



Bachelorarbeit

Literaturstudie

Berührungsfreie VKB Verletzungen bei 14 – 25 jährigen professionellen Fussballerinnen

Effektivitätsanalyse eines Präventionstrainings

Departement: Gesundheit
Studienrichtung: Physiotherapie PT06
Abgabe: 19. Juni 2009
Erstellt: Oktober 2008 – Juni 2009

Autorinnen:

Riechsteiner Daniela
S06-526-958
Sonnenweg 6
5646 Abtwil AG

Sprüngli Tina
S06-538-987
Oberfeldstrasse 46A
8408 Winterthur

Betreuende Lehrperson:

Monika Bodmer

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	4
1.1	Motivation und Relevanz	4
1.2	Vorgehen.....	5
2	Das Kniegelenk	7
2.1	Biomechanik des Kniegelenkes	7
2.2	Das vordere Kreuzband	12
3	Wahrnehmung	16
3.1	Propriozeption im Knie	16
3.1.1	Beteiligte Strukturen.....	17
3.1.2	Mechanismus	19
3.2	Neuromuskuläres Training	21
4	VKB Verletzungen	22
4.1	Unfallmechanismus	22
4.2	Risikofaktoren	23
4.2.1	Innere Risikofaktoren	24
4.2.2	Äussere Risikofaktoren	33
5	Relevante Komponenten eines Präventionstrainings	36
5.1	Schulung des Bewusstseins.....	37
5.2	Kräftigung und Kondition	37
5.3	Schulung der Technik.....	38
5.4	Technik und Plyometrie	39
5.5	Propriozeptions-/ Gleichgewichtstraining	39
5.6	Umfangreiches Training	40
5.7	Zeitliche Planung der Intervention	42
5.8	Programm spezifisch.....	42
5.9	Compliance	43
6	Analyse eines Präventionstrainings für 14-25 jährige Fussballerinnen	45
6.1	Vorstellen des PEP Programms	45
6.2	Beurteilung	57
6.3	Effektivitätsanalyse.....	59
7	Schlussfolgerungen und Forschungsempfehlungen	63

8	Schlusswort und Danksagung	65
9	Literaturverzeichnis	67
9.1	Bücher.....	67
9.2	Vorlesungen	68
9.3	Zeitschriften.....	68
9.4	Elektronische Publikationen	70
9.5	Abbildungen	70
9.6	Abkürzungen	71
10	Eigenständigkeitserklärung	73
11	Anhang.....	74

1 Einleitung

1.1 *Motivation und Relevanz*

Ein genauso aktuelles wie brisantes Thema unserer heutigen Gesellschaft sind die steigenden Gesundheitskosten. Die zunehmende Überalterung, Bewegungsmangel und ungesunde Ernährung sind allgegenwärtige Schlagwörter. Langsam werden Stimmen laut, die für ein Umdenken plädieren: Von der Pathogenese hin zur Salutogenese. Nicht erst etwas unternehmen, wenn die Krankheit schon ausgebreitet ist, sondern präventiv tätig sein. Das Interesse an der Gesundheit nimmt zu: Nicht umsonst haben die WHO und eine Kommission der EU die „Förderung von Wohlbefinden“ zum Ziel erklärt. Prävention wird oft in Verbindung gebracht mit Gesellschaftskrankheiten wie Diabetes mellitus oder Übergewicht. Doch wie sieht es in Risikosportarten aus, deren Unfallrisiko bekannt und erhöht ist? Was könnte da ein präventives Training bewirken und wie würde dieses aussehen? Nach der Literaturrecherche fiel die erhöhte Häufigkeit von vorderen Kreuzband (VKB) Rupturen bei Fuss-, Hand-, Basket- und Volleyballerinnen auf. Könnte man diese mit einem gezielten Training reduzieren?

In den letzten Jahren wurden einige Studien zur Prävention von VKB Verletzungen durchgeführt. Dies zeigt die zunehmende Relevanz des Themas: Alleine in der USA geschehen jährlich 250'000 VKB Unfälle - beide Geschlechter. Die Kosten für MRI Untersuchungen, Operationen und die Rehabilitation betragen rund zwei Billionen Dollar. Zusätzlich zum finanziellen Aspekt ist eine solche Verletzung eine grosse psychische Belastung – gerade im Spitzensport. Der Athlet verliert sechs bis neun Monate seiner Wettkampfszeit, sofern eine sportliche Wiedereingliederung überhaupt möglich ist.

Der Anteil des Frauensportspitzensports hat in den vergangenen Jahren stark zugenommen. Untersuchungen zeigten eine zwei- bis zehnmal höhere VKB Verletzungsgefahr bei Frauen als bei Männern. Deshalb entschieden sich die Autoren, den Fokus auf das weibliche Geschlecht zu legen, um weitere geschlechtsspezifische Risikofaktoren beleuchten zu können.

VKB Verletzungen können sekundär zu einem chronisch pathologischem Knie führen: Instabilität, Sekundärverletzungen von Menisken oder Knorpel und Früharthrose. 66% aller Patienten mit einer VKB Verletzung zeigten zusätzliche Meniskus- oder Knorpelschäden. Dies reduziert wiederum die Einsatzfähigkeit des Patienten in seinem Alltag und somit seine Lebensqualität.

Aus diesen Gründen legten sich die Autoren auf die Frage fest, ob ein Präventionstraining die Quote der VKB Verletzungen bei Fussballerinnen reduzieren kann. An erster Stelle wird auf die Anatomie und die Biomechanik des Kniegelenkes mit Schwerpunkt VKB eingegangen und dann der Begriff Propriozeption definiert. Im Folgenden wird der genaue Unfallmechanismus einer VKB Verletzung untersucht, danach die zahlreichen Risikofaktoren studiert, um so die relevanten Komponenten eines Präventionstrainings herauskristallisieren zu können. Die Literatur bezogen die Autoren aus Studien, welche mit Athletinnen der genannten Risikosportarten durchgeführt wurden. Denn bezüglich Unfallmechanismus und Risikofaktoren lassen sich zwischen diesen Sportarten keine Unterschiede aufweisen. Als Résumé wird ein für Fussballerinnen entwickeltes präventives Training (PEP Programm) vorgestellt. Dessen Effizienz wird mittels Erkenntnissen, die die Verfasser durch die Auseinandersetzung mit dem Thema erhielten, und einer kürzlich durchgeführten Studie belegt. Dabei liegt der Fokus auf weiblichen Fussballerinnen von professionellen Mannschaften, um auch relevante, sportartspezifische Komponenten berücksichtigen zu können (Silvers & Mandelbaum, 2007).

1.2 Vorgehen

Zur Recherche von qualitativ hochwertigen Studien wurden die Keywords „injury mechanism“, „acl“, „injury prevention“, „soccer“ und „neuromuscular training“ in den Datenbanken von pubmed, science direct, PEDRO und cochrane verwendet. Weitere Studien wurden von Fachspezialisten bezogen. Die theoretischen Grundlagen basieren auf Vorlesungen von ZHAW DozentInnen und auf Literatur der Hochschulbibliothek.

Als Einschlusskriterien wählten die Autoren Studien, die sich mit berührungsfreien VKB Rupturen bei professionellen Fussballerinnen zwischen 14 und 25 Jahren

befassten. Handelte es sich dabei um eine RCT¹ wurde sie mittels PEDRO-Scale bewertet. Bei Reviews und Metaanalysen wurde die Leitlinie nach Scherfer, E. (2006) *Forschung verstehen, Ein Grundkurs in evidenzbasierter Praxis* verwendet, die die Autoren von ihrer Betreuungsperson Frau M. Bodmer erhalten hatten. Ein weiteres Augenmerk wurde auf die selbstkritische Verfassung der Studie gelegt.

¹ RCT = Randomized controlled trial

2 Das Kniegelenk

2.1 Biomechanik des Kniegelenkes

Die Biomechanik analysiert und erklärt unter anderem die Gelenkmechanik mit Hilfe der Physik und der Mechanik. Bürgi (2005, S.9) beschreibt das Kniegelenk als „das grösste Gelenk des Körpers“. Es ist mit seinen zwei Haupt-Gelenkpartnern Femur und Tibia ein Kondylengelenk. Aus der Gelenkform, dem Bandapparat, als auch der am Gelenk beteiligten Muskulatur, lassen sich die Anzahl der möglichen Bewegungsachsen sowie das Ausmass der jeweiligen Bewegung bestimmen. Im Knie gibt es zwei Bewegungsachsen (Abb.1):

- die fronto-transversale Achse, für die Flexion und Extension (Abb.1: Blau).
- die fronto-sagittale Achse, für die Innen- und Aussenrotation (Abb.1: Gelb).

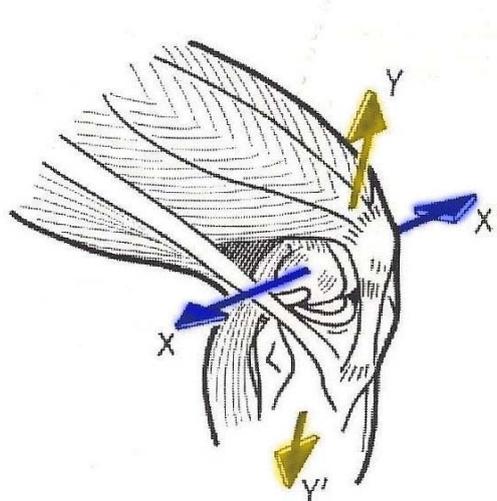


Abb. 1: Bewegungsachsen des Knies

Die Achse für die Rotationen ist fix und verläuft etwas mehr medial zwischen den beiden Tibiaplateausflächen (Abb.3) senkrecht durch. Die Flexions-Extensions-Achse hingegen verschiebt sich gleichzeitig mit der Bewegung in Beugung oder Streckung des Kniegelenkes leicht nach hinten bzw. nach vorne. Es entsteht eine Art Rotation an Ort. Dies resultiert aus dem Zusammenspiel der Kreuz- und Kollateralbänder, welche das Knie als primäre bzw. sekundäre Strukturen exakt führen. Betrachtet man das Knie von der Seite, fällt auf, dass sich die Kreuz- und Seitenbänder in jeder Position des Knies jeweils in einem gemeinsamen Punkt

schneiden. Dieser Schnittpunkt, durch welchen die Beuge-Streck-Achse zieht, verlagert sich während der Bewegung und bestimmt so ihren Verlauf (Abb.2).

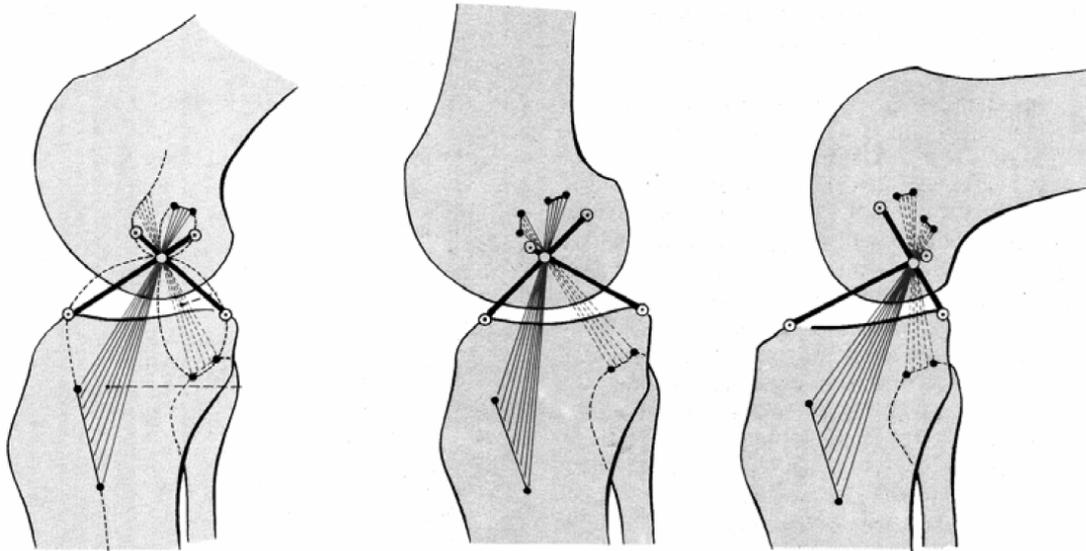


Abb. 2: Verschiebung der F/E-Achse im Knie

Das zweite Gelenk des Knies wird nach Bürgi (2005) von der Patella und dem Femur gebildet. Sie liegt dem Femur ventral auf und ist in den Ansatz des wichtigsten Kniestreckmuskels, dem Quadriceps, eingewachsen. Zum Einen verlängert sie den Hebelarm des Quadriceps und ermöglicht ihm somit eine grössere Kraftentfaltung, so dass die Bewegung in die Extension erleichtert wird. Zum Anderen leitet sie die enormen Kräfte die bei der Beugung entstehen können (bis zu 20'000 N) auf die ventrale Gelenksfläche des Femurs weiter. Es ist das meist belastete Gelenk des Körpers und neigt am ehesten zu degenerativen Veränderungen.

Die Gelenke im Körper haben jedoch nie genau kongruente Gelenksflächen, wie die Gelenkkörper im technischen Bereich. Daraus resultiert, dass ein Gelenk nicht an sich stabil ist, sondern zusätzliche Strukturen zur Stabilisierung benötigt. Dazu gehören passive wie auch aktive Strukturen.

Zu den wichtigsten passiven Strukturen, die die Stabilisierung des Knies gewährleisten gehören gemäss Kapandji (1999):

- die Kreuzbänder. Sie spielen eine zentrale Rolle bei der Führung der Gelenkbewegung mittels Roll-Gleit-Mechanismus. Das hintere Kreuzband kommt insbesondere bei voller Beugung und bei der Innenrotation des Knies auf Zug und hemmt diese Bewegungen. Die Funktionen des vorderen Kreuzbandes, sowie Genaueres über den spezifischen Gelenkmechanismus des Knies werden nachfolgend unter Punkt 2.2 erläutert.
- die Kollateralbänder. Sie sind in Extension gespannt und hemmen sowohl die Rotationen wie auch die Abd-/Adduktionsbewegungen. Zusätzlich limitieren sie die Überstreckung des Knies. Sie werden von der seitlichen Gelenkkapsel, sowie medial von den Muskelansätzen des Pes anserinus superficialis² und lateral durch den Tractus iliotibialis (über den M.tensor fascia latae) unterstützt.
- die Menisken. Sie gleichen die Inkongruenz der Gelenksflächen aus und sorgen so für mehr Stabilität.
- der hintere Kapselkomplex³. Er limitiert die Hyperextension und stabilisiert z.T. die seitliche Aufklappbarkeit.

Die Muskeln gehören zu den aktiven Stabilisatoren. Sie sind jedoch von den Informationen aus der Peripherie über die Gelenkstellung und die Bewegungsänderung abhängig, damit sie situationsgerecht reagieren können, und das Knie optimal stabilisiert werden kann. Für das Knie sind folgende Muskeln am relevantesten:

- Der Quadriceps ist der wichtigste aktive Stabilisator. Im Stand arbeitet er sobald das Knie aus der Überstreckung in Beugung bewegt wird und kontrolliert dann die Flexion exzentrisch. Er vermag sogar gewisse Insuffizienzen von Bändern auszugleichen. Über die Patella geht er eine Verbindung mit den ventralen

² Pes anserinus superficialis: wird die gemeinsame Ansatzstelle des M.sartorius, M.semitendinosus und des M.gracilis genannt.

³ hinterer Kapselkomplex: nach Kapandji (1999) gehören folgende Strukturen dazu: Lig.popliteum arcuatum/obliquum, tiefe Ursprungsfasern des M.gastrocnemius und Fasern des M.popliteus, der Hamstrings und des M.sartorius sowie des M.gracilis

Retinakula ein. Diese verlaufen sowohl gekreuzt als auch ungekreuzt über das Gelenk. Es wird angenommen, dass er auf diese Weise die Varus-Valgus-Stabilität des Kniegelenkes am Stärksten unterstützt. Dabei spielt vor allem das Gleichgewicht des M.vastus medialis und M.vastus lateralis eine wichtige Rolle.

- Die Hamstrings unterstützen das Dorsalgleiten der Tibia bei der Beugung und können durch ihre Anspannung einer Hyperextension entgegenwirken. Damit unterstützen sie das VKB in zwei Positionen in welchen es auf Zug belastet wird.

Der Quadriceps kann ungefähr dreimal soviel Kraft erzeugen wie die Hamstrings, unter anderem weil er oft gegen die Gravitationskraft arbeiten muss. Ausserdem bringt er das VKB durch seine nach anterior gerichtete Kraft auf die Tibia bei der Beugung des Kniegelenkes zusätzlich auf Zug. Dies verdeutlicht die Hypothese, dass die muskuläre Kokontraktion der Hamstrings mit dem Quadriceps zur Stabilisierung des Kniegelenkes und somit zum Schutz des VKB's von immenser Bedeutung ist.

Das Bewegungsausmass des Kniegelenkes ist, wie bereits erwähnt, abhängig von:

- der Gelenkform. Die beiden Haupt-Gelenkpartner Femur und Tibia kongruieren aufgrund der Form ihrer Gelenkflächen nicht zu 100% miteinander. Die beiden Femurkondylen sind bikonvex und haben in der sagittalen Ebene eine eher ovale Form, dadurch wird die Rollbewegung des Femurs ermöglicht. Der mediale Kondylus ist etwas kleiner als der laterale, liegt der medialen Tibiaplateauseite aber über den inneren Meniskus ziemlich stabil auf. Das mediale Kompartiment der Tibia ist sowohl in der frontalen wie auch der sagittalen Ebenen konkav (Schüsselform) und bildet so eine Art Drehzentrum für die Rotationen über den medialen Femurkondylus im Kniegelenk. Der laterale etwas grössere Condylus femoris hingegen gleitet gut auf der konvexen Gelenkfläche (Sagittalebene) des lateralen Tibiaplateau-Kompartiments nach ventral und dorsal und unterstützt so auch die Rotationsbewegungen im Knie (Abb.3).

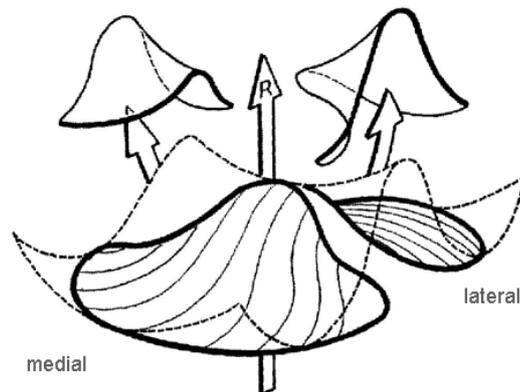


Abb. 3: Tibiaplateauflächen

Die beiden Gelenkflächen des Tibiaplateaus werden durch eine zweispitzige Erhöhung in der Mitte getrennt. Die mehr medial liegende Spitze ist etwas höher und stabilisiert das Knie in Extension. Beim Versuch in Streckstellung zu rotieren, wird der mediale Femurkondylus von dieser Erhöhung gebremst. In Beugung jedoch verschwindet die Erhöhung in der Fossa intercondylaris des Femurs, sodass in dieser Position die Rotation freigegeben ist.

- dem Bandapparat. Je nach Ausmass der Kniegelenksbeugung oder -streckung, beeinflussen v.a. die Seiten- und die Kreuzbänder als wichtigste Strukturen das mögliche Ausmass an Bewegung.
- der am Knie beteiligten Muskeln. Verkürzte Muskeln reduzieren das Bewegungsausmass. Im Speziellen können die zweigelenkigen Muskeln durch passive Insuffizienz zusätzlich die Kniebeweglichkeit einschränken: Denn je nach Stellung der beiden Gelenke zueinander kommen diese Muskeln mehr bzw. weniger unter Zug und lassen so weniger bzw. mehr Bewegung zu. Dies sollte bei der Messung der Kniebeweglichkeit unbedingt berücksichtigt werden.

Im Anhang befindet sich eine Tabelle mit Normwerten für das Bewegungsausmass des Knies.

Infolge passiver Insuffizienz limitiert/limitieren:

- der Quadriceps bei gestreckter Hüfte das aktive Bewegungsausmass, so dass nur noch 120° Flexion erreicht werden können. In dieser Ausgangstellung wird er

sowohl von proximal wie auch von distal gedehnt und lässt daher weniger Bewegung zu.

- die Hamstrings je nach Dehnungszustand bei gebeugter Hüfte die Knieextension.
- ein verkürzter M.gastrocnemius bei Dorsalextension des oberen Sprunggelenkes die Knieextension, weil er von distal bereits unter Spannung gebracht wird.

Weitere limitierende Faktoren sind:

- die Kreuzbänder. Sie begrenzen die Innenrotation des Knies (in Flexionstellung), weil sie sich durch ihren rechtwinkligen Verlauf zueinander bei der Innenrotation mehr umeinanderdrehen. Bei der Aussenrotation hingegen wickeln sich die beiden Bänder voneinander ab, was auch das grössere Bewegungsausmass erklärt.
- die Kollateralbänder. Sie limitieren in voller Knieextension die Rotations- oder Abd-/Adduktionsbewegungen. Deshalb ist es wichtig, diese Bewegungskomponenten in Knieflexion zu messen.

Am Ende der vollen Knieextension, findet die sogenannte Schlussrotation von ungefähr 10° statt, die durch die stark gespannten Kreuzbänder verursacht wird (Bürgi, 2005). Die Form der Gelenkflächen von Femur und Tibia begünstigen diese Aussenrotation. Laut Weineck (2003) dient dieser Mechanismus zur Stabilisierung des Kniegelenkes (z.B. in der Standbeinphase) und ermöglicht eine geringe Entspannung der Kreuzbänder.

2.2 Das vordere Kreuzband

In diesem Abschnitt wird absichtlich nur auf das vordere Kreuzband Bezug genommen, da es in dieser Arbeit primär um die Prävention von VKB Verletzungen geht. Die Autoren sind sich bewusst, dass sich die beiden Kreuzbänder gegenseitig unterstützen und eine funktionelle Einheit bilden.

Das vordere Kreuzband entspringt an der Innenseite des lateralen Femurkondylus in der Fossa intercondylaris und hat seinen Ansatz in der Area intercondylaris anterior der Tibia. Es verläuft dementsprechend von postero-lateral nach ventro-medial.

Nach Hochschild (2002) liegt es ausserhalb der Membrana synovialis, aber innerhalb der Membrana fibrosa. Es liegt folglich intrakapsulär aber extraartikulär. Ein Teil der Fasern gehen mit dem Lig. meniscotibiale anterius, das das Vorderhorn des Innenmeniskus an der Tibia befestigt, eine Verbindung ein (Abb.4 & 5).

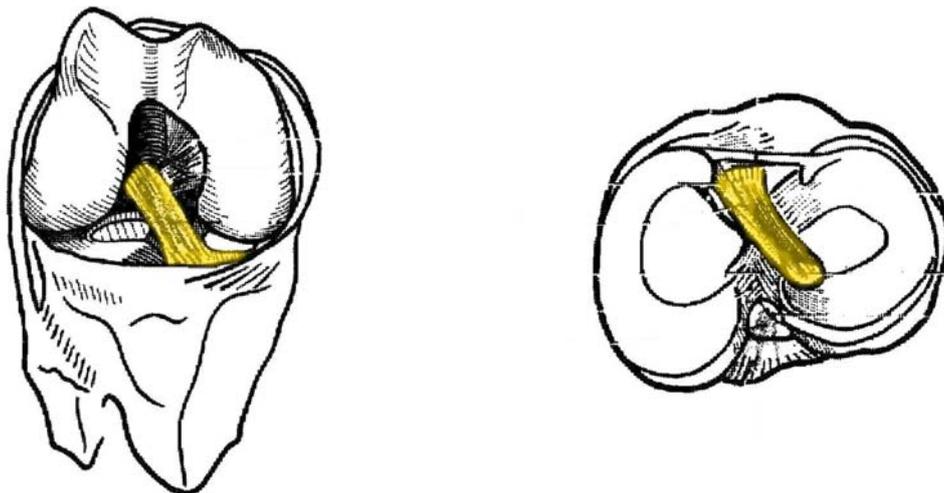


Abb. 4 & Abb. 5: Verlauf des vorderen Kreuzbandes (gelb)

Das Band ist in seinem Verlauf gemäss Kappandji (1999) in sich gedreht. Das heisst Fasern die ventral entspringen setzen dorsal an und umgekehrt. Dadurch haben die Fasern unterschiedliche Längen und Teile des Bandes können während des ganzen Bewegungsausmasses gespannt sein. In Extension weist das Band aber die grösste Spannung auf. Das VKB ist für den reibungslosen Ablauf des sogenannten Roll-Gleit-Mechanismus (Abb.6) unerlässlich, da es durch die Tatsache, dass gewisse Fasern immer gespannt sind, diesen Mechanismus zwischen Femur und Tibia über die ganze Bewegung exakt führen kann. Wird das Knie flektiert, initiiert das VKB das gleichzeitig stattfindende Dorsalgleiten der Tibia gegenüber dem rollenden Femur. Dadurch erhalten die Femurkondylen bei der Beugung

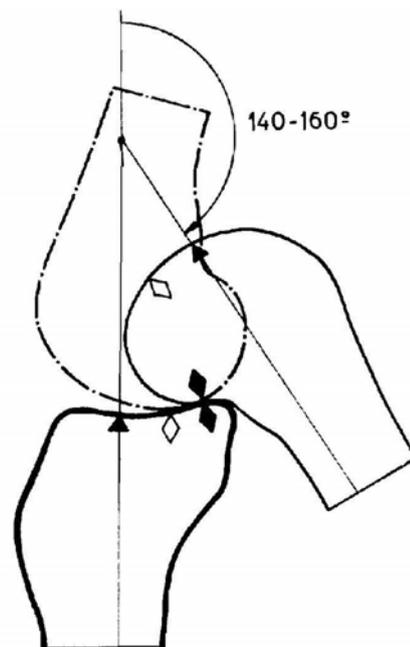


Abb. 6: Roll-Gleit-Mechanismus

des Knies immer wieder etwas mehr Abrollfläche auf dem Tibiaplateau. Das Bewegungsausmass wird durch diesen Mechanismus stark vergrössert.

Das VKB ist mit Golgi–Rezeptoren und freien Nervenendigungen ausgestattet. Golgi–Rezeptoren reagieren auf Spannungsänderungen des Bandes. Durch die Führung und Kontrolle des ganzen Bewegungsablaufes, kann das VKB so ständig Informationen über die Gelenkposition aufnehmen und weiterleiten. Es schafft somit der Muskulatur die Voraussetzung koordiniert zu Handeln und trägt zur optimalen Stabilisierung des Gelenkes bei.

Das vordere Kreuzband limitiert die Hyperextension und zusammen mit dem hinteren Kreuzband die Innenrotation sowie die reinen translatorischen Bewegungen im Kniegelenk. Sekundär hilft das VKB auch die Varus-Valgus-Achse zu stabilisieren und unterstützt so die Kollateralbänder.

Eine Totalruptur des VKB's führt zur Instabilität des Kniegelenkes und einer Missfunktion der Gelenksmechanik. Der stabilisierenden Muskulatur fehlt es an wichtigen Inputs über die Gelenkbewegung, welche sie zur Führung des Gelenkes benötigt. Die Stabilisation kann jedoch teilweise über die von den Muskeln selbst (Golgi-Sehnenorgane, Muskelspindeln und Mechanorezeptoren) oder von den umgebenden Strukturen des Knies (Mechanorezeptoren) stammenden Informationen kompensiert werden. Durch das Fehlen des VKB's entsteht aber auch eine rein mechanische Instabilität (Abb.7), da der für eine optimale Bewegung des Gelenkes nötige Roll-Gleit-Mechanismus nicht mehr gewährleistet werden kann.

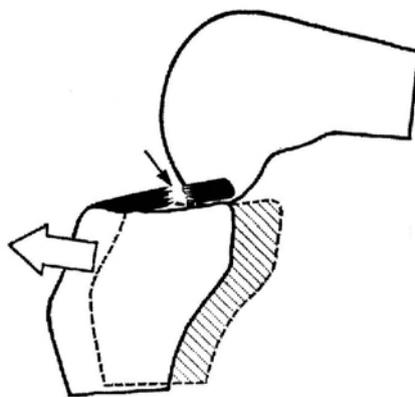


Abb. 7: Mechanische Instabilität

Unter diesen Voraussetzungen findet vorerst nur die Rollbewegung des Femurs auf der Tibia statt (Abb.8). Nach bereits viel weniger Knieflexion geht die Kontaktfläche des Femurs zur Tibia zu Ende und die Bewegung wird von den Hinterhörnern der Menisken gebremst. Für ein grösseres Bewegungsausmass muss nun – wegen dem fehlenden Dorsalgleiten der Tibia gegenüber dem Femur – diese Translation nach dorsal gemäss Hochschild (2002, S.195) „ruckweise nachgeholt“ werden. Dadurch wird dem Femur wieder mehr Abrollfläche für seine Rollbewegung auf dem Tibiaplateau zu Verfügung gestellt. Als Folge dieser pathomechanischen Situation leiden z.B. die Meniskushinterhörner und später der Gelenksflächenknorpel darunter.

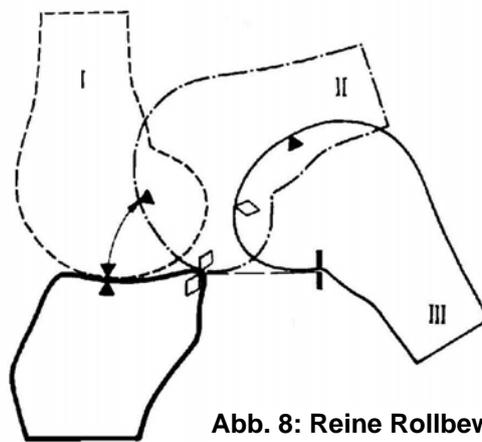


Abb. 8: Reine Rollbewegung

3 Wahrnehmung

Damit wir unsere Umwelt wahrnehmen und adäquat auf sie reagieren können, benötigt unser Körper ein fein koordiniertes Informationsleitungs- und Verarbeitungssystem. An erster Stelle stehen die Messfühler, die Rezeptoren, die einen adäquaten Reiz aufnehmen und ihn mittels unterschiedlichen Bahnen an die entsprechenden Bereiche im zentralen Nervensystem weiterleiten.

Diese Rezeptoren basieren laut Deetjen, Speckmann & Hescheler (2005) auf drei verschiedenen Modalitäten:

- die Oberflächensensibilität: Messfühler in der Haut liefern dem ZNS⁴ Informationen bezüglich Temperatur, Druck, Dehnung und Vibrationen.
- die Tiefensensibilität: Messfühler in Skelettmuskeln, Sehnen und Gelenken geben Auskunft bezüglich Lage- und Stellungssinn sowie Bewegungs- und Kraftsinn.
- die viszerale Sensibilität oder Enterozeption: Messfühler in Gefässwänden oder der inneren Organen melden dem ZNS Informationen über den pH-Wert, Druck oder Temperatur.

Für diese Arbeit ist die Tiefensensibilität von zentraler Bedeutung.

3.1 Propriozeption im Knie

Unter Propriozeption versteht man im Allgemeinen die sogenannte Tiefensensibilität.

Gemäss De Gryter (2007) wird sie genauer wie nachfolgend definiert:

Wahrnehmung der Stellung u. Bewegung des Körpers im Raum; durch spezif. Sensoren (Propriosensoren) registrierte Informationen über Muskelspannung (Golgi*-Sehnenorgan), Muskellänge (Muskelspindel*) u. Gelenkstellung bzw. –bewegung werden z.T. auf Rückenmarkebene (monosynapt.) verschaltet (propriozeptive Reflexe), v.a. aber unter Einbeziehung der Afferenzen von Vestibularapparat* u. Mechanosensoren der Haut zentral (in Kleinhirn od. Gyrus postcentralis) verarbeitet. (S.1560)

⁴ ZNS = zentrales Nervensystem

Wie man daraus bereits ableiten kann spielt die Propriozeption bei der Kontrolle der Körperbewegungen und des Gleichgewichts eine wichtige Rolle und ist somit eng mit der Motorik verbunden. Wird die Bewegung nach Erhalt von propriozeptiven Inputs und zentraler Verarbeitung korrigiert oder angepasst, spricht man von Sensomotorik. Somit stellt die Propriozeption ein Teil der Sensomotorik dar. Neben den Propriozeptoren sind gemäss Silbernagel & Despopoulos (2001) auch das Vestibulärorgan sowie die Augen an diesem Ablauf beteiligt. Im nachfolgenden wird aber nur auf die Propriozeption im Genaueren eingegangen.

Die verschiedenen Systeme arbeiten eng miteinander zusammen, damit sie die Stabilisierung des Kniegelenkes und dessen optimales Gelenkspiel über die Koordination des Roll-Gleit-Mechanismus gewährleisten können. Es braucht Informationen zu Gelenksposition und –bewegung, die nach der Verarbeitung im ZNS, die passenden Signale an die ausführenden Strukturen senden.

3.1.1 Beteiligte Strukturen

Wie jedes Gelenk, verfügt auch das Knie über mehrere solche Mechanosensoren, die in den umliegenden Strukturen eingebettet sind und propriozeptive Informationen für eine bestmögliche motorische Ausführung aufnehmen und weiterleiten.

In der Muskulatur (inklusive Sehnen) werden drei Klassen von Propriozeptoren unterschieden, welche dem Gehirn die relevanten Informationen übermitteln:

- die Muskelspindeln. Diese Rezeptoren liegen parallel zu den Muskelfasern und reagieren auf Dehnung bzw. Kontraktion. Sie sind zuständig für die Messung und Regulation der Muskellänge und geben folglich Auskunft über Stellungs- und Bewegungssinn.
- die Golgi–Sehnenorgane. Sie befinden sich am Muskel-Sehnenübergang und messen die Kraftentfaltung im Muskel. Sie regeln die Muskelspannung und dienen dem Schutz vor Überbeanspruchung (van den Berg, 2005).
- die Mechanorezeptoren. Sie liefern statische und dynamische Informationen bezüglich Stellung und Bewegung von Gelenken (Deetjen et al., 2005).

Die Mechanorezeptoren der Gelenkkapseln und Ligamenten können gemäss van den Berg (2005) nochmals in verschiedene Sensor-Typen unterteilt werden. Für die Tiefensensibilität am relevantesten sind:

- Typ 1 Ruffini-Körperchen: sie sind in der oberflächlichen Kapsel (Membrana fibrosa) enthalten und reagieren auf Druck-, Zug- und Scherkraftänderungen. Sie liefern Informationen sowohl über die statische wie auch die dynamische Gelenkposition.
- Typ 2 Vater-Pacini-Körperchen: diese liegen sowohl in der Membrana fibrosa wie auch eher tief in der Kapsel (Subintima)⁵, messen Druck und Vibrationen, sowie Länge und Spannung und geben Auskunft über Bewegungsänderungen der Kapsel.
- Typ 3 Golgi-Rezeptoren: sie sind in den Ligamenten vorhanden, reagieren auf Spannungsänderungen und geben über die Gelenkbewegung - v.a. gegen Bewegungsende - Auskunft.

Auch die Haut, die Menisken und der Hoffa Fettkörper besitzen Sensoren die auf mechanische Reize reagieren und zur Propriozeption beitragen. Die Haut gilt als grösstes Organ des menschlichen Körpers und hat natürlich neben vielen anderen Funktionen auch Anteil an der Sammlung von Informationen aus der Peripherie. Sie besitzt sehr viele Rezeptoren. Zum Einen ist die Haut gemäss van den Berg (2005) mit den bereits oben aufgelisteten Ruffini- (Hautdeformationen) und Vater-Pacini-Körperchen (Druck, Vibration) ausgerüstet. Zum Anderen besitzt die Haut noch zwei Sensoren die zum feinen Tastsinn gehören.

- Die Merkel-Zellen: Deren adäquater Reiz ist Druck und Berührung.
- Die Meissner-Tastkörperchen: Sprechen vor allem auf feine Berührungen an.

Und zu guter Letzt verfügt die Haut noch über die

- Freien Nervenendigungen: Sie sind eigentlich hauptsächlich für die Weiterleitung potenziell schädigender Reize zuständig, nehmen aber im Zusammenhang mit den Haaren auch für die Propriozeption wichtige Informationen auf. Sie werden

⁵ Subintima: ist Teil der Membrana synovialis also der tiefen Gelenkkapsel. Diese wird noch aufgeteilt in die Intima, welche die Innerste Schicht beschreibt, und die Subintima, die zwischen Intima und Membrana fibrosa (der oberflächlichen Gelenkkapsel) liegt (van den Berg, 2005).

über die Bewegung der Haare gereizt und können vermutlich auch die umliegenden Mechanosensoren stimulieren.

Bei den Menisken enthalten vor allem die Meniskushinterhörner viele Propriozeptoren (Vater–Pacini–Körperchen und Golgi–Rezeptoren). Sie liefern deshalb Informationen zu Bewegung, Geschwindigkeit und Spannung und unterstützen so den reibungslosen Ablauf der Gelenkbewegungen. Die Ligg.meniscotibiale anterior/posterior, welche die Menisken an der Tibia befestigen, und das Lig.patellomeniscalia, das mit den Vorderhörnern und der Patella eine Verbindung eingeht, liefern weitere Informationen über Golgi–Rezeptoren. Zusätzlich gehen die Menisken Verbindungen mit der Kapsel und der mediale Meniskus mit der Sehne des M.semimembranosus ein, so dass die Bewegungen dieser Strukturen auch die Mechanosensoren der Menisken stimulieren.

Der Corpus adiposum infrapatellare oder auch Hoffa Fettkörper genannt, füllt den Raum distal unter der Patella und dem Gelenkspalt aus. Er besitzt die Form einer Pyramide, deren Basis auf der Rückseite des Lig.patellae liegt und deren Spitze in das Gelenk hineinzeigt. Er ist auch mit Sensoren ausgestattet und unterstützt so das propriozeptive System (van den Berg, 2005).

Alle am Knie beteiligten Bänder werden hier bewusst nicht explizit aufgelistet, obwohl sie auch Informationen aus der Peripherie aufnehmen und diese Inputs weiterleiten. Es wurde lediglich auf die wichtigsten Strukturen des Kniegelenks eingegangen und die Übrigen werden im Anhang zur Vollständigkeit aufgelistet.

3.1.2 Mechanismus

Ist ein Reiz adäquat, wird er aufgenommen und via Hinterwurzel ins Rückenmark (Abb.9) geleitet. Die Information wird direkt via Hinterstrangbahn zu den Hinterstrangkernen (Nucleus gracilis für die untere Extremität) in der Medulla oblongata weitergeleitet. Dort kreuzt die Hinterstrangbahn zur Gegenseite, was zur Folge hat, dass auf der rechten Hirnhälfte die Informationen der linken Körperhälfte wahrgenommen werden. Im weiteren Verlauf passiert die Hinterstrangbahn den Thalamus, wird dort abermals umgeschaltet, bis sie schlussendlich im Gyrus

postcentralis endet und als bewusster Reiz wahrgenommen wird. Nun kann das Gehirn dem Wunsch entsprechend reagieren.

Das Kleinhirn hilft gemäss Bartels (2004) bei der Planung der Willkürmotorik mit und ist zuständig, Bewegungen zu koordinieren und allfällige Korrekturen anzubringen. Denn es erhält propriozeptive Informationen sowohl von der Peripherie als auch vom motorischen bzw. sensorischen Kortex, verarbeitet diese und integriert sie sofort in den Bewegungsablauf (Abb.10).

Viele Informationen werden jedoch gar nie bewusst wahrgenommen: Einerseits werden Teile bereits auf Rückenmarksebene reflexartig gesteuert und so gar nicht erst Richtung Gehirn geschickt. Andererseits fungiert der Thalamus als zentrale Schaltstelle. Er leitet - von den Reizen die ihn erreichen - nur die relevanten an den Kortex weiter. Diese Mechanismen schützen unser Gehirn von einer immensen Informationsflut und ermöglichen uns gleichzeitig, unsere Aufmerksamkeit auf die uns wichtigen Aktivitäten des täglichen Lebens zu richten.

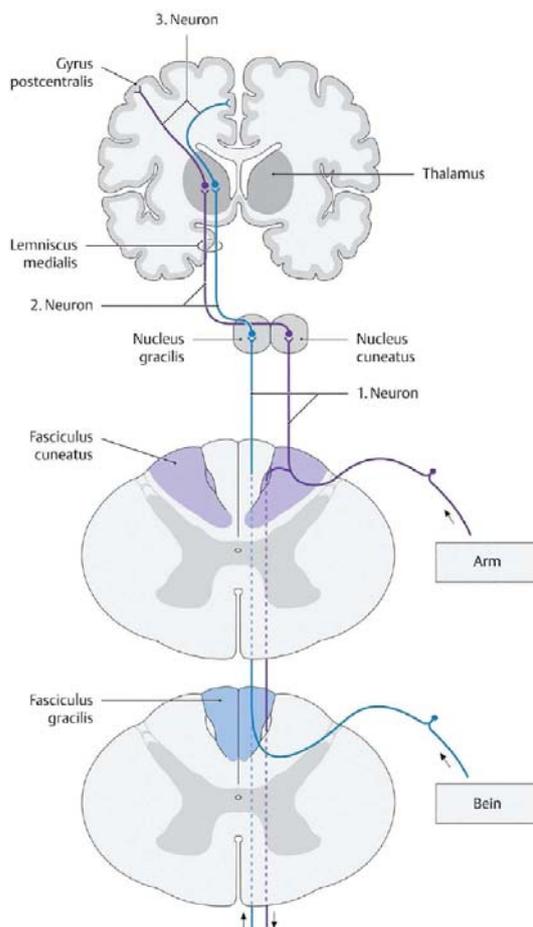


Abb. 9: Afferenzleitung der unteren Extremität

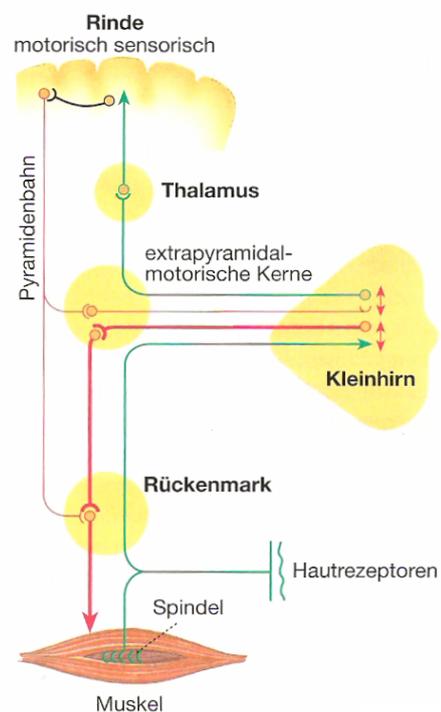


Abb. 10: Kleinhirnfunktionen

3.2 Neuromuskuläres Training

Neuromuskuläre Kontrolle befasst sich mit der Fähigkeit, bedeutungsvolle Bewegungen zu regulieren. Als Grundlage dazu gilt es, die Natur der Bewegung und wie sie kontrolliert wird, zu analysieren. Dazu bestehen bereits diverse Theorien: Die Reflex-, die System-, die hierarchische Theorie, die Theorie der Bewegungsprogramme, die dynamische Aktionstheorie und die ecological Theorie. Eine Beschreibung der einzelnen Theorien finden sie im Anhang.

Welche Theorie ist nun die Beste zur Anwendung in der Praxis?

Keine dieser Theorien vermag das ganze Spektrum der Definition der motorischen Kontrolle abzudecken. Jede birgt sowohl neue relevante Erkenntnisse als auch Einschränkungen. Shumway-Cook und Woollacott (2007) sind der Meinung, die beste Definition entsteht beim Kombinieren der verschiedenen Theorien. Jede neu entwickelte Theorie der motorischen Kontrolle sei in diesem Sinne unvollendet, da stets neue Erkenntnisse hinzukommen können.

Definition der motorischen Kontrolle gemäss Shumway-Cook und Woollacott (2007):

Bewegung entsteht aus einer Interaktion zwischen Individuum, einer Aufgabe sowie der Umwelt, in welcher die Aufgabe durchgeführt werden soll. Somit ist Bewegung nicht lediglich ein Resultat muskelspezifischer Bewegungsprogramme und stereotyper Reflexe – sondern das Ergebnis eines Zusammenspiels von Perzeption, Kognition und des Bewegungssystems.

Für diese Arbeit wird diese Definition der motorischen Kontrolle verwendet. Denn gemäss der Ansicht der Verfasser, ist sie allumfassend und enthält somit alle wichtigen Komponenten. Ein neuromuskuläres Training hat demnach alle Bereiche zu berücksichtigen um optimale Bewegungsabläufe zu gewährleisten:

- das Individuum mit seiner Kognition und Perzeption
- die spezifisch gewählte Aufgabe
- die sich ändernde Umwelt, in welcher die Aufgabe ausgeführt werden soll.

4 VKB Verletzungen

4.1 Unfallmechanismus

Der Unfallmechanismus einer VKB Verletzung ist eine Kombination von verschiedenen Faktoren: Er beinhaltet typischerweise eine Stoppbewegung verbunden mit einem Richtungswechsel, wenn sich der Fuss in einer geschlossenen Kette befindet. Ebenso risikoreich ist die Landung nach einem Sprung mit ungenügender Knie- und Hüftflexion. Diese Bewegungen führen zu einer verstärkten Pronation im Fuss, einer Aussenrotation der Tibia und zu einem Valguskollaps im Knie. Dies resultiert in starken, auf das VKB einwirkenden Torsionskräften und kann zu Rupturen führen (Abb.11).

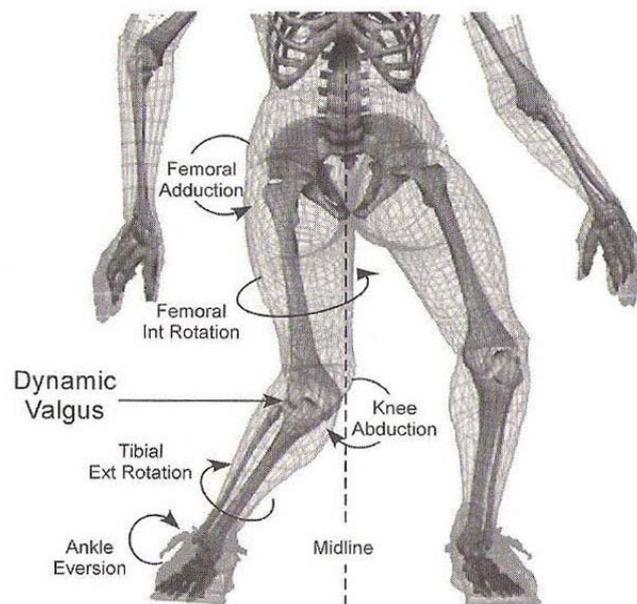


FIGURE I.2 Valgus lower extremity alignment.

Abb. 11: Unfallmechanismus

Diese Bewegungskombinationen sind in allen Risikosportarten vorhanden: Fuss-, Hand-, Basket- und Volleyball sowie Skifahren. Verstärkt wird das Risiko durch Konzentrationsmangel oder unerwartete, abrupte Bewegungsänderungen (Silvers et al., 2007).

4.2 Risikofaktoren

Der genaue Untersuch der Risikofaktoren ist unumgänglich um den Ansatzpunkt eines Präventionstrainings bestimmen zu können. So wurden diesbezüglich bereits zahlreiche Studien durchgeführt. Es stellt sich heraus, dass ein Risikofaktor alleine nicht ausschlaggebend für eine VKB Verletzung ist, sondern erst deren Summation. Die Untersuchungen der Risikofaktoren beruht auf der Feststellung, dass Frauen verglichen mit Männern einer viel höheren Verletzungsgefahr unterliegen. Deshalb wird der Schwerpunkt immer wieder auf die geschlechtsspezifischen Unterschiede gelegt (Abb.12).

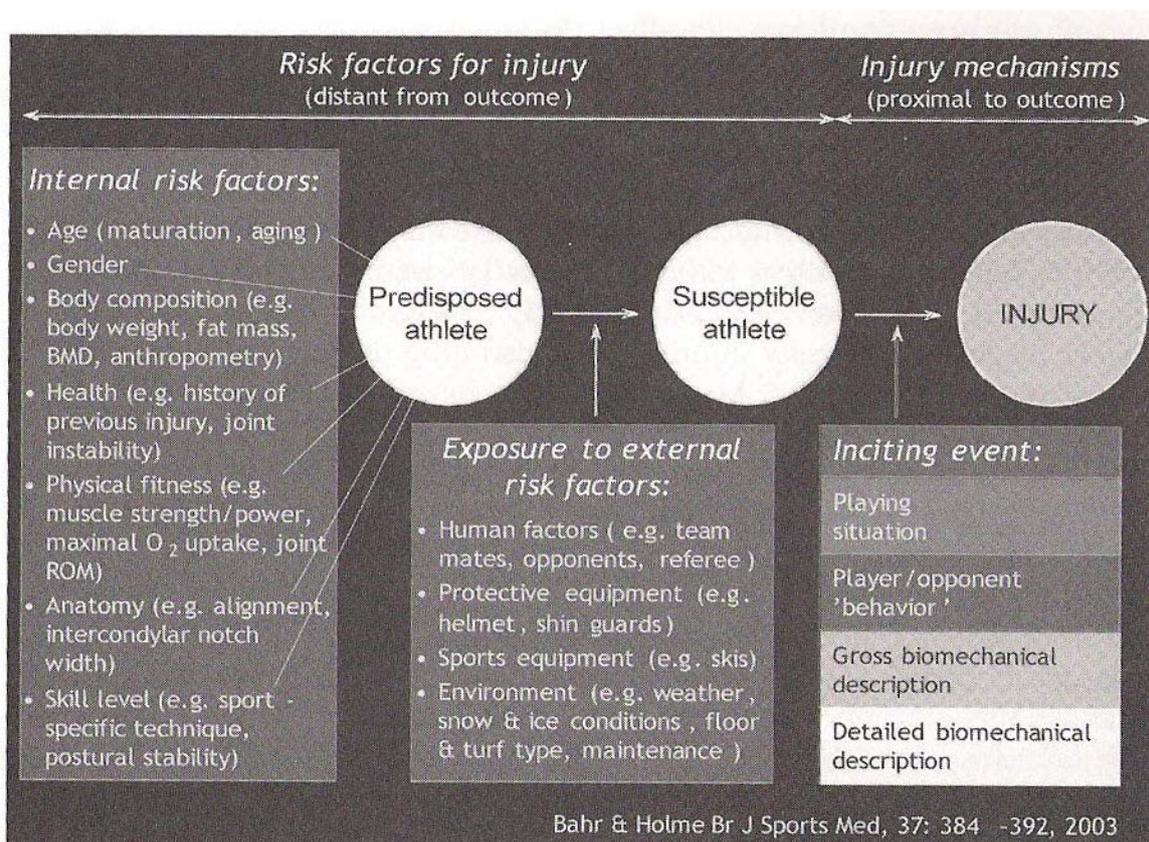


FIGURE 9.1 A dynamic, multifactorial model of sport injury etiology.

From R. Bahr and I. Holmes, 2003, "Risk factors for sports injuries—a methodological approach," *Br J Sports Med* 37: 384-392. Adapted and reproduced with permission of BMJ Publishing Group; adapted from W.H. Meeuwisse, 1994, "Assessing causation in sport injury: A multifactorial model," *Clin J Sport Med* 4: 166-170.

Abb. 12: Zusammenhänge zwischen Risikofaktoren und Verletzungsmechanismus

Zur Übersicht empfiehlt es sich, die Risikofaktoren in innere und äussere Komponenten zu unterteilen.

4.2.1 Innere Risikofaktoren

A Anatomie

Folgende anatomische Unterschiede konnten bei Frauen im Vergleich zu Männern festgestellt werden:

- breiteres Becken und einen erhöhten Q-Winkel⁶ (Hewett, Myer & Ford, 2006).
- Grössere Antetorsion des Femurs.
- Ausgeweitete Tibiatorsion und subtalare Pronation.
- Kleinere Area intercondylaris und schmaleres VKB. Dieser engere Raum kann zu einem Impingement des VKB führen, wenn das Knie einem Valgusstress ausgesetzt wird (Silvers et al., 2007).

Es gibt aber keine Studie, die den direkten Zusammenhang zwischen Anatomie und VKB Verletzung beweist. Es ist sicherlich ein wichtiger beitragender Faktor. Viel wichtiger erscheint aber die dynamische Stabilität des Kniegelenks.

B Veränderungen in der Pubertät

Boden et al. (2000; zit. nach Hewett et al., 2006, S.300) fand heraus, dass die Differenz der VKB Verletzungsrate zwischen Mann und Frau während der Pubertät zunimmt. In dieser Zeit findet man etliche geschlechtsspezifische Unterschiede in der Entwicklung.

Zunahme von BMI

Vor allem Frauen zeigen mit zwölf Jahren eine starke Gewichtszunahme. Grösserer BMI bedeutet zudem eine grössere Gelenkbelastung. Bei Männern nimmt parallel zum Wachstum auch die muskuläre Koordination und Kraft zu. Daraus resultiert bei Männern eine bessere neuromuskuläre Kontrolle für die erhöhten Anforderungen. Frauen weisen eine mangelnde Anpassung an die erschwerten Bedingungen auf. So

⁶ © imedo GmbH (2009, *Information – Medizinlexikon: Q-Winkel* [On-Line]. Available: <http://www.imedo.de/medizinlexikon/q-winkel> (15.05.09)) beschreibt den Q-Winkel als der „zwischen dem Verlauf des Ligamentum patellae u. der Zugrichtung des Musculus quadrizeps bestehender Winkel von ca. 8°.“

gesehen spielen das chronologische Alter, die BMI Zunahme sowie die pubertäre Entwicklung eine Rolle für das VKB Verletzungsrisiko.

Biomechanische und neuromuskuläre Veränderungen

Während der Pubertät zeigen Tibia und Femur ein starkes Längenwachstum. Dies führt zu grösseren Drehmomenten im Knie und erfordert eine vermehrte muskuläre Kontrolle. Durch das Längenwachstum kommt zudem der Körperschwerpunkt höher gelegen, was eine zusätzliche Anforderung für die Muskulatur bedeutet.

Erhöhte Band- und Muskellaxität

Frauen weisen eine erhöhte Bandlaxität im Vergleich zu Männern auf: sie zeigen mehr genu recurvatum und bessere Möglichkeiten zu Hand-Bodenkontakt. Dies ist ein markanter Risikofaktor, zumal Frauen mit erhöhter Bandlaxität ein 2.7mal höheres Risiko für VKB Rupturen aufwiesen als solche ohne. Die Bandlaxität wirkt sich nämlich nicht nur auf die Kniehyperextension aus, sondern auch auf eine erhöhte mediale Aufklappbarkeit.

Boden et al. (2000; zit. nach Hewett et al., 2006, S.301) fand heraus, dass VKB Verletzte eine mehrfach erhöhte Laxität der Hamstrings aufwiesen. Diese Laxität führt zu einer verspäteten Muskelaktivierung, was in einer mangelhaften Kokontraktion von Quadriceps und Hamstrings resultiert. Somit ist die dynamische Stabilität des Kniegelenks, v.a. während des initial contact reduziert.

Er stellte weiter fest, dass der geschlechtsspezifische Unterschied der Dehnbarkeit der Muskulatur sich erst nach der Pubertät herauskristallisiert. Bei Männern nimmt die Laxität im Alter ab, wobei sie bei Frauen nach der Pubertät zunimmt. Erschwert wird die neuromuskuläre Kontrolle durch den extremen Gewichts- und Wachstumsschub während der Pubertät. Die daraus mangelnde dynamische Stabilität ist sicherlich ein wichtiger beitragender Faktor.

Erhöhte anteriore Translation der Tibia

Frauen wiesen im Vergleich zu Männern eine erhöhte anteriore Tibiatranslation auf. Diese lässt sich nicht nur auf die verstärkte Bandlaxität zurückführen, sondern ist auch Resultat der mangelhaften Synergien von den Hamstrings und des Quadriceps.

Stabilisieren die Muskulatur und der Bandapparat das Knie ungenügend kommt es zu einer vermehrten pa Translation und somit zu einem Stress auf das VKB (Hewett et al., 2006).

Erhöhte Fusspronation und Absenkung des Os naviculare

Die weibliche Bandlaxität wirkt sich auch auf den Fuss aus: Es führt zu einer Absenkung des Os naviculare, was wiederum das Alignment der unteren Extremität beeinflusst und in einer pa Translation der Tibia resultiert. Trimble et al. (2002; zit. nach Hewett et al., 2006, S.301) zeigten, dass die Absenkung des Os naviculare ein wesentlicher Risikofaktor ist. Er nahm einen Zusammenhang zwischen erhöhter subtalarer Pronation und pa Translation der Tibia an. Ebenso schloss Loudon et al. (1996, zit. nach Hewett et al., 2006, S.302) auf eine Verbindung zwischen kontaktfreier VKB Verletzung und einer Überpronation des Fusses.

C Hormonelle Unterschiede

Die geschlechtsspezifischen Differenzen nach der Pubertät sind hauptsächlich auf die unterschiedliche hormonelle Entwicklung zurückzuführen. Aus diesem Grunde wurde der Einfluss der weiblichen Hormone eingehend untersucht (Abb.13):

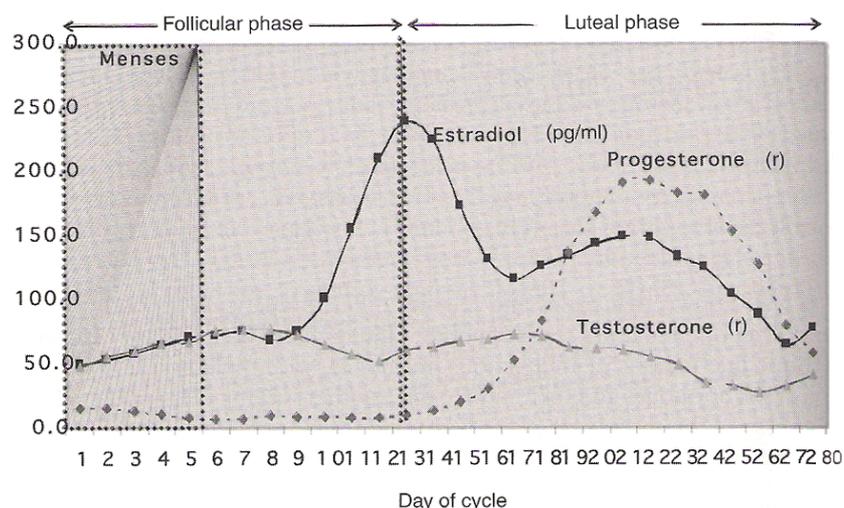


FIGURE 19.1 An exemplar graph showing the general phases of a 28-day menstrual cycle and the relative changes in estrogen, progesterone, and testosterone.

Abb. 13: Hormonspiegel während eines Menstruationszyklus

Diverse Ergebnisse unterstreichen die Signifikanz des Östrogens auf die VKB Verletzungsrate:

- Wojtys (1998; zit. nach Hewett et al., 2006, S.302) stellte eine erhöhte VKB Rupturrate während der Eisprungphase und eine verminderte während der Follikelphase fest. Aus diesen Ergebnissen und der Abb.13 schlussfolgernd, ginge das erhöhte Risiko einer VKB Ruptur mit einem erhöhten Östrogenspiegel einher.
- Booth und Tipton (1970; zit. nach Hewett et al., 2006, S.302) zeigten, dass Estradiol (gehört zur Kategorie der Östrogene) die Bandstärke signifikant herabsetzt und Relaxin die Gewebespannung reduziert. Die daraus resultierende erhöhte Laxität würde mit dem Anstieg der VKB Verletzungsrate einhergehen.
- Östrogen beeinflusst die neuromuskuläre Kontrolle direkt und indirekt. Es hat einen messbaren Einfluss auf die Muskelfunktion und die Bandzugfestigkeit. So zeigte Sarwar et al. (1996; zit. nach Hewett et al., 2006, S.303) eine Zunahme der Quadrizepskraft und eine reduzierte Muskelentspannung während des Eisprungs – was mit einem erhöhten Östrogenspiegel korreliert.
- Lebrun (1994; zit. nach Hewett et al., 2006, S.303) stellte den Einfluss von Östrogen auf das ZNS fest: er deckte Unterschiede bezüglich isokinetischer Kraft, anaeroben und aeroben Kapazität und Hochleistungsausdauer bei weiblichen Athleten während verschiedenen Zyklusphasen auf. Dies unterstützt die These der reduzierten Stabilität des Kniegelenkes während der Follikelphase.

Während der erhöhten Progesteronproduktion in der Lutealphase - Zeitspanne vom Eisprung bis zur Monatsblutung - zeigen Fussballerinnen eine erhöhte VKB Unfallhäufigkeit.

Diese Untersuchungsergebnisse beleuchten den Einfluss von weiblichen Hormonen bezüglich der Kniestabilität. Sie sind aber mit Vorsicht zu geniessen, da Studien gegenteilige Resultate liefern. So kann man schlussfolgernd von den weiblichen Hormonen lediglich als beitragender und nicht als ausschlaggebender Faktor auf das VKB Verletzungsrisiko sprechen.

Im Weiteren wurde der Einfluss von oralen Verhütungsmitteln untersucht. Da diese die Östrogen- und Estradiolspitzenwerte reduzieren, vermindern sie auch den

hormonellen Einfluss auf die dynamische (neuromuskuläre Kontrolle) und passive (Bandlaxität) Kniestabilität. Aus diesem Grund gibt es Daten, die eine Verschreibung von Verhütungsmitteln zur Reduktion von VKB Verletzungen empfehlen.

D Neuromuskuläre Faktoren

Studien belegen Differenzen zwischen weiblichen und männlichen Rekrutierungs- bzw. Innervationsmustern.

Agonist – Antagonist Beziehung, unterschiedliches Timing der Muskelaktivierung

Eine Kokontraktion der Hamstrings und des Quadriceps gewährleistet die dynamische Stabilität des Kniegelenks und schützt es vor anteriorer Translation der Tibia und Varus- bzw. Valgusstellung im Knie. Defizite in der Aktivierung der Hamstrings führen zu einer erhöhten Belastung der passiven Strukturen, wie z.B. das VKB im Knie.

Wojtys et al. (2003; zit. nach Hewett et al., 2006, S.303) stellte bei Frauen sowohl im entspannten wie auch im aktiven Zustand eine erhöhte Tibiaausserrotation fest. Diese Rotation im Kniegelenk bedeutet eine erschwerte Ausgangsposition zur Aktivierung der dorsalen Muskulatur, womit die Stabilität mangelhaft ist.

Männer haben im Vergleich zu Frauen die dreifachen Flexionskraftmomente bei einem Lande- oder Abbremsmanöver, was mehr Stabilität bedeutet. Arms et al. (1984; zit. nach Hewett et al., 2006, S.303) stellte fest, dass der Stress des Quadriceps auf das VKB durch die anteriore Zugkraft bis 45° Kniebeugung zu, und ab 60° wieder abnimmt. Sprich: Eine grössere Knieflexion reduziert die anteriore Zugkraft des Quadriceps und somit die Belastung auf das VKB. Auch Zazulak et al. (2005; zit. nach Hewett et al., 2006, S.303) stellte bei Frauen eine erhöhte Rekrutierung des M.rectus femoris während des precontact bei der Landung fest. Dadurch wird das Knie mehr in Streckung gehalten, die Gewichtsabsorption ist reduziert und der Stress auf das VKB nimmt zu.

Weitere elektromyographische Untersuchungen unterstreichen das geschlechtsspezifische neuromuskuläre Ungleichgewicht zwischen Quadriceps- und Hamstringsaktivierung bei Frauen: Malinzak et al. (2001; zit. nach Hewett et al.,

2006, S.303) verglich Kniebewegungsmuster bei weiblichen und männlichen Athleten. Weibliche Athleten zeigten weniger Knieflexion und einen grösseren Valgus bei der Landung und der Bremsbewegung. Seine Studie belegte zusätzlich die erhöhte Quadricepsaktivität kombiniert mit dem Defizit der Hamstrings bei Frauen. Zudem aktivieren sie ihre Hamstrings im Durchschnitt 50ms später als Männer (200 vs 150ms) und mit weniger Intensität (55.2% vs 71.8% beim initial contact) (Silvers et al., 2007).

Rozzi et al. (1999; zit. nach Hewett et al., 2006, S.304) stellte bei einem Landemanöver bei Frauen ein vier zu eins Verhältnis der lateralen zur medialen Hamstringsaktivierung fest. Kombiniert man dies mit der von Myer et al. (2005; zit. nach Hewett et al., 2006, S.305) untersuchten reduzierten medialen Quadricepsaktivierung, resultiert daraus eine starke Valgisation des Kniegelenks. Diese Valgisation bewirkt ein Aufklaffen im medialen und eine verstärkte Kompression im lateralen Kompartiment des Kniegelenkes und bedeutet zusätzlichen Stress auf das VKB. Als Fazit daraus ist anzunehmen, dass das männliche Aktivierungsmuster zu mehr Synchronität führt um ein Landemanöver ausreichend zu stabilisieren.

So kann zusammenfassend gesagt werden, dass das Defizit bei der Landung die anteriore Translation, die Tibiaausserrotation und den Valgus zu kontrollieren, auf ein Ungleichgewicht zwischen Hamstrings- und Quadricepsaktivierung zurückzuführen ist. Eine mangelnde Fähigkeit das Kniegelenk in diese drei Bewegungsrichtungen zu stabilisieren, erhöht das Risiko einer VKB Verletzung markant.

Reduzierte Propriozeption

Das VKB ist mittels spezifischen Mechanorezeptoren innerviert. Es registriert sowohl Drehbewegungen als auch Verlängerung, was bei einer anterioren Translation oder einem Valgus der Fall ist. Nichols (2002; zit. nach Hewett et al., 2006, S.304) und Chemielewski (2002; zit. nach Hewett et al., 2006, S.304) zeigten eine Synergistenaktivierung von Hamstrings und Quadriceps wenn das VKB eine Verlängerung, bzw. eine Drehbewegung meldet. Dieses „Feuerungsmuster“,

ausgehend von der Aktivierung der VKB Mechanorezeptoren hin zur Kokontraktion der stabilisierenden Kniemusculatur, kann mittels neuromuskulärem Training verändert werden. Frauen weisen im Vergleich zu Männern also propriozeptive Defizite auf – gemessen an der dynamischen Stabilität des Einbeinstandes.

Voraktivierung der schützenden Muskulatur

Das Aktivierungsmuster der unteren Extremität unterscheidet sich stark bei geplanten oder unerwarteten Bewegungen. Bei geplanter Landung ist die Muskulatur der unteren Extremität beim Fersenkontakt 40 – 80% aktiviert. Elektromyographische Untersuchungen zeigten bei Frauen eine erhöhte Voraktivierung des Quadriceps. Dies verstärkt einerseits die anteriore Zugkraft auf das VKB, stellt aber auch ein erhöhtes Valgus-Alignment beim initial contact dar. Daraus resultiert wiederum eine mangelhafte dynamische Kniestabilität.

Verstärkte Ermüdung

Wojtys et al. (2003; zit. nach Hewett et al., 2006, S.305) untersuchte den Zusammenhang zwischen Ermüdung und neuromuskulärer Aktivierung bei der unteren Extremität. Er stellte keinen Unterschied bezüglich der Reihenfolge der Muskelaktivierung fest, jedoch eine erhöhte Tibiatranslation nach anterior. Unterstrichen wird dieses Ergebnis von elektromyographischen Daten, welche eine verzögerte Aktivität der Hamstrings belegen. Diese Verzögerung bewirkt die mangelnde Stabilisation des Kniegelenks nach anterior und endet in einer zusätzlichen Belastung auf das VKB.

E Biomechanische Faktoren

Sagittalebene

Die Flexion im Kniegelenk bei VKB Unfällen variierte stark, was beweist, dass diese das Risiko nicht massgebend beeinflusst. Mc Lean (2004; zit. nach Silvers et al., 2007, S.306) und Olsen et al. (2005; zit. nach Silvers et al., 2007, S.305) sind sich einig, dass VKB Verletzungen nahe der vollen Extension (0-30° Flexion) stattfinden. Jedoch genügen die Kräfte rein in der Sagittalebene nicht für eine Verletzung, da die Muskel- und Gelenkmechanik in dieser Ebene den Bandapparat schützt.

Zazulak et al. (2005; zit. nach Hewett et al., 2006, S.305) fand eine reduzierte M.gluteus maximus Aktivität bei Frauen, was die Hüftstabilität reduziert. Zusätzlich fand Decker et al. (2003; zit. nach Hewett et al., 2006, S.305) heraus, dass Männer durch mehr Aktivität der Hüftmuskulatur die Bodenreaktionskräfte bei der Landung besser absorbieren können.

Frontalebene

Die geschlechtsspezifischen Bewegungsunterschiede in der Frontalebene sind ein massgebender Prädiktor für VKB Verletzungen: Das Ausmass des Knievalgus sagt eine Verletzung mit 73% Sensitivität und 78% Spezifität voraus. Die Valgisation war um acht Prozent grösser bei VKB Verletzten als bei gesunden Probanden. Der Valgus lässt sich aber nicht alleine auf das Knie reduzieren, sondern bezieht sich auf alle drei Gelenke der unteren Extremität:

- 1) Eine Adduktion und Innenrotation im Hüftgelenk. Ford et al. (2003; zit. nach Hewett et al., 2006, S.306) untersuchte die Stabilisation des Beines bei der Landung und fand bei Frauen eine reduzierte Hüftflexion und eine grössere Hüftadduktion. Die erhöhte Adduktion lässt sich aus der verminderten Aktivität der Glutealmuskulatur herleiten und führt weiterlaufend zu einem Valguskollaps im Kniegelenk. So ist eine ausreichende Aktivierung der Glutealmuskulatur relevant zur Stabilisation der Beinlängsachse und zur Verhinderung einer Knievalgisation.
- 2) Eine Abduktion (Valgus), Tibiaausserrotation und anteriore Translation im Kniegelenk.
- 3) Eine Eversion im Fussgelenk. Ford et al. (2003; zit. nach Hewett et al., 2006, S.306) stellte bei Frauen eine erhöhte Eversion fest. Diese führt weiterlaufend zu einem Knievalgus, anteriorer Tibiatranslation und somit einem Stress auf das VKB.

Transversalebene

Besier et al. (2001; zit. nach Hewett et al., 2007, S.307) stellte v.a. bei unerwarteten Bewegungsmanövern ein erhöhtes Rotationspotential im Kniegelenk fest, woraus er ein erhöhtes Unfallrisiko schloss. Auch in dieser Ebene ist das Hüftgelenk mit seiner

stabilisierenden Muskulatur eine relevante Komponente: Lephart et al. (2002; zit. nach Hewett et al., 2006, S.307) zeigte bei Athletinnen eine erhöhte Hüftinnenrotation, was mit der von Zazulak et al. (2005; zit. nach Hewett et al., 2006, S.307) gefundenen reduzierten elektromyographische Aktivität des M.gluteus maximus einhergeht. Der M.gluteus maximus stabilisiert das Hüftgelenk bezüglich Aussenrotation, Extension und Abduktion. Bei ungenügender Aktivität lässt sich somit die erhöhte Femurinnenrotation ableiten.

F Vorangegangene Verletzungen

Vorangegangene VKB Verletzungen stellen einen signifikanten Parameter für ein erneutes Trauma dar. Für das VKB ist die Wahrscheinlichkeit einer Läsion der kontralateralen Seite jedoch häufiger als eine Reruptur. So fand Shelbourne et al. (1986; zit. nach Silvers et al., 2007, S.53) in einem von 26 Fällen eine Ruptur des kontralateralen VKB's und nur in einem von 38 Fällen eine Reruptur. Auch Boden et al. (2000; zit. nach Hewett et al., 2006, S.307) kam zum Ergebnis der Wahrscheinlichkeit einer kontralateralen Läsion von 10%. Dunn et al. (2004; zit. nach Hewett et al., 2006, S.307) untersuchte den Zusammenhang zwischen der Art der Nachbehandlung und der Häufigkeit einer Reruptur. Das Risiko einer erneuten Läsion erwies sich bei operativ Nachbehandelten markant tiefer als bei konservativ Therapierten. Speziell bei jüngeren Patienten erwies sich eine konservative Therapie als ungenügend und musste zu einem späteren Zeitpunkt operativ versorgt werden.

G Neuromuskuläre Kontrolle des Rumpfes

Hodges und Richardson (1997; zit. nach Zazulak, Hewett, Reeves, Goldberg & Cholewicki, 2007, S.1124) untersuchten den Einfluss von inadäquater neuromuskulärer Rumpfkontrolle auf Knieverletzungen. Sie nahmen an, dass sich eine mangelnde Rumpfkontrolle auf die dynamische Stabilität der unteren Extremität auswirkt, indem es zu einer Valgisation des Knies und somit zu einer Zugbelastung auf das VKB kommt. Die Rumpfstabilität wurde als Fähigkeit den Rumpf gegen externe Störungen im Gleichgewicht zu halten definiert.

Die Studie belegt dass die Rumpfstabilität meist vor der Aktivierung der Muskulatur der unteren Extremität aufgebaut wird. Hodges und Richardson (1997; zit. nach Zazulak et al., 2007, S.1124) schlossen daraus, dass das ZNS durch die Aktivierung des M.transversus abdominis und der M.multifidi zuerst eine stabile Basis schaffen möchte, um Bewegungen der unteren Extremität gewährleisten zu können. Die Studie zeigt zudem, dass bei Frauen, die an einem neuromuskulären Rumpftraining teilnahmen, das Knieverletzungsrisiko um 72% gesenkt werden konnte.

So kann eine mangelnde Rumpfkontrolle wie auch eine LBP⁷ Geschichte als relevanter Risikofaktor für eine VKB Verletzung bei Frauen betrachtet werden. LBP resultiert in einer stark veränderten Rumpfmotorik, verspäteten Muskelreflexen und falschen Muskelrekrutierungsmustern. Frauen mit einer LBP Geschichte zeigen ein dreifach höheres Knieverletzungsrisiko.

4.2.2 Äussere Risikofaktoren

A Unerwartete Bewegungen oder Situationen

Obwohl die Anzahl Trainingstage fünfmal mehr war als diejenige der Spieltage, war die Unfallrate an Wettkampftagen deutlich höher. Dies lässt sich auf die Tatsache zurückführen, dass Athletinnen an Spielen viel öfters auf unerwartete Situationen reagieren müssen als im Training. Dieser Aspekt verdeutlicht die psychologische Belastung während Wettkämpfen. Gerade hier wird dann das festgestellte Defizit an sensomotorischer Kontrolle und verzögerter Muskelaktivierung der Frauen deutlich, indem die Gelenke mangelhaft stabilisiert werden.

B Schuhwerk

Bezüglich Schuhdesign wurde herausgefunden, dass der Reibungskoeffizient zwischen Sohle und Spieluntergrund ein wichtiger Parameter darstellt. Eine hohe Reibung bedeutet bessere Spitzenleistung bezüglich Abbremsmanöver oder Richtungswechsel. Gleichzeitig erhöht sich aber auch die Bandverletzungsgefahr

⁷ LBP = Low back pain

durch die Möglichkeit abrupter Stoppbewegungen. So gilt es den optimalen Reibungskoeffizienten zu finden, in dessen Bereich die Leistung optimiert, die Verletzungsgefahr jedoch minimiert wird. Weitere ausführlichere Forschungen zu diesem Faktor sind sicherlich angebracht (Silvers et al., 2007).

C Spieluntergrund

Athletinnen wiesen auf Kunstboden ein höheres VKB Verletzungsrisiko auf als auf Parkettboden. Dieses Resultat lässt sich auf die erhöhten Reibungskräfte des Kunstbodens zurückführen: Abruptere Stoppbewegungen sind möglich und erfordern ein schnelleres Reagieren der stabilisierenden Muskulatur. Noch höher war das Risiko auf Grasboden und unebenem Gelände – auch dies ist auf die erhöhte propriozeptive Anforderung zurückzuführen.

D Wetter und Klima

Orchard und Powell (2003; zit. nach Silvers et al., 2007, S.54) stellten eine kleinere VKB Unfallrate bei kaltem Wetter fest. Dieses Ergebnis korreliert mit dem bei niedrigerer Temperatur geringeren Reibungskoeffizient.

Schlussfolgerung

Das erhöhte VKB Verletzungsrisiko bei Frauen erweist sich als multifaktorielles, muskuloskelettales Ungleichgewicht. Die Untersuchungen zeigen zahlreiche physische wie auch psychische Parameter (Wettkampfdruck), die die Unfallrate beeinflussen. So sind zahlreiche geschlechtsspezifische Merkmale zu nennen, welche das Verletzungsrisiko erhöhen. Dabei kristallisiert sich die neuromuskuläre Kontrolle der Beinlängsachse, wie auch des Rumpfes, als wichtiger und am besten beeinflussbarer Faktor heraus. Auch wenn man den Schwerpunkt auf die beeinflussbaren Parameter legen soll, darf man die anderen Risikofaktoren nicht ausser Acht lassen. Gerade bei Athletinnen in der Pubertät, die etliche anatomische und hormonelle Änderungen erfahren, gilt es zum richtigen Zeitpunkt die passenden Interventionen durchzuführen. So können die durch Hormone genannten

muskuloskelettalen Änderungen, die sowohl die passive als auch dynamische Gelenkstabilität reduzieren, durch korrektes Training verbessert werden.

Es wurde bewiesen, dass neuromuskuläres Training bei Athletinnen die aktive Kniestabilisierung verbessert und die VKB Unfallrate reduziert. Propriozeptives Training führt zu neuromuskulären Anpassungen, die in einem Gebrauch von sicheren muskulären Gelenkstabilisationsmustern während der pre- und midstance resultiert. Dieses Training erlaubt Frauen, ihre Aktivierungsmuster so zu verbessern, dass das Gelenkspiel reduziert wird und das VKB vor starken Landungsimpulsen besser geschützt ist (Hewett et al., 2006).

Die Autoren möchten abermals betonen, dass zu allen Risikofaktoren weitere Untersuchungen nötig sind, um deren Zusammenhang zu den Verletzungen mit statistischer Signifikanz zu belegen.

5 Relevante Komponenten eines Präventionstrainings

Risikofaktoren und Unfallmechanismus wurden in diversen Studien sehr genau untersucht, um die Ursachen für Verletzungen und den Verletzungsmechanismus zu verstehen. In dieser Arbeit unter Punkt vier wurden auf die meist diskutierten inneren und äusseren Faktoren eingegangen. Ein aus diesen Bestandteilen aufbauendes Training ist vor allem für die Prävention von berührungsfreien VKB Verletzungen sinnvoll, da der Athlet auf diese am ehesten selbst Einfluss nehmen kann. Gemäss Boden et al. (2000; zit. nach Olsen, Myklebust, Engebretsen & Bahr, 2004, S.1002) sind sogar 72% der VKB Verletzungen in Risikosportarten auf berührungsfreie Unfallmechanismen zurückzuführen. Verletzungen unter äusserer Gewalteinwirkung sind nicht vorhersehbar und treten unabhängig vom Sportler und dessen individuellen Risikofaktoren auf. Nach Hewett, Shultz & Griffin (2007) soll ein Training auf die korrekte Ausrichtung des Knies und die Kontrolle der auf das Knie einwirkenden Kräfte auszielen, damit die Belastung auf das VKB reduziert werden kann. Die anatomischen Risikofaktoren können zwar nicht alle durch Training positiv beeinflusst werden, sie ermöglichen aber laut Hewett, Myer & Ford (2006) die Erkennung von Sportlern mit einem erhöhten Risiko für VKB Verletzungen. Die so identifizierten Sportler können individuell gefördert werden und von einem gezielten - eventuell auf sie persönlich abgestimmten - Training viel profitieren.

Letztes Jahr veröffentlichte Renstrom, Ljungqvist, Arendt, Beynnon, Fukubayashi (2008) im British Journal of Sports Medicine ein Bericht von einem international olympischen Komitee. Darin wurde das aktuelle Wissen über die VKB Verletzungen und deren Präventionsmassnahmen von einem multidisziplinären Team und VKB Spezialisten zusammengetragen. Obwohl die untersuchten Studien das Thema Prävention z.T. sehr unterschiedlich angegangen sind und auch die Studiendesigns variieren, assistieren diese Informationen um gemeinsame Elemente der erfolgreichen Programme zusammenzutragen. Komponenten wie Dehnen, Kräftigen, Förderung des Bewusstseins über Risikopositionen, Anpassung von Techniken, Konditionstraining, Training sport-spezifischer Fähigkeiten, plyometrische Übungen, sowie propriozeptives- und Gleichgewichtstraining waren Teil dieser Programme.

Im Folgenden werden die relevantesten Elemente die in den Studien untersucht wurden aufgeführt und erläutert. Ist nichts zusätzlich erwähnt, nahmen an den Studien Fussballerinnen im Alter zwischen 14-25 Jahren teil.

5.1 Schulung des Bewusstseins

Ettlinger et al. (1995; zit. nach Renstrom et al., 2008, S.405) studierte die Schulung zum vergrösserten Bewusstsein von Hoch-Risiko-Positionen bei Abfahrts-Skifahrern. Er konnte eine signifikante Reduktion von VKB Verletzungen in den trainierten Teilnehmern erreichen. Über Videoaufnahmen wurde der Verletzungsmechanismus des VKB's detailliert analysiert und die Sportler anschliessend dazu aufgefordert das neue Wissen sogleich bei der Ausführung des Sports zu integrieren. Im eigentlichen Bewusstseins-Training wurde versucht der Interventionsgruppe ein Gefühl für die korrekte Körperposition zu verleihen und sie wurden mit Tipps ausgerüstet, die ihnen halfen Hoch-Risiko-Situationen richtig zu managen.

Die Studie wurde zwar mit Skifahren durchgeführt, aber möglicherweise könnten ähnliche Effekte in anderen Sportarten erzielt werden. Vermutlich ist es auch durchaus angebracht die visuelle Schulung mit praktischen Übungen zu kombinieren, um die Bildung des Bewusstseins für solche Positionen zu fördern.

5.2 Kräftigung und Kondition

Die Metaanalyse von Hewett et al. (2006) verglich sechs Studien mit Präventions-Programmen, welche sich zum Ziel setzten die Anzahl VKB Verletzungen zu reduzieren und stellte diese Programme einander gegenüber. Zwei der insgesamt drei Studien die das VKB Verletzungsrisiko signifikant reduzierten, beinhalteten ein Krafttraining. Da aber eine Studie auch ohne Kraftkomponente effektive Ergebnisse lieferte, muss die Kräftigung folglich als additional angesehen werden.

Konditionstraining allein konnte aber zu keiner VKB Verletzungsreduktion führen. Möglicherweise kann es aber Verletzungen, die auf die Anpassungen von Knochen, Bändern und Sehnen, welche aus diesem Training resultieren, reduzieren. Es ist also

am Besten es in Kombination mit anderen Komponenten in ein Programm zu integrieren.

5.3 Schulung der Technik

Drei der Interventionen die Hewett et al. (2006) in seiner Metaanalyse untersuchte, versuchten über die Analyse des biomechanischen Bewegungsablaufes und durch gezieltes Feedback über Körperposition und Technik des Athleten während dem Training, zu einer Senkung von VKB Verletzungen zu kommen. Trainer, Partnertraining oder ein Video wurden verwendet, um das Bewusstsein der Sportler über die gefährlichen Positionen zu verstärken und sie gleichzeitig für die richtige Technik zu schulen. Es wurde eine signifikante Reduktion der VKB Verletzungsrate erreicht.

Henning (1990; zit. nach Renstrom et al., 2008, S.405) führte ein neuromuskuläres Trainingsprogramm über acht Jahre mit Basketballerinnen durch. Er wollte mit der Änderung der Technik die grosse anteriore Scherkraft des Quadriceps auf die Tibia und damit den Zug auf das VKB vermindern. Dafür lehrte er den Athleten während Schneidemanövern, Landungen und bei Abbremsbewegungen vermehrt in die Knie- und Hüftflexion zu gehen. Die Hamstrings können in diese Ausgangstellung über die Kokontraktion mit dem Quadriceps, dessen einwirkende Kraft auf die Tibia reduzieren. Henning liess auch den Ein-Schritt-Stopp durch ein Mehr-Schritt-Abbrems-Manöver ersetzen. Die bei diesem Manöver auf das Knie einwirkenden Kräfte können so auf mehrere Schritte verteilt werden und entlasten wiederum das VKB. Er erzielte mit diesem Training eine 89% Reduktion der VKB Verletzungsrate in der Interventionsgruppe. Die Veröffentlichung der Studie wurde aber durch das Ableben Dr. Hennings verhindert. Obwohl dieses Training an Basketballerinnen getestet wurde, kann man davon ausgehen, dass auch Fussballerinnen im selben Alter und demselben Niveau von diesem Programm profitieren könnten, da sich die Risikopositionen unter diesen zwei Sportarten nicht unterscheiden.

5.4 Technik und Plyometrie

Vier der sechs von Hewett et al. (2006) in seiner Metaanalyse untersuchten Studien, die Knieverletzungen im Allgemeinen signifikant reduzierten, beinhalteten eine plyometrische Komponente, in Form von intensiven plyometrischen Sprungübungen. Die Plyometrie trainiert den Dehn-Verkürzungs-Zyklus des Muskels und beeinflusst somit nicht nur den Muskel, sondern auch das dazugehörige Bindegewebe und das Nervensystem. Der Schwerpunkt lag auch bei diesen Trainings auf der sauberen Ausführung der Technik. Konkret sollte bei der Landung auf eine korrekte Beinlängengachse geachtet werden.

Die Studie von Irmischer et al. (2004; zit. nach Renstrom et al., 2008, S.406) konnte nach einer Saison keinen relevanten Unterschied zwischen den Interventions- und den Kontrollgruppen finden. Sein selbstentwickeltes KLIP⁸ wurde über neun Wochen von den Athletinnen jeweils am Ende des regulären Trainings durchgeführt. Laut Pfeiffer, Shea, Roberts, Grandstrand & Bond (2006) wurde auch in diesem Programm grossen Wert auf die korrekte Beinachse während den Übungen gelegt. Als Hauptgrund für den fehlenden Effekt kann die neuromuskuläre Ermüdung in Erwägung gezogen werden. Beeinflusst wird dies nicht nur durch die vermutlich ungenaue, eventuell sogar fehlerhafte Ausführung der Übungen nach dem Training, sondern auch durch die bereits erschöpften Muskeln, die in diesem Zustand nicht mehr im selben Ausmass von einem Training profitieren können.

5.5 Propriozeptions-/ Gleichgewichtstraining

Ein progressives Fünf-Phasen-Gleichgewichtstraining wurde von Caraffa et al. (1996; zit. nach Renstrom et al., 2008, S.405) zusätzlich zum normalen Training in ein vorsaisonelles Training bei Fussballern eingebaut. Das 20minütige Training auf verschiedenen Gleichgewichtsbrettern musste in der Vorsaison an zwei bis sechs Tagen pro Woche und während der Saison mindesten dreimal pro Woche durchgeführt werden. Die Gruppen wurden über drei Jahre begleitet und zeigten zufolge Caraffa et al. (1996; zit. nach Hewett et al., 2007, S.63) eine Reduktion von

⁸ KLIP = Knee Ligament Injury Prevention

87% von berührungsfreien VKB Verletzungen in der trainierten Gruppe im Vergleich zur Kontrollgruppe.

Soderman et al. (2000; zit. nach Hewett et al., 2006, S.495) versuchte dieses Training mit Fussballerinnen zu wiederholen, konnte aber keinen Erfolg verzeichnen. Mögliche Ursachen für den mangelnden Erfolg kann sowohl die zu kleine Teilnehmeranzahl - die zur Erreichung statistischer Signifikanz notwendig wäre – als auch die Durchführung des nicht sehr intensiven Trainings als Heimprogramm sein.

Laut der Metaanalyse von Hewett et al. (2006), erwies sich Gleichgewichtstraining nur in Verbindung mit funktionellem Gleichgewicht, wie z.B. von gehaltenen Positionen nach abgebremsten Landungen, oder in Kombination mit Bewusstseinsübungen im Stand etc., als effektiv zur Reduktion der VKB Verletzungsrate. Es ist demzufolge sinnvoll, ein propriozeptives Stabilitäts- und Gleichgewichtstraining mit anderen Elementen in einem Training zu kombinieren, da ausschliessliches Gleichgewichtstraining möglicherweise nicht so effektiv zu sein scheint.

5.6 Umfangreiches Training

Das Frappier Acceleration Training Programm wurde von Heidt, Sweeterman, Carlonas, Traub & Tekulve (2000) bei Fussballerinnen als Vorsaison-Programm über sieben Wochen angewendet und die Teilnehmer über ein Jahr begleitet. Cardio-vaskuläres Konditionstraining, plyometrische und sportspezifische Aktivitäten, sowie Kraft- und Dehnungsübungen waren Bestandteile des Programms. Die Übungen wurden auf jeden Sportler und dessen Bedürfnisse, wie z.B. Spielerposition, Stärken und Schwächen, individuell angepasst. Einen statistisch signifikanten Unterschied konnte bezüglich der VKB Verletzungen nicht erreicht werden. Vermutlich aufgrund der kleinen Teilnehmeranzahl in der Interventionsgruppe im Vergleich zu ihren Kontrollathleten. Der Ansatz des spezifisch für den Sportler zugeschnittenen Trainings mag wohl bezüglich der Kostenfrage eher negativ ins Gewicht fallen, wäre aber die Ideallösung um die Individualität jedes Einzelnen zu berücksichtigen.

Hewett et al. (1999; zit. nach Renstrom et al., 2008, S.406) testete das Cincinnati Sportsmetric Programm. Dreimal wöchentlich, jeweils an alternierenden Tagen,

wurde das Programm von den Athletinnen durchgeführt. Es besteht aus einem in drei Phasen aufgeteiltem Sprung Training, sowie Dehnungen und Kräftigungsübungen. Vor den plyometrischen Übungen wurde gedehnt und anschliessend an das Sprungtraining noch 15min gekräftigt. Wert gelegt wurde auch hier auf eine korrekte Ausführung der Übungen. Das ganze Training nimmt mit seinen ungefähr 60-90min sicherlich sehr viel Zeit in Anspruch, da berücksichtigt werden muss, dass neben diesem Training auch noch sportspezifische Aktivitäten trainiert werden müssen. Nach Hewett, Lindenfeld, Roccobene & Noyes (1999) konnte bewiesen werden, dass dieses Programm die Varus-Valgus-Momente verkleinert und die Kraft der Hamstrings verbessert. Das heisst im Konkreten, dass es zwei wichtige Risikofaktoren stark positiv beeinflusst und so zur Stabilisierung des Kniegelenks massgeblich beiträgt. Daher scheint es auch nicht verwunderlich, dass dieses Programm die berührungsfreien VKB Rupturen in der weiblichen Interventionsgruppe im Vergleich zu ihrer weiblichen Kontrollgruppe signifikant reduzieren konnte.

Im Jahre 1999 wurde das PEP⁹ in Kalifornien von Experten auf diesem Gebiet entwickelt. Es benötigt keine zusätzliche Ausrüstung und kann als 20min Aufwärmprogramm vor dem Training durchgeführt werden. Komponenten des Programms sind Kräftigung, Beweglichkeit, Gewandtheit, plyometrische und propriozeptive Aktivitäten. Es soll beim Training jeweils auf die korrekte Ausführung der Übungen geachtet werden. Im konkreten möchte man beim Abbremsmanöver den Multi-Schritt-Stopp anwenden und für eine gute Landungstechnik sorgen. Die Landung soll in vermehrter Knie- und Hüftflexion stattfinden und gut über die Füsse abgerollt werden. Da das Programm als Warm-Up durchgeführt werden kann, schliesst es gemäss Mandelbaum et al. (2005; zit. nach Renstrom et al., 2008, S.407) eine neuromuskuläre Ermüdung, die die Effekte von einem Training reduzieren würden, aus und bietet so einen langfristigen Erfolg. VKB Verletzungen wurden bei den trainierten Fussballerinnen im ersten Jahr zu 88% reduziert. Insgesamt über die zwei Jahre hinweg konnte eine 74% Reduktion erzielt werden. In anderen Worten heisst das, dass die Interventionsgruppe dreimal weniger berührungsfreie VKB

⁹ PEP = Prevent Injury and Enhance Performance

Verletzungen erlitt, als ihre Kontrollgruppe. Auch wurde festgestellt, dass in der zweiten Hälfte der Saison ein grösserer Unterschied bezüglich Verletzungen zwischen den beiden Gruppen zu finden war. Dies verstärkt die Hypothese, dass die neuromuskulären Effekte erst circa sechs bis acht Wochen später zum tragen kommen.

5.7 Zeitliche Planung der Intervention

Um die grösste Wirksamkeit eines solchen Trainings herauszuholen, stellt sich die Frage nach dem geeigneten Zeitpunkt und der Intensität des Trainings. Laut Renstrom et al. (2008) wäre der Einsatz von Präventionsprogrammen in manchen Sportarten im Alter zwischen sechs und zehn Jahren am Idealsten. Aus den Studien die Hewett et al. (2006) in seiner Meta-Analyse gegenüberstellte kam hervor, dass es am meisten Erfolg bringt, wenn das Training sowohl vor wie auch während der Saison durchgeführt wird und mindestens von mittlerer Intensität¹⁰ ist. Zwar wird durch das Vorsaison-Training viel Zeit investiert, doch diese kann dann während der Saison eingespart werden, indem das Training anschliessend in reduzierter Form fortgeführt wird. Ausserdem können die ersten neuromuskulären Anpassungen aus dem Vorsaison-Training bereits bis Saisonstart stattfinden.

Ein solches Präventions-Training soll grundsätzlich während der ganzen Ausführungszeit einer Sportart im professionellen Niveau durchgeführt werden, da Trainingseffekte bei Nichtgebrauch rasch verschwinden und so der Schutz vor Verletzungen nicht mehr im gleichen Masse gewährleistet werden kann.

5.8 Programm spezifisch

Wichtig für die Durchführbarkeit eines Präventionsprogramms ist nach Renstrom et al. (2008) nicht nur ob es die Übungen mit den effektivsten Resultaten beinhaltet, sondern ob die Kosten-Nutzen-Analyse auch positiv ausfällt. Schliesslich soll das Training nicht zu viel Zeit in Anspruch nehmen und möglichst keine oder teure

¹⁰ Mittlere Intensität: die Sportler fühlen sich nach dem Programm nicht immer noch erholt, sind aber auch nicht vollständig erschöpft (Hewett et al., 2006).

Ausrüstung benötigen, damit das Training auch für alle zugänglich bleibt. Das PEP Programm, wie unter „umfangreiches Training“ berichtet, sowie das Programm von Dr. Henning, das unter „Schulung der Technik“ beschrieben ist, können z.B. mit wenig Hilfsmitteln durchgeführt werden. Im Vergleich dazu benötigt das Frappier Acceleration Training Programm beispielsweise ein Laufband und andere erwähnte Programme brauchen Gleichgewichtsbretter.

Die am Kosten effektivste und effizienteste Art, die zur Reduktion von VKB Verletzungen führte, war gemäss Hewett et al. (2006) das Training während der Saison durchzuführen. Dazu muss ergänzt werden, dass wie bereits erwähnt, neuromuskuläre Veränderungen ungefähr eineinhalb Monate benötigen, bis sie stattgefunden haben und für den Sportler von Nutzen sind. Deshalb ist es sinnvoll das Training vor dem eigentlichen Saisonstart schon zu beginnen.

5.9 Compliance

Trainer die ein geeignetes Programm für ihre Sportler suchen, möchten zufolge Hewett et al. (2006) nicht nur ein Training das effektiv ist, sondern auch eines das die Spieler zur Teilnahme animiert. Denn das effektivste Programm nützt nichts, wenn es nicht (korrekt) durchgeführt wird. Er stellte in seiner Metaanalyse fest, dass die Compliance unter den verschiedenen Programmen sehr stark variierte. Diese Werte zur prozentualen Teilnahme an den Trainings kamen zum Einen durch die von der Studie definierten Ein- bzw. Ausschlusskriterien zustande. Sind die Einschlusskriterien eher schwierig zu erfüllen und werden konsequent überprüft, kann das in sehr schlechten Teilnahmezahlen resultieren und zu grossen Drop-Outs führen. Zum Anderen kann auch die Motivation der Sportler ein Grund für die schlechte Teilnahme an einigen Programmen gewesen sein. Um den Ansporn und die daraus resultierende bessere Mitarbeit der Athleten im Training zu erhöhen, sollte es neben den positiven Effekten auf das strukturelle Gewebe und die stabilisierenden Muskeln des Gelenkes, auch zur Leistungssteigerung der Sportler beitragen. Renstrom et al. (2008) empfiehlt daher noch sportspezifische Fähigkeiten, die die Ausdauer, Kraft und die dynamische Stabilisierung des Knies verbessern, in ein Präventionsprogramm mit einzubeziehen.

Schlussfolgerungen und zukünftige Forschungsrichtungen

In der Metaanalyse von Hewett et al. (2006) verglich er, wie bereits erwähnt, sechs Studien, die Präventions-Programme untersuchten, welche zur Reduktion der Anzahl VKB Verletzungen führen sollten. Die Studien waren beispielsweise betreffend den Studiendesigns, den Sportarten oder den Präventionsprogrammen zum Teil ziemlich heterogen. Deshalb wäre es von grosser Hilfe die Effektivität der einzelnen Trainingskomponenten zu untersuchen, damit klar wird, welche der jeweils integrierten Elemente tatsächlich zum Erfolg bzw. Misserfolg des Programms beigetragen haben. Die Studien sollten in Zukunft vermehrt auf die Teilnehmeranzahlen, eine einheitlichere Erfassung von Verletzungen und auf die Randomisierung der Sportler zur Interventions- beziehungsweise Kontrollgruppe achten. Trotzdem kann zusammenfassend gesagt werden, dass plyometrische Aktivitäten, sowie propriozeptives Training und Kräftigung Teil eines Programms sein sollen, welches mehr als einmal pro Woche und mindestens über einen Zeitraum von sechs Wochen durchgeführt wird.

Gemäss Renstrom et al. (2008, S.409) sollte der „drop-vertical-jump“-Test¹¹ zur Identifizierung von Sportlern mit einem VKB Verletzungsrisiko gebraucht werden. Elemente wie Kräftigung, neuromuskuläres Training, wie auch plyometrische Aktivitäten und Wendigkeitsübungen müssen Teil des Programms sein. Die Durchführung sollte seiner Meinung nach sowohl vor, während und nach der Saison stattfinden. Dabei ist die richtige Ausführung und Technik von grosser Bedeutung. Die Kontrolle der korrekten Beinachse bei Landungs-, Richtungsänderungs- oder Abbremsmanövern in leichter Knie- und Hüftflexion wird vorgeschlagen. Als Aufwärmprogramm nimmt ein solches Training nicht zuviel Zeit in Anspruch und fördert so die Compliance der Athleten. Fällt das Programm dann auch noch bezüglich des Kosten-Nutzen-Aufwands nicht negativ ins Gewicht, kann die Mitarbeit von Trainern, der Regierung als finanzielle Unterstützung, sowie anderer wichtigen Personen leichter erreicht werden.

¹¹ Drop-Vertical-Jump Test: Der Athlet lässt sich von einer etwas erhöhten Kiste nach vorne auf einen etwas tiefer liegenden definierten Punkt „fallen“ und wird aufgefordert sogleich so hoch wie er nur kann zu springen. Bei der Landung wird die Varus-Valgus Achse beurteilt und dementsprechend das Risiko eingeschätzt.

6 Analyse eines Präventionstrainings für 14-25 jährige Fussballerinnen

6.1 Vorstellen des PEP Programms

Es gibt bereits einige VKB Präventionsprogramme, welche eine Reduktion schwerer VKB Verletzungen zwischen 60-89% belegen. Man muss ein solches Programm jedoch während sechs bis acht Wochen durchführen, um einen Effekt zu erzielen. Das nachfolgend präsentierte PEP Programm wurde von der Santa Monica Orthopaedic and Sports Medicine Research Foundation im Jahr 1999 entwickelt.

Dieses Präventionsprogramm besteht aus einem Aufwärmen, Dehnung, Kräftigung, Plyometrie und fussballspezifischen Komponenten zur Optimierung der Kraft und Koordination der stabilisierenden Kniegelenksmuskeln.

Das Programm ist in einer Broschüre für Fussballerinnen publiziert und zur selbständigen Durchführung gedacht. Folglich wechselt der Text über zur „Du-Form“.

Es ist wichtig, die Aufmerksamkeit auf eine korrekte Ausführung der Übungen zu richten: Kontrolliere deine Haltung, vermeide eine übermässige Seit-zu-Seit Bewegung beim Springen und gewährleiste eine ruhige, weiche Landung.

Diese Übungen sollen mindestens zwei- bis dreimal pro Woche durchgeführt werden und ungefähr 15min in Anspruch nehmen. Es kann einfach in dein Trainingsprogramm eingefügt werden, indem du es durch dein gewöhnliches Aufwärmprogramm ersetzt. Bei jeder Übung ist der ungefähre Zeitaufwand angegeben. Dies und die Abb. 14 sollen als Richtlinien gelten, um das Aufwärmen zeiteffizient durchführen zu können.

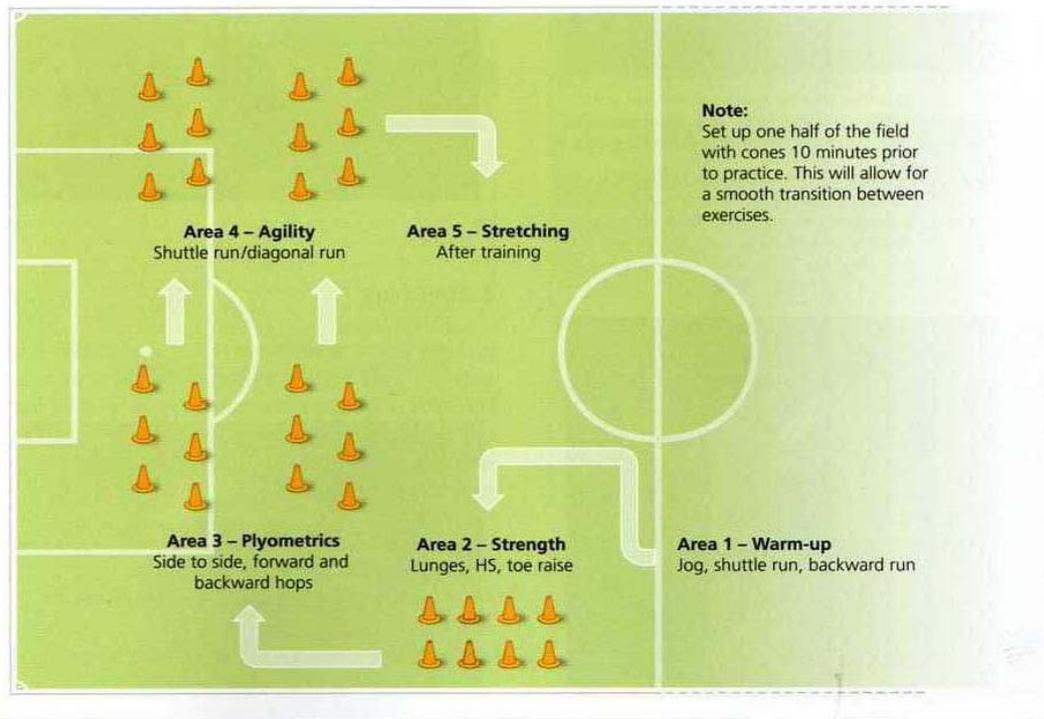


Figure 1: PEP Programme – Field set-up

Abb. 14: Feldaufstellung

1. Aufwärmen

Das Aufwärmen stellt wie das Auslaufen ein sehr wichtiger Teil in einem Trainingsprogramm dar. Du bereitest deinen Körper auf die anstehende Aktivität vor und reduzierst so das Verletzungsrisiko in hohem Masse.

1A. Von Linie zu Linie rennen

Ausführungszeit	0-30 Sekunden
Ziel	Für eine gute Renntechnik sollst du: <ul style="list-style-type: none"> – Deine Hüft-, Knie- und Sprunggelenke in gerader Ausrichtung halten – Ein nach innen Knicken der Knie oder ein nach aussen Kippen der Füße vermeiden
Anweisungen	Beende das langsame Joggen bei der entfernten Linie

1B. Pendellauf (Seitwärts)

Ausführungszeit	30-60 Sekunden
Ziel	<ul style="list-style-type: none">– Beansprucht deine inneren und äusseren Oberschenkelmuskeln– Diese Übung wird dein Tempo erhöhen– Vermeide ein nach innen Knicken der Knie
Anweisung	<ul style="list-style-type: none">– Starte in einer sportlichen Haltung mit leichter Kniebeugung– Führe mit dem rechten Fuss den Seit-Schritt an und drücke dich mit dem linken (hinteren) Fuss weg– Stabilisiere dein Hüft-, Knie- und Sprunggelenk beim Abdrücken des hinteren Fusses in einer geraden Linie– Wechsle auf halbem Weg die Seite

1C. Rückwärts Rennen

Ausführungszeit	1-1.5 Minuten
Ziel	<ul style="list-style-type: none">– Beansprucht deine Hüftextensoren/Hamstrings– Es ist wichtig, dass du auf den Zehenspitzen landest– Beachte die Stabilisierung deines Kniegelenks– Behalte beim Rückwärtsbewegen deines Fusses eine leichte Kniebeugung bei
Anweisung	<ul style="list-style-type: none">– Renne rückwärts von Linie zu Linie– Lande auf den Zehen ohne deine Knie durchzustrecken– Bleibe auf den Zehen und behalte immer eine leichte Kniebeugung bei

2. Dehnen

Es ist wichtig dass du dich vor dem Dehnen aufwärmst – Dehne nie einen kalten Muskel. Durch die hier aufgeführten Übungen kannst du:

- Deine Beweglichkeit erhalten.
- Die Steifigkeit deiner Gelenke vermindern.

- Eine schmerzhaftes Übersäuerung nach dem Training reduzieren.
- Das Verletzungsrisiko durch die bessere allgemeine Beweglichkeit und Ausführung senken.

Allgemeine Richtlinien:

- Mach ein langes Aufwärmen (z.B. rasches Gehen) vor dem Dehnen.
- Kein Zerren oder Wippen – Dehne behutsam bis du einen guten Zug spürst und bleibe dort.
- Halte diese Dehnstellung 30 Sekunden und konzentriere dich dabei auf die Verlängerung des Muskels.
- Atme normal weiter und vermeide ein Anhalten des Atems.

2A. Wadendehnung

Ausführungszeit	2 Wiederholungen à 30 Sekunden. 1.5-2.5 Minuten
Ziel	Dehnung der Wadenmuskulatur
Anweisungen	<ul style="list-style-type: none"> – Stelle dein rechtes Bein nach vorne – Neige deinen Oberkörper nach vorne und platziere deine Hände auf dem Boden, so dass sie ein V bilden – Behalte dein rechtes Knie leicht gebeugt und dein linkes gestreckt – Deine linke Ferse soll auf dem Boden bleiben – Wechsle nach 30 Sekunden die Seite

2B. Quadricepsdehnung

Ausführungszeit	2 Wiederholungen à 30 Sekunden. 2.5-3.5 Minuten
Ziel	Dehnung des vorderen Oberschenkelmuskels
Anweisungen	<ul style="list-style-type: none"> – Lege deine linke Hand auf die linke Schulter einer Mitspielerin – Fasse mit deiner rechten Hand an die Vorderseite deines rechten Sprunggelenks – Führe die Ferse Richtung Gesäss – Dein rechtes Knie soll zum Boden zeigen und parallel nahe

	beim linken bleiben – Halte deine Taille aufrecht gestreckt – Wechsle nach 30 Sekunden die Seite
--	--

2C. Hamstringsdehnung

Ausführungszeit	2 Wiederholungen à 30 Sekunden. 3.5-4.5 Minuten
Ziel	Dehnung des hinteren Oberschenkelmuskels
Anweisungen	<ul style="list-style-type: none"> – Setz dich auf den Boden und strecke das rechte Bein vor dir – Beuge das andere Knie und lege die linke Fussfläche an die Innenseite des rechten Oberschenkels – Beuge deinen Oberkörper in gestreckter Haltung in Richtung rechtes Knie – Greife falls möglich deine rechten Zehenspitzen und zieh sie zum Kopf hoch – Wechsle nach 30 Sekunden die Seite

2D. Adduktorendehnung

Ausführungszeit	3 Wiederholungen à 20 Sekunden. 4.5-5.5 Minuten
Ziel	Dehnung des inneren Oberschenkelmuskels
Anweisungen	<ul style="list-style-type: none"> – Bleib am Boden sitzen und spreize deine Beine gleichmässig auseinander – Senke dich mit gestreckten Rücken in die Mitte – Strecke dich nun mit dem rechten Arm nach rechts – Führe auch deinen linken Arm über den Kopf nach rechts – Halte diese Dehnung und wechsle danach die Seite

2E. Hüftflexorendehnung

Ausführungszeit	2 Wiederholungen à 30 Sekunden. 5.5-6.5 Minuten
Ziel	Dehnung der Hüftbeuger
Anweisungen	<ul style="list-style-type: none"> – Gehe mit dem rechten Fuss vorne in Schrittstellung – Stelle dein linkes Knie auf den Boden. Platziere deine Hände

	<p>auf dem Oberschenkel</p> <ul style="list-style-type: none"> – Lehne mit den Hüften etwas nach vorne, so dass sie aber parallel zu den Schultern bleiben – Halte falls möglich das Gleichgewicht und umgreife dein linkes Sprunggelenk. – Zieh die Ferse Richtung Gesäss – Wechsle nach 30 Sekunden die Seite
--	---

3. Kraft

Dieser Teil des Programms bewirkt eine Zunahme der Beinkraft und einer besseren Stabilisation des Kniegelenks. Die korrekte Ausführung ist hier ausschlaggebend. Kontrolliere die präzise Durchführung der Übungen um Verletzungen vorzubeugen.

3A. Lunges

Ausführungszeit	3 Serien à 10 Wiederholungen. 6.5-7.5 Minuten
Ziel	Kräftigung des vorderen Oberschenkelmuskels (Quadriceps)
Anweisungen	<ul style="list-style-type: none"> – Platziere den rechten Fuss vorne in Schrittstellung – Gehe in die Knie, so dass sich dein linkes Knie gerade zum Boden senkt und das rechte etwa eine rechtwinklige Stellung erreicht – Dein vorderes Knie befindet sich oberhalb des Sprunggelenks – Kontrolliere die Bewegung und vermeide ein nach innen Knicken des vorderen Knies – Wenn du die Zehen des vorderen Fusses nicht während der ganzen Übung siehst, ist die Ausführung nicht korrekt

3B. Russische Hamstrings

Ausführungszeit	3 Serien à 10 Wiederholungen oder insgesamt 30 Wiederholungen. 7.5-8.5 Minuten
Ziel	Kräftigung der Hamstrings
Anweisungen	<ul style="list-style-type: none">– Knie auf den Boden und überkreuze deine Arme auf der Brust– Deine Mitspielerin kniet hinter dir und fixiert deine Sprunggelenke– Neige dich nun mit den Hüften und aufrechtem Oberkörper nach vorne– Deine Hüfte, Knie und Schultern sollen sich während dem Vorneigen in einer Linie befinden– Halte deine Taille gestreckt– Du sollst deine hinteren Oberschenkelmuskeln arbeiten spüren

3C. Einbeiniger Zehenspitzenstand

Ausführungszeit	2 Serien à 30 Wiederholungen. 8.5-9.5 Minuten
Ziel	Kräftigung der Wadenmuskulatur und Verbessern des Gleichgewichts
Anweisungen	<ul style="list-style-type: none">– Stehe aufrecht und geh leicht in die Knie– Hebe deinen linken Fuss vom Boden ab und achte auf dein Gleichgewicht– Erhebe dich nun auf die rechten Zehenspitzen– Um eine gute Balance zu gewähren ist es hilfreich die Arme seitlich zu halten– Wechsle nach 30 Wiederholungen die Seite– Um den Kräftigungseffekt beizubehalten sollst du die Anzahl Repetitionen kontinuierlich steigern

4. Plyometrie

Diese explosiven Übungen verbessern die Antriebskraft, die Geschwindigkeit und die Beanspruchbarkeit. Das wichtigste Element dieser Kategorie ist die korrekte

Ausführung der Landung: Sie muss gut gedämpft sein. Du sollst dein Gewicht weich auf deine Fussballen bringen und dann langsam mit gebeugten Knien und eher gestreckten Hüften auf die Ferse abrollen. Nimm dir genügend Zeit für die korrekte Durchführung.

4A. Seitliche Sprünge über einen Kegel

Ausführungszeit	20 Wiederholungen. 9.5-10 Minuten
Ziel	Verbessert Kraft, Energie sowie die neuromuskuläre Kontrolle
Anweisungen	<ul style="list-style-type: none"> – Stand, platziere zu deiner Linken einen 6“ Kegel – Hüpfе nun über den Kegel und lande sanft auf den Fussballen und gebeugten Knien auf der anderen Seite – Wiederhole die Übung und hüpfе zur rechten Seite

4B. Vorwärts-/Rückwärtssprünge über einen Kegel

Ausführungszeit	20 Wiederholungen. 10-10.5 Minuten
Ziel	Verbessert Kraft, Energie sowie die neuromuskuläre Kontrolle
Anweisungen	<ul style="list-style-type: none"> – Hüpfе über den Kegel/Ball und lande weich auf den Fussballen mit gebeugten Knien – Hüpfе rückwärts über den Ball mit derselben Landungstechnik – Achte auf deine Knie und vermeide ein zurückschnappen oder überstrecken – du musst eine leichte Kniebeugung beibehalten

4C. Einbeinsprünge über einen Kegel

Ausführungszeit	2x 20 Wiederholungen. 10.5-11 Minuten
Ziel	Verbessert Kraft, Energie sowie die neuromuskuläre Kontrolle
Anweisungen	<ul style="list-style-type: none"> – Hüpfе über den Kegel/Ball und lande weich auf den Fussballen mit gebeugten Knien – Hüpfе rückwärts über den Ball mit derselben Landungstechnik – Achte auf deine Knie um eine Überstreckung oder ein Zurückschnappen zu vermeiden – Wiederhole die Übung 20 Mal und wechsle dann das Bein

	– Erhöhe die Anzahl Repetitionen falls nötig
--	--

4D. Senkrechte Sprünge mit Kopfbällen

Ausführungszeit	2x 20 Wiederholungen. 11-11.5 Minuten
Ziel	Vergrößerung des vertikalen Sprunges
Anweisungen	<ul style="list-style-type: none"> – Stehe aufrecht und halte die Arme seitlich – Beuge deine Knie leicht und stosse dann ab – spring gerade nach oben – Erinnerung dich an die korrekte Landungstechnik: weich auf den Fussballen mit leicht gebeugten Knien

4E. Scherensprung

Ausführungszeit	20 Wiederholungen. 11.5-12 Minuten
Ziel	Verbesserung der Sprungkraft in der Vertikalen
Anweisungen	<ul style="list-style-type: none"> – Platziere das rechte Bein in Schrittstellung vorne – Das vordere Knie befindet sich über dem Sprunggelenk – Stosse dich nun mit dem rechten Fuss ab und führe dein linkes Bein nach vorne in Schrittstellung – Deine Knie dürfen nicht nach innen oder aussen knicken, sondern müssen oberhalb des Sprunggelenks gehalten werden – Wende die korrekte Landungstechnik an: weich auf den Fussballen mit leicht gebeugten Knien

5. Geschicklichkeit

5A. Pendellauf mit vorwärts/rückwärts rennen

Ausführungszeit	12-13 Minuten
Ziel	Verbessert die dynamische Stabilität des Sprung-, Knie- und Hüftgelenks
Anweisungen	– Beginne beim ersten Kegel und sprinte vorwärts zum zweiten

	<ul style="list-style-type: none"> – Renne rückwärts zum dritten Kegel – Vorwärts zum vierten.
--	--

5B. Diagonaler Lauf

Ausführungszeit	3 Durchläufe. 13-14 Minuten
Ziel	Verbessert die Stabilisation der Aussenseite des Fusses
Anweisungen	<ul style="list-style-type: none"> – Schau geradeaus und renne zum ersten Kegel zu deiner Linken – Schwenke nun den linken Fuss aus und renne zum zweiten Kegel zu deiner Rechten – Schwenke dort den rechten Fuss aus und renne zum dritten – Versichere, dass die Aussenkante des Fusses nicht einsinkt – Halte deine Knie immer überhalb deiner Sprunggelenke in leichter Beugung

5C. Sprunglauf

Ausführungszeit	40 Meter. 14-15 Minuten
Ziel	Kraftsteigerung der Hüftflexoren, Verbesserung der Geschwindigkeit und Leistung
Anweisungen	<ul style="list-style-type: none"> – Beginne bei der nahen Seitenlinie – Laufe zur entfernten Linie und ziehe deine Knie dabei möglichst hoch zu deiner Brust – Lande weich auf dem Fussballen in leichter Kniebeugung und mit aufrechter Hüfte – Vergrössere die Distanz, wenn die Übung zu einfach wird

6. Alternative Übungen – Auslaufen und Auskühlen

Ein Auslaufen nach dem Training ist ein Muss und sollte etwa zehn Minuten dauern. Es ermöglicht den strapazierten Muskeln, sich zu entspannen und verhindert so die Entstehung von Muskelkater.

- Beginne mit einem leichten Ausjoggen. Dies reduziert langsam deine Herzfrequenz.
- Wir empfehlen anschliessend die aufgeführten Kräftigungsübungen A und B durchzuführen.
- Dehne zum Abschluss deine Hamstrings, die Wadenmuskulatur, den inneren Oberschenkel, den Quadriceps und den unteren Rücken (weiter vorne beschrieben). Füge zudem die Übungen C, D und E an: sie dehnen drei Muskelgruppen, die oft vergessen werden.
- Halte eine Wasserflasche griffbereit um während des Abkühlens genug Flüssigkeit zu dir zu nehmen.

6A. Brücke mit abwechselnder Hüftbeugung

Ausführungszeit	2x 30 Wiederholungen
Ziel	Kräftigung der Hüftflexoren, -abduktoren und -extensoren
Anweisungen	<ul style="list-style-type: none"> – Lege dich mit angestellten Beinen auf den Boden – Heb nun dein Becken vom Boden ab und presse dabei deine Gesässbacken zusammen – Hebe deinen rechten Fuss vom Boden ab und vermeide ein absinken der rechten Hüfte – Senke den rechten Fuss wieder und hebe den linken an – Wiederhole es 30 Mal auf jeder Seite – Wenn du an Kraft gewinnst, führe die Übung mit auf einem Ball platzierten Füßen durch

6B. Rumpfbeugen

Ausführungszeit	2x 30 Wiederholungen
Ziel	Kräftigung der Bauchmuskulatur
Anweisungen	<ul style="list-style-type: none"> – Leg dich mit angestellten Beinen auf den Rücken – Nimm deine Hände hinter den Kopf um den Nacken zu unterstützen und halte die Ellenbogen nach aussen – Atme tief ein und spanne bei der Ausatmung deine

	<p>Bauchmuskeln an</p> <ul style="list-style-type: none"> – Wiederhole die Übung 30 Mal und leg dann die Beine zur rechten Seite – Hebe deinen Oberkörper langsam vom Boden ab und halte die Ellenbogen stets nach aussen – Du solltest deine schrägen Bauchmuskeln arbeiten spüren – Wechsle nach 30 Wiederholungen die Seite
--	--

6C. Zwei- und einbeiniges Knie-zur-Brust

Ausführungszeit	2x 30 Sekunden
Ziel	Dehnung des unteren Rumpfes
Anweisungen	<ul style="list-style-type: none"> – Leg dich flach auf den Rücken und ziehe mit den Händen dein rechtes Knie zur Brust. Das linke Bein bleibt dabei gestreckt – Du sollst die Dehnung entlang des unteren Rumpfes bis zum Gesäss spüren – Wechsle nach 30 Sekunden das Bein und dehne dieses auf die gleiche Weise – Ziehe danach beide Beine gleichzeitig 30 Sekunden zur Brust – Spürst du Schmerzen im Bereich des unteren Rumpfes, brich die Dehnung ab und informiere deinen Trainer

6D. Piriformisdehnung – Ziffer 4 Position

Ausführungszeit	2x 30 Sekunden
Ziel	Dehnung der Hüftrotatoren
Anweisungen	<ul style="list-style-type: none"> – Leg dich auf den Rücken und stelle die Beine an – Platziere dein linkes Sprunggelenk auf dem rechten Oberschenkel und umgreife diesen mit deinen Händen – Ziehe nun dein rechtes Knie zur Brust, so, dass du einen deutlichen Zug in der linken Gesässbacke spürst – Wechsle nach 30 Sekunden die Seite – Spürst du Schmerzen im unteren Rumpf, brich die Übung ab

	und informiere deinen Trainer
--	-------------------------------

6E. Schmetterlingsdehnung im Sitz

Ausführungszeit	2x 30 Sekunden
Ziel	Dehnung der inneren Oberschenkelmuskulatur (Adduktoren)
Anweisungen	<ul style="list-style-type: none"> – Setz dich aufrecht hin und führe deine Füße so zusammen, dass sich ihre Sohlen berühren – Leg deine Ellenbogen behutsam auf die Knie und drücke sie langsam Richtung Boden – Du solltest eine deutliche Dehnung entlang des inneren Oberschenkel spüren – Halte die Position 30 Sekunden und wiederhole die Übung 2-3 Mal

(Grimm, Silver & Mandelbaum 2007)

6.2 Beurteilung

Positive Aspekte

- Das Programm beinhaltet Krafttraining für alle relevanten, stabilisierenden Beinmuskeln: M.glutaeus maximus/medius/minimus, Hüftausserrotatoren, Quadriceps und Hamstrings.
- Es wird immer wieder erwähnt, dass die SportlerInnen auf die korrekte Beinlängengachse achten sollten.
- Die Ausführung der exakten Landetechnik wird mehrfach betont.
- Das Programm beinhaltet koordinative, propriozeptive und konditionelle Komponenten.
- Es wird empfohlen, das Programm zwei- bis dreimal wöchentlich durchzuführen. Dies entspricht den Angaben der Trainingslehre (TL) (siehe Tab. S.59).
- Neuromuskuläre Komponenten werden vor dem eigentlichen Training durchgeführt. Der Lerneffekt ist umso grösser, da noch keine Ermüdung stattgefunden hat.

- Für die Umsetzung wird wenig Material benötigt und ist daher für jede Frau durchführbar.

Negative Aspekte

- Es wird nicht auf die Stabilisation des Rumpfes eingegangen.
- Der Punkt „Schulung des Bewusstseins“ bzw. „Schulung der Technik“ wird zwar mehrfach schriftlich erwähnt, aber bei selbständiger Durchführung von niemandem angeleitet oder kontrolliert.
- Gemäss der Studie von Mandelbaum et al. (2005; zit. nach Renstrom et al., 2008, S. 407) möchte das Programm einen Multi-Schritt-Stopp beim Abbremsen umsetzen. Es findet sich in dieser Broschüre aber keine konkrete Übung dazu.
- Gemäss Unfallmechanismus und Risikofaktoren geht nicht hervor, dass verkürzte Muskeln einen beitragenden Faktor für VKB Verletzungen darstellen. Weshalb sich die Autoren die Frage nach dem Sinn der Dehnungsübungen stellten. Eine Dehnung von stabilisierenden Muskeln ist kontraproduktiv. Dehnung im Sinne eines Aufwärmprogramms müsste einen tonisierenden Charakter haben und daher wippend ausgeführt werden.
- Die Nummerierung der Übungen stimmt nicht immer mit der Abfolge der Übungen auf dem Bild mit der Feldaufstellung (Abb.14) überein. Dies kann verwirrend sein.
- Unter Punkt sechs wird man zum Auslaufen angeleitet. Unklar bleibt, ob das Auslaufen im Anschluss an das PEP Programm durchgeführt werden sollte. Dieses Programm wäre als Aufwärmen für das eigentliche Training gedacht.
- Das ganze Aufwärmprogramm soll gemäss Broschüre innerhalb ca. 15min durchgeführt werden können und daher keinen grossen Aufwand beinhalten. Das Training ist praktisch kaum in 15min durchführbar.
- Die Zeitangaben und die Übungserklärungen empfanden die Verfasser insofern verwirrend, als dass zuwenig deutlich wird in welchem Rhythmus, Tempo und in welcher Wiederholungsanzahl die Übungen durchgeführt werden müssen. Bei der Analyse des Programms mussten die Autoren feststellen, dass sie die Übungen teilweise unterschiedlich auffassten. Zum Beispiel wird bei den Plyometrieübungen nicht klar, ob der Dehn-Verkürzungs-Zyklus tatsächlich

umgesetzt wird oder ob sie durch die langsame Ausführung eher koordinativen Charakter tragen.

- Ebenso erscheint es knapp bemessen, die angegebene Wiederholungszahl bei den Kraftübungen sauber in einer Minute durchführen zu können.
- Im Weiteren ist keine Zeit zwischen den einzelnen Übungen eingerechnet – was bei der praktischen Durchführung sicher ins Gewicht fällt.
- Das Programm sieht keine Pausen zwischen den einzelnen Serien vor, welche der Muskel speziell bei den Kräftigungsübungen zur Erholung bräuchte.
- Bezüglich Kraft und Plyometrie ergeben sich folgende Gegensätze, wenn dies mit den Richtlinien aus der Trainingslehre verglichen wird (van Duijn, 2006):

	Kraft (TL)	Kraft (PEP)	Plyometrie (TL)	Plyometrie (PEP)
Wiederholungszahl	3-5x 8-15Wdh.	3x 10Wdh.	3-5 Max. Wdh.	20Wdh.
Pause	3-4 Min.	-	3-5 Min.	-
Superkompensation	48h	48-72h	72h	48-72h
Rhythmus	1-0-1	-	-	-

Es fällt auf, dass sich laut TL die Superkompensationszeit, also die Zeit zwischen den Trainings, unterscheidet. Das PEP Programm macht hingegen keine Differenzierung. Die Wiederholungszahl für die Plyometrieübungen beträgt nach PEP mindestens viermal mehr, als die gemäss TL. Dies ist für das Training des Dehn-Verkürzungs-Zyklus gewiss eine sehr hohe Anzahl. Auch fehlen beim PEP, wie schon angesprochen, die Pausenangaben zwischen den einzelnen Serien, sowie eine Instruktion bezüglich Rhythmus.

6.3 Effektivitätsanalyse

Ein randomisiert kontrollierter Versuch der Prävention von berührungsfreien vorderen Kreuzbandverletzungen bei weiblichen akademischen Fussballerinnen wurde von Gilchrist, Mandelbaum, Melancon, Ryan & Silvers (2008) durchgeführt. Es wurde untersucht, ob das alternative Aufwärmprogramm PEP die Anzahl der VKB Verletzungen reduziert.

Resultate

- Ein Total von 1435 Athletinnen nahm an der Studie teil: 852 Athletinnen in 35 Kontrollteams (KG) und 583 Athletinnen in 26 Interventionsteams (IG). Es wurden keine signifikanten Unterschiede betreffend Alter, Gewicht, Grösse oder Knieverletzungsanamnese festgestellt. Die Athletinnen beider Gruppen nahmen während der Saison an ähnlich vielen Spielen und Trainings teil. Die IG gebrauchten das PEP Programm während der Saison mit einem Schnitt von 25.8mal.
- In beiden Gruppen war die häufigste Knieverletzung das mediale Seitenband (entweder isoliert oder in Kombination mit Knorpel- und Meniskusschäden).
- Eine Überwachung der KG zeigte, dass diese nicht routinemässig Kräftigung, plyometrisches Training oder Geschicklichkeitsübungen in ihr Feldtraining einbauten.

Der grösste Unterschied wurde aber in Bezug auf die VKB Verletzungen festgestellt:

- In der IG wurden sieben VKB Verletzungen vermerkt, bei der KG 18. Ergibt somit eine 41% tiefere Unfallquote in der Interventionsgruppe.
- Berührungsfreie VKB Verletzungen beliefen sich bei der IG auf zwei, bei der KG auf zehn. Die ergibt eine 70% tiefere Unfallquote.
- Während des Trainings wurden bei der IG keine VKB Verletzungen rapportiert, die KG wies jedoch sechs Fälle auf.
- Bezüglich der im Spiel aufgetretenen Verletzungen wurde kein signifikanter Unterschied festgestellt.
- Athletinnen der IG mit einer positiven Knieverletzungsanamnese vermerkten fast fünfmal weniger VKB Verletzungen als die Kolleginnen der KG.
- In den letzten sechs Wochen der Saison erreichte der Unterschied der VKB Verletzungsrate eine statistische Relevanz, da die IG keine Unfälle mehr rapportierte.

Schlussfolgerung

Das PEP wurde im speziellen zur Prävention von berührungsfreien VKB Verletzungen entwickelt, dient aber auch zur Verhinderung anderer VKB Verletzungen – was die allgemeine Reduktion erklärt. Die hier präsentierten

Ergebnisse zeigen, dass das PEP effektiv ist bezüglich Prävention und ohne zusätzliche Ausrüstung oder Aufwand in das Training eingebaut werden kann.

Um Änderungen bezüglich Kraft, Gleichgewicht und Propriozeption zu vermerken, muss das neuromuskuläre Training während einigen Wochen regelmässig angewendet werden. Dies erklärt, dass der Unterschied der Unfallraten gegen Ende der Saison noch markanter wurde. Die Trainer rapportierten zudem, dass die Athletinnen etwa sechs bis zwölf Wiederholungen des ganzen Programms benötigen, bis die Durchführung des Programms körperlich nicht mehr als extrem anstrengend empfunden wurde. Wahrscheinlich wäre der Unterschied der Unfallraten noch grösser, wäre das Programm früher oder gar ausserhalb der Saison bereits eingeführt worden.

Die Resultate weisen aber auch Grenzen auf:

- Die Forscher waren nicht imstande, die Übungen beider Gruppen während des Trainings zu überwachen. Theoretisch konnte jedes Team ein alternatives Warm-Up durchführen. Auf jeden Fall rapportierten alle Trainer der KG, dass keine Kraft-, Geschicklichkeits- oder plyometrische Übungen durchgeführt wurden, die Teil des PEP Programm waren. Somit waren die KG keinem konsistenten neuromuskulärem oder propriozeptivem Training ausgesetzt.
- Die Untersucher waren nicht imstande, den effektiven Gebrauch und die Präzision bei der Durchführung des Programms aller IG zu kontrollieren. Sie beziehen ihre Angaben auf die Berichte der Trainer – wobei sie bei den überwachten Teams eine ehrliche Rapportierung feststellten.
- Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf Teams anderer Altersgruppen bleibt in Frage gestellt.
- Die Studie verpasste den Vergleich von Untergruppen, so z.B. Alter und Erfahrung. Dazu würde aber eine grössere Anzahl an Expositionen an der Studie benötigt werden.

Für diese Studie wurden weibliche, akademische Profifussballerinnen gewählt. Dies gewährleistete die entsprechenden Ressourcen und die entsprechende Trainings-ausrüstung zur Durchführung des Programms. Die Studie wurde aber auch

erfolgreich bei 14–18jährigen Clubfussballerinnen durchgeführt. Dies legt nahe, dass das Programm auch auf andere Altersklassen oder Levels übertragbar ist. Auch wenn das PEP spezifisch für Fussballerinnen entwickelt wurde, so kann es mittels einiger Anpassungen auch bei anderen Risikosportarten wie Basket- oder Volleyball umgesetzt werden. Momentan werden noch Studien bezüglich Effektivität bei anderen Altersgruppen, bei Männern sowie anderen Risikosportarten durchgeführt.

Zusammenfassung

Die Durchführung des PEP reduziert wahrscheinlich das Risiko der berührungsfreien VKB Verletzungen bei Fussballerinnen. Signifikant waren hauptsächlich die Reduktion der VKB Unfallrate während des Trainings und gegen Ende der Saison. Einen zusätzlich positiven Effekt wurde bei Athletinnen mit einer positiven Knieverletzungsanamnese festgestellt. Das PEP Programm kann einfach und ohne zusätzliche Ausrüstung ins Training eingebaut werden (Gilchrist et al., 2008).

7 Schlussfolgerungen und Forschungsempfehlungen

Zu diesem Thema gibt es sehr viele und ausführliche Studien. Es werden viele Komponenten - ja gar der Hormonhaushalt der Frau - als möglicher Risikofaktor diskutiert und untersucht. Dies zeigt die Relevanz und Aktualität des Themas.

Nach der Auseinandersetzung mit verschiedenen Ansätzen von VKB Präventionsprogrammen, wird ersichtlich, wie effektiv bereits ein kurzes, nicht aufwändiges und relativ leicht auszuführendes Training auf die VKB Verletzungsrate sein kann. Dabei sollte ein solches Präventionsprogramm nicht nur auf die Komponenten Kraft und Ausdauer fokussieren, sondern auch funktionelle Koordinationsübungen und plyometrische Aufgaben beinhalten. Damit kann auch das neuromuskuläre Zusammenspiel trainiert werden, welches einen grossen Einfluss auf die Stabilisierung des Knies hat. Wichtig ist dabei auf die exakte Ausführung des Trainings zu achten. Sowohl die Technik, als auch die nötige Anzahl an Trainingseinheiten, deren Dauer und Regelmässigkeit sollten strikt kontrolliert werden. So könnte ein auf die Risikofaktoren ausgelegtes Präventionstraining als Grundlageprogramm bei allen Risikosportarten eingeführt werden. Ein einfacher Test ermöglicht die Erkennung von Risikosportlern. Diese müssten im Idealfall noch ein zusätzliches, auf sie angepasstes Training erhalten, damit ein möglichst guter Schutz vor berührungsfreien VKB Verletzungen erreicht werden kann. Präventionsprogramme stossen aber an ihre Grenzen, da sie sehr viele Faktoren (v.a. anatomische) nicht beeinflussen können. Beispielsweise ist die Propriozeption nur bedingt trainierbar und genetisch vorbestimmt, wie der Vergleich zwischen Mann und Frau deutlich macht. Der Mensch ist und bleibt ein Individuum und braucht dementsprechend ein auf ihn selbst zugeschnittenes Training. Dabei muss - um realistisch zu bleiben - in Betracht gezogen werden, dass Verletzungen an sich trotz guter Trainings nicht vollständig verhindert werden können. Allerdings kann aber die Anzahl an Verletzungen minimiert und dadurch die Rehabilitationskosten stark gesenkt werden.

Für die weitere Forschung wären Studien, welche einzelne Komponenten eines Präventionsprogramms isoliert untersuchen, sehr aufschlussreich. Dadurch könnten

die genauen Auswirkungen der verschiedenen Elemente auf ausgewählte Risikofaktoren aufgezeigt werden. An den Studien sollten viele Teilnehmer partizipieren, damit die Aussagekraft der Resultate genügend gross sein kann. Erfolgreich durchgeführte und effektive Programme sollten zur Überprüfung der externen Validität von verschiedenen Risikosportarten durchgeführt werden. Auf diese Weise könnte die Prävention auf andere Sportarten übertragen werden.

Die Durchführung von guten Studien im Gesundheitswesen ist nach wie vor schwierig. Aufgrund ethischer Aspekte können selten alle Gütekriterien erfüllt werden. So erweist sich beispielsweise auch die Blindung von Therapeuten bezüglich der durchzuführenden Behandlung teilweise als schwierig und kann nicht immer konsequent berücksichtigt werden.

8 Schlusswort und Danksagung

Die Auseinandersetzung mit dieser Thematik war sehr spannend und lehrreich. Es ist hochaktuell und wird dem immer mehr an Bedeutung gewinnenden Thema Prävention gerecht. Zusätzlich sehen die Autoren Transfermöglichkeiten im Hinblick auf ihre zukünftige praktische Arbeit mit Patienten im Rehabilitationsprozess.

Mit der Teamarbeit wurden gute Erfahrungen gemacht. Durch den regelmässigen Austausch, konstruktives Feedback und daraus resultierenden interessanten Diskussionen lernten die Verfasser nicht nur viel Fachliches, sondern auch Persönliches voneinander. Die Arbeit zu Zweit wurde sehr motivierend und unterstützend erlebt, da Unsicherheiten schnell behoben werden konnten.

Es hat sich gezeigt, dass es sinnvoller ist, sich über einen kürzeren aber intensiveren Zeitraum mit der Arbeit auseinander zusetzen. Nach einem längerem Unterbruch wird abermals viel Zeit zur Einarbeit in die Thematik benötigt.

Das regelmässige abspeichern der Daten auf den Memorystick zur Verhinderung von Datenverlusten, zeigte sich schon zu Beginn der Arbeit als unbedingt notwendig. Da bereits am Anfang der Schreibezeit eines der Notebooks plötzlich nicht mehr aufgestartet werden konnte.

Für die motivierte Betreuung und Begleitung der Arbeit möchten die Autoren Monika Bodmer herzlich danken. Sie war stets präsent für Fragen und unterstützte die Verfasser bei Auskünften betreffend der Arbeit prompt, gewissenhaft und fair.

Ein grosses Dankeschön gewährt Mario Bizzini und Arjen van Duijn, die bei der Studienrecherche Unterstützung boten. Sie stellten aktuelle Literatur zur Verfügung und ermöglichten den Autoren Zugang zu Studien, zu welchen sie als Studenten unter Umständen nicht autorisiert gewesen wären.

Danken möchten die Verfasser auch Prof. Maja Bürgi. Sie half bei der Klärung von Fragen bezüglich dem biomechanischen Ablauf und der anatomischen Beschaffenheit des Knies.

Aufrichtig bedanken für die tatkräftige Unterstützung bei der Überarbeitung der Arbeit möchten sich die Autoren bei Mario Bizzini, Linda Dyer, Daniel von Matt und ihren

Vätern. Über ihre Bereitschaft die Arbeit gegenzulesen waren die Verfasser sehr froh.

Zum Schluss wird auch ein Dank gegenüber den Familien und Freunden der Autoren geäußert, die ihnen während der ganzen Arbeit stets zur Seite standen.

9 Literaturverzeichnis

9.1 Bücher

- Bartels, R. & Bartels, H. (7.Auflage 2004). *Physiologie*. München: Elsevier GmbH.
- Bürgi, M. (2006). *Funktionelle Anatomie der unteren Extremitäten*. ZHAW.
- Debrunner, H.U. & Jacob, H.A.C. (1998). *Biomechanik des Fusses, Band 49, Bücherei des Orthopäden*. Stuttgart: Enke Verlag.
- Deetjen, P., Speckmann, E.J. & Hescheler, J. (4., vollständig überarbeitete Auflage 2005). *Physiologie*. München: Urban & Fischer Verlag.
- De Gruyter, W. (261., neu bearbeitete und erweiterte Auflage 2007). *Pschyrembel - Klinisches Wörterbuch*. Berlin: Walter de Gruyter GmbH & Co.
- De Morree, J.J. (2001). *Dynamik des menschlichen Bindegewebes*. Urban Fischer Verlag.
- Hewett, T.E., Shultz, S.J. & Griffin, L.Y. (2007). *Understanding and Preventing Noncontact ACL Injuries*. United Kingdom: Human Kinetics.
- Hochschild, J. (2002). *Strukturen und Funktionen begreifen. Funktionelle Anatomie – therapierelevante Details. Band 2. LWS, Becken und Hüftgelenk, untere Extremität*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Kappandji, I.A. (1999). *Funktionelle Anatomie der Gelenke, Band 2*. Stuttgart: Hippokrates Verlag.
- Rauber, A. & Kopsch, F. (1998). *Anatomie des Menschen, Lehrbuch und Atlas, Band 1*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Scherfer, E. (2006). *Forschung verstehen. Ein Grundkurs in evidenzbasierter Praxis*. München: Plaumverlag GmbH.
- Schünke, M., Schulte, E. & Schumacher, U. (2005). *Prometheus. Allgemeine Anatomie und Bewegungssystem*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Schünke, M., Schulte, E. & Schumacher, U. (2006). *Prometheus. Kopf- und Neuroanatomie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Shumway-Cook, A. & Woollacott, M. (2007). *Motor Control. Translating Research into Clinical Practice (3rd ed.)*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.

- Silbernagel, S. & Despopoulos, A. (2001). *Taschenatlas der Physiologie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Van den Berg, F. (2., überarbeitete und erweiterte Auflage 2005). *Angewandte Physiologie. Band 1. Das Bindegewebe des Bewegungsapparates verstehen und beeinflussen*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG.
- Wappelhorst, U., Kittelmann, A. & Röbbelen, C. (1. Auflage 2006). *Lehr- und Arbeitsbuch Funktionelle Anatomie*. München: Urban & Fischer Verlag.
- Weineck, J. (2003). *Sportanatomie*. Balingen: Spitta Verlag GmbH & Co.
- Zalpour, Ch. (2. Auflage 2006). *Anatomie Physiologie*. Osnabrück: Urban & Fischer Verlag.

9.2 Vorlesungen

- Kurs Biomedizinische Grundlagen 1 PT101 (HS06): Schrimpf, M. (2006). *Vorlesung: Neuro- und Sinnesphysiologie*. ZHAW.
- Kurs Biomedizinische Grundlagen 4 PT241 (HS08): Schrimpf, M. (2009). *Vorlesung: Das motorische System und seine Affenzen Teil 2*. ZHAW.
- Kurs Biomedizinische Grundlagen 1 PT101 (HS06): van Duijn, A. (2006). *Vorlesung: Krafttraining*. ZHAW.
- Kurs Sportphysiotherapie (2006): van den Berg, R. (2006). *European Sportsphysiotherapy Network ESP*. Fortbildungszentrum Zurzach (Neu: Rehastudy Zurzach).

9.3 Zeitschriften

- Gilchrist, J., Mandelbaum, B.R., Melancon, H., Ryan, G.W., Silvers, H.J., Griffin, L.Y., Watanabe, D.S., Dick, R.W. & Dvorak, J. (2008). Randomized Controlled Trial to Prevent Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injury in Female Collegiate Soccer Players. *American Journal of Sports Medicine*, 36, No.8, 1476.
- Grimm, K., Silver, S. & Mandelbaum, B. (2007). How to prevent anterior cruciate ligament tears. *Health and Fitness for the Female Football Player*, 26-35. Altstätten: Switzerland.

- Heidt, R.S., Sweeterman, L.M., Carlonas, R.L., Traub, J.A. & Tekulve, F.X. (2000). Avoidance of Soccer Injuries with Preseason Conditioning. *American Journal of Sports Medicine*, 28, No.5, 659-662.
- Hewett, T.E., Lindenfeld, T.N., Roccobene, J.V. & Noyes, F.R. (1999). The Effect of Neuromuscular Training on the Incidence of Knee Injury in Female Athletes. *American Journal of Sports Medicine*, 27, No.6, 699-706.
- Hewett, T.E., Myer, G.D. & Ford, K.R. (2006). Anterior Cruciate Ligament Injuries in Female Athletes: Part I, Mechanisms and Risk Factors. *American Journal of Sports Medicine*, 34, No.2, 299-311.
- Hewett, T.E., Myer, G.D. & Ford, K.R. (2006). Anterior Cruciate Ligament Injuries in Female Athletes: Part II, A Meta-analysis of Neuromuscular Interventions Aimed at Injury Prevention. *American Journal of Sports Medicine*, 34, No.3, 490-498.
- Mandelbaum, B.R., Silvers, H.J., Watanaba, D.S., Knarr, J.F., Thomas, S.D., Griffin, L.Y., Kirkendall, D.T. & Garrett, W. (2005). Effectiveness of a Neuromuscular and Proprioceptive Training Program in Preventing Anterior Cruciate Ligament Injuries in Female Athletes. *American Journal of Sports Medicine*, 33, No.7, 1-8.
- Olsen, O.E., Myklebust, G., Engebretsen, L. & Bahr, R. (2004). Injury Mechanisms for Anterior Cruciate Ligament Injuries in Team Handball: A Systematic Video Analysis. *American Journal of Sports Medicine*, 32, No.4, 1002-1012.
- Pfeiffer, R.P., Shea, K.G., Roberts, D., Grandstrand, S. & Bond, L. (2006). Lack of Effect of a Knee Ligament Injury Prevention Program on the Incidence of Noncontact Anterior Cruciate Ligament Injury. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, 88, 1769-1774.
- Renstrom, B., Ljungqvist, A., Arendt, E., Beynnon, B., Fukubayashi, T., Garrett, W., Georgoulis, T., Hewett, T.E., Johnson, R., Krosshaug, T., Mandelbaum, B., Micheli, L., Myklebust, G., Roos, E., Roos, H., Schamasch, P., Shultz, S., Werner, S., Wojtys, E. & Engebretsen, L. (2008). Non-contact ACL injuries in female athletes: an international olympic committee current concepts statement. *Br. J. Sports Med.* 42, 394-412.

- Silvers, H.J. & Mandelbaum, B.R. (2007). Prevention of Anterior Cruciate Ligament Injury in the Female Athlete. *Br. J. Sports Med.* 41, 52-59.
- 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, No.7, 1123-1130.

9.4 Elektronische Publikationen

- © imedo GmbH (2009). *Information – Medizinlexikon: Q-Winkel* [On-Line]. Available: <http://www.imedo.de/medizinlexikon/q-winkel> (15.05.09).

9.5 Abbildungen

Abb. 1: Bewegungsachsen des Knies

Kappandji, I. A. (1999). *Funktionelle Anatomie der Gelenke, Band 2*. Stuttgart: Hippokrates Verlag. (Abb.2, S.67)

Abb. 2: Verschiebung der F/E-Achse im Knie

Bürgi, M. (2006). *Funktionelle Anatomie der unteren Extremitäten*. ZHAW. (S.9)

Abb. 3: Tibiplateauflächen

Kappandji, I. A. (1999). *Funktionelle Anatomie der Gelenke, Band 2*. Stuttgart: Hippokrates Verlag. (Abb.38, S.79)

Abb. 4 & Abb. 5: Verlauf des vorderen Kreuzbandes (gelb)

Kappandji, I. A. (1999). *Funktionelle Anatomie der Gelenke, Band 2*. Stuttgart: Hippokrates Verlag. (Abb.151 & 152, S.115)

Abb. 6: Roll-Gleit-Mechanismus

Kappandji, I. A. (1999). *Funktionelle Anatomie der Gelenke, Band 2*. Stuttgart: Hippokrates Verlag. (Abb.60, S.85)

Abb. 7: Mechanische Instabilität

Kappandji, I. A. (1999). *Funktionelle Anatomie der Gelenke, Band 2*. Stuttgart: Hippokrates Verlag. (Abb.182, S.125)

Abb. 8: Reine Rollbewegung

Kappandji, I. A. (1999). *Funktionelle Anatomie der Gelenke, Band 2*. Stuttgart: Hippokrates Verlag. (Abb.56, S.85)

Abb. 9: Afferenzleitung der unteren Extremität

Schünke, M., Schulte, E. & Schumacher, U. (2006). Prometheus: Kopf- und Neuroanatomie. Stuttgart: Georg Thieme Verlag. (Abb.C Hinterstrangbahnen und ihre zentrale Verbindungen, S.277)

Abb. 10: Kleinhirnfunktionen

Bartels, R. & Bartels, H. (7.Auflage 2004). Physiologie. München: Elsevier GmbH. (Abb. 23-12 Kleinhirnfunktionen, S.295.)

Abb. 11: Unfallmechanismus

Hewett, T.E., Shultz, S.J. & Griffin, L.Y. (2007). *Understanding and Preventing Noncontact ACL Injuries*. United Kingdom: Human Kinetics. (Fig.1.2, S.XXV)

Abb. 12: Zusammenhänge zwischen Risikofaktoren und Verletzungsmechanismus

Hewett, T.E., Shultz, S.J. & Griffin, L.Y. (2007). *Understanding and Preventing Noncontact ACL Injuries*. United Kingdom: Human Kinetics. (Fig.9.1, S.124)

Abb. 13: Hormonspiegel während eines Menstruationszyklus

Hewett, T.E., Shultz, S.J. & Griffin, L.Y. (2007). *Understanding and Preventing Noncontact ACL Injuries*. United Kingdom: Human Kinetics. (Fig.19.1, S.220)

Abb. 14: Feldaufstellung

Grimm, K., Silver, S. & Mandelbaum, B. (2007). How to prevent anterior cruciate ligament tears. *Health and Fitness for the Female Football Player*, 26-35. (Fig.1, S.27)

9.6 Abkürzungen

Abd/Add:	Abduktion / Adduktion
Acl:	Anterior Cruciate Ligament
BMI:	Body Mass Index
F/E:	Flexion / Extension
IG:	Interventionsgruppe/-team
KG:	Kontrollgruppe/-team

KLIP:	Knee Ligament Injury Prevention
LBP:	Low back pain
Lig./Ligg.:	Ligamentum / Ligamenta
M.:	Musculus
MRI:	Magnetic Resonance Imaging
N:	Newton
PEDRO:	Physiotherapy Evidence Database
PEP:	Prevent Injuries and Enhance Performance
Q-Winkel:	Quadricepssehnenwinkel
RCT:	Randomized controlled trial
TL:	Trainingslehre
VKB:	Vorderes Kreuzband
Wdh:	Wiederholung/en
WHO:	World Health Organisation
ZHAW:	Zürcher Hochschule für Angewandte Wissenschaften
ZNS:	Zentrales Nervensystem

10 Eigenständigkeitserklärung

„Wir erklären hiermit, dass wir die vorliegende Arbeit selbständig, ohne Mithilfe Dritter und unter Benützung der angegebenen Quellen verfasst haben.“

Winterthur , _____

Daniela Riechsteiner

Tina Sprüngli

11 Anhang

Bewegungsausmass Knie nach Bürgi (2005):

Bewegungsausmass Knie	Aktiv	Passiv
Flexion (in RL gemessen)	140°	160°
Extension (in RL gemessen)	0-(-5)°	(-5)-(-10°)
Aussenrotation (im Sitz)	30-40°	45-50°
Innenrotation (im Sitz)	10-20°	25-35°
Ad- und Abduktion (RL; KG in leichter F)	-	Ca. 5°

Weitere Bänder des Kniegelenkes die auch zur Propriozeption beitragen. Ligamente (mit Ursprung und Ansatz) besitzen Typ 3 Golgi – Rezeptoren und reagieren auf Spannungsänderungen und geben über die Gelenkbewegung Auskunft.

- Lig.cruciatum posterius: Innenseite medialer Femurkondylus zur Area intercondylaris posterior der Tibia.
- Lig.patellae: Fortsetzung der Sehne des M.quadriceps femoris bis zur Tuberositas tibiae.
- Retinacula patellae laterale und mediale: distale Fasern von Sehnen der M.vasti medialis/lateralis setzen unterhalb der beiden Tibiakondylen an. Sie verlaufen entweder neben der Patella senkrecht zur Tibia oder überkreuzten sich über der Kniescheibe.
- Lig.popliteum arcuatum: Insetiert an der dorsalen Kapsel und zieht zum Caput fibulae (dorsale Kapselverstärkung).
- Lig.popliteum obliquum: zieht vom lat. Femurkondylus (innen) an den med. Ansatz vom M.semimembranosus.
- Lig.transversum genuus: Vorderhorn des medialen Meniskus zum Vorderhorn des lateralen Meniskus (Hochschild, 2002).

Beschreibung der einzelnen Theorien zur motorischen Kontrolle als Basis für das Verständnis des neuromuskulären Trainings.

- Die Reflextheorie: Gemäss Sir Charles Sherrington entstehen komplexe Verhaltensmuster durch das Zusammenspiel verschiedener individueller Reflexe.
- Die Hierarchische Theorie: Diese Theorie geht von einer hierarchischen Gliederung des Nervensystems aus. Höher gelegene Zentren kontrollieren tiefer gelegene mittels Erregung oder Hemmung.
- Die Theorie der Bewegungsprogramme: Später entfernte man sich von der Theorie, dass das ZNS ein hauptsächlich reaktives System sei. Die Reflextheorie diene lediglich zur Erklärung einiger stereotyper Bewegungsmuster. Die Erkenntnis, dass man den afferenten Stimulus, welche den Reflex auslöste, entfernen konnte und die Bewegung trotzdem anhielt, führte zu einer neuen Definition der Reflexe. Es entstand das Konzept der „central motor pattern“: Bewegungsmuster, die sowohl von einem sensorischen Stimulus als auch vom ZNS selbst aktiviert werden können. Diese Theorie lässt die Reflexe flexibler erscheinen.

- Die Systemtheorie: Im frühen und mittleren 19. Jahrhundert brachte Nicolai Bernstein eine völlig neue Sichtweise mit ins Spiel: Er betrachtete den menschlichen Körper als mechanisches System, welches andauernd auf eine verändernde Umwelt reagieren und sich anpassen muss. Die einzelnen Gelenke weisen Bewegungsfreiheiten bezüglich Flexion, Extension und z.T. gar Rotation auf. Bernstein war der Meinung, dass ein hierarchisches System besteht, um die zahlreichen Bewegungsfreiheiten kontrollieren: Höher gelegene Zentren aktivieren Tiefere. Diese wiederum steuern Muskelsynergien – Gruppen von Muskeln, die als eine Art Einheit zusammenarbeiten. Obwohl es nur wenige solcher Synergien gibt, reichen diese durch die unterschiedliche Aktivierungskombination aus, alle Bewegungsvariationen abzudecken.
- Die dynamische Aktionstheorie: Diese Theorie basiert auf der Frage: Wie kommt die Organisation von Bewegungsmustern in die geordnete Art, wie wir sie schlussendlich wahrnehmen? Wie kann man diese Muster verändern? So haben wir z.B. tausend einzelne Herzmuskelzellen, welche in geordneter Zusammenarbeit den Herzschlag erzeugen. Wie wird dieses System mit tausenden von Freiheitsgraden (jede Zelle könnte in einem anderen Rhythmus schlagen) reduziert auf ein synergistisches Miteinander? Dieses Phänomen wird durch das Prinzip der Selbstorganisation der Zellen erklärt, welches ein fundamentales, dynamisches System darstellt. Es besagt, dass ein Zusammenkommen verschiedener, individueller Anteile ein kollektives Zusammenspiel bewirkt – durch Interaktion. Dazu wird keine höhere Kommandozentrale benötigt. Aber um ein Muster zu ändern spricht die Theorie hier von sogenannten Kontrollparametern. Dies ist eine Variable (z.B. Geschwindigkeit), welche Änderungen des gesamten Systems reguliert (->das Gangtempo)

V.a. diese und Bernsteins Systemtheorie liessen das Nervensystem neu als ein dynamisches Model erscheinen. Sie besagen, dass eine Interaktion zwischen physikalischen und neuralen Komponenten besteht.

- Ecological Theorie: In den 1960ern untersuchte der Psychologe James Gibson die Art, wie unser Bewegungssystem am effektivsten mit der Umwelt zu interagieren hat, um eine gezielte Handlung zu entwickeln. Seine Untersuchungen fokussierten die Interpretation der Informationen, die wir in unserer Umwelt entnehmen: die Perzeption. Wie wir diese Informationen gebrauchen und zur motorischen Kontrolle einsetzen. Die Fähigkeit, Wahrnehmungen zu interpretieren und diese als Führer für Aktionen zu gebrauchen, entwickelt sich bereits früh in der Kindheit. Gibson war der Ansicht, dass motorische Kontrolle wichtig für die Lebewesen sei, um in ihrer Umwelt zu überleben: Effizientes Bewegen um Nahrung zu finden, von Feinden zu flüchten, ein Zuhause zu errichten oder gar zu spielen. Neu an seiner Theorie war der Fokus auf die Umwelt: Die Durchführung gezielter Aktionen braucht perzeptive Informationen aus einer definierten Umwelt. Die Organisation der Bewegung erfolgt spezifisch einer Aufgabe und der Umwelt in welcher die Aufgabe ausgeführt werden soll. Während andere Theorien den Organismus als ein sensorisch-motorisches System betrachteten, betonte Gibson die Wichtigkeit der Perzeption (Shumway-Cook und Woollacott, 2007).