wie beispielsweise das Diaphragma und die Muskulatur des Beckenbodens hier nicht aufgelistet und somit ist auch diese Definition nicht vollständig. Muskeln wie der latissimus dorsi und serratus anterior sind hier, im Vergleich zu den zuvor genannten Definitionen, aber ebenso vertreten, wie die gesamte ischiocrurale Muskulatur. Zusätzlich wird sowohl auf die stabilisierende Funktion des Core, wie auch auf die Energieübertragung, von den großen zu den kleinen Körperteilen, eingegangen.

Wie auch das letzte Beispiel anschaulich zeigt, sind die Definitionen der Core-Muskulatur,

keineswegs einheitlich. Sie unterscheiden sich deutlich in der Detailliertheit der Aufzählung und der Beschreibung der Aufgaben und Funktionen der beteiligten Muskeln.

Ausgewiesene Abgrenzungen und Unterscheidungen des Core's von anderen Körperabschnitten sind zudem vollständig fehlend. Dies ist aber nicht weiter verwunderlich, da dem Core die Weiterleitung von Kräften zugesagt (Bliss & Teeple, 2005; McGill, 2010; Santana, McGill & Brown, 2015; Verstegen & Williams, 2007; Vleeming et al., 1995; Willardson, 2007) und er zudem als Bindeglied der oberen und unteren Extremitäten (Bliss & Teeple, 2005; Boyle, 2010) angesehen wird.

Die von Wallden (2013a) aufgegriffene Definition von Richardson et al. (1999) und Lee (2003) scheinen dahingehend allein zu stehen, den Core als kleinen autarken Bereich zu beschreiben der lediglich aus einer handvoll Muskeln (M. transversus abdominis, der Beckenbodenmuskulatur, des Diaphragmas und der Mm. Multifidi) besteht.

Alle anderen in diesem Kapitel angeführten Definitionen der Core-Muskulatur ziehen Muskelgruppen und Muskeln mit ein, die eine Verbindung zu den Extremitäten aufweisen und/oder über mehrere Gelenke verlaufen.

Eine klare Abgrenzung und Zuordnung, vor allem der mehrgelenkigen Muskeln scheint dadurch eher schwer realisierbar zu sein.

Aussagen wie die von Ellsworth (2012, S. 7): „Sekundär zählen auch oberflächliche Muskeln wie der Latissimus dorsi, der Glutaeus maximus und der Trapezius dazu. Sie werden aktiv, wenn der Körper für Tätigkeiten oder Bewegungen zusätzlich Stabilität benötigt.“, lassen erahnen wie schwierig es ist, hier eine klare Definition zu schaffen.

Dennoch gibt es einige Muskeln, die beinahe alle hier angeführten Autoren in ihr Konzept der Core-Muskulatur mit einschließen. Darunter fallen unter anderem, der M. rectus abdominis und der M. transversus abdominis.

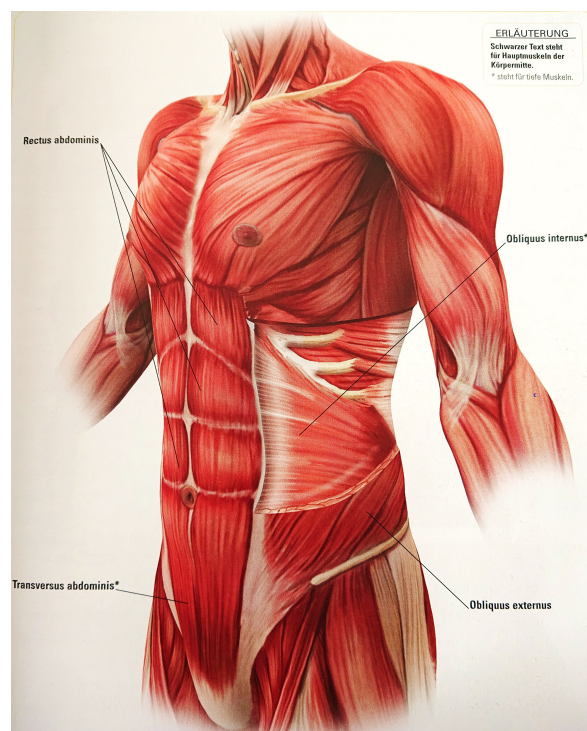


Abbildung 2: Bauchwandmuskulatur, Quelle: Ellsworth (2012, S. 9)

Überdies werden manche Muskeln, exemplarisch der M. obliquus internus und externus oftmals nicht explizit angeführt und unter dem Begriff „abdominals“ (Bauchwandmuskeln) mit verstanden (Abb. 2).

Kibler et al. gehen zwar einzeln auf die Bauchdeckenmuskeln und ihre Aufgaben im Konstrukt des Core ein, man stellt jedoch schnell fest, dass ihre Aufgaben sehr ähnlich sind.

Das Anspannen des transversus abdominis führt zu einer Erhöhung des intra-abdominalen Drucks und zum spannen der Faszie thoracolumbalis. Auf die Funktion und Wichtigkeit dieser Faszie wird jedoch erst gegen Ende des Kapitels näher eingegangen.

Die transversalen Bauchmuskeln haben sich als entscheidend für die Stabilisierung der Lendenwirbelsäule erwiesen. Durch die Kontraktion der abdominalen Muskulatur wird ein starrer Zylinder erschaffen, der die Steifigkeit der Lendenwirbelsäule verbessert.

Der rectus abdominis und die schrägen Bauchmuskeln werden abhängig von den Bewegungen der Gliedmaßen, richtungsspezifisch aktiviert, wodurch sie bereits vor Beginn einer Bewegung posturale Unterstützung bieten. Kontraktionen, die den intra-abdominalen Druck erhöhen, treten zudem vor der Initiation von großen Segmentbewegung der oberen Gliedmaßen auf und bieten dadurch eine stabile Basis für die Muskelaktivierung und folglich für Bewegung. Somit wird die Wirbelsäule und der Core stabilisiert, bevor es zu Bewegungen der Gliedmaßen kommt. (vgl. Kibler et al., 2006)

Die gesamte abdominale Muskulatur spielt somit eine wesentliche Rolle zur Herstellung der spinalen Stabilität und generell der Stabilität des Core.

Es gibt jedoch auch einige Muskeln und Muskelgruppen, die bei den zuvor genannten Definitionen, weniger einheitlich ausfallen. Zudem ist zu beobachten, dass insbesondere bei den weniger detaillierten Definitionen, einzelne Muskeln in übergeordnete Gruppen subsumiert werden. Beispielhaft ist hier die Definition von McGill (2010, S. 33) zu nennen: „Der Core besteht aus der Lendenwirbelsäule, den Muskeln der Bauchwand, den Rückenstreckern und dem quadratischen Lendenmuskel (...).“

Damit auch Definitionen, von Autoren, die besonders viele Muskeln nennen, übersichtlich bleiben, unterteilen diese ihre Auswahl oftmals, ebenfalls in einzelne Kategorien.

Die am häufigsten genannten Kategorien bezüglich der Core-Muskulatur, stellt neben der zuvor beschriebenen Bauch(wand)-muskulatur, die Beckenbodenmuskulatur, dar. Einige Male

wird auch die Hüft- und Rücken(strecker)-muskulatur genannt, weiters wird bei einzelnen Definitionen (Boyle, 2010; McGill, 2010) die gluteale Muskulatur gesondert ausgewiesen.

Immerhin mehr als die Hälfte der Autoren nennt das Zwerchfell und die Beckenbodenmuskulatur (Abb. 3), als dem Core zugehörig. Sie dienen als Boden und Deckel des Core und werden somit zur Core-Muskulatur hinzugezählt. (Bliss & Teeple, 2005; Ellsworth, 2012; Oliver et al., 2010; Wallden, 2013)

Gouzaard et al. (2004) schreibt der Beckenbodenmuskulatur zudem zwei wichtige Funktionen zu. Zum

einen haben die Beckenbodenmuskeln die Fähigkeit, die Festigkeit des Beckenrings zu steigern und ihn somit zu stabilisieren und dadurch Belastungen innerhalb des lumbopelvinen Bereichs geeignet weiterzugeben. Zudem können die Muskeln sowohl bei Männern, als auch bei Frauen eine Rückwärtsrotation des Sakrums bewirken und auf diese Weise bei der Fortbewegung und Haltung eine Rolle spielen.

Da hier sowohl die Stabilität, als auch die Weitergabe von Kräften aufgegriffen wird, scheint die Beckenbodenmuskulatur auch funktional mit dem Core übereinzustimmen.

Das Zwerchfell (Diaphragma) bildet das Dach der Core-Muskulatur. Kibler et al. (2006) stellt bei seiner Recherche fest, dass es bei simultaner Kontraktion des Diaphragmas, der Beckenbodenmuskulatur und der abdominalen Muskulatur, zu einer Erhöhung des intra-abdominalen Drucks kommt. Dadurch wird ein versteifter Zylinder erzeugt der den Rumpf unterstützt, die Belastung der Wirbelsäule verringert und die Rumpfstabilität erhöht. Das Diaphragma trägt zur Herstellung des intra-abdominalen Drucks bei, um für Stabilität des Rumpfes und der Wirbelsäule zu sorgen, bevor es zur Initiierung von Bewegungen der Gliedmaßen kommt. Diese Aktivierung tritt unabhängig vom Atemvorgang ein.

Somit stellt das Zwerchfell ebenfalls einen wichtigen Teil des Core und somit der Core-Muskulatur dar.

Bei den restlichen Muskelgruppen und Muskeln, fällt die Häufigkeit der Nennung deutlich heterogener aus. Somit ist auch die Zuordnung zur Core-Muskulatur bei weitem nicht so eindeutig, wie bei der zuvor näher beleuchteten Bauchwand- und Beckenboden-muskulatur, bei der in der betrachteten Literatur, weitestgehend Einigkeit besteht.

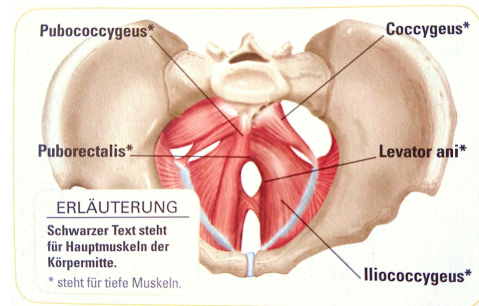


Abbildung 3:
Beckenbodenmuskulatur; Quelle:
Ellsworth (2012, S. 7)

Deshalb wird im Anschluss noch auf ausgewählte Muskeln näher eingegangen, bevor eine abschließende Definition des Core und der Core-Muskulatur vorgenommen werden kann.

Die Fachwelt ist sich einig, dass die Rückenmuskeln, allen voran der M. Multifidus, M. Quadratus lumborum und M. Erector spinae zur Core Muskulatur zu zählen sind. (Behm et al. 2010; Boyle, 2004; Cook, 2003; Faries & Greenwood, 2007; Gottlob, 2007; Hendrick, 2000; Hibbs et al., 2008; McGill, 2009 & 2010; Willardson, 2007a; zit. n. Koller, 2011, S. 26)

Damit Muskeln in allen Ebenen Stabilität gewährleisten können, haben sie die Fähigkeit auch in Mustern aktiviert zu werden, die sich von ihrer primären Funktion unterscheiden.

Der M. quadratus lumborum (QL) fungiert beispielsweise hauptsächlich als Stabilisator während es zur Frontalebene Flexion und -extension kommt. Dieser Muskel wird jedoch von den Querfortsätzen der Wirbelsäule und der 12. Rippe an die Beckenkämme befestigt. Durch diese Ausrichtung ermöglicht die Muskelaktivierung des QL, die bei Beugung, Streckung und seitlicher Biegeaktivität auftritt, die Wirbelsäule in der Bewegungsebene durch Scherkräfte zu unterstützen, wodurch der Muskel mehr als nur die frontale Ebene stabilisiert. (vgl. Kibler et al., 2006)

Da diese Funktion mit der des Core's übereinstimmt, wird der M. quadratus lumborum hier auch als Teil der Core-Muskulatur anerkannt.

Die Mm. Multifidi sind ein Beispiel für kurze Muskeln, die lediglich ein Gelenk stabilisieren und dadurch den mehrgelenkigen Muskeln erlauben, im Hinblick auf die Kontrolle von Wirbelsäulenbewegungen, effizienter zu arbeiten. Diese kombinierte Aktivierung von Muskeln erlaubt es der Wirbelsäule, sich so auszurichten, dass sie sich in der „neutralen Zone“ befindet. In dieser „neutralen Zone“ sind die Bänder nur minimaler Spannung ausgesetzt. (vgl. Kibler et al., 2006)

Ng und Richardson (1994) fassen zusammen, dass Muskeln wie der Multifidus, auf Grund der unmittelbaren Nähe zur Lendenwirbelsäule ideal dazu geeignet sind, die Stabilität der Wirbelsäule in dieser Region zu verbessern. Den Multifidus wird dabei insbesondere die Stabilisation der Lendenwirbelsäule, bei einer Rumpfrotation zugeschrieben, da er bei dieser Bewegung unerwünschte Flexionsmomente beseitigt, die durch die Bauchschrägstellung erzeugt werden. Weiters soll der Multifidus durch seine überwiegenden ST-Fasern, im Vergleich zum M. erector spinae, eine tragende Rolle für die Stabilität der Wirbelsäule spielen. Somit leistet die Mm. Multifidi als Teil der Core-Muskulatur eine nicht zu unterschätzende

unterstützende Funktion.

Der M. erector spinae besteht aus einem medialen und lateralen Teil und fasst mitunter mehrere Muskeln zusammen. Er dient vor allem als lokaler Stabilisator der einzelnen Wirbelsegmente und als Antagonist zur Bauchwandmuskulatur. „Die Hauptfunktion der autochthonen Rückenmuskulatur liegt in der Aufrichtung der Wirbelsäule und der aufrechten Haltung des Kopfes. Bei einseitiger Kontraktion besonders des medialen und auch des lateralen Traktes können die Muskelgruppen ebenfalls die Wirbelsäule drehen oder zur Seite neigen.“ (DocCheck Flexikon, https://flexikon.doccheck.com/de/Musculus_erector_spinae)

Bereits 1994 zeigen Ng und Richardson, dass in mehreren Studien die funktionellen Unterschiede zwischen den Teilen der synergistischen Rückenmuskelgruppe der größeren oberflächlichen Rückenmuskulatur (Abb. 4) M. Erector spinae und den kleineren tiefen Rückenmuskeln M. Multifidus, bewiesen wurden.

Erstmalig suggerierte Panjabi et al. (1989), dass die intersegmentalen spinalen Muskeln, bei der Aufrechterhaltung der Stabilität der Wirbelsäule, eine größere Rolle als die oberflächlichen Muskelgruppen, spielen. Sie erklärten, dass die oberflächlichen Muskeln des erector spinae, der M. longissimus thoracis und der M. iliocostalis lumborum, mit ihrer Größe und dem längeren Hebelarm besser dazu geeignet sind, Bewegung zu erzeugen und externe Lasten auszugleichen.

Die Fachwelt ist sich jedoch einig, dass auch dieser Muskel einen wesentlichen Anteil am Core hat.

„Weniger Beachtung finden die Schulterblattfixatoren (Mm. Trapezius, levator scapulae, rhomboidei, serratus anterior, pectoralis minor). Auf diese und deren Bedeutung für die Kraftübertragung in der kinetischen Kette distal einwirkender Kräfte, (...) wird nur wenig eingegangen.“ (Koller, 2011)

Diese thorascapulare Muskeln gelten als Hauptstabilisatoren der oberen Extremitäten. Sie schaffen durch die Regulierung der Länge, Stärke und Partizipation an Bewegungen die Voraussetzung für eine physiologische Anordnung des Schultergürtels am Rumpf. Erst dadurch ist auch eine optimale Kraftübertragung der oberen Extremitäten durch den Core

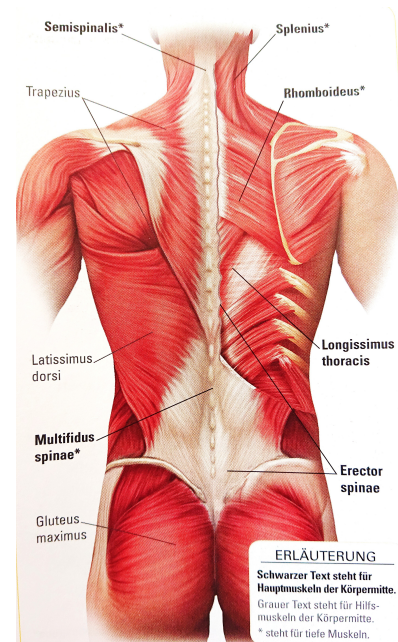


Abbildung 4:
Rückenmuskulatur, Quelle:
Ellsworth (2012, S. 8)

möglich. (vgl. Koller, 2011)

Eine ähnliche Funktion trägt auch der breiteste Rückenmuskel (M. Latissimus dorsi). Er wird aktiv wenn der Körper für Tätigkeiten oder Bewegungen zusätzlich Stabilität benötigt. (vgl. Ellsworth, 2012) Im Vergleich zu Allen et al. (2002) und McGill (2010) welche den M. latissimus dorsi zur Core Muskulatur hinzuzählen, bezeichnet Ellsworth (2012) diesen Muskeln nur als sekundären Stabilisator (Abb. 4).

Die Adduktorengruppe (Mm. Adductor brevis, longus und magnus), die ischiokrurale Muskulatur (Mm. Biceps femoris, semitendinosus, semimembranosus) sowie der M. Quadrizeps femoris werden trotz ihrer aller Ursprung am Becken und der damit verbundenen direkten Zugwirkung auf dieses, hier nicht zu den Core Muskeln gezählt. Denn die ischiokrurale Muskulatur wirkt in ihrer Funktion unter anderem hüftextensierend und Hauptextensor im Hüftgelenk ist der M. Gluteus maximus.

Die Glutealmuskeln dienen laut Kibler et al. (2006) bei gestreckten Bein, als Stabilisatoren des Rumpfes und ermöglichen so die Kraftentwicklung für Vorwärtsbewegungen. Nur bei einer starken Abschwächung des M. Gluteus maximus und einem damit falsch verbundenen Bewegungsmuster agiert die ischiokrurale Muskulatur als primärer Hüftextensor. (McGill 2009; Richardson, Hodges & Hides, 2009; Boyle, 2004) Im Normalfall ist daher der Beitrag dieser Muskulatur zur aktiven Stabilisierung des Beckens und der Wirbelsäule als eher gering anzusehen (Myers, 2004), weshalb diese Muskelgruppe nicht zur Core-Muskulatur gezählt wird.

Der M. Quadriceps femoris ist in seiner Funktion primär ein Extensor im Kniegelenk und sekundär ein Flexor im Hüftgelenk. Als „prime mover muscle for the distal segments“ trägt auch er wenig zur direkten Stabilisation des Beckens und der Wirbelsäule bei. Selbiges gilt für die Adduktorengruppe. (Boyle, 2010a; Cook, 2003; Sahrmann, 2002; Schünke, Schulte & Schuhmacher, 2005; zit. n. Koller, 2011, S. 25)

Neben der Core-Muskulatur, gibt es jedoch auch noch andere Strukturen die einen wesentlichen Beitrag zur Stabilität und Funktion des Core beitragen. Neben dem axialen Skelett (Wirbelsäule, Brustkorb, Schulter- und Beckengürtel), bilden Faszien aus Bindegewebe, eine weitere wichtige Struktur, die einzelne Muskeln und teilweise ganze Muskelgruppen umschließen. „Für die dynamische Stabilität spielt neben den Faszien der vorderen Bauchwand die Lenden-Rücken-Binde (Fascia thoracolumbalis) eine besondere

Rolle. Sie besteht aus drei unterschiedlich tief liegenden Schichten und umspannt den gesamten Bereich der Brust- und Lendenwirbelsäule.“ (Pappert, 2010, S. 15)

Die Fascia thoracolumbalis ist eine wichtige Struktur die die unteren Extremitäten (über den gluteus maximus) mit den oberen Extremitäten (über den latissimus dorsi) verbindet. Das erlaubt den Core die teilnahme an „integrated kinetic chain activities“ (Aktivitäten die der kinetischen Kette angehören) wie es beispielsweise Würfe sind. (vgl. Kibler et al., 2006) Dabei liegt ihre Aufgabe nach Pappert (2010, S. 15) darin, Stoß-, Zug- oder Scherkräfte, die durch einseitige oder spontane Belastungen

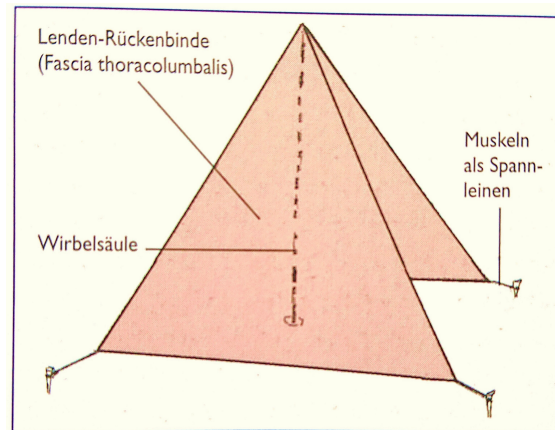


Abbildung 5: Die Lenden-Rücken-Binde als Zeltdach, das erst dann die Wirbelsäule aktiv schützen kann, wenn die muskulären Spannleinen synchron kontrahieren nach Porterfield, DeRosa 1998, Quelle: Pappert (2010, S. 15)

auftreten, abzufangen und dadurch die Wirbelsäule zu entlasten. Da die Faszie ihre Stützfunktion nur unter Spannung aufrechterhalten kann, muss insbesondere der quere Bauchmuskel, entsprechend aktiviert werden.

Somit stellt die Faszie Thoracolumbalis mit der Funktion der Stabilisation der Wirbelsäule und der physiologischen Ausrichtung des Beckens, ergänzend zur aktiven Muskulatur, eine weitere wichtige Struktur im Gerüst des Core, dar. Zudem erlaubt sie die Integration des Core in die kinetische Kette.

Der Core lässt sich somit wie folgt definieren:

Der Core, als funktionales, wie auch anatomisches Zentrum bildet das Bindeglied der oberen und unteren Extremitäten und ist für den Lasten- und Energie-Transfer verantwortlich. Der Core besteht aus der Core Muskulatur, den Faszien und dem axialen Skelett. Die Hauptaufgabe dieser Strukturen ist die Stabilisation und der Schutz der Wirbelsäule in jeder Körperlage, sowohl bei als auch bevor es zu Bewegungen kommt. Zudem trägt der Core wesentlich zur Stabilisation des Beckens bei.

Die Core-Muskulatur besteht aus:

Bauchwandmuskulatur

- vordere (gerade) Bauchmuskulatur:
 - M. rectus abdominis
- hintere (tiefe) Bauchmuskulatur:
 - M. quadratus lumborum
 - M. iliopsoas
- seitliche (schräge) Bauchmuskulatur:
 - M. obliquus externus abdominis
 - M. obliquus internus abdominis
 - M. transversus abdominis

Autochthone Rückenmuskulatur

Lateraler Trakt:

- Sakrospinale System
 - M. iliocostalis
 - M. Longissimus
- Spinotransversales System
 - M. splenius
- Inertransversales System
 - Mm. Inertransversarii
 - Mm. levatores costarum

Medialer Trakt:

- Spinales System
 - Mm. interspinales
 - M. spinalis
- Transversospinales System
 - Mm. rotatores breves & longi
 - M. multifidus
 - M. Semispinalis

Beckenbodenmuskulatur

Diaphragma pelvis

- M. levator ani

Diaphragma urogenitale

- Mm. transversus perinei profundus
- Mm. transversus perinei superficialis
- M. ischiocavernosus

Schließ- Schwellkörpermuskulatur

- M. sphincter ani externus
- M. sphincter urethrae
- M. Bulbospongiosus

Diaphragma

- pars costalis
- pars lumbalis
- pars sternalis

Rumpf-Armmuskulatur

- M. latissimus dorsi

Gesäßmuskulatur

- M. gluteus maximus

Schultergürtelmuskulatur

- M. rhomboideus major
- M. rhomboideus minor
- M. levator scapulae
- M. serratus anterior
- M. pectoralis minor
- M. trapezius

Axiales Skelett

- Wirbelsäule
- Brustkorb
- Schultergürtel
- Beckengürtel

3.2 Unterteilung der Core-Muskulatur

Es gibt mehrere Möglichkeiten die Core-Muskulatur zu unterteilen. Meistens wird eine Unterteilung in zwei bis drei Subsystemen vorgenommen. So kann der Core beispielsweise in ein aktives, passives und neurales Subsystem unterteilt werden. Andere Autoren splitten das System in ein lokales und globales System, bzw. ein inneres und äußeres System. Dabei werden von den AutorInnen auch einzelne Muskeln und Muskelgruppen den jeweiligen Subsystemen zugeordnet. Neben der Gliederung in Subsysteme, gibt es zudem immer mehr integrative Konzepte, die die einzelnen Muskeln in sogenannte Muskelschlingensysteme zusammenfassen. Im Anschluss wird auf diese verschiedenen Gliederungen, die zumeist auf Panjabi und Bergmark (1989) begründet sind, näher eingegangen.

Das Stabilisierungssystem des Core wird nach Panjabi (1992) in 3 unterschiedliche Subsysteme unterteilt: das passive Subsystem, das aktive Muskelsubsystem und das neurale Subsystem. Das passive (ligamentäre) Subsystem besteht aus den spinalen Ligamenten und Facettengelenken zwischen benachbarten Wirbeln. Komponenten des passiven Untersystems

(z. B. Ligamente) liefern keine signifikante Stabilität für die Wirbelsäule in der Nähe der neutralen Position/neutralen Zone.

Die neutrale Zone nach Panjabi:

Ausgehend von seiner Nullposition hat jedes Gelenk einen geringen Bewegungsbereich (in alle Richtungen), der ohne oder mit geringstem Widerstand durch die umgebenden Strukturen durchgeführt werden kann. Panjabi nennt diesen Bereich neutrale Zone. Den eigentlichen Bewegungsbereich bis hin zur Endposition, der außerhalb dieser Zone liegt, bezeichnet er als elastische Zone, weil hier der Bewegung bereits Widerlager durch die kontralateralen Muskelgruppen und die

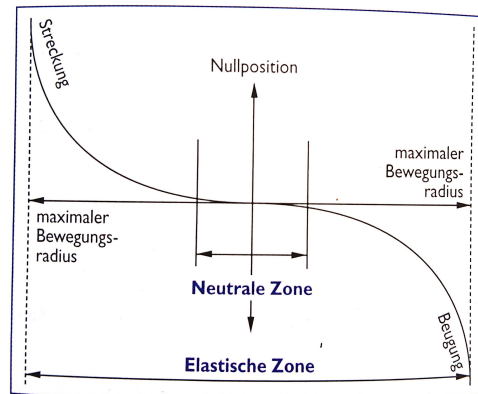


Abbildung 6: Phasen des Bewegungsradius innerhalb eines Gelenks nach Panjabi 1992, Quelle: Pappert (2010, S. 8)

passiven Strukturen entgegengebracht werden. Je mehr sich eine Bewegung der

An den Enden der Bewegungsbereiche entwickeln die Bänder reaktive Kräfte, die der Bewegung der Wirbelsäule entgegenwirken. Die passiven Komponenten fungieren höchstwahrscheinlich, in der Nähe der neutralen Position, als Wandler (signalproduzierende Vorrichtungen) zum Messen von Wirbelsäulenpositionen und Bewegungen, ähnlich denen, die an den Bändern des Knies anliegen und daher Teil des neuralen Kontrollsystems sind. Somit ist dieses Subsystem nur in dem Sinne passiv, dass es selbst keine Wirbelsäulenbewegungen initiiert oder generiert. Bei der Überwachung der Wandler signale ist es jedoch sehr wohl dynamisch aktiv. (vgl. Panjabi, 1992)

Durch das passive Subsystem kann die Lendenwirbelsäule eine begrenzte Belastung die weit unter der Körpermasse liegt (ca. 10 kg), tragen. Daher ist das aktive Muskelsubsystem notwendig, um die Lendenwirbelsäule hinsichtlich der weit größeren Körpermasse zu unterstützen und weiters zusätzliche Belastungen in Verbindung mit Übungen gegen einen Widerstand und/oder dynamischen Aktivitäten zu ermöglichen. (vgl. Willardson, 2007)

Die Muskeln und Sehnen des aktiven Subsystems sind die Strukturen, durch die das Wirbelsäulensystem Kräfte erzeugt und der Wirbelsäule die erforderliche Stabilität verleiht. Die Größe der in jedem Muskel erzeugten Kraft, wird durch die in den Sehnen der Muskeln eingebauten Kraftwandler (force transducers) gemessen. Daher ist dieser Aspekt der Sehnen Teil des neuronalen Kontrollsubsystems. (vgl. Panjabi, 1992)

Das neurale Subsystem empfängt Informationen und hat die komplexe Aufgabe, die Muskelkräfte auf der Grundlage der Rückkopplung von Muskelspindeln, Golgi-Sehnen-Organen und Spinal-Bändern kontinuierlich zu überwachen und solange anzupassen bis die erforderliche Stabilität erreicht wird. Die Anforderungen an die Wirbelsäulenstabilität und damit an die individuellen Muskelspannungen sind abhängig von der dynamischen Haltung, also der Variation von Hebelarmen und Trägheitslasten unterschiedlicher Massen und äußeren Belastungen. Wenn die Spannung in diesen Muskeln zunimmt, nehmen die Druckkräfte zwischen den Lendenwirbeln zu. Dies versteift die Lendenwirbelsäule, um die Stabilität zu erhöhen. Das neuronale Subsystem muss dabei simultan arbeiten, um sowohl eine ausreichende Stabilität zu gewährleisten, als auch die gewünschten Gelenkbewegungen vornehmen zu können (vgl. Panjabi, 1992; Willardson, 2007).

Diese Unterteilung nach Panjabi ist noch relativ allgemein gehalten und geht nicht spezifisch auf bestimmte Muskeln und Muskelgruppen ein. Viel mehr schafft sie mit der Beschreibung der einzelnen Strukturen und deren Aufgaben, die Grundlage für weitere Unterteilungen. Im selben Jahr publiziert Panjabi eine weitere Gliederung die diese Unterteilung ergänzt. Dabei stellt er ein inneres und äußeres System dar, welches spezifische Aufgaben zur Erfüllung der Aufgaben des Core, vor allem in Bezug auf die Herstellung der dynamischen Stabilität, vorsieht. Da die dynamischen Stabilität und generell die Core Stabilität ein sehr umfassendes Konzept darstellt, wird hier nicht näher auf diese Begrifflichkeiten eingegangen, sondern erst im nächsten Kapitel näher aufgearbeitet. Panjabi geht bei seinem Konzept vor allem auf die im vorherigen Kapitel dargestellten Core-Muskulatur und deren Funktionsweise näher ein.

Dem inneren System sind nach Panjabi (1992) die tiefliegenden, näher zur Wirbelsäule und zu den Gelenken positionierten Muskeln zuzurechnen. Sie sind in ihrer Länge nur wenig veränderbar und haben deshalb kaum Einfluss auf großflächige Bewegungen. Diese Muskeln sind für die Kontrolle und lokale Stabilität sowie die intersegmentalen Gelenkbewegungen in der „neutralen Zone“ verantwortlich.

Im Detail sind sie für die Feinjustierung und Stabilisation der Wirbelsäule zuständig und ermöglichen es anderen Muskeln, den Rumpf zu bewegen, ohne dabei die Funktion der Wirbelsegmente zu beeinträchtigen. Dazu werden sie im Verbund aktiviert und den Aktivitäten der Bewegungsmuskeln vorgeschaltet. Sie stellen gleichsam die Position der Gelenkkörper antizipatorisch vor der Bewegung ein. Für eine optimale Funktion können motorische Kontrolle und Koordination der lokalen Stabilisatoren über bestimmte willentliche Aktivierungen (z.B. Spannen – Entspannen) entwickelt werden. Gerade bei der Sicherung der Wirbelsäule spielt die Eigenregulation (die Fähigkeit der Muskulatur, die Stütz- und Schutzfunktion selbst steuernd zu gewährleisten) eine große Rolle.

Das globale Muskelsystem oder die äußeren Muskelgruppen sind zuständig für die dynamische Stabilität, für die Kontrolle und die Koordination der Bewegungen in der „elastischen Zone“. Basierend auf dieser Kategorisierung haben Comeford und Mottram (2001) diese Klassifizierung weiterentwickelt und das äußere System in die vorwiegend Halte- und Kontrollfunktionen leistenden globalen Stabilisatoren und die primär für die Bewegung (mit größeren Veränderungen der Muskellänge und Gelenkwinkel) zuständigen globalen Mobilisatoren unterteilt. (vgl. Pappert, 2010)

Im Detail sind die globalen Stabilisatoren,

primär für die dynamische Stabilität zuständig, d.h. sie kontrollieren und stabilisieren die Bewegung über die komplette Bewegungsamplitude. Sie sind konzentrisch aktiv, exzentrisch kontrollierend und isometrisch tätig. Um ein Gelenk in einer Position zu fixieren, müssen sie – mit unterschiedlicher Intensität – gleichzeitig aktiv werden. Im Rumpfbereich sind sie für die „widerlagernde“ Stabilisation einzelner Wirbelsäulen-Segmente bei Beuge- und Streckbewegungen zuständig. (Pappert, 2010)

Die globalen Mobilisatoren (Bewegungsmuskeln) wiederum sorgen für die Bewegung über den kompletten Radius. Sie sind bei hoher Belastung aktiv, dämpfen und bewegen bei großflächigen Arbeitsweisen. Werden Bewegungen ökonomisch fließend durchgeführt, leisten die Bewegungsmuskeln einen nicht zu unterschätzenden Beitrag zur dynamischen Stabilität von Rumpf und Gelenken. (vgl. Pappert, 2010)

„Dem äußeren System lassen sich wiederum mehrere Muskelschlingen-Systeme zuordnen, die zumeist über diagonal verlaufende Ketten korrespondieren und für die globalen Halte-, Kraftableitungs- und Bewegungsaufgaben zuständig sind. Diese Schlingensysteme leisten einen wesentlichen Beitrag zur dynamischen Rumpfstabilität.“ (Pappert, 2010)

Bevor auf die von Pappert (2010) beschriebenen Schlingensysteme näher eingegangen wird, werden jedoch weitere ähnliche Konzepte (bspw. Bergmark) und Konzepte die auf Panjabi's Konzept aufbauen dargestellt.

Das Konzept von Bergmark (1989) unterteilt das aktive Muskelsystem in die „globale“ und „lokale“ Muskulatur, basierend auf ihrer primären Rolle bei der Stabilisierung des Core.

Willardson (2007) fasst das Konzept von Bergmark zusammen, wobei er den globalen Muskeln vorwiegend die Übertragung von Kräften zwischen dem Brustkorb und dem Becken, sowie die Erhöhung des intraabdominalen Drucks zuschreibt. Die lokalen Muskeln sind ihm zufolge für die intersegmentale Bewegung zwischen den Wirbeln zuständig. Beide Systeme (global und lokal) werden durch das neurale Subsystem gesteuert, dass die Spannungszustände reguliert, um dadurch eine ausreichende Stabilität in der Wirbelsäule zu gewährleisten und gleichzeitig die gewünschten Gelenkbewegungen zu ermöglichen.

Im Vergleich zum Konzept von Panjabi (1992) werden auch einige beteiligten Muskeln der Subsysteme explizit ausgewiesen.

Globale Muskeln: M. rectus abdominis, M. obliquus externus und internus abdominis, M. transversus abdominis, M. erector spinae, lateraler Abschnitt des Quadratus lumborum

Lokale Muskeln: M. Multifidus, Mm. Rotatores, M. interspinales, M. Inertransversarii

Eine weitere Unterteilung in einzelne Subsysteme die eine Gliederung der Muskeln bereitstellt, wird von Gottlob (2006) grafisch dargeboten (Abb. 7). Er übernimmt die Subsysteme von Panjabi (lokale Stabilisatoren, globale Stabilisatoren und globale Mobilisatoren) und hebt zudem die Fascia thoracolumbalis in seiner Grafik hervor. Seine Gliederung ordnet den Subsystemen folgende Muskeln zu:

Lokale Stabilisatoren: Innerer schräger Bauchmuskel, Querer Bauchmuskel, Großer Lendenmuskel (hinterer Anteil), Vielgespaltener Muskel (tiefliegender Anteil)

Globale Stabilisatoren: Äußerer schräger Bauchmuskel, Quadratischer Lendenmuskel, Großer Lendenmuskel (vorderer Anteil), vielgespaltener Muskel (oberflächlicher Anteil)

Globale Mobilisatoren: Gerader Bauchmuskel, Langer Rückenmuskel

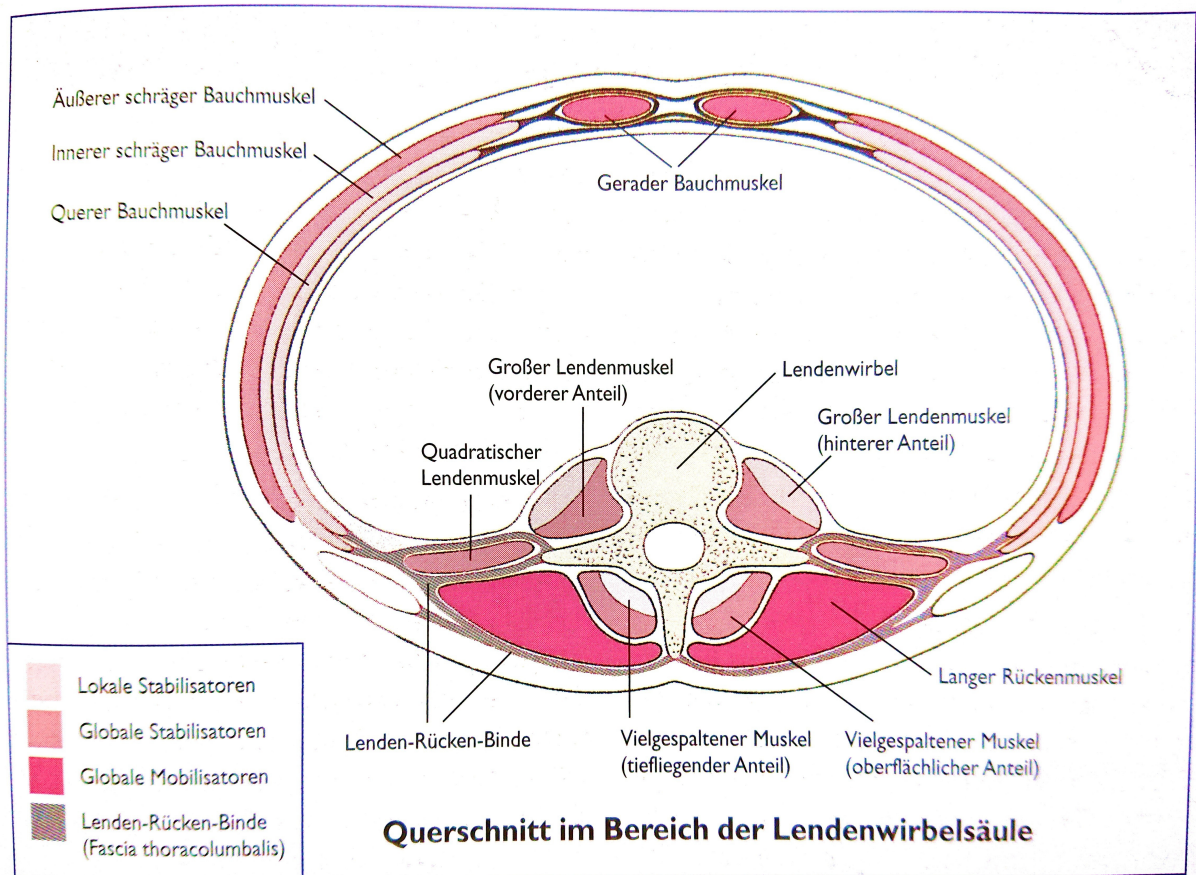


Abbildung 7: Die Muskulatur des Rumpfes nach ihrer Funktion für die Rumpfstabilität nach Gottlob 2006, Quelle: Pappert (2010, S. 9)

Comerford und Mottram (2001) präsentieren bereits einige Jahre zuvor eine umfassendere Auflistung der den Subsystemen zugehörigen Muskulatur (Tab. 1).

Tabelle 1: Die Strukturierung der wichtigsten den Rumpf und die Wirbelsäule stabilisierenden Muskulatur nach Comerford 2001

Lokale Stabilisatoren	Globale Stabilisatoren	Globale Mobilisatoren
Vielgespaltener Muskel (M. Multifidus), tiefliegender lumbaler Anteil	Vielgespaltener Muskel (M. Multifidus), oberflächlicher Anteil	Langer Rückenmuskel (M. Longissimus)
Großer Lendenmuskel (M. Psoas major), hintere Anteile	Großer Lendenmuskel (M. Psoas major), oberflächlicher Anteil	Quadratischer Lendenmuskel (M. Quadratus lumborum), schräge Fasern
Querer Bauchmuskel (M. Transversus abdominis)	Äußerer schräger Bauchmuskel (M. Obliquus externus abdominis)	Gerader Bauchmuskel (M. Rectus abdominis)
Innerer schräger Bauchmuskel (M. Obliquus internus abdominis)	Quadratischer Lendenmuskel (M. Quadratus lumborum), schräge Fasern	Darmbeinrippenmuskel (M. Iliocostalis), Brustwirbelsäulenbereich
Zwerchfell (Diaphragma)	Teile der Beckenbodenmuskulatur	
Beckenbodenmuskulatur		

Quelle: Pappert (2010, S. 9), mod. n. Peham (2019)

Wie auch Gottlob (2006), folgen auch sie der Unterteilung Panjabi's (1992). Sie führen zusätzlich zu den von Gottlob genannten lokalen Stabilisatoren, die Beckenbodenmuskulatur und das Zwerchfell an. Auch bei den globalen Stabilisatoren werden zusätzlich „Teile der Beckenbodenmuskulatur“ angeführt, jedoch nicht näher bestimmt. Den globalen Mobilisatoren werden der M. longissimus und der M. iliocostalis hinzugefügt.

Tabelle 2: Charakteristika der Muskulatur

Charakteristika der Muskulatur	
Lokal	Global
tiefliegend aponeurotisch vorwiegend ST- Fasern aktiv bei Ausdaueraktivitäten wird bei geringen Widerständen aktiviert (30-40% MVC) teilweise abgeschwächt (gedehnt) schlechte Rekrutierungsfähigkeit (gehemmt)	oberflächlich fusiform vorwiegend FT- Fasern aktiv bei Kraftaktivitäten wird bei höheren Widerständen aktiviert (<40% MVC) teilweise verkürzt gute Rekrutierungsfähigkeit

Quelle: Faries & Greenwood (2007, S. 11), mod. n. Peham (2019)

Faries und Greenwood (2007) schließen sich der Unterteilung Bergmarks an und fügen den

lokal und global agierenden Muskeln spezifische Charakteristika hinzu. Demnach sind sie durch die in der Tabelle 2 dargelegten Eigenschaften charakterisiert.

Die lokalen Muskeln weisen allesamt eine kürzere Länge auf, heften sich direkt an die Wirbel an und sind in erster Linie dafür verantwortlich, eine ausreichende Kraft für die segmentale Stabilität der Wirbelsäule zu erzeugen und der Übertragungen von externen Lasten entgegenzuwirken. Auf Grund der langen Hebel und großen Momentarme sind demnach die globalen Muskeln hauptsächlich für die Erzeugung von Bewegung und Drehmoment der Wirbelsäule (Geschwindigkeit und Kraft multiplanarer Bewegungen) verantwortlich. (vgl. Faries & Greenwood, 2007) Zusätzlich unterteilen Faries und Greenwood (2007) die lokale Muskulatur in primäre und sekundäre Stabilisatoren. Sie stellen in ihren Forschungen fest, dass die primären Stabilisatoren lediglich der Stabilisierung der Wirbelsäule dienen und im Gegensatz zu den sekundären Stabilisatoren keine direkte Bewegung an der Wirbelsäule verursachen. Eine komplette Aufschlüsselung der einzelnen Muskeln ist in der Tabelle 3 ersichtlich.

Tabelle 3: lokale und globale Muskulatur

Core-Muskulatur		
Lokale Muskulatur (stabilisierendes System)		Globale Muskulatur (Bewegungs-System)
Primär	Sekundär	
Querer Bauchmuskel (M. Transversus abdominis)	Innerer schräger Bauchmuskel (M. Obliquus internus abdominis)	Gerader Bauchmuskel (M. Rectus abdominis)
Vielgespaltener Muskel (M. Multifidus)	Äußerer schräger Bauchmuskel (M. Obliquus externus abdominis) medialer Anteil	Äußerer schräger Bauchmuskel (M. Obliquus externus abdominis) lateraler Anteil
	Quadratischer Lendenmuskel (M. Quadratus lumborum)	Großer Lendenmuskel (M. Psoas major)
	Zwerchfell (Diaphragma)	Rückenstrecker (M. Erector Spinae)
	Beckenbodenmuskulatur	Darmbeinrippenmuskel (M. Iliocostalis)
	tiefliegender lumbaler Anteil vom Darmbeinrippenmuskel (M. Iliocostalis) und Langer Rückenmuskel (M. Longissimus)	Brustwirbelsäulenbereich

Quelle: Faries & Greenwood (2007, S. 12), mod. n. Peham (2019)

Auf das Training der Core-Stabilität wird jedoch in einem eigenen Kapitel, gesondert, eingegangen.

Wie auch bereits Koller (2011) sagte, ist die Zuordnung der Muskeln im Großen und Ganzen recht klar. Lediglich bei den Mm. Obliquus internus und externus abdominis scheint es unterschiedliche Ansätze zu geben.

Entgegen der zuvor dargestellten Gliederung von Faries & Greenwood (2007), wird vom überwiegenden Teil der AutorInnen (Richardson, Hodges & Hides, 2009; Richardson et al., 1999 & 2002; McGill, 2009 & 2010) der M. obliquus externus abdominis den globalen System zugeordnet, da dieser keinen Ursprung und Ansatz an den lumbalen Wirbeln und keinen Ansatz an der Fascia thoracolumbalis hat. (vgl. Koller, 2011)

„Im Großteil der Arbeiten, betreffend lokal stabilisierender Muskulatur im Lenden- und Beckenbereich, wird der M. obliquus internus abdominis mit seinen tiefliegenden Fasern dem lokalen System zugeordnet (Barr, Griggs & Cadby, 2005; Behm et al., 2010; Gamble, 2007; McGill, 2010; Sekendiz, 2010; Richardson, Hodges & Hides, 2009; Willardson, 2007a; zit.n. Koller 2011).“ Demnach wird er auch diesem Subsystem zugeordnet.

Da sich die Zuteilung der Muskulatur auf die gesamte im vorherigen Kapitel herausgearbeitete Muskulatur des Core's bezieht, fehlen mitunter noch einige wesentliche Muskeln, weshalb im Anschluss alle lokalen und globalen Muskeln der Core-Muskulatur explizit ausgewiesen werden. Die Bezeichnung „gesamt“ bezieht sich auf die im vorherigen Kapitel aufgelisteten Muskeln der einzelnen Muskelgruppen und haben keinen Anspruch auf die tatsächliche anatomische Vollständigkeit.

Die lokale Core-Muskulatur:

- *Teile der Bauchwandmuskulatur*
 - M. quadratus lumborum
 - M. iliopsoas
 - M. obliquus internus abdominis
 - M. transversus abdominis
- *Autochthone Rückenmuskulatur*
 - gesamter Lateraler Trakt
 - gesamter Medialer Trakt

Die globale Core-Muskulatur:

- *Teile der Bauchwandmuskulatur*
 - M. Rectus abdominis
 - M. iliopsoas
 - M. obliquus externus abdominis
- *Rumpf-Armmuskulatur*
 - M. latissimus dorsi
- *Gesäßmuskulatur*
 - M. gluteus maximus
- *gesamte Beckenbodenmuskulatur*
- *gesamtes Diaphragma*
- *gesamte Schultergürtelmuskulatur*

Hiermit sind die Basiskonzepte und deren Unterteilung abgeschlossen. Im Anschluss wird auf eine spezifische Form der Unterteilung der Core-Muskulatur eingegangen. Dabei handelt es sich um dynamische miteinander interagierende Subsysteme, genauer um die bereits anfänglich kurz erwähnten, sogenannten Schlingensystemen. Diese Art der Unterteilung kommt eine besondere Bedeutung bei der Aufarbeitung der Rolle des Core-Stabilitäts-Training in Bezug auf Verletzungen der unteren Extremitäten zu, da sie erstmals Verbindungen zwischen einzelnen Strukturen innerhalb des Körpers explizit darstellen und erklären. Ähnlich den zuvor dargestellten Konzepten, gibt es auch hinsichtlich dieser Systeme unterschiedliche Ansichten und Theorien.

Das Muskelschlingensystem nach Pappert (2010) charakterisiert sich vor allem durch die entgegengesetzte Arbeitsweise einzelner Muskeln und Muskelgruppen. „Wenn eine Muskelschlinge kontrahiert, dehnt bzw. spannt sich die andere. In bestimmten Haltepositionen stabilisieren sie Becken und Wirbelsäule über eine gemeinsame Kontraktion. Bei großflächigen Bewegungen (z.B. bei Beuge- oder Drehbewegungen des Rumpfes) übernehmen sie auch Kontroll- und Stabilisierungsaufgaben.“ (Pappert, 2010, S. 10)

Insgesamt weist Pappert (2010) vier Schlingensysteme aus, wobei das vordere Diagonal-System wiederum durch zwei Ketten gebildet wird. Zum einen durch die schräge Bauchmuskulatur und den mittleren Gesäßmuskel und zum anderen durch die schräge Bauchmuskulatur und dem langen Schenkelanzieher (Abb. 8). Dieses doppelte System ist vor allem für kombinierte Dreh- und Neigebewegungen des Rumpfes zuständig.

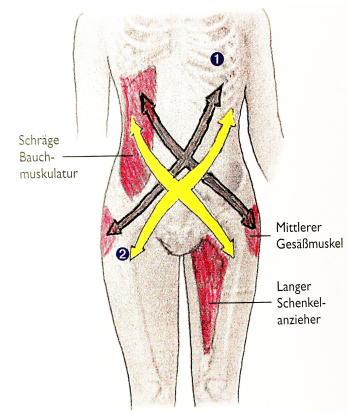


Abbildung 8: Vorderes Diagonal-System, Quelle: Pappert (2010, S. 10)

Das Pendant, sprich das hintere Diagonal-System (Abb. 9) besteht aus dem breiten Rückenmuskel und dem großen Gesäßmuskel, welche über die Lenden-Rücken-Binde (Fascia thoracolumbalis) verbunden sind. Dieses System ist für die Dreh- und Streckbewegungen des Rumpfes verantwortlich. Es wird durch das hintere tiefe Längssystem (Abb.10) in ihrer Funktion der Rumpfextension unterstützt. Dieses System besteht aus dem langen Rückenstrecker, dem Kreuzbein-Sitzbeinhöckerband (Ligamentum sacrotuberale) und dem zweiköpfigen Schenkelmuskel, die ebenfalls über die Fascia thoracolumbalis verbunden sind. Das vierte System stellt das seitliche Diagonal-System (Abb. 11) dar. Es verbindet den Schenkelanzieher mit dem mittleren und kleinen Gesäßmuskel und ist hauptsächlich für die Stabilisierung des Beckens beim Gehen verantwortlich.

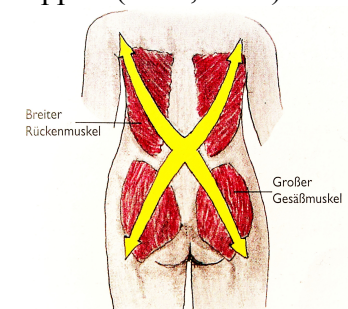


Abbildung 9: Hinteres Diagonal-System, Quelle: Pappert (2010, S. 11)

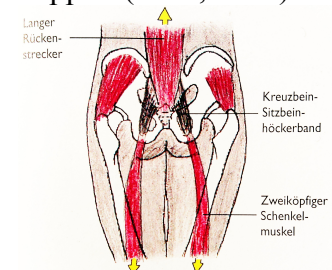


Abbildung 10: Hinteres tiefes Längssystem, Quelle: Pappert (2010, S. 11)

Diese Unterteilung in Muskelschlingensysteme ist wie schon zuvor erwähnt nur eine Möglichkeit der Darstellung des Zusammenwirkens verschiedener Muskeln und Muskelgruppen. Bereits in den 1970er Jahren haben Logan & McKinney den „Serape-Effekt“ vorgestellt. Dieser baut auf frühere Überlegungen zum System der inneren und äußeren Bauchmuskulatur und deren Übertragung von Kräften, sowohl vor als auch hinter dem Körper auf. Aus der anatomischen Beschreibung des „Serapes“ geht klar hervor, dass die beteiligten

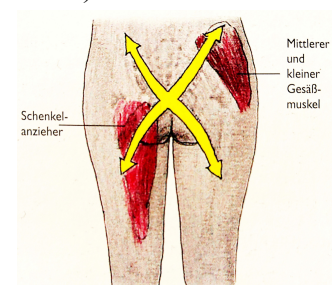


Abbildung 11: Seitliches Diagonal-System, Quelle: Pappert (2010, S. 11)

Muskeln spiralförmig hintereinander angeordnet sind. Logan und McKinney's ursprünglicher Serape (Abb. 12) sieht aus wie ein riesiger Schal, der um den Nacken gewickelt ist, die Vorderseite des Körpers kreuzt und sich in die „pant line“ einschnürt. Dieses Modell bietet einen grafischen Einblick in die Spiralnatur des Körperkerns, genauer gesagt in die Diagonalform der vorderen beschleunigenden Muskulatur. Logan und McKinney weisen jedoch deutlich darauf hin, dass

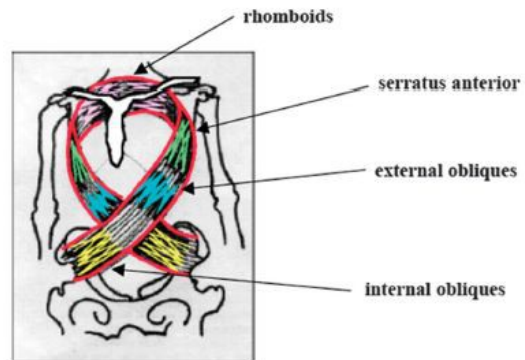


Abbildung 12: Serape nach Logan & McKinney 1970, Quelle: Santana, McGill & Brown (2015, S. 9)

ihr Serapeffekt nur ein Teil eines Multisystemmodells ist. Somit wurde auch dieses System im Laufe der Jahre weiterentwickelt. Myers (2009) beschreibt die myofaszialen Verbindungen zwischen diesen Muskeln und ihren Sehnen. Viele dieser Muskeln und Sehnen stehen nicht in direkter Verbindung mit dem Knochen, sondern sie verbinden sich untereinander und übertragen Kräfte über Wege, die weit über die Länge eines einzelnen Muskels hinausgehen. Diese Muskelpaarungen ermöglichen es Kräften entlang des Serapes zu übertragen. Zum Beispiel würden sich gemäß dem „posterioren Oblique Modell“ die rechten Gesäßmuskeln mit dem linken Latissimus dorsi paaren.

Der anteriore und posteriore Serape (APS) sind ein Konzept zur Erklärung der Weiterleitung von Kräften durch den gesamten Körper bei Bewegungen des menschlichen Körpers. Dieses Modell erweitert das ursprüngliche Serape-Spiralkonzept beidseitig um den Ober- und Unterkörper. Das Diagonalband kreuzt den Oberkörper vorne durch die Brustmuskeln und hinten durch die Rhomboiden. (vgl. Santana, McGill & Brown, 2015)

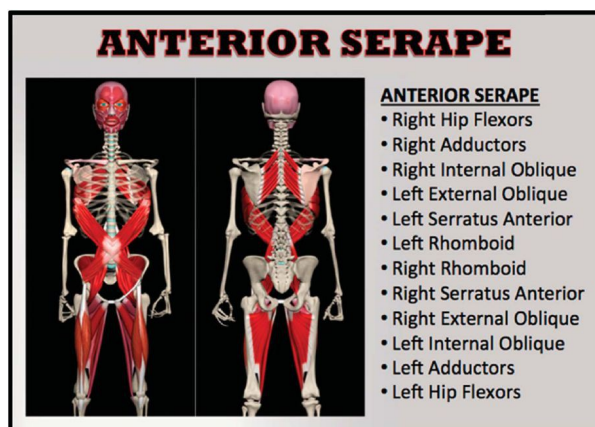


Abbildung 13: Anterior Serape, Quelle: Santana, McGill & Brown (2015, S. 11)

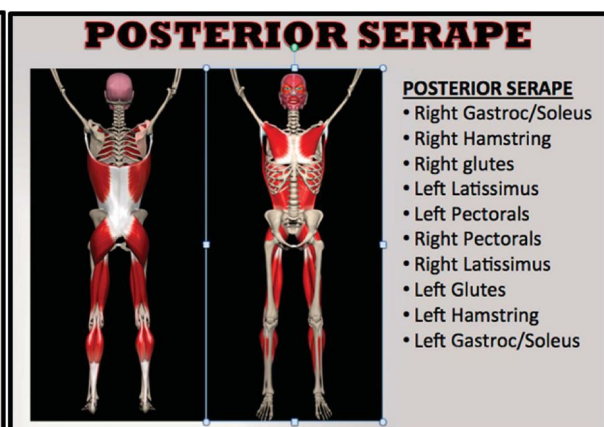


Abbildung 14: Posterior Serape, Quelle: Santana, McGill & Brown (2015, S. 12)

In den Abbildungen 12 und 13 sind die bandhaften Verbindungen der einzelnen Muskeln zu einer Muskelschlinge deutlich ersichtlich. Da sowohl das vordere, als auch das hintere bandhafte System jeweils mit den vorderen, bzw. hinteren Core-Muskeln kreuzt, ermöglichen es diese Systeme eine Bogenspannung über den gesamten Körper aufzubauen. (vgl. Santana, McGill & Brown, 2015)

Das APS-Modell stellt praktizierenden Personen eine einfache Methode zur Verfügung, um den Krafterzeugungsmustern zu folgen, die der Körper verwendet, um nahezu jede Aktivität auszuführen. Die Bandbreite an Möglichkeiten reicht hier vom Laufen, über das Werfen eines Balles, bis hin zum Aufnehmen einer Langhantel (z.B. Kreuzheben). (vgl. Santana, McGill & Brown, 2015) Hinsichtlich der Fragestellung dieser Arbeit, sind hier primär Bewegungen der unteren Extremitäten von Interesse.

Dieses Konzept reiht sich unter den neueren Theorien von Muskelschlingen ein. Sie kennzeichnen sich durch ein System von Muskelschlingen die in ein umfassendes dynamisches Gesamtsystem aus Rumpfmuskeln und Faszien integriert sind.

„Je nach Bedarf werden bestimmte Schlingensysteme bei- oder zugeschaltet. Dafür spricht, dass die dargestellten Muskelschlingen keine Anfangs- und Endpunkte haben, sich manchmal gegenseitig überlappen oder interaktiv arbeiten.“ (Lee, 2004; zit. n. Pappert, 2010, S. 11)

Im Vergleich zu den soeben vorgestellten dynamischen Systemen, die ein Zusammenwirken verschiedener Muskeln beschreiben, sind die zuvor erläuterten Konzept von Panjabi und Bergmark als Basis zu verstehen, welche die Muskeln grundsätzlich nach ihrer Funktionsweise unterscheiden.

Beide Unterteilungen haben ihre Berechtigung und tragen zum Verständnis der in den folgenden Kapiteln dargestellten Sachverhalte dar.

Im Anschluss wird ein weiterer wichtiger Aspekt der Fragestellung näher untersucht, die Core Stabilität. Ähnlich der Vorgehensweise in den ersten Kapiteln der Arbeit, gilt es auch hier zuerst den momentanen Stand der Wissenschaft darzustellen und eine geeignete Definition zu finden, bevor auf spezifische Unterpunkte, wie der Messbarkeit der Core-Stabilitäts und dem Core-Stabilitäts-Training eingegangen wird.

4 Core-Stabilität

4.1 Definition Core-Stabilität

Bevor der Terminus Core-Stabilität näher definiert wird, gilt es ergänzend zum bereits ausführlich erläuterten Begriffs des Core, in einem ersten Schritt, einige Konzepte der Stabilität kurz darzustellen.

Dabei wird zuerst auf die umfassende Beschreibung und die Definitionen der Forschungsgruppe rund um Reeves näher eingegangen. Da der Begriff Stabilität selbst im Ingenieurwesen keiner einheitlichen Definition unterliegt, ist es wenig verwunderlich, dass man auch in der Biomechanik der Wirbelsäule auf unterschiedliche Definitionen trifft (vgl. Reeves & Cholewicki, 2003).

Stabilität ist zwar eines der grundlegendsten Konzepte zur Charakterisierung und Bewertung eines Systems, jedoch besteht es aus vielen Teilen. Betrachtet man die Biomechanik der Wirbelsäule bekommt dieser Begriff oftmals verschiedene Bedeutungen. Dadurch, dass bei der Untersuchung von einem dynamische System, wie der Wirbelsäule, teilweise Analysemethoden der statischen Stabilität verwendet werden, entsteht oftmals zusätzlich Verwirrung. Der Schlüssel für die Gemeinschaft der Biomechaniker liegt daher in der Auswahl einer geeigneten Definition, die die Probleme der Wirbelsäule miteinschließt. Deshalb ist es wichtig, dass eine Definition für die Stabilität, auf Grundlage des betrachteten Systems auch die Eigenschaften, dieses (im Falle der Wirbelsäule) dynamischen Systems, widerspiegelt. (vgl. Reeves, Narendra & Cholewicki, 2007)

Damit ein System seine Aufgabe/Funktionen erfüllen kann, muss es stabil sein. In Bezug auf die Wirbelsäule, bedeutet das, die Stabilität beizubehalten, um Belastungen zu tragen, Bewegung zu ermöglichen und gleichzeitig Verletzungen und Schmerzen zu vermeiden. (vgl. Reeves et al., 2007)

Das Forschungsteam rund um Reeves fragte sich, ob es trotz der Vorhersage für statische Definition der Wirbelsäule, tatsächlich immer besser ist, eine steife Wirbelsäule zu haben, um wie aus diesen Definitionen hervorgehend, dadurch das Verletzungsrisiko zu reduzieren.

Denn sie stellen zwar fest, dass bei bestimmten Situationen eine erhöhte RumpfstEIFigkeit essentiell zu sein scheint, um die Wirbelsäule vor Verletzungen zu schützen (z. B. vor einem Body Check beim Hockey). Dennoch könne dies keinesfalls veralgemeinert werden, da in

Situationen die eine präzise motorische Kontrolle erfordern, eine dynamische Charakterisierung der Stabilität erforderlich sei. (vgl. Reeves et al., 2007)

Damit der Stabilitäts-Zustand eines Systems festgestellt werden konnte, untersuchten sie wie sich Störungen auf Systeme auswirken. Nach ihren Untersuchungen, fasste die Forschungsgruppe rund um Reeves (2007, S. 2-3) zusammen, dass ein System stabil ist, wenn sich der Zustand eines Systems, trotz einer Störung nicht verändert. Wenn das geänderte Verhalten nach einer Störung, nicht mehr vom alten Verhalten zu unterscheiden ist und sich das System nach einer ausreichend langen Zeit in seine ursprüngliche Position zurückkehrt, so ist das System asymptotisch stabil. Von einem instabilen System ist die Rede, wenn sich das gestörte Verhalten deutlich vom alten Verhalten unterscheidet.

Im Bezug auf die Wirbelsäule interessierte Sie, ob es bei einer Störung des Systems zu einer Verschiebung von einzelnen Wirbelsegmenten über ihren physiologischen Bereich hinaus kommt. Wenn zum Beispiel eine Person ein Objekt auffängt, das auf sie geworfen wird, so würde eine stabile Wirbelsäule zwar während des Fangens leicht von ihrer ursprünglichen Position abweichen, jedoch nicht genug, um dadurch verletzt zu werden. Bei einem solchen Verhalten, wenn also die Wirbelsäule in ihre ursprüngliche Position zurückkehrt, ist die Wirbelsäule der Person, laut der vorhergehenden Beschreibung, als asymptotisch stabil zu bezeichnen. (vgl. Reeves et al., 2007)

Wie bereits erwähnt, muss die Stabilität sowohl für statische Bedingungen, in denen sich das System im Gleichgewicht befindet, als auch für dynamische Situationen, in denen sich das System auf einer bestimmten Bahn bewegt, definiert werden.

Unabhängig von den Bedingungen, verwendeten Reeves et al. (2007) immer das gleiche Konzept, bei dem jeweils eine kleine Störung initiiert und das neue Verhalten beobachtet wurde. Bei der Untersuchung des dynamischen Systems, stand vor allem der Vergleich zwischen der Bewegungsbahn nach einer Störung, mit der Bewegungsbahn des ungestörten Systems im Vordergrund. Sie stellten fest, dass ein System stabil ist, wenn sich der Bereich in dem es liegt, abhängig von der Größe der Störung, mit verändert. Hat der Bereich in dem das System liegt unabhängig von der Größe der Störung immer dieselbe Größe, ist das System instabil. (vgl. Reeves et al., 2007)

Als Beispiel führten Sie die aus dem Heben resultierende Bewegungsbahn der Wirbelsäule und die damit verbundenen Bewegungen der Wirbel an. Angenommen es wird eine Person,

mit einer stabilen Wirbelsäule, während des Hebens gestoßen und die Last verschiebt sich, so bleiben die Wirbel entweder in der Nähe der beabsichtigten Bahn, oder sie kehren nach einer kurzen Verschiebung in ihre ursprüngliche Bahn zurück.

Die Stabilität hängt somit, laut der Forschungsgruppe rund um Reeves, in erster Linie vom System und der ausgeführten Aufgabe ab. Dies erklärt, warum es so viel Verwirrung um diesen Begriff gibt.

Wenn zum Beispiel die Stabilität des Stehens untersucht wird, könnte eine Störung, die einen Schritt erfordert, implizieren, dass die Stabilität nicht aufrechterhalten wurde. Wenn es jedoch das Ziel ist, eine Box in ein Regal zu stellen und eine Störung die Person dazu zwingt, vor der korrekten Positionierung der Box einen Schritt zu machen, kann daraus geschlossen werden, dass diese Aufgabe erfolgreich und das Heben stabil war. Wenn jetzt noch zusätzlich das Ziel besteht, die Kiste anzuheben, ohne den Rücken zu verletzen, dann muss die Person, die die Kiste hebt, um die Aufgabe zu erfüllen, sie nicht nur an der richtigen Stelle platzieren, sondern auch darauf achten, keine schädlichen Kräfte, oder übermäßigen Gewebsbelastung zu erzeugen. (vgl. Reeves et al., 2007)

Allgemein betrachtet fassen Reeves et al. (2007) zusammen, dass ein statisches Konzept der Wirbelsäulenstabilität nicht ausreicht, wenn die Wirbelsäule als ein dynamisches System angesehen wird. Denn die Stabilität des Systems wird durch einen ständigen Rückkoppelungsmechanismus aufrechterhalten, der sich auch auf die Robustheit und Leistung des Systems auswirkt. Durch die hier beschriebene Kontextabhängigkeit ist es wichtig, die Stabilität stets in Bezug auf die Aufgabe und das System zu definieren. Dabei ist darauf zu achten, dass beispielsweise die Merkmale der Wirbelsäule nicht mit den Eigenschaften des Gesamtsystems verwechselt werden. Denn eine steifere Wirbelsäule bedeutet nicht zwangsweise ein steiferes Gesamtsystem. In einigen Fällen kann eine steife Wirbelsäule größere Verschiebungen erfahren, um die Stabilität hinsichtlich der Aufgabe zu erhalten. (vgl. Reeves et al., 2007)

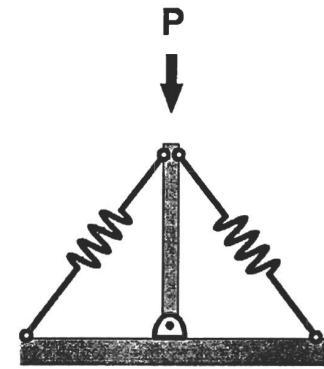
Ergänzend zur Erläuterung der Stabilität hinsichtlich ihrem zu Grunde liegenden System und dessen Aufgabe durch Reeves et al. (2007), wird im Anschluss das Konzept der Stabilität, von McGill und Cholewicki (2001), durch einen systeminternen Faktor, präzisiert und ergänzt.

Von deren Gesichtspunkt aus, bietet es sich an, ein geschlossenes System auf Grundlage der Energie zu beschreiben und zu beurteilen. Grundsätzlich gibt es mehrere Arten von Energie. Im

Kontext der Core Stabilität ist jedoch nur die potentielle Energie von Bedeutung. Die potentielle Energie kann wiederum in zwei Unterarten gegliedert werden. Sie kann sowohl als Lageenergie, die in diesem Fall nicht sonderlich hilfreich ist, als auch als Funktion der Steifheit und der Speicherung von elastischer Energie betrachtet werden, was für muskuloskeletale Anwendungen zutreffend ist. Die Formel dieser elastischen potentiellen Energie beschreibt eine elastische Struktur mit der Steifigkeit (k), die die potentielle Energie speichert, indem sie um eine Strecke (x) gestreckt wird. Mit anderen Worten, je größer die Steifigkeit, desto stabiler ist die Struktur. So schafft Steifigkeit in weiterer Folge Stabilität (Abbildung 15). Im Detail bildet ein aktiver Muskel ein steifes Glied und erzeugt eine Sehnenkraft. Je größer die Aktivierung eines Muskels, desto größer ist auch seine Steifigkeit. Darüber hinaus besitzen Gelenke eine inhärente Gelenksteifigkeit, da Bänder und andere Kapselstrukturen zu einer Steifigkeit beitragen, die in Richtung der Grenze der Gelenkbewegung zunimmt. Auf diese Weise kann das motorische Kontrollsystem die Stabilität der Gelenke durch aktive Muskelaktivierung und in geringerem Maße, indem Gelenke in Positionen gebracht werden, die den Beitrag der passiven Steifheit modulieren, kontrollieren. Damit ein Gelenk größere Lasten tragen kann und um ein Ausknicken, oder eine unerwünschte Verschiebung zu verhindern, ist eine höhere Stabilität erforderlich. In den meisten Situationen ist jedoch nur eine geringe Steifigkeit erforderlich, um ein Gelenk zu stabilisieren. Tatsächlich kann eine maximale Gelenksteifigkeit bei einer maximalen isometrischen Kontraktion von 25% erreicht werden. Eine zu hohe Steifigkeit durch Muskelaktivierung belastet das Gelenk stark und bewirkt, dass es zu steif wird und somit Bewegungen behindert. Dem mittleren Bewegungsbereich weist das motorische Kontrollsystem, Muskelaktivierungsmuster zu, die sicherstellen, dass eine angemessene Stabilität erreicht wird. Einzelne Gelenke weisen eine passive Steifigkeit auf, die gegen Ende des Bewegungsbereichs eines Gelenks zunimmt. Die Rolle des motorischen Kontrollsystems liegt darin, zuerst eine ausreichende Steifigkeit und Gelenkstabilität herzustellen, bevor es zur Drehmomenterzeugung kommt. Vor allem dann, wenn sich ein Gelenk noch nicht am Ende des Bewegungsbereichs befindet und das passive Gewebe keinen mechanischen Bewegungsstopp erzeugen kann. (vgl. McGill & Cholewicki, 2001) Sowohl ungenügende Steifheit, als auch zu viel Steifheit ist somit problematisch.

Daher stellt sich die Frage wie hoch die "ausreichende Stabilität" (sufficient stability) ist? Richardson et al. (1999) bieten hier eine Erklärung an, jedoch bezieht sich die auf die

Herstellung der Stabilität nach einer Verletzung. Dabei stellten sie Verluste der normalen motorischen Mustern, wie auch Verluste der normalen passiven Steifheit und daraus resultierende abweichende Gelenkbewegung fest. Das klinische Ziel nach Verletzungen besteht nun darin, ein geringes Ausmaß an "zusätzlicher" Steifigkeit/Stabilität herzustellen, um eine Sicherheitsspanne zu bilden. Diese zusätzliche Steifigkeit/Stabilität ist auch als "ausreichende Stabilität" (sufficient stability) bekannt.



*Abbildung 15:
Increasing the stiffness
of the cables (muscles)
increases the ability to
support larger applied
loads (P) without
falling. Quelle: McGill
& Cholewicki (2001, S.
98)*

Wie bereits beim Konzept des „Core's“, liegen jedoch auch dem Konzept der „Core-Stabilität“ unterschiedlichste Definitionen zu Grunde. Laut Lederman (2010) kam der Begriff Core-Stabilität (CS) bereits in der zweiten Hälfte der 1990er Jahre auf. Die Core-

Stabilität wurde weitgehend aus Studien abgeleitet, die eine Veränderung des Timing der Rumpfmuskulatur bei Patienten mit Rückenverletzungen und chronischen Rückenschmerzen (CLBP) zeigten, wie Hodges und Richardson bereits 1996 erstmals und erneut 1998 feststellen.

Zudem ist auch dieser Begriff weitestgehend bekannt, wie die Pilates Trainerin Suzy Barton aus London mit dem Zitat McNeill's (2010) untermauert: „Der Begriff Core Stabilität wird von gewöhnlichen Menschen verwendet, die darunter ein starkes Zentrum während Arme und Beine bewegt werden, verstehen.“ McNeill (2010) kritisiert diesen Begriff aber gerade aus diesem Grund heraus, da der Begriff Core Stabilität unpräzise und frei für Interpretationen ist. Weiters schmäler er, dass die Core Stabilität ohnehin nur ein Teil des Konzepts der „motor control“ (Bewegungskontrolle) ist.

Auch Peter O'Sullivan (2012) scheint wenig begeistert von diesem Terminus, als er bei einem Interview erklärte, dass er den Begriff Core-Stabilität nicht versteht und er glaubt, dass, dieser Ausdruck nicht hilfreich ist, weil dadurch vermittelt wird, dass ein übermäßiges Anspannen und Versteifen des Rückens gesund ist, obwohl man weiß, dass es dadurch zu einer Kompression kommt und dies wiederum zu Schmerzen führen kann.

Da dieser Begriff eine entscheidende Rolle in der Aufarbeitung der Forschungsfrage darstellt, gilt es der Verwirrung und Kritik um diesen Begriff, auf den Grund zu gehen und Klarheit zu

schaffen. Dabei werden im Anschluss verschiedenste Definitionen der in diesem Bereich forschenden Personen aufgegriffen, mit den soeben dargestellten Basisprinzipien der Stabilität in Verbindung gesetzt und abschließend wird versucht eine umfassende Definition zu erstellen.

Nach Bliss und Teeple (2005) scheint Stabilität ein geradliniges Konzept zu sein. Ähnliche Konzepte umfassen laut Ihnen die Stärkung des Core, die Fusion von Muskeln, die lumbopelvische Stabilisierung und die dynamische Stabilisierung. Sie gehen auf den Begriff der Core-Stabilität ein und bilden hier somit den Übergang von den grundlegenden Erklärungsansätzen, hin zu den alles umfassenden Gesamtkonzepten der Core-Stabilität. Sie sind jedoch der Meinung, dass zwischen der Steifigkeit und der dynamischen Stabilisierung ein wichtiger Unterschied besteht. Die Kontrolle des lumbopelvischen Systems und die damit zusammenhängende Steifheit, wird als ineffizient bezeichnet, solange dieses System/diese Region während täglichen Aktivitäten, in diesem Fall während des Sporttreibens, nicht dynamisch stabilisiert wird. Dabei verstehen sie unter dynamischer Stabilisierung die Fähigkeit, Kraft und Ausdauer trotz aller Änderungen des Schwerpunkts in Folge von Muskelaktivität, in allen Bewegungsebenen und bei jeder Aktion funktional zu nutzen. Denn Stabilisierung erfordert eine neutrale Wirbelsäulenposition sowie die Fähigkeit, sich in dieser Position, in einer kontrollierten Art und Weise, zu bewegen. (vgl. Bliss & Teeple, 2005) Letztgenanntes greift auch Willardson (2007) auf, der sich auf die Definition Panjabis stützt und die Core-Stabilität als die Fähigkeit des Stabilisierungssystems, die neutralen Zwischenwirbelzonen innerhalb physiologischer Grenzen zu halten, definiert.

Wie bereits Willardson (2007) beziehen sich auch Liemohn, Baumgartner und Gagnon (2005) und Liemohn, Baumgartner, Fordham und Srivatsan (2010) bei Ihrer Definition auf Panjabi und ergänzen sie um den Aspekt der Meisterung von Aktivitäten des täglichen Lebens durch eine Person. Weiters führen sie kurz die an der Core-Stabilität beteiligten Systeme an.

„Ausgehend von Panjabi definieren wir CS als die funktionale Integration der passiven Wirbelsäule, der aktiven Wirbelsäulenmuskulatur und der neuronalen Kontrolleinheit auf eine Weise, die es dem Individuum ermöglicht, die neutralen Zwischenwirbelzonen während der Aktivitäten des täglichen Lebens innerhalb physiologischer Grenzen zu halten.“ (Liemohn et al., 2005; Liemohn et al., 2010)

Im Allgemeinen wird eine neutrale Wirbelsäule, aber fälschlicherweise als gleichbedeutend mit einer flachen Rückenlage angesehen. Eine neutrale Wirbelsäulenposition stellt aber keineswegs eine feste Position dar. Sie stellt vielmehr eine mittlere Gelenkshaltung dar und ist normalerweise eine Position des Komforts. Diese Haltung ist dabei keineswegs einheitlich, denn sie wird durch die inhärente muskuloligamentäre Flexibilität und strukturelle Anatomie des Individuums vorgegeben. Daher sind für die posturale Kontrolle der lumbopelvinen Region eine ausreichende Steifigkeit, sowie muskuläre Ausdauer und Flexibilität der Hamstrings, des Quadrizeps, des Iliopsoas, des Gastrocnemius, der Hüftrotatoren und des Tensor fasciae latae notwendig. Abschließend merken sie in Ihrem Artikel an, dass eine Position des Gleichgewichts auch eine Position der Kraft ist. (vgl. Bliss & Teeple, 2005)

Dem gegenüber steht die Definition von Borghuis, Hof und Lemmink (2008).

Obwohl festgestellt wurde, dass die Hüftmuskulatur beim Verbinden des Core's mit den unteren Extremitäten und beim Übertragen von Kräften von und zum Core sehr wichtig ist, sind Sie der Meinung, die Hüftmuskulatur außer Acht zu lassen, wenn über das Konzept der Core-Stabilität gesprochen wird. Dennoch scheint eine geringe Co-Kontraktion der Core-Muskulatur wichtig für die Stabilität des Rumpfes zu sein. Durch diese Co-Kontraktionen wird eine gewisse Steifigkeit erzeugt, die wiederum ausreichende Stabilität gegenüber kleine Störungen bietet. Neben dieser Steifigkeit sind, insbesondere wenn plötzliche Störungen auftreten, richtungsspezifische Muskelreflexreaktionen erforderlich, um die Stabilität des Core's zu gewährleisten. Es scheint, dass die meisten Core-Muskeln, sowohl das lokale als auch das globale Stabilisierungssystem, kohärent arbeiten müssen, um eine Stabilität des Core's zu erreichen. Die Beiträge der verschiedenen Core-Muskeln hängen dabei von der ausgeführten Aufgabe ab. (vgl. Borghuis, Hof & Lemmink, 2008)

Kibler et al. (2006) nennen hier zwar spezifisch den transversus abdominis, multifidus und quadratus lumborum, jedoch wurde bei der Bestimmung der gesamten Core Muskulatur, (Kapitel 3), bei wesentlich mehr Muskeln die Funktion der Stabilisierung festgestellt.

Neben den hier spezifisch aufgeführten Muskeln, bieten Kibler et al. auch eine allgemeinere Erklärung der Aufgaben der Core Muskeln und der Herstellung der Stabilität an. Demnach erzeugen die größeren, voluminöseren Muskeln im zentralen Core einen steifen Zylinder und ein großes Trägheitsmoment gegen Körperstörungen, während sie dennoch eine stabile Basis für die distale Mobilität bieten. Die kleineren lokalen Muskeln sind dabei für die Präzision

und Kontrolle der Leistungsvariablen verantwortlich. Die erzeugte Core Stabilität dient so zur Maximierung der athletischen Funktion. Bereits geringe im Core erzeugte Rotationsmomente können sich deutlich auf distal liegende Segmente auswirken. (vgl. Kibler et al., 2006)

Kibler et al. (2006) setzen proximale Stabilität für distale Mobilität voraus, während es Borghuis et al. (2008) entscheidend finden, ein Gleichgewicht zwischen Stabilität und Mobilität herzustellen. Bei der Herstellung dieses Gleichgewicht ist laut Ihnen die Rolle der sensomotorischen Kontrolle weitaus wichtiger als die Stärke, oder Ausdauer der Core-Muskulatur. Borghuis et al. (2008) sagen dem ZNS weiters zu, dass es durch Co-Kontraktionen bestimmter Muskeln, eine stabile Grundlage für die Bewegung der Extremitäten, schafft. Dabei sind Ihnen zufolge, eine angemessenen Muskelrekrutierungen, sowie das Timing extrem wichtig für die Stabilität des Core's. (vgl. Borghuis et al., 2008)

Somit übertragen Borghuis et al. (2008), einige der zuvor dargelegten Eigenschaften des allgemeinen Konzepts der Stabilität, direkt auf die spezifische Stabilität des Core's. Beispielsweise wird die Kontextabhängigkeit der angemessene Muskelrekrutierung von Reeves et al. (2007), sowie die kohärente Arbeitsweise der Muskulatur von McGill und Cholewicki (2001) direkt auf das Konzept der Core-Stabilität übertragen.

Kibler et al. (2006) gehen weniger auf die Herstellung der Core Stabilität ein, sie erklären stattdessen, wie diese genutzt werden kann, um beispielsweise große Geschwindigkeiten der distalen Segmente herzustellen und dass sie im Allgemeinen eine zentrale Komponente bei normalen sportlichen Aktivitäten darstellt.

Nelson (2012) bezieht sich dahingehend auf die Definition von Kibler et al. (2006) und fasst Core-Stabilität als Möglichkeit, die Position und Bewegung des Rumpfes über dem Becken zu steuern, um bei sportlichen Aktivitäten eine optimale Produktion, Übertragung und Kontrolle von Kraft und Bewegung auf das Endsegment zu ermöglichen. Die proximale Stabilität bildet somit die Voraussetzung für die distale Mobilität. (vgl. Nelson, 2012)

Liemohn, Baumgartner und Gagnon (2005, S. 583) sprechen zudem der Core-Stabilität eine Schlüsselkomponente in der klinischen Rehabilitation, der Ausbildung von Leistungssportlern und der Verbesserung der Gesundheit und körperlichen Fitness bei trainierenden Personen, zu.

Laut Borghuis et al. (2008) wurden jedoch noch keine eindeutigen Beweise für einen positiven Zusammenhang zwischen der Core-Stabilität und der körperlichen

Leistungsfähigkeit gefunden, weshalb in diesem Bereich noch weitere Forschungen notwendig sind. Auf den Zusammenhang zwischen der Core-Stabilität und Verletzungen, wird hier bewusst nicht eingegangen, da dieses Thema gesondert, im zweiten Teil dieser Arbeit behandelt wird.

Verglichen mit Borghuis et al. (2008), greifen Faries und Greenwood (2007) zwar ebenfalls einige schon zuvor näher beleuchtete Aspekte, zum Beispiel die aktive Kontrolle der Wirbelsäulenstabilität durch die Regulierung der Kraft in den umgebenden Muskeln (McGill & Cholewicki, 2001), sowie die Erhöhung der Stabilität der Lendenwirbelsäule durch die Koaktivierung von agonistischen und antagonistischen Core-Muskeln auf, dennoch präzisieren sie die bisherigen Definitionen der CS geringfügig. Die oftmals beschriebene „Verbesserung der Stabilität eines Muskels“ ist laut Ihnen mißverständlich formuliert.

So gab es innerhalb Ihrer Forschung keinen Hinweis auf die Verbesserung der Stabilität eines Muskels, sondern eher seiner Fähigkeit, sich zu kontrahieren. Wenn der Begriff "Core strength" verwendet wird, wird Bezug auf die Fähigkeit der Muskulatur genommen, die Wirbelsäule durch kontraktile Kräfte und intraabdominalen Druck zu stabilisieren.

Hingegen wird laut dem Forschungsduo beim Begriff "Core-Stabilität", auf die Stabilität der Wirbelsäule und nicht auf die Stabilität der Muskeln selbst Bezug genommen.

Faries und Greenwood stellen die Vermutung in den Raum, dass zunehmende Muskelaktivierung zu einer größeren Stabilität der Wirbelsäule führt. (vgl. Faries & Greenwood, 2007) Die bereits am Anfang dieses Kapitels von Reeves dargelegte „dynamische Charakterisierung der Stabilität“ (Reeves et al., 2007) spricht jedoch gegen diese Annahme. McGill und Cholewicki (2001) bestätigen zwar, dass eine aktive Kontrolle der Wirbelsäulenstabilität unter anderem durch die Regulierung der Kraft in den umgebenden Muskeln erreicht wird, ergänzen aber, „eine zu hohe Steifigkeit durch Muskelaktivierung belastet das Gelenk stark und bewirkt, dass es zu steif wird und somit Bewegungen behindert.“ (McGill & Cholewicki, 2001)

Liehmohn et al. (2005, S. 583) geben an, dass obwohl die Begriffe Core stabilität und Core Strength oftmals gleichgesetzt werden, sie den Begriff Core Strength unter CS subsumieren. Denn Core Stabilität benötigt im Gegensatz zu Core Strength zusätzlich Ausdauer und Koordination. Faries und Greenwood (2007) schreiben den Aspekt "core strength" ebenfalls der Core-Stabilität als Teilbereich zu.

Im Anschluss werden noch zwei wesentlich umfassendere und aktuellere Definitionen der Core-Stabilität näher betrachtet. Chuter und Janse de Jonge (2012) bringen trotz der Ausführlichkeit Ihrer Definition zwar die meisten zuvor genannten Bestandteile der Core-Stabilität darin unter, jedoch fehlen, wie man im Anschluss erkennen kann, auch hier einige wichtige Aspekte.

Knochen- und Bandbestandteile der Wirbelsäule erzeugen zwar passive Stabilität, tragen aber nur wenig zur Gesamtstabilität bei. Die Bänder der Wirbelsäule erfüllen eine wesentliche propriozeptive Rolle, indem sie afferentes Feedback zu lumbale Wirbelsegmente liefern. Die größten Stabilisierungskräfte werden durch aktive Muskelkontraktion der Rumpf-, Becken- und Hüftmuskeln erzeugt, die zur Aufrechterhaltung der Core-Stabilität beitragen. Core-Stabilität bezieht sich auf die Fähigkeit der Rumpfmuskulatur, die Wirbelsäule durch Muskelkontraktion und Aufrechterhaltung des intraabdominalen Drucks zu stabilisieren. Core-Stabilität ist erforderlich, um die Steifheit des Rumpfes und der Hüfte zur Vorbereitung und als Antwort auf Belastungen der Wirbelsäule zu erhöhen, eine Instabilität der Wirbelsäule zu verhindern und nach einer Störung dazu beizutragen wieder zurück ins Gleichgewicht zu finden. Die erhöhte Steifigkeit des Core bietet proximale Stabilität für die Bewegung der unteren und oberen Gliedmaßen, die Beibehaltung des Massenschwerpunkts (COM) innerhalb der Unterstützungsfläche und eine effiziente Absorption von distal erzeugten Kräften. Rumpfstabilität tritt unverzüglich auf und erfordert sowohl eine erhebliche Muskelausdauer (core strength) als auch eine hochgradige neuromuskuläre Kontrolle. (Chuter & Janse de Jonge, 2012).

Die anschließende Definition stellt die aktuellste (2018) dar. Sie bezieht sich auf einige Autoren die in diesem Kapitel behandelt werden, schließt aber auch noch etliche andere ein, weshalb sie mitunter zu den vollständigsten Definitionen zählt.

Core Stabilität wird im Allgemeinen, als die grundlegende lumbopelvine dynamische Steuerung definiert, die eine optimale Produktion, Übertragung und Kontrolle von Kraft und Bewegung ermöglicht, die während funktionaler Bewegung durch die gesamte kinetische

Kette übertragen wird. (Ireland et al., 2003; Kibler et al., 2006; Cholewicki & McGill, 1996; Ebenbichler, Oddson, Kollmitzer, & Erim, 2001; Hammill, Beazell, & Hart, 2008; Hibbs, Thompson, French, Wrigley, & Spears, 2008; Leetun, Ireland, Willson, Ballantyne, & Davis, 2004; zit. n. De Blaiser et al., 2018, S. 48) Eine effiziente und unmittelbare Funktionsweise der Core Stabilität erfordert laut De Blaiser et al. (2018, S. 48) die erfolgreiche Integration von adäquaten muskulären Eigenschaften, die durch Kraft und Ausdauer definiert werden, sowie der sensomotorischen Kontrolle, die auf Propriozeption und neuromuskuläre Kontrolle angewiesen ist.

Da auch dies Definition keinen Anspruch auf Vollständigkeit hat, gilt es, wie bereits anfänglich erwähnt, eine eigene, umfassendere Definition der Core-Stabilität zu finden.

Da die für die Stabilität zuständige Muskulatur bereits im Kapitel 3 ausgewiesen wurde, wird sie in dieser Definition nicht explizit berücksichtigt und unter dem Begriff Core-Muskulatur subsumiert. Ausgehend vom Umfang, der Dichte an Information und der Aktualität, wurden zur Erstellung der Definition, vorrangig die zuletzt genannten Definitionen eingearbeitet. Dennoch wurde auf die gesamte Bandbreite, an in diesem Kapitel behandelten Definitionen, zurückgegriffen und versucht fehlende Aspekte zu integrieren.

Core Stabilität als ganzheitliches Konzept, stellt die funktionelle Integration der Knochen- und Ligamentären-Bestandteile der Wirbelsäule, der aktiven Wirbelsäulenmuskulatur und des ZNS, dar. Die Bänder der Wirbelsäule dienen zur Herstellung der passiven Stabilität und erfüllen eine wesentliche propriozeptive Rolle, indem sie afferentes Feedback zu den lumbalen Wirbelsegmenten liefern. Die größten Stabilisierungskräfte werden durch eine aktive, oftmals kohärente Muskelrekrutierung der Core-Muskulatur erzeugt, die zu einer erhöhten Steifheit der Muskulatur und zur Aufrechterhaltung des intraabdominalen Drucks führen. Sie sind erforderlich um die intervertebralen, neutralen Zonen innerhalb der physiologischen Grenzen zu halten, dienen als Vorbereitung und Antwort auf Belastungen der Wirbelsäule, verhindern eine Instabilität selbiger und tragen dazu bei nach einer Störung wieder zurück ins Gleichgewicht zu finden. Weiters ermöglicht eine kontextabhängige, angemessene Muskelrekrutierung, die dynamische Kontrolle des lumbopelvischen Raums, die eine optimale Produktion, Übertragung, Absorption und Kontrolle von Kraft und Bewegung ermöglicht, die während der funktionellen Bewegung über die gesamte kinetische Kette übertragen wird. Core-Stabilität tritt dabei unverzüglich auf und erfordert um effizient zu

funktionieren, sowohl eine erhebliche Ausdauer, Kraft, Flexibilität und Koordination der Muskulatur, als auch eine hochgradige neuromuskuläre Kontrolle durch das ZNS.

Wie die abschließende Definition zeigt gibt es sehr wohl die Möglichkeit den Terminus Core-Stabilität sinnvoll zu definieren. Inwieweit (McNeill, 2010) mit seiner Aussage das Konzept der Core-Stabilität sei nur ein Teil des Konzepts der „motor control“ richtig liegt, konnte hier nicht geklärt werden. Auf Grund der Fülle an Aspekten, die die Core-Stabilität miteinschließt, dürfte das Konzept, aber durchaus seine Berechtigung als eigenständiges Konzept haben.

Weiters steht fest, dass Peter O'Sullivan (2012) mit seiner Reduktion des Begriffs auf die Floskel „to stiffen your back is better“ und die Gefahren die diese Ansicht mit sich bringt, das Konzept nicht vollständig erfasst haben. Es wurde deutlich gezeigt, dass dieses Konzept auf eine kontextabhängige, dynamische Stabilisierung beruht, weshalb auch diese These widerlegt werden kann. Die allgemeine Verwirrung um diesen Begriff ist aber, auf Grund der Menge an unterschiedlichen Definitionen, durchwegs verständlich.

„Sobald die Stabilität eines Systems erreicht ist, verlagert sich das Interesse auf seine Leistung (Reeves et al., 2007).“ Diese gilt es in einem nächsten Schritt zu quantifizieren. Im Anschluss werden deshalb Messformen der Core-Stabilität, als ein weiterer wichtiger Aspekt hinsichtlich der im zweiten Teil der Arbeit vorgenommenen kritischen Analyse von Studien zur Rolle des Core-Stabilitäts-Training, näher beleuchtet. Sie sollen neben anderen Indikatoren, Aufschluss darüber geben, ob und in wie fern die betrachteten Studien aussagekräftig sind.

4.2 Messformen der Core-Stabilität

Im Vorhergehenden Kapitel wurde ausführlich geklärt wann und warum ein System stabil ist und was generell unter Core Stabilität verstanden wird. Es wurde erklärt, dass ein System grundsätzlich entweder stabil, oder instabil ist und es daher keine Skalen oder Level an Stabilität gibt.

Aus praktischer Sicht ist es jedoch nicht nur interessant ob ein System stabil ist, sondern wie gut es mit Störungen umgehen kann (vgl. Reeves et al., 2007). Diese Eigenschaft wird von Reeves et al. (2007) jedoch nicht durch die Stabilität eines Systems, sondern durch dessen Robustheit beschrieben. Übungen für die Core-Stabilität tragen in diesem Sinn daher nicht zu einer stabileren Wirbelsäule, sondern zu einer höheren Robustheit bei. Einen weiteren Indikator zur Bestimmung der Stabilität stellt die Leistung dar. Sie spiegelt wieder, wie nahe

die gestörte Position von der ungestörten Position des Systems auseinander liegt und wie schnell diese ungestörte Position wieder erreicht werden kann. Die Hauptattribute eines Kontrollsystems sind grundsätzlich die Genauigkeit und Geschwindigkeit mit der es arbeitet. Nach einer Störung wird ein gut funktionierendes System ein Verhalten aufweisen, das dem ungestörten Verhalten ähnelt, was darauf hindeutet, dass der Fehler zwischen gestörten und ungestörten Bewegungen minimal ist. Bei asymptotisch stabilen Systemen, wie es das des Core's ist, konvergiert ein gut funktionierendes System, ebenfalls in einem kurzen Zeitintervall, zur ungestörten Position. (vgl. Reeves et al., 2007)

Auf Grundlage der Charakteristika der Stabilität und der muskuloskelettalen Funktionsweise des Core's wird in diesem Unterkapitel versucht, sowohl geeignete, als auch weniger geeignete Messformen der Core-Stabilität auszuweisen.

Vorab ist anzumerken, dass es schwierig ist, die Core-Stabilität genau zu quantifizieren, indem einzelne Komponenten isoliert werden. Es können lediglich die Funktionen, oder Funktionsstörungen durch eine Auswertung approximiert werden, die die dreidimensionalen Bewegungen des Core reproduzieren, die wiederum verwendet werden, um seine Funktionen zu erfüllen. Nur durch diese Auswertungen und spezifische Testprotokolle kommt es zu einem besseren Verständnis der komplexen Biomechanik und Muskelaktivierung, die zur Herstellung der Core-Stabilität notwendig sind. (vgl. Kibler et al., 2006)

Faries und Greenwood (2007) merken weiters an, dass es nur wenige klinische Untersuchungen zur Beurteilung der Core-Muskulatur gibt, was zusätzlich zur Verwirrung beiträgt, die mit diesem Thema verbunden ist. Klinisch wurde die Aktivierung des Core's mit Ultraschall, Magnetresonanz und Elektromyographie gemessen. Eine der Einschränkungen in der klinischen Diagnose der lumbalen Instabilität dreht sich um die Schwierigkeit, abnorme oder übermäßige intersegmentale Bewegung genau zu erkennen, wobei herkömmliche radiologische Tests, oftmals als zu unsensibel und unzuverlässig beschrieben werden. In diesen Bereichen könnte es zwar noch Fortschritte geben, aber momentan fehlt es, nach Kenntnis der Autoren, an aktueller Forschung zu diesem Themengebiet. Jedoch wurden, mit wachsendem Wissen über die Bauchhöhle, Fortschritte im Hinblick auf einfachere Bewertungsmethoden der Core-Muskulatur gemacht. (vgl. Faries & Greenwood, 2007)

Waldhelm & Li (2012, S. 122) fanden bei ihrer Literaturrecherche 35 verschiedene Tests, die die Core Stabilität betreffen und unterteilten diese in fünf verschiedene Gruppen.

Krafttests:

Trunk flexion, Trunk extension, Right hip extension, Left hip extension, Right abduction, Left hip abduction, Right hip ER, Left hip ER, Sit-up test

Ausdauertests:

Trunk flexion, Trunk extension, Right side bridge, Left side bridge

Flexibilitätstests:

Sit-and-reach, Trunk flexion, Trunk extension, Right trunk rotation, Left trunk rotation, Right hip extension, Left hip extension, Right hip IR, Left hip IR, Right hip ER, Left hip ER

Bewegungskontrolltests:

Eyes open right, Eyes open left, Blindfolded right, Blindfolded left, Right hip reposition, Left hip reposition

Funktionalitätstests:

Squat test, Right hop distance, Left hop distance, Right hop timed, Left hop timed

Bei der Analyse der einzelnen Gruppen an Tests der Core-Stabilität, stellten das Forschungsduo (Waldhelm & Li, 2012, S. 126) fest, dass im Gegensatz zu ihrer Hypothese, Core-Dauertests die zuverlässigsten Messungen unter den fünf Gruppen bereitstellen, gefolgt von Flexibilitäts-, Kraft-, Bewegungskontroll- und Funktionalitätstests.

Auf Grund der Länge dieser Arbeit, ist es nicht möglich alle diese Tests näher zu erläutern, zudem noch weitaus mehr Tests, als von Waldhelm und Li (2012) erfasst wurden, zur Feststellung der Core-Stabilität, im Umlauf sind. Im Anschluss werden dennoch einige Tests näher vorgestellt. Dabei wird versucht, die Entwicklung und Implementierung von neueren Tests mit schon länger vorhandenen Tests zu verknüpfen. Zudem gilt es bestehende Tests, neben ihrer Eignung zur Feststellung der Core-Stabilität, auch hinsichtlich ihrer Validität und Reliabilität zu untersuchen. Zu Beginn werden einige statische Ausdauer Tests des Core, die wie zuvor erwähnt, auch die zuverlässigsten Messungen zulassen, vorgestellt.

4.2.1 Core Endurance Tests McGill

Es gibt ein paar einfache Tests, die dem Untersuchenden wichtige Informationen über Kraft und Ausdauer des Core der AthletInnen liefern. Vier Tests, die signifikante Informationen liefern, sind der prone- und lateral trunk anterior flexor test, der right & left lateral plank, sowie der trunk posterior extensor test. Während ein einfacher Crunch, oder Reverse-Crunch Informationen über die abdominale Kraft liefert, sagen diese Übungen nichts darüber aus, wie diese Muskeln in komplexeren Bewegungsformen funktionieren. Die Plank-Tests werden als

funktioneller angesehen, da sie die Muskel-stärke, -ausdauer und die Fähigkeit des Athleten, den Rumpf durch die synchrone Aktivierung vieler Muskeln zu kontrollieren, beurteilen. Diese Tests beschreiben daher weitaus besser, wie die Muskeln zusammen funktionieren.

Die ProbandInnen führen zuerst einen Übungstest durch, um die korrekte Positionierung zu finden. Dieser dauert jedoch nur einige Sekunden und danach wird jeweils ein Testversuch pro Position durchgeführt. Es wird immer die maximale Zeit in Sekunden, die eine statische Position von den ProbandInnen gehalten werden konnte, mit einer Stoppuhr gemessen. Durch die Befehle "Start" und "Stopp" werden die Tests jeweils von der testenden Person initiiert und abgeschlossen. Die Reihenfolge der vier Testpositionen wird nach dem Zufallsprinzip vergeben. (vgl. Abdelraouf & Abdel-aziem, 2016)

4.2.2 Side Bridge Test

Die side, oder lateral bridge beurteilt, wie es bereits auch der Name verrät, primär die laterale Rumpfmuskulatur. Juker et al. (1998) preisen diese Übung als den effektivsten Weg an, um die schrägen Bauchmuskeln mit wenig Psoas-aktivierung, wie durch myoelektrische Tests bestimmt, zu beurteilen und zu trainieren.

AthletInnen führten den Side Bridge Test wie er von McGill et al. (1999) beschrieben wurde, folglich als Maß für die laterale Rumpfmuskelkapazität, insbesondere des M. quadratus lumborum (Abb. 16) durch. Die AthletInnen werden auf der rechten Seite liegend am

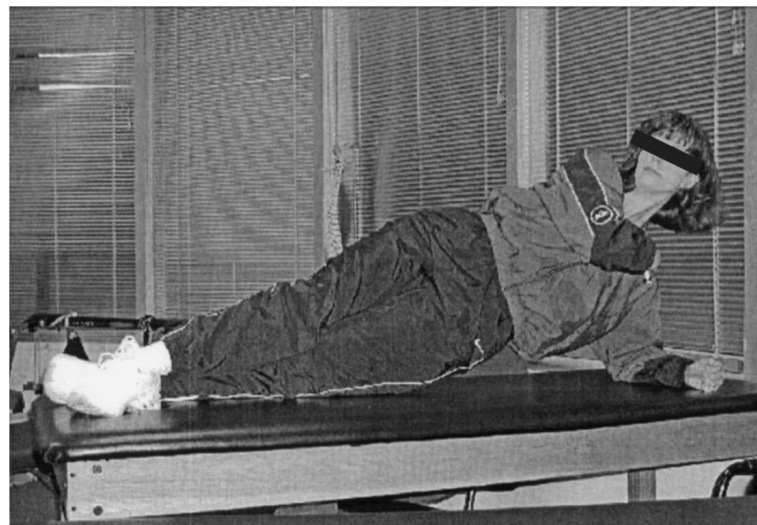


Abbildung 16: Side Bridge Test (links) nach McGill et al. 1999, Quelle: Leetun et al. (2004, S. 929)

Behandlungstisch positioniert, wobei sich ihr oberer Fuß vor ihrem unteren Fuß befindet. Die Hüftposition darf sich während des Tests nicht verändern und keine Flexionsstellung aufweisen. Die AthletInnen wurden gebeten, ihre Hüften vom Behandlungstisch zu heben, wobei sie nur ihre Füße und den rechten Ellenbogen als Stütze benutzen. Der linke Arm wurde mit der Hand auf der rechten Schulter über der Brust gehalten. Die Gesamtzeit, während der der Athlet/die Athletin seine/ihre untere Hüfte vom Tisch heben konnte, wurde

mit einer Stoppuhr festgehalten. McGill et al. (1999) dokumentierte zuvor keinen signifikanten Unterschied zwischen den Belastungszeiten der rechten und linken side bridge. Daher wurde das Maß für die rechte laterale Rumpfmuskulatur zur Datenanalyse herangezogen. Zudem korrelierte dieser Test signifikant mit der Leistung aller anderen in dieser Studie eingeschlossenen Haltungsmuskeltests. (vgl. Leetun et al., 2004)

4.2.3 Flexor Endurance Test / Straight Leg Lowering Test

Zur Testung der anterioren Core-Muskulatur wurden von Leetun et al. (2004) zu Beginn, der Straight Leg Lowering Test anstatt des Flexor Endurance Test angewendet. Dieser Test wurde mit den ProbandInnen in Rückenlage auf dem Behandlungstisch durchgeführt, wobei die Hüften um 90° gebeugt und ihre Knie vollständig gestreckt waren. Die ProbandInnen wurden gebeten, ihre Beine über einen Zeitraum von 10sek stetig auf den Tisch zurück zu senken, während sie in ihrem L4-L5-Zwischenraum mit der Hand des Untersuchers in Kontakt blieben. Ein großes Brett wurde während dieses Tests hinter den ProbandInnen angeordnet, wobei die Markierungen eine Hüftflexion von 10° zeigt. Der Winkel, in dem der untere Rücken der ProbandInnen von der Hand des Untersuchers abgehoben wird, wird festgehalten. Niedrigere Winkel der Hüftflexion zeigen dabei eine bessere Leistung beim Test an. Nach einem Jahr an Tests stellte das Forschungsteam rund um Leetun (2004) die Sensitivität des Straight Leg Lowering Test für die gewählten ProbandInnen in Frage. Es gab nur eine sehr geringe Variabilität in der Messung, da sich fast 70% der ProbandInnen zwischen 50° und 60° der Hüftflexion, aus der Hand des Untersuchers erhoben, was die Effektgröße klein machte und die Wahrscheinlichkeit eines Typ-II-Fehlers erhöhte. Basierend auf einem größeren Bereich von gleichmäßig verteilten Werten, fanden sie auch, dass der Flexor Endurance Test einen besseren Indikator für die Muskelkapazität der vorderen Core-Muskulatur, als der straight leg lowering test, darstellt. Deshalb wurde der Straight Leg Lowering Test durch den Flexor Endurance Test ersetzt. (vgl. Leetun et al., 2004)

Der **Flexor Endurance Test** der schon zuvor in das Protokoll von McGill et al. (1999) aufgenommen wurde, wird in sitzender Rumpfflexion, auf einem Behandlungstisch durchgeführt, wobei der Rücken der ProbandInnen auf einem Keil von 60° (gemessen von der Horizontalen) gestützt wird. Die Hände der ProbandInnen werden über deren Brust gekreuzt, Knie und Hüfte befinden sich im rechten Winkel und die Zehen der ProbandInnen befinden sich unter einem Stabilisierungsgurt. Alternativ können die Zehen, auch von der testenden

Person gehalten werden. Die ProbandInnen werden dann aufgefordert, die Position beizubehalten, während der Stützkeil 10 cm von Ihnen weggezogen wird. Die maximale Zeit, die die ProbandInnen in der Lage sind, den 60°-Winkel einzuhalten, wird mit einer Stoppuhr festgehalten. Der Test endet, sobald der Oberkörperwinkel der ProbandInnen unter die 60°-Schwelle fällt. (vgl. Leetun et al., 2004)

4.2.4 Extensor Endurance Test

Das Testen der Rumpfstrecker des Athleten/der Athletin wird in Bauchlage durchgeführt, wobei sich das Becken, die Hüfte und die Knie auf einem Tisch befinden. Der Oberkörper wird gerade über das Ende des Tisches geführt. Ein Versagen tritt auf, wenn der Oberkörper von der Horizontalen in eine gebeugte Position fällt.

McGill hat normative Werte für die Messung der Ausdauer in jeder dieser Positionen zur Verfügung gestellt. In der Abbildung 17 werden alle vier Tests zusammen dargestellt.

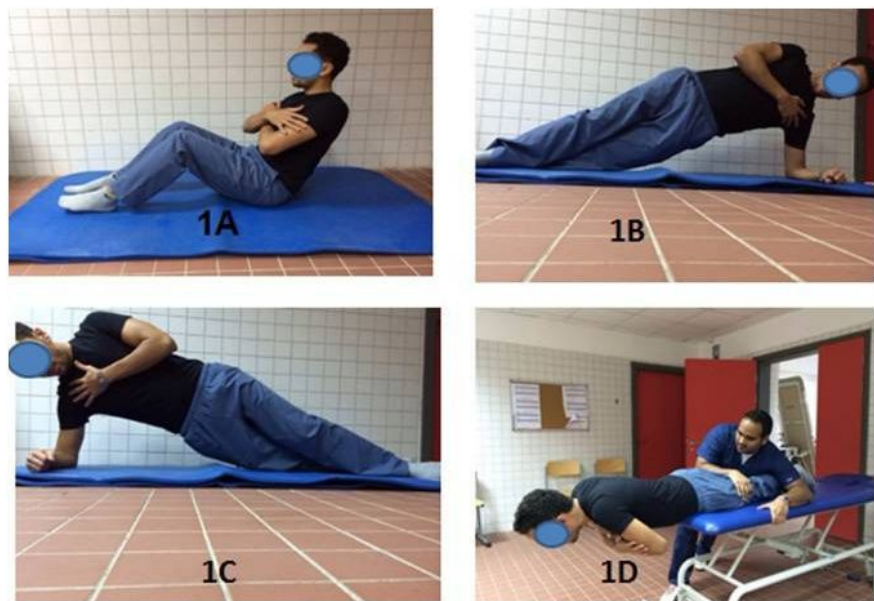


Abbildung 17: Core Endurance tests of McGill. 1A. Flexor endurance test, 1B. Left side plank, 1C. Right side plank, 1D. Extensor endurance test, note therapist stabilization of the lower body, Quelle: Abdelraouf & Abdel-aziem (2016, S. 340)

4.2.5 Modified Biering-Sorensen Test

Der Extensor Endurance Test, auch bekannt als Biering-Sorensen Test wurde von Leetun et al. geringfügig abgeändert. Da es sich nur um kleine Ergänzungen handelt, misst dieser Test ebenfalls die Muskelkapazität des posterioren Core (Abb. 18). Der Athlet/die Athletin wurde in Bauchlage mit dem Becken am Rand eines Behandlungstisches positioniert. Gurte wurden verwendet, um das Becken und die Beine der AthletInnen am Tisch zu befestigen. Im Gegensatz zum Extensor Endurance Test, stützt der Athlet/die Athletin seinen/ihren

Oberkörper mit den Händen auf eine Bank vor dem Tisch ab, bis er/sie angewiesen wurde, die

Arme zu kreuzen und eine horizontale Position einzunehmen. Der Athlet/die Athletin muss im Anschluss ebenfalls, so lange wie möglich, den Körper in der Horizontalen halten. Die Gesamtzeit, die der Athlet/die Athletin in der Lage war, die horizontale Position beizubehalten,

bis er/sie mit seinen/ihren Händen auf der Bank vor ihnen landete, wurde in Sekunden mit einer Stoppuhr festgehalten. (vgl. Leetun et al., 2004)

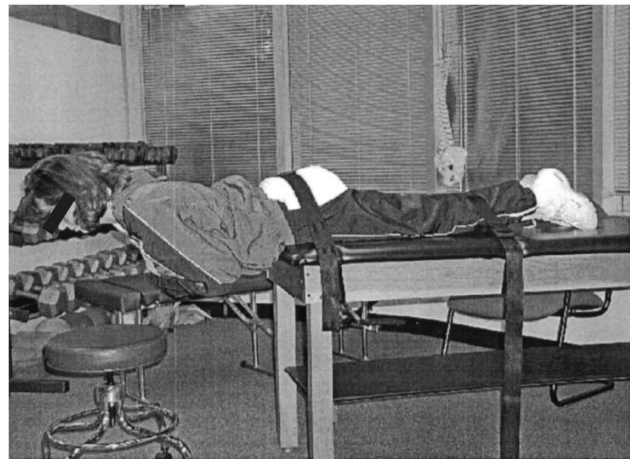


Abbildung 18: Modified Beiring-Sorensen Test,
Quelle: Leetun et al. (2004, S. 929)

4.2.6 Sahrman Assessment Protocol

Faries und Greenwood (2007, S. 14) beschreiben diesen Test als gängigen Test mit Biofeedback-Transducer, sowie erhöhten Anforderungen an die Stabilisierung der Wirbelsäule bei Bewegung der Lendenwirbelsäule. Dabei werden nach einem festen Protokoll (Tab. 4) Bewegungen getestet, die zusätzlich durch einen aufblasbaren Druckwandler, der unter der Lendenwirbelsäule platziert wird, überwacht. Dieser Druckwandler wird anfänglich auf 40 mm Hg aufgeblasen, während die Testperson die stabilisierende Muskulatur über das „abdominal hollowing“ aktiviert. Während der Durchführung darf sich dieser Druck maximal um 10mm Hg ändern, sprich die Position der Lendenwirbelsäule muss beibehalten werden, ansonsten wird der Test abgebrochen. Dieser Test stellt somit ein einfacheres Mittel für zur Vor- und Nachuntersuchung der Auswirkungen des Trainings auf die Core-Muskulatur, insbesondere der Fähigkeit, die Wirbelsäule mit und ohne Bewegung des lumbopelvinen Komplexes, zu stabilisieren, dar. (vgl. Faries & Greenwood, 2007)

Tabelle 4: Sahrman Core Stability Test

Sahrman Core Stability Test	
Level 1	Man beginnt in Rückenlage mit aufgestellten Beinen, die Bauchmuskeln werden eingezogen (abdominal hollowing) und ein Bein wird langsam auf einen Hüftwinkel von 100° angehoben, wobei die Beugung des Knies als angenehm empfunden wird *das andere Bein wird nun in dieselbe Position gebracht
Level 2	Von dieser Position aus wird nun ein Bein langsam abgesenkt bis die Ferse den Boden berührt, anschließend gleitet das Bein bis zu einer vollkommenen Streckung im Knie nach vorne, danach wird das Bein in umgekehrter Reihenfolge in die Ausgangsposition zurückgeführt
Level 3	Von dieser Position aus wird nun ein Bein langsam abgesenkt bis sich die Ferse 12cm über dem Boden befindet, anschließend wird das Bein bis zur vollkommenen Streckung im Knie ausgestreckt, danach wird das Bein in umgekehrter Reihenfolge in die Ausgangsposition zurückgeführt
Level 4	Von dieser Position aus werden nun beide Beine langsam abgesenkt bis die Ferse den Boden berührt, anschließend gleiten beide Beine bis zu einer vollkommenen Streckung im Knie nach vorne, danach werden beide Beine in umgekehrter Reihenfolge in die Ausgangsposition zurückgeführt
Level 5	Von dieser Position aus werden nun beide Beine langsam abgesenkt bis sich die Fersen 12cm über dem Boden befindet, anschließend werden beide Beine gleichzeitig bis zur vollkommenen Streckung im Knie ausgestreckt, danach werden beide Beine in umgekehrter Reihenfolge in die Ausgangsposition zurückgeführt
*die anschließenden Level beginnen in dieser Position	

Quelle: Faries & Greenwood (2007, S. 14), mod. n. Peham (2019)

Aktuell beschäftigt sich vor allem das Forschungsteam O'Connor, McCaffrey, Whyte und Moran (2016) mit dem Problem der Messbarkeit der Core-Stabilität. Sie stellen fest, dass zwar mehrere unterschiedliche Tests zur Feststellung der Core-Stabilität vorhanden sind, dennoch keiner dem „Gold-Standard“ entspricht. Dabei werden die von ihnen untersuchten Tests, aus einer Reihe von Gründen, als nicht ideal für die Verwendung in einem Screening angesehen. Erstens messen sowohl der FAPT- als auch der der SAPT Test Core Strength, obwohl Cowley and Swensen (2008) angeben, dass diese Tests die Core-Stabilität messen. Die isometrischen McGill- und Plank-to-Fatigue-Tests werden in einer einzigen stationären Position durchgeführt, was nicht die Anforderungen widerspiegelt, die während der meisten sportlichen Bewegungen an den Core gestellt werden (Nesser et al., 2008) und zudem viel Zeit benötigen. Die Tests haben auch vage, oder unklare Scoring-Systeme und können teure Ausrüstung, oder Therapeuten erfordern, um Geräte zu entwickeln oder zu bauen, insbesondere der double leg lower test und die McGill isometric flexor und extensor endurance tests. (vgl. O'Connor et al., 2016)

Die Entwicklung eines Gold-Standard-Tests für die Core-Stabilität stellt eine Herausforderung dar. Nicht nur, dass es keine weitgehend akzeptierte schlüssige Definition der Core-Stabilität gibt, es werden auch zahlreiche verschiedene Muskeln angeführt, die die Rumpfstabilität unterstützen. Zudem gestaltete sich die Interaktion zwischen den Lenden-Hüft- und Becken-Muskeln als komplex. Daher ist es für Forscher schwierig, einen einzigen Test zu entwickeln, der alle Muskeln und Strukturen einbezieht (Cowley & Swensen, 2008; Cowley et al., 2009; Hibbs et al., 2008). Trotz dieser Herausforderungen besteht eine klare Notwendigkeit, einen schnellen, einfachen, validen und zuverlässigen Test zu entwickeln, um die Core-Stabilität bei einem Probanden/einer Probandin genau zu bestimmen. Er sollte auch einfach und mit kostengünstiger Ausrüstung durchgeführt werden können und keinen teuren Therapeuten erfordern. (vgl. O'Connor et al., 2016)

O'Connor et al. (2016) entwickelten aus dieser Intention heraus den Alternative Trunk Stability Push up Test.

4.2.7 Trunk Stability Push up Test

„Der Trunk Stability Push up Test ist einer der sieben Tests, die verwendet werden, um grundlegende Bewegungen des Functional Movement Screen (FMS™) zu beurteilen (Cook et al., 2006; O'Connor et al., 2016).“ Dieser Test bewertet während einer dynamischen Bewegung und unter funktioneller Belastung die Core-Stabilität. Da dynamische Bewegung während des Sports auftritt, eignet sich dieser Test auch für den Einsatz in einem Screening und dem klinischen Umfeld. (Huxel Bliven & Anderson, 2013; Chorba, Chorba, Bouillon, Overmyer, & Landis, 2010). Zusätzlich erfordert dieser Test nur minimale Ausrüstung und kann sehr einfach und durchwegs auch in einem feldbasierten Rahmen von TherapeutInnen durchgeführt werden. Während dieser Test einige offensichtliche Vorteile hat (schnell durchzuführen, erfordert keine Ausrüstung, einfach zu implementieren, dynamische Art des Tests), ist der Trunk Stability Push up Test möglicherweise nicht empfindlich genug, um zwischen den feinen Unterschieden zwischen guter und ausgezeichneter Core-Stabilität, insbesondere bei AthletInnen, zu unterscheiden. Es wurde gezeigt, dass 76,2% der jungen, körperlich aktiven Männer in diesem Test die höchste Bewertung von drei erreichten (Schneiders, Davidsson, H. Orman, & Sullivan, 2011). Daher kann es bei der Durchführung eines Screenings bei SportlerInnen schwierig sein, auch noch diejenigen mit einem höheren Grad an Core-Stabilität, mithilfe des Trunk Stability Push up Test zu unterscheiden und zu

klassifizieren. Butler, Plisky und Kiesel (2012) versuchten, die Präzision des FMS zu erhöhen, und generierten eine 12-Punkt-Bewertung für den Trunk Stability Push up Test, wobei die vorherige Bewertung von 3, 2 und 1 einer Punktzahl von 12, 5 und 0 zugeordnet wurde. Die Hinzufügung eines zusätzlichen Niveaus zu diesem Test, um die Core-Stabilität eines Sportlers zunehmend zu fordern, kann eine weitere Unterteilung des Bewertungssystems ermöglichen und so auch jene mit einer höheren Core-Stabilität identifizieren. Weiters kann eine leichte Reduzierung der Unterstützungsbasis, um während des Tests eine leichte bis mäßige Instabilität zu verursachen, eine zusätzliche Stabilisierung der Rumpfmuskulatur erforderlich machen und somit eine größere Herausforderung für den Teilnehmer darstellen (Stanton, Reaburn & Humphries, 2004; Haynes, 2004). (vgl. O'Connor et al., 2016) Aus diesen Überlegungen heraus, entwickelten O'Connor et al. (2016) den Alternativ Trunk Stability Push up Test.

4.2.8 Alternative Trunk Stability Push up Test

Die einzige Ausrüstung, die für den Alternative Trunk Stability Push up Test benötigt wird, ist eine gerade Linie aus Tape, die am Boden aufgeklebt und dazu verwendet wird, um anzuzeigen, wo die ProbandInnen ihre Hände platzieren müssen. Die testende Person erklärt den Aufbau des Tests und demonstriert ihn im Anschluss, da eine Pilotstudie zeigte, dass dies den ProbandInnen dabei hilft, den Aufbau des Tests zu verstehen. Die testende Person nimmt im Anschluss an den Test eine Bewertung des Probanden/der Probandin von 0-4 vor, wobei eine höhere Bewertung für eine bessere Core-Stabilität steht. Um mit dem Test zu beginnen, wird die zu testende Person angewiesen, mit dem Gesicht zum Boden zu liegen, während die Füße geschlossen, die Hände schulterweit auseinander sind und sich die Stirn in Höhe des Tape befindet. Die zu testende Person wird gebeten, das rechte

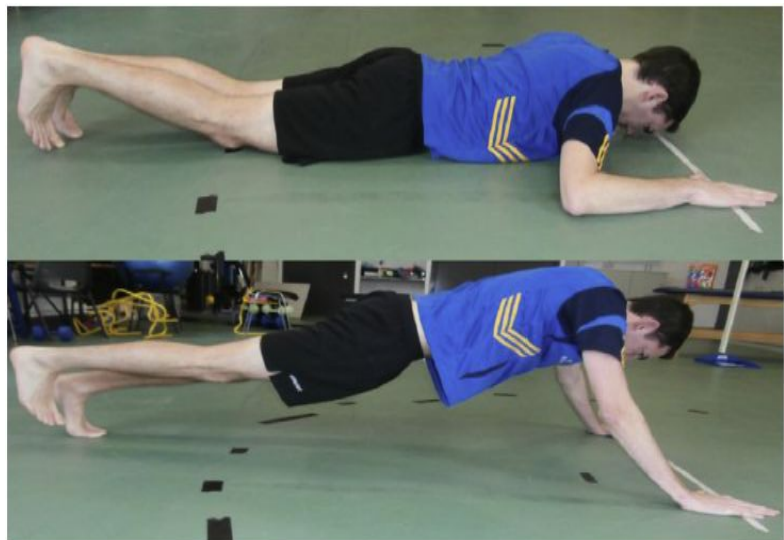


Abbildung 19: Alternative trunk stability push up test, Quelle: O'Connor et al. (2016, S. 42)

und sich die Stirn in Höhe des Tape befindet. Die zu testende Person wird gebeten, das rechte

Bein leicht vom Boden abzuheben, um die Stützbasis zu reduzieren. Im Anschluss muss sich die zu testende Person vom Boden abdrücken, während der Körper als eine Einheit mit einer geraden Linie zwischen Schulter, Hüfte und Knie ohne Verzögerung, oder Verdrehen der Wirbelsäule und der Hüfte, angehoben wird und das rechte Bein leicht vom Boden abgehoben wird (Abb. 19).

Wenn die Person diese Bewegung vollenden kann, erhält sie eine Bewertung von 4. Wenn sie den Test nicht absolvieren kann, wird der Test erneut, jedoch mit beiden Füßen auf dem Boden wiederholt. Bei erfolgreicher Absolvierung dieses Tests, erhält die zu testende Person eine Punktzahl von 3. Ist die Person erneut nicht in der Lage, die geforderte Übung durchzuführen, wird der Test mit den Händen in Höhe des Kinns wiederholt. Für die Absolvierung dieses Variante gibt es eine Punktzahl von 2. Wenn die zu testende Person nicht in der Lage ist diesen Test durchzuführen, gibt es eine Punktzahl von 1. Verspürt die zu testende Person während der Testdauer Schmerzen, erhält sie eine Bewertung von 0. (vgl. O'Connor et al., 2016)

Das Fehlen eines Vergleichswerte, zur Aktivität der Core-Muskulatur, durch beispielsweise ein EMG, schränkt diese Studie jedoch hinsichtlich ihrer Validität ein. Daher empfehlen aktuell forschenden Personen, dass zukünftige Forschungen, die Validität des Alternative Trunk Stability Push up Test, durch eine Implementierung einer EMG-Studie der Core-Muskulatur, während der Durchführung des Tests vornehmen lassen, um sie hinsichtlich der Aktivierung der Core-Muskulatur zu beurteilen. Dabei soll insbesondere festgestellt werden, ob zwischen ProbandInnen mit niedrigeren und höheren Bewertungen in diesem Testverfahren, auch auf Grund von unterschiedlich hoher elektrischer Aktivität der Core-Muskulatur, differenziert werden kann. (vgl. O'Connor et al., 2016)

Zusammenfassend ist der Alternative Trunk Stability Push up Test, der aus dem Trunk Stability Push up Test aufbaut und adaptiert wurde, ein schneller und einfacher Feldtest zur massentauglichen Untersuchung, der auch eine Differenzierung von AthletInnen mit hoher Core-Stabilität zulässt. Der Test zeigt eine hohe Intertester- und Intra-Tester-Reliabilität, vorausgesetzt die TherapeutInnen wurden in der Durchführung des Tests ausreichend geschult. Um die Inter-Tester-Reliabilität weiter zu verbessern, kann zusätzlich eine Familiarisierung durchgeführt werden. (vgl. O'Connor et al., 2016)

4.2.9 Sportspezifischer Core-Muskeltest nach Mackenzie

Aufgrund der Notwendigkeit, die Entwicklung der Funktion der Core-Muskulatur bei SportlerInnen zu überwachen, entwickelte Mackenzie (2005) einen sportspezifischen Core-Muskeltest. Dieser Test basiert auf der prone bridge, auch bekannt als Plank. Sie wird ausgeführt, indem das Körpergewicht auf die Unterarme und Zehen verteilt wird, während primär die vordere und hintere Rumpfmuskulatur beansprucht wird. Es ist wichtig, dass der Athlet/die Athletin das Becken in einer neutralen Position und den Körper gerade hält. Ein Versagen tritt auf, wenn der Athlet/die Athletin die neutrale Position des Beckens verliert und in eine lordotische Position mit anteriorer Rotation des Beckens fällt. Der Test erfordert, dass der Athlet/die Athletin einen Plank aufrechterhält, wobei seine Arme und Beine alternativ 15 s lang in jeder Phase während acht Stufen, insgesamt über drei Minuten, angehoben werden. Die Funktion der Core-Muskulatur wird basierend auf der Anzahl der abgeschlossenen Stufen bewertet. Befürworter dieses Tests behaupten, dass die Plankposition, in Verbindung mit dem abwechselnden Anheben der Arme und Beine, die Rumpfbeuger und Rückenstrecker in einer Weise herausfordern, die der Ausführung von Bewegungen im Sport entsprechen. Durch die Rekrutierung der Muskulatur und der dadurch entstehenden Steifigkeit des Core, wird demnach die Funktionsweise der kinetischen Ketten der oberen und unteren Extremität maximiert (Kibler et al., 2006; Schellenberg, Lang, Chan, & Burnham, 2007). Dieser Anspruch wurde jedoch weder bestätigt noch wurde die Reliabilität des Tests nachgewiesen. (vgl. Tong, Wu & Nie, 2014)

4.2.10 Adaptierter Sportspezifischer Core-Muskeltest nach Tong, Wu & Nie

In der neuen adaptierten Form dieses Tests, wurde jedoch sowohl die Validität, als auch die Reliabilität nachgewiesen. Unterstützt wurde die Testung durch den Einsatz einer Kontrollgruppe, die zuvor ein Core-Training absolvierte und einer parallelen Durchführung einer sEMG am M. rectus abdominis, M. obliquus externus abdominis und am M. erector spinae. (vgl. Tong et al. 2014)

Die ProbandInnen nehmen beim Test die typische Plankposition ein, wobei das Körpergewicht mit den Unterarme und Füßen gestützt wird. Die Ellbogen befinden sich vertikal unter den Schultern, während die Unterarme und Finger gerade nach vorne gestreckt werden (Abb. 21). Der Kopf nimmt eine neutrale Position ein, sodass der gesamte Körper gestreckt ist. Während der Familiarisierung wurden die Abstände der Unterarme und Füße der

ProbandInnen gemessen und anschließend mit Klebeband markiert. Die ProbandInnen hatten nun die Aufgabe, ein vorgegebenes Protokoll, ohne die Plankposition zu verändern und ohne Unterbrechung, so oft wie möglich durchzuführen. Zur Kontrolle der Plankposition und der Position der Hüfte, wurden zwei stehende Messstäbe mit 80cm Abstand und zwei sich darauf befindende horizontal gespannte Schnüre mit einem Abstand von 10cm Rund, neben des Probanden/der Probandin, um den Mittelpunkt der Hüfte angebracht (Abb. 20). (vgl. Tong et al. 2014)

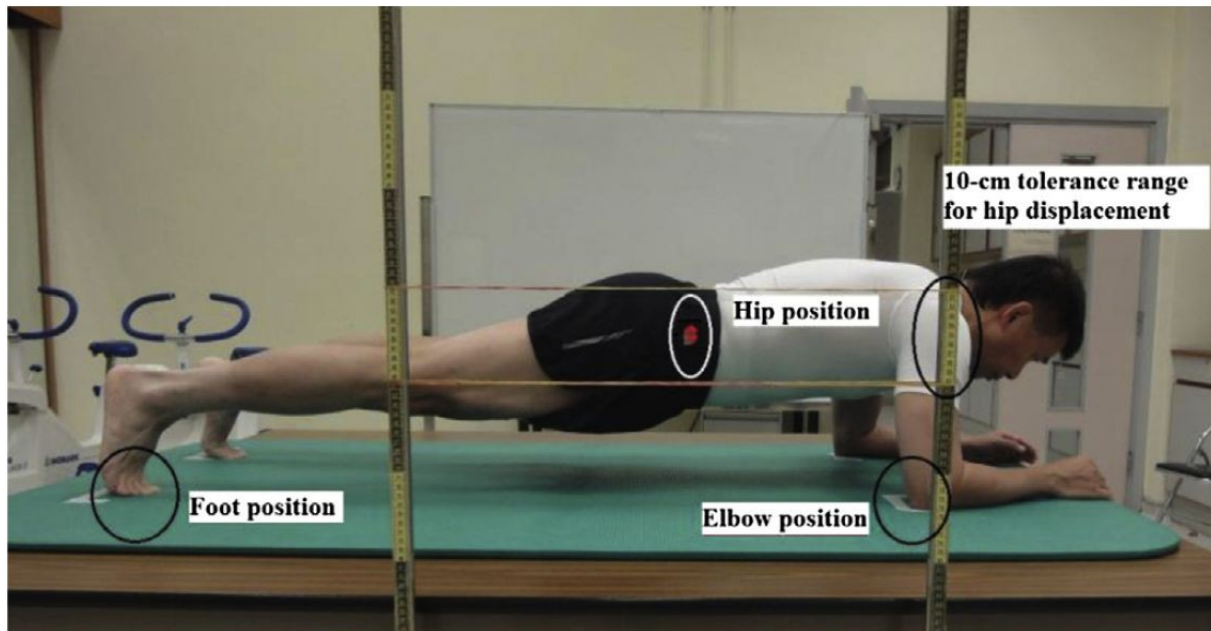


Abbildung 20: Sport-specific endurance plank test, Quelle: Tong, Wu & Nie (2014, S. 59)

Das Protokoll gestaltete sich wie folgt:

- (1) die Grund- (Plank-)position für 60sek halten;
- (2) heben Sie den rechten Arm vom Boden ab und halten Sie ihn 15sek gestreckt
- (3) senken Sie den rechten Arm wieder zum Boden ab und heben Sie nun den linken Arm für 15sek an
- (4) senken Sie den linken Arm wieder zum Boden ab und heben Sie das rechte Bein 15sek lang an
- (5) bringen Sie das rechte Bein zurück zum Boden und heben Sie das linke Bein für 15sek an
- (6) sowohl das linke Bein als auch der rechte Arm wird vom Boden abgehoben und 15sek lang gehalten
- (7) bringen Sie das linke Bein und den rechten Arm wieder zum Boden und heben Sie das rechte Bein und den linken Arm für 15sek vom Boden ab

- (8) für 30sek in die Grund- (Plank-)position zurückkehren
- (9) Wiederholen Sie die Schritte von (1) bis (9), bis die Plankposition nicht mehr aufrechterhalten werden kann (Tong, Wu & Nie, 2014)

Die aktuellen sEMG-Daten validierten die Behauptungen, dass beim Plank während des neuen Tests sowohl Rumpfbeuger als auch Lendenstrecker rekrutiert werden. Die Plankposition die durch abwechselndes Anheben der Arme und Beine geprägt ist, stellt demnach eine zusätzliche Belastung für die Core-Muskulatur dar. Die Konstruktvalidität des neuen Tests wurde dadurch bestätigt, dass es zu einer Veränderung der Ausdauerleistungsfähigkeit der globalen Core-Muskulatur, nach einem vorhergehenden Training gekommen ist. Auf Grund des Training und dem daraus resultierenden Ermüdungszustand der Muskulatur, wurden deutlich geringere Werte bei diesem Test festgestellt.

Für die Test-Retest-Reliabilität erwies sich der Test ebenfalls als zuverlässig (CV), insbesondere wenn der erste der drei Versuche als Familiarisierung (CV) eingesetzt wurde. (vgl. Tong et al. 2014)

Die aktuellen Ergebnisse von sEMG und Pre-Fatigue-Core-Workout bestätigten zusätzlich, dass der sportspezifische Ausdauerplanktest eine valide und praktische Methode ist, um die Ausdauerleistung der globalen Core-Muskulatur von SportlerInnen funktionell zu beurteilen. Durch das Vorhandensein einfacher Restriktionen während des Plank's, konnten zuverlässige Messdaten erhalten werden. (vgl. Tong et al. 2014)

4.2.11 Quadruped Arm-raise Test

Liemohn et al. (2005) zeigen jedoch schon damals Möglichkeiten zur Messung der dynamischen Core-Stabilität auf und entwickelten ihre Methode, zur Testung der Core-Stabilität, die sowohl Stärke,



Abbildung 21: Prototype by Lafayette Instrument, Quelle: Liemohn et al. (2010, S. 576)

Gleichgewicht und Koordination der Core-Muskulatur forderte, erfolgreich weiter. Der in der aktuelleren Forschung von Liemohn et al. (2010) verwendete Test, wurde mithilfe von Lafayette Instrument Co., die eigens für den Test eine Stabilitätsplattform (Abb. 21) entwickelt haben und den vom San Francisco Spine Institute (SFSI) entwickelten Stabilitätsübungen realisiert. Die Konstruktion und die Plattformgröße des Prototypen beschränkt weder die Größe, noch beeinträchtigt sie eine komfortable Position der Testperson. Darüber hinaus verfügt der Prototyp über eine Computerschnittstelle, während die Geräte, die bei früheren Untersuchungen (bspw. Liemohn et al., 2005) verwendet wurde, auf mechanischer Technologie beruhen. Die Aktivität zur Feststellung der Core Stabilität, die für den Test in dieser Studie gewählt wurde, war der „quadruped arm raise“. Diese Übung stellt die zweite Phase der von SFSI, im Rahmen ihres dynamischen Lendenstabilisierungsprogramms empfohlenen, auf allen Vieren durchgeführten Arm- und Bein-Aktivität, dar. Aus diesem Grund und weil Aktivitäten auf allen Vieren, bei denen die Arme und/oder Beine angehoben werden, als Übung für den Core, insbesondere für den unteren Rücken (auch in der Rehabilitation) empfohlen werden, scheint dieser Test durchaus für die Feststellung der Core-Stabilität geeignet zu sein.

Für den Quadruped Arm-raise Test, wurden an jedem der vier Tage der Testung, 10 Versuche durchgeführt. Die TeilnehmerInnen erhielten vor der ersten Testserie am ersten Tag eine Erklärung und Demonstration des Tests. Bei jedem 30 sekündigen Testdurchlauf wurde die Anzahl an Sekunden gemessen, in der das Gleichgewicht aufrechterhalten wurde. Während des Test wurde das Metronom auf 40 Schläge/Minute eingestellt und die ProbandInnen hatten die Aufgabe ihre Arme abwechselnd 10 Mal in der Sagittalebene am Schultergelenk anzuheben. (vgl. Liemohn et al., 2010)

Die Hypothese, dass die erstmalige Testung als Übung, um den Test zu erlernen, angesehen werden müsse, bestätigte sich bei der Analyse der Daten. Dabei stellte sich heraus, dass die mittleren Testwerte bei jedem der Tests am ersten Tag, deutlich niedriger waren, als den an anderen Testtagen. Die Verkürzung der Testbatterie auf nur zwei Tage, konnte jedoch nicht umgesetzt werden, da es zwischen dem 2 und 3 Tag noch eine weitere Steigerung der Werte gab. Da zwischen den Tagen 3 und 4 beinahe keine Unterschiede in den Daten ausgewiesen wurden, wird davon ausgegangen dass in Zukunft drei Testtage ausreichend sein werden, um verlässliche Testergebnisse für die Core Stabilität zu erhalten. Dies bestätigten auch die Testwerte, die bei der Durchführung von jeweils 10 Versuchen am ersten und zweiten Tag,

sowie 6 am dritten Tag eine gute interne Konsistenz (0,95) und Stabilität (0,85) ergaben (vgl. Liemohn et al., 2010).

Obwohl Hibbs et al. (2008) festgestellt haben, dass es keinen Goldstandard für die Messung der Core-Stabilität gibt, sind Liemohn et al. (2010) der Meinung, dass ihr Test hinsichtlich dieses Standards durchaus eine Überlegung wert sei. Darüber hinaus haben sie in Ihrer Forschung einen Testplan entwickelt, der bei der Messung der Core-Stabilität verfolgt werden kann. (vgl. Liemohn et al., 2010)

Zusätzlich zu den statischen Tests von McGill (1999) und Leetun et al. (2004), stellen somit der soeben vorgestellte Alternative Trunk Stability Push up Test, der Adaptierte Sportspezifische Core-Muskeltest nach Tong, Wu und Nie und das Sahrman Assessment Protocol, eine validierte, reliable und vor allem eine dynamische Alternative zur Feststellung der Core-Stabilität dar. Diese Test stellen durch diese dynamische Komponente, trotz der anfänglichen Feststellung von Waldhelm und Li (2012) das Ausdauer Test des Core, die zuverlässigsten Messungen ermöglichen, eine sportspezifischere Testvarianten dar. Trotzdem kritisieren einige Autoren, diesen Test.

Faries und Greenwood bemängelten bereits 2007, dass es für die Bestimmung der Core-Muskulatur noch keine gültigen Tests, die nicht in der Rückenlage und Bauchlage vorgenommen werden, gibt. Betrachtet man die soeben vorgestellten Testvarianten, trifft diese Annahme auch bei später konzipierten Tests zu.

Das Forschungsduo geht davon aus, dass unter der Annahme, dass das Gesetz der Spezifität auch für die Core-Muskulatur gilt, es für zukünftige Forschungen nützlich sei, die Aktivierung des Stabilisierungssystems auch in Positionen zu messen und zu quantifizieren, die für einen bestimmten Sport, eine bestimmte Funktion, oder eine bestimmte Aktion spezifisch sind. (vgl. Faries & Greenwood, 2007)

Ähnliches stellten bereits Leetun et al. (2004) bei der Konzipierung ihres Testprotokolls fest. Sie merkten an, dass obwohl die von ihnen gewählten Tests die Fähigkeit jedes Probanden/jeder Probandin messen, Kraft zu erzeugen oder Kraft in den Core-Muskulatur zu halten, sie nicht notwendigerweise widerspiegeln, wie diese Muskeln während „closed chain activities“ funktionieren. (vgl. Leetun et al. (2004)

Hinsichtlich der Feststellung von Faries und Greenwood (2007), dass es nur eingeschränkt Forschungen zur Quantifizierung der Aktivierung des Stabilitätsystems und des globalen

Systeme bei AthletInnen gibt, muss ergänzt werden, dass durch weitere Forschungen in diesem Bereich, bereits einige Ergebnisse, zur Aktivität der Core-Muskulatur, durch den Einsatz von EMG's, unter anderem von Calatayud et al., (2015), vorhanden sind.

Willardson (2007) bemängelte ebenfalls, dass die Core-Stabilität bei den vorhandenen Tests, in eher unfunktionellen Positionen, wie dem Vierfüßlerstand, der Bauch- oder Rückenlage beurteilt wird. Daher sollten laut ihm zukünftige Forschungen versuchen, eine Testbatterie für die Core-Stabilität zu entwickeln, die dynamische Muskelaktionen beinhalten. Es sollte beispielsweise auf stehende Positionen, die sehr viel größere Lasten unterstützen, zurückgegriffen werden, da sie weitaus besser mit den Core-Stabilitätsanforderungen verschiedenster Sportarten übereinstimmen. (vgl. Willardson, 2007) Daran schließen sich auch Leetun et al. (2004) an. Denn unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die von Ihnen konzipierten Tests möglicherweise nicht den Grad, zu dem die Muskeln von den ProbandInnen während des Sports rekrutiert werden widerspiegeln, sollten laut Ihnen, zukünftige Studien die Hinzufügung eines dynamischen Tests, der die Ausrichtung der unteren Extremität während Aktivitäten mit geschlossener kinetischer Kette, wie z. B. dem single leg step down test, in Betracht gezogen werden. Sie ergänzen zudem noch, dass zukünftige Studien versuchen sollten, Messungen der Core-strength mit den Ergebnissen der dynamischen Tests in Beziehung zu setzen. (vgl. Leetun et al., 2004)

Die Feststellung Willardson's (2007), dass es noch keine Testbatterie zur Bewertung der Core-Stabilität bei gesunden SportlerInnen gibt, es jedoch zu revidieren.

Da Von Faries und Greenwood, Leetun et al., sowie von Willardson bemängelt wurde, dass Tests zur Feststellung der Core-Stabilität nur in der horizontalen durchgeführt werden, gilt es im Anschluss auch dynamische Tests, die insbesondere im Stehen durchgeführt werden vorzustellen.

4.2.12 Star Excursion Test

Der Star Excursion Test wird grundsätzlich verwendet, um das dynamische Gleichgewicht zu beurteilen. Es werden diesem Test, aber durchaus weit aus mehr Einsatzmöglichkeiten zugeschrieben. Filipa et al. (2010) bezeichnen den Test als ein funktionales Screening-Tool, mit dem die dynamische Stabilität bewertet, der Fortschritt der Rehabilitation überwacht, Defizite nach einer Verletzung bewertet und Athleten identifiziert werden können, die ein

hohes Risiko für Verletzungen der unteren Extremität aufweisen. Bei der Durchführung des Tests muss der Proband/die Probandin an einer Gliedmaße das Gleichgewicht aufrechterhalten, während eine Andere manipuliert wird. Genauer erfordert der Test, dass die Person, barfuß mit einem Bein, einer zuvor am Boden markierten Linie folgt, während sie auf dem anderen Bein steht. Diese Aufgabe wird über vier verschiedene

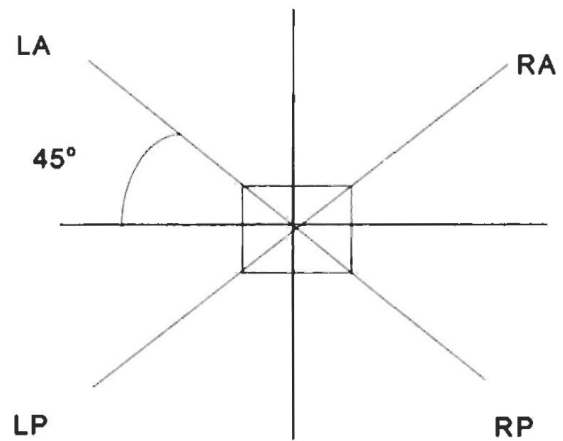


Abbildung 22: Layout Star Excursion Test, Quelle: Kinzey & Armstrong (1998,S. 357)

diagonale Linien in vier verschiedene Richtungen ausgeführt (Abb. 22). Die in jeder Richtung erreichte Entfernung wird getrennt erfasst und die vier individuellen Bewertungen, werden als Darstellung des dynamischen Gleichgewichts interpretiert. Dieser Test bietet eine praktische Alternative zur Bewertung des dynamischen Gleichgewichts. (vgl. Kinzey & Armstrong, 1998)

Das Layout des Star Excursion Test besteht aus vier Linien, die mit Tape auf den Boden aufgebracht wurden: zwei senkrechte und waagerechte Linien und zwei senkrecht zueinander und in 45 ° in Bezug auf die vertikale und horizontale Linie (Abb. 22). Rund um den Mittelpunkt wird ein Rechteck, das die Ausgangsposition der Füße darstellt, markiert. Dieses Rechteck ist groß genug, um Platz für die Füße der Person bereitzustellen. Zur Quantifizierung des Abstands (cm) vom Mittelpunkt zu dem Punkt, den die jeweilige Testperson, entlang jeder Diagonale unter Verwendung des distalen Teils des Fußes erreicht, wird ein standardmäßiges Maßband verwendet. Damit die Versuchsdaten in einem Durchschnittswert vereint werden können, wird ein Rechner verwendet. (Kinzey & Armstrong, 1998)

Ein Versuch startete, sobald die Testperson anfängt, in eine der folgenden vier diagonalen Richtungen (Abb. 22) zu gelangen: rechts-anterior (RA), links-anterior (LA), rechts-posterior (RP) und links-posterior (LP). Bei der Verfolgung der Linien zur rechten Seite der Testperson verwendet diese ihr rechtes Bein, um das linke Bein als Stützglied zu nutzen und umgekehrt. Die Testperson darf während des Versuchs, zu keiner Zeit, den Boden mit dem reichenden Bein berühren. Die maximale Reichweite stellt der am weitesten entfernte Punkt entlang der Richtungslinie dar. In Übereinstimmung mit dem üblichen Testprotokoll wird die maximale

Reichweite visuell gemessen. Die visuelle Markierung wird dann durch einen Finger ersetzt und die Entfernung unter Verwendung eines Maßbandes gemessen. Die testende Person positioniert sich während des Versuchs auf den Knien entlang der Richtungslinie. Der Versuch ist abgeschlossen, nachdem die Testperson zum Startpunkt, indem das reichende Bein zum Stützbein in die Startbox gestellt wurde, zurückgekehrt ist. (vgl. Kinzey & Armstrong, 1998)

Während durch Übung die Reliabilität des Tests verbessert werden kann (vorgeschlagen werden sechs Probeversuche), haben Forschende normalerweise keine unbegrenzte Zeit für Tests. Bei insgesamt acht Bewegungsrichtungen und mehreren Wiederholungen, ist die Zeit, die zum Ausführen des Star Excursion Test erforderlich ist, nicht immer verfügbar. (vgl. Kinzey & Armstrong, 1998) Daher muss entweder in Kauf genommen werden, dass eine Testung sehr viel Zeit benötigt, oder auf andere Methoden zurückgegriffen werden.

Zudem wird auf Grund der vorliegenden Ergebnisse bemängelt, dass ein Test des dynamischen Gleichgewichts Bewegungen beinhalten sollte, die auch normalerweise durchgeführt werden. Sie sollten die Grundlage für Bewertungsmethoden darstellen, anstatt neuartige Bewegungen wie die im Star Excursion Test zu verwenden. (vgl. Kinzey & Armstrong, 1998)

Eine leichte Abänderung und zusätzliche Ergänzung dieses Tests, lieferten Cook et al. (2010) mit dem Y Balance Test.

4.2.13 Y Balance Test

Die Forschergruppe rund um Cook (2010) teilt den Core in „quarters“ bzw. „quadrants“ ein, in denen dann auch die Testung erfolgen soll. Sie entwickelten demnach einen Upper Quarter Y Balance Test und einen Lower Quarter Y Balance Test. (vgl. Koller, 2011)

Der Upper Quarter Y Balance Test misst die Fähigkeit einer Person, in Liegestützstellung, jeweils mit einer Hand in drei vorgegebene Bewegungsrichtungen, maximal weit zu greifen, während die andere Hand das Gewicht des Körpers stützt. Dadurch sind sowohl die Mobilität des Thorax und des freien Armes, als auch die Stabilität des Core's und des stützenden Armes maximal gefordert. Nach zwei Probeversuchen pro Arm sind drei Versuche pro Seite und ohne Unterbrechung durchzuführen. Der Test erfolgt am FMS, wobei eine Hand auf dem fixierten Kasten stützt und die Andere mit den Fingern, das bewegliche an den Bewegungslinien angebrachte Kästchen, soweit wie möglich nach außen schiebt. Es wird der

Abstand zwischen den Kästchen in Zentimeter gemessen und im Anschluss in eine Formel, die die Armlänge der ProbandInnen berücksichtigt eingesetzt. Der Test wird abgebrochen, sobald die Körperspannung verloren geht, die stützende Hand gehoben wird, oder die schiebende Hand zum Stützen verwendet wird. (vgl. Koller, 2011)

Der Lower Quarter Y Balance Test (Abb. 23) ähnelt den bereits zuvor vorgestellten Star Excursions Test und wird ebenfalls im Einbeinstand durchgeführt. Bei diesem Test geht es, wie auch beim Upper Quarter Y Balance Test darum, in drei vorgegebene Bewegungsrichtungen, maximal weit zu reichen. Dieses Mal wird jedoch das Bein dazu verwendet das bewegliche Kästchen zu verschieben. Nach jeweils drei Probeversuchen pro Bein, werden pro Bein, direkt hintereinander drei Versuche pro Bewegungsrichtung durchgeführt. Die testende Person schiebt dabei, das Kästchen nach jedem Versuch in die Ausgangsposition zurück. Nach den drei Versuchen, wird das Bein und die Bewegungsrichtung, in einer vorab fixierten Reihenfolge gewechselt. Gemessen werden



Abbildung 23: Posterolateral reach using the Y Balance Test Kit™, Quelle: Plisky et al. (2009, S. 96)

erneut die Abstände (in cm) und auch hier wird die Länge der Extremität (des Beins) mit in die Berechnungsformel mit einbezogen. Knickt der Proband/die Probandin im Einbeinstand ein, wird der Kontakt beim Wegschieben des Kästchen unterbrochen (z.B. durch Wegkicken), stützt man sich am beweglichen Kästchen ab, oder ist ein kontrolliertes zurückkehren in die Ausgangsposition nicht möglich, wird der Test abgebrochen. (vgl. Koller, 2011)

Obwohl sich der Star Excursion Test und der Y-Balance Test hinsichtlich des Aufbaus ähneln, so stellen die Y-Balance Tests eine Weiterentwicklung des Star Excursion Test dar. Durch die zusätzliche Integration der oberen Extremitäten, geben sie ein besseres Gesamtbild der Core-Stabilität wieder. Zudem ermöglichen die beweglichen Kästchen eine exaktere Messung der Reichweiten. Dennoch geben sowohl der Star Excursion Test, als auch der Y-Balance Test Bewegungen vor, die keinen typischen Bewegungen im Sport ähneln. Daher wird auch bei diesen Tests die fehlende Spezifität bemängelt. Der Vorteil dieser Tests besteht jedoch darin, dass die Core-Stabilität auch im Stand gemessen werden kann.

Neben den Messformen der Core-Stabilität, gilt es die in den Studien vorgenommenen präventiven Interventionen zur Verbesserung der Core-Stabilität, sprich das Training der Core-Stabilität, hinsichtlich ihrer tatsächlichen Wirksamkeit zu untersuchen.

Folglich muss zuerst ein nachgewiesenermaßen, effektives Core-Stabilitäts-Training ausgewiesen werden, um Studien nach diesem Kriterium zu differenzieren und in weiterer Folge danach beurteilen zu können.

4.3 Core-Stabilitäts-Training

Da bei vielen Sportarten in oft instabilen Körperpositionen zielgerichtete Bewegungen durchgeführt werden müssen, trägt das Core-Stabilitäts-Training eine wichtige Funktion in der Trainingsgestaltung. (vgl. Willardson, 2007)

Das Training der Core-Muskulatur geschieht dabei typischerweise von innen nach außen. Dabei konzentriert es sich auf die Optimierung der Funktion des lokalen Systems, bevor das globale System ins Zentrum der Interesse rückt. Der funktionale Fortschritt stellt bei Programmen zur Stärkung des Core's, den wichtigsten Aspekt dar. Das lokale, oder stabilisierende System, besteht hauptsächlich aus Tonusmuskulatur des Typs I. Diese Typ-I-Fasern des lokalen Stabilisierungssystems neigen zur Abschwächung. Ein spezifisches Training dieses Systems erfordert daher Übungen, mit langsamen Bewegungen, isometrischer Kontraktion, niedrigen Widerständen, niedriger Intensität, sowie geringer, oder gar keiner Bewegung der Wirbelsäule und des Beckens. Beispiele dafür sind: Dying bug, Marching, Prone bridge, Prone bridge- hip extension, Side bridge, Side bridge abduction and Long lever crunch.

Das globale System, besteht hingegen aus mehr Typ-II-Fasern, die eine Bewegung der Wirbelsäule bewirken. Die Muskeln dieses Systems neigen dazu, sich zu verkürzen und unterscheiden sich daher klar von denen des lokalen Systems. Das globale System wird durch Übungen trainiert, die schnelle, dynamische, exzentrische und konzentrische Bewegung der Wirbelsäule, mit höheren Widerständen, über den gesamten Bewegungsbereich erfordern. Dies betrifft insbesondere den M. rectus abdominis. Beispiele für Übungen des globalen Systems sind: T rotation, Twist on ball, Cable wood chop, Cable reverse wood chop, Skier crunch, Overhead press functional progression und Two arm/single arm chest press functional progression. Diese Art von Übungen betonen nicht nur das globale System, sondern schaffen

auch eine Umgebung, in der das lokale System die Wirbelsäule in verschiedenen, multiplanaren Bewegungen stabilisieren kann. (vgl. Faries & Greenwood, 2007)

Pappert (2010, S. 14-15) spricht sich beim Training der globalen Halte- und Bewegungsmuskulatur, hingegen für kombinierte Übungsformen, bei denen die statische Haltearbeit des Rumpfes mit dynamischen Bewegungen der Extremitäten gekoppelt werden, aus. Durch den vermehrten Einsatz von Diagonalbewegungen der Extremitäten mit höheren Belastungen, soll ihm zufolge die exzentrische Aktivierung der kontralateralen Muskeln, die ihre Aktivität entsprechend der Arbeit der Gegenspieler dosiert reduzieren muss, entwickelt werden. Dies führt in weiterer Folge zu möglichst elastischen Dämpfungsvorgängen, wobei darauf geachtet werden muss, dass Belastungsreize möglichst symmetrisch auf die Körpermitte einwirken, um stets für ein planes Be- und Entlasten der Bandscheiben zu sorgen. (Pappert, 2010, S.14-15)

Unabhängig von der gewählten Übungsform gilt es jedoch zu beachten, dass die meisten Menschen die globale Muskulatur übertrainieren, bevor eine optimale Entwicklung des lokalen Systems erreicht wird. Es wird angenommen, dass diese im Vergleich zur lokalen Muskulatur, überentwickelte globale Muskulatur, dazu führt, dass die durch die globalen Muskeln erzeugten Kräfte, nicht von der lokalen Muskulatur beherrscht werden können. In der Praxis ergeben sich daraus oftmals unangepasste Bewegungen des Körpers, die unter anderem zu Verletzungen der Wirbelsäule führen können. Daher gilt es die inter- und intramuskuläre Koordination des tiefer liegenden lokalen Systems zu verbessern, anstatt sich auf die Steigerung der Kraft und des Bewegungsausmaßes zu fokussieren. (vgl. Faries & Greenwood, 2007)

Die Dauer der einzelnen Übungen schwankt abhängig vom jeweils trainierten System. Die Übungen der lokalen Muskulatur, erfordern normalerweise eine Dauer von 30 bis 45 Sekunden. Dabei wird auf die Faserzusammensetzung, hier Typ I und die primäre Funktion der Stabilisierung verwiesen. Kann eine Übung länger als 45sek gehalten werden, gilt es zur Verkürzung der Übungsdauer, die Intensität zu erhöhen. Bei Übungen des globalen Systems werden feste Wiederholungszahlen verwendet, die an die individuellen Bedürfnissen der trainierenden Person angepasst sind und jederzeit weiterentwickelt werden können. Erneut gilt es die Art der ausgewählten Übungen, unter das Prinzip der Spezifität zu stellen, wobei immer die Übungshistorie, das aktuelle Fitnessniveau und die Leistungsziele der jeweiligen Person,

berücksichtigt werden müssen. (vgl. Faries & Greenwood, 2007)

Da das Prinzip der Spezifität bei der Aufarbeitung der Literatur zum Core-Stabilitäts-Training oftmals vorkommt, wird versucht diese im Anschluss prägnant zusammenzufassen.

Wenn eine Person, trainiert wird, am Rücken liegend einen der vorderen Bauchmuskel zu kontrahieren, gibt es keine Garantie dafür, dass diese körperliche Anpassung auch auf Bewegungen im Sitzen und Stehen, sowie aufs Laufen, Beugen und Heben, übertragen werden kann. Eine solche Kontrolle müsste bei einigen dieser Aktivitäten auch tatsächlich geübt werden. Wer Core-Stabilität trainiert, um die sportlichen Leistungen zu verbessern, sollte sich daher mit diesem Grundprinzip vertraut machen. Wie einige Studien zeigen, scheint dieses Grundprinzip jedoch nicht bei allen AutorInnen angekommen zu sein. Stanton et al. (2004) mussten nach einem mehrwöchigen Training am Swiss Ball feststellen, dass diese Intervention keinen Einfluss auf die Laufleistung der SportlerInnen hatte. (vgl. Lederman, 2010) Wie Lederman (2010, S. 90) anschaulich feststellte, man wird kein guter Pianist wenn man am Banjo übt, oder Krafttraining für die Fingern absolviert. Da es keine universelle Übung für die Kontrolle des Rumpfes gibt, die den spezifischen Bedürfnissen aller Aktivitäten Rechnung tragen würde, gilt es laut Lederman (2010, S. 90) die jeweilige Aktivität an sich zu trainieren. Denn das schöne an der Core Muskulatur ist, dass diese unabhängig von der Aktivität, immer spezifisch trainiert wird.

Core-Stabilität ist, wie im Kapitel 4.1 ausgewiesen, ein dynamisches Konzept, das sich kontinuierlich ändert, um posturalen Anpassungen, oder externen Belastungen, die vom Körper akzeptiert werden, zu entsprechen. Dies legt nahe, dass zur Erhöhung der Core-Stabilität Übungen durchgeführt werden müssen, die die Bewegungsmuster eines bestimmten Sportes simulieren. Somit impliziert auch diese Feststellung das Konzept der Spezifität. Zudem, gehen noch andere ForscherInnen explizit auf das Konzept der Spezifität ein.

Behm, Drinkwater, Willardson und Cowley (2011) schlussfolgerten, dass die Stabilität des Core's ein relativ hohes Maß an Aufgabenspezifität aufweist und dass die Leistung bei herkömmlichen Core Stabilität Drills, die Leistung bei dynamischeren mehrgelenkigen Aktivitäten, möglicherweise nicht verbessert.

Nelson (2012, S. 34) fasst zusammen, dass die besten Core Trainingsprogramme die Funktionsweise des Core's in einer bestimmten Sportart, oder Aktivität nachahmen, während die Wirbelsäule, unabhängig vom Atmen und dem Bewegen der Arme und Beine, in einer

natürlichen / neutralen Position gehalten werden.

Zudem sollen Trainingsmethoden für die Stabilität des Core's, den Schutz der passiven Strukturen der Wirbelsäule, die Optimierung der motorischen Kontrolle, sowie die Verbesserung der Muskelkraft und Ausdauer berücksichtigen (vgl. Nelson, 2012).

Fälschlicherweise wird oft angenommen, dass dabei nur die kleineren, lokalen Muskeln in Verbindung mit der Core-Stabilität stehen, während die größeren globalen Muskeln ausschließlich für die Kraftproduktion verantwortlich sind. Dieser falsche Glaube hat zu ineffektiven Trainingsstrategien geführt, bei denen die lokalen und globalen Muskelgruppen, in unfunktionalen Positionen, getrennt voneinander trainiert werden. Zum Beispiel wurde das „abdominal draw-in maneuver“, das typischerweise auf allen Vieren, oder in Rückenlage durchgeführt wird, stark gefördert, um die stabilisierende Funktion des M. transversus abdominis zu trainieren (9, 23, 42). Obwohl dieser Muskel ein zentraler Stabilisator für die Lendenwirbelsäule ist, arbeiten mehrere andere lokale und globale Core-Muskeln zusammen, um die Wirbelsäulenstabilität während verschiedenster Bewegungsaufgaben aufrechtzuerhalten. (vgl. Willardson, 2007)

Bliss und Teeple (2005, S. 179) ergänzen, dass zwar einige der Core-Muskeln bei bestimmten Übungen isoliert werden können, aber ein solches Training das Ziel verfehle, da funktionell alle Core Muskeln durch abwechslungsreiche und komplexe Bewegungen zusammenwirken, insbesondere wenn die Person an einem Sport teilnimmt. Diese Muskeln müssen synergistisch wirken, um die lumbopelvine Region zu stabilisieren.

Wie einige Autoren gezeigt haben, ist beim Core-Stabilitäts-Training hinsichtlich der Spezifität nicht jede Übung am Swiss Ball, oder am Balance-Board auch tatsächlich für spezifische Sportarten von Vorteil. Zwar haben diese Übungen, insbesondere während der Nebensaison und der Nachsaison, oder auch zur Verletzungsprävention und Rehabilitation, ihre Berechtigung, basierend auf aktueller Literatur, sollen bei gesunden SportlerInnen hauptsächlich Übungen im Stehen in Verbindung mit Freigewichtern, zu einer Verbesserung der Stabilität und Leistungsfähigkeit des Core's, führen. (vgl. Willardson, 2007)

Neben dem zuvor genannten Grundsatz der Spezifität, gilt es im Anschluss einen weiteren häufig angesprochenen Punkt des Core-Stabilitäts-Training näher auszuführen, das Training auf instabilen Untergrund.

Borghuis et al. (2008, S. 894) stellten fest, dass Trainingsaktivitäten die die Propriozeption herausfordern, beispielsweise durch die Verwendung instabiler Oberflächen, zu erhöhten Anforderungen an die Rumpfmuskulatur führen und so die Stabilität und das Gleichgewicht des Core's verbessern.

Parkhouse und Ball (2010, S. 517) bestätigen und ergänzen diese Aussage. Sie belegen, dass ein Core Stabilitätstraining auf instabilen Oberflächen sowohl im Gesundheitswesen als auch im Leistungstraining üblich ist. Es führt zu einer Verbesserung der neuromuskulären Pfade und des Gleichgewichts, sowie zu einer höheren Maximalkraft und Schnellkraft. Ihre Forschungsergebnisse zeigten, dass mit zunehmendem Instabilitätsgrad die Aktivität der Core Muskulatur proportional zunimmt. Aus diesem Grund wurden Kräftigungsübungen, die auf instabilen Oberflächen durchgeführt wurden, als am besten für die Entwicklung der Core Stabilität befunden.

Bei der von Parkhouse und Ball (2010) selbst durchgeführten Studie, wurden die Auswirkungen eines 6-wöchigen Core-Stabilitäts-Trainingsprogramms mit Übungen, die auf instabilen Untergrund durchgeführt wurden, anhand von Feldtests mit Übungen auf stabilen Untergrund verglichen. Die Studie ergaben, dass die Gruppe des dynamischen Core-Stabilitäts-Trainingsprogramm, nach der Intervention, bei allen drei Core-Tests besser abschnitt, als die Gruppe des statischen Core-Stabilitäts-Trainingsprogramm. (vgl. Parkhouse & Ball, 2010)

„Der Post-hoc- LSD (geringster signifikanter Unterschied) Test stellte fest, dass die dynamische Trainingsgruppe in allen drei Core Tests größere Verbesserungen, als die statische Gruppe aufweist (Parkhouse & Ball, 2010, S. 521).“ Aufgrund der geringen Samplegröße (N=12) gilt es dieses Studienergebnis jedoch mit Vorsicht zu betrachten.

Das Forschungsduo verwendete die folgenden zwei Trainingsprogramme:

Statisches Core-Stabilitäts-Trainingsprogramm: Side plank, Shoulder bridge, Full plank, Birddog, Diagonal crunch, Reverse hyperextension

Dynamisches Core-Stabilitäts-Trainingsprogramm: Jack knife, Russian twist, Reverse hyperextension, Lateral roll, Hip crossover, Reverse crunch

(vgl. Parkhouse & Ball, 2010)

Willardson (2007) fasste vorliegende Studien zusammen und stellte dabei fest, dass Übungen am Swiss Ball, das effektivste Core-Stabilitäts-Training darstellen. Dabei wurde insbesondere beim Vergleich von Widerstandsübungen auf stabilen Untergrund, mit Übungen am Swiss Ball, signifikante Unterschiede festgestellt.

Behm et al. (2005) verglichen hier neben sechs typischen Core-Übungen, auch die bilaterale und unilaterale dumbbell shoulder press und chest press. Ausgenommen von den shoulder press Varianten, stellten sie bei allen Übungen, einen signifikant höheren Aktivierungszustand in der Core-Muskulatur fest, wobei die Side-Bridge, die mit Abstand höchste Aktivierung aufwies. Auf der Grundlage dieser Ergebnisse gelangte das Forschungsteam rund um Behm zum Schluss, dass das Training zur Verbesserung der Core-Stabilität eine destabilisierende Komponente beinhalten sollte.

Eine ähnliche, bereits im Jahr 2000 von Vera-Garcia et al. durchgeführten Studie, verglich die Muskelaktivität in den oberen und unteren Regionen des Rectus abdominis während des curl-ups. Dabei stellten sie bei stabilen Untergrund eine MVC von 21% fest, während selbige Übung am Swiss Ball eine MVC von 50% erreichte. Ein Problem dieser Schlussfolgerung ist jedoch, dass das Ausmaß der Muskelaktivierung möglicherweise nicht das Potenzial für die Kraftproduktion anzeigt. Bei der Durchführung von Widerstandsübungen auf einem Swiss Ball, wird die Kraftproduktionsfähigkeit an den oberen und unteren Extremitäten erheblich reduziert. Dies kann das Potential dieser Übungen, hinsichtlich der sportlichen Leistungsfähigkeit, stark einschränken. Auch Vera-Garcia et al. (2000) kamen zum Schluss, dass für die erfolgreiche Ausführung sportlicher Fähigkeiten Core-Stabilität erforderlich ist und ein funktionsbasiertes Programm daher Widerstandsübungen enthalten sollte, die eine destabilisierende Komponente beinhalten. Sehr wenige sportliche Fähigkeiten erfordern jedoch die mit den Swiss-Ball-Übungen einhergehende Instabilität. Ein hinsichtlich der Spezifität besserer Ansatz könnte daher darin bestehen, auf stabilen Untergrund Übungen mit freien Gewichten durchzuführen. Diese Übungen umfassen ein moderates Maß an Instabilität und ermöglichen dennoch eine hohe Kraftentwicklung. Dieser Ansatz ermöglicht die gleichzeitige Entwicklung der Stabilität des Core's und der Stärke der oberen und unteren Extremität, die möglicherweise besser auf sportliche Leistungen übertragen werden können. (vgl. Willardson, 2007)

In einer späteren Studie von Behm, Drinkwater, Willardson und Cowley (2010) erklären sie Instabilitätsübungen zwar zu einem beliebten Mittel, um den Core zu trainieren und das Gleichgewicht zu verbessern. Sie ergänzen jedoch, dass nach ihrem Wissen, noch nicht vollständig geklärt ist, ob ein Widerstandstraining auf instabilen Untergrund gleich, mehr, oder weniger effektiv als ein herkömmliches Widerstandstraining auf stabilen Untergrund, ist. (vgl. Behm, Drinkwater, Willardson & Cowley, 2010)

Trainingsprogramme müssen AthletInnen auf unterschiedlichste Körperhaltungen und äußere Kräfte vorbereiten. Dies schließt auch Übungen mit einer destabilisierenden Komponente mit ein. Während instabile Trainingsgeräte gezeigt haben, dass sie das Auftreten von Schmerzen im unteren Rückenbereich verringern und die sensorische Effizienz von Weichgewebe erhöhen, sind sie, insbesondere bei trainierten SportlerInnen, für Hypertrophie, Maximalkraft, oder Schnellkraft nicht zu empfehlen. (vgl. Behm et al., 2010)

Behm et al. (2010) schließen sich hier den Aussagen Willardson (2007) an, indem sie die Grundlage des Core-Trainings, dem Freigewichtstraining auf stabilen Untergrund und dem Training mit moderaten Instabilitäten, zu schreiben. Widerstandsübungen auf instabilem Untergrund können hingegen eine wichtige Rolle bei der Periodisierung und Rehabilitation spielen. Diese Übungen können zudem für FreizeitsportlerInnen eine Alternative zu Bodengewichtsübungen, darstellen.

Hinsichtlich der Wiederholungszahlen und Belastungszeiten, schließen sich Behm et al. (2010) den Aussagen Faries und Greenwood (2007) an. Sie gehen davon aus, dass basierend auf dem relativ hohen Anteil an Fasern des Typs I, die Core-Muskulatur gut auf mehrere Sätze mit hohen Wiederholungen ansprechen (z. B. > 15 pro Satz) sollte. Dennoch können bestimmte Sportarten auch geringere Wiederholungen erforderlich machen. (vgl. Behm et al., 2010)

Calatayud et al. (2015) stellten ebenfalls, die von Parkhouse und Ball (2010) zuvor entdeckte, erhöhte Aktivierung der Core-Muskulatur auf Grund von Instabilität durch bestimmte Geräte fest. Mok et al. (2015, S. 189) stellen ebenfalls fest, dass Übungen die auf instabiler Basis durchgeführt werden, verglichen mit Übungen die auf stabiler Basis durchgeführt werden, eine größere Herausforderung für die Aufrechterhaltung der Stabilität des Core's darstellen, was sich in einer Steigerung der Aktivität der Core Muskulatur zeigt.

Zusätzlich identifizierten sie Übungen, die mit einer Aufhängevorrichtung durchgeführt werden, als eine zusätzliche Form von Core-Stabilitäts-Training (CST) auf instabilen Untergrund. Diese Subform soll laut deren Forschungsergebnissen, überdies dem bisherigen CST auf instabilen Untergrund, überlegen sein. Verglichen mit einer ähnlichen Form von Übungen auf anderen instabilen Stützflächen (Swiss-Ball, oder Balance-Discs) und stabilen Stützflächen, konnten sie eine erhöhte Aktivität der Core-Muskulatur feststellen, wenn die Hip Abduction in Plank „HAP“ (Abb. 24) und der Hamstring Curl „HC“ (Abb. 25) mit dem TRX®PRO Suspension Trainer durchgeführt wurden.



Abbildung 24: TRX Hip Abduction in Plank, Quelle: Mok et al. (2015, S. 191)



Abbildung 25: TRX Hamstring Curl, Quelle: Mok et al. (2015, S. 191)

Darüber hinaus wurde in unterschiedlichen Muskelgruppen ein ausreichend hoher Aktivierungsgrad, um einen muskelstärkenden Effekt zu erzeugen, beobachtet. Die HAP wirkte sich besonders auf den M. Obliquus internus und externus abdominis, sowie dem M. Transversus abdominis aus, während der HC den größten Effekt beim lumbalen M. Multifidus zeigte. (vgl. Mok et al., 2015) Somit eignet sich diese Trainingsform besonders gut, für die Verbesserung der Core-Stabilität.

Neben den zuvor genannten Möglichkeiten der Durchführung von Core-Stabilitäts-Training auf instabilen Untergrund, mit ihren je nach Variation mit eingeschlossenen Vor- und Nachteilen, gibt es auch noch andere Möglichkeiten um die Core-Stabilität zu trainieren.

Behm et al. (2005) stellten beispielsweise fest, dass unabhängig von der Unterstützungsfläche, bei unilateraler Ausführung von Übungen, eine höhere Aktivierung der Core-Muskulatur auftritt. Willardson (2007) fügt dem unilateralen Training, noch das bereits zuvor genannte Training mit Freigewichtern und die Durchführung von Übungen im Stehen, anstatt im Sitzen, hinzu. Er nannte generell Training, das Elemente enthält, die den Körper aus dem

Gleichgewicht bringt, als eine effektive Form des Core-Stabilitäts-Training. Dazu merken Arokoski et al. (2001) an: „Durch die Veränderung der Extremitäten- und Rumpfpositionen, oder unausgeglichene Rumpfbewegungen kann die Aktivität der Rumpfmuskulatur gesteigert werden (Arokoski et al., 2001, S. 1089).“

Calatayud et al. (2015) stellen ebenfalls fest, dass es durch erhöhte posturale Kontroll- und Gleichgewichtsanforderungen zu einem erhöhten Aktivierungszustand der Core-Muskulatur kommt. Das Widerstandstraining auf instabilen Untergrund, kann dabei sowohl mit dem eigenen Körpergewicht, als auch mit zusätzlichen Gewichten durchgeführt werden. Sie schließen sich, hinsichtlich der Verlagerung von Übungen im Sitzen, hin zum Stehen, den Aussagen von Willardson (2007) an und ergänzen, dass es durch die Reduzierung der Stützfläche und/oder dem Einsatz von elastischen Widerständen, ebenfalls zu einer erhöhten Aktivierung der Core-Muskulatur kommt. (vgl. Calatayud et al., 2015)

Als Beispiel für die Reduktion der Stützfläche nennen García-Vaquero et al. (2012) die Durchführung von Bridge-Übungen mit einem angehobenen Bein. Dadurch erhöhen sich die Rotationskräfte im Rumpf und es kommt zu einer verstärkten Aktivierung der Wirbelsäulenrotatoren, insbesondere des M. obliquus Internus. (vgl. García-Vaquero, Moreside, Brontons-Gil, Peco-González & Vera-Garcia, 2012)

Fort-Vanmeerhaeghe, Romero-Rodriguez, Lloyd, Kushner und Myer (2016) geben einen Überblick über die aktuelle Literatur und weisen einige Empfehlungen zum generellen Aufbau des Core-Stabilitäts-Training aus. Dabei berücksichtigen sie zudem das Core-Stabilitäts-Training bei Anfängern und Jugendlichen und differenzieren hinsichtlich der vorliegenden Expertise der Zielgruppe. Dynamische Stabilisierungsprogramme sollten bei AnfängerInnen und jungen AthletInnen auf stabilen Untergrund, mit grundlegenden stabilisierenden Übungen zur Haltung und mit Bewusstseins-aktivierungsübungen (z. B. quadruped oder “big-dog” Übung, oder diaphragmatic breathing) beginnen (Abb. 26 A-C). Diese Übungen umfassen niederschwellige Bewegungen für die Haltung, die vor allem Ausdauer und motorische Kontrolle erfordern. Ein weiteres Ziel dieser Übungen ist die Aktivierung der tiefen Muskeln des Rumpfes und des Hüftgürtels, während eine neutrale Haltung der Wirbelsäule beibehalten wird (70). Jugendliche, die bereits fortgeschritten sind, sollten durch Stabilitäts-, Muskelausdauer- und Reaktionsübungen trainiert werden (Abb. 26

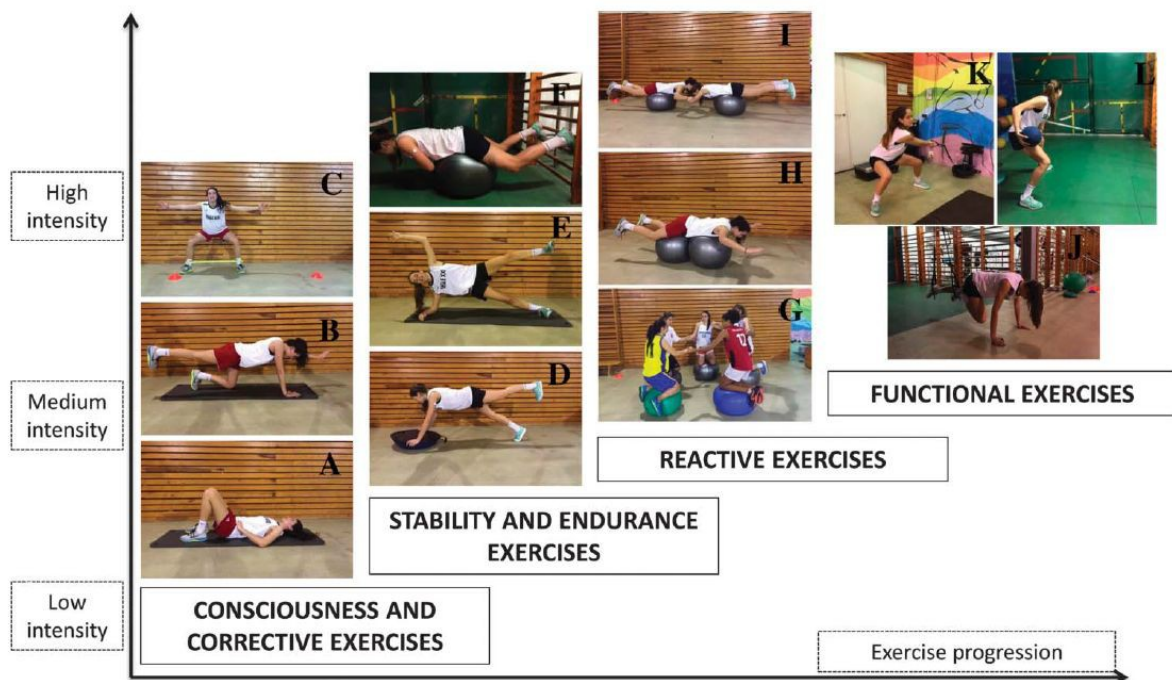


Abbildung 26: Examples of core dynamic stability exercise progression in youth starting with basic consciousness activation exercises (A: Transversus abdominis isolation activation, B: Bird dog, C: Hip abductors activation) and progress through stability and muscle endurance (D, E: Frontal and lateral planks on stable and unstable surfaces, F: Romanian chair on fitball), reactivity (G–I) and functional exercises (J–L: Strength and power exercises emphasizing rotations, accelerations, and decelerations). Quelle: Fort-Vanmeerhaeghe et al., (2016, S. 15)

D-G). Es gibt zahlreiche Methoden, um mit Core-Übungen die Stabilität und Kraft zu verbessern. Einige der üblichen Übungen, die in der Literatur vorgeschlagen werden, um die Stärke und Stabilität des Core zu entwickeln, sind Variationen der Bridge-/Plank- Übung (front, side, and reverse). Diese Übungen mit höherer Belastung sollten vorwiegend mit einer neutralen Wirbelsäulenposition ausgeführt werden, da der Jugendsport vor allem durch Geschwindigkeit und Richtungswechsel gekennzeichnet ist. Diese Übungen können AthletInnen durch das Hinzufügen instabiler Flächen zusätzlich herausfordern. Mit fortschreitender Leistung sollte mit dem Einbau von Kraft- und Leistungskomponenten, durch funktionale Übungen (Abb. 26, J,K) vorangeschritten werden.

Abhängig von den Fähigkeiten des Athleten können diese anspruchsvolleren Übungen, Rotationen, Beschleunigungen und Verzögerungsbewegungen hervorheben. Einerseits zeichnen diese Bewegungen die meisten Sportarten aus, andererseits führen sie oftmals zu Wirbelsäulenverletzungen. (vgl. Fort-Vanmeerhaeghe, Romero-Rodriguez, Lloyd, Kushner &

Myer, 2016) Auch Santana, McGill & Brown (2015) stellten fest, dass die Erzeugung von Rotationskräften im unteren Rumpfabschnitt zur Steigerung der Leistung, bei gleichzeitiger Verbesserung der Prävention von Verletzungen problematisch ist. Aus diesem Grund sollten Drehbewegungen bei jungen SportlerInnen mit begrenzter Belastung und Bewegungsamplitude und vor allem mit einer neutralen und versteiften Wirbelsäule durchgeführt werden. (vgl. Fort-Vanmeerhaeghe et al., 2016)

Faries und Grennwood (2007) stellen allgemein fest, dass zum einen immer auf eine neutrale Wirbelsäulenposition und zum anderen auf die Aufrechterhaltung der Beweglichkeit in der Hüfte und den Knien, geachtet werden muss.

Die vorgeschlagene Steigerung der Übungen ist wichtig, um bei jugendlichen SportlerInnen, bei denen in ihrer Sportart Beschleunigungs- und Verzögerungsbewegungen der Wirbelsäule in mehreren Achsen und Ebenen auftreten, korrekte motorische Muster sicherzustellen. Darüber hinaus haben sowohl Übungen auf stabilen, als auch instabilen Untergrund einen festen Platz in der Entwicklung des Core-Trainingsprogramms, weshalb sie auch nicht isoliert trainiert werden sollten. Core-Stabilitäts-Übungen die unter Instabilität stattfinden (z. B. Plankübungen unter Verwendung einer BOSU, oder eines Swiss Ball), werden unter der Voraussetzung eingesetzt, dass sie eine größere Belastung des neuromuskulären Systems darstellen und somit auch eine höhere Aktivierung der Core-Muskulatur zur Folge haben, als ähnliche Aktivitäten, die auf stabilen Untergrund ausgeführt werden. Core-Übungen die Instabilität als Komponente enthalten, (z. B. BOSU), können jedoch die Kraft, Leistung und den Bewegungsbereich einschränken, die bei JugendathletInnen erforderlich sind. Darüber hinaus ist zu beachten, dass sowohl die Muskelfasern Typ I und II stimuliert werden müssen, um die Integrität der Wirbelsäule während des Sports und des täglichen Lebens in der Jugend sicherzustellen. Daher ist es notwendig, eine Vielzahl von Core-Stabilitäts-Übungen ins Trainingsprogramm aufzunehmen, die sowohl statische (d. H. Isometrische) als auch dynamische Komponenten enthalten. Zusätzlich kann für eine bessere Fähigkeit der Aktivierung der Core-Muskulatur, auf Übungen auf allen Vieren, auf den Knien, oder in Rückenlage zurückgegriffen werden, um die Gleichgewichtsunterstützung durch die unteren Extremitäten (z. B. Knöchelgelenke) zu beseitigen. Als Beispiel sind die in der Abbildung 27 ausgewiesenen Core-Stabilitäts-Übungen zu nennen, die die Aktivierung des Tiefengewebes und des Gleichgewichts des Core's fördern. (vgl. Fort-Vanmeerhaeghe et al., 2016)



A



B

Abbildung 27: Female basketball player working core dynamic stabilization while passing 2 balls on a fitball (A) or fighting on a BOSU (B). Decrease base of support to achieve more specific stimulation of core muscles by eliminating the balance action of ankle joints and their periarticular muscles. Quelle: Fort-Vanmeerhaeghe et al., (2016, S. 16)

Zudem sollte die Auswahl an Core-Stabilitäts-Übungen laut Willardson (2007), je nach Trainingsphase und Gesundheitszustand der AthletInnen variieren. In der Vorsaison und während der Saison sollte das Schnell- und Maximalkrafttraining des Core's im Vordergrund stehen. Da die meisten sportlichen Fähigkeiten bodengestützt sind und mit mäßigen Instabilitäten bestehen, sollten für eine bessere Kraftübertragung, auch Widerstandsübungen durchgeführt werden. Traditionelle Widerstandsübungen wie Kniebeugen, Kreuzheben, Power Clean und Push-Press können einseitig ausgeführt werden, um die Core-Stabilität zu fordern. Darüber hinaus können Widerstandsübungen, die eine Rotationskomponente beinhalten, mit Kabelzügen, oder Medizinbällen durchgeführt werden, um gleichzeitig eine sportspezifische Core-Stabilität und Oberkörperkraft zu entwickeln. Umgekehrt sollte während der Nachsaison und außerhalb der Saison ein Anstieg der Core-Ausdauer im Vordergrund stehen. Zu diesem Zweck sind Widerstandsübungen an einem Swiss-Ball mit isometrischer Muskelarbeit, geringen Belastungen und langen Zeiten unter Spannung geeignet. (vgl. Willardson, 2007)

Stabilisierungsübungen können somit vom Niveau eines Anfängers/einer Anfängerin, bis zum Niveau eines Profis weiterentwickelt werden (vgl. Akuthota & Nadler, 2004). Dabei gibt es aber nicht die eine korrekte und für alle Personen gültige Reihenfolge an Core-Stabilitäts-Übungen (vgl. Faries & Greenwood, 2007). Die zuvor angeführten Übungen und der Aufbau des Trainingsprogramms, ist nur eine Variante unter vielen. Denn es können nicht nur verschiedene Übungen aufeinander aufbauen, sondern es können auch einzelne Übungen an sich, in ihrem Aktivierungszustand der Core-Muskulatur, gesteigert werden.

Calatayud et al. (2017, S. 57) nennen hier als Beispiel die Plank in Rückenlage, die zuerst auf beiden Beinen, danach mit einem Bein, gefolgt von beidbeinig in einem Suspension Trainer und einbeinig im Suspension Trainer, stufenhaft gesteigert werden kann. Laut Calatayud et al. (2015) ist die Literatur zu etwaigen progressions Modellen bislang aber noch rar.

Weiters wurde festgestellt, dass unabhängig vom gewählten Training, ein paar grundlegende Regeln, hinsichtlich des Core-Stabilitäts-Training zu beachten sind. Zum einen gilt es bei der Auswahl der Übungen, die Spezifität der Übungen zu beleuchten und diese in Bezug zur jeweils trainierten Sportart zu stellen und gegebenenfalls, Adaptionen vorzunehmen. Zum anderen sollte bei allen Übungen auf eine neutrale Wirbelsäulenposition und die Aufrechterhaltung der Beweglichkeit in der Hüfte und den Knien, geachtet werden. (vgl. Faries & Greenwood, 2007)

Wichtig ist, dass das Core-Stabilitäts-Training immer auf die Bedürfnisse der einzelnen SportlerInnen und den jeweiligen Sport und dessen Periodizität, abgestimmt wird. Auf Grund der Kontextabhängigkeit und der zeitlichen Variabilität, ist es daher schwierig zu subsumieren, wie ein CST auszusehen hat und welches Training zur Steigerung der Core-Stabilität, am effektivsten ist.

Abgesehen von den Befürwortern des CST, gibt es natürlich auch einige AutorInnen die Kritik an dieser Trainingsform üben.

Lederman (2010) weist beispielsweise gleich mehrere Kritikpunkte am CST aus, weshalb auf diese im Anschluss kurz eingegangen wird.

Er gibt an, dass Core-Stabilitäts-Übungen im Widerspruch zu den Prinzipien des motorischen Lernens und des Trainings an sich, stehen. Core-Stabilitäts-Übungen sind ihm zufolge, normalen physiologischen Bewegungen nicht ähnlich und stehen auch in keinem Zusammenhang zu diesen. Daher stellt dieses Training auch den ineffektivste Ansatz dar, um motorische Fähigkeiten zu erlernen. Der interne Fokus auf einzelne Muskeln, die an der Core-Stabilität beteiligten sind, führt laut ihm, zu einer Verschlechterung des motorischen Lernens und der Leistung der AthletInnen. Zudem stellt ein zusätzliches Anspannen der Rumpfmuskulatur bei täglichen Aktivitäten oder Sportarten eine unnötige zusätzliche energetische Belastung des Körpers dar. Ein weiterer Kritikpunkt hinsichtlich des CST, stellt die bei den Übungen erreichte MVC dar. Bezüglich dieser, führt er eine Studie von Stevens et al. (2008) an, die feststellte, dass 70% MVC benötigt wird um einen Kraftzuwachs in der

Bauchmuskulatur zu erreichen. Laut ihm ist es unwahrscheinlich, dass dieses Aktivierungslevel beim CST erreicht wird. Somit geht er nicht davon aus, dass bei Übungen zum Training der Core-Stabilität die Muskulatur genügend gefordert wird, um Zuwächse in der Kraft und Ausdauer dieser Muskulatur zu erreichen. (vgl. Lederman, 2010)

Bei genauerer Betrachtung, stellen sich die genannten Kritikpunkte, jedoch als unzureichend heraus.

Die angeführten Punkte sind lediglich bei manchen Trainingsformen der Core-Stabilität zutreffend. Dies betrifft vor allem Trainingsformen, die eine Form des Propriozeptiven- oder Gleichgewichtstraining darstellen.

Da, das CST, auf Grund der wesentlich breiteren Übungsbasis, nicht auf diese Trainingsformen reduziert werden kann, lassen sich diese Annahmen nicht für das gesamte CST generalisieren und sind daher nur bedingt zutreffend.

Beispielsweise wird die Annahme eines unzureichenden Aktivierungszustandes nur bei einigen Trainingsformen (wie dem Swiss-Ball) festgestellt.

Ein TRX Suspension Training mag zwar nicht immer die Forderung der Spezifität erfüllen, jedoch stellt es auf Grund des deutlich höheren Aktivierungszustands der Core-Muskulatur, als bei vergleichbare Übungen, ein sehr effektives CST dar.

Andere Trainingsformen mit stabilem Untergrund in Kombination mit Freigewichtern, erfüllen zudem sowohl die Anforderung eines spezifischen Trainings, als auch das Erreichen eines ausreichend hohen Aktivierungszustandes der Core-Muskulatur.

Abgesehen von den soeben genannten Gegenargumenten, gilt es auch immer zu beachten, aus welcher Intention heraus ein CST durchgeführt wird und welche Ziele damit verfolgt werden.

Da dem Core-Stabilitäts-Training neben seiner Rolle im Aufbautraining und der Rehabilitation, auch immer öfter der Aspekt der Verletzungsprävention zugeschrieben wird, gilt es in einem letzten Schritt, diese Rolle des CST anhand von ausgewählten Studien aufzuarbeiten. Da das primäre Interesse, im Zusammenhang des CST mit Verletzungen der unteren Extremitäten liegt, gilt es diesen Körperabschnitt abzugrenzen und häufige Verletzungen der unteren Extremitäten auszuweisen, um bei der Analyse der Studien, die Relevanz der beurteilten Verletzungen, bewerten zu können. Zudem gilt es, als letzten theoretischen Teil, den Begriffe der Prävention zu klären.

5 Verletzungen der unteren Extremitäten

5.1 Definition und Abgrenzung der unteren Extremitäten

Grundsätzlich wird in der Literatur zwischen den unteren Extremitäten und den freien unteren Extremitäten differenziert. Der Unterschied liegt hier in der Zugehörigkeit des Beckengürtels. Ist der Beckengürtel exkludiert, wird von den freien unteren Extremitäten gesprochen. Das Ziel dieses Unterkapitels besteht darin, eine grobe Übersicht, über die an den unteren Extremitäten beteiligten Strukturen zu geben, weshalb auch kein Anspruch auf Vollständigkeit gegeben ist.

Die unteren Extremitäten beinhalten, sowohl das Kniegelenk, das obere und untere Sprunggelenk, die Gelenke der Fußwurzel, des Mittelfußes und der Zehenknochen, als auch das Hüft- und Iliosakralgelenk. Die Gelenke verbinden die Knochen der unteren Extremitäten über die passiven gelenksbildenden Strukturen (Bänder, Knorpel, Menisci und Sehnen). Die Muskeln (Skelettmuskulatur) stellen ein- oder mehrgelenkige Verbindungen zwischen den Knochen her und bilden dabei die aktive Struktur.

Zu den Knochen der unteren Extremitäten zählen:

- Beckenring: Os coxae (Os Ilium, Os ischii, Os pubis), Os sacrum
- Oberschenkel (Femur), Unterschenkel (Crus) und Fuß (Pes)
- An den Oberschenkel schließt die Kniescheibe (Patella) an
- Der Unterschenkel besteht aus Schienbein (Tibia) und Wadenbein (Fibula)
- Der Fuß gliedert sich in:
 - Fußwurzel (Tarsus) mit den Fußwurzelknochen (Ossa tarsii)
 - Mittelfuß (Metatarsus) mit den Mittelfußknochen (Ossa metatarsi)
 - Vorfuß (Antetarsus) mit den Zehen (Digiti pedis) bzw. Zehenknochen (Ossa digitorum pedis)

Die wichtigsten Bändern der unteren Extremitäten sind:

- Lig. Iliofemorale, Lig. Pubofemorale, Lig. Ischiofemorale
- Lig. Patellae, Lig. Collaterale tibiale (Innenband), Lig. Collaterale fibulare (Außenband), Kreuzbänder, Lig. cruciatum anterius (vorderes Kreuzband), Lig. cruciatum posterius (hinteres Kreuzband)
- Lig. talofibulare anterius, posterius und Lig. Calcaneofibulare (Außenbänder), Lig.

deltoideum (Innenbänder), Lig. tibiofibulare anterius und posterius
(Syndesmosenbänder)

Die Muskulatur der unteren Extremität gliedert sich in die Hüftmuskulatur, Oberschenkelmuskulatur, Unterschenkelmuskulatur und Fußmuskulatur. Die vorgenommene Zuordnung der Muskeln zu den Subgruppen ist hier nicht primär von Interesse.

Hüftmuskulatur:

M. iliopsoas (M. psoas major und M. iliacus), Mm. obteratus internus und externus, Mm. gemelli inferior und superior, M. piriformis, M. quadratus femoris, Mm. gluteus maximus, medius und minimus, M. Tensor fasciae latae

Oberschenkelmuskulatur:

M. psoas major, M. iliacus, M. vasti, Mm. quadriceps femoris, M. sartorius, M. gracilis, M. pectineus, Mm. adductor longus, brevis und magnus, M. semimembranosus, M. semitendinosus, M. biceps femoris

Unteterschenkelmuskulatur:

Mm. tibialis anterior und posterior, M. extensor hallucis longus, M. extensor digitorum longus, M. gastrocnemius, M. plantaris, M. soleus, M. popliteus, M. flexor hallucis longus, M. flexor digitorum longus, Mm. fibularis longus, brevis und tertius

Fußmuskulatur:

M. abductor hallucis, M. flexor hallucis brevis, M. flexor digitorum brevis, M. opponens digiti minimi, M. flexor digiti minimi brevis, M. abductor digiti minimi, M. quadratus plantae, M. extensor hallucis brevis, M. extensor digitorum brevis, Mm. interossei dorsales und plantares, M. lumbricales

Verletzungen der unteren Extremitäten beziehen sich folglich auf die gesamte aktive und passive Struktur.

5.2 Statistiken zu Verletzungen der unteren Extremitäten

Steinbrück (1999, S. 38) führte vor der Jahrtausendwende, in Deutschland, die zu dieser Zeit umfangreichste klinische epidemiologische Studie zu Sportverletzungen durch. Dabei wurden in 25 Jahren (1972-1997) insgesamt 30603 Sportler mit 34742 Verletzungen in einer

sportorthopädisch-traumatologischen Spezialambulanz behandelt und die Daten von Beginn an systematisch dokumentiert und analysiert. Im Fußball wurden mit 10493 (34,3%) die absolut häufigsten Verletzungen verzeichnet, gefolgt von Skilaufen mit 3632 (11,9%), Handball 2307 (7,5%), Tennis 1643 (5,4%) und Volleyball 1550 (5,1%). Drei Viertel der Verletzten waren männlich, wobei in der Altersgruppe zwischen 20 und 29 Jahren die Verletzungsinzidenz am höchsten war. Bei den Frauen wurde hinsichtlich der Verteilung der Verletzungen hingegen ein breiteres Plateau zwischen 10 und 39 Jahren festgestellt. Insgesamt ist gegenüber früheren Untersuchungen eine deutliche Zunahme der Läsionen in fortgeschrittenem Alter zu registrieren. Mit 72,4% sind die unteren Extremitäten überwiegend betroffen, gefolgt von den Armen mit 21,8% und der Wirbelsäule mit 3,0%. Mit steigender Tendenz steht das Kniegelenk mit 36,6% (12708 Verletzungen) ganz im Vordergrund, gefolgt vom Sprunggelenk mit 19,9% (6920), der Schulter mit 7,7%, dem Unterschenkel mit 7,0% und den Fingern mit 5,8%. Im Hinblick auf die Diagnosen wurden in 32,6% der Fälle "Distorsionen", in 21,5% Bänder- und Meniskusrisse, gefolgt von Kontusionen mit 11,7%, Frakturen 10,5% sowie Muskel- und Sehnenverletzungen mit 8,8% festgestellt.

Die deutlich erhöhte Häufigkeit von Verletzungen an den unteren Extremitäten im Vergleich zu anderen Körpersegmenten bestätigen auch internationale Studien, wie die der NCAA. In einer Langzeiterhebung, über einen Zeitraum von 16 Jahren (1988-1989 bis 2003-2004) wurden insgesamt 182000 Verletzungen und etwas mehr als 1 Million Aufzeichnungen von Spielen/Trainings untersucht. Die Studie ergab, dass rund 54% der Verletzungen, sowohl in Spielen, als auch in Trainings, Verletzungen der unteren Extremitäten darstellen. (vgl. Hootman, Dick & Agel, 2007)

Eine aktuellere amerikanische Studie zu Sportverletzungen im Schulsport von Tolbert, McIlvain, Giangarra & Binkley (2011, S. 85), die ebenfalls die Datensätze der NCAA bewertete, stellte zudem ein ähnliches Verteilungsmuster der Verletzungen, wie die in Deutschland durchgeführte Studie fest. Demnach sind bei Colleges und Gymnasien die unteren Extremitäten (einschließlich der Oberschenkel und Zehen) mit fast 60% aller Verletzungen die am häufigst verletzte Körperregion. Dabei stellen Verletzungen am Sprunggelenk gefolgt vom Kniegelenk und dem Oberschenkel, die höchste Verletzungsinzidenz dar. Die Hüfte und die Leiste wurden hier nicht als Teil der unteren Extremitäten betrachtet, sondern als Rumpf / Rücken klassifiziert.

Auch Voigt und Dahlinger, (2006, S. 404) kommen mit Blick auf die Großen Sportspiele, allen voran Fußball, zu einer ähnlichen Verteilung der Verletzungen. Demnach verletzen sich SpielerInnen zu über 50% Häufigkeit an Sprunggelenk, Unterschenkel und Knie und zu über 20% an den oberen Extremitäten.

Auch im Leistungssport stellen laut Tropp (1990) und Gross und Liu (2003) akute, oder chronische Überlastungsfolgen einen Bestandteil vieler Karrieren, dar. „Sprunggelenkverletzungen machen dabei den größten Anteil aus, während Verletzungen des vorderen Kreuzbandes (VKB) sicher eine der häufigsten Ursachen für langfristige Trainings- und Wettkampfausfälle bzw. sogar für ein frühzeitiges Ende der leistungssportlichen Karriere sind (Ekstrand & Tropp, 1990; Gross & Liu, 2003; zit. n. Alt & Brand, 2006, S. 271).“

Gollhofer, Granacher, Taube, Melnyk und Gruber (2006, S. 266) ergänzen, dass in Deutschland 70% aller Sportverletzungen in Ballsportarten entstehen, obwohl dort nur ca. 30% aller sportlichen Aktivitäten angesiedelt sind. Sie bestätigen zudem, dass die häufigsten Verletzungen den Muskel- und Bandapparat betreffen. Diese sind laut dem Forschungsteam sowohl auf extrinsische (außerhalb des Körpers gelegene), als auch intrinsische (körperbezogene) Faktoren zurückzuführen. Betrachtet man beispielsweise die Verletzungen des VKB in den Spielsportarten, so zeigte sich, dass ungefähr zwei Drittel dieser Verletzungen ohne gegnerischen Kontakt entstehen und folglich auf mangelnde körperliche Voraussetzungen (intrinsische Faktoren) zurückzuführen sind.

Auf Grund der hier dargestellten Studien, ist Voigt und Dahlinger (2006, S. 405) zuzustimmen, dass gemäß ihrer Epidemiologie, Teamsportarten den Schwerpunkt der Fokussierung darstellen sollten. Hinsichtlich der Prävention bilden laut ihnen, das Sprunggelenk und Kniegelenk den Schwerpunkt, was sich ebenfalls mit den Studienergebnissen deckt.

Bevor geklärt werden kann welche Maßnahmen zur Verletzungsprävention der unteren Extremitäten gesetzt werden können und ob insbesondere das Training der Core Stabilität dabei eine Rolle spielt, gilt es im Anschluss den Begriff der Verletzungsprävention zu klären.

6 Verletzungsprävention

6.1 Definition der Verletzungsprävention

„Prävention ist im Gesundheitswesen ein Oberbegriff für zielgerichtete Maßnahmen und Aktivitäten, um Krankheiten oder gesundheitliche Schädigungen zu vermeiden, das Risiko der Erkrankung zu verringern oder ihr Auftreten zu verzögern (BGM, 2015).“

Dementsprechend stellt die Verletzungsprävention als spezifische Unterform der Prävention, zielgerichtete Maßnahmen und Aktivitäten, um Verletzungen zu vermeiden, das Risiko von Verletzungen zu verringern, oder ihr Auftreten zu verzögern, dar.

Laut dem Bundesministerium für Gesundheit (2015), lassen sich präventive Maßnahmen entsprechend des Zeitpunktes, zu dem sie eingesetzt werden, der primären, sekundären oder tertiären Prävention zuordnen. Des Weiteren lassen sich präventive Maßnahmen im Hinblick darauf unterscheiden, ob sie am individuellen Verhalten (Verhaltensprävention) oder an den Lebensverhältnissen ansetzen (Verhältnisprävention). (BGM, 2015)

6.2 Allgemeines zur Verletzungsprävention

Vor dem Hintergrund, dass Sportverletzungen immer die Antwort auf Sportartanforderungen darstellen muss laut Voigt und Dahlinger (2006, S. 406) jeder Präventionsversuch eine Brücke zwischen Individuum und Situation herstellen. Da keine Situation einer anderen gleicht, benötigt das Individuum zur Bewältigung der jeweiligen Situation, unterschiedliche Ressourcen.

Dabei unterscheiden Voigt und Dahlinger (2006, S. 406) zwischen motorischen Grundfähigkeiten, den sogenannten „abilities“ und den komplexen Fertigkeiten „skills“ die zur Bewältigung von technischen Anforderungen antrainiert werden müssen. Zusammen ermöglichen sie die

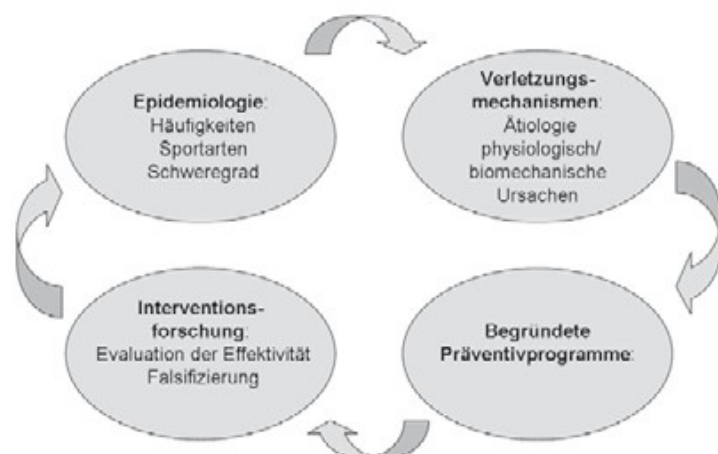


Abbildung 28: Strategie für die evidenzbasierte Erforschung der Sportverletzungen, Quelle: Gollhofer (2006, S. 265)

Bewältigung komplexer nervös-motorischer Anforderungen.

Damit diese symbolische Brücke hergestellt werden kann, gilt es gleich mehrere Aspekte zu beachten. Gollhofer (2006) entwickelte eine Strategie für die evidenzbasierte Erforschung von Sportverletzungen, da für ihn, ohne ein ausreichendes Verständnis der beteiligten Mechanismen, die Suche nach möglichen Ursachen für eine Sportverletzung, nicht realisierbar ist. Seine Strategie (Abb. 28) ermöglicht eine fundiert begründete Intervention zur Verletzungsprophylaxe. (vgl. Gollhofer, 2006, S. 265) Die Strategie sieht vor, dass neben einer epidemiologischen Überprüfung der Verletzungshäufigkeiten in den einzelnen Sportarten, auch möglichst detailliert Informationen über Verletzungsart, Umfeldgeschehen, Schweregrad und gesundheitlichen Konsequenzen erhoben werden. Auf dieser Datenbasis fundiert die darauffolgende ätiologische Erforschung der Unfallmechanismen und der physiologischen Rahmenbedingungen. Darauf aufbauend kann dann ein Interventionsmodell begründet werden, das Gegenmaßnahmen, für eine Reduktion der Unfall- und Verletzungsmechanismen beinhaltet. Die Evaluation der Präventivprogramme mithilfe von kontrollierten Interventionsstudien garantiert deren Wirksamkeit im Sinne einer tatsächlichen Reduktion der Verletzungen im Sport. Zusätzlich sichert eine permanente Überprüfung der relevanten Faktoren die dynamische Anpassung an die Realität. (vgl. Gollhofer, 2006, S. 265)

Durch technologische Entwicklungen, neue wissenschaftliche Erkenntnisse (bspw. in der Trainingslehre), in Kombination mit immer mehr vorhandenen Ressourcen, vor allem finanzieller Mittel, kommt es im Sport, speziell im Spitzensport laufend zu Veränderungen, weshalb Anpassungen vor allem in diesem Bereich relevant sind.

Um in diesem Bereich erfolgreich Sportunfallprävention betreiben zu können, gilt es laut Klein, Luig und Henke (2013, S. 8), vor allem sportartspezifische Maßnahmen zu konzipieren, die die Entwicklungen der Sportart und folglich auch die Veränderungen in der Trainingsgestaltung berücksichtigen. Denn neue Trends können zu einer Veränderung des Verletzungsgeschehens führen und somit auch eine Adaptation der Präventionsmaßnahmen nach sich ziehen.

Daraus resultiert, trotz der in den letzten Jahren stark zugenommenen Kenntnisse über Unfallhäufigkeiten, -ursachen und Vorbeugungsmöglichkeiten, eine ständige Reaktion auf und Adaption an neue Trends. Somit ist und bleibt die Verhütung von Sportunfällen, eine eminent wichtige Aufgabe, die weiterhin ein beträchtliches "Verbesserungspotential" in sich birgt.

(vgl. Marti, 2006)

Dabei stehen den AthletInnen neben den passiven Maßnahmen zur Verletzungsprävention (Orthesen, Tapeverbände oder Bandagen), sich immer weiterentwickelnde aktive Maßnahmen in Form verschiedener Kraft- und koordinativer Trainingsformen zur Verfügung. (vgl. Alt & Brand, 2006, S. 271).

Im Anschließendenden Teil dieser Arbeit, wird versucht zu klären, welche Rolle nun spezifische Core-Stabilitäts-Trainings in Hinblick auf die Prävention von Verletzungen der unteren Extremitäten spielen und ob diese Trainings einen wesentlichen Teil des bestehenden Verbesserungspotential darstellen.

Da wie zuvor von Gollhofer beschrieben, die Evaluation der Präventivprogramme mithilfe von kontrollierten Interventionsstudien deren Wirksamkeit im Sinne einer tatsächlichen Reduktion der Verletzungen im Sport garantiert, liegt im folgenden Kapitel das Hauptaugenmerk auf die Analyse und den Vergleich solcher Studien.

7 Vergleich von Studien

7.1 Methoden

7.1.1 Systematischer Review

Ein systematischer Review bzw. eine systematische Übersichtsarbeit beschäftigt sich mit der Suche, Auswahl und Bewertung aller zu einer konkreten Fragestellung passenden und vorhandenen Studien, die zuvor genau festgelegten Kriterien entsprechen (vgl. Timmer & Richter, 2008). Die Primärstudien werden dabei nach festgelegten Methoden ausgewiesen, zusammengefasst und hinsichtlich der Fragestellung beurteilt und bewertet. Die Fragestellung und deren Ausarbeitung, stellt dabei einen wesentlichen Teil dar. Es muss im vorhinein sichergestellt werden, dass die vorliegende Fragestellung noch nicht geklärt wurde und somit eine explizite Auseinandersetzung mit dieser, auch gerechtfertigt ist. (vgl. Daum, 2018)

Generell sollte sich der systematische Review auf eine wohldefinierte Fragestellung beziehen und unter Anwendung geeigneter Methoden stattfinden. Es ist eine umfassende Suche mithilfe geeigneter Kriterien für die Auswahl oder Ablehnung von Studien durchzuführen. Darüber hinaus sollte der

Beurteilungsprozess der Qualität der Studien sowie die Extraktion und Synthese von Daten unvoreingenommen, reproduzierbar und transparent sein. Sollten diese Prozesse nicht ausreichend bzw. gut dokumentiert sein, kann das Vertrauen in die dargelegten Ergebnisse und Schlussfolgerungen geschwächt werden. Ein systematischer Review ist auch dadurch gekennzeichnet, dass die Ergebnisse aller mit einbezogenen Studien klar aufgezeigt, Ähnlichkeiten und Diskrepanzen der Studien beleuchtet und Gründe für mögliche Abweichungen offengelegt werden.

(Khan et al., 2001, zit. n. Daum, 2018, S. 36)

7.1.2 Datenbankrecherche

Bei der Erstellung dieses Reviews, wurden primär die beiden Datenbanken „Web of Science“ und „PubMed“ durchleuchtet. Dabei wurde in einem ersten Schritt, durch eine Kombination an, hinsichtlich der Fragestellung relevanten, Suchbegriffen, mithilfe der Booleschen Operatoren „AND“ und „OR“ ein Suchstring erstellt, der in beiden Datenbanken zur Suche verwendet wurde. Da diese beiden Datenbanken unterschiedlich aufgebaut sind, wurden die jeweiligen Suchbefehle angepasst. Diese Suchbefehle ermöglichten eine Durchsuchung der Datenbanken in allen Bereichen, womit ein umfassenderes Ergebnis, im Vergleich zu einer Durchsuchung nach den bloßen Titelangaben, ermöglicht wurde. Die Suchstrings richteten sich an die spezifische Fragestellung und orientierte sich dabei an den Keywords. Dabei wurden sowohl Synonyme, die häufig während der Recherche für den empirischen Teil aufgefunden wurden, als auch die statistisch meist verletzten Strukturen der unteren Extremitäten mit einbezogen, um die Trefferwahrscheinlichkeit zu erhöhen und ein möglichst umfassendes Ergebnis zu generieren.

Folgende Suchstrings wurden zur Durchsuchung nach relevanter Literatur verwendet:

Web of Science:

TS=(("core stability training" OR "core stability" OR "trunk stability" OR "lumbopelvic control" OR "lumbopelvic stability" OR "lumbar stability" OR "spinal stability" OR "core instability") AND (injury OR "injury prevention" OR prevention) AND ("lower extremities" OR Knee OR ankle OR "anterior cruciate ligament" OR "ACL"))

PubMed:

All=(("core stability training" OR "core stability" OR "trunk stability" OR "lumbopelvic control" OR "lumbopelvic stability" OR "lumbar stability" OR "spinal stability" OR "core instability") AND (injury OR "injury prevention" OR prevention) AND ("lower extremities" OR Knee OR ankle OR "anterior cruciate ligament" OR "ACL"))

Die Suche ergab insgesamt 207 Treffer, wobei 137 Treffer in der Datenbank Web of Science und 70 Treffer in der Datenbank PubMed erreicht wurden. Die Ergebnisse wurden im Anschluss mit dem Literaturverwaltungsprogramm „Zotero“ zusammengeführt. Nach einer manuellen Entfernung der Doubletten blieben 154 Werke zur weiteren Überprüfung. In einem ersten Schritt wurden Werke entfernt, die trotz des verwendeten sehr spezifischen Suchstrings, hinsichtlich ihres Titels, keine Relevanz in Bezug auf die Fragestellung erkennen ließen.

Da hier lediglich 7 Werke aussortiert wurden, traf der verwendete Suchstring, die Fragestellung sehr gut. In einem nächsten Schritt wurden mithilfe der Abstracts der restlichen 147 Werke geprüft, ob sich die Werke auch zur Volltextanalyse eignen. Weiter 88 Werke wurden auf diese Weise ausgeschlossen. Nach dem Durchleuchten der verbliebenen Werke, konnten weitere 47 Werke aus unterschiedlichen Gründen verworfen werden, womit 12 Werke zur endgültigen Untersuchung verblieben. Der Ablauf, sowie die Gründe zum Ausschluss einzelner Werke ist mithilfe des Prisma Flussdiagramms (Abb. 29) auch grafisch ersichtlich. Zusätzlich zur Volltextsuche in den beiden verwendeten Datenbanken, wurde auch noch sogenannter „grauer Literatur“ mithilfe von Google, Google Scholar und ResearchGate nach den nicht ausgewiesenen Volltexten der verbliebenen Werke gesucht.

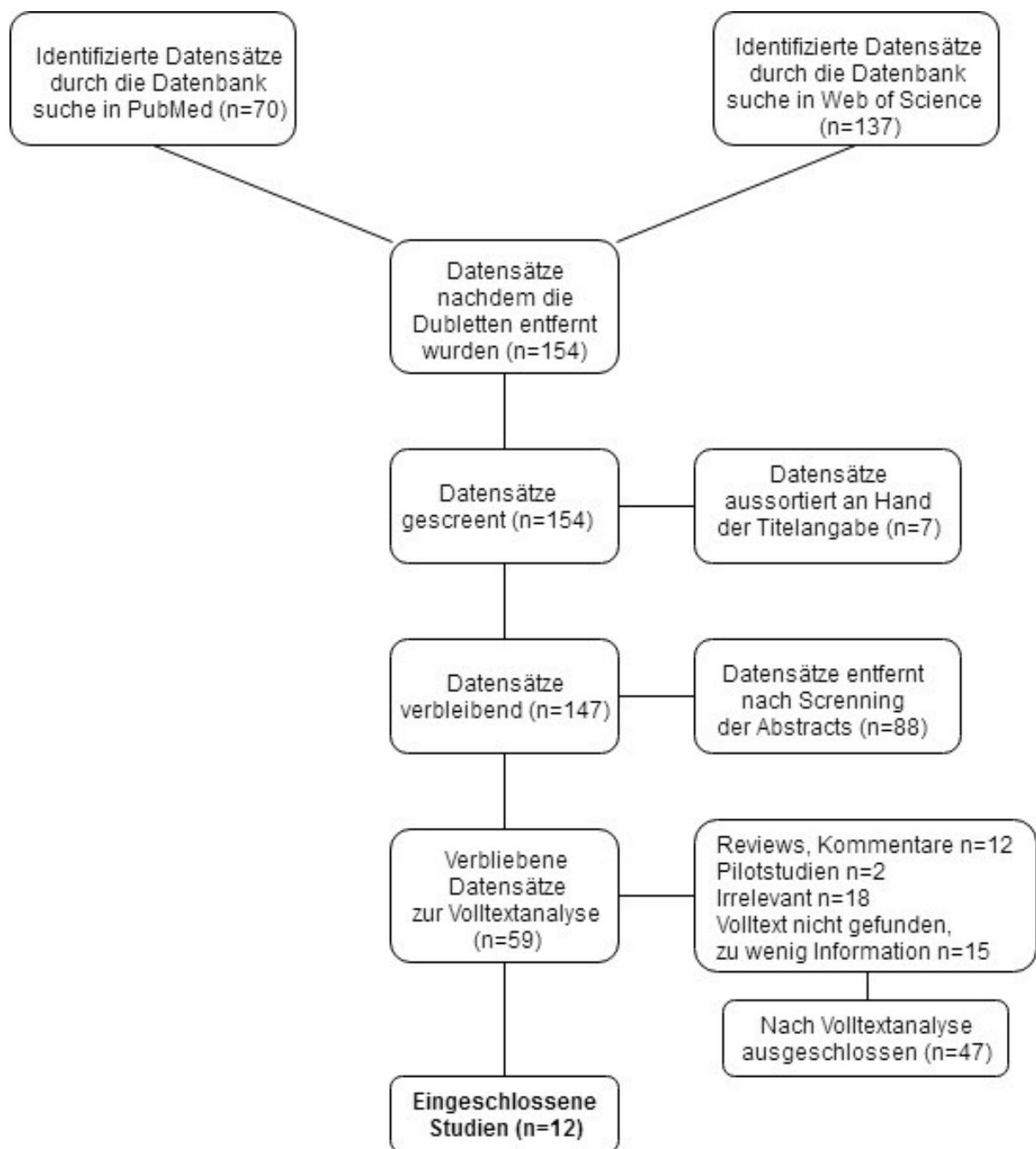


Abbildung 29: Flussdiagramm der ein- und ausgeschlossenen Studien

7.1.3 Ein- und Ausschlusskriterien für die Auswahl der Studien

Damit eine Studie in die Auswahl aufgenommen wurde, muss sie den zuvor definierten Ein- und Ausschlusskriterien entsprechen. Diese Kriterien wurden durch die schrittweise Analyse des Titels, der Abstracts und der Volltexte mehrfach überprüft. Alle Studien, die den Ein- und Ausschlusskriterien entsprachen, wurden für die Ergebnisanalyse der vorliegenden Übersichtsarbeit herangezogen.

7.1.3.1 Studiendesign

Für die systematische Übersichtsarbeit werden lediglich Primärstudien („research articles“) berücksichtigt. Trotz der allfälligen Relevanz wurden somit Reviews, Kommentare, Reports, Diskussionen, Kritiken und Pilotstudien nicht in die Endauswahl mit aufgenommen. Es wurden sowohl prospektive und retrospektive Studien, als auch Studien mit pre-post Test/Interventions -Design berücksichtigt.

Im Rahmen der Datenbankrecherche gibt es keine Eingrenzung bezüglich des Publikationsdatums der Studien. Es wurden alle in den beiden Datenbanken, zum verwendeten Suchstring, gefundenen Studien, bis zum 30. März 2019 berücksichtigt.

Es wurden zudem nur Artikel zur Analyse herangezogen, die in deutscher, oder englischer Sprache verfasst wurden.

7.1.3.2 Population

Die TeilnehmerInnen der Studie sind männlich, oder weiblich und unterliegen keiner Einschränkung hinsichtlich ihres Alters. Auch hinsichtlich der körperlichen Aktivität, der ausgeübten Sportart und Profession im jeweiligen Sport, der TeilnehmerInnen gab es keine Einschränkungen. Abhängig vom Studiendesign, wurden entweder nur gesunde Personen (prospektiv), oder Personen die Verletzungen an den unteren Extremitäten aufweisen (retrospektiv) berücksichtigt.

Bezüglich der Anzahl an ProbandInnen in den einzelnen Studien werden keine Ein- bzw. Ausschlusskriterien gewählt.

7.1.3.3 Studiendurchführung

Alle eingeschlossenen Studien müssen den Zustand der ProbandInnen (CS, Verletzungen, oder biomechanische Parameter der unteren Extremitäten) zumindest einmal durch einen

geeigneten Test/ eine Untersuchung messen, um einen Vergleich zwischen zwei Gruppen zu ermöglichen, oder an mindestens zwei Zeitpunkten eine Erhebung durchführen, um Interventionen beurteilen zu können.

7.1.3.4 Untersuchungsparameter

Alle einbezogenen Studien mussten gewisse Untersuchungsparameter, bzw. Kombinationen an Untersuchungsparametern aufweisen, um in die Auswahl aufgenommen zu werden.

Studien die über die Core-Stabilität, die neuromuskuläre Kontrolle des Core, des lumbopelvischen Komplexes, oder über mindestens einen objektiven Maßstab für die Core-Stabilität berichten und diesen in Verbindung zu Verletzungen der unteren Extremitäten stellen werden in die Analyse einbezogen. Zudem wird jede Studie, die Messgrößen/Tests für die Core-Stabilität, die Instabilität des Core's, die Stabilität der Wirbelsäule, die Rumpfstabilität, die Stabilität des Lumbarebereiches und dessen Kontrolle, sowie die Propriozeption des Core's, hinsichtlich dem Auftreten und Abwenden von Verletzungen beschreibt, in die Endauswahl aufgenommen. Weiters werden Studien die Trainingsprogramme zur Prävention und Reduktion von Verletzungen der unteren Extremitäten enthalten und dabei Elemente/Übungen des CST aufweisen, in die Auswahl eingeschlossen. Dazu zählen auch Studien die Veränderungen, oder Verbesserungen der Biomechanik der unteren Extremitäten, unter Verwendung von Elementen/Übungen des CST erreichen.

7.1.3.5 Ausschlusskriterien

Neben der Darstellung der Einschlusskriterien sollen auch noch explizit Ausschlusskriterien angeführt werden, um das Screening der Titel, des Abstracts und der Volltexte zu erleichtern. Bewusst ausgeschlossen, werden insbesondere Artikel eines anderen Formats, wie Kommentare, Reports, Diskussionen, Interviews, Einzelfallstudien, Pilotstudien, Kritiken und jegliche Formen von Reviews. Zudem werden Studien ausgeschlossen, wenn kein entsprechender Volltext auffindbar ist und/oder der Abstract zu wenig Informationen enthält. Da in den beiden Referenzdatenbanken PubMed und Web of Science nur eine beschränkte Anzahl an frei verfügbaren Volltexten vorhanden ist, wird bevor ein Artikel auf Grund des fehlenden Volltext verworfen werden würde, zusätzlich in Google, Google Scholar und ResearchGate nach dem Volltext gesucht, um ein möglichst vollständiges Ergebnis zu

erhalten. Studien die nicht in den Sprachen Englisch, oder Deutsch verfasst wurden, werden ausgeschlossen. Ebenfalls werden alle Studien die keinen direkten Bezug zu den Untersuchungsparametern aufweisen und nur in der Diskussion auf relevante Zusammenhänge verweisen, ausgeschlossen (bspw. Das statistische Erfassen von Verletzungen in bestimmten Sportarten). Zusätzlich werden alle Studien, die lediglich Empfehlungen, oder die Entwicklung von Interventionen beschreiben und keine Intervention an sich enthalten, exkludiert.

7.1.4 Eingeschlossene Studien

Wie bereits im Kapitel 7.1.2 beschrieben, wurde die in den beiden Datenbanken gefundene Literatur, in mehreren Schritten systematisch aussortiert. Schlussendlich entsprachen 12 Studien den vorab formulierten Ein- und Ausschlusskriterien und wurden somit in die Endauswahl aufgenommen. Über die Verteilung der Studien hinsichtlich der beiden durchsuchten Datenbanken lässt sich keine eindeutige Aussage treffen, da durch die Zusammenführung der Datenbanken und der Entfernung der Doubletten, die Information über den Ursprung der Studien, teilweise verloren ging und somit nicht mehr eindeutig nachvollziehbar ist.

Es wurden Studien mit unterschiedlichen Studiendesigns in die Endauswahl mit aufgenommen. Beim Großteil der Studien handelt es sich um prospektive Kohortenstudien (8). Jeweils eine Studie ist eine Quasi experi-mentelle Studie mit selektiven Sampling und pre- post Test Design, eine retrospektive Studie, eine pre-post Interventions Studie und eine Vorstudie.

Die in die Analyse eingeschlossenen Studien wurden zwischen den Jahren 2007 und 2018 publiziert. Auf die hier älteste ausgewiesene Studie vom Jahr 2007, folgt erst fünf Jahre danach die Nächste. Dabei wurden alleine ein Drittel der hier ausgewiesenen Studien in diesem Jahren (2012) veröffentlicht. Auch die folgenden beiden Jahre 2013 und 2014 weisen mit jeweils zwei Studien eine erhöhte Rate an Publikationen auf. Jeweils eine Studie wurde im Jahr 2016 und 2017 veröffentlicht. Im letzten Jahr (2018) wurden erneut zwei Studien veröffentlicht, die in die Analyse aufgenommen wurden. Somit weisen die meisten Studien eine hohe Aktualität auf.

Die Studien können hinsichtlich ihrer Erhebungsmethode und initiierten Interventionen

folgendermaßen differenziert werden.

In insgesamt neun Studien wurden Trainingsinterventionen zur Prävention von Verletzungen der unteren Extremitäten durchgeführt, wobei durch den Einsatz einer Kontrollgruppe und der Aufzeichnung von auftretenden Verletzungen während einer, oder mehreren Saisons, die Wirksamkeit der Intervention festgestellt wurde.

Weitere 3 Studien prüften, über verschiedene Messungen/Tests zur Core-Stabilität, den Zusammenhang zwischen dieser und verschiedenen Verletzungen der unteren Extremitäten in einem bestimmten Zeitraum. Dabei handelte es sich bei einer dieser drei Studien um eine retrospektive Studie, die durch detaillierte Aufzeichnungen von regelmäßigen Testungen, den Zusammenhang zwischen Verletzungen und einzelnen Leistungsparametern feststellte.

7.2 Ergebnisse

Im Anschluss werden die 12 in die Auswahl aufgenommenen Studien näher vorgestellt. Dazu wurden die Studien nach einem einheitlichen Schema präsentiert und abschließend in Form einer Tabellen zusammengefasst. Dabei wurden bei jeder Primärstudien die Kategorien „ProbandInnen“, „Studiendesign“, „Intervention“, „Ergebnisse“ und „Qualität“ gebildet und in der Überschrift die Autoren und das Jahr der jeweiligen Publikation vermerkt.

Eine Bewertung der Evidenz der in Form von Fragestellungen aufgearbeiteten Literatur, ist in der modernen Sportwissenschaft ein wesentlicher Bestandteil der Analyse von Studien. Um dieser Forderungen nachzukommen, wurde ein geeignetes Bewertungs-Tool gesucht. Dabei stellte sich die Newcastle-Ottawa Scale (NOS), auf Grund seiner Empfehlung und bestätigten Eignung in der Analyse von nicht randomisierten Interventionsstudien hinsichtlich der Evidenz, als geeignetes Bewertungsinstrument heraus. (vgl. Zeng et al., 2015)

Die von den beiden namensgebenden Universitäten Newcastle und Ottawa entwickelte Skala ist in drei Subkategorien unterteilt, die wiederum mithilfe von vorgegebenen Fragen und Antworten, eine Evaluation der Güte ermöglichen.

Das System beruht dabei auf ein Sterne „*- System, wobei jeweils eine gewisse Anzahl an „*“ pro Subkategorie, eine Studie hinsichtlich ihrer Qualität, als „good“ (gut), „fair“, oder „poor“ (schlecht) befindet. Die Subkategorien betrachten die Studien aus den drei breiten Perspektiven, Auswahl der Studiengruppen (Selection), Vergleichbarkeit der Gruppen (Comparability) und Ermittlung des Ergebnisses (Outcome) der Kohortenstudien. Im Anhang

dieser Arbeit befindet sich die offizielle Skala mit einer zusätzlichen Beschreibungen für die einzelnen Subkategorie. Für eine bessere Übersichtlichkeit, wurde der Auswertungsbogen adaptiert und lediglich die Antwortkategorien angeführt, die zu einer Bewertung mit einem „*“ führen (Tab. 5). Zusätzlich wurden die Grundlagen der Bewertung der Studien, sprich der Transformationsindex des numerischen Sternesystems in die zuvor erwähnten Operatoren good, fair und poor, unterhalb der Tabelle angeführt. Diese Bewertung wurde dann auch in die anfangs erwähnte, zusammenfassende Übersichtstabelle der eingeschlossenen Studien übertragen. Wie in der Tabelle 5, auf Grund der absoluten Anzahl an Sterne ersichtlich, sind die meisten Studien von guter Qualität. Bei genauerer Betrachtung erhielten insgesamt 9 von 12 Studien die Bewertung „good“, zwei der Studien die Bewertung „fair“ und nur eine Studie wurde als „poor“ eingestuft. Wenig verwunderlich ist daher, der in allen drei Subkategorien, gemeinhin hohe Durchschnitt der Bewertungen. Die erste Subkategorie „Selection“ weist mit im Schnitt knapp über 3 von 4 Sternen, beziehungsweise absolut 37/48 Sternen (77,08%), die zweithöchste Durchschnittsbewertung auf. Während in den ersten drei Unterpunkten die Studien jeweils 10 von 12 Sterne erreichten, wies der letzte Unterpunkt die geringste Anzahl an Sternen in dieser Subkategorie auf. Hier konnten nur sieben der eingeschlossenen Studien nachweisen, dass das Ziel/Ergebnis der Intervention der jeweiligen Studie, nicht bereits vor der Intervention erreicht wurde/bestanden hat. Obwohl der Durchschnitt in dieser Subkategorie sehr hoch ist, gibt es dennoch eine Studie die hier nur einen von möglichen vier Sternen erhielt. Die Unterkategorie „Comparability“, wies mit einem absoluten Anteil von immerhin 23 von 24 Sternen (95,83%), die höchste Bewertung auf. Dabei erhielten alle eingeschlossenen Studien, bei der Frage nach Informationen zum Geschlecht und Alter der an den Studien teilnehmenden Personen, die volle Bewertung. Die dritte und letzte Subkategorie „Outcome“, weist mit durchschnittlich 2,25/3 Sternen und absolut 27/36 Sternen (75%) den niedrigsten Durchschnittswert auf. Auch hier gab es einen Unterpunkt, der bei allen Studien erfüllt werden konnte. Demnach wiesen alle in den Studien getroffenen Interventionen eine genügend lange Dauer auf, um ein Resultat zu erzielen. In der dritten Subkategorie befindet sich jedoch auch der Unterpunkt mit dem geringsten Zuspruch über alle Subkategorien der eingeschlossenen Studien. Demnach konnten lediglich fünf Studien nachweisen, die Auswertung durch eine unabhängige geblindete Person durchgeführt zu haben, oder dass es sich bei den Ergebnissen um gesicherte Aufzeichnungen handelte, oder auf eine Objektidentifizierung zurückgegriffen wurde.

Die Studien von Hides & Stanton (2014) und Krist et al. (2013), erhielten bei der Auswertung nach NOS, mit 9/9 Sternen, insgesamt die höchste Bewertung, während die Studie von Wilkerson et al. (2012) mit nur 4 von 9 Sternen, die schlechteste Bewertung erhielt.

Neben der Qualität der Studien, wurden wie bereits zu Beginn des Unterkapitels kurz erwähnt, auch andere Parameter bei der Darstellung der Ergebnisse berücksichtigt.

Diese Kategorien sind keineswegs weniger bedeutsam, als die eben vorgestellte Bewertung der Qualität. Dadurch, dass diese Kategorien unterschiedliche Eigenschaften der Studien offenlegen, ermöglichen sie im Kollektiv eine objektive Betrachtung und Auswertung der Ergebnisse der untersuchten Studien. Denn eine gute Bewertung der Qualität der Studie kann beispielsweise durch weitere parallel laufende Interventionen, bezüglich der Effektgröße der eigentlich untersuchten Intervention verfälscht werden.

Ein weiterer wichtiger Punkt, bezüglich der Feststellung der Wirksamkeit der Intervention, ist die Testung der Parameter, die durch die Intervention verändert werden sollen, sprich die Testung der CS und/oder einzelner Parameter die die Biomechanik der unteren Extremitäten beeinflusst.

Weiters hat die gewählte Population einen wesentlichen Einfluss auf die Aussagekraft der Studie.

Bevor jedoch alle Ergebnisse nach den eben vorgestellten Parametern beurteilt und diskutiert werden können, gilt es im Anschluss die Ergebnisse der eingeschlossenen Studien darzustellen.

Tabelle 5: Bewertung der Studien nach der Newcastle-Ottawa Scale (NOS)

Quality assessment criteria	Acceptable(*)	Dello et al., 2016	Fatahi et al. 2018	Hides & Stanton, 2014	Ko et al. 2014	Krist et al., 2013	Pfile et al., 2013	Raschner et al., 2012	Van Beijsterveldt et al., 2012	Walden et al., 2012	Whyte et al., 2018	Wilkerson et al., 2012	Zazulak et al., 2007a
Selection													
Representativeness of exposed cohort?	Representative of average person in community (age/sex/being at risk of injury)	*	*	*	*	*		*	*	*	*		*
Selection of the non-exposed cohort?	Drawn from same community as exposed cohort	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*		
Ascertainment of exposure?	Secured records/ Structured interview	*	*	*	*	*	*	*	*		*		*
Demonstration that outcome of interest was not present at start of study?	Yes	*		*	*	*	*				*	*	
Comparability													
Study controls for age/sex?	Yes	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Study controls for any additional risk factor?	(BMI, physical activity, dietary factors, injury hinstory)	*	*	*	*	*	*	*	*		*	*	*
Outcome													
Assessment of outcome?	Independent blind assessment/ confirmation of the outcome by reference to secure records/ record linkage			*		*		*		*			*
Was follow-up long enough for outcome to occur?	(weeks, saison, year)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
Adequacy of follow-up of cohorts?	Complete follow-up/ subjects lost to follow-up unlikely to introduce bias	*	*	*	*	*	*	*	*		*		*
Overall Quality Score (Good, Fair, Poor)		Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Good	Fair	Good	Poor	Fair
Good quality: 3 or 4 stars in selection domain AND 1 or 2 stars in comparability domain AND 2 or 3 stars in outcome/exposure domain													
Fair quality: 2 stars in selection domain AND 1 or 2 stars in comparability domain AND 2 or 3 stars in outcome/exposure domain													
Poor quality: 0 or 1 star in selection domain OR 0 stars in comparability domain OR 0 or 1 stars in outcome/exposure domain													

Da es sich bei den zwölf Studien zwar grundsätzlich um ähnliche Studiendesigns handelt, so wurden dennoch verschiedene Aspekte, durch unterschiedliche Methoden untersucht. Demnach wurden die Studien in drei Subgruppen zusammengefasst, um eine bessere Übersichtlichkeit und Vergleichbarkeit zu erreichen.

In einem ersten Schritt werden die Ergebnisse von Studien vorgestellt, die das Ziel hatten, durch den Einsatz eines CST, die Biomechanik der unteren Extremitäten zu verändern und dadurch die Verletzungsinzidenz zu reduzieren.

In der Studie von Dello et al. (2016) wurden zehn professionelle israelische Fußballspieler einer sechs wöchigen Intervention zur Reduktion von muskulären Asymmetrien und Dysbalancen unterzogen. Dabei wurde in der Trainingsgruppe täglich statt dem Aufwärmprogramm ein CST durchgeführt. Die ebenfalls zehnköpfige Kontrollgruppe erhielt kein CST und führte das reguläre Aufwärmprogramm (8min Joggen, 6min dynamisches Stretching und 6min Mobilisationsübungen) durch. Ansonsten erhielten beide Gruppen innerhalb der sechs Wochen das selbe Training und absolvierten sowohl vor, als auch nach der Intervention isokinetische Tests und führten einbeinige Countermovement Jumps (CJ) durch. Dabei zeigte sich eine signifikante Verbesserung des maximalen Drehmoments der Knieextensoren und der Knieflexoren. Die Sprungtests zeigten eine signifikante Abnahme der Kraftasymmetrien ($-71,4\%$; $P = 0,02$), während in der Kontrollgruppe ein gleichzeitiger Anstieg zu beobachten war ($33,3\%$; $P < 0,05$).

Die zweite und zugleich aktuellste der ausgewählten Studie, stellt die Studie von Fatahi et al. (2018) dar. Hierbei wurden bei 30 professionelle Basketball Spieler die anterioren Scherkräfte, sowie die Kniebeugung beim einbeinigen Niedersprung aus 40cm Höhe, vor und nach einer Intervention gemessen. Dabei erhielt eine Gruppe ($n=15$) ein achtwöchiges CST, mit je drei Trainings pro Woche, während die Kontrollgruppe ($n=15$) kein zusätzliches Training durchführte. Dabei erreichte die Trainingsgruppe eine signifikante Steigerung der Kniebeugung ($P < 0,05$), jedoch keine signifikante Abnahme der anterioren Scherkräfte ($P > 0,05$).

Eine gänzlich andere Zielgruppe, hatte die Studie von Ko et al. (2014). Das Forschungsteam beschäftigte sich mit 20 Frauen über 65 Jahre, wobei je zehn der Interventions- und zehn der Kontrollgruppe angehörten. Das Ziel der vorliegenden Studie war es, die Auswirkungen von einem CST auf die physischen und psychischen Funktionen älterer Frauen zu untersuchen,

während sie alltägliche Hindernisse überwinden. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass die leistungsorientierte Mobilitätsbewertung (POMA), die Überquerungsgeschwindigkeit von Hindernissen (CV), die maximale vertikale Fersenfreiheit (MVHC) und der Kniebeugewinkel (KF), durch das sechswöchige Training (3x pro Woche), signifikant verbessert wurden. Weiters wurde die Angst vorm Fallen gemindert und es wurden bei weniger Frauen Depressionen festgestellt.

Pfile et al. (2013) machten es sich zur Aufgabe, die Effektivität eines CST mit einem Plyometrischen Training hinsichtlich der Verbesserung der Biomechanik der unteren Extremitäten zu untersuchen. Dabei wurden 23 weibliche High-school Athletinnen aus den Sportarten Lacross und Fußball in zwei Interventions- (CS=8/PM=9) und eine Kontrollgruppe (CT=6) unterteilt. Während die Plyometrik-Gruppe alle im Knie wirkenden Momente veränderte, erzielte die Core-Stabilitätsgruppe sowohl eine Verringerung der Knieflexion und Knie-Innenrotationswinkel, als auch der Hüftflexions und Hüft-Innenrotationsmomente beim „Drop Vertical Jump“ (DVJ).

Ähnlich wie in der Studie von Pfile et al. (2013), stand auch bei der wesentlich aktuelleren Studie von Whyte et al. (2018), die Veränderung der Biomechanik der unteren Extremitäten, durch eine Intervention im Vordergrund. Im Detail wurde bei 32 männlichen Universitäts-Fußballspielern untersucht, ob ein dynamisches CST einen positiven Einfluss auf die Rumpfkinematik und die Biomechanik der unteren Extremitäten, sowohl bei erwarteten als auch bei unerwarteten schnellen Richtungswechsel, hat. Die sechswöchige Intervention führte bei der Trainingsgruppe, während erwarteter seitlicher Richtungsänderungen, zu größere innere Hüfttextensormomente, kleinere innere Knie-Valgusmomente und kleinere externe Kniegelenkmomente. Zudem konnten die hinteren Bodenreaktionskräfte bei allen Richtungswechsel reduziert werden. Durch die Intervention wurden jedoch keine Auswirkungen auf die Rumpfkinematik erzielt.

Somit wurden durch verschiedene CST folgende Biomechanischen Veränderungen der unteren Extremitäten erreicht:

- Verbesserung des maximalen Drehmoments der Knieextensoren beim CJ
- Verbesserung des maximalen Drehmoments der Knieflexoren beim CJ
- Verbesserung der leistungsorientierten Mobilitätsbewertung (POMA) bei +65 jährigen
- Steigerung der Knieflexionswinkel beim einbeinigen Niedersprung

- Steigerung der Überquerungsgeschwindigkeit (CV) von Hindernissen bei +65 jährigen
- eine höhere maximale vertikale Fersenfreiheit (MVHC) bei +65 jährigen
- größere innere Hüftextensionsmomente bei seitlichen Richtungsänderungen
- ein größerer Kniebeugewinkel (KF) beim überqueren von Hindernisse bei +65jährigen
- eine Abnahme der Angst vorm Fallen und der Depressionen bei +65 jährigen
- eine Abnahme der Kraftasymmetrien
- eine Abnahme der hinteren Bodenreaktionskräfte bei jeglichen Richtungsänderungen
- eine Verringerung der Knieflexionswinkel beim DVJ
- eine Verringerung der Knie-Innenrotationswinkel beim DVJ
- eine Verringerung der Hüftflexionsmomente beim DVJ
- eine Verringerung der Hüft-Innenrotationsmomente beim DVJ
- kleinere innere Knie-Valgusmomente bei seitlichen Richtungsänderungen
- kleinere externe Kniegelenkmomente bei seitlichen Richtungsänderungen

Als nächstes werden die Ergebnisse von Studien vorgestellt, die mithilfe eines Trainings, das Aspekte des CST enthielt, versuchten, Verletzungen der unteren Extremitäten in Sportarten, zu reduzieren.

Hides & Stanton (2014) belegten an Hand von 46 professionellen männlichen Footballspielern, den Zusammenhang zwischen der Ausprägung der Core-Muskulatur und der Verletzungswahrscheinlichkeit der Spieler. An Hand von bildgebenden Verfahren (MR) wurde die Größe einzelner Rumpfmuskeln vor und nach der Saison, sowie nach Beendigung der Intervention gemessen. Alle Spieler die an der Trainingsintervention der Bewegungskontrolle (Motor Control), sprich der willentlichen Kontraktion von M. Multifidus, M. Transversus abdominis und der Beckenboden-muskulatur teilnahmen, reduzierten effektiv die Verletzungsrate. Die Wahrscheinlichkeit einer Verletzung war insbesondere für größere Spieler und für diejenigen mit kleineren M.Multifidus, oder einem kleineren quadratischen Lendenmuskeln deutlich erhöht. Zudem ermöglichen Messungen der lumbopelvischen Muskelgröße, mit bildgebenden Verfahren, die Identifizierung von verletzungsgefährdeten Spielern.

Krist et al. (2013) untersuchten bei ihrer Studie 479 männliche, erwachsene Amateur Fußballspieler, hinsichtlich der Kosteneffektivität, des „The 11“ Programmes. Dabei absolvierten 11 Teams (n=236) während des Aufwärmens 10 Übungen, die unter anderem die Core-Stabilität verbessern sollten. Das Programm wurde in jedem Training (2-3 pro Woche), während einer Saison ausgeführt und es wurden wöchentlich etwaige Verletzungen der Spieler, auch die der Kontrollgruppe (n=243) dokumentiert. Die Studie ergab eine signifikante Kostenreduktion der Interventionsgruppe. Die durchschnittlichen Kosten pro verletzten Spieler lagen in der Interventionsgruppe bei 256€, während in der Kontrollgruppe die Kosten bei immerhin 606€ lagen. Hinsichtlich der absoluten Anzahl an Verletzungen, gab es keine signifikante Reduktion in der Interventionsgruppe.

Van Beijsterveldt et al. (2012) untersuchten bei ihrer Studie 456 männliche Amateur Fußballspieler, die zwischen 18 und 40 Jahre alt waren. Die Trainingsgruppe (n=223) führte bei ihrer Studie, das von der FIFA entwickelte Aufwärmprogramm, „The 11“ 2-3 pro Woche während einer Saison durch. Dieses Programm besteht aus insgesamt 10 Übungen, das neben Übungen zur Verbesserung der CS auch andere Übungen (exzentrisches/propriozeptives/plyometrisches Training, Training zur dynamischen Stabilisation) miteinschließt und die Reduktion von Verletzungen zum Ziel hat. Die Kontrollgruppe (n=233) folgte dem üblichen Trainingsprogramm, das keine spezifischen Übungen zur Verletzungsprävention beinhaltete. Im Bezug auf die Verletzungshäufigkeit gab es zwischen den beiden Gruppen beinahe keinen Unterschied. Es wurden auch keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des Schweregrades (angegeben durch die Dauer der Absenz) der Verletzungen festgestellt, jedoch wurde ein signifikanter Unterschied bezüglich der Lokalisierung der Verletzungen festgestellt. Die Spieler der Interventionsgruppe wiesen signifikant weniger Knieverletzungen, als die Kontrollgruppe auf.

Die im Hinblick auf die Kohortengröße, mit Abstand umfassendste Studie, stellt die Studie von Walden et al. (2012), mit insgesamt 4564 Fußballspielerinnen im Alter von 12-17 Jahre, dar. Dabei wurde die Effektivität einer Intervention zur Reduktion von akuten und schweren Knieverletzungen und ACL- Verletzungen an Hand einer Trainingsgruppe (n=2479) und einer Kontrollgruppe (n=2085) untersucht. Die Trainingsgruppe erhielt ein neuromuskuläres Aufwärmprogramm mit Fokus auf die Bewegungskontrolle des Knies und Core Stabilität, das zweimal pro Woche, während einer Saison durchgeführt wurde. Die Studie ergab eine signifikante Reduktion (64%) der vorderen Kreuzbandverletzungen in der

Interventionsgruppe, im Vergleich zur Kontrollgruppe. Weiters wiesen Spieler, die das Programm mindestens einmal pro Woche absolviert hatten, eine vorbeugende Wirkung bei schweren Knieverletzungen und akuten Knieverletzungen auf.

Somit konnten durch unterschiedliche Interventionen, die Aspekte des CST beinhalteten, folgende Ergebnisse erzielt werden:

- eine effektive Verletzungsreduktion durch die trainingsbedingte Vergrößerung des M. Multifidus und des quadratischen Lendenmuskels
- eine signifikante Reduktion (64%) der vorderen Kreuzbandverletzungen
- eine signifikante Reduktion der durchschnittlichen Kosten pro verletztem Spieler
- eine vorbeugende Wirkung bei schweren Knieverletzungen und akuten Knieverletzungen bereits ab einem CST pro Woche
- signifikant weniger Knieverletzungen
- keine signifikante Reduktion der absoluten Anzahl an Verletzungen
- keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des Schweregrades (angegeben durch die Dauer der Absenz) der Verletzungen
- bildgebende Verfahren ermöglichen durch die Feststellung der lumbopelvischen Muskelgröße die Identifizierung von verletzungsgefährdeten Spielern

Abschließend werden die Ergebnisse der übrigen Studien, die die Resultate von Messungen/Tests hinsichtlich verschiedener Prädiktoren (unter anderem der CS) analysierten, die in Beziehung zu Verletzungen der unteren Extremitäten stehen, nach selbigem Prinzip dargestellt.

Die Studie von Raschner et al. (2012) stellt eine retrospektive Datenanalyse dar, die mögliche Indikatoren von ACL-Verletzungen überprüft. Dabei wurden 370 SchifahrerInnen im Alter von 14-19 Jahren (195 männliche, 175 weibliche) in die Analyse eingeschlossen. An den SchifahrerInnen wurden über einen Zeitraum von 10 Jahren, drei Mal pro Jahr physische Tests und anthropometrische Messungen vorgenommen und etwaige Verletzungen dokumentiert. Dabei wurden insgesamt 57 ACL-Verletzungen festgestellt, wobei bei den weiblichen Schifahrerinnen die am häufigsten betroffene Gruppe, die der 19 Jährigen, gefolgt von den 17 Jährigen war. Bei den männlichen Schifahrern, stellte die Gruppe der 17 Jährigen, die mit den häufigsten ACL-Verletzungen dar. Dabei gab es bei den Frauen, mit insgesamt 39 ACL-

Verletzungen, mehr als doppelt so viele Fälle, wie bei den Männern (18). Z-Werte für die relative Beinkraft, das Verhältnis der absoluten Rumpf-beugung zur Streckung, die relativen Core Strength (relative Extensions- und Flexionskraft) und der Reaktivkraftindex waren vorhersagende Variablen für ACL-Verletzungen bei den männlichen Schifahrern. Die Z-Werte aller dieser Vorhersagevariablen waren mit Ausnahme der relativen Beinkraft in der nicht verletzten Gruppe höher. Die Verhältnisse von der absoluten Rumpf-beugung zur Streckung und die absolute Core Strength (absolute Extensions- und Flexionskraft) waren vorhersagende Kovariaten für ACL-Verletzungen bei den weiblichen Schifahrerinnen. Die Z-Werte für die absolute Core Strength waren in der nicht verletzten Gruppe höher.

Eine weitere Untersuchung zu Risikofaktor in Bezug auf Verletzungen der unteren Extremitäten, insbesondere der Knie und des Knöchels, stellt die Studie von Wilkerson, Giles und Seibel (2012) dar. An Hand von mehreren Testungen von insgesamt 83 College Football Spielern, darunter vier verschiedene Ausdauer-Tests zur Feststellung der CS und der Dokumentation von Verletzungen während einer Saison, wurden potentielle Risikofaktoren abgeleitet. Dabei wurde festgestellt, dass Spieler mit ≥ 2 potentiellen Risikofaktoren die in Verbindung mit der Funktion des Core's stehen, ein doppelt so hohes Verletzungsrisiko aufweisen, als Spieler bei denen weniger als zwei Risikofaktoren festgestellt wurden. Drei oder mehr positive Faktoren ergaben mit 62% bzw. 91% das beste Gleichgewicht zwischen Empfindlichkeit und Spezifität. Das Verletzungsrisiko war bei Spielern mit ≥ 3 positiven Faktoren dreimal höher als bei denjenigen, die < 3 positive Faktoren aufwiesen.

Die schon deutlich ältere Studie von Zazulak et al. (2007a) beurteilte die Veränderung der Rumpfposition nach einer plötzlichen Kraftfreisetzung. Durch eine Varianzanalyse und eine multivariate logistische Regression wurden Risikofaktoren bei Sportlern mit Knieverletzung ermittelt. Dabei wurden insgesamt 277 Kollege Athleten (140 Frauen, 137 Männer) untersucht, wobei 25 davon, in der 3-jährigen Follow-up Periode eine Knieverletzung erlitten haben. Dabei wurde festgestellt, dass die Verlagerung des Rumpfes bei Athleten mit Knie-, Bänder- und ACL-Verletzungen signifikant größer war, als bei unverletzten Athleten ($P < 0,05$). Die seitliche Verschiebung war der stärkste Prädiktor für eine Bandverletzung ($P = 0,009$). Das Regressionsmodell zeigte zudem eine äußerst hohe Empfindlichkeit und konnte mit großer Genauigkeit das Verletzungsrisiko für Knie, Bänder und ACL bei Sportlerinnen prognostizieren. Zudem stellten bei männlichen Sportlern Schmerzen des unteren Rückens einen signifikanten Prädiktor, für zukünftige Bänderverletzungen am Knie dar. Die

Kombination von Faktoren, die sich auf die Core-Stabilität bezogen haben, sagten eine Knieverletzung mit einer Sensitivität von 83% und einer Spezifität von 63% voraus ($P < .0001$)

Folgende Ergebnisse lieferten die Testungen der Studien, im Hinblick auf den Zusammenhang zwischen Verletzung der unteren Extremitäten und der CS:

- Hohe Z-Werte im Verhältnis der absoluten Rumpf-beugung zur Streckung und der relativen Core Strength (relative Extensions- und Flexionskraft) reduzieren das Risiko einer ACL-Verletzung bei Männern
- Hohe Z-Werte im Verhältnis der absoluten Rumpf-beugung zur Streckung und der absoluten Core Strength (absolute Extensions- und Flexionskraft) reduzieren das Risiko einer ACL-Verletzung bei Frauen
- Spieler mit ≥ 2 potentiellen Risikofaktoren die in Verbindung mit der Funktion des Core's stehen, weisen ein doppelt so hohes Verletzungsrisiko auf, als Spieler bei denen weniger als zwei Risikofaktoren festgestellt wurden
- Drei oder mehr positive Faktoren ergaben mit 62% bzw. 91% das beste Gleichgewicht zwischen Empfindlichkeit und Spezifität
- Das Verletzungsrisiko war bei Spielern mit ≥ 3 positiven Faktoren dreimal höher als bei denjenigen, die < 3 positive Faktoren aufwiesen
- Athleten mit einer Knie-, Bänder- oder ACL-Verletzung, weisen eine signifikant höhere Verlagerung des Rumpfes nach einer plötzlichen Kraftfreisetzung auf, als unverletzte Athleten ($P < 0,05$)
- Die seitliche Verschiebung nach einer plötzlichen Kraftfreisetzung war der stärkste Prädiktor für eine Bandverletzung ($P = 0,009$)
- Die Kombination von Faktoren, die sich auf die Core-Stabilität bezogen haben, sagten eine Knieverletzung mit einer Sensitivität von 83% und einer Spezifität von 63% voraus ($P < .0001$)

Somit weist ein Großteil der eingeschlossen Studien, einen Zusammenhang zwischen der CS und der Biomechanik des Knies, oder der Reduktion von Verletzungen des Knies auf. (Dello et al., 2016; Fatahi et al., 2018; Ko et al., 2014; Krist et al., 2013; Pfile et al., 2013; Raschner

et al., 2012; Van Beijsterveldt et al., 2012; Walden et al., 2012; Whyte et al., 2018)

Zudem stellte die Studie von Hides & Stanton (2014) eine generelle Reduktion von Verletzungen der unteren Extremitäten, durch ein Training der Core Stabilität fest.

Die Studien von Krist et al. (2013) und Van Beijsterveldt et al. (2012) stellen hingegen keine Reduktion der absoluten Anzahl an Verletzungen der unteren Extremitäten, durch ein Core Stabilitäts Training fest. Dennoch zeigten auch diese Studie eine signifikante Reduktion von Knieverletzungen.

Ein Drittel der eingeschlossenen Studien (Hides & Stanton, 2014; Raschner et al., 2012; Wilkerson et al., 2012; Zazulak et al., 2007a) identifizierte die Ausprägung der CS als Prädiktor für Verletzungen der unteren Extremitäten, wobei sich die Studie von Raschner et al. (2012) lediglich auf ACL-Verletzungen fokussierte.

Somit weisen die betrachteten Studien, die die Rolle der Core-Stabilität hinsichtlich der Verletzungen der unteren Extremitäten mithilfe von Interventionen, Messungen und Tests analysierten, ein durchwegs heterogenes Ergebnis auf.

Dennoch gilt es zu klären, inwiefern die Veränderung der Biomechanik der unteren Extremitäten, im Hinblick auf die Verletzungsprävention der unteren Extremitäten, wirksam ist.

Weiters gilt es in der anschließenden Diskussion die Aussagekraft der einzelnen Studien, näher aufzuarbeiten. Dabei wird neben der Qualitätsbewertung NOS, auch auf die jeweils gewählte Kohorte, die verwendete Intervention und die durchgeführten Tests näher eingegangen.

Vor der Durchführung der Diskussion wurden die relevanten Informationen der eingeschlossenen Studien in einer Tabelle (Tab. 6) zusammengefasst. Durch die bessere Übersichtlichkeit wird ein schneller und direkter Vergleich der Studien ermöglicht.

Tabelle 6: Zusammenfassung der eingeschlossenen Studien

AutorInnen / Jahr	ProbandInnen	Studiendesign	Intervention	Ergebnisse	Qualität
Dello et al., 2016	20 professionelle Fußballspieler Trainingsgruppe n=10 Kontrollgruppe n=10	Prospektive Kohortenstudie (randomisiert -kontrolliert)	6 Wochen Core Stabilitäts Training, täglich	Signifikante Verbesserung des maximalen Drehmoments der Knieextensoren bei 3,14 rad · s ⁻¹ (14%; P <0,05), der Knieflexoren bei 1,05 und 3,14 rad · s ⁻¹ (19% und 22% mit P <0,01) und einem Verhältnis zwischen den beiden Größen von 1,05 und 3,14 rad · s ⁻¹ (7,7% bzw. 8,5% mit P <0,05) Die Sprungtests zeigten eine signifikante Abnahme der Kraftasymmetrien (-71,4%; P = 0,02) ein gleichzeitiger Anstieg in der Kontrollgruppe (33,3%; P <0,05).	Good (gut)
Fatahi et al., 2018	30 professionelle Basketball Spieler, Trainingsgruppe n=15 Kontrollgruppe n=15	Quasi experimentelle Studie mit selektiven Sampling und pre-post Test Design	8 Wochen Core Stabilitäts Training, 3x pro Woche	Signifikante Steigerung des Knieflexionswinkels (P <0,05), dadurch kommt es zu einer Verringerung der Last auf das vordere Kreuzband, keine signifikante Abnahme der anterioren Scherkräfte (P > 0,05)	Good (gut)
Hides & Stanton, 2014	46 prof. männliche Footballspieler, Trainingsgruppe n=32(17/15) Kontrollgruppe n=14	Kohortenstudie, Pre- und postinterventions Studie	15/8 Wochen Training der willentlichen Kontraktion von M. Multifidus, M. Transversus abdominis und der Beckenboden-muskulatur	Messungen der Rumpfmuskelgröße mit bildgebenden Verfahren können Verletzungen vorhersagen, Training der Bewegungskontrolle (Motor Control) reduziert effektiv die Verletzungsrate; Die lumbopelvische Muskelgröße ermöglicht die Identifizierung von verletzungsgefährdeten Spielern	Good (gut)
Ko et al., 2014	20 Frauen 65+J, Trainingsgruppe n=10 Kontrollgruppe n=10	Prospektive Kohortenstudie	6 Wochen Core Stabilitäts Training, 3x pro Woche	Signifikante Verbesserung in der leistungsorientierten Mobilitätsbewertung (POMA), der Überquerungsgeschwindigkeit von Hindernissen beim gehen (CV) und der maximalen vertikale Fersenfreiheit (MVHC); geringere Depressionen, geminderte Angst vorm Fallen	Good (gut)
Krist et al., 2013	479 männliche Amateur Fußballspieler, Trainingsgruppe n=236 Kontrollgruppe n=243	Prospektive Kohortenstudie	The 11, 2-3x pro Woche während einer Saison	Keine signifikante Reduktion der Verletzungen zwischen den beiden Gruppen; eine signifikante Verringerung der verletzungsbedingten Kosten, vorwiegend durch eine Reduktion der Knieverletzungen in der Trainingsgruppe	Good (gut)
Pfister et al., 2013	23 weibliche High-school Athletinnen (Lacross/Fußball) Trainingsgruppen n=8/ n=9) Kontrollgruppe n=6	Prospektive Kohortenstudie	4 Wochen, Core Stabilitäts Training, 3x pro Woche	Die Core-Stabilitätsgruppe verringerte die Knieflexion und Knie-Innenrotationswinkel, sowie die Hüftbeugung und Hüft-Innenrotationsmomente, die unterschiedlichen biomechanische Anpassungen unterstützen die Verletzungsprävention des vorderen Kreuzbandes	Fair
Raschner et al., 2012	370 SchifahrerInnen 14-19J, 195 männliche, 175 weibliche	Retrospektive Kohortenstudie (Längsschnitt)	10 Jahre, 3x pro Jahr Anthropometrische Messungen und physische Tests, Multivariate binäre logistische Regressionen (Männer und Frauen	Insgesamt sind 57 (15%) ACL-Verletzungen aufgetreten. Das relative Risiko (RR) zwischen Frauen und Männern war bei Frauen höher (2,3, 95% CI 1,3 bis 4,2). Z-Werte für die relative Beinkraft, das Verhältnis der absoluten Rumpf-beugung zur Streckung, die relativen Core Strength und der Reaktivkraftsindex waren vorhersagende Variablen für Männer. Die Z-Werte aller dieser	Good (gut)

			getrennt), um Prädiktoren für ACL-Rupturen zu ermitteln. t Tests zum Aufzeigen der Unterschiede zwischen verletzten und nicht verletzten AthletInnen	Vorhersagevariablen waren mit Ausnahme der relativen Beinkraft in der nicht verletzten Gruppe höher. Die Verhältnisse von der absoluten Rumpf-beugung zur Streckung und die absolute Core Strength waren vorher-sagende Kovariaten für Frauen. Die Z-Werte für die absolute Core Strength waren in der nicht verletzten Gruppe höher.	
Van Beijsterveldt et al., 2012	456 männliche Amateur Fußballspieler, 18-40J Trainingsgruppe n=223 Kontrollgruppe n=233	Prospektive Kohortenstudie (cluster-randomisiert -kontrolliert)	The 11, 2-3x pro Woche während einer Saison	Keine signifikante Reduktion der Verletzungen zwischen den beiden Gruppen, 9,6 Verletzungen pro 1000h Trainingsgruppe, 9,7 Verletzungen pro 1000h Kontrollgruppe Reduktion der Knieverletzungen in der Trainingsgruppe	Good (gut)
Walden et al., 2012	4564 Fußballspielerinnen 12-17J, Trainingsgruppe n=2479 Kontrollgruppe n=2085	Prospektive Kohortenstudie (cluster-randomisiert -kontrolliert)	Neuromuskuläres Aufwärmprogramm mit Fokus auf Bewegungskontrolle des Knie's und Core Stabilität, 2x pro Woche, während einer Saison	Signifikante Reduktion (64%) der vorderen Kreuzbandverletzung in der Interventionsgruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe Spieler, die das Programm mindestens einmal pro Woche absolviert hatten, wiesen eine vorbeugende Wirkung bei schweren Knieverletzungen und akuten Knieverletzungen auf	Fair
Whyte et al., 2018	32 männliche Fußballspieler (Universitätsniveau) Trainingsgruppe n=16 Kontrollgruppe n=16	Prospektive Kohortenstudie (randomisiert -kontrolliert)	6 Wochen dynamisches Core Stabilitäts Training, 3x pro Woche	Größere innere Hüftextensormomente ($P = 0,017$, $\eta^2 = 0,079$), kleiner innere Knie-Valgusmomente ($P = 0,026$, $\eta^2 = 0,076$) und kleinere externe Kniegelenkmomente ($P = 0,041$, $\eta^2 = 0,066$) während erwarteter seitlicher Richtungsänderungen, verringerte hintere Bodenreaktionskräfte für alle Richtungswechsel ($P = 0,015$ - $0,30$, $\eta^2 = 0,074$ - $0,105$); keine Auswirkungen auf die Rumpfkkinematik; Reduktion einer kleinen Anzahl an biomechanischen Risikofaktoren für ACL-Verletzungen, vorwiegend während erwarteten seitlichen Richtungsänderungen	Good (gut)
Wilkerson et al., 2012	College Football, n=83	Vorstudie Kohortenstudie	Vier Tests zur Feststellung der Ausdauerfähigkeit der Core Muskulatur, logistische Regressionsanalyse um dichotomisierte Vorhersag-faktoren zu identifizieren	Spieler mit ≥ 2 potentiellen Risikofaktoren die in Verbindung mit der Funktion des Core's stehen, weisen ein doppelt so hohes Verletzungsrisiko auf, als Spieler bei denen weniger als zwei Risikofaktoren festgestellt wurden.	Poor (schlecht)
Zazulak et al., 2007a	College Athleten n=277 (140 weiblich und 137 männlich)	Prospektive Kohortenstudie	Tests der Rumpfverlagerung nach einer plötzlichen Krafftfreisetzung Ermittlung von Risikofaktoren für Knieverletzungen bei Sportlern durch die Analyse der Varianz und die multivariate logistische Regression	Die Verlagerung des Rumpfes war bei Athleten mit Knie-, Bänder- und ACL-Verletzungen größer als bei unverletzten Athleten ($P < 0,05$). Die seitliche Verschiebung war der stärkste Prädiktor für eine Bandverletzung ($P = 0,009$). Regressionsmodell zeigte eine äußerst hohe Empfindlichkeit und konnte mit großer Genauigkeit das Verletzungsrisiko für Knie, Bänder und ACL bei Sportlerinnen prognostizieren; Schmerzen des unteren Rückens stellen bei Männern einen signifikanten Prädiktor, für zukünftige Bänder-verletzungen am Knie dar. Die Kombination von Faktoren, die sich auf die Core-Stabilität bezogen haben, sagten eine Knieverletzung mit einer Sensitivität von 83% und einer Spezifität von 63% voraus ($P < .0001$)	Fair

7.3 Diskussion und Interpretation der Ergebnisse

Die systematische Übersichtsarbeit beschäftigte sich mit der Frage nach dem Zusammenhang zwischen Trainingsinterventionen zur Verbesserung der Core-Stabilität und der Prävention von Verletzungen der unteren Extremitäten. Dabei wurden durch vorab festgelegte Ausschlusskriterien die beiden Datenbanken PubMed und Web of Science durchsucht und insgesamt 12, hinsichtlich der Fragestellung relevante, Primärstudien ausgewiesen. Die nähere Betrachtung der Studien ergab eine Unterteilung in drei Subgruppen, weshalb auch in der Diskussion versucht wurde, die Studien mit ähnlichen Ergebnissen gemeinsam zu bearbeiten, um gegebenenfalls Wiederholungen zu vermeiden. Dennoch wurde jede Studie gesondert hinsichtlich der in der Tabelle 6 dargestellten Parameter beurteilt, da es vor allem im Bezug auf die gewählten Kohorten und Interventionen große Differenzen zwischen den Studien gab.

Folglich wird mit der Diskussion der Ergebnisse der Studien, die eine Veränderung der Biomechanik der unteren Extremitäten durch ein CST bewirkten (Dello et al., 2016; Fatahi et al., 2018; Ko et al., 2014; Pfile et al., 2013; Whyte et al., 2018) begonnen und es wird versucht Zusammenhänge zwischen den hervorgerufenen Adaptationen und Verletzungen der unteren Extremitäten herauszuarbeiten.

Dello et al. (2016) zeigten, dass bereits ein sechswöchiges CST zu einer signifikante Abnahme der Kraftasymmetrien der Knieextensoren und Knieflexoren führt. Betrachtet man die Mechanismen die zu bestimmten Verletzungen der unteren Extremitäten führen, so werden meist die direkt umliegenden Strukturen in Betracht gezogen. Im Falle des Kniegelenks ist dies vor allem die umliegende stabilisierende Muskulatur. Bei vorliegender Dysbalanc/Kraftasymmetrie kann die Muskulatur jedoch nicht optimal arbeiten und begünstigt somit Verletzungen. Nachdem bereits in mehreren Studien eine Korrelation zwischen diesen Asymmetrien und Verletzungen der unteren Extremitäten festgestellt wurde, (Croisier et al., 2008; Devan, Pescatello, Faghri, & Anderson, 2004; Kuszewski, Gnat, & Saulicz, 2009; Soligardetal., 2008; zit. n. Dello et al., 2016, S. 6) lässt sich das CST, dass eine wirksame Maßnahme zur Reduktion der Kraftasymmetrien der Knieextensoren und Knieflexoren darstellt, auch als effektive Maßnahme zur Verletzungsprävention sehen. Als Grund wird dabei meist die Herstellung einer proportionalen Beziehung zwischen der Stärke des Quadrizeps und der hinteren Oberschenkelmuskulatur gesehen, welche die Scherkräfte des

vorderen Schienbeins auf das vordere Kreuzband reduziert und somit eine schützende Rolle bei der Stabilisierung des Kniegelenks spielt.

Bei näherer Betrachtung des CST, wurde jedoch festgestellt, dass dieses aus insgesamt 11 Übungen bestehende Training auch drei Übungen beinhaltet, die vor allem die Oberschenkelmuskulatur trainieren.

Vor allem die eingesetzte „nordic Hamstrings“ Übung hat sich bei der Verbesserung der konzentrischen und exzentrischen Oberschenkelkraft bei erwachsenen männlichen Fußballspielern als wirksam erwiesen und bietet somit eine vorbeugende Wirkung gegen Verletzungsmechanismen, die das vordere Kreuzband und die Muskulatur der Oberschenkel betreffen. (vgl. Dello et al., 2016)

Auf Grund dessen und der ausgewählten, relativ kleinen Kohorte, wird die tatsächliche Wirksamkeit des in der Studie verwendeten CST gemindert und das obwohl die Studie mit der Bewertung „good“ nach NOS, eine hohe Qualität aufweist.

Eine ähnliche Begründung der Verletzungsprävention, wird auch bei der Studie von Fatahi et al. (2018), wirksam. Denn hier wird durch ein achtwöchiges CST eine signifikante Steigerung der Kniebeugung ($P < 0,05$) erreicht.

Durch diese biomechanische Adaptation kommt es in weiterer Folge zu einer Verringerung der Last auf das vordere Kreuzband und somit zu einer Reduktion der ACL Verletzungen. Denn die bereits bei (Dello et al., 2016) angesprochene Co-Kontraktion der Muskeln der unteren Gliedmaßen kann die auf das Knie ausgeübten Kräfte aufnehmen und folglich auch die auf die Bänder des Knies ausgeübten Kräfte reduzieren. Im Detail tragen der M. Gastrocnemius und die Muskeln des Quadrizeps zur Erhöhung der vorderen Scherkraft bei, während die Hamstrings versuchen diese Kraft zu verringern.

In diesem Fall wird die Fähigkeit dieser Muskeln, die Kreuzbandkraft zu beeinflussen, durch die Veränderung des Knieflexionswinkel wirksam. Da bei niedrigen Knieflexionswinkeln die Fähigkeit der Hamstrings, die erzeugte Kraft zu neutralisieren, abnimmt, nimmt durch die vermehrte Aktivität des Quadrizeps die Erzeugung der vorderen Scherkraft zu. Die durch das CST erreichten größeren Knieflexionswinkel, führen folglich zu einer erhöhten Aktivität der Hamstrings und somit zu einer Reduktion der vorderen Scherkraft.

Weiters erhöht das CST die Rumpfbeugungsfähigkeit und die Strategie der

Muskelrekrutierung der Core-Muskeln, indem sie die Stabilität des Core's erhöhen. Die Beugung des Rumpfes während der Einbeinlandung führt ebenfalls zu einer potentiellen Verringerung der Aktivität der Muskeln des Quadrizeps, was dazu führt, dass auch die Belastung des ACL bei der getesteten einbeinigen Landung verringert wird.

Zusätzlich führt die Beugung des Rumpfes während der Landung zu einer stärkeren Beugung im Hüft- und Kniegelenk. Die dadurch hervorgerufene Position der unteren Extremitäten, weist wiederum ein geringeres Risiko für eine Ruptur des ACL auf. Hinzu kommt eine erhöhte Muskelnutzung der Hamstrings und folglich eine weitere Verringerung der auf die Kreuzbänder ausgeübten Kräfte.

Bei funktionellen Aktivitäten, insbesondere bei der Landung, bietet eine größere Bewegungsamplitude im Knie demnach eine bessere Funktionsweise.

In Bezug auf die Landung sind die vertikalen Kräfte in der Sagittalebene in Richtung Hüfte zum Knie ausgerichtet, wodurch in diesen Gelenken Momente erzeugt werden. Die Aktivierung des Core's kann die absorbierte Energie erhöhen und die Kraft verringern, die während der Landung auf das Knie ausgeübt wird.

Weiters wird angenommen, dass der Core die Muskelrekrutierung fördern kann, um dem Körper eine bessere neuromuskuläre Funktion zu verleihen.

Die vorgeschaltete Aktivierung (feed-forward) der Core Muskulatur ermöglicht demnach eine zusätzliche Reduktion von durch Störungen verursachten Momenten. (vgl. Fatahi et al., 2018) Dieser Mechanismus wird bei der Diskussion der Studie von Walden et al. (2012) näher aufgearbeitet.

Trotz des angesprochenen Mechanismus zur Reduktion der anterioren Scherkraft, konnte in dieser Studie keine Reduktion dieser Kraft nachgewiesen werden. Da neben diesem Mechanismus, wie soeben beschrieben auch andere Adaptionen beobachtet wurden, könnte diese Reduktion durch die anderen Parameter verändert worden sein. Dennoch geben die durch das eingesetzte CST erzielten biomechanischen Veränderungen, beim einbeinigen Niedersprung, Grund zur Annahme, einer effektiven Reduktion von Knieverletzungen, insbesondere des vorderen Kreuzbandes. Zudem bestand das CST aus insgesamt acht Übungen die vermehrt unter der Verwendung eines Medizinballs durchgeführt wurden, die im Vergleich zur vorhergehenden Studie von Dello et al. (2016) keine Übungen zur Kräftigung der Oberschenkelmuskulatur beinhalteten. Da die Studie ebenfalls nach NOS mit gut bewertet

wurde, stellt hier die ebenfalls geringe Größe der Kohorte die einzige Limitation der Studie, hinsichtlich ihrer Aussagekraft dar.

Mit den in Bezug auf die Landung auftretenden vertikalen Kräften in der Sagittalebene, die wiederum Momente in den Gelenken erzeugen, beschäftigte man sich explizit in der Studie von Pfile et al. (2013). Dabei führte das von der Forschungsgruppe rund um Pfile (2013) eingesetzte CST beim DVJ zu unterschiedlichen biomechanischen Anpassungen, sowohl im Kniegelenk, als auch im Hüftgelenk.

Wie schon zuvor bei der Analyse der Studie von Fatahi et al. (2018) festgestellt, unterstützen einige dieser Veränderungen die Verletzungsprävention des vorderen Kreuzbandes. Im Detail wurde nach der vierwöchigen Intervention beim DVJ eine Verringerung der Knie-Innenrotationswinkel, der Knieflexionswinkel, der Hüftflexionsmomente und der Hüft-Innenrotationsmomente festgestellt. Inwiefern sich diese Adaptationen auf Verletzungen des ACL auswirken gilt es im Anschluss zu klären.

Da angenommen wird, dass die innere Rotation des Knies die Belastung des ACL erhöht, wird durch die Reduktion der Knie-Innenrotation, daher auch die Belastung auf das ACL abnehmen, wodurch das Risiko einer kontaktlosen Verletzung gemindert wird. (vgl. Pfile et al., 2013)

Zudem wird davon ausgegangen, dass das Herbeiführen von Veränderungen an der Hüfte eine Reihe von Anpassungen entlang der kinetischen Kette verursacht. Denn wie bereits am Ende des Kapitels 3.2 beschrieben, werden Kräfte im Sinne des anterioren und posterioren Serape, durch den gesamten Körper weitergeleitet. Die Veränderung der Innenrotation des Knies, kann somit durch die vorbereitende Muskelaktivität im Core erklärt werden. Diese erlaubt den Athleten, anstatt bei der Landung auf eine vorhergehende gedrehte Position zu reagieren, die Position der unteren Extremität bereits während der Flugphase der Landung anzupassen und somit für eine bessere exzentrische Steuerung der Belastungsphase bei der Landung zu sorgen.

Die Abnahme der Momente der Hüftbeugung und der Hüft-Innenrotation kann mit einer erhöhten Fähigkeit der Hüftstrecker und der äußeren Rotatoren zur exzentrischen Steuerung der Hüftbeugung bzw. der Innenrotation zusammenhängen. Diese kann durch die in der Interventionsgruppe verwendeten Übungen erklärt werden. Die verwendeten und laut Kapitel 4.3, auch hinsichtlich der Steigerung der CS wirksamen Übungen, wirkten teilweise, wie etwa

bei der Side-Plank-Übung, über das tiefe Längssystem. Dadurch kam es zu einer Steigerung der Muskelkraft des M. Gluteus medius, der wiederum wesentlich zur exzentrischen Steuerung der Kniegelenkposition beiträgt. Zusätzlich wurde in einer externen Studie von Paterno et al. (2010) festgestellt, dass ein Anstieg des inneren Moments für die Innenrotation der Hüfte zu einem 8-fach höheren Risiko einer ACL-Verletzung bei Personen führte, die bereits eine ACL-Verletzung erlitten hatten. Als Gegenmaßnahme gaben sie die Stärkung der Außenrotatoren, um den Bewegungsumfang der Innenrotation der Hüfte während der Landung zu verringern, an. Dies deckt sich mit den Auswirkungen des CST in der hier analysierten Studie von Pfile et al. (2013).

Dennoch zeigten nicht alle Veränderungen eine präventive Wirkung in Bezug auf Verletzungen des vorderen Kreuzbandes. So wurde bei der Studie von Pfile et al. (2013) ein ähnliches Problem wie bereits bei der Studie von Dello et al. (2016) festgestellt. Neben Übungen zum Training der CS, wurden auch bei dieser Studie vereinzelt Übungen verwendet, die die Oberschenkelmuskulatur, genauer die des Quadrizeps, trainierten. Dadurch wurde möglicherweise das Verhältnis der vorderen Oberschenkelmuskulatur zur hinteren Oberschenkelmuskulatur negativ beeinflusst, was sich bei der Testung nach der Intervention im geminderten Knieflexionswinkel geäußert hat. Wie bereits zuvor erklärt, wirkt sich diese Adaptation negativ auf die Verletzungsprävention des vorderen Kreuzbandes aus, da es zu einer Erhöhung der Scherkraft kommt.

Dadurch, dass Frauen eine deutlich höhere Wahrscheinlichkeit einer ACL-Ruptur aufweisen, scheint ein CST vor allem bei Frauen besonders effektiv zu sein. Hinzu kommt, dass eine im Jahr 2010 von Yoo et al., durchgeführte Meta-Analyse, ergab dass ACL-Verletzungspräventionsprogramme bei Menschen unter 18 Jahren am wirksamsten sind. Da es sich bei der Studie von Pfile et al. (2013) um sehr junge Frauen (14.8 +/- 0.8) handelte, kommt es zu einer erhöhten Adaptationsfähigkeit und Wirksamkeit in diesem Alter, die auch durch die kurze Interventionsdauer von nur vier Wochen bestätigt wurde. Dadurch kommt es jedoch auch zu einer Einschränkung der Aussagekraft hinsichtlich erwachsener Spielerinnen. Auch die Kohortengröße und die Bewertung der Studie als „fair“ mindert die Aussagekraft.

Leetun et al. (2004) stellen fest, dass Sportler mit unausgeprägter „Core“-Muskulatur eher dazu neigen erzeugte Krafteinwirkungen, wie z.B. bei einem explosiven Richtungswechsel, unzureichend stabilisieren zu können. Dadurch gelangt der Körper, insbesondere die

Extremitäten, in ungünstige Positionen, die sich negativ auf das Kniegelenk auswirken.

Da somit die in der Studie von Whyte et al. (2018) untersuchten Richtungswechsel einer der Hauptgründe für ACL-Verletzungen sind, will man durch eine bessere Biomechanik zukünftige ACL-Verletzungen reduzieren. Mit der gewählten sechswöchigen Intervention konnte immerhin eine kleine Anzahl an biomechanischen Risikofaktoren für ACL-Verletzungen, vorwiegend während erwarteter seitlicher Richtungsänderungen, reduziert werden. Eine mögliche Erklärung für die ausbleibende Veränderung der Rumpfkine matik, die ebenfalls einen wesentlichen Einfluss auf die Verletzungsinzidenz des ACL hat, stellt möglicherweise die durchwegs hohe Profession und Vertrautheit der Probanden mit den getesteten Bewegungsaufgaben, dar. Dennoch stellten einige biomechanische Adaptionen, im Sinne der Verletzungsprävention, wirksame Anpassungen dar.

Da eine Valgusposition im Knie in Verbindung mit einer leichten Flexion ($5-25^\circ$), zu einer maximalen Spannung des vorderen Kreuzbandes führt, stellen die erreichten kleineren Knie-Valgusmomente, eine geringere Belastung auf das vorder Kreuzband dar. (vgl. Petersen et al., 2016) Auch die Verringerung der externen Kniegelenkmomente bei seitlichen Richtungsänderungen, wirken Verletzungen am Kniegelenk entgegen, weil dadurch die ligamentäre Spannung reduziert wird.

Die von Whyte et al. (2018) festgestellte Abnahme der hinteren Bodenreaktionskräfte bei allen getesteten Richtungsänderungen, führt ebenfalls zu einer Reduktion von ACL-Verletzungen. Denn in ihrer Analyse wird festgestellt, dass eine erhöhte posteriore Bodenreaktionskraft als Risikofaktor für ACL-Verletzungen gilt, da Bodenreaktionskräfte mit der proximalen Scherkraft der vorderen Tibia in Verbindung stehen und somit das vordere Kreuzband direkt belasten. Dies wird durch Studien belegt, in denen festgestellt wurde, dass ACL-Verletzungen tendenziell bei verlangsamenden Aktivitäten auftreten, wenn also eine größerer hintere Bodenreaktionskraft vorliegt. (vgl. Whyte et al., 2018)

Somit scheint die Studie hinsichtlich der Prävention von Verletzungen des vorderen Kreuzbandes, im spezifischen Setting der schnellen Richtungswechsel, durch ein CST gegeben zu sein. Zwar weist auch diese Studie eine gute Qualität auf, die geringe Anzahl an Probanden, in einer sehr eingeschränkten Kohorte, mindert jedoch die Aussagekraft dieser Studie.

Stürze stellen bei älteren Erwachsenen eine der Hauptunfallarten mit oft folgenschweren

Verletzungen dar. Dies ist darauf zurückzuführen, dass deren Muskelkraft, Propriozeptionssinn und körperliche Koordination durch das Altern beeinträchtigt werden.

Hinzu kommt, dass ein oftmals vorliegendes fehlerhaftes motorisches Kontrollsystem zu unangemessenen Muskelkräften und -steifigkeiten führt, die es wiederum ermöglichen, dass sich ein Gelenk biegt, oder Scherkräften ausgesetzt wird. Die Aufgabe des Kontrollsystems liegt demnach auch darin, zuerst eine ausreichende Steifigkeit und Gelenkstabilität herzustellen, bevor es zur Drehmomenterzeugung kommt. Bei der aktiven Herstellung der Stabilität durch die muskuläre Steifigkeit, stellen McGill & Cholewicki (2001) fest, dass bereits eine Aktivierung von nur 25% der maximalen isometrischen Kontraktion, zu einer maximalen Gelenksteifigkeit führt. (vgl. McGill & Cholewicki, 2001) Weiters muss die gesamte stabilisierende Muskulatur kohärent arbeiten, um Stabilität zu erreichen. Ein Muskel mit unangemessener Aktivierung, Amplitude oder Zeitsteuerung kann schon bei niedrigen Lasten Instabilität, oder instabiles Verhalten erzeugen. Wenn Instabilität herrscht, kann wiederum die korrekte Ausrichtung der Wirbel nicht aufrechterhalten werden, oder anders gesagt, schafft es die Muskulatur nicht, genügend Kraft aufzubringen, um den gesamten Bewegungsbereich eines Gelenks zu kontrollieren und vor allem die Wirbelsäule zu stabilisieren. (vgl. Faries & Greenwood, 2007) Diese Instabilität kann in weiterer Folge, schon beim Überwinden von alltäglichen Hindernissen, zum Verlust des Gleichgewichts führen.

Die Studie von Ko et al. (2014) untersuchten deshalb bei älteren Frauen, die Auswirkung eines sechswöchigen CST, das dreimal pro Woche durchgeführt wurde, hinsichtlich der Reduktion verschiedener Indikatoren, die auf ein erhöhtes Risiko des Stürzens hindeuten.

Schlee & Freiburger (2016) fassen zusammen, dass jährlich alleine in Deutschland ca. 4 – 5 Millionen Senioren stürzen. Dabei stürzt zirka ein Drittel der über 65-Jährigen selbstständig lebenden Menschen einmal pro Jahr, bei den über 80-Jährigen steigt der Anteil auf über 50%. Ein großer Anteil der Patienten stürzt sogar mehrfach. Bei institutionalisierten Patienten ist die Anzahl der Patienten, die stürzen, noch höher.

Die Ergebnisse der Studie deuten darauf hin, dass die Stabilität des Rumpfes durch das CST gesichert und der Pendelbereich des Massenschwerpunkts verringert wurde. Durch die somit erreichte harmonische Bewegung der Gliedmaßen, die auf körperlicher Stabilität beruht, konnten die Probanden Hindernisse präzise und leicht überwinden, hatten ein höheres

Selbstwertgefühl und hatten weniger Angst vor Stürzen und somit auch weniger Depressionen. Der verringerte Knieflexionswinkel bezog sich bei der Studie auf die Überquerung eines Hindernisses und hat somit keine Auswirkung auf die Belastung der Bänder des Knies. Dieser stellte in Verbindung mit der reduzierten maximalen Fersenfreiheit, einen Indikatoren für eine sichere Überquerung eines Hindernisses dar. Somit stellte sich ein CST bezüglich der Prävention von Stürzen und folglich der Prävention der durch Stürze verursachten Verletzungen, bei älteren Frauen als wirksam heraus. Da auch diese Interventionsstudie mit nur insgesamt 20 Probandinnen eine sehr kleine Gruppe untersuchte, können auch hier, trotz der Bewertung „good“ nach NOS, keine Verallgemeinerungen getroffen werden.

Damit bestätigen die Studien, die durch ein CST eine Veränderung der Biomechanik der unteren Extremitäten erzielten, die Wirksamkeit der Intervention im Hinblick auf die Verletzungsprävention der unteren Extremitäten, insbesondere des vorderen Kreuzbandes, sowie der durch Stürze verursachten Verletzungen.

Die im Anschluss analysierten Studien beschäftigten sich mit dem direkten Zusammenhang zwischen einem CST und der Verletzungsprävention, durch den Vergleich der Anzahl der Verletzungen der unteren Extremitäten an den ProbandInnen in Sportsportarten.

Die hier zuerst dargestellte Studie, stellt dabei die Einzige dar, die zusätzlich vor, während und nach der Intervention durch ein bildgebendes Verfahren, die Wirksamkeit des Trainings, überprüfte. Somit konnte die Studie von Hides & Stanton (2014) einen direkten Zusammenhang zwischen der Muskelgröße bestimmter Core Muskeln und der Verletzungsanfälligkeit von Spielern im Football offenlegen. Im Detail, können durch die Feststellung der lumbopelvischen Muskelgrößen bereits vor der Saison Spieler mit einer erhöhten Verletzungswahrscheinlichkeit identifiziert werden. Durch ein Hypertrophytraining des M. Multifidus und des quadratischen Lendenmuskels und der daraus resultierenden trainingsbedingten Vergrößerung dieser Muskeln, kann weiters die Verletzungsanfälligkeit effektiv gemindert werden. Damit offenbart sich ein CST, mit Fokus auf die im Kapitel 3.2 als lokale Stabilisatoren/primären Stabilisatoren beschriebenen Muskeln, als effektive Maßnahme zur Verletzungsprävention. Da sich die Qualität der Studie als gut erwies, wird auch hier die Aussagekraft lediglich durch die untersuchte Population eingeschränkt.

Die von Krist et al. (2013) durch das Aufwärmprogramm „The 11“ festgestellte Kostenreduktion bei Amateur Fußballspieler im Alter zwischen 18-40 Jahre, zeigt zwar von der Effektivität der Intervention, jedoch gab es keine Reduktion hinsichtlich der absoluten Anzahl an Verletzungen. Die erreichte Kostenreduktion wird auf die deutlich reduzierte Anzahl an Knieverletzungen zurückgeführt. Denn diese sind aufgrund einer langwierigeren Rehabilitation, vermehrt mit erheblichen Kosten verbunden. Obwohl die Studie nach NOS mit gut bewertet wurde und auch die Größe der gewählten Population durchaus Aussagen über die immerhin weltweit größte Kohorte an Fußballspielern zulassen würde, ist die Aussagekraft der Studie, hinsichtlich der Verletzungsprävention durch ein CST deutlich eingeschränkt. Denn es lässt sich nicht feststellen, welchen Anteil das CST an der Reduktion der Knieverletzungen hat, da die Intervention neben einem CST auch andere Trainingsformen beinhaltete. Selbiges gilt auch für die von Van Beijsterveldt et al. (2012) durchgeführte Studie, die ebenfalls als gut bewertet wurde und eine hohe Anzahl an Teilnehmer aufweist, da diese Studie ebenfalls das Aufwärmprogramm „The 11“ einsetzte. Insgesamt wurden hier 427 Verletzungen registriert, die 274 der 456 Spieler (60,1%) erlitten haben. Die am häufigsten verletzten Körperteile (n = 408) waren das Sprunggelenk (19,1%), der hintere Oberschenkel (15,9%), das Knie (15,7%), der vordere Oberschenkel (10,5%) und die Leiste (10,5%).

Da die bereits zuvor analysierten Studien vermehrt eine präventive Wirkung bei ACL-Verletzungen durch ein CST festgestellt haben und mit 15,7% an Knieverletzungen hier nur wenige Verletzungen festgestellt werden konnten, könnte die Wirksamkeit des CST in der untersuchten Kohorte möglicherweise nur auf Knieverletzungen zutreffen. Die Übungen des Interventionsprogrammes zielen zwar auf die Verbesserung der Stabilität des Core's und der neuromuskulären Kontrolle ab. Mit insgesamt fünf Übungen wird jedoch ein deutlicher Schwerpunkt auf die Verbesserung des Gleichgewichts und der Knieausrichtung gesetzt. Hinzu kommt, dass die generelle Effektivität der Intervention nicht überprüft wurde und somit die Möglichkeit besteht, dass die Intensität des Trainings nicht ausreichend war, um einen präventiven Effekt hinsichtlich der Reduktion der absoluten Anzahl an Verletzungen zu erzielen. Das Alter und Geschlecht der TeilnehmerInnen können zusätzlich einen limitierenden Faktor, hinsichtlich der Wirksamkeit der Intervention darstellen, denn jüngere SpielerInnen haben ihre grundlegenden Bewegungsmuster noch nicht festgelegt und somit besteht, wie bereits zuvor erwähnt, bei jungen AthletInnen eine gesteigerte Adaptationsfähigkeit. Da weibliche Spieler, im Vergleich zu männlichen Spielern ein zwei bis

drei Mal höheres Verletzungsrisiko des vorderen Kreuzbandes aufweisen, kann zudem ein präventiver Effekt bei Fußballerinnen stärker sein als bei männlichen Fußballern (vgl. Van Beijsterveldt et al., 2012). Durch das Fehlen an zusätzlichen Tests, kann weiters auch keine Ursache-Wirkungs Beziehung der Intervention festgestellt werden.

Die Studie von Walden et al. (2012) beschäftigt sich im Gegensatz zu den beiden zuvor analysierten Studien mit jungen Fußballspielerinnen. Hier stellte das eingesetzte CST ein effektive Intervention zur Reduktion von ACL-Verletzungen, insbesondere bei ACL-Verletzungen ohne Kontakt mit einer Gegenspielerin dar. Die Studie beschäftigte sich jedoch lediglich mit Knieverletzungen, weshalb keine Aussagen über die Reduktion anderer Verletzungen der unteren Extremitäten getroffen werden können. Zwar erhält die Studie neben der Bewertung mit fair, durch ihre Größe noch zusätzliche Stärke, dennoch wird auch hier keine Ursache-Wirkungs Beziehung der Intervention und der untersuchten Verletzungen offengelegt, da keine weiteren Tests durchgeführt wurden. Hinzu kommt, dass nicht alle sechs Übungen der Intervention, ausschließlich dem Training der CS dienen. Darum ist die Aussagekraft auch dieser Studie limitiert.

Da bei den Studien von Krist et al. (2013) und Van Beijsterveldt et al. (2012), im Gegensatz zur Studie von Hides & Stanton (2014) keine geeigneten Tests zur Überprüfung der Effektivität der Intervention durchgeführt wurden, ist nicht klar, ob die vorliegende Intervention auf Grund der gewählten Kohorte, einen geringeren Effekt auf die Reduktion von Verletzungen der unteren Extremitäten aufweist, oder lediglich die Intensität und der Umfang der Intervention nicht ausreichend war. Dennoch konnte eine Reduktion der Knieverletzungen, sowohl bei jungen Fußballspielerinnen (Walden et al., 2012), als auch bei erwachsenen Fußballspielern festgestellt werden (Krist et al., 2013; Van Beijsterveldt et al., 2012). Zudem konnte durch ein Training bestimmter Core Muskeln, eine generelle Reduktion der Verletzungen der unteren Extremitäten bei einer kleinen Anzahl an Footballspielern festgestellt werden (Hides & Stanton, 2014).

In einem letzten Schritt, gilt es die Studien von Raschner et al. (2012), Wilkerson, Giles und Seibel (2012) und Zazulak et al. (2007a) hinsichtlich der Resultate von Messungen/Tests und der verschiedener Prädiktoren (unter anderem der CS) zu analysieren, die in Beziehung zu Verletzungen der unteren Extremitäten stehen.

Die Ergebnisse von Raschner et al. (2012) zeigten, dass die Core Strength bei jungen SkirennläuferInnen, bezüglich der Verletzungsinzidenz einen entscheidenden Faktor darstellt. Auf Grund der detaillierten Daten, die durch mehrere spezifische Test über einen langen Zeitraum gewonnen wurden, konnten mehrere Indikatoren identifiziert werden, die bei verletzten Personen auffindbar waren. Wie bereits im Kapitel 4.2 beschrieben, befinden sich zur Feststellung der CS, Krafttests hinsichtlich ihrer Zuverlässigkeit der Messungen, mit Platz 3 von 5 in der Mitte (Waldhelm & Li, 2012). Dadurch, dass mehrere Krafttests zur Messung der CS verwendet wurden und die Ergebnisse der einzelnen Tests in ihrer Richtung übereinstimmen, kann dennoch von einer hohen Zuverlässigkeit der Tests gesprochen werden.

Demnach erlitten vor allem SchifahrerInnen mit einer geringen Extensions- und Flexionskraft des Core's, sowie SchifahrerInnen mit Schwächen in der Rumpf-beugung und Streckung, ACL-Verletzungen. Daher ist davon auszugehen, dass insbesondere bei jungen SchifahrerInnen, ein CST einen wesentlichen Beitrag zur Prävention von ACL-Verletzungen leistet. Die Studie konnte zwar keine Ursache-Wirkungs Mechanismen eruieren, jedoch weisen die Daten eine hohe Korrelation zwischen den eben genannten Variablen auf. Zudem ist die Studie laut NOS von guter Qualität und auch hinsichtlich der Größe der Population in der Studie, gibt es keine Einschränkungen. Limitierende Faktoren, bezüglich der Aussagekraft der Studie, stellen hier lediglich das Alter und die Profession der untersuchten SchifahrerInnen dar. Somit können keine Aussagen über den weitaus größeren Bereich des Breitensports getroffen werden.

Die Studie von Wilkerson, Giles und Seibel (2012) weist hingegen massive Mängel auf. Bei der Bewertung nach NOS, erhielt sie mit „poor“ die schlechteste Bewertung aller analysierten Studien. Weiters ist die Anzahl der Fälle zu gering, um eine endgültige Schlussfolgerung zu ziehen. Zudem konnten keine Ursache-Wirkungs-Beziehungen zwischen einzelner Faktoren und Verletzungen hergestellt werden, sondern lediglich durch die Kombination mehrerer Faktoren Aussagen getätigt werden. Die in dieser Studie verwendeten Tests zur Feststellung der CS (Back extension hold, Side-bridge hold und Trunk-flexion hold), waren allesamt Ausdauer-test, die laut Waldhelm & Li (2012) die höchste Zuverlässigkeit bei Messungen aufweisen. Dennoch wurde nur die Variable „Trunk flexion hold“ in die Analyse miteinbezogen. Da diese Variablen nur in Kombination mit anderen Faktoren, wie beispielsweise der Wall-sit hold time oder dem Oswestry Disability Index in die Analyse miteinbezogen wurde, kommt es zu einer weiteren Abschwächung der Aussagekraft,

hinsichtlich der präventiven Wirkung eines CST. Trotzdem gehen die Autoren davon aus, dass neben anderen Prädiktoren, eine suboptimale Ausdauer der Core Muskulatur, ein wichtiger modifizierbarer Risikofaktor für Footballverletzungen zu sein scheint, der durch eine Voruntersuchung identifiziert werden könnte. Diese Verletzungsprädiktoren, könnten in weiterer Folge durch ein spezifisches Training, als Strategie zur Prävention von Verletzungen der unteren Extremitäten bei Collegefußballspielern, minimiert werden.

Da bereits zwei Jahre später, durch die Studie von Hides & Stanton (2014) die präventive Wirkung eines CST, bei einer sehr ähnlichen Kohorte festgestellt wurde (ebenfalls im Football, selbes Alter der ebenfalls männlichen Spieler), konnte die Annahme mittlerweile bestätigt werden.

Zazulak et al. (2007a) liefern mit ihrer prospektiven Studie einen Beweis für die präventive Wirkung einer erhöhten CS, bei Knieverletzungen. Dies konnte bei der Testung der Verlagerung und seitlichen Verschiebung des Rumpfes nach einer plötzlichen Kraftfreisetzung festgestellt werden. Diese Testung wurde in einer speziell entwickelten Apparatur durchgeführt, weshalb die Zuverlässigkeit dieses Tests nicht einem der im Kapitel 4.2 bearbeiteten Tests zugeordnet und daher auch nicht bestimmt werden kann. Durch verschiedene Voruntersuchungen gab es jedoch genügend Referenzwerte zur Bestimmung von Normwerten, die eine zuverlässige Bewertung der Ergebnisse garantierten. Faktoren, die mit der Stabilität des Core's zusammenhängen, prognostizierten zwar das Risiko von Knie-, Bänder- und ACL-Verletzungen bei Sportlern, immerhin mit einer hohen Sensitivität von 83% und einer mäßigen Spezifität von 63% ($P < .0001$), jedoch konnte bei genauerer Betrachtung, eine erhöhte Verletzungsinzidenz, beispielsweise von Bänderverletzungen bei erhöhter seitlicher Verschiebung des Rumpfes, nur bei Frauen nachgewiesen werden. Daher wird die Aussagekraft der Studie hinsichtlich des Geschlechts eingeschränkt. Weiters ist anzumerken, dass alle untersuchten ProbandInnen, zwischen 18 und 21 Jahre alt waren, was die Aussagekraft weiter einschränkt. Zusätzliche Limitationen der Studie, gibt es zum einen durch die geringe absolute Anzahl an Verletzungen in der Follow-up Periode und zum anderen durch die im Durchschnitt etwas niedrigere Bewertung nach NOS, wobei die Studie als „fair“ eingestuft wurde.

Dennoch unterstützt auch diese Studie die Prämisse, dass ein CST hinsichtlich der Verletzungsprävention, insbesondere des Knies bei Frauen, wirksam ist.

Nach der Beurteilung der Studien hinsichtlich der Parameter ProbandInnen, Intervention, Ergebnisse und Qualität (NOS) lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Die Ergebnisse der Studien von Dello et al. (2016), Krist et al. (2013), Pfile et al. (2013), Van Beijsterveldt et al. (2012) und Walden et al. (2012) verlieren deutlich an Gewicht, da bei diesen Studien eine Kombination aus Interventionen eingesetzt wurde und somit der Beitrag des CST, an den biomechanischen Adaptionen, bzw. an der Reduktion der Verletzungsinzidenz nicht gemessen werden kann.
- Die Studie von Wilkerson, Giles und Seibel (2012) weist die schlechteste Qualität (NOS) der eingeschlossenen Studien auf und konnte zudem nur in Kombination mit anderen Faktoren eine Reduktion der Verletzungen der unteren Extremitäten durch eine erhöhte CS feststellen, weshalb auch diese Studie den untersuchten Zusammenhang nicht bestätigen kann.
- Die Studien von Fatahi et al. (2018), Hides & Stanton (2014), Ko et al. (2014) und Whyte et al. (2018) bestätigen die präventive Wirkung eines CST in Bezug auf die Verletzungsinzidenz der unteren Extremitäten, jedoch beschränkt sich die Aussagekraft dieser Studien, durch die geringe Anzahl an ProbandInnen auf die jeweilige untersuchte Kohorte und lässt keine Generalisierung zu. Das CST führte zur:
 - Prävention von Knieverletzungen im Herren Profi-Basketball (Fatahi et al., 2018)
 - Prävention von ACL-Verletzungen im Herren Universitäts-Fußball (Whyte et al., 2018)
 - Reduktion der Verletzungsinzidenz im Herren Profi-Football (Hides & Stanton, 2014)
 - Reduktion der Stürze bei Frauen über 65 Jahre (Ko et al., 2014)
- Die Studien von Raschner et al. (2012) und Zazulak et al. (2007a) konnten auch bei einer größeren Anzahl an ProbandInnen die präventive Wirkung eines CST in Bezug auf die Verletzungsinzidenz der unteren Extremitäten bestätigen. Genauer zeigten die Studien:
 - eine Reduktion von Knieverletzungen bei 18- 21 jährigen College Athletinnen (Zazulak et al., 2007a)
 - eine geminderte Verletzungsinzidenz des vorderen Kreuzbandens bei 14-19 jährigen AthletInnen im alpinen Schisport (Raschner et al., 2012)

Zusammenfassend zeigt somit die Hälfte der eingeschlossenen Studien (Fatahi et al., 2018; Hides & Stanton, 2014; Ko et al., 2014; Whyte et al., 2018; Zazulak et al., 2007a; Raschner et al., 2012), dass ein negativer Zusammenhang zwischen der Core Stabilität und Verletzungen der unteren Extremitäten, insbesondere des Knies, besteht. Die übrigen Studien weisen zwar einen Zusammenhang auf, könnten jedoch durch das zusätzliche Training anderer Muskelgruppen hinsichtlich der erreichten Adaptionen verfälscht sein.

Dennoch wies der Großteil der Studien nur eine kleine Kohortengröße auf, was die Aussagekraft der Studien und generell des Reviews einschränkt.

Dabei handelt es sich meist um Studien die lediglich Messformen, oder Tests beinhalten und somit ein hohen materiellen und zeitlichen Aufwand bedeuten. Zudem haben sie den Nachteil, dass die Ergebnisse nur eine Auskunft über die möglichen Zusammenhänge geben, oder Prädiktoren bestimmen, diese aber meist nicht direkt überprüfen. Der Vorteil dieser Studien liegt in der Uniformität der Testungen. Hinsichtlich der Ergebnisse der Auswertung der soeben besprochenen Studien, ergeben sich ebenfalls einige Vorteile, gegenüber den Studien der Trainingsintervention. Der größte Unterschied liegt in der Intervention selbst. Während bei Trainingsintervention, der Aspekt des Core-Stabilität-Trainings, selten als einzelne, separate Form der Intervention aufzufinden war, wurden bei den Studien zu den einzelnen Messungen/Tests bewusst auf nur wenige spezifische Aspekte der Core-Stabilität eingegangen. Hier werden unter anderem etablierte und auch im Kapitel 4.2 als reliabel und valid eingestufte Tests zur Feststellung der Core-Stabilität durchgeführt, wie es die Studie von Wilkerson, Giles & Seibel (2012) und Raschner et al. (2012) zeigten.

Trainingsintervention stellen im Hinblick auf die Fragestellung, den direkteren und besser vergleichbaren Weg zur Darlegung des Zusammenhangs dar, denn es wird, das jeweilig für die Intervention veranlasste CST, direkt getestet und durch die Erhebung von Verletzungsdaten unmittelbar, in einen direkten Zusammenhang mit diesen gestellt. Zudem kann mithilfe von ausgewiesenen Pre- und Posttests zur Core Stabilität (siehe Kapitel 4.2) die Wirksamkeit des Trainings an sich, getestet werden. Dadurch können wiederum Abweichungen in der Durchführung der Trainingsintervention verhindert werden.

Weiters ist sowohl der materielle, als auch zeitliche Aufwand, deutlich geringer. Dadurch können größere Stichproben gewählt werden und somit die Aussagekraft der Studie verbessert werden. Ein weiterer praktischer Vorteil von Trainingsintervention stellt die Möglichkeit der

Integration in schon bestehende Trainingssettings dar, beispielsweise als neues, effektiveres Aufwärmprogramm in Sportarten, die ein erhöhtes Risiko an Verletzungen der unteren Extremitäten aufweisen. Als Beispiel sind hier die Studien von Krist et al. (2013), Van Beijsterveldt et al. (2012) und Hides & Stanton (2014) zu nennen. Wie zuvor dargestellt, beinhalten die Studien von Krist et al. (2013) und Van Beijsterveldt et al. (2012) jedoch neben dem CST auch andere Intervention, weshalb diese Studien wenig aussagekräftig sind.

Eine Kombination aus einer Trainingsintervention und Tests stellt den Idealfall dar, weil dadurch direkte Zusammenhänge, wie bei der Studie von Hides & Stanton (2014) offengelegt werden können und diese gleichzeitig überprüft werden. Das Problem stellt hier, auf Grund des erhöhten zeitlichen und finanziellen Aufwandes, die fehlende Massentauglichkeit dar. Alternativ könnten jedoch auch andere Tests zur Überprüfung der CS durchgeführt werden. Ausdauertests stellen wie im Kapitel 4.2 beschrieben, dabei die beste Variante dar, weil sie neben der hohen Zuverlässigkeit auch in kurzer Zeit und ohne Einsatz teurer Messinstrumente durchführbar sind.

Da selbst die Studien, in denen spezifische Tests durchgeführt wurden, unterschiedliche Parameter maßen, wird eine interne Vergleichbarkeit der eingeschlossenen Studie ausgeschlossen. Zudem unterschieden sich sowohl die Anzahl, das Geschlecht und Alter der ProbandInnen, als auch die Übungsauswahl und Interventionsdauer. Deshalb konnten lediglich, wie im vorherigen Abschnitt dargestellt, die Ergebnisse einzelner Studien subsumiert werden.

Die unterschiedliche Auswahl von Trainingsinterventionen ist vor allem der nicht vorhandenen einheitlichen Definition der Core-Stabilität und der großen Bandbreite an Core-Stabilitäts-Trainings geschuldet. Hinzu kommt die hohe Anzahl an unterschiedlichen Verletzungsprädiktoren, sogar bei derselben Verletzung, da immer mehrere Mechanismen und Faktoren simultan wirken.

Trotzdem, wird der Core-Stabilität und dem CST in der Literatur, oftmals ein klarer präventiver Charakter zugeschrieben. Dies geht sogar so weit, dass manche Autoren, den Effekt der Core-Stabilität über alle anderen, scheinbar außer Acht gelassenen Faktoren stellen. In diesem Review konnte zwar die Effektivität des CST hinsichtlich der Verletzungsprävention der unteren Extremitäten nachgewiesen werden. Dadurch, dass wie bereits im Kapitel 5.2 beschrieben sowohl interne, als auch externe Faktoren, das Entstehen

von Verletzungen bestimmen, kann kein Training, das CST eingeschlossen, Verletzungen per se verhindern. Dennoch können zumindest einzelne Faktoren und Mechanismen, die Verletzungen begünstigen, durch ein CST in bestimmten Kohorten minimiert werden.

Betrachtet man die Bandbreite der Aktivitäten in den Studien, so stellt man schnell fest, dass sich der Großteil der Studien, mit AthletInnen im Leistungs- und Hochleistungssport beschäftigt. Dabei entfallen neun Studien an Sportsportarten, wobei mit sechs Studien zu Fußball, ein deutlicher Schwerpunkt in diesem Sport vorhanden ist.

Nach der im Kapitel 5.2 aufgearbeiteten Verletzungsinzidenz, entstehen nach Gollhofer, Granacher, Taube, Melnyk und Gruber (2006, S. 266) in Deutschland 70% aller Sportverletzungen in Ballsportarten, obwohl dort nur ca. 30% aller sportlichen Aktivitäten angesiedelt sind. Auch Voigt und Dahlinger (2006, S. 405) stellen fest, dass gemäß ihrer Epidemiologie, Teamsportarten den Schwerpunkt der Fokussierung darstellen sollten. Hinsichtlich der Prävention bilden laut ihnen, das Sprunggelenk und Kniegelenk den Schwerpunkt, was sich ebenfalls mit den Ergebnissen und der untersuchten Kohorten der eingeschlossenen Studien deckt.

Dabei wird in den Studien vor allem die Bewegung des Abbremsens aus einer Beschleunigungsphase mit anschließender Richtungsänderung, als auch die Landung nach einem Sprung analysiert. Dies deckt sich auch mit der erhöhten Verletzungsinzidenz, die bei diesen Bewegungen auffindbar ist. Denn bei diesen Bewegungen wirken durch mehrere Ebenen Kräfte auf das Knie, die eine erhebliche Belastung, insbesondere für das vordere Kreuzband bedeuten können. (vgl. Schweck, 2017)

Betrachtet man ACL-Verletzung in den Sportsportarten, so zeigte sich, dass ungefähr zwei Drittel dieser Verletzungen ohne gegnerischen Kontakt entstehen und folglich auf mangelnde körperliche Voraussetzungen (intrinsische Faktoren) zurückzuführen sind. Deshalb eignet sich die Prävention von Verletzungen des vorderen Kreuzbandes durch ein CST besonders gut. Zusätzlich stellt die Reduktion von ACL-Verletzungen auf Grund der oft weitreichenden Folgen einer solchen Verletzung, einen wichtigen Aspekt im Leistungssports dar. Denn Verletzungen des vorderen Kreuzbandes stellen laut Alt & Brand (2006, S. 271) eine der häufigsten Ursachen für langfristige Trainings- und Wettkampfausfälle bzw. sogar für ein frühzeitiges Ende der leistungssportlichen Karriere, dar.

Somit wird neben der Relevanz eines Interventionsprogrammes hinsichtlich der Knie- und ACL- Verletzungen im Sportsport, durch immerhin vier der sechs Studien, auch die Wirksamkeit eines CST hinsichtlich der Prävention der soeben genannten Verletzungen bestätigt. (Fatahi et al., 2018; Raschner et al., 2012; Whyte et al., 2018; Zazulak et al., 2007a).

Weiters bestätigt die Studie von Hides & Stanton (2014) die Reduktion von Verletzungen der unteren Extremitäten im Herren Profi-Fußball.

Da bereits im Kapitel 5.2 die deutlich höhere Verletzungsinzidenz und somit auch Relevanz der Verletzungen der unteren Extremitäten, im Vergleich zu Verletzungen der oberen Extremitäten, bestätigt wurde (Hootman, Dick & Agel, 2007; McIlvain, Giangarra & Binkley, 2011; Steinbrück, 1999; Voigt und Dahlinger, 2006), stellt eine Reduktion dieser Verletzungen eine weitere wirksame Intervention dar.

Zudem konnte die Studie von Ko et al. (2014), in einem gänzlich anderem Setting, die Effektivität eines CST hinsichtlich der Prävention von Stürzen nachweisen. Wie zuvor dargestellt, handelt es sich auch hier um ein häufig auftretendes Ereignis, das oft zu weitreichenden Verletzungen führt. Vor allem Knochenbrüche im Bereich der Hüfte und des Oberschenkelhals, führen oft zu einer Immobilität älterer Personen, die eine Abwärtsspirale hinsichtlich der körperlichen Kondition mit sich bringt, weshalb präventive Maßnahmen auch in diesem Bereich sehr wichtig sind.

Abschließend kann der Zusammenhang zwischen Trainingsinterventionen zur Verbesserung der Core-Stabilität und der Prävention von Verletzungen der unteren Extremitäten bestätigt werden. Demnach erhöht eine geringe Core Stabilität die Verletzungsinzidenz der unteren Extremitäten, insbesondere des Knies. Vice versa reduziert ein gezieltes Core-Stabilitäts-Training die Verletzungsinzidenz der unteren Extremitäten.

Trotz der überwiegend als „gut“ bewerteten Studien nach der Newcastle-Ottawa Skala, kommt es zu einigen Limitationen der systematischen Übersichtsarbeit, die im Anschluss dargestellt werden.

7.4 Limitationen der Studien

Die Aussagekraft der in der systematischen Übersichtsarbeit analysierten Studien, wird großteils auf Grund der untersuchten ProbandInnen limitiert. Dabei sind vor allem die gewählten Größen der Population, bei 7 der 12 Studien, mit 20-83 TeilnehmerInnen sehr klein. Zudem handelt es sich bei den eingeschlossenen Studien zum Großteil um Kohortenstudien, und nur zu einem kleinen Teil um cluster randomisierte kontrollierte Studien, die einen höheren Evidenzgrad zulassen würden.

Hinzu kommt, dass vorwiegend Kohorten des Leistungs- und Spitzensports analysiert werden, die wiederum großteils dem Sportsport (9/12) angehören.

Weiters ist die generelle Vergleichbarkeit der ohnehin schon geringen Anzahl an Studien, auf Grund von unterschiedlichen Populationsgruppen, Settings und Interventionen, oftmals nicht gegeben. Zusätzlich beinhalten 5 der 12 Studien neben Interventionen zur Verbesserung der CS, auch andere Interventionen, weshalb diese Studien den zwar hier ebenfalls ausgewiesenen und auch gleichgerichteten Zusammenhang, nicht eindeutig bestätigen können.

Eine Gegenüberstellung der Artikel ist somit nur bedingt möglich. Abschließend stellt der teilweise beschränkte Zugang zu bereits vorhandener Literatur, in den verschiedenen online Datenbanken und Web-Journals eine weitere Limitation, dar. Genauer ist der Zugang zu Literatur dadurch limitiert, dass einzelne Volltexte nur käuflich erwerbbar sind.

8 Ausblick

Nach dem aktuellen Stand der Wissenschaft, ist zwar ein Zusammenhang zwischen der Ausprägung der Core-Stabilität und der Prävention von Verletzungen der unteren Extremitäten feststellbar. Auf Grund der geringen Anzahl an Studien und vor allem der geringen Populationsgrößen innerhalb der Studien, stellt sich die Forderung nach weiteren und umfassenderen Studien. Denn momentan ist die vorhandene Auswahl an Studien nicht ausreichend, um einen hohen Evidenz zu erreichen.

Zukünftig wird vor allem eine explizite Beforschung des CST notwendig sein, um die theoretischen Annahmen der hier analysierten Studien, hinreichend zu überprüfen. Dabei ist das Augenmerk, insbesondere auf die explizite Betrachtung des CST, unter Ausschluss anderer zusätzlich durchgeführter praktischer Trainingsinterventionen zu legen. Zudem gilt es neben den hauptsächlich analysierten ProbandInnen aus dem Bereich des Fußballs, auch

andere Populationen mit einzubeziehen.

Denn die mittlerweile ausführlich getestete Wirksamkeit der präventiven Aufwärm- und Trainingsprogramme im Fußball (Dello et al., 2016; Krist et al., 2013; Pfile et al., 2013; Van Beijsterveldt et al. 2012; Walden et al., 2012; Whyte et al., 2018), stellt in der hier präsentierten systematischen Übersichtsarbeit, die Hälfte der 12 analysierten Primärstudien dar.

In weiterer Folge gilt es den in den Studien von Raschner et al. (2012) und Zazulak et al. (2007a) dargestellten Unterschied in der Auswirkung von CST zwischen den Geschlechtern in einer Vergleichsstudie zu klären.

Da bislang sowohl bei Erwachsenen als auch bei Jugendlichen die Wirksamkeit eines CST hinsichtlich der Prävention von Verletzungen der unteren Extremitäten nachgewiesen wurde, gilt es in einem nächsten Schritt die Effektivität der Interventionen zwischen den Altersgruppen zu vergleichen.

Momentan werden bereits auch in anderen Sportarten, ähnliche Programme zur Verletzungsprävention der unteren Extremitäten, im Zuge eines adaptierten Aufwärmprogramms entwickelt und implementiert. 2017 wurde beispielsweise ein Aufwärmprogramm zur Reduktion von Verletzungen, im Volleyball entwickelt (VolleyVeilig). Weiters wurde erst kürzlich im Feldhockey (2018) ein Aufwärmprogramm entwickelt (Warming-Up Hockey), dass zu einer Reduktion von Verletzungen der unteren Extremitäten führen sollte. Bis dato fehlen aber noch weitere Studien zur Feststellung der Wirksamkeit dieser Aufwärmprogramme.

Die hier angesprochene Bestimmung der Wirksamkeit von Trainingsintervention stellt die abschließende Forderung in Hinblick auf zukünftige Studien dar. Dabei gilt es entweder ein entwickeltes CST vorab hinsichtlich des Trainingseffekts zu testen, oder idealerweise bei Interventionsstudien begleitende zumindest Prä- und Post-Tests der CS durchzuführen.

Da immer mehrere Faktoren und Mechanismen zur Entstehung von Verletzungen beitragen, sollten in Zukunft auch bestätigt, wirksame Interventionen miteinander kombiniert werden, um einen größtmöglichen Effekt hinsichtlich der Prävention von Verletzungen zu erzielen.

Literaturverzeichnis

- Abdelraouf, O. R. & Abdel-aziem, A. A. (2016). The relationship between core endurance and back dysfunction in collegiate male athletes with and without nonspecific low back pain. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 11 (3), 337–344.
- Akuthota, V. & Nadler, S. F. (2004). Core strengthening. *Archives of Physical Medicine Rehabilitation*, 85 (3), 86-92. doi:10.1053/j.apmr.2003.12.005
- Allen, S., Dudley, G. A., Iosia, M., Stanforth, D. & Steuerwald, B. (2002). Core strength training. *Sports Science Exchange Roundtable*, 47 (13). Zugriff am 24. September 2018 unter https://ihsaa-static.s3.amazonaws.com/resource_center/Sports_Medicine_Wellness/Performance/GSSI-Core_Strength_Training.pdf
- Alt, W. & Brand, S. (2006). Training zur Prophylaxe von Verletzungen der unteren Extremität. In P. Platen (Hrsg.), *Sicherheit im Sport*, „Ein Leben mit Sport – aber sicher“ (Beiträge zum 4. Dreiländerkongress zur Sportunfallprävention 21. - 23. September 2006 in Bochum, 1. Aufl., S. 271-278). Köln: SPORTVERLAG Strauß.
- Arokoski, J. P., Valta, P., Airaksinen, O. & Kankaanpää, M. (2001). Back and abdominal muscle function during stabilization exercises. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 82 (8), 1089-1098. <https://doi.org/10.1053/apmr.2001.23819>
- Barbado, D., Barbado, L. C., Elvira, J. L. L., van Dieën, J. H. & Vera-Garcia, F. J. (2016). Sports-related testing protocols are required to reveal trunk stability adaptations in high-level athletes. *Gait & Posture*, 49, 90-96. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.06.027>
- Behm, D.G., Drinkwater, E. J., Willardson, J. M. & Cowley, P. M. (2010). The use of instability to train the core musculature. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 35 (1), 91-108. <https://doi.org/10.1139/H09-127>
- Behm, D.G., Drinkwater, E. J., Willardson, J. M. & Cowley, P. M. (2011). The Role of Instability Rehabilitative Resistance Training for the Core Musculature. *Strength and Conditioning Journal*, 33 (3), 72-8. doi:10.1519/SSC.0b013e318213af91
- Bergmark, A. (1989). Stability of the lumbar spine. A study in mechanical engineering. *Acta Orthopaedica Scandinavia Supplementum*. 230 (60). 1-54.

- Bliss, L. S. & Teeple, P. (2005). Core stability: the centerpieces of any training program. *Current Sports Medicine Reports*, 4, 179-183.
- Borghuis, J., Hof, A. L. & Lemmink, K. A. (2008). The Importance of Sensory-Motor Control in Providing Core Stability: Implications for Measurement and Training. *Sports Medicine*, 38 (11), 893-916.
- Boyle, M. (2010). *Functional training. Das Erfolgsprogramm der Spitzensportler*. München: Riva.
- Calatayud, J., Borreani, S., Martin, M., Martin, F., Flandez, J. & Colado, J. C. (2015). Core muscle activity in a series of balance exercises with different stability conditions. *Gait & Posture*, 42, 186–192.
- Calatayud, J., Casaña, J., Martín, F., Jakobsen, M. D., Colado, J. C., Gargallo, P., Juesas, A., Muñoz, V. & Andersen, L. L. (2017). Trunk muscle activity during different variations of the supine plank exercise. *Musculoskeletal Science and Practice*, 28, 54-58. <https://doi.org/10.1016/j.msksp.2017.01.011>
- Cholewicki, J., Juluru, K. & McGill, S. M. (1999). Intra-abdominal pressure mechanism for stabilizing the lumbar spine. *Journal of Biomechanics*, 32 (1), 13-7.
- Chuter, V. H. & Janse de Jonge, X. A. K. (2012). Proximal and distal contributions to lower extremity injury: A review of the literature. *Gait & Posture*, 36 (1), 7-15.
- Comerford, M. J. & Mottram, S. L. (2001). Functional stability. Retraining: Principles and Strategies for Managing Mechanical Dysfunctions. *Manual Therapy*. 6 (1), 3-14. <https://doi.org/10.1054/math.2000.0389>.
- Daum, M. (2018). *Die Auswirkungen von Reisen in unterschiedliche Zeitzone auf die sportliche Leistung und Leistungsfähigkeit im Hochleistungssport*. Diplomarbeit, Universität Wien, Wien.
- De Blaiser, C., Roosen, P., Willems, T., Danneels, L., Vanden Bossche, L. & De Ridder, R. (2018). Is core stability a risk factor for lower extremity injuries in an athletic population? A systematic review. *Physical Therapy in Sport*, 30, 48-56. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2017.08.076>
- Ellsworth, A. (2012). *Core Training Anatomie. Der Ratgeber für anatomisch richtiges Core Training*. München: Stiebner Verlag.

- Faries, M. D. & Greenwood, M. (2007). Core training: stabilizing the confusion. *Strength and Conditioning Journal*, 29 (2), 10-25.
- Fort-Vanmeerhaeghe, A., Romero-Rodriguez, D., Lloyd, R. S., Kushner, A. & Myer, G. D. (2016). Integrative Neuromuscular Training in Youth Athletes. Part II: Strategies to Prevent Injuries and Improve Performance. *Strength and Conditioning Journal*, 38 (4), 9-27. doi:10.1519/SSC.0000000000000234
- García-Vaquero, M. P., Moreside, J. M., Brontons-Gil, E., Peco-González, N. & Vera-Garcia, F. J. (2012). Trunk muscle activation during stabilization exercises with single and double leg support. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 22 (3), 398-406. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2012.02.017>
- Gollhofer, A. (2006). Sensomotorisches Training: Ein Powertraining für unsere Muskeln, oder nur Verletzungsprophylaxe? - neuere Erkenntnisse für jung und alt. In P. Platen (Hrsg.), Sicherheit im Sport, „Ein Leben mit Sport – aber sicher“ (Beiträge zum 4. Dreiländerkongress zur Sportunfallprävention 21. - 23. September 2006 in Bochum, 1. Aufl., S. 263-270). Köln: SPORTVERLAG Strauß.
- Gollhofer, A., Granacher, U., Taube, W., Melnyk, M. & Gruber, M. (2006). Bewegungskontrolle und Verletzungsprophylaxe. Motor control and injury prevention. *Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin*, 57 (11/12). 266-270.
- Gottlob, A. (2006). *Differenziertes Krafttraining mit Schwerpunkt Wirbelsäule* (2. Aufl.). München: Urban & Fischer.
- Goudzwaard, A. P., Hoek van Dijke, G., Van Gorp, M., Mulder, P., Snijders, C. & Stoeckart, R. (2004). Beitrag der Beckenbodenmuskulatur zur Stabilität des Beckenrings. *Fachwissen Funktionelle Anatomie, Manuelletherapie*, 9 (2), 75-81. DOI: 10.1055/s-2005-858173
- Henke, T., Schulz, D. & Platen, P. (2006). Verletzungen im Profifußball – Epidemiologie und Aspekte der Prävention. In P. Platen (Hrsg.), Sicherheit im Sport, „Ein Leben mit Sport – aber sicher“ (Beiträge zum 4. Dreiländerkongress zur Sportunfallprävention 21. - 23. September 2006 in Bochum, 1. Aufl., S. 249-262). Köln: SPORTVERLAG Strauß.
- Hewett, T. E., Myer, G. D., & Ford K. R. (2005). Reducing knee and anterior cruciate ligament injuries among female athletes: A systematic review of neuromuscular training. *J Knee Surg*, 18, 82–88.

- Hibbs, A. E., Thompson, K. G., French, D., Wrigley, A. & Spears, I. (2008). Optimizing performance by improving core stability and core strength. *Sports Med* 38, 996–1008. DOI: 10.2165/00007256-200838120-00004
- Hodges, P. W. & Richardson, C. A. (1996). Inefficient muscular stabilization of the lumbar spine associated with low back pain. A motor control evaluation of transversus abdominis. *Spine (Phila Pa 1976)*, 21 (22), 2640-2650.
- Huxel Bliven, K. C. & Anderson, B. E. (2013). Core Stability Training for Injury Prevention. *Sports Health*, 5, 514-522.
- Jakubek, M. D. (2007). Stability balls: reviewing the literature regarding their use and effectiveness. *Strength and Conditioning Journal*, 29 (5), 58-63.
- Juan, S. C., McGill, S., M. & Brown, L. E. (2015). Anterior and Posterior Serape: The Rotational Core. *Strength and Conditioning Journal*, 37 (5), 8-13. doi:10.1519/SSC.0000000000000162
- Juker, D., McGill, S., Kropf, P. & Steffen, T. (1998). Quantitative intramuscular myoelectric activity of lumbar portions of psoas and the abdominal wall during a wide variety of tasks. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 30, 301-310.
- Key, J. (2013). 'The Core': Understanding it, and retraining its dysfunction. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 17 (4), 541-559.
- Kibler, W. B., Press, J. & Sciascia, A. (2006). The Role of Core Stability in Athletic Function. *Sports Medicine*, 36 (3), 189-198.
- Kinzey, S. J. & Armstrong, C. W. (1998). The reliability of the starexcursion test in assessing dynamic balance. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 27 (5), 356-360.
- Klein, C., Luig, P. & Henke, T. (2013). *Entwicklung und Evaluierung von Ausbildungsmodulen Verletzungsprävention für die Trainerausbildung in den Profiteamsportarten Fußball, Handball und Eishockey*. Bochum: Ruhr-Universität, Lehrstuhl für Sportmedizin.
- Koller, B. (2011). *Mythos Core Training: Definition, Effekte und Messbarkeit*. Wien: Universität Wien, Zentrum für Sportwissenschaft und Universitätssport.

- Lederman, E. (2010). The myth of core stability. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 14 (1), 84-98.
- Leetun, D. T., Ireland, M. L., Wilson, J. D., Ballantyne, B. T. & Davis, I. M.. (2004). Core stability measures as risk factors for lower extremity injuries in athletes. *Med Sci Sports Exerc*, 36, 926–934.
- Liemohn, W. P., Baumgartner, T. A., Fordham, S. R. & Srivatsan, A. (2010). Quantifying core stability: a technical report. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24 (2), 575-579.
- Liemohn, W. P., Baumgartner, T. A. & Gagnon, L. H. (2005). Measuring core stability. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19 (3), 583-586.
- Maaswinkel, E., Griffioen, M., Perez, R. S. G. M. & Van Dieën, J. H. (2016). Methods for assessment of trunk stabilization, a systematic review. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 26, 18-35. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2015.12.010>
- Marti, B. (2006). Sportpolitische Bedeutung der Sportunfallprävention: Schweizer Perspektiven. In P. Platen (Hrsg.), Sicherheit im Sport, „Ein Leben mit Sport – aber sicher“ (Beiträge zum 4. Dreiländerkongress zur Sportunfallprävention 21. - 23. September 2006 in Bochum, 1. Aufl., S. 25-30). Köln: SPORTVERLAG Strauß.
- McGill, S. M., Childs, A. & Lieberman, C. (1999). Endurance times for low back stabilization exercises: clinical targets for testing and training from a normal database. *Arch. Phys. Med. Rehabil*, 80, 941–944.
- McGill, S. M. (2009, June 17,). Quoted In: Reynolds G. “Is Your Ab Workout Hurting You Back?”. *New York Times*.
- McGill, S. M. (2010). Core training: evidence translating to better performance and injury prevention. *Strength and Conditioning Journal*, 32 (3), 33-46.
- McGill, S. M. & Cholewicki, J. (2001). Biomechanical Basis for Stability: An Explanation to Enhance Clinical- Utility. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy* 31 (2), 96-100.
- McNeill, W. (2010). Core stability is a subset of motor control. *Journal of Bodywork and Movement Therapies* 14 (1), 80-83. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2009.10.001>

- Miyake, Y., Kobayashi, R., Kelepecz, D. & Nakajima, M. (2013). Core exercises elevate trunk stability to facilitate skilled motor behavior of the upper extremities. *Journal of bodywork & Movement Therapies*, 17 (2), 259-265. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2012.06.003>
- Mok, N. W., Yeung, E. W., Cho, J. C., Hui, S. C., Liu, K. C. & Pang, C. H. (2015). Core muscle activity during suspension exercises. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 18 (2), 189–194. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.01.002>
- Myers, T. W. (2009). The spiral line. In: *Anatomy Trains: Myofascial Meridians for Manual and Movement Therapists*, 2, (S. 131–147.). London: Elsevier
- Nadler, S. F., Malanga, G.A., Deprince, M., Stitik, T. P. & Feinberg, J. H. (2000). The relationship between lower extremity injury, low back pain, and hip muscle strength in male and female collegiate athletes. *Clin. J. Sports Med*, 10, 89–97.
- Nelson, N. (2012). Diaphragmatic Breathing: The Foundation of Core Stability. *Strength and Conditioning Journal*, 34 (5), 34-40.
- Ng, J. & Richardson, C. (1994). EMG study of erector spinae and multifidus in two isometric back extension exercises. *Australian Journal of Physiotherapy*, 40 (2), 115-121.
- O'Connor, S., McCaffrey, N., Whyte, E. & Moran, K. (2016). The development and reliability of a simple field based screening tool to assess core stability in athletes. *Physical Therapy in Sport*, 20, 40-44. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2015.12.003>
- Oliver, G. D., Dwelly, P. M., Sarantis, N. D., Helmer, R. A. & Bonacci, J. A. (2010). Muscle activation of different core exercises. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24 (11), 3069-3074. doi:10.1519/JSC.0b013e3181d321da
- Panjabi, M. M. (1992). The Stabilizing System of the Spine. Part I. Function, Dysfunction, Adaptation, and Enhancement. *Journal of Spinal Disorders & Techniques*, 5 (4), 385.
- Pappert, G. (2010). *Core-Training für einen gesunden Rücken*. 2. überarb. Aufl. Urban & Fischer in Elsevier. München.
- Papst, O. (2010). *Prävalenz und Prävention von Verletzungen der unteren Extremität im Profifußball*. Dissertation, Universität Regensburg, Medizinische Fakultät, Regensburg.

- Parkhouse, K. L. & Ball, N. (2011). Influence of dynamic versus static core exercises on performance in field based fitness tests. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 15 (4), 517-524. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2010.12.001>
- Paterno, M. V., Schmitt, L. C., Ford K. R., Rauh, M. J., Myer, G. D., Huang, B. & Hewett, T. E. (2010). Biomechanical measures during landing and postural stability predict second anterior cruciate ligament injury after anterior cruciate ligament reconstruction and return to sport. *Am J Sports Med*, 38 (10), 1968–1978.
- Petersen, W., Diermeier, T., Mehl, J., Stöhr, A., Ellermann, A., Müller, P., Höher, J., Herbort, M., Akoto, R., Zantop, T., Herbst, E., Jung, T., Patt, T., Stein, T., Best, R., Stoffels, T. & Achtnich, A. (2016). Prävention von Knieverletzungen und VKB-Rupturen. *Deutscher Ärzteverlag*, 5 (10), 542-550.
- Plisky, P. J., Gorman, P. P., Butler, R. J., Kiesel, K. B., Underwood, F. B. & Elkins, B. (2009). The Reliability of an Instrumented Device for Measuring Components of the Star Excursion Balance Test. *North American Journal of Sports Physical Therapy*, 4 (2), 92-99.
- Reeves, N. P. & Cholewicki, J. (2003). Modeling the human lumbar spine for assessing spinal loads, stability, and risk of injury. *Critical Reviews in Biomedical Engineering*, 31 (1-2), 73-139.
- Reeves, N. P., Narendra, K. S. & Cholewicki, J. (2007). Spine stability: the six blind men and the elephant. *Clinical Biomechanics (Bristol, Avon)*, 22 (3), 266–274. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2006.11.011.
- Richardson, C., Jull, G., Hodges, P. & Hides, J. (1999). *Therapeutic Exercise for Spinal Segmental Stabilization in Low Back Pain: Scientific Basis and Clinical Approach*. Sydney: Churchill Livingstone.
- Schlee, S. & Freiburger E. (2016). Sturz im Alter und seine Folgen. *Der Allgemeinarzt*, 38 (6), 14-18. Zugriff am 2. Mai 2019 unter <https://www.allgemeinarzt-online.de/atemwege/a/sturz-im-alter-und-seine-folgen-1761367>
- Schweck, F. (2017). *Prävention von vorderen Kreuzbandverletzungen im Frauenfußball*. München: Grin Verlag.
- Silfies, S. P., Ebaugh, D., Pontillo, M. & Butowicz, C. M. (2015). Critical review of the impact of core stability on upper extremity athletic injury and performance. *Braz J*

Phys Ther, 19 (5), 360-8.

- Steinbrück, K. (1999). Epidemiologie von Sportverletzungen - 25-Jahres-Analyse einer sportorthopädisch-traumatologischen Ambulanz. *Sportverletzungen Sportschaden*, 13 (2), 38-52. DOI: 10.1055/s-2007-993313
- Timmer, A. & Richter B. (2008). Systematische Übersichtsarbeiten zu Fragen der Therapie und Prävention. Eine Einführung in Frage und Antwort. Teil 1 – Was ist eine systematische Übersichtsarbeit? In: *Arzneimitteltherapie*, 2008, 26 (4), 137-139.
- Tolbert, T. A., McIlvain, G. E., Giangarra, C. E. & Binkley, H. M. (2011). Injury Rates in High School and Collegiate Athletics. *Strength and Conditioning Journal*, 33 (3), 82-87. doi: 10.1519/SSC.0b013e31821e2f93
- Tong, T. K., Wu, S. & Nie, J. (2014). Sport-specific endurance plank test for evaluation of global core muscle function. *Physical Therapy in Sport*, 15 (1), 58-63. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2013.03.003>
- Voigt, H. F. & Dahlinger, M. (2006). Unfallverhütung durch präventive Trainingsmaßnahmen .In P. Platen (Hrsg.), *Sicherheit im Sport, „Ein Leben mit Sport – aber sicher“* (Beiträge zum 4. Dreiländerkongress zur Sportunfallprävention 21. - 23. September 2006 in Bochum, 1. Aufl., S. 401-410). Köln: SPORTVERLAG Strauß.
- Wallden, M. (2013a). The primal nature of core function: In rehabilitation & performance conditioning. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 17 (2), 239-248. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2013.02.006>
- Wallden, M. (2013b). Fundamentals of core conditioning. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 17 (2), 249-253. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2013.02.007>
- Waldhelm, A. & Li, L. (2012). Endurance tests are the most reliable core stability related measurements. *Journal of Sport and Health Science*, 1 (2), 121-128. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2012.07.007>
- Willardson, J. M. (2007). Core stability training: applications to sports conditioning programs. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21 (3), 979–985.
- Willson, J. D., Dougherty, C. P., Ireland, M. L. & Davis, I. M. (2005). Core stability and its relationship to lower-extremity function and injury. *J Am Acad Orthop Surg*, 13, 316-325.

- Yoo, Y. S., Jeong, W. S., Shetty, N. S., Ingham, S. J., Smolinski, P. & Fu, F. (2010). Changes in ACL length at different knee flexion angles: an in vivo biomechanical study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.*, 18 (3), 292–297.
- Zazulak, B. T., Hewett, T. E., Reeves, N. P., Goldberg, B. & Cholewicki, J. (2007). Deficits in neuromuscular control of the trunk predict knee injury risk: a prospective biomechanical-epidemiologic study. *Am J Sports Med*, 35 (7), 1123-30.
- Zeng, X., Zhang, Y., Kwong, J. S., Zhang, C., Li, S., Sun, F., Niu, Y. & Du, L. (2015). The methodological quality assessment tools for preclinical and clinical studies, systematic review and meta-analysis, and clinical practice guideline: a systematic review. *J Evid Based Med*. 8 (1), 2-10. doi: 10.1111/jebm.12141.

Internetquellen:

Peter O'Sullivan, Professor of Musculo-Skeletal Physiotherapy, Curtin University, Western Australia, was interviewed in London in 2012 ([Websource 1](#)) Zugriff am 15. Nov 2018 unter https://www.youtube.com/watch?v=YezBG_NdLgs

Bundesministerium für Gesundheit (2015). Zugriff am 15. Nov 2018 unter <https://www.bundesgesundheitsministerium.de/service/begriffe-von-a-z/p/praevention.html>

Eingeschlossene Studien

- Dello Iacono, A., Padulo, J., & Ayalon, M. (2016). Core stability training on lower limb balance strength. *Jorunal of Sports Sciences*, 34 (7), 671–678. <https://doi.org/10.1080/02640414.2015.1068437>
- Fatahi, F., Ghasemi, G., Karimi, M., & Beyranvand, R. (2018). Can eight weeks of stabilization exercise change the amount of knee flexion and anterior shear force? *Journal of Clinical and Analytical Medicine*, 9 (3), 203–208. <https://doi.org/10.4328/JCAM.5638>
- Hides, J. A., & Stanton, W. R. (2014). Can Motor Control Training Lower the Risk of Injury for Professional Football Players? *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 46 (4), 762–768. <https://doi.org/10.1249/MSS.000000000000169>

- Ko, D.-S., Jung, D.-I., & Jeong, M.-A. (2014). Analysis of Core Stability Exercise Effect on the Physical and Psychological Function of Elderly Women Vulnerable to Falls during Obstacle Negotiation. *Journal of Physical Therapy Science*, 26 (11), 1697–1700. <https://doi.org/10.1589/jpts.26.1697>
- Krist, M. R., van Beijsterveldt, A. M. C., Backx, F. J. G., & de Wit, G. A. (2013). Preventive exercises reduced injury-related costs among adult male amateur soccer players: a cluster-randomised trial. *Journal of Physiotherapy*, 59 (1), 15–23. [https://doi.org/10.1016/S1836-9553\(13\)70142-5](https://doi.org/10.1016/S1836-9553(13)70142-5)
- Pfile, K. R., Hart, J. M., Herman, D. C., Hertel, J., Kerrigan, D. C., & Ingersoll, C. D. (2013). Different Exercise Training Interventions and Drop-Landing Biomechanics in High School Female Athletes. *Journal of Athletic Training*, 48 (4), 450–462. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-48.4.06>
- Raschner, C., Platzer, H.-P., Patterson, C., Werner, I., Huber, R., & Hildebrandt, C. (2012). The relationship between ACL injuries and physical fitness in young competitive ski racers: a 10-year longitudinal study. *British Journal of Sports Medicine*, 46 (15), 1065–1071. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091050>
- Van Beijsterveldt, A. M. C., van de Port, I. G. L., Krist, M. R., Schmikli, S. L., Stubbe, J. H., Frederiks, J. E., & Backx, F. J. G. (2012). Effectiveness of an injury prevention programme for adult male amateur soccer players: a cluster-randomised controlled trial. *British Journal of Sports Medicine*, 46 (16), 1114+. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-091277>
- Walden, M., Atroshi, I., Magnusson, H., Wagner, P., & Hagglund, M. (2012). Prevention of acute knee injuries in adolescent female football players: cluster randomised controlled trial. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, 344, 3042. <https://doi.org/10.1136/bmj.e3042>
- Whyte, E. F., Richter, C., O'Connor, S., & Moran, K. A. (2018). Effects of a dynamic core stability program on the biomechanics of cutting maneuvers: A randomized controlled trial. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 28 (2), 452–462. <https://doi.org/10.1111/sms.12931>
- Wilkerson, G. B., Giles, J. L., & Seibel, D. K. (2012). Prediction of core and lower extremity strains and sprains in collegiate football players: a preliminary study. *Journal of Athletic Training*, 47 (3), 264–272. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-47.3.17>

Zazulak, B. T., Hewett, T. E., Reeves, N. P., Goldberg, B., & Cholewicki, J. (2007). Deficits in neuromuscular control of the trunk predict knee injury risk - A prospective biomechanical-epidemiologic study. *American Journal of Sports Medicine*, 35 (7), 1123–1130. <https://doi.org/10.1177/0363546507301585>

Ausgeschlossene Studien

Abt, J. P., Smoliga, J. M., Brick, M. J., Jolly, J. T., Lephart, S. M., & Fu, F. H. (2007). Relationship between cycling mechanics and core stability. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21 (4), 1300–1304. <https://doi.org/10.1519/R-21846.1>
zu wenig Informationen

Araujo, S., Cohen, D., & Hayes, L. (2015). Six Weeks of Core Stability Training Improves Landing Kinetics Among Female Capoeira Athletes: A Pilot Study. *Journal of Human Kinetics*, 45 (1), 27–37. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0004> **Pilotstudie**

Arendt, E. A. (2007). Core strengthening. *Instructional Course Lectures*, 56, 379–384.
zu wenig Informationen

Benis, R., Bonato, M., & La Torre, A. (2016). Elite Female Basketball Players' Body-Weight Neuromuscular Training and Performance on the Y-Balance Test. *JOURNAL OF ATHLETIC TRAINING*, 51 (9), 688–695. <https://doi.org/10.4085/1062-6050-51.12.03>
Irrelevant

Biabanimoghdam, M., Motealleh, A., & Cowan, S. M. (2016). Core muscle recruitment pattern during voluntary heel raises is different between patients with patellofemoral pain and healthy individuals. *Knee*, 23 (3), 382–386. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2016.01.0087> **Vollartikel nicht gefunden**

Bien, D. P. (2011). Rationale and implementation of anterior cruciate ligament injury prevention warm-up programs in female athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25 (1), 271–285. <https://doi.org/10.1519/JSC.0b013e3181fb4a5a> **Review**

Campbell, A., Kemp-Smith, K., O'Sullivan, P., & Straker, L. (2016). Abdominal Bracing Increases Ground Reaction Forces and Reduces Knee and Hip Flexion During Landing. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 46 (4), 286–292. <https://doi.org/10.2519/jospt.2016.5774> **Irrelevant**

- Carrasco-Huenulef, C., Poblete-Garrido, M., Monrroy-Uarac, M., Ramirez-Campillo, R., Moran, J., & Gajardo-Burgos, R. (2019). Effects of a neuromuscular training program on anterior cruciate ligament injury risk factors in youth female basketball players: a pilot study. *Gazzetta Medica Italiana Archivio Per Le Scienze Mediche*, 178 (3), 137–144. <https://doi.org/10.23736/S0393-3660.18.03731-2> **Pilotstudie**
- Chimera, N. J., & Kremer, K. (2016). Sportsmetrics (TM) training improves power and landing in high school rowers. *International Journal of Sports Physical Therapy*, 11 (1), 44–53. **Irrelevant**
- Chuter, V. H., & de Jonge, X. A. K. J. (2012). Proximal and distal contributions to lower extremity injury: A review of the literature. *Gait & Posture*, 36 (1), 7–15. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2012.02.001> **Review**
- Coetzee, D., Langeveld, E., & Holtzhausen, L. (2014). Training habits, training surface and injuries among south african netball players. *South African Journal for Research in Sport Physical Education and Recreation*, 36 (3), 39–49. **Irrelevant**
- De Blaiser, C., Roosen, P., Willems, T., Danneels, L., Vanden Bossche, L., & De Ridder, R. (2018). Is core stability a risk factor for lower extremity injuries in an athletic population? A systematic review. *Physical Therapy in Sport*, 30, 48–56. <https://doi.org/10.1016/j.ptsp.2017.08.076> **Review**
- Fischer, D. V. (2006). Neuromuscular training to prevent anterior cruciate ligament injury in the female athlete. *Strength and Conditioning Journal*, 28 (5), 44–54. <https://doi.org/10.1519/00126548-200610000-00008> **Irrelevant**
- Gilmer, G. G., Gascon, S. S., & Oliver, G. D. (2018). Classification of lumbopelvic-hip complex instability on kinematics amongst female team handball athletes. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21 (8), 805–810. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.12.009> **Vollartikel nicht gefunden**
- Hewett, T. E., Myer, G. D., & Ford, K. R. (2005). Reducing knee and anterior cruciate ligament injuries among female athletes: a systematic review of neuromuscular training interventions. *The Journal of Knee Surgery*, 18 (1), 82–88. **Review**
- Hutchinson, A. B., Yao, P., & Hutchinson, M. R. (2016). Single-leg balance and core motor control in children: when does the risk for ACL injury occurs? *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*, 2 (1), e000135. <https://doi.org/10.1136/bmjsem-2016-000135> **Irrelevant**

- Impellizzeri, F. M., Bizzini, M., Dvorak, J., Pellegrini, B., Schena, F., & Junge, A. (2013). Physiological and performance responses to the FIFA 11+(part 2): a randomised controlled trial on the training effects. *Journal of Sports Sciences*, 31 (13, SI), 1491–1502. <https://doi.org/10.1080/02640414.2013.802926> **Vollartikel nicht gefunden**
- Jamison, S. T., McNally, M. P., Schmitt, L. C., & Chaudhari, A. M. W. (2013). The effects of core muscle activation on dynamic trunk position and knee abduction moments: implications for ACL injury. *Journal of Biomechanics*, 46 (13), 2236–2241. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2013.06.021> **Irrelevant**
- Jamison, S. T., Mcneilan, R. J., Young, G. S., Givens, D. L., Best, T. M., & Chaudhari, A. M. W. (2012). Randomized Controlled Trial of the Effects of a Trunk Stabilization Program on Trunk Control and Knee Loading. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44 (10), 1924–1934. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31825a2f61> **Vollartikel nicht gefunden**
- Jamison, S. T., Pan, X., & Chaudhari, A. M. W. (2012). Knee moments during run-to-cut maneuvers are associated with lateral trunk positioning. *Journal of Biomechanics*, 45 (11), 1881–1885. <https://doi.org/10.1016/j.jbiomech.2012.05.031> **Vollartikel nicht gefunden**
- Khaiyat, O. A., & Norris, J. (2018). Electromyographic activity of selected trunk, core, and thigh muscles in commonly used exercises for ACL rehabilitation. *Journal of Physical Therapy Science*, 30 (4), 642–648. <https://doi.org/10.1589/jpts.30.642> **Irrelevant**
- Kolodziej, M., & Jaitner, T. (2018). Single Functional Movement Screen items as main predictors of injury risk in amateur male soccer players. *German Journal of Exercise and Sport Research*, 48 (3), 349–357. <https://doi.org/10.1007/s12662-018-0515-2> **Vollartikel nicht gefunden**
- Larsen, L. R., Kristensen, P. L., Junge, T., Moller, S. F., Juul-Kristensen, B., & Wedderkopp, N. (2016). Motor Performance as Risk Factor for Lower Extremity Injuries in Children. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48 (6), 1136–1143. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000877> **Irrelevant**
- Leao Almeida, G. P., de Moura Campos Carvalho e Silva, A. P., Renovato Franca, F. J., Magalhaes, M. O., Burke, T. N., & Marques, A. P. (2015). Does anterior knee pain severity and function relate to the frontal plane projection angle and trunk and hip strength in women with patellofemoral pain? *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 19 (3), 558–564. <https://doi.org/10.1016/j.jbmt.2015.01.004> **Vollartikel nicht gefunden**

- Lee, B. C. Y., & McGill, S. M. (2015). Effect of long-term isometric training on core/torso stiffness. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29 (6), 1515–1526. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000000740> **Irrelevant**
- Leporace, G., Pereira, G. R., Nadal, J., & Batista, L. A. (2011). Differences in time-frequency representation of lower limbs myoelectric activity during single and double leg landing in male athletes. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 21 (3), 506–511. <https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2010.12.001> **Vollartikel nicht gefunden**
- Martin-Moya, R., & Ruiz-Montero, P. J. (2017). Key aspects on physical fitness and injury prevention programs in football: A narrative review. *Journal of Sport and Health Research*, 9 (3), 311–328. **Review**
- Nessler, T., Denney, L., & Sampley, J. (2017). ACL Injury Prevention: What Does Research Tell Us? *Current Reviews in Musculoskeletal Medicine*, 10 (3), 281–288. <https://doi.org/10.1007/s12178-017-9416-5> **Review**
- Orishimo, K. F., Liederbach, M., Kremenich, I. J., Hagins, M., & Pappas, E. (2014). Comparison of landing biomechanics between male and female dancers and athletes, part 1: Influence of sex on risk of anterior cruciate ligament injury. *The American Journal of Sports Medicine*, 42 (5), 1082–1088. <https://doi.org/10.1177/0363546514523928> **Irrelevant**
- Powers, C. M. (2010). The influence of abnormal hip mechanics on knee injury: a biomechanical perspective. *The Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 40 (2), 42–51. <https://doi.org/10.2519/jospt.2010.3337> **Kommentar**
- Priyanka, P., Nilima, B., Parag, S., & Ashok, S. (2017). Effects of Lumbar Core Stability Exercise Programme on Knee Pain, Range of Motion, and Function Post Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Journal of Orthopaedics Trauma and Rehabilitation*, 23, 39–44. <https://doi.org/10.1016/j.jotr.2016.10.003> **Vollartikel nicht gefunden**
- Read, P. J., Oliver, J. L., De Ste Croix, M. B. A., Myer, G. D., & Lloyd, R. S. (2016). Neuromuscular Risk Factors for Knee and Ankle Ligament Injuries in Male Youth Soccer Players. *Sports Medicine*, 46 (8), 1059–1066. <https://doi.org/10.1007/s40279-016-0479-z> **Irrelevant**
- Rickman, A. M., Ambegaonkar, J. P., & Cortes, N. (2012). Core stability: implications for dance injuries. *Medical Problems of Performing Artists*, 27 (3), 159–164. **Review**

- Rietveld, A. B. M. (Boni). (2013). Dancers' and musicians' injuries. *Clinical Rheumatology*, 32 (4), 425–434. <https://doi.org/10.1007/s10067-013-2184-8> **Irrelevant**
- Rivera, C. E. (2016). Core and Lumbopelvic Stabilization in Runners. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 27 (1), 319+. <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2015.09.003> **Vollartikel nicht gefunden**
- Shi, D., Li, J., Zhai, H., Wang, H., Meng, H., & Wang, Y. (2012). Specialized core stability exercise: A neglected component of anterior cruciate ligament rehabilitation programs. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*, 25 (4), 291–297. <https://doi.org/10.3233/BMR-2012-0345> **Vollartikel nicht gefunden**
- Shield, A. J., & Bourne, M. N. (2018). Hamstring Injury Prevention Practices in Elite Sport: Evidence for Eccentric Strength vs. Lumbo-Pelvic Training. *Sports Medicine*, 48 (3), 513–524. <https://doi.org/10.1007/s40279-017-0819-7> **Review**
- Shirazi, Z. R., Moghaddam, M. B., & Motealleh, A. (2014). Comparative Evaluation of Core Muscle Recruitment Pattern in Response to Sudden External Perturbations in Patients With Patellofemoral Pain Syndrome and Healthy Subjects. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 95 (7), 1383–1389. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.01.025> **Irrelevant**
- Steffen, K., Bakka, H. M., Myklebust, G., & Bahr, R. (2008). Performance aspects of an injury prevention program: a ten-week intervention in adolescent female football players. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 18 (5), 596–604. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0838.2007.00708.x> **Irrelevant**
- Tsai, Y.-J., Chia, C.-C., Lee, P.-Y., Lin, L.-C., & Kuo, Y.-L. (2018). Landing Kinematics, Sports Performance and Isokinetic Strength in Adolescent Male Volleyball Athletes: Influence of Core Training. *Journal of Sport Rehabilitation*, 1–26. <https://doi.org/10.1123/jsr.2018-0015> **Vollartikel nicht gefunden**
- Vincent, H. K., & Vincent, K. R. (2018). Core and Back Rehabilitation for High-speed Rotation Sports: Highlight on Lacrosse. *Current Sports Medicine Reports*, 17 (6), 208–214. <https://doi.org/10.1249/JSR.0000000000000493> **Irrelevant**
- Weltin, E., Gollhofer, A., & Mornieux, G. (2016). Effect of gender on trunk and pelvis control during lateral movements with perturbed landing. *European Journal of Sport Science*, 16 (2), 182–189. <https://doi.org/10.1080/17461391.2014.992478> **Irrelevant**

- Willadsen, E. M., Zahn, A. B., & Durall, C. J. (2018). What Is the Most Effective Training Approach for Preventing Noncontact ACL Injuries in High School-Aged Female Athletes? *Journal of Sport Rehabilitation*, 1–5. <https://doi.org/10.1123/jsr.2017-0055> **Review**
- Williams, V. J., Nagai, T., Sell, T. C., Abt, J. P., Rowe, R. S., McGrail, M. A., & Lephart, S. M. (2016). Prediction of Dynamic Postural Stability During Single-Leg Jump Landings by Ankle and Knee Flexibility and Strength. *Journal of Sport Rehabilitation*, 25 (3), 266–272. <https://doi.org/10.1123/jsr.2015-0001> **Irrelevant**
- Willson, J., Dougherty, C., Ireland, M., & Davis, I. (2005). Core stability and its relationship to lower extremity function and injury. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 13 (5), 316–325. <https://doi.org/10.5435/00124635-200509000-00005> **Review**
- Wingfield, K. (2013). Neuromuscular training to prevent knee injuries in adolescent female soccer players. *Clinical Journal of Sport Medicine: Official Journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 23 (5), 407–408. <https://doi.org/10.1097/01.jsm.0000433153.51313.6b> **Vollartikel nicht gefunden**
- Zazulak, B., Cholewicki, J., & Reeves, N. P. (2008). Neuromuscular control of trunk stability: Clinical implications for sports injury prevention. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, 16 (9), 497–505. <https://doi.org/10.5435/00124635-200809000-00002> **Review**

Abkürzungsverzeichnis

ACL	Anteriore Crucial Ligamentum
BGM	Bundes Ministerium für Gesundheit
CJ	Countermovement Jump
COM	Center of Mass
CS	Core-Stabilität
CST	Core-Stabilitäts-Training
CV	coefficient of variation
DVJ	Drop Vertical Jump

EMG	Elektromyogramm
sEMG	Surface Electromyography
FAPT	front abdominal power test
FMS	Functional Movement Screen
HAP	Hip abduction in plan
HC	Hamstring Curl
LA	links-anterior
LE	Lower Extremities
Lig.	Ligamentum
LP	links-posterior
M.	Musculus
Mm.	Musculi
MVC	maximum voluntary contraction
NCAA	National Collegiate Athletic Association
NOS	Newcastle-Ottawa Scale
QL	Quadratus Lumborum
RA	rechts-anterior
RP	rechts-posterior
SAPT	side abdominal power test
TrA	Transversus Abdominis
VKB	Vorderes Kreuzband
ZNS	Zentrales Nervensystem
cm	Zentimeter
h/hr	Stunden
km	Kilometer
min	Minuten

mm	Millimeter
s/sek	Sekunden
yr/J	Jahr
%	Prozent

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Die Strukturierung der wichtigsten den Rumpf und die Wirbelsäule stabilisierenden Muskulatur nach Comerford 2001.....	32
Tabelle 2: Charakteristika der Muskulatur.....	32
Tabelle 3: lokale und globale Muskulatur.....	33
Tabelle 4: Sahrman Core Stability Test.....	57
Tabelle 5: Bewertung der Studien nach der Newcastle-Ottawa Scale (NOS).....	100
Tabelle 6: Zusammenfassung der eingeschlossenen Studien.....	109

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Quelle: Miyaki, Kobayashi, Kelepecz, Nakajima (2013, S. 260).....	11
Abbildung 2: Bauchwandmuskulatur, Quelle: Ellsworth (2012, S. 9).....	18
Abbildung 3: Beckenbodenmuskulatur, Quelle: Ellsworth (2012, S. 7).....	20
Abbildung 4: Rückenmuskulatur, Quelle: Ellsworth (2012, S. 8).....	22
Abbildung 5: Die Lenden-Rücken-Binde als Zeltdach, das erst dann die Wirbelsäule aktiv schützen kann, wenn die muskulären Spannleinen synchron kontrahieren nach Porterfield, DeRosa 1998, Quelle: Pappert (2010, S. 15).....	24
Abbildung 6: Phasen des Bewegungsradius`innerhalb eines Gelenks nach Panjabi 1992, Quelle: Pappert (2010, S. 8).....	27
Abbildung 7: Die Muskulatur des Rumpfes nach ihrer Funktion für die Rumpfstabilität nach Gottlob 2006, Quelle: Pappert (2010, S. 9).....	31
Abbildung 8: Vorderes Diagonal-System, Quelle: Pappert (2010, S. 10).....	36
Abbildung 9: Hinteres Diagonal-System, Quelle: Pappert (2010, S. 11).....	36
Abbildung 10: Hinteres tiefes Längssystem, Quelle: Pappert (2010, S. 11).....	36
Abbildung 11: Seitliches Diagonal-System, Quelle: Pappert (2010, S. 11).....	36
Abbildung 12: Serape nach Logan & McKinney 1970, Quelle: Santana, McGill & Brown (2015, S. 9).....	37

Abbildung 13: Anterior Serape, Quelle: Santana, McGill & Brown (2015, S. 11).....	37
Abbildung 14: Posterior Serape, Quelle: Santana, McGill & Brown (2015, S. 12).....	37
Abbildung 15: Increasing the stiffness of the cables (muscles) increases the ability to support larger applied loads (P) without falling. Quelle: McGill & Cholewicki (2001, S. 98).....	43
Abbildung 16: Side Bridge Test (links) nach McGill et al. 1999, Quelle: Leetun et al. (2004, S. 929).....	53
Abbildung 18: Core Endurance tests of McGill. 1A. Flexor endurance test, 1B. Left side plank, 1C. Right side plank, 1D. Extensor endurance test, note therapist stabilization of the lower body, Quelle: Abdelraouf & Abdel-aziem (2016, S. 340).....	55
Abbildung 17: Modified Beiring-Sorensen Test, Quelle: Leetun et al. (2004, S. 929).....	56
Abbildung 19: Alternative trunk stability push up test, Quelle: O'Connor et al. (2016, S. 42).....	59
Abbildung 20: Sport-specific endurance plank test, Quelle: Tong, Wu & Nie (2014, S. 59).....	62
Abbildung 21: Prototype by Lafayette Instrument, Quelle: Liehmohn et al. (2010, S. 576)....	63
Abbildung 22: Layout Star Excursion Test, Quelle: Kinzey & Armstrong (1998,S. 357).....	67
Abbildung 23: Posterolateral reach using the Y Balance Test Kit™, Quelle: Plisky et al. (2009, S. 96).....	69
Abbildung 24: TRX Hip Abduction in Plank, Quelle: Mok et al. (2015, S. 191).....	77
Abbildung 25: TRX Hamstring Curl, Quelle: Mok et al. (2015, S. 191).....	77
Abbildung 26: Examples of core dynamic stability exercise progression in youth starting with basic consciousness activation exercises (A: Transversus abdominis isolation activation, B: Bird dog, C: Hip abductors activation) and progress through stability and muscle endurance (D, E: Frontal and lateral planks on stable and unstable surfaces, F: Romanian chair on fitball), reactivity (G–I) and functional exercises (J–L: Strength and power exercises emphasizing rotations, accelerations, and decelerations). Quelle: Fort-Vanmeerhaeghe et al., (2016, S. 15).....	79
Abbildung 27: Female basketball player working core dynamic stabilization while passing 2 balls on a fitball (A) or fighting on a BOSU (B). Decrease base of support to achieve more specific stimulation of core muscles by eliminating the balance action of ankle joints and their periarticular muscles. Quelle: Fort-Vanmeerhaeghe et al., (2016, S. 16).....	81
Abbildung 28: Strategie für die evidenzbasierte Erforschung der Sportverletzungen, Quelle: Gollhofer (2006, S. 265).....	88
Abbildung 29: Flussdiagramm der ein- und ausgeschlossenen Studien.....	93

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.

Wien, am 05.05.2019

Unterschrift

NEWCASTLE - OTTAWA QUALITY ASSESSMENT SCALE COHORT STUDIES

Note: A study can be awarded a maximum of one star for each numbered item within the Selection and Outcome categories. A maximum of two stars can be given for Comparability

Selection

- 1) Representativeness of the exposed cohort
 - a) truly representative of the average _____ (describe) in the community ✱
 - b) somewhat representative of the average _____ in the community ✱
 - c) selected group of users eg nurses, volunteers
 - d) no description of the derivation of the cohort
- 2) Selection of the non exposed cohort
 - a) drawn from the same community as the exposed cohort ✱
 - b) drawn from a different source
 - c) no description of the derivation of the non exposed cohort
- 3) Ascertainment of exposure
 - a) secure record (eg surgical records) ✱
 - b) structured interview ✱
 - c) written self report
 - d) no description
- 4) Demonstration that outcome of interest was not present at start of study
 - a) yes ✱
 - b) no

Comparability

- 1) Comparability of cohorts on the basis of the design or analysis
 - a) study controls for _____ (select the most important factor) ✱
 - b) study controls for any additional factor ✱ (This criteria could be modified to indicate specific control for a second important factor.)

Outcome

- 1) Assessment of outcome
 - a) independent blind assessment ✱
 - b) record linkage ✱
 - c) self report
 - d) no description
- 2) Was follow-up long enough for outcomes to occur
 - a) yes (select an adequate follow up period for outcome of interest) ✱
 - b) no
- 3) Adequacy of follow up of cohorts
 - a) complete follow up - all subjects accounted for ✱
 - b) subjects lost to follow up unlikely to introduce bias - small number lost - > ____ % (select an adequate %) follow up, or description provided of those lost) ✱
 - c) follow up rate < ____% (select an adequate %) and no description of those lost
 - d) no statement

CODING MANUAL FOR COHORT STUDIES

SELECTION

1) Representativeness of the Exposed Cohort

Item is assessing the representativeness of exposed individuals in the community, not the representativeness of the sample of women from some general population. For example, subjects derived from groups likely to contain middle class, better educated, health oriented women are likely to be representative of postmenopausal estrogen users while they are not representative of all women (e.g. members of a health maintenance organisation (HMO) will be a representative sample of estrogen users. While the HMO may have an under-representation of ethnic groups, the poor, and poorly educated, these excluded groups are not the predominant users of estrogen).

Allocation of stars as per rating sheet

2) Selection of the Non-Exposed Cohort

Allocation of stars as per rating sheet

3) Ascertainment of Exposure

Allocation of stars as per rating sheet

4) Demonstration That Outcome of Interest Was Not Present at Start of Study

In the case of mortality studies, outcome of interest is still the presence of a disease/incident, rather than death. That is to say that a statement of no history of disease or incident earns a star.

COMPARABILITY

1) Comparability of Cohorts on the Basis of the Design or Analysis

A maximum of 2 stars can be allotted in this category

Either exposed and non-exposed individuals must be matched in the design and/or confounders must be adjusted for in the analysis. Statements of no differences between groups or that differences were not statistically significant are not sufficient for establishing comparability. Note: If the relative risk for the exposure of interest is adjusted for the confounders listed, then the groups will be considered to be comparable on each variable used in the adjustment.

There may be multiple ratings for this item for different categories of exposure (e.g. ever vs. never, current vs. previous or never)

Age = ☆ , Other controlled factors = ☆

OUTCOME

1) Assessment of Outcome

For some outcomes (e.g. fractured hip), reference to the medical record is sufficient to satisfy the requirement for confirmation of the fracture. This would not be adequate for vertebral fracture outcomes where reference to x-rays would be required.

- a) Independent or blind assessment stated in the paper, or confirmation of the outcome by reference to secure records (x-rays, medical records, etc.) ☆
- b) Record linkage (e.g. identified through ICD codes on database records) ☆
- c) Self-report (i.e. no reference to original medical records or x-rays to confirm the outcome)
- d) No description.

2) Was Follow-Up Long Enough for Outcomes to Occur

An acceptable length of time should be decided before quality assessment begins (e.g. 5 yrs. for exposure to breast implants)

3) Adequacy of Follow Up of Cohorts

This item assesses the follow-up of the exposed and non-exposed cohorts to ensure that losses are not related to either the exposure or the outcome.

Allocation of stars as per rating sheet