

Vorbeugen statt Heilen

Die Verletzungsprävention von Kreuzbandrissen bei jungen, sportlichen Frauen

Maturitätsarbeit von Alice Schmid

Betreut von Daniel Fahrni

Zürich, im Dezember 2022



Abb. 1

Abstract

Der Riss des vorderen Kreuzbandes ist eine sehr häufige Sportverletzung, welche meist zu einer Instabilität des Kniegelenks führt. Insbesondere junge Frauen weisen ein erhöhtes Risiko für diese Art von Verletzung auf, weshalb sich diese Arbeit mit der Verletzungsprävention bei jungen Frauen im Sport beschäftigt. Das vordere Kreuzband, eines der vier Bandstrukturen im Knie, übernimmt wie alle Bänder die wichtige Funktion eines Stabilisators. Da Bänder allein starken Belastungen nicht standhalten können, werden sie von der umliegenden Muskulatur in ihrer Aufgabe unterstützt.

Ziel dieser Arbeit ist herauszufinden, wie sich die Stabilität des Kniegelenks mittels Übungen aus verschiedenen Bereichen (Hypertrophietraining, neuromuskuläres und plyometrisches Training) verändert. Angestrebt wird eine Erhöhung der Stabilität um zehn Prozent. Die Übungen, die die Verbesserung der Muskulatur zum Ziel haben, werden in einem Präventionsprogramm in Form eines Videos zusammengefasst. Dabei wird angenommen, dass das Risiko für einen Kreuzbandriss mittels einer gut trainierten Oberschenkelmuskulatur minimiert werden kann.

Der Versuch verlief folgendermassen: Nachdem das Präventionsprogramm mittels des erarbeiteten theoretischen Wissens entworfen worden war, wurde das dreissigminütige Übungsprogramm von drei Probandinnen dreimal die Woche über acht Wochen hinweg durchgeführt. Vor und nach dieser Zeitspanne wurde eine isokinetische Kraftmessung durchgeführt. Diese sollte Auskunft über die Maximalkraft der verschiedenen Muskelgruppen an den Oberschenkeln geben. Es hat sich herausgestellt, dass die Maximalkraft der Muskulatur und damit eingehend die Kniestabilität durch das Ausüben des entworfenen Präventionsprogramms teilweise erhöht werden konnte. Die Resultate sind bei den Probandinnen sehr unterschiedlich ausgefallen. Die Steigerung reicht bis zu 17 Prozent. Nicht bei allen Probandinnen kann jedoch eine signifikante Verbesserung der Maximalkraft festgestellt werden. Bei der Beurteilung des Erfolgs des Präventionsprogramms wurden weiter auch die Rückmeldungen der Probandinnen sowie verschiedene theoretische Kriterien (s. Kapitel 2.11. «Kriterien für ein erfolgreiches Präventionsprogramm») miteinbezogen.

Vorwort

Von Kindsbeinen an bin ich immer in einem Sportverein aktiv gewesen. In meiner Primarschulzeit habe ich viele Stunden mit Leichtathletik verbracht, dann habe ich vorübergehend Tennis gespielt und vor knapp drei Jahren habe ich mit traditionellem Taekwon-Do, einer koreanischen Kampfkunst, begonnen. Der Sport war und ist meine grosse Leidenschaft. Ich erinnere mich gut daran, dass ich als Kind auf jeden Baum klettern und in den Skiferien kaum mehr die Piste verlassen wollte. Auch in meiner Zeit am Gymnasium hat sich daran nie etwas geändert. Das Training nach der Schule ist nicht nur eine Gelegenheit, Spass zu haben und Freunde zu treffen, sondern auch eine Möglichkeit, den Alltag hinter sich zu lassen und die vielen Prüfungen zu vergessen.

Im November 2021 ändert sich einiges für mich. Bei einem Sprung im Taekwon-Do stürze ich; Diagnose: Riss des vorderen Kreuzbandes. Zu Beginn bin ich mir nicht sicher, was das nun für mich bedeutet, doch mit der Zeit wird es mir klar: Fast ein Jahr Pause vom Taekwon-Do, eine Knieoperation, sowie viele Stunden mit Physiotherapie stehen mir bevor. Die Trainings nach der Schule und an den Wochenenden fallen vom einen Tag auf den anderen weg und sehr schnell vermisse ich die Möglichkeit, mich sportlich «auszutoben».

In meiner Rehabilitationszeit darf ich dann aber viel über das menschliche Knie lernen. Das erweckt grosses Interesse in mir. In der Abteilung für Sportmedizin in der Schulthess Klinik fällt dann das erste Mal das Stichwort «Prävention». Mir wird erzählt, dass Studien zeigen, dass 70% der vorderen Kreuzbandverletzungen durch präventive Übungen verhindert werden könnten. Als ich das höre, fällt es mir wie «Schuppen von den Augen». Mit wenig Aufwand hätte ich das Risiko für meine Verletzung minimieren können. Zusätzlich erfahre ich, dass ich als junge Frau ein erhöhtes Risiko für einen Kreuzbandriss aufweise. Nun frage ich mich, warum mir zuvor nie jemand von diesen Präventionsübungen erzählt hat. Mir wird es folglich ein Anliegen, junge, sportliche Frauen vermehrt auf das Thema aufmerksam zu machen. Es stellt sich heraus, dass meine bevorstehende Maturitätsarbeit hierfür die perfekte Gelegenheit bietet. Zudem bietet sich mir die Chance, in dieser Arbeit mein Interesse an Sport, Gesundheit und Medizin zu kombinieren und zu vertiefen. Auch die Literaturrecherche gestaltet sich für mich als sehr lehrreich und interessant. Ich erhalte einen Einblick in die Welt der Sportmedizin und der Physiotherapie.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
2	Theorieteil.....	7
2.1	Ausgangslage	7
2.2	Anatomie und Biomechanik des Kniegelenks	8
2.3	Das Gegenseilerprinzip: Motor der Fortbewegung	10
2.4	Muskulatur der unteren Extremität.....	12
2.5	Stabilisation durch aktive und passive Strukturen.....	13
2.6	Lage, Anatomie und Funktion des VKBs.....	14
2.7	Kreuzbandruptur und Begleitverletzungen.....	16
2.8	Verletzungsmechanismen.....	17
2.9	Risikofaktoren	19
2.9.1	Risikosportarten.....	19
2.9.2	Externe Risikofaktoren.....	19
2.9.3	Interne Risikofaktoren	20
2.9.4	Hormonelle Risikofaktoren	23
2.9.5	Risikofaktoren bei Frauen	23
2.10	Verschiedene Trainingsansätze zur Prävention von Kreuzbandrissen.....	24
2.11	Kriterien für ein erfolgreiches Präventionsprogramm.....	26
2.12	Bisherige Präventionsversuche	26
3	Experimentalteil.....	27
3.1	Übersicht über die Versuchsdurchführung.....	27
3.2	Erstellung des Präventionsprogramms	28
3.3	Methode: Isokinetisches Testgerät.....	31
4	Resultate	33
4.1	Vergleich der Muskelkraft.....	33
5	Diskussion	37
5.1	Vergleich Vorher-/ Nachher-Messung	37
5.2	Feedback zum Präventionsprogramm	39
5.3	Evaluation der «Kriterien für ein erfolgreiches Präventionsprogramm».....	40

6	Veröffentlichung des Präventionsprogramms	40
7	Schlusswort	41
8	Danksagung	42
9	Literaturverzeichnis	42
9.1	Literaturquellen	42
9.2	Bildquellen	48
10	Tabellenverzeichnis.....	51
11	Diagrammverzeichnis.....	51
12	Abkürzungsverzeichnis	51
13	Anhang.....	52
13.1	Daten isokinetische Kraftmessung.....	52
13.2	Feedback zum Präventionsprogramm (Tab.).....	57
13.3	QR Code zum Präventionsprogramm.....	58
14	Authentizitätserklärung	58

1 Einleitung

Sport und Bewegung bilden im Leben vieler Schweizer und Schweizerinnen einen zentralen Bestandteil des Alltags. Gemäss dem Bundesamt für Sport (2017, S.13) sind rund zwei Millionen Menschen in der Schweiz Aktivmitglied in einem Sportverein. Gesundheits- und Freizeitsport stellt einen guten Ausgleich zum heutzutage omnipräsenten Stress am Arbeitsplatz und in der Schule dar. Das Thema «Work-Life-Balance» ist sehr aktuell und ein gesundheitsorientierter Lebensstil verankert sich in unserer Gesellschaft zunehmend. Doch neben den vielen positiven Faktoren, die dem Sport zugeschrieben werden, ist Sport leider auch häufig Ursache von Verletzungen. Bes. im Breiten- und im Leistungssport ist viel von Verletzungen des Bewegungsapparats zu hören. Insbesondere die Verletzungsgefahr des Kniegelenks ist sehr hoch und steht häufig in Kombination mit einem Kreuzbandriss. Vor kurzem wurde im Tagesanzeiger wieder einmal vom «steinigen Weg» zurück in den Profisport gesprochen. Es wird aufgezeigt wie Viola Calligaris, Fussballspielerin in der Schweizer Nationalmannschaft, nach einem Kreuzbandriss an ihrem Comeback arbeitet (Sangines, Gygax, 2022). Weniger bekannt ist aber der Aspekt der Verletzungsprävention. Im Leistungssport wird zwar bereits mit Präventionsübungen gearbeitet und die Sportler und Sportlerinnen werden über die Verletzungsrisiken aufgeklärt, doch im Breitensport fehlt es häufig noch an der Kenntnis und einer gezielten Durchführung von passenden Präventionsprogrammen.

Meine Maturitätsarbeit befasst sich mit der Prävention von Kreuzbandrissen, wobei insbesondere der Einfluss von Präventionsübungen bei jungen, sportlichen Frauen analysiert werden soll. Diese Präventionsübungen streben ein gezieltes Training der Muskulatur an. Es steht fest, dass eine gut trainierte Muskulatur, insbesondere an den Oberschenkeln, bei der Stabilisation des Kniegelenks hilft. Ein gut stabilisiertes Knie wiederum schützt gewissermassen in einer Unfallsituation vor einem Kreuzbandriss. Die Kniestabilität steht in direktem Zusammenhang mit dem Risiko für einen Kreuzbandriss (Eckermann, Hoefler, Jakobi, o.J.).

Meine Fragestellung lautet folgendermassen:

Kann die Kniestabilität bei jungen Frauen (15 - 25 Jahre) im Breitensport durch das Durchführen meines selbst erarbeiteten Präventionsprogramms mit Übungen im Bereich Hypertrophie¹, Plyometrie², Rumpfkraft sowie mit neuromuskulärem³ Training über acht Wochen hinweg um 10% gesteigert werden?

¹ In Bezug auf die Muskulatur steht Hypertrophie für das Dickenwachstum einzelner Muskelfasern und somit für den Muskelaufbau. Dabei werden keine neuen Muskelzellen gebildet, sondern der Querschnitt der Muskelfasern vergrössert sich. In der Hypertrophie wird die Muskulatur bis zur Erschöpfung trainiert, wobei mit mittel bis hohen Widerständen und sechs bis zwölf Wiederholungen gearbeitet wird (Krüger, Bienlein, 2021).

² Unter plyometrischem Training wird ein intensives Kraft- und Sprungtraining verstanden. Es beruht auf dynamischen Übungen, wobei die Muskeln gedehnt und schnell zusammengezogen werden. Mit explosiven Bewegungen werden Koordination, Kraft, Stabilität und Explosivität verbessert (Sobhani, 2019).

³ Das Ziel von neuromuskulärem Training ist die neuromuskuläre Kontrolle eines Gelenks, wobei das Zusammenspiel der Muskulatur mit den Nervenzentren (bestehend aus Gehirn und Rückenmark) verbessert werden soll. Die unbewusste Selbstkontrolle über die Muskulatur durch das Gehirn wird unmittelbar gefördert, wodurch Verletzungen vorgebeugt werden kann (Pfister, 2015, S.11-12).

Bei meiner Vorgehensweise handelt es sich zu einem grossen Teil um eine Literatur- und Internetrecherche sowie um den Austausch mit einer Physiotherapeutin. Dabei setze ich mich allgemein mit der Anatomie des Knies sowie mit dem Riss des Kreuzbandes auseinander. Einen besonderen Fokus wird auf die Risikofaktoren, die Verletzungsmechanismen sowie auf die stabilisierende Muskulatur gelegt. Mein persönliches Ziel besteht darin, mir sportmedizinisches Wissen anzueignen, um in einem zweiten Schritt konkrete Übungen zur Prävention von Kreuzbandrissen bei jungen Frauen zu erarbeiten. Dieses Präventionsprogramm erklärt in Form eines Videos die Übungen und deren korrekte Ausführung. Der Einfluss der Übungen auf die Stabilisation des Kniegelenks habe ich schliesslich anhand von drei Probandinnen in einer Untersuchung getestet. Die Messungen erfolgten mittels eines isokinetischen Testgeräts an der Schulthess Klinik Zürich. Im Experimententeil wurden die selbst erhobenen Daten analysiert und diskutiert. Dadurch soll der Erfolg des Präventionsprogramms beurteilt werden. Neben den Resultaten der Messung soll das auch anhand von theoretischen Kriterien für ein erfolgreiches Präventionsprogramm sowie der praktischen Erfahrung der Probandinnen erfolgen. Schliesslich wird das Präventionsprogramm mit der Unterstützung vom ZKS (Zürcher Kantonalverband für Sport), der IG Sport Luzern und Swiss Olympic (Dachverband des Schweizer Sports) verbreitet und so zahlreichen Schweizer Sportvereinen und -verbänden zugänglich gemacht.

2 Theorieteil

2.1 Ausgangslage

Der Riss des vorderen Kreuzbandes (VKB-Ruptur) gehört zu den häufigsten Knieverletzungen und ist auch eine der schwerwiegendsten Verletzungen des Kniegelenks. Dabei hat sich die Unfallrate in den letzten Jahren, bedingt durch die in der gesamten Bevölkerung zunehmende sportliche Aktivität, erhöht (o.V., Schulthess Klinik, o.J.). Jährlich erleidet in der Schweiz etwa jede/r hundertste Einwohner/in eine Knieverletzung. Das vordere Kreuzband (VKB) ist dabei bei ca. 16% der Verletzten betroffen, woraus sich schliessen lässt, dass es pro Jahr schweizweit zu 10'000 bis 12'000 Kreuzbandverletzungen kommt. Die absolute Anzahl der Knieverletzungen ist bei Frauen deutlich niedriger im Vergleich zu den Männern und liegt bei rund 30% (Gesundheitsdirektion des Kantons Zürich, 2009). Frau Dr. Silvers-Granelli (2021, S.1) begründet diese Tatsache damit, dass mehr Männer Sportarten betreiben, die einen Kreuzbandriss begünstigen (bspw. Ballsportarten, wie Fussball, Handball etc.). Es sei jedoch festzuhalten, dass Frauen grundsätzlich ein drei- bis achtfach erhöhtes Risiko für einen Kreuzbandriss aufweisen (s. Kapitel 2.9 «Risikofaktoren») (Silvers-Granelli, 2021, S.1). Bzgl. des Unfallszenarios lässt sich sagen, dass 73% der Unfälle bei Sport und Spiel entstehen. 10% der Unfälle ereignen sich am Arbeitsplatz und 17% der Unfälle sind den übrigen Tätigkeitsbereichen (Arbeitsweg, übrige Tätigkeiten in der Freizeit usw.) zuzuschreiben. Es handelt sich also um eine typische und weit verbreitete Sportverletzung (Gesundheitsdirektion des Kantons Zürich, 2009).

Bei einer VKB-Ruptur kommen verschiedene Behandlungsmöglichkeiten in Frage, wobei diese in den letzten Jahrzehnten einem stetigen Wandel unterlagen. Alle Behandlungsmöglichkeiten verfolgen jedoch ein und dasselbe Ziel: Die Restabilisierung des Kniegelenks. Es soll der

verunfallten Person ermöglicht werden, wieder den gewünschten Aktivitätsgrad auszuüben. Verschiedene Faktoren (Alter, sportliche Anforderungen, Begleitverletzungen usw.) entscheiden schliesslich darüber, ob eine Operation oder eine konservative Behandlung, d.h. eine nicht operative Behandlung, sinnvoller ist. Die Operationsrate liegt bei ungefähr 50%. Bei ersten operativen Vorgehensweisen zu Beginn des letzten Jahrhunderts strebte man danach, das gerissene Kreuzband wieder zusammenzunähen. Man versuchte also, das bestehende Band zu reparieren. Heutzutage steht die arthroskopische Rekonstruktion des Bandes, d.h. die Entfernung des ursprünglichen VKBs und dessen Ersatz (meist) durch eine körpereigene Sehne im Vordergrund. Bei einer konservativen Behandlung wird insbesondere durch einen physiotherapeutisch begleiteten Kraftaufbau die Stabilisation des Gelenks angestrebt. Die Physiotherapie spielt jedoch auch nach einem operativen Eingriff eine zentrale Rolle. Die Rehabilitationsphase dauert unabhängig von der Vorgehensweise bis zu 9 Monate (Gesundheitsdirektion des Kantons Zürich, 2009).

Die Instabilität des Knies als Folge einer Kreuzbandverletzung ist nicht nur ein Problem an sich, sondern erhöht langfristig auch das Risiko für einen Knorpel-⁴ oder Meniskusschaden⁵. Die Stabilisation des Kniegelenks hat also höchste Priorität, um Langzeitfolgen zu verhindern. Häufig lässt sich eine Arthrose zehn bis zwanzig Jahre nach dem Unfall feststellen. Der Zusammenhang zwischen der VKB-Ruptur, den Behandlungsmöglichkeiten und der Arthrose wird jedoch bis heute unter Fachleuten erforscht (Vavken et al., 2013, S.21-24).

2.2 Anatomie und Biomechanik des Kniegelenks

«Gelenke sind die beweglichen Verbindungsstellen zwischen zwei oder mehreren Knochen und ermöglichen eine zielgerechte Bewegung.» (Deutsches Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz, 2021). Frau Wendler (2022) bestätigt, dass diese Definition auch auf das Kniegelenk (lat. *Articulatio genus*) zutrefte, welches das grösste und komplexeste Gelenk des menschlichen Körpers darstelle. Genau genommen setzt sich das Kniegelenk jedoch aus zwei Gelenken zusammen: dem Kniekehlgelenk (lat. *Articulatio femorotibialis*) und dem Kniescheibengelenk (lat. *Articulatio femoropatellaris*) (Klug, o.J.). Der Oberschenkelknochen (Femur), das Schienbein (Tibia) und die Kniescheibe (Patella) bilden zusammen die knöchernen Bestandteile des Kniegelenks (s. Abb. 2). Dabei stellen Femur und Patella das Kniescheibengelenk dar, während Femur und Tibia das Kniekehlgelenk bilden. Das Kniescheibengelenk ermöglicht das Vorbeigleiten von Kniescheibe und Oberschenkelknochen. Das Kniekehlgelenk ist das eigentliche für die Beugung zuständige Gelenk. Es handelt sich um eine Mischung aus einem Dreh- und einem Scharniergelenk. Dieses sog. Drehscharniergelenk oder Kondylengelenk (s. Abb. 3) ermöglicht sowohl die Beugung und die Streckung des Gelenks als auch eine leichte Ein- und Auswärtsdrehung bei 90° gebeugtem Knie (Klug, o.J.). Der

⁴ Unter einem Knorpelschaden wird die Beschädigung des Gelenkknorpels verstanden. Diese kann von kleinen, oberflächlichen Rissen im Knorpel bis hin zum vollständigen Verbrauch des Knorpels mit freiliegendem Knochen reichen. Der fortschreitende Verschleiss des Gelenkknorpels wird als Arthrose bezeichnet (o.V., Klinik Pyramide am See, o.J.).

⁵ Ein Meniskusriss (Meniskusschaden) ist eine Verletzung der Menisken. Menisken sind Gelenkknorpel im Knie, die als Stossdämpfer wirken (Sinowatz, 2021).

Bewegungsumfang reicht von 0° (gestreckt) bis 150°. Einwärts lässt sich das Knie um etwa 10°, auswärts um etwa 30° drehen. Das Wadenbein (Fibula) ist nicht Teil des Kniegelenks (Institut für Qualität und Wirtschaftlichkeit im Gesundheitswesen, 2021).

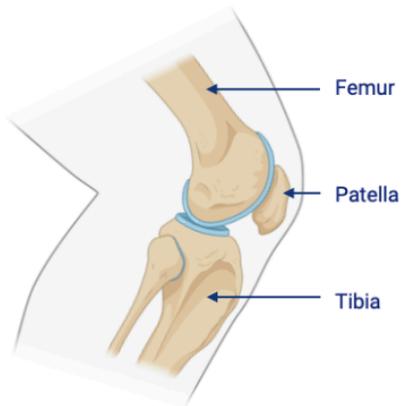


Abb. 2: Anatomie des Knies. In dieser Abb. sind die knöchernen Bestandteile des menschlichen Kniegelenks (Femur, Tibia, Patella) zu sehen

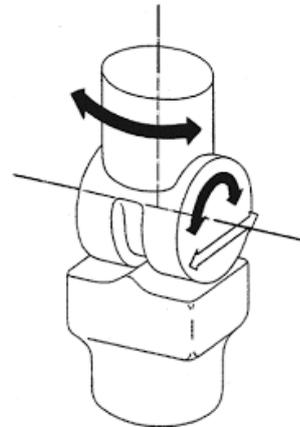


Abb. 3: Das Kondylengelenk

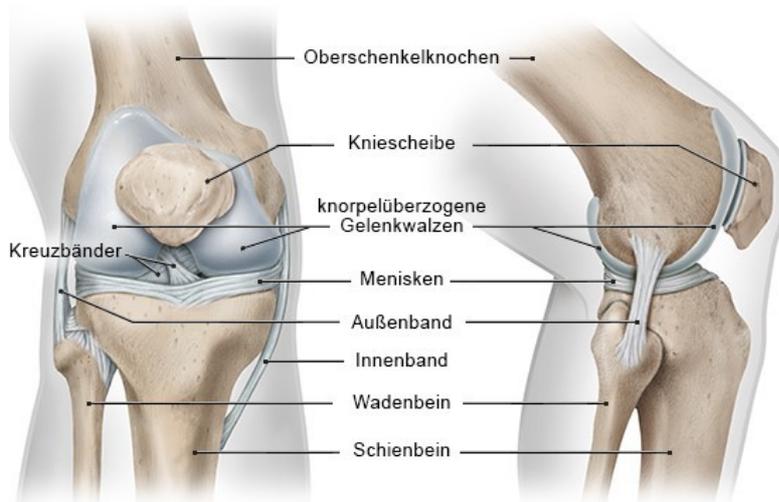


Abb. 4: Knorpel, Knochen und Bänder im rechten Kniegelenk (links Ansicht von vorne, rechts von der Seite)

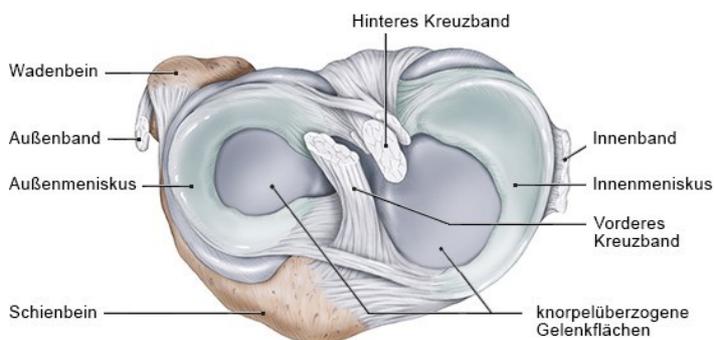


Abb. 5: Querschnitt des Kniegelenks (Ansicht von oben)

Struktur:	Beschreibung:
Die Femurkondylen und das Tibiaplateau	Das untere Ende des Oberschenkelknochens besteht aus zwei walzenförmigen Gelenkflächen, den Femurkondylen (Gelenkwalzen) (s. Abb. 15). Diesen gegenüber liegt das Tibiaplateau (s. Abb. 15), welches die annähernd ebene Gelenkfläche der Tibia bildet. Bei der Beugung des Knies kommt es zu einer Roll-Gleitbewegung der Kondylen auf dem Tibiaplateau (Institut für Qualität und Wirtschaftlichkeit im Gesundheitswesen, 2021).
Der Knorpel	Die Gelenkflächen der Ober- und Unterschenkelknochen sowie auch die Rückseite der Kniescheibe sind mit Gelenkknorpel überzogen (s. Abb. 4 und 5). Der Knorpel sorgt für eine geschmeidige Gleitfläche, die ein reibungsarmes Aufeinandergleiten der Knochen ermöglicht (Institut für Qualität und Wirtschaftlichkeit im Gesundheitswesen, 2021).
Die Menisken	Auf dem Tibiaplateau sind zwei Menisken (Aussen- und Innenmeniskus) zu lokalisieren (s. Abb. 4 und 5). Menisken sind halbmondförmige Knorpel. Die Menisken übernehmen mehrere Funktionen. Erstens reduziert ihre glatte Knorpeloberfläche die Reibung, die bei Bewegungen des Kniegelenks entsteht. Zweitens sorgen die Menisken dafür, dass die Gelenkflächen von Tibia und Femur optimal aufeinanderpassen. Zudem fungieren die Menisken als Stossdämpfer. Sie federn Bewegungen innerhalb des Kniegelenks ab (Institut für Qualität und Wirtschaftlichkeit im Gesundheitswesen, 2021).
Die Bänder	Das Kniegelenk wird durch zwei Seitenbänder (Aussen- und Innenband) und zwei Kreuzbänder (vorderes und hinteres Kreuzband) stabilisiert (s. Abb. 4 und 5). Während das Innenband die Innenseiten von Ober- und Unterschenkelknochen miteinander verbindet, erfüllt das Aussenband dieselbe Aufgabe auf der Aussenseite der Knochen. Das VKB führt von der Rückseite des äusseren Femurkondylus zur Vorderseite des Unterschenkelknochens, während das hintere Kreuzband von der Vorderseite des inneren Femurkondylus zur Rückseite des Unterschenkelknochens reicht. Im Zentrum des Kniegelenks kreuzen sich die beiden Bänder. Die Seitenbänder sind für die Stabilisation des Gelenks im gestreckten Zustand verantwortlich. Beim Beugen des Knies erschlaffen die Seitenbänder. Die Kreuzbänder geben dann Halt (Institut für Qualität und Wirtschaftlichkeit im Gesundheitswesen, 2021).

Tab. 1: Die Strukturen des menschlichen Kniegelenks

In dieser Arbeit steht das VKB im Fokus. Das hintere Kreuzband wird im Verlauf der Arbeit nicht näher behandelt. Es reist im Schnitt zehnmal weniger häufig als das VKB (Ostermeier und Marquass, 2022).

2.3 Das Gegenspielerprinzip: Motor der Fortbewegung

Körperliche Aktivität des Bewegungsapparats findet grundsätzlich immer an den Verbindungsstellen zwischen den einzelnen Knochen, den Gelenken, statt. Damit das Bein in Bewegung gesetzt, sprich gebeut oder gestreckt werden kann, muss die Muskulatur arbeiten. Die Muskulatur ist also der Motor aller Fortbewegung. Nicht alle Muskeln haben aber die Aufgabe, den Bewegungsapparat anzutreiben und Gelenke zu bewegen (o.V., Elsevier GmbH, 2019, S.17-19).

Man unterscheidet zwei Muskelarten: **Die quergestreifte Muskulatur** ist die Muskulatur des Skelettsystems. Die Bewegung dieser Muskeln wird über Nerven des zentralen Nervensystems bewusst, also willkürlich, gesteuert. Ihre Aufgabe ist die Bewegung von Knochen. **Die glatte Muskulatur** befindet sich an den Wänden der inneren Hohlorgane (Magen, Darm, Blase, Gallenblase), der Blutgefäße und der Bronchien. Ihre Bewegung ist nicht dem Willen unterworfen, sondern unterliegt dem vegetativen Nervensystem. Lediglich die quergestreifte Muskulatur, d.h. die Skelettmuskeln, sind für die Beugung und Streckung einer Extremität verantwortlich (o.V., Elsevier GmbH, 2019, S.17-19).

Am Bsp. der Oberarmmuskulatur ist die Beugung und Streckung von Extremitäten gut nachvollziehbar: Die Grundlage für die Bewegung stellt die Muskelkontraktion dar. Ein Muskel kann sich zwar selbstständig zusammenziehen, muss aber von einem anderen Muskel wieder in die Länge gezogen werden. Zur Bewegung des Arms braucht es demnach zwei Muskeln, die als Antagonisten wirken. Im Falle der oberen Extremität handelt es sich hierbei um den Biceps und den Triceps. Der Biceps wird auch Armbeuger und der Triceps auch Armstrecker genannt. Soll der Arm im Ellenbogengelenk gebeugt oder gestreckt werden, treten die beiden Gegenspieler, die Ober- und Unterarmknochen miteinander verbinden, in Aktion. Die Beugung wird durch die Kontraktion des Biceps, der sich an der Vorderseite des Oberarms befindet, erreicht. Dabei wird der Triceps auf der Rückseite des Oberarms gedehnt. Der Arm kann später wieder gestreckt werden, indem sich der Triceps zusammenzieht. Durch die Kontraktion des Triceps wird der bis anhin verkürzte Biceps dann gedehnt. Die Gegenspieler, Biceps und Triceps, verkürzen und dehnen sich also abwechselungsweise beim Beugen und Strecken des Armes. Aus diesem Grunde wird dieser biomechanische Mechanismus «Gegenspielerprinzip» genannt (s. Abb. 6). Hierbei muss angemerkt werden, dass die Muskelkraft nur dank den Sehnen, welche die Muskeln mit den Knochen verbinden, auf den Knochen übertragen werden kann. Ansonsten wäre keine Bewegung möglich (o.V., Elsevier GmbH, 2019, S.17-19).

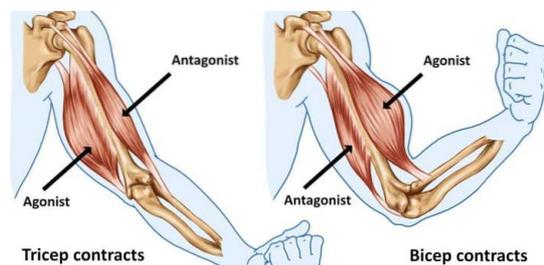


Abb. 6: Das Gegenspielerprinzip

Das oben erklärte Gegenspielerprinzip gilt ebenso für die Beugung und Streckung der unteren Extremität im Kniegelenk (s. Abb. 7). Die für die Beuge- und Streckbewegungen im Kniegelenk verantwortlichen Muskeln sind im Bereich des Oberschenkels auffindbar. Die Beuger (Flexoren) befinden sich auf der Rückseite des Oberschenkels, wohingegen die Strecker (Extensoren) auf der Oberschenkelvorderseite aufzufinden sind. Hierbei fungiert der Muskel Quadriceps femoris als Kniestrecker. Die ischiocrurale Muskelgruppe (Hamstrings) übernimmt die Aufgabe des Kniebeugers als Antagonist zum Quadriceps femoris (s. Kapitel 2.4 «Muskulatur der unteren Extremität»). Schlussfolgernd lässt sich sagen, dass die gelenkumgebenden Muskeln das A und O sind, wenn es um die Bewegung der Gelenke geht (Institut für Qualität und Wirtschaftlichkeit im Gesundheitswesen, 2021).

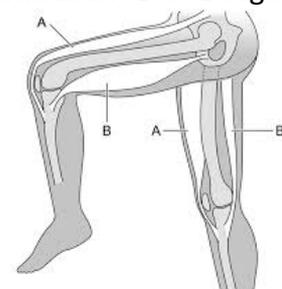


Abb. 7: Das Gegenspielerprinzip der unteren Extremität

2.4 Muskulatur der unteren Extremität

Im Folgenden werden die wichtigsten Muskeln der Hüft- und Oberschenkelmuskulatur dargestellt:



Abb.8: Die Oberschenkelmuskulatur: Beinstrecker, Beinbeuger, Adduktoren, Abduktoren (von links nach rechts)

Der **Musculus quadriceps femoris** (Vierköpfiger Schenkelstrecker, Beinstrecker) ist der grösste Muskel im menschlichen Körper und nimmt die Vorderseite des Oberschenkels ein. Der Muskel besteht aus vier Teilen, die zwar einen anderen Ursprung haben, jedoch im Knie in einer Sehne zusammenlaufen. Die vier Köpfe des Quadriceps heissen: Rectus femoris, Vastus medialis, Vastus lateralis, Vastus intermedius (s. Abb. 9). Wie im letzten Kapitel bereits erwähnt, hat der Quadriceps eine grosse Bedeutung als Extensor. Er kennzeichnet sich aber auch dadurch, dass er das Einknicken in den Knien beim Stehen verhindert (Jantsch, 1999).

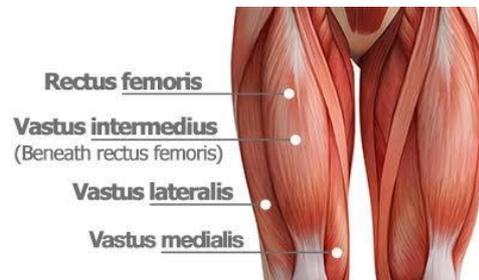


Abb. 9: Der Quadriceps

Der Musculus biceps femoris (Zweiköpfiger Schenkelmuskel) bildet zusammen mit dem Musculus semitendinosus (Halbsehnenmuskel) und dem Musculus semimembranosus (Plattsehnenmuskel) die **ischiocrurale Muskelgruppe** (Hamstrings) (s. Abb. 10 und 11). Alle drei Muskeln befinden sich auf der Oberschenkelrückseite. Sie entspringen den untersten Knochen im Becken, den Sitzbeinhöckern und führen bis zum Unterschenkel. Diese Muskeln verhalten sich, wie bereits erwähnt, antagonistisch zum Quadriceps femoris und sind auch bei der Streckung im Hüftgelenk von Bedeutung. Nicht zu vernachlässigen ist auch ihre entlastende Funktion in Bezug auf das VKB (Jantsch, 1999). Auf diesen Aspekt wird im weiteren Verlauf der Arbeit noch weiter eingegangen.

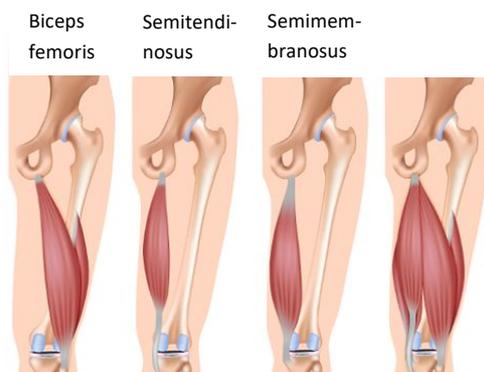


Abb. 10: Die drei ischiocruralen Muskeln

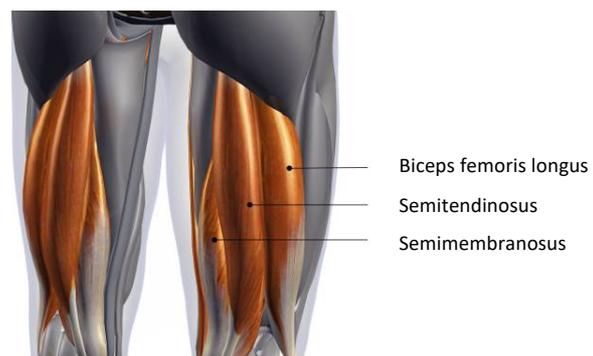


Abb. 11: Die Hamstrings

Zur Muskelgruppe der **Adduktoren** (s. Abb. 12) des Oberschenkels gehören der Musculus pectineus (Kammmuskel), der Musculus adductor longus (langer Adduktor), der Musculus adductor brevis (kurzer Adduktor), der Musculus adductor magnus (grosser Adduktor) und der Musculus gracilis (schlanker Muskel). Sie befinden sich an der Innenseite des Oberschenkels. Ihre Funktion besteht darin, den abgespreizten Oberschenkel wieder zur Körpermitte heranzuziehen. Zudem halten sie gemeinsam mit anderen Muskeln der Hüfte das Becken auf dem Standbein in Balance (Jantsch, 1999).

Die **Abduktoren** (s. Abb. 13) sind die Gegenspieler der Adduktoren. Sie bewirken die seitliche Wegführung des Oberschenkels von der Hüfte und befinden sich an der Aussenseite des Oberschenkels. Der Musculus gluteus medius (mittlere Gesässmuskel), der Musculus gluteus minimus (kleiner Gesässmuskel) und der Musculus piriformis (Piriformis-Muskel) bilden die Gruppe der Abduktoren (Rudolf-Müller, 2021).

Der **Musculus gluteus maximus** (grosser Gesässmuskel) (s. Abb. 13 und 14) ist als grösster Muskel des Gesässes der kräftigste Strecker und Aussenrotator des Hüftgelenks. Zudem spielt er bei der Abduktion und Adduktion des Oberschenkels eine Rolle. Der Gluteus Maximus gehört aber nicht in die Abduktoren- oder Adduktorengruppe (Rudolf-Müller, 2021).

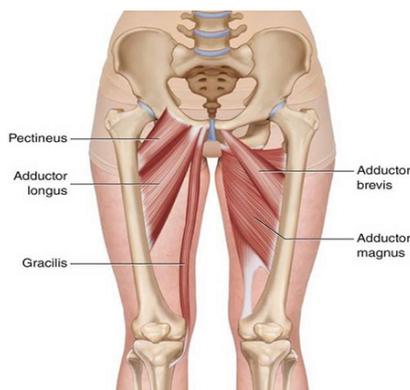


Abb. 12: Die Adduktoren

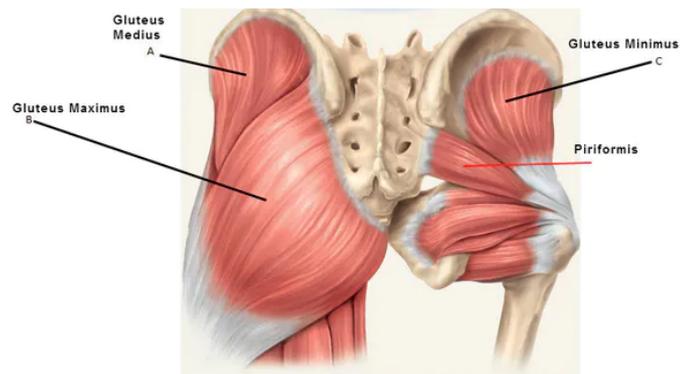


Abb.13: Die Abduktoren und der grosse Gesässmuskel



Abb. 14: Der grosse Gesässmuskel

2.5 Stabilisation durch aktive und passive Strukturen

Frau Haberzettl (2020) führt aus, dass der menschliche Bewegungsapparat grundsätzlich in den passiven und den aktiven Bewegungsapparat unterteilt werden könne. Zum passiven Bewegungsapparat würden Knochen, Knorpel, Gelenke, Bänder und Bandscheiben gehören. Der passive Bewegungsapparat werde auch Stützapparat genannt. Der aktive Bewegungsapparat setze sich, so Frau Haberzettl (2020), aus der Skelettmuskulatur, den Sehnen und den Faszien⁶

⁶ Bei den Faszien handelt es sich um faserreiche Bindegewebsschichten, die Muskeln, Knochen, Nervenbahnen, Blutgefäße und Organe umhüllen und so als Spannungsnetzwerk den ganzen Körper durchdringen (Haberzettl, 2020).

zusammen. In der Literatur wird gesagt, dass die aktiven Strukturen im Vergleich zu den passiven beweglich sind. Herr Dr. Antwerpes (2017) präzisiert jedoch, dass streng genommen nur das Muskelgewebe des aktiven Bewegungsapparats beweglich sei. Die Einteilung in aktiven Bewegungsapparat und Stützapparat sei also nicht exakt abzugrenzen (Antwerpes, 2017). Die beiden passiven Strukturen, Skelett und Gelenke, bestimmen die Gestalt des Menschen und geben vor, wo Bewegungen überhaupt möglich sind. Die Bänder schränken diese Beweglichkeit in einem sinnvollen Mass ein (Haberzettl, 2020). Wie im Kapitel 2.3 thematisiert, wird dieses starre Konstrukt erst durch den Einsatz von Muskelkraft beweglich. Der aktive Bewegungsapparat bringt die Knochen in Bewegung (Haberzettl, 2020). Die Muskulatur übernimmt zusätzlich eine stabilisierende Funktion. Die Strukturen des passiven Bewegungsapparats, insbesondere die Bänder, sind allein hohen Belastungen nicht gewachsen. Die Muskulatur kann die passiven Strukturen jedoch entlasten durch eine aktive Stabilisierung der Gelenke. Eine kräftige Muskulatur verleiht Halt und hilft dem Gelenk Strapazen besser abzufedern. Die aktiven Strukturen unterstützen also die passiven Strukturen bei der Stabilisierung der Gelenke (Höfler, o.J.).

In Bezug auf das Kniegelenk lässt sich sagen, dass die passive Stabilisation über die Kreuzbänder zusammen mit den Seitenbändern erfolgt. Während die Kreuzbänder das Kniegelenk nach vorne und hinten stabilisieren, übernehmen die Seitenbänder die seitliche Stabilisation. Unterstützt werden diese Bänder durch die Muskulatur. Insbesondere die Oberschenkelmuskulatur nimmt dabei eine massgebende Rolle ein. Zu einem gewissen Grad trägt jedoch die ganze Muskelkette vom Fuss bis zur Hüfte zur Stabilisierung des Kniegelenks bei. Je kräftiger diese Muskulatur ist, umso besser kann sie die Bänder unterstützen (Rosenthal, o.J.).

Wird das VKB in den Fokus gestellt, lässt sich feststellen, dass die hintere Oberschenkelmuskulatur dieses wesentlich unterstützt. Die ischiocrurale Muskelgruppe setzt an der Vorderseite der Tibia an und kann daher im zusammengezogenen Zustand die Tibia nach hinten ziehen und dadurch das Kreuzband in seiner Aufgabe unterstützen (s. Kapitel 2.6 «Lage, Anatomie und Funktion des VKBs») (Fröhlich, 2019).

2.6 Lage, Anatomie und Funktion des VKBs

Das VKB, welches den Ober- mit dem Unterschenkelknochen verbindet, zieht von der lateralen (von der Körpermitte abgewandten) Seite der Fossa intercondylaris⁷ nach medial (in die Richtung der Körpermitte) vor die Eminentia intercondylaris der Tibia (s. Abb. 15 und 16). Dort befindet sich die Area intercondylaris anterior (s. Abb. 16), wo das VKB im Knochen verankert ist (Antwerpes, 2019). Das VKB ist ca. 3 cm lang und 1 cm breit (Duthon et al., 2006).

⁷ Knöcherner Vertiefung zwischen den beiden Femurkondylen (Antwerpes, 2019).

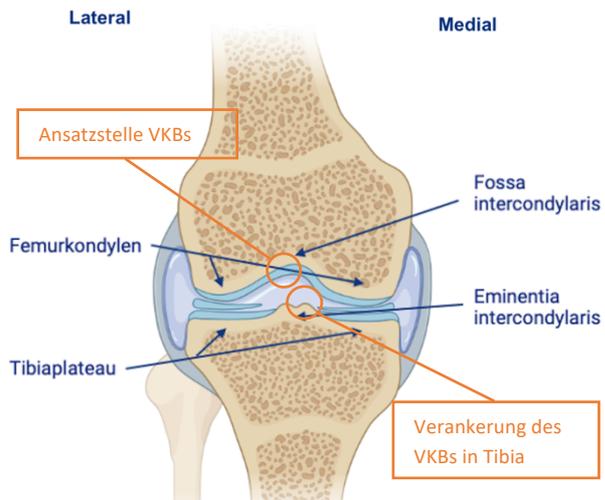


Abb. 15: Die Femurkondylen, die Fossa intercondylaris, das Tibiaplateau und die Eminentia intercondylaris (Ansicht von vorne)

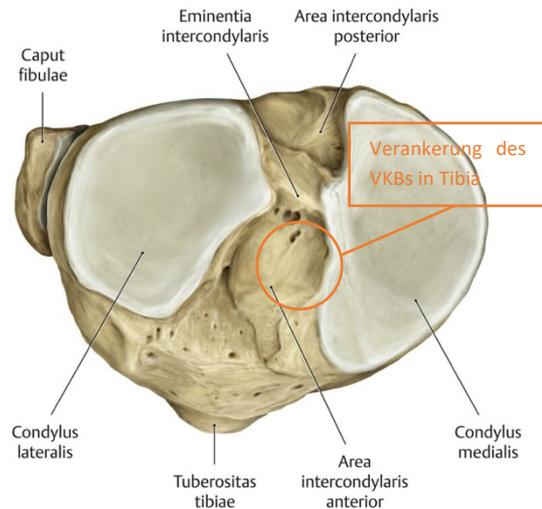


Abb. 16: Die Eminentia intercondylaris und die Area intercondylaris anterior (Ansicht von vorne)

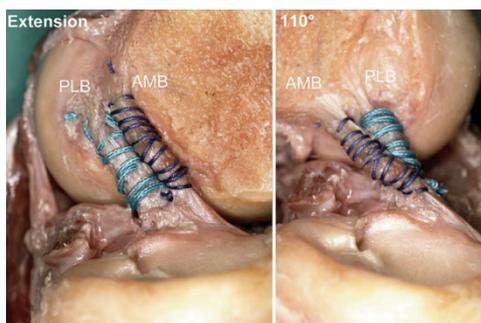


Abb. 17: Das AM-Bündel und das PM-Bündel des

In der Literatur wird das VKB häufig in zwei Hauptbündel eingeteilt: das anteromediale Bündel (AM- Bündel) und das posterolaterale Bündel (PL-Bündel). Das AM-Bündel ist funktionell betrachtet bei der Beugung des Knies angespannt, das PL- Bündel bei Rotationsstellungen. Die Form des VKBs ändert also je nach Beugungswinkel des Knies. Es ist anzumerken, dass beim Betrachten des Gewebes des VKBs an sich aber keine separaten Bündel feststellbar sind (Rheinländer, 2022).

Zum grössten Teil besteht das Kreuzband aus straffem Bindegewebe, das viele parallel verlaufende Fasern aus Kollagen enthält. Kollagen ist ein wichtiges Protein im menschlichen Körper. Kollagenfasern sind eine Gruppierung von Kollagenfibrillen. Die nächstkleinere Organisationseinheit bilden die Kollagenmoleküle, die wie alle Proteine aus Aminosäuren aufgebaut sind. Nur im Ansatzgebiet des VKBs an der Tibia weicht das VKB von der typischen Bandstruktur ab und weist sog. Faserknorpel auf. Das VKB wird durchblutet, doch die Blutgefäßversorgung ist nicht überall gleich ausgeprägt (Rheinländer, 2022).

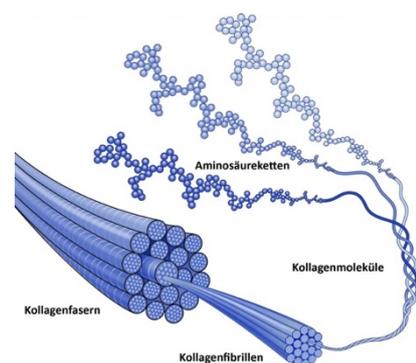


Abb.18: Der Aufbau von Kollagenfasern

Die Funktion des VKBs besteht aus den folgenden drei Punkten:

- Das Kreuzband gibt dem Knie Halt und stabilisiert es, indem es verhindert, dass sich der Unterschenkel nach vorne verschiebt.

- Es verhindert gemeinsam mit dem hinteren Kreuzband, dass sich das Knie verdreht. Auch hierbei fungiert das VKB als Stabilisator.
- Im VKB befinden sich spezielle Sinneszellen (Rezeptoren), die zu Muskelreflexen führen. Hierbei handelt es sich wiederum um eine stabilisierende, schützende Funktion. (Institut für Qualität und Wirtschaftlichkeit im Gesundheitswesen, 2021)

2.7 Kreuzbandruptur und Begleitverletzungen

Wenn ein VKB reißt, ist häufig ein Knallgeräusch zu hören. Oft folgt eine Anschwellung des Kniegelenks mit Schmerzen sowie einer Bewegungs- und Belastungseinschränkung. Nach dem Abklingen der akuten Schmerzen verspürt der/die Verletzte hin und wieder, dass das Knie instabil ist. Nach einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes ist das einwandfreie Funktionieren der im vorherigen Kapitel erwähnten Aufgaben, für die das VKB hauptverantwortlich ist, nicht mehr gewährleistet und aus diesem Grunde tritt die Instabilität auf. Der/Die Patient/in hat bspw. beim Treppensteigen das Gefühl, dass sich Ober-

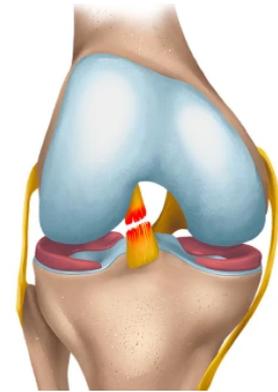


Abb. 19: Die VKB-Ruptur

und Unterschenkel leicht verschieben. Es kommt auch zum Wegknicken des Knies, was als «Giving-away» bezeichnet wird (o.V., Schulthess Klinik, o.J.). Wie ich aus meiner persönlichen Erfahrung weiss, verspüren nicht alle Leute aus meinem Umfeld, die sich einen Kreuzbandriss zugezogen haben, ein gleich starkes Instabilitätsgefühl. Das ist sehr individuell und kann von einer kaum bemerkbaren bis zu einer im Alltag stark beeinträchtigenden Instabilität reichen. Aufgrund der geringen Elastizität lassen sich Bänder bei zu hoher Beanspruchung schnell überdehnen. Ein Kreuzband reißt genau dann, wenn seine Reissfestigkeit, die rund 200 kg entspricht, überschritten wird (Rottenberg, o.J.). Ein Kreuzband muss auch nicht vollständig reißen. Bei einem unvollständigen Riss des Bandes wird von einem Kreuzbandanriss bzw. einer Teilruptur gesprochen. V.a. bei Kindern kommt es auch zu knöchernen Ausrissen im Bereich des Schienbeinkopfs. Das bedeutet, dass ein Knochenfragment mit dem Band zusammen herausreißt (Schulz, o.J.). Weiter ist anzumerken, dass bei 90% der Unfälle neben dem VKB noch weitere Strukturen im Knie mitverletzt werden: In über der Hälfte der Fälle reißen einer oder beide Menisken. Bei 50% kommt es zu Schäden am Gelenkknorpel und bei 15% wird das Außen- oder Innenband in Mitleidenschaft gezogen. Eine häufige Kombination ist die gleichzeitige Verletzung von VKB, Innenmeniskus und Innenband («Unhappy Triad») (Institut für Qualität und Wirtschaftlichkeit im Gesundheitswesen, 2021).



Abb. 20: Gesundes vs. gerissenes VKB (MRI-Aufnahme)

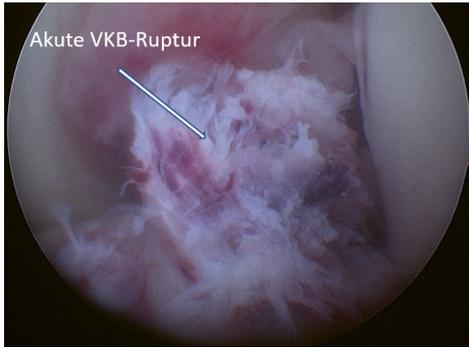


Abb. 21: Gerissenes VKB (Arthroskopie)

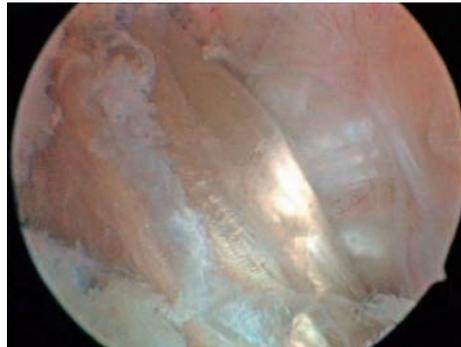


Abb. 22: Arthroskopie nach erfolgter Kreuzbandrekonstruktion

2.8 Verletzungsmechanismen

Die Analyse der Verletzungsmechanismen trägt wesentlich zum Verständnis einer Knieverletzung bei. Auf dieser Basis können potenzielle Risikofaktoren genauer definiert sowie präventive Massnahmen besser konzipiert werden (Zangerl, 2020, S.46-49).

70% der VKB-Rupturen entstehen gemäss Peterson et al. (2009) ohne direkten Gegnerkontakt als sog. «Non-Contact-Verletzungsmechanismen». Meist führen Kombinationen unterschiedlicher kreuzbandbelastender Bewegungsabläufe zu VKB-Rupturen. Neben den spontan auftretenden Verletzungen infolge übermässiger Belastung können immer wiederholende Belastungen, die einer Unfallsituation nahekommen, kumuliert eine Verletzung begünstigen. Die typischen «non-contact» Situationen können überwiegend in hohen Tempo- und Intensitätsbereichen beobachtet werden. Sie treten bspw. bei spontanen Richtungsänderungen mit Abbremsen, bei ein- oder zweibeinigen Landungen, bei Sprungmanövern mit nur wenig gebeugtem Knie sowie bei Dreh- und Seitwärtsbewegungen mit kaum gebeugtem Knie und fixiertem Fuss auf. (Zangerl, 2020, S.46-49).

Ein Hauptverletzungsmechanismus stellt der dynamische Knievalgus oder auch «Valgus-Collapse» dar (Zangerl, 2020, S.44):

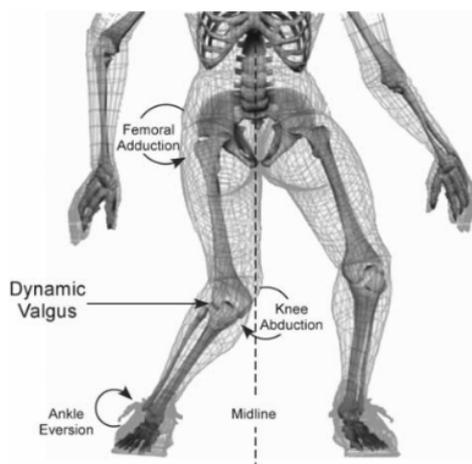


Abb. 23: Der dynamische Knievalgus

Bei der Landung nach einem Sprung oder während eines Richtungswechsels fällt dieser Verletzungsmechanismus häufig auf. Eine Hüftinnenrotation fällt zusammen mit einer Aussenrotationsstellung des Knies. Das Knie befindet sich dabei in Valgusstellung, also leicht nach innen

gekippt. Auch das Fussgelenk knickt nach innen ab. Die Spannung im Kreuzband ist in dieser Situation sehr hoch und die ischiocrurale Muskulatur befindet sich in einer unvorteilhaften Position, um das Kreuzband zu schützen. Zudem liegt der Körperschwerpunkt hinter dem Kniegelenk und meist kommt es dadurch zu einer hohen Aktivität des Quadriceps. Dies verstärkt die Belastung fürs VKB noch zusätzlich. Die Abb. des dynamischen Knie valgus verdeutlicht, dass das Kniegelenk lediglich ein Teil des Risikomodells ausmacht und auch Hüft- und Fussgelenk Einfluss auf eine Knieverletzung haben. Insbesondere die Rotation in der Hüfte bestimmt die Ausprägung des dynamischen Knievalgus (Zangerl, 2020, S.44).

In Realität könnte eine Unfallsituation wie folgt aussehen:



Abb. 24: Bsp. einer Unfallsituation im Fussball

Im Bild ist der englische Fussballspieler Michael Owen zu sehen, der sich an der WM 2006 das Kreuzband riss. Der Spieler versucht abzubremsen, wobei sich der Körperschwerpunkt nach hinten verlagert. Dadurch muss der Quadriceps stark kontrahieren. Die rotatorische Bewegung beim Nachinnenkippen des Kniegelenks wird auf den Fotografien ersichtlich (Pfister, 2015, S.7).

Betrachtet man die Vorgänge im Kniegelenk während dieses Hauptverletzungsmechanismus, lässt sich veranschaulichen, wie sich das VKB in der Unfallsituation tatsächlich verhält:

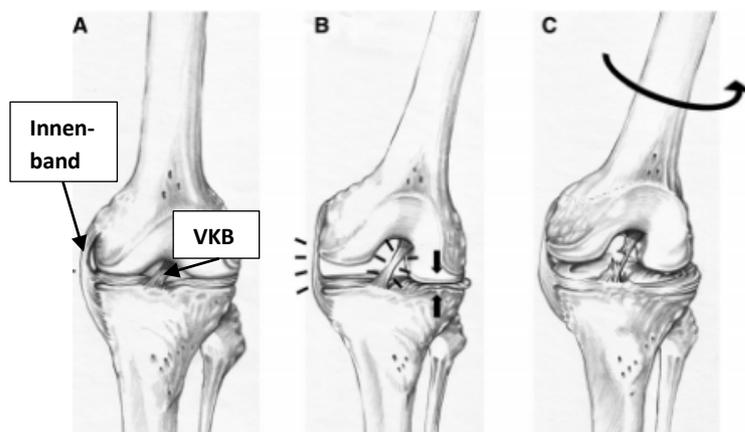


Abb.25: Das Verhalten des Knies im Moment der VKB-Ruptur (Knie rechts von hinten)

Abb. 25A) zeigt das unbelastete Knie. In Abb. 25B) ist das Kniegelenk unter Valgusstress dargestellt. Das Innenband und das VKB werden gespannt und der äussere Femurkondylus drückt auf das Tibiaplateau. Das Kniegelenk wird einseitig komprimiert. In Abb. 25C) wird der Moment der Ruptur deutlich. In diesem Schritt dreht sich der Oberschenkel aufgrund der wirkenden Kräfte bei fixiertem Unterschenkel. Dadurch wird das Kreuzband angespannt, bis zu einem Punkt, wo es die Spannung nicht mehr halten kann. Man kann sich das Kreuzband vorstellen wie ein Gummiband, das bei zu grosser Spannung reisst. Warum bei VKB-Rupturen dann häufig auch das Innenband in Mitleidenschaft gezogen wird (s. Kapitel 2.7 «Kreuzbandruptur und

Begleitverletzungen») lässt sich an diesem Modell ebenfalls erkennen (Zangerl, 2020, S.46-49).

2.9 Risikofaktoren

Der Medizinjournalist Gunnar Römer (2012) definiert Risikofaktoren folgendermassen: «Ein Risikofaktor bezeichnet im Bereich der Medizin und der Gesundheits- und Pflegewissenschaft das Vorliegen spezieller körperlicher, psychischer oder umweltassoziierter Gegebenheiten, die das Risiko für das Auftreten von bestimmten Krankheiten erhöhen.». Auch das Auftreten eines Kreuzbandrisses ist von Risikofaktoren abhängig, obschon es sich hierbei eher um eine Verletzung als um eine Krankheit im eigentlichen Sinne handelt. Je mehr der im Folgenden beschriebenen Risikofaktoren bei einer Person auftreten, umso höher ist ihr Risiko, sich einen Kreuzbandriss zuzuziehen. Es ist aber nicht so, dass es bei jeder Person, die Risikofaktoren aufweist, auch tatsächlich zu einem Kreuzbandriss kommt. Zudem fällt auf, dass in der Forschung kein Konsens über die Frage herrscht, welche Faktoren tatsächlich einen Einfluss auf eine Verletzung des vorderen Kreuzbandes haben. Verschiedene Studien zur selben Fragestellung kommen häufig auf unterschiedliche Resultate, weshalb die Risikofaktoren mit Vorsicht zu betrachten sind. In dieser Arbeit werden diejenigen Risikofaktoren berücksichtigt, welche in der Literatur grosse Unterstützung finden. Grundsätzlich ist festzuhalten, dass im Zusammenhang mit einer VKB-Ruptur folgende Risikofaktoren unterschieden werden:

- Risikosportarten
- Externe Risikofaktoren
- Interne Risikofaktoren
- Hormonelle Risikofaktoren

Im Folgenden werden diese Begriffe genauer erläutert und im Anschluss wird mittels einer Zusammenstellung der frauenspezifischen Risikofaktoren das bei Frauen drei- bis achtfach erhöhte Risiko für einen Kreuzbandriss veranschaulicht; denn allein die Tatsache, eine Frau zu sein, erhöhe laut Silvers-Granelli das Verletzungsrisiko bei VKB-Rupturen enorm (Silvers-Granelli, 2021, S.1).

2.9.1 Risikosportarten

Kreuzbandrisse entstehen oft im Zusammenhang mit gewissen für diese Verletzung bes. risikoreichen Sportarten. Dabei handelt es sich vordergründig um Sportarten, die durch abrupte Richtungswechsel sowie das einbeinige Landen geprägt sind. Ebenso stellen Ballsportarten, die sich durch «Stop and Go» Bewegungsmuster auszeichnen, Risikosportarten dar (Ostermeier und Marquass, 2022). Bsp. für Risikosportarten sind: Fussball, Skisport, Kampfsport, Tennis, Handball, Basketball, Squash und Volleyball (Khadavi und Fredericson, 2019). Die typischen Bewegungsmuster mit ihren entsprechenden Verletzungsmechanismen prägen die oben genannten Sportarten stark, was sie anfällig macht für eine Ruptur.

2.9.2 Externe Risikofaktoren

Unter externen Risikofaktoren versteht man die äusseren Faktoren, wie bspw. das Wetter oder die Art des Wettkampfs. Denn auch diese Faktoren, die nicht direkt mit der Anatomie oder der Biomechanik eines Sportlers oder einer Sportlerin zu tun haben, können Einfluss

nehmen auf eine mögliche Kreuzbandruptur (Pfister, 2015, S.8). Im Folgenden werden die aktuellen Forschungsthemen im Zusammenhang mit externen Risikofaktoren kurz umrissen. Zurzeit kann allerdings noch sehr wenig über den Einfluss von externen Risikofaktoren gesagt werden.

Interessant sind die Auswirkungen der **Art des Wettkampfs** auf das Risiko einer VKB-Verletzung eines Sportlers oder einer Sportlerin. Es wird berichtet (Renstrom et al., 2008, S.4-5), dass Sportler und Sportlerinnen ein höheres Risiko haben, sich während eines Spiels eine VKB-Verletzung zuzuziehen als während des Trainings. Renstrom et al. (2008, S.4-5) folgert, dass das Niveau des Wettkampfs, die Art des Wettkampfs oder eine Kombination aus beidem das Risiko eines Sportlers eine VKB-Verletzung zu erleiden erhöhe.

Bzgl. der **meteorologischen Bedingungen** lässt sich sagen, dass bei Sportarten, die auf Natur- oder Kunstrasen gespielt werden, Verletzungen des vorderen Kreuzbandes ohne Kontakt häufiger in Zeiten mit geringen Niederschlägen und hoher Verdunstung auftreten (Renstrom et al., 2008, S.4-5).

Weiter lässt sich sagen, dass eine Erhöhung der **Reibung zwischen Sportschuh und Spielfläche** zwar die sportliche Leistung verbessern kann, aber auch die Gefahr mit sich bringt, das Verletzungsrisiko für das VKB zu erhöhen (Renstrom et al, 2008, S.4-5).

2.9.3 Interne Risikofaktoren

Bei den internen Risikofaktoren handelt es sich um körperliche Prädispositionen eines Sportlers oder einer Sportlerin. Dieser Typ von Risikofaktoren ist bei jedem Menschen individuell und dessen Ausprägung lässt sich teilweise nicht oder nur schwer modifizieren. Diese Risikofaktoren sind insbesondere anatomischer, neuromuskulärer und biomechanischer Natur (Renstrom et al, 2008, S.5-6).

Der grösste Risikofaktor ist eine **Vorverletzung des Kniegelenks**. Dabei muss es sich nicht zwingend um eine vergangene Kreuzbandruptur handeln, sondern bspw. auch um einen Riss eines Seitenbandes oder eines Meniskus. Dies liegt v.a. daran, dass eine Vorverletzung des Kniegelenks häufig in einer langfristigen verminderten Stabilität des Kniegelenks resultiert, welche dann einen Kreuzbandriss begünstigt (Zangerl, 2020, S.31-35). Es besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Gelenkinstabilität und dem Auftreten eines Risses des vorderen Kreuzbandes. Dies konnte von Ramesh et al. (2005) in einer Studie aufgezeigt werden. Daher ist es sehr wichtig, in der Rehabilitationszeit nach einer Knieverletzung das Kniegelenk möglichst wieder zu stabilisieren. Nur so können weitere Schäden am Kniegelenk langfristig verhindert werden (Zangerl, 2020, S.31-35).

Eine globale Instabilität, wobei sich die Instabilität nicht nur auf das Kniegelenk, sondern auf den ganzen Körper bezieht, zeigt sich im **Hyperlaxitätssyndrom** (s. Abb. 26). Dabei sind die passiven Strukturen weitaus beweglicher, wodurch sich die Gelenke überstrecken lassen. Von einem Hyperlaxitätssyndrom ist dann die Rede, wenn dieses Defizit nicht durch die aktiven Stabilisatoren, sprich die Muskeln, kompensiert werden kann (Zangerl, 2020, S.38-39).

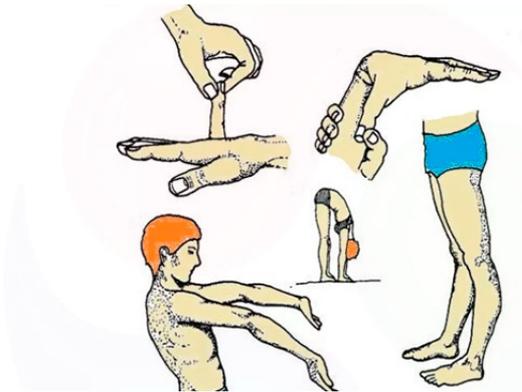


Abb. 26: Verschiedene Symptome des Hyperlaxitätssyndroms

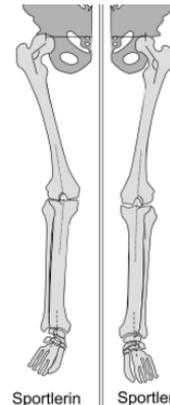


Abb. 27: Vergleich der Beinachse

Auch das **Alter zwischen 15 und 25 Jahren** stellt einen Risikofaktor dar, weil in diesem Lebensabschnitt ein häufig sehr aktiver Lebensstil mit einer hohen Teilnahme an sportlichen Aktivitäten gepflegt wird (Ostermeier und Marquass, 2022).

Bei Frauen ist v.a. die Tendenz zu einer **Valgusstellung** (s. Abb. 27) als anatomischer Risikofaktor zu erwähnen. Oft weisen Frauen ein breiteres Becken auf, was dazu führt, dass der Oberschenkel im Hüftgelenk nach innen steht. Dies führt dann zu einer Valgusstellung (X-Beine) sowie zu einem Abknicken des Fussgelenks nach innen (Fusspronation). Es ist also von einer Fehlstellung der Beinachse zu sprechen, die in einer Fehlbelastung des Kniegelenks resultiert und in einer Unfallsituation häufig zum Abknicken des Kniegelenks nach innen führt. Diese Valgusstellung fördert folglich auch das Auftreten des Verletzungsmechanismus «Valgus-Collapse» (Zangerl, 2020, S.38-39).

Ein weiterer interner Risikofaktor stellt die **Abgleitbewegung der Tibia nach anterior** (ATT = anterior tibial translation) dar. Darunter versteht man, dass sich die Tibia im Vergleich zum Femur unter Belastung nach vorne schiebt (s. Abb. 28). Je nach Knochenbau kommt es bei einer Person zu einer mehr oder weniger starken Abgleitbewegung, wodurch das VKB dementsprechend mehr oder weniger belastet wird. Die Belastung für das Kreuzband ist bes. hoch bei einem Beugewinkel des Kniegelenks von 20°-30°, was bspw. in der frühen Landephase nach einem Sprung vorliegt. Diese Situation ist unter anderem deshalb so risikoreich, weil die schützende Wirkung der Hamstrings, die einer Verschiebung entgegenwirken könnten, in dieser beinahe gestreckten Position deutlich vermindert ist. Es gilt: Je ausgeprägter die Abgleitbewegung umso höher ist das Risiko für eine Ruptur (Zangerl, 2020, S.43).

In diesem Zusammenhang ist auch der Einfluss des **Tibial Slope (PTS)** auf die Entstehung einer vorderen Kreuzbandruptur zu erwähnen. Unter dem Tibial Slope ist der Winkel zwischen dem Lot an der Tibiaachse und der Tangente am Tibiaplateau zu verstehen (s. Abb. 29). Er ist also durch den Knochenbau festgelegt. Normwerte des Tibial Slope liegen zwischen 6-10°. Es wird angenommen, dass ein Winkel, der grösser als 10° ist, zu einer erhöhten anterioren Abgleitbewegung der Tibia führt. Die Folge ist eine starke Belastung des vorderen Kreuzbandes (Stofels und Kolb, o.J.).

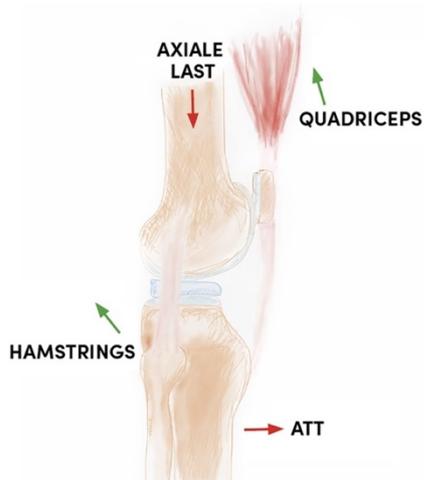


Abb. 28: Die wirkenden Kräfte im Kniegelenk



Abb. 29: Der Tibial Slope

Während sich bei Männern die vordere und hintere Oberschenkelmuskulatur sowie die Gesässmuskulatur häufig in einem Gleichgewicht befindet, ist bei Frauen die vordere Oberschenkelmuskulatur oft besser ausgebildet als die hinter Oberschenkelmuskulatur und die Gesässmuskulatur (Glunk, 2015). Bei Sportlerinnen mit einer solchen Ausprägung spricht man von einer **Dominanz des Quadriceps**. In einer Verletzungssituation stellt dies einen Nachteil für die Frauen dar. Beim Stoppen und beim Landen nach einem Sprung wird der Quadriceps vermehrt aktiviert. Das führt bei der Kontraktion des Quadriceps zu einer Verschiebung der Tibia nach vorne, wodurch das Verletzungsrisiko steigt. In der Literatur wird in diesem Zusammenhang häufig von frauenspezifischen Bewegungsmustern gesprochen. Natürlich können die Quadricepsdominanz und die daraus folgenden Bewegungsmuster auch bei Männern auftreten (Glunk, 2015).

Ein weiterer interner Risikofaktor stellt die Länge und das Volumen des Kreuzbandes dar, sprich die **Anatomie des Kreuzbandes**. Frauen weisen häufig anatomisch kürzere Kreuzbänder mit einem geringeren Volumen auf. Diese Tatsache könnte das Rupturrisiko bei Frauen begünstigen. In diesem Zusammenhang sollte auch die Weite der Fossa intercondylaris (s. Abb. 15) angesprochen werden. Häufig haben Patienten und Patientinnen mit einer Kreuzbandruptur eine schmalere Fossa intercondylaris. Es wird angenommen, dass eine schmalere Fossa intercondylaris das Risiko für einen Kreuzbandriss erhöht. Es wird weiter vermutet, dass ein Zusammenhang zwischen der Weite der Fossa intercondylaris und der Grösse des VKBs besteht. Ein schmalere Fossa intercondylaris könnte auf ein schmaleres Kreuzband hinweisen. Da Frauen i.d.R. kleiner sind als Männer, weisen sie auch eine schmalere Fossa intercondylaris auf (Renstrom et al, 2008, S.5-6).

Die **Neuromuskuläre Kontrolle** ist ein hochaktuelles Thema in der sportmedizinischen Forschung in Bezug auf Kreuzbandrisse. Einfach ausgedrückt bedeutet der Begriff neuromuskulär «die Nerven und die Muskeln betreffend». Unter neuromuskulärer Kontrolle versteht man die unbewusste Aktivierung von gelenkstabilisierenden Muskeln ausgelöst durch einen Reiz. Auf das VKB bezogen, bedeutet dies bspw., dass die ischiocrurale Muskulatur bei der Kontraktion des Quadriceps unbewusst aktiviert werden sollte, da die Aktivierung der ischiocruralen Muskulatur die Belastung, die der Quadriceps bei Kontraktion auf das VKB ausübt, vermindert. Die über die Nerven gesteuerte Aktivierung der Hamstrings sollte dabei in einem adäquaten

Zeitraum erfolgen. Ist diese neuromuskuläre Kontrolle reduziert und die ischiocrurale Muskulatur reagiert verlangsamt oder nicht stark genug, ist die Gefahr einer Ruptur erhöht. Um das Gelenk und die Bänder zu schützen, ist demnach nicht nur die eigentliche Kraft der Muskulatur wichtig, sondern auch die Zeit, in der sie ihre Kraft entfalten kann (Pfister, 2015, S.11-12). Auch die Propriozeptoren, das sind Rezeptoren in Muskeln und Gelenken, die Reize ans Gehirn senden und diesem dadurch ein Bild über die Position des Gelenks im Raum vermitteln, machen einen wichtigen Teil der neuromuskulären Kontrolle aus (s. Kapitel 2.6 «Lage, Anatomie und Funktion des VKBs»). Unter anderem im Kreuzband sitzen wichtige Propriozeptoren. Das Hirn kann durch die Verarbeitung propriozeptiver Informationen bspw. schon vor der Landung nach einem Sprung die Lage des Knies im Raum abschätzen und durch die Aktivierung entsprechender Muskeln die Gelenkstellung korrigieren und somit das Knie auf die Landung vorbereiten (Pfister, 2015, S.11-12).

2.9.4 Hormonelle Risikofaktoren

Unter hormonellen Risikofaktoren versteht man Risikofaktoren, die auf Botenstoffe im menschlichen Körper zurückzuführen sind (Zangerl, 2020, S.38-39).

Kontrovers diskutiert wird der Einfluss weiblicher Geschlechtshormone auf einen Kreuzbandriss. In Studien konnte gezeigt werden, dass die Eigenschaften des Bindegewebes, woraus auch das VKB besteht, durch eine hohe Konzentration von Östrogen im Körper beeinflusst werden: Die Menge an Kollagen und der Fibrillendurchmesser können deutlich verringert werden (Slauterbeck et al., 2002; Hama et al., 1976, S.473-479). Eine signifikante Abnahme der Zugfestigkeit des vorderen Kreuzbandes resultiert also unter anderem aus einem hohen Östrogenspiegel. Der Östrogenspiegel nimmt in der ersten Hälfte des Menstruationszyklus zu, bis er zum Zeitpunkt des Eisprungs den Höhepunkt erreicht. Folglich ist eine reduzierte Zugfestigkeit des vorderen Kreuzbandes vor und während des Eisprungs festzustellen (Slauterbeck et al., 2002; Romani et al., 2003, S.287-298). Es gibt jedoch auch Studien, die diese Erkenntnis nicht bestätigen konnten (Beynon et al., 2008, S.541-542). Unklar bleibt grundsätzlich die Frage, ob eine reduzierte Zugfestigkeit nicht auch eine protektive Wirkung haben kann. Es wird sogar von der Möglichkeit gesprochen, dass eine verminderte Zugfestigkeit, und insofern eine erleichterte Verlängerung des VKB, eher zu einem Dehnungseffekt als zu einer Ruptur führen könnte. Dies entspräche dann einem Schutzmechanismus (Zangerl, 2020, S.38-39). Renstrom et al. (2014, S.16) berichtet zudem, dass der Anteil an VKB-Rupturen im Kindesalter bei Jungen und Mädchen im Sport ähnlich sei. Ab der Pubertät würden dann plötzlich mehr sportlich aktive Frauen als Männer einen Kreuzbandriss erleiden.

2.9.5 Risikofaktoren bei Frauen

Die untenstehende Tab. versucht, die frauenspezifischen Risikofaktoren nochmals resümierend festzuhalten. Daran lässt sich das erhöhte Verletzungsrisiko für Frauen erklären: Neben den für beide Geschlechter prägenden Risikofaktoren findet man bei den Frauen zusätzlich die folgenden:

Risikofaktor:	Beschreibung:
Valgusstellung	<ul style="list-style-type: none"> - Anatomisch breiteres Becken von Frauen im Vergleich zu Männern führt zu einer Valgusstellung (X-Beine) und einer Fusspronation. - Diese Fehlstellung der Beinachse führt zu einer Fehlbelastung und einem Abknicken des Knies nach innen. (Zangerl, 2020, S.38-39)
Quadricepsdominanz	<ul style="list-style-type: none"> - Bei Frauen gehäuft auftretende Dysbalance zwischen Quadriceps und Hamstrings (Glunk, 2015) - Der Quadriceps dominiert bei Stoppbewegungen und beim Landen aus einem Sprung, was zur Verschiebung der Tibia nach vorne führt (Glunk, 2015).
Anatomie des VKBs	<ul style="list-style-type: none"> - Schmalere Fossa interkondylaris bei Frauen aufgrund der Körpergrösse - Anatomisch kürzeres, schmaleres VKB bei Frauen (Renstrom et al, 2008, S.5-6)
Östrogenspiegel	<ul style="list-style-type: none"> - Hoher Östrogenspiegel führt zu Veränderung des Bindegewebes im Körper - Abnahme der Zugfestigkeit des VKBs vor und während Eisprung (Zangerl, 2020, S.38-39)

Tab. 2: Die Risikofaktoren bei Frauen

2.10 Verschiedene Trainingsansätze zur Prävention von Kreuzbandrissen

Die erfolgreichen Präventionsprogramme im Zusammenhang mit Verletzungen des vorderen Kreuzbandes haben gemeinsam, dass sie alle eine oder mehrere der folgenden Trainingsarten beinhalten (Renstrom et al., 2008, S.19-25):

- Kraftaufbau im Bereich Hypertrophie
- Neuromuskuläres Training
- Propriozeptives Training
- Plyometrisches Training
- Sportspezifisches Agilitätstraining
- Bewusstsein für risikoreiche Positionen schärfen

Kraftaufbau im Bereich Hypertrophie. Grundlage für die Prävention von Kreuzbandrissen bildet der Kraftaufbau im Bereich Hypertrophie (für Erklärung des Begriffs «Hypertrophie», s. S.6, Fussnote 1). Der Muskelzuwachs des Hypertrophietrainings findet nicht während des Trainings, sondern danach statt, weshalb eine ausreichende Regeneration essentiell ist. Ideal für das Hypertrophietraining sind drei bis fünf Sätze an sechs bis zwölf Wiederholungen. Hypertrophietraining fördert auch die intramuskuläre Koordination, also das Zusammenspiel der einzelnen Muskelfasern. Das führt dazu, dass mit fortschreitendem Training immer mehr Anteile im Muskel zur gleichen Zeit aktiv sind. Eine gut aufgebaute Muskulatur hilft, die Gelenke zu stabilisieren und unterstützt die passiven Strukturen wesentlich. Das Training im Bereich Hypertrophie führt zu einer Verbesserung der Maximalkraft (für die Definition der Maximalkraft: s. Kapitel 3.3 «Methode: Isokinetisches Testgerät») (Gutknecht, o.J.).

Neuromuskuläres Training. Ein zweiter Trainingsansatz stellt das neuromuskuläre Training dar (für Erklärung des Begriffs «neuromuskuläres Training», s. S.6, Fussnote 3). Neuromuskuläres Training strebt danach, die neuromuskuläre Kontrolle zu verbessern, d.h. die über die Nerven gesteuerte Aktivierung der Muskeln zu verbessern. Die Nerven kontrollieren die Bewegungen, indem sie die Befehle von Gehirn und Rückenmark an die Muskulatur weiterleiten (Pfister, 2015, S.11-12). Neuromuskuläres Training hilft dabei, die Muskulatur gezielt anzusteuern und dies auch innert möglichst kurzer Zeit. Dadurch können die Bandstrukturen unterstützt und auch geschützt werden (Mathiebe, o.J.).

Propriozeptives Training. Unser Körper nimmt äussere Reize nicht nur über die grossen Rezeptoren wie die Augen wahr, sondern auch über kleine Körperrezeptoren, den Propriozeptoren. Solche Propriozeptoren findet man in Muskeln, Gelenken, Sehnen, Bändern und Bindegewebe. Das propriozeptive System erlaubt uns, bspw. Stürze abzufedern und auf wackeligem Untergrund zu laufen. Propriozeptives Training, auch sensomotorisches Training genannt, basiert auf der Schulung der Tiefenwahrnehmung mithilfe von Balance- und Konzentrationsübungen. Der Körper lernt blitzschnell zu reagieren, das Gleichgewicht zu finden und so Stürze zu verhindern. Somit dient propriozeptives Training als Präventionsmassnahme und bringt viele Vorteile, wie die Verbesserung der Koordination, der Stabilität, des Gleichgewichts, der Reaktionsgeschwindigkeit (Gutknecht, o.J.).

Plyometrisches Training. Auch Plyometrie ist ein Trainingsansatz zur Prävention von Kreuzbandrissen (für Erklärung des Begriffs «Plyometrisches Training», s. S.6, Fussnote 2). Typische Übungen sind dabei Sprünge, dynamische Richtungswechsel und schnelle Schrittkombinationen in sämtliche Richtungen. Neben der Schnellkraft wird durch plyometrisches Training auch die Maximalkraft (für die Definition der Maximalkraft: s. Kapitel 3.3 «Methode: Isokinetisches Testgerät»), die Reaktionszeit, die Balance, die Koordination und die Stabilität verbessert. Zudem werden die Bänder und Sehnen gestärkt (Gutknecht, o.J.).

Sportspezifisches Agilitätstraining. Unter Agilität wird die Fähigkeit beschrieben, explosiv anzutreten zu können, abzubremsen, die Laufrichtung zu ändern und erneut anzutreten. Der/Die Sportler/in muss die Bewegungen kontrollieren und einen Richtungswechsel mit geringstmöglichem Geschwindigkeitsverlust vornehmen. Diese Fähigkeiten werden im Agilitätstraining verbessert (Graham, 2014). Auch «Stop and Go» Bewegungen werden gezielt trainiert. Regelmässiges Agilitätstraining verfolgt das Ziel, Bewegungssituationen mit einem optimalen Bewegungsablauf einzuüben, sodass diese mit der Zeit automatisiert werden. Erreicht werden sollen die Gewährleistung optimaler Bewegungsabfolgen und die Vermeidung ungünstiger Positionen, die zu Verletzungen führen können (Fellner et al., o.J.).

Bewusstsein für risikoreiche Positionen schärfen. Sehr wichtig ist auch die Sensibilisierung der Sportler/innen gegenüber Kreuzbandrissen. Sie müssen die Verletzungsmechanismen kennen und lernen, welche Positionen ungünstig und risikoreich sind. Man muss die Sporttreibenden auch direkt darauf aufmerksam machen, wenn sie ungünstige Bewegungen ausführen (Renstrom et al., 2008, S.19-25). Der erste Schritt zur Prävention ist und bleibt meiner Meinung nach die Aufklärung der Sporttreibenden über die Gefahr von VKB-Rupturen.

In vielen Präventionsprogrammen werden mehrere dieser Trainingsansätze eingebaut. Es haben sich aber auch Präventionsprogramme als erfolgreich erwiesen, die sich lediglich einem Typ Übungen gewidmet haben (Renstrom et al., 2008, S.19-25).

2.11 Kriterien für ein erfolgreiches Präventionsprogramm

Es gibt einige Faktoren, anhand derer sich der Erfolg eines Präventionsprogramms abschätzen lässt. Ein erfolgreiches Präventionsprogramm für VKB-Rupturen soll sicherlich eines oder mehr der im letzten Unterkapitel genannten Trainingsarten beinhalten. Auch wichtig ist, dass das Präventionsprogramm die für eine VKB-Ruptur bes. gefährliche Valgusstellung miteinbezieht und versucht, an deren Verminderung zu arbeiten. Zudem ist die Wahrscheinlichkeit grösser, dass ein Präventionsprogramm, das als Aufwärmprogramm eingesetzt werden kann, langfristig durchgeführt wird. Es ist auch wichtig für den Erfolg eines Präventionsprogramms, dass es bspw. nicht nur während der Hauptsaison ausgeführt wird, sondern das ganze Jahr hindurch. Ein Präventionsprogramm sollte bei den Sporttreibenden auch gut ankommen, um langfristig Erfolg zu zeigen. Die langfristige Durchführung verlangt viel Durchhaltewille und Disziplin, welche nur gewährleistet ist, wenn das Programm den Sporttreibenden Freude bereitet (Renstrom et al., 2008, S.25).

Im Kapitel 4.4 werde ich mein Präventionsprogramm mit Blick auf die obigen Kriterien überprüfen.

2.12 Bisherige Präventionsversuche

Eine zunehmende Anzahl an Studien und Präventionsprogrammen, die sich mit der Vermeidung von Knieverletzungen, insbesondere VKB-Verletzungen, befassen, hat sich in den letzten Jahren bemerkbar gemacht (Renstrom et al., 2008, S.19-25). Dabei gibt es eine norwegische Studie, welcher ich bes. ins Blickfeld rücken möchte. Ich bin schon von einigen Fachpersonen, unter anderem von Herrn Dr. med. Gregor Baumann, Leitender Arzt der Kniechirurgie in der Schulthess Klinik Zürich, auf diese Studie aufmerksam gemacht worden. Mich persönlich hat diese Studie auch davon überzeugt, wie viel man mit Verletzungsprävention erreichen kann. Die Studie von Myklebust et al. (2007) hat sich mit dem Einfluss von neuromuskulären Übungen auf die Häufigkeit von Verletzungen des vorderen Kreuzbandes bei professionellen Handballspielerinnen befasst. Dabei nahmen rund 900 Handballspielerinnen über drei Jahre hinweg teil. Im ersten Jahr, in der Kontrollzeit, kam es zu 29 Kreuzbandverletzungen. Im zweiten und dritten Jahr wurde dann wöchentlich das 15-minütige Präventionsprogramm, welches sich aus Balanceübungen sowie Sprung- und Landeübungen zusammensetzt, durchgeführt. In der ersten Interventionszeit, im zweiten Jahr der Studie, kam es zu 23 VKB-Verletzungen und in der zweiten Interventionszeit, im dritten Jahr, wurden noch 17 Verletzungen gemeldet. Myklebust et al. (2007) bestätigen, dass es möglich ist, die Anzahl der Kreuzbandrisse wesentlich zu reduzieren mit neuromuskulärem Training.

Aufgrund dieser und noch vieler anderer Studien kann nachgewiesen werden, dass es mit einem gut erarbeiteten Präventionsprogramm möglich ist, das Risiko für eine VKB-Ruptur, insbesondere bei Frauen, zu reduzieren (Renstrom et al., 2008, S.19-25).

3 Experimententeil

3.1 Übersicht über die Versuchsdurchführung

Wie in der Einleitung erwähnt, habe ich meine Arbeit spezifisch jungen Frauen in der Schweiz zwischen 15 und 25 Jahren gewidmet, da diese wie im Kapitel «Risikofaktoren» bereits erwähnt ein erhöhtes Risiko für eine VKB-Ruptur haben. Das Ziel dieser Arbeit ist, die Stabilität des Kniegelenks durch das regelmässige Durchführen von Übungen, insbesondere im Kraftaufbaubereich, zu erhöhen. Konkret steht dabei die Frage im Zentrum, ob ein Aufbau der Maximalkraft der gelenkumgebenden Muskulatur von 10% innerhalb von acht Wochen möglich ist. Drei sportliche, junge Frauen haben sich freiwillig gemeldet, um an meinem Versuch zu partizipieren. Eine Einschätzung über den Erfolg der Übungen soll durch die isokinetischen Kraftmessungen ermöglicht werden. Das Vorgehen verlief dabei wie folgt:

Nachdem ich mich vertieft mit dem Thema der Prävention von Kreuzbandrissen auseinandergesetzt hatte, habe ich mich daran gemacht, das im Theorieteil erlernte Wissen umzusetzen. Mithilfe von Frau Nina Boser (ausgebildete Physiotherapeutin, PhysioZüriWest) habe ich ein Präventionsprogramm mit verschiedenen Übungen zusammengestellt. Wichtig war mir dabei, die verschiedenen, typischen Risikofaktoren bei Frauen miteinzubeziehen und gezielt mit den Übungen an deren Verringerung zu arbeiten. Zudem soll möglichst wenig Infrastruktur für die Ausführung der Übungen benötigt werden. Bewusst wird daher auf den Einsatz von Zusatzgewichten und Fitnessgeräten verzichtet. Lediglich ein kleiner Ball sowie ein Powerband⁸ werden benötigt. Der Grund dafür hängt damit zusammen, dass das Präventionsprogramm für jede junge Frau immer und überall durchführbar sein soll. Das Präventionsprogramm ist tendenziell eher für den Breitensport gemacht, kann aber natürlich auch von jungen Frauen im Leistungssport eingesetzt werden. Das Programm ist nicht sportartspezifisch. Nach der Zusammenstellung der Übungen wurden diese von mir ausgeführt und gefilmt. Das Video wurde schliesslich mittels des Videobearbeitungsprogramms iMovie geschnitten und bearbeitet.

In einem zweiten Schritt wurde die erste Kraftmessung der drei Probandinnen an der Schulthess Klinik in Zürich mittels eines isokinetischen Testgeräts durchgeführt. Auch dabei standen mir Physiotherapeuten zur Seite. Von nun an wurde das Präventionsprogramm von den drei Probandinnen über zwei Monate hinweg, jeweils dreimal über die Woche verteilt, durchgeführt. Die Durchführung des Programms dauert dabei rund eine halbe Stunde pro Übungseinheit. Am Ende dieser acht Wochen wurde eine erneute Kraftmessung durchgeführt. Bei den Probandinnen handelt es sich um junge Frauen, die alle aktiv sind in Sportarten, die eine gewisse Belastung fürs Kniegelenk mit sich bringen. Die Testpersonen üben mehrmals wöchentlich die jeweiligen Sportarten (Taekwon-Do, Geräteturnen, Ballett) aus, doch sie nehmen gar nicht oder nur vereinzelt an Wettkämpfen teil, und streben auch keine berufliche Karriere im Leistungssport an. Die Sportarten weisen alle ein hohes Risiko für einen Kreuzbandriss auf.

⁸ Ein Powerband oder Fitnessband ist ein grosses Gummiband, dessen Spannkraft man beim Training nutzt, um einen Widerstand zu erzeugen (Grünenwald, 2016).

In dieser Arbeit wurde das Premium Fitness Band von NitroSport mit Stärke «Heavy» benutzt.

3.2 Erstellung des Präventionsprogramms

Beim Erstellen meines Präventionsprogramms habe ich meinen Fokus auf den Kraftaufbau im Bereich der Hypertrophie, sowie auf neuromuskuläres und plyometrisches Training gesetzt. Das Präventionsprogramm setzt sich aus sechs Grundübungen zusammen, die jeweils in verschiedenen Varianten ausgeführt werden, was dem Programm Abwechslung verschaffen soll.

Bei der ersten Grundübung handelt es sich um «Squats» (Kniebeugen). Diese Übung deckt sehr viele Muskelgruppen ab. Hauptsächlich wird aber der Quadriceps trainiert, doch auch die Hamstrings und die Gesäßmuskulatur werden aktiviert. Der «Squat with one leg abduction» setzt im Gegensatz zum klassischen «Squat» einen besonderen Fokus auf die Hüftabduktoren. Der «Sumo Squat with calf raise» mobilisiert die Wadenmuskulatur und die Abduktoren. Um einem Kreuzbandriss vorzubeugen ist es wichtig, die ganze Muskelkette von Fuss bis zur Hüfte zu trainieren. Die Muskeln arbeiten zusammen und sind voneinander abhängig.



Abb. 30: Übung 1 «Squat klassisch»



Abb. 31: Übung 1 «Squat with one leg abduction»



Abb. 32: Übung 1 «Sumo Squat with calf raise»



Abb. 33: Übung 2 «Superman- Plank Kombination»

Die zweite Übungsreihe legt das Schwergewicht auf die Rumpfmuskulatur. Denn auch diese ist bei der Prävention von Kreuzbandrissen nicht zu vernachlässigen. Ein trainierter Rumpf kann z.B. bei der einbeinigen Landung nach Sprüngen dazu beitragen, den Oberkörper zu stabilisieren. Als Folge ist dann auch die Stabilisierung der unteren Extremität im Moment der Landung verbessert, wodurch ein möglicher Sturz vermieden werden kann. Die Übung besteht aus einer Kombination zwischen «Superman» und «Plank». Zusätzlich wird beim «Superman» der Hamstring und beim «Plank» durch das bewusste Hochziehen der Kniescheibe der Quadriceps angespannt.

Bei der dritten Grundübung handelt es sich um zwei Varianten von «Lunges». «Lunges» trainieren die vordere Oberschenkelmuskulatur sowie den grossen Gesässmuskel. Die «Side Lunges» trainieren zudem die Adduktoren.



Abb. 34: Übung 3 «Walking Lunges»



Abb. 35: Übung 3 «Side Lunges»

Als vierte Übung folgt eine «Bridging» Kombination. Es liegt eine typische Hamstringübung vor. Dabei wird der Hamstring sowohl statisch (d.h. ohne Bewegung, die Position wird unter Dauerspannung gehalten (Lewun, 2020)) als auch dynamisch (d.h. beweglich, der Muskel wird abwechslungsweise verkürzt und verlängert (Lewun, 2020)) trainiert.



Abb. 36: Übung 4 «Bridging Kombination»



Abb. 37: Übung 5 «Catch and Reach»

Die fünfte Übung namens «Catch and Reach» stellt den neuromuskulären Teil des Präventionsprogramms dar. Die Balance und der Gleichgewichtssinn werden geschult, doch auch die ischiocrurale Muskelgruppe arbeitet. Das seitliche Zuwerfen des Balles erfordert zudem eine Rotationsbewegung im Knie. Diese Übung lässt sich auch gut zu zweit durchführen, wodurch das Programm interaktiver wird. Das soll die Sportlerinnen motivieren.

Als abschliessende Übung werden verschiedene Sprungvariationen durchgeführt. Es handelt sich um plyometrisches Training, welches die Muskulatur der ganzen unteren Extremität schult, wobei es einfachere und fortgeschrittenere Übungen gibt. Das soll die Möglichkeit

bieten, sich innerhalb der Übungen zu verbessern und auch neue Übungen auszuprobieren, wenn man die einfacheren beherrscht.



Abb. 38: Sprungvariation 1 «Squat Jump»



Abb. 39: Sprungvariation 2 «Jump, jump, jump, vertical jump»



Abb. 40: Sprungvariation 3 «Truck Jumps»

Da es mein Ziel ist, ein auf junge, sportliche Frauen abgezieltes Präventionsprogramm zu erstellen, habe ich versucht, die frauenspezifischen Risiken bei der Erstellung des Programms miteinzubeziehen und an deren Minimierung zu arbeiten. Da Frauen häufig eine Quadriceps Dominanz aufweisen, habe ich in meinem Programm möglichst viele Übungen miteinbezogen, wie bspw. die «Bridging» Kombination, die spezifisch die Hamstrings trainieren. Die «Squat Jumps» zielen spezifisch darauf ab, zu lernen, tiefer in den Knien zu landen. Diese Landetechnik verhindert, dass der dominante Quadriceps das VKB zu fest beanspruchen kann. Die Fähigkeit der Hamstrings, die Verschiebung der Tibia zu verhindern, wird dadurch verbessert.

Um die durch die Beckenform der Frauen häufig auftretende Tendenz zu X-Beinen zu korrigieren, wurden auch gezielt Übungen für die Abduktoren miteingebaut. Die Beinachse soll dadurch korrigiert und das Einknicken des Knies als Verletzungsmechanismus verhindert werden. Auch die «Tuck Jumps» sollen bei der Sportlerin das Bewusstsein stärken, bei der Landung in den Knien nicht nach innen zu kippen und damit das Kreuzband zu entlasten.

Die Reihenfolge der Übungen ist nicht dem Zufall überlassen. Die Rumpfübungen sind bewusst in den vorderen Bereich des Programms gestellt. Der Grund liegt darin, dass die Rumpfmuskulatur in den späteren Übungen nur noch dezent tangiert wird. Da die Rumpfmuskeln aber bereits von der «Superman-Plank-Kombination» ermüdet sind, profitieren sie dennoch von den darauffolgenden Übungen. Würde die «Superman-Plank-Kombination» den Abschluss des Programms bilden, könnten die Rumpfmuskeln von den restlichen Übungen weniger profitieren.

(Das Wissen zur Zusammenstellung der Übungen stammt von N. Boser, ausgebildete Physiotherapeutin, PhysioZürWest.)

3.3 Methode: Isokinetisches Testgerät

Die Methode der isokinetischen Muskelfunktionsdiagnostik wurde im Jahre 1967 entwickelt. Wenige Jahre später begann man dann, die ersten Testgeräte zu bauen, mit denen es erstmals möglich wurde, die dynamische Kraftentwicklung bei einer konstant gehaltenen Geschwindigkeit zu bestimmen (Weihe et al., o.J.). Der Begriff «Isokinetik» setzt sich aus den griechischen Wörtern «Iso» (gleich) und «Kinesis» (Bewegung) zusammen (Markowitz, 2015). Unter Isokinetik versteht man gleichförmige Bewegungsabläufe mit gleichbleibender Geschwindigkeit zwischen Anfang und Ende einer Übungsbewegung (Koelbel, 2022). Einfacher ausgedrückt unterscheidet sich das isokinetische Testgerät von klassischen Kraftgeräten darin, dass kein Gewicht, sondern eine Bewegungsgeschwindigkeit eingestellt wird (Roesch-Schlanderer, o.J.).

Das isokinetische Testgerät misst die Maximalkraft. Unter der Maximalkraft versteht man die grösstmögliche Kraft, die ein Muskel gegen einen Widerstand erzeugen kann. Die Maximalkraft ist einerseits vom Muskelquerschnitt, andererseits von der intramuskulären Koordination abhängig. Die intramuskuläre Koordination wiederum ist die Menge an Muskelfasern, die im Muskel aktiviert werden können. Es gilt: Je mehr Muskelfasern gleichzeitig aktiviert werden können, umso stärker ist man. Um die Maximalkraft zu steigern, sollten im Training grundsätzlich eins bis fünf Sätze an je eins bis sechs Wiederholungen durchgeführt werden (Brakmann, 2020). Die Anzahl Wiederholungen ist zwar gering, dafür wird mit sehr hohen Zusatzgewichten trainiert. Die Übungen werden schnell und kräftig durchgeführt. Die Trainierenden sollen bei jeder Wiederholung 100% geben. Ein solches Training verbessert v.a. die intramuskuläre Koordination. Die Muskelmassen werden dadurch, dass gleichzeitig mehr Muskelfasern aktiv sind, effektiv nutzbar gemacht (Brakmann, 2020).

Auf den ersten Blick scheint es nun widersprüchlich, dass in meinem Versuch die Maximalkraft gemessen wird, obwohl das oben beschriebene Maximalkrafttraining nicht in meinem Präventionsprogramm aufzufinden ist. Tatsächlich ist es aber so, dass die Trainingsarten (Hypertrophietraining, plyometrisches Training), die im Fokus meines Präventionsprogramms stehen, ebenfalls zu einer Verbesserung der Maximalkraft führen. Das Hypertrophietraining führt

durch die Vergrößerung des Muskelquerschnitts und durch die Verbesserung der intramuskulären Koordination zur Steigerung der Maximalkraft (Gutknecht, o.J.). Plyometrisches Training erhöht die Maximalkraft dadurch, dass es die schnell kontrahierenden Muskelfasern, die sog. weissen Muskelfasern⁹, stark beansprucht. Diese Muskelfasern benötigen zwar viel Energie und ermüden schnell, doch sie können viel Kraft in kurzer Zeit entwickeln (Herold, 2014). Ich habe in meinem Präventionsprogramm bewusst auf das typische Maximalkrafttraining verzichtet, weil Zusatzgewicht und dadurch viel Trainingsmaterial benötigt wird. Zudem bringt das Arbeiten mit hohen Gewichten auch immer eine Verletzungsgefahr mit sich, wenn das Training nicht in Begleitung einer Fachperson ausgeführt wird.



Abb. 41: Das isokinetische Testgerät

Wie auf dem Bild dargestellt, ist man bei einer isokinetischen Kraftmessung der Oberschenkelmuskulatur an einem Sitz festgebunden. Die Muskelkraft der Oberschenkel der beiden Beine wird dabei separat gemessen. Dabei ist ein Bein an einem Hebelarm angebracht. Der Winkel, in welchem sich der Hebelarm bewegen lässt, ist begrenzt. Zudem lässt sich der Hebelarm nur bis zu einer bestimmten Geschwindigkeit bewegen (120 Winkelgrad pro Sekunde). Die Testperson

soll nun versuchen, so schnell wie möglich ihr an der Maschine befestigtes Knie zu beugen und direkt wieder zu strecken usw. Dadurch ziehen sich abwechselungsweise der Kniebeuger und -strecker zusammen. Da der Hebelarm der isokinetischen Maschine mit dem Knie verbunden ist, bewegt er sich mit. Die Maschine bewegt den Hebelarm nicht aktiv. Die Probandin muss nun die Kraft aufbringen, den Hebelarm bis zur maximal festgelegten Geschwindigkeit zu bewegen, da sonst nicht der volle Widerstand gegeben ist. Darüber hinaus soll der Versuch darin bestehen, den Hebelarm schneller zu bewegen als eigentlich möglich. Dazu soll die Probandin den maximal möglichen Krafteinsatz aufbringen. Die Kraftfähigkeit wird dabei über einen Kraftsensor registriert und dann von der Maschine über eine spezielle Software ausgewertet. Somit lässt sich die Maximalkraft der Oberschenkelmuskulatur sehr präzise bestimmen. Das Ausmass der Kraft der Probandin wird als Drehmoment¹⁰ (in Newton-Meter) gemessen. Bei der isokinetischen Kraftmessung kann die Kraft zusätzlich in jeder Winkelposition bestimmt werden. Dadurch lassen sich sog. Kraftverlaufskurven abbilden (Das Wissen zur isokinetischen Testmaschine stammt von M. Dohm-Acker und M. Büchi aus der Schulthess Klinik Zürich.). Die isokinetische Kraftmessung der Oberschenkelmuskulatur dient dazu, die maximale Kraft der Beuge- und Streckmuskulatur zu erfassen und zu bewerten. Es ist auch immer der Vergleich mit Referenzwerten möglich. Zudem lassen sich Seitenunterschiede zwischen der linken und rechten Oberschenkelmuskulatur feststellen. Man kann aber auch das Verhältnis der Beuge-

⁹ Neben den weissen Muskelfasern gibt es auch die roten Muskelfasern, die langsam kontrahieren, dafür sehr ausdauernd sind (Grünwälder, 2021).

¹⁰ Das Drehmoment (Formelzeichen M) gibt an, wie stark eine Kraft auf einen drehbar geladenen Körper wirkt. $M = r \times F$ (r= Abstand der Wirkungslinie der Kraft von der Drehachse, F= wirkende Kraft)

und Streckmuskulatur zueinander analysieren sowie den Kraftverlauf je nach Winkelstellung beurteilen. Die Muskelkraft nach Trainingssequenzen lässt sich mittels einer isokinetischen Kraftmessung hervorragend überprüfen. Oft kommt eine solche Kraftmessung aber auch in der Rehabilitationszeit nach einer Knieverletzung und/ oder Operation zum Zuge (Luzerner Kantonsspital, o.J.).



Abb. 42: Durchführung der zweiten



Abb. 43: Durchführung der zweiten Messung an der Schulthess Klinik Zürich

4 Resultate

4.1 Vergleich der Muskelkraft

Daten der isokinetischen Kraftmessung:

Erste Messung: 8.8.22

Zweite Messung: Testperson 1 → 3.10.22

Testperson 2 → 7.10.22

Testperson 3 → 6.10.22

Testperson 1:

Geschlecht: weiblich

Grösse: 171 cm

Geburtsdatum: 4.7.2001

Gewicht: 58 kg

Sportart: Taekwon-Do, (Tennis)

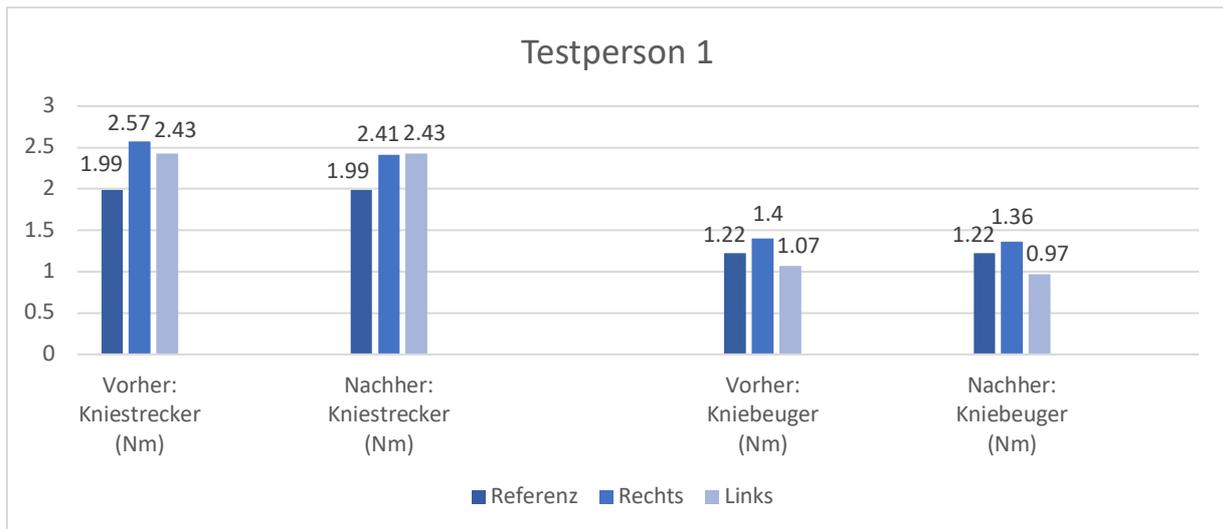


Diagramm 1: Vorher-/ Nachher-Messung Kniestrecker und Kniebeuger (Testperson 1). Die Werte im Säulendiagramm sind mit Bezug auf das angegebene Körpergewicht normalisiert (Drehmoment zu Körpergewicht). So entsteht eine Angabe zum relativen Drehmoment (s. Anhang für absolutes Drehmoment). Zusätzlich ist jeweils ein Referenzwert angegeben. Es handelt sich um einen der Größe, dem Gewicht und der Altersgruppe angepassten Durchschnittswert, der erreicht werden soll. Er dient der Orientierung und der individuellen Standortbestimmung.

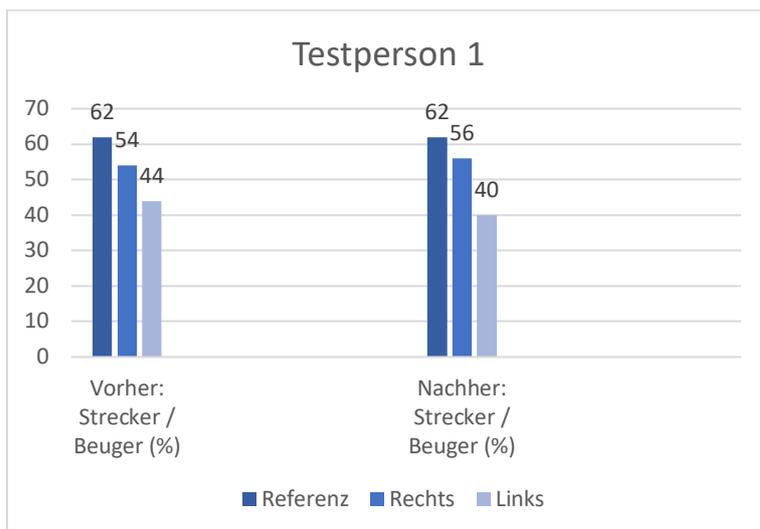


Diagramm 2: Vorher-/ Nachher-Messung Verhältnis Strecker zu Beuger (Testperson 1)

Diagramm 1 zeigt bzgl. der Kniestrecker sowohl bei der ersten als auch bei der zweiten Messung Werte, die sich deutlich über dem Referenzwert befinden. Eine Kraftzunahme ist aber nach der zweiten Messung im Vergleich zur ersten nicht festzustellen. Was den Kniebeuger betrifft, ist festzustellen, dass der linke Kniebeuger im Vergleich zum rechten stark abfällt. Während der rechte den Referenzwert erreicht, liegt der linke unter dem Referenzwert. Diese Tatsache ist sowohl beim ersten Test wie auch beim zweiten deutlich sichtbar. Das Diagramm 2 verdeutlicht, dass bei der ersten und der zweiten Messung das Verhältnis Strecker zu Beuger unter dem Referenzwert liegt. Beim linken Bein ist diese Auffälligkeit noch stärker ausgeprägt als beim rechten. Ein Blick auf das Diagramm 7 (s. Anhang) zeigt, dass während bei der vorderen Oberschenkelmuskulatur das Seitendefizit minimiert werden konnte, das Defizit der hinteren Oberschenkelmuskulatur bei der zweiten Messung noch ausgeprägter ausfällt. Positiv fällt aber beim linken Flexor auf, dass die Kurve bei der zweiten Messung erst bei einem

grösseren Winkel zu fallen beginnt. Die Kraft kann auch bei einem grossen Winkel gehalten werden. Auch der Flexor rechts hat trotz der Einbusse in der Maximalkraft die Arbeit insgesamt steigern können. Der Muskel kann beim Betrachten jedes einzelnen Winkelgrads durchschnittlich mehr leisten.

Testperson 2:

Geschlecht: weiblich

Grösse: 166 cm

Geburtsdatum: 6.9.2004

Gewicht: 53 kg

Sportart: Geräteturnen, (Snowboard)

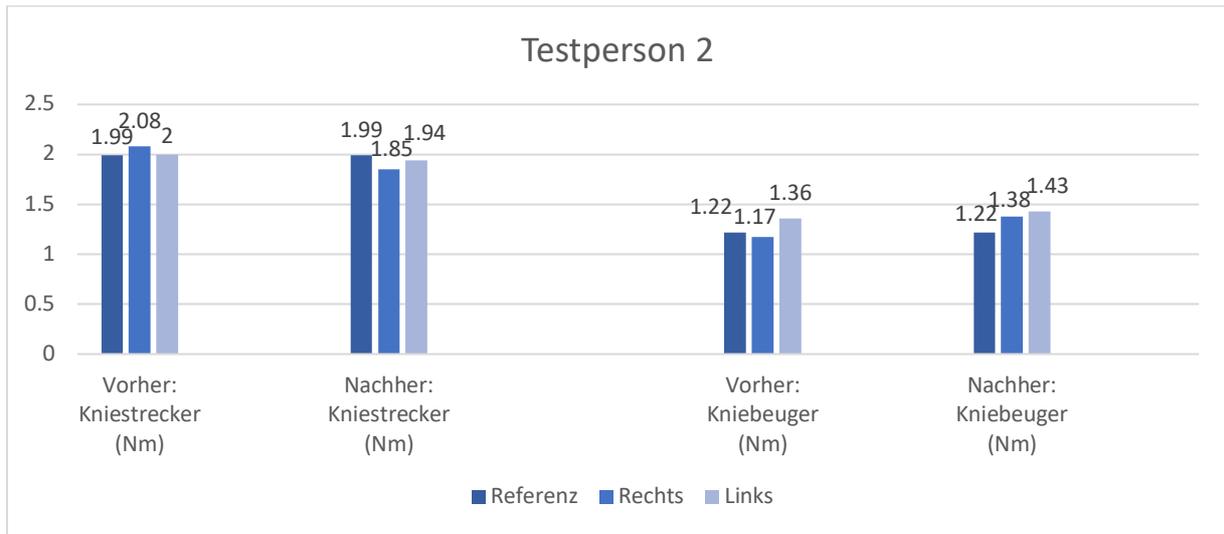


Diagramm 3: Vorher-/ Nachher-Messung Kniestrecker und Kniebeuger (Testperson 2). Die Werte im Säulendiagramm sind mit Bezug auf das angegebene Körpergewicht normalisiert (Drehmoment zu Körpergewicht). So entsteht eine Angabe zum relativen Drehmoment (s. Anhang für absolutes Drehmoment). Zusätzlich ist jeweils ein Referenzwert angegeben. Es handelt sich um einen der Grösse, dem Gewicht und der Altersgruppe angepassten Durchschnittswert, der erreicht werden soll. Er dient der Orientierung und der individuellen Standortbestimmung.

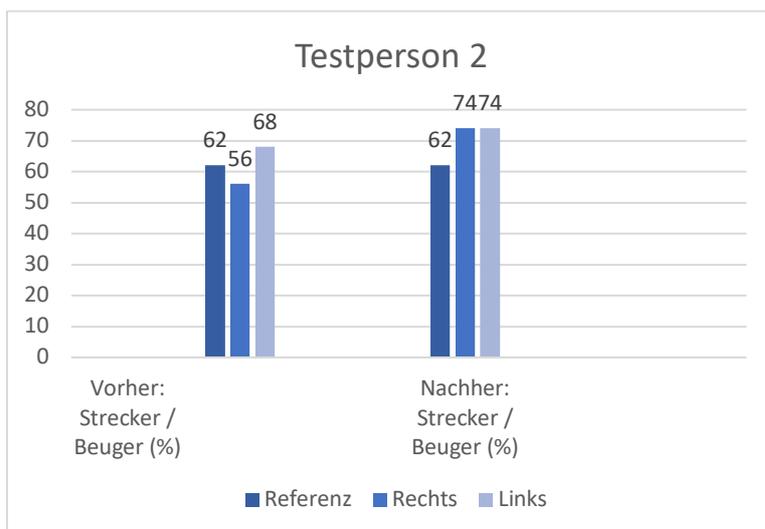


Diagramm 4: Vorher-/ Nachher-Messung Verhältnis Strecker zu Beuger (Testperson 2)

Beim Betrachten des dritten Diagramms fällt auf, dass die Werte der Kniebeuger gestiegen sind zwischen der ersten und zweiten Messung. Der Kniebeuger des rechten Beins, der zuvor den Referenzwert nicht erreichte, liegt in der zweiten Messung deutlich über diesem mit einer

Zunahme von 17 Prozent. Die Werte der Kniestrecker sind jedoch gesunken, sodass der Strecker des rechten Beins unter die Referenz gefallen ist. Anhand von Diagramm 4 wird erkennbar, dass sich beim zweiten Test das Verhältnis von Strecker und Beuger verbessert hat. Die Werte von rechts sowie links liegen nun deutlich über dem Referenzwert und sind seiten- gleich. Weiter lässt sich mittels der Kraftverlaufskurve in Diagramm 8 (s. Anhang) aufzeigen, dass die Testperson 2 grösstenteils erreicht hat, das Seitendefizit der Hamstrings auszugleichen. Der rechte und der linke Hamstring können genau gleich viel Arbeit verrichten.

Testperson 3:

Geschlecht: weiblich

Grösse: 180 cm

Geburtsdatum: 15.7.2004

Gewicht: 65 kg

Sportart: Ballett

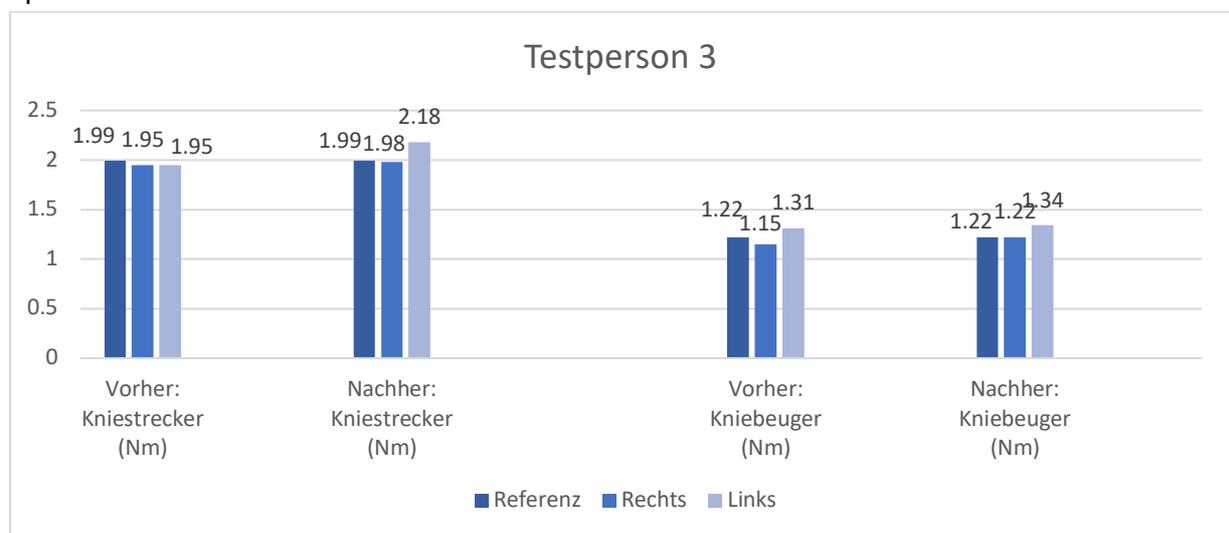


Diagramm 5: Vorher-/ Nachher-Messung Kniestrecker und Kniebeuger (Testperson 3). Die Werte im Säulendiagramm sind mit Bezug auf das angegebene Körpergewicht normalisiert (Drehmoment zu Körpergewicht). So entsteht eine Angabe zum relativen Drehmoment (s. Anhang für absolutes Drehmoment). Zusätzlich ist jeweils ein Referenzwert angegeben. Es handelt sich um einen der Grösse, dem Gewicht und der Altersgruppe angepassten Durchschnittswert, der erreicht werden soll. Er dient der Orientierung und der individuellen Standortbestimmung.

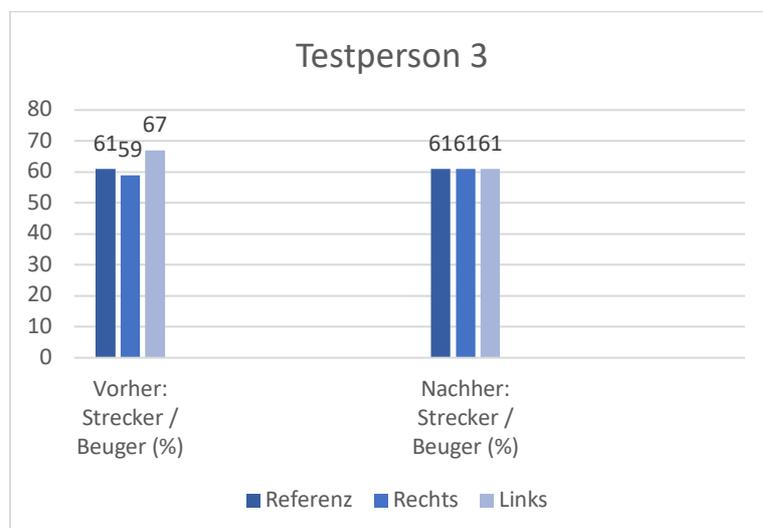


Diagramm 6: Vorher-/ Nachher-Messung Verhältnis Strecker zu Beuger (Testperson 3)

Bei der dritten jungen Frau haben sowohl der Kniestrecker als auch der Kniebeuger, gemäss Diagramm 5, beim zweiten Test höhere Werte erzielt. In der ersten Messung liegen die Werte tendenziell eher unter dem Referenzwert. In der zweiten Messung hingegen liegt die Hälfte der Werte über der Referenz, ein Wert sehr knapp unter der Referenz und ein Wert entspricht dem Referenzwert. Auffällig ist auch, dass der linke Quadriceps im Vergleich zum rechten während der acht Wochen stärker zugenommen hat. Das sechste Diagramm veranschaulicht die Vereinheitlichung des Verhältnis Strecker zu Beuger. In Test 2 entspricht der Referenzwert den Werten des rechten und linken Oberschenkels. Das Diagramm 9 (s. Anhang) zeigt, dass sich nicht nur die Maximalkraft, sondern auch die Arbeit bei den Flexoren und den Extensoren gesteigert hat. Positiv fällt die runde Kurve des linken Extensors bei Test 2 auf. Dies widerspiegelt sich auch in der Zunahme der Arbeit um 20 Prozent.

5 Diskussion

5.1 Vergleich Vorher-/ Nachher-Messung

Generell fällt auf, dass die Resultate je nach Probandin sehr unterschiedlich ausgefallen sind. Zusammenfassend lässt sich bzgl. Testperson 1 sagen, dass sie Ausgangswerte aufweist, die deutlich über dem Referenzwert einzuordnen sind. Es ist aber auch festzustellen, dass der linke Hamstring ein starkes Defizit aufweist. Man kann von einer Quadriceps Dominanz, die bes. bei Frauen häufig aufzufinden ist, sprechen. In diesem Fall könnte der Mangel an hinterer Oberschenkelmuskulatur auch vom Taekwon-Do, der Sportart, welche die Probandin regelmässig betreibt, stammen¹¹. In einigen Sportarten wird die vordere Oberschenkelmuskulatur stärker beansprucht als die hintere. Der Mangel an hinterer Oberschenkelmuskulatur wird dann im Training oft nicht genug mittels gezielter Kraftübungen kompensiert, was zu einer Quadriceps Dominanz führt. Um herauszufinden, ob das auch hier gilt, müsste das Taekwon-Do Training der Probandin genauer analysiert werden. Das Ausüben des Präventionsprogramms konnte innerhalb dieses Zeitraumes die Quadriceps Dominanz nicht reduzieren. Bei einem so einseitig ausgeprägten Muskeldefizit müssten die Übungen noch individueller gestaltet werden. Z.B. müsste während der Übungen der linke Hamstring intensiver als die restliche Oberschenkelmuskulatur trainiert werden. Bei einem starken Defizit müsste man sich auch mit der Frage auseinandersetzen, ob man nicht doch mit Zusatzgewicht oder mit Kraftmaschinen den linken Hamstring trainieren möchte. Dies würde womöglich schneller zu den erwünschten Ergebnissen führen.

Bei der zweiten Probandin sticht v.a. die Zunahme der Maximalkraft bei den Hamstrings hervor. Das Präventionsprogramm hat hier also bewirkt, dass das Verhältnis von Quadriceps zu Hamstring ausgeglichen werden konnte. Das hängt auch damit zusammen, dass die vordere Oberschenkelmuskulatur nicht an Maximalkraft zunehmen konnte, während die hintere Oberschenkelmuskulatur sich stark gesteigert hat. Verglichen zur ersten Probandin war der Quadriceps in der ersten Messung auch nicht ganz so prägnant. Da starke Hamstrings bes. wichtig

¹¹ Diese Vermutung stammt von M. Büchi aus der Schulthess Klinik Zürich.

sind für die Prävention von Kreuzbandrissen, hat das Programm innerhalb dieser acht Wochen bei der zweiten Probandin eine positive Wirkung gezeigt.

Die dritte Probandin, die zu Beginn die schwächste Muskulatur der drei Probandinnen an den Oberschenkeln aufwies, hat sich während der acht Wochen stark verbessert. Die Maximalkraft der Oberschenkelmuskulatur ist bei den Extensoren und Flexoren angestiegen, wodurch der Referenzwert erreicht und sogar übertroffen werden konnte. Die halbmondförmige Kurve in Diagramm 9 verdeutlicht, dass der linke Quadriceps die Kraft von der Streckung bis zur Beugung hochhalten kann. Das zeugt von einem gut ausgebildeten Quadriceps und hoher neuromuskulärer Kontrolle. Die erhöhte Zunahme des linken Quadriceps im Vergleich zum rechten (s. Diagramm 7) zeigt, dass der linke vordere Oberschenkel besser auf das Training angesprochen hat als der rechte. Die Übungen im Präventionsprogramm belasten grundsätzlich das rechte und das linke Bein gleich stark. Es ist möglich, dass sich der Unterschied in der Kraftzunahme ausgleichen würde, wenn das Training noch länger ausgeführt würde. Ansonsten müsste die Ausführung der Übungen bei Probandin 3 genauer unter die Lupe genommen werden. Womöglich wurde das linke Bein während der Übungen stärker beansprucht. Dieser Fall könnte dadurch eintreten, dass die Probandin bspw. bei den «Squats» unbewusst mehr Gewicht aufs linke Bein verlagert hat. Die Tatsachen, dass bei der Probandin weder Vorverletzungen am rechten Bein, noch eine erhöhte Kraftzunahme beim linken Hamstring (im Vergleich zum rechten; s. Diagramm 7) festzustellen sind, sprechen jedoch eher gegen diese Hypothese.

Dass es bei den drei Messungen zum Teil kaum zu einer Verbesserung in der Muskelkraft gekommen ist, könnte daran liegen, dass der Zeitraum von acht Wochen, in dem die Übungen ausgeführt wurden, eher knapp ist. Hätte man mit der zweiten Messung einen Monat länger gewartet, wäre der Muskelaufbau sehr wahrscheinlich deutlicher erkennbar gewesen. Einige Werte sind überraschenderweise auch gesunken trotz der Durchführung der Kraftübungen. Da die jeweiligen Abnahmen jedoch eher geringfügig sind, sind diesen Daten nicht eine allzu grosse Signifikanz beizumessen. Es handelt sich wahrscheinlich um eine Messungenauigkeit. Es ist zudem anzumerken, dass bspw. der Erfolg der Rumpfübungen bei den Messungen nicht miteingeflossen ist. Die Entwicklung der Rumpfkraft hätte anhand weiterer Tests analysiert werden können. Insbesondere bei Testperson 1 hätten u.U. weitere Tests mögliche Erfolge des linken Hamstrings aufzeigen können. Die Probandin weist ein starkes Defizit des Hamstrings am linken Bein auf. Sie hat jedoch erzählt, dass sie am Ende der acht Wochen eine Verbesserung des linken Beins beim einbeinigen «Bridging» festgestellt habe. Es sei ihr viel leichter gefallen. Das ist der isokinetischen Kraftmessung jedoch nicht zu entnehmen. Es ist anhand der Kurve in Diagramm 3 lediglich erkennbar, dass die Kraft auch bei einem grossen Winkel gehalten werden kann. Weiter zu erwähnen gilt es, dass die Probandinnen in den ersten drei bis vier Wochen am Tag nach der Trainingseinheit jeweils unter starkem Muskelkater gelitten haben. In den Ruhetagen bis zur nächsten Trainingseinheit verschwand der Muskelkater wieder. Mit der Zeit hat der Muskelkater nach der Durchführung der Übungen nachgelassen. Diese Tatsache gründet darin, dass sich der Muskel an die starke Beanspruchung gewöhnt. Nach drei bis vier Wochen hätte das Training intensiviert werden müssen. Dadurch hätte man die Maximalkraft noch stärker erhöhen können.

Schliesslich müssen einige Fehlerquellen berücksichtigt werden. Es handelt sich bei diesem Versuch um kein exaktes Verfahren. Faktoren wie die Ernährung, der Schlafrhythmus und die körperlichen Voraussetzungen spielen eine signifikante Rolle, wenn es um den Muskelaufbau geht. Damit lassen sich die Unterschiede sicher zu einem gewissen Grad auch erklären. Der Probandenpool müsste zudem um einiges grösser sein, um eindeutige und zuverlässigere Resultate zu erzielen.

Eine Eigenschaft des isokinetischen Testgeräts ist, dass die Maschine nur die Maximalkraft misst. Andere Faktoren, die zur Kniestabilität beitragen, bleiben bei der Messung jedoch unberücksichtigt. Bspw. sind Verbesserungen der Balancefähigkeit und des Gleichgewichtssinnes, die bei der «Catch and Reach» Übung trainiert werden, anhand der isokinetischen Messung nicht abschätzbar. Daraus resultiert die Erkenntnis, dass durch die alleinige Verwendung der Methode des isokinetischen Testgeräts auch der Erfolg des Programms nicht abschliessend abgeschätzt werden kann. Weiterführend könnte man versuchen, anhand zusätzlicher Tests diese Faktoren, die zur Stabilisierung des Kniegelenks im Sport beitragenden, zu messen. Funktionelle Test, wie z.B. einbeinige Sprungtests¹² bilden dabei eine Möglichkeit. Ein anderer möglicher Test könnte auch darin bestehen, die Fähigkeit zu prüfen, wie gut Übungen (z.B. «Squats» zweibeinig oder einbeinig) auf einem beweglichen Untergrund (z.B. auf einem Gleichgewichtsbrett (Balance Board) oder auf einer Matte) durchgeführt werden können. Solche weiteren Tests hätten dann womöglich auch die Fortschritte beim linken Hamstring, von denen Testperson 1 berichtet hat, bestätigen können.

5.2 Feedback zum Präventionsprogramm

Die Probandinnen haben nach Abschluss der zweiten Messung ein Feedback zum Präventionsprogramm abgegeben. Dies hat mir geholfen, das Programm im Nachhinein nochmals zu überarbeiten und den Bedürfnissen zukünftiger Anwenderinnen anzupassen. Alle drei Teilnehmerinnen haben das Präventionsprogramm als sehr gut gestaltet empfunden. Insbesondere die Tatsache, dass die Übungen in Form eines Videos erklärt werden, empfanden sie als sehr praktisch. Das Video helfe, die korrekte Ausführung schnell zu verstehen und diese nachzuahmen. Ein kleiner Kommentar zur Ausführung wäre bei den komplexeren Übungen jedoch hilfreich. Dieser Punkt wurde bei der Überarbeitung des Videos berücksichtigt, indem weitere Tipps und Bemerkungen zur Ausführung der jeweiligen Übungen angemerkt wurden. Eine weitere positive Rückmeldung war, dass die Übungen als sehr abwechslungsreich wahrgenommen wurden, insbesondere weil nicht nur an der Hypertrophie der Oberschenkelmuskulatur gearbeitet wird, sondern auch die Rumpfmuskulatur gestärkt sowie neuromuskuläre und plyometrische Übungen enthalten sind. Auch die optionalen Übungen würden hin und wieder zur Abwechslung beitragen. Lobenswert sei zudem, dass man die Übungen ohne viel Zusatzmaterial immer und überall durchführen könne. Ich wurde auch darauf aufmerksam gemacht, dass die Ausführung des Programms zum Teil mehr als die vorgesehene halbe Stunde dauere. Auch das ist ein Punkt, der bei der Überarbeitung des Präventionsprogramms berücksichtigt wurde: Da die

¹² Hierbei soll gemessen werden, wie weit eine Person einbeinig springen kann, ohne bei der Landung die Balance zu verlieren.

beiden Varianten von «Lunges» ähnliche Muskelgruppen trainieren, wurde bspw. die Übung «Side Lunges» zu einer fakultativen Übung im Programm. So können die «Walking Lunges» ab und zu durch die «Side Lunges» ersetzt werden und die Zeit für die Durchführung des gesamten Programms wird gekürzt. Die Probandinnen waren zudem der Meinung, dass sie schon nach acht Wochen von den Übungen profitiert haben. Eine Probandin hat mir bspw. erzählt, dass sie früher nach längerem Joggen häufig Schmerzen in den Knien hatte. Das hat sich mit dem regelmässigen Durchführen der Übungen geändert. Aus diesem Bsp. wird ersichtlich, dass ein stabiles Knie nicht nur bei der Prävention von Kreuzbandrissen hilft, sondern auch sonst viele Vorteile mit sich bringt. Dreimal in der Woche die Übungen durchzuführen, klinge nach relativ viel Aufwand, doch mit der Zeit gewöhne man sich daran und die Übungen fließen in den Alltag mit ein, teilte mir eine Probandin weiter mit. Zudem sei es auch ein Erfolgserlebnis, wenn man plötzlich anstatt acht Wiederholungen pro Übung zehn ohne Probleme ausführen könne.

5.3 Evaluation der «Kriterien für ein erfolgreiches Präventionsprogramm»

Im Folgenden soll besprochen werden, inwiefern mein Präventionsprogramm die in Kapitel 2.11 besprochenen «Kriterien für ein erfolgreiches Präventionsprogramm» erfüllt.

In dieser Arbeit wird viel Wert auf die vertiefte Darstellung der theoretischen Grundlagen zum Knie und zum Kreuzbandriss gelegt. Dieses Wissen ist Voraussetzung dafür, ein vielversprechendes Präventionsprogramm zu erarbeiten.

Es kann festgestellt werden, dass das Präventionsprogramm die Kriterien mehrheitlich abdeckt: Das Programm beinhaltet verschiedenen Trainingsarten, namentlich Hypertrophietraining, plyometrisches und neuromuskuläres Training. Auch die frauenspezifischen Risikofaktoren, insbesondere die Valgusstellung, werden im Programm berücksichtigt. Es wird im Video auf die Valgusstellung aufmerksam gemacht und die Übungen sind gezielt auf die Verhinderung einer Valgusstellung ausgerichtet. Verbesserungspotential liegt sicher noch darin, das Programm spezifisch als Aufwärmprogramm zu gestalten. Mit einer Ausführungszeit von rund 30 Minuten ist das Übungsprogramm schon zu lang und intensiv, um als Aufwärmprogramm zu fungieren. Andererseits kann festgehalten werden, dass das Programm durchaus geeignet ist, langfristig durchgeführt zu werden, weil es sich laut Rückmeldung der Probandinnen gut in den Alltag integrieren lässt. Die Vielfältigkeit der Übungen und die verschiedenen fakultativen Übungen tragen ebenfalls zu einer langfristigen Durchführung bei. Wie sich anhand der Probandinnen gezeigt hat, stösst das Programm auch auf Interesse, Freude und Spass. bei.

6 Veröffentlichung des Präventionsprogramms

Das Ziel der Verbreitung meines Präventionsprogramms konnte ich mithilfe von Swiss Olympic dem ZKS und der IG Sport Luzern realisieren. Der ZKS hat grosses Interesse an meiner Arbeit gezeigt und mir gewährt, einen kleinen Beitrag zur Thematik der Verletzungsprävention von Kreuzbandrissen zusammen mit meinem Präventionsprogramm auf ihrem Social Media, auf ihrer Website und in ihrem Newsletter zu veröffentlichen. Auf diese Weise wird mein

Präventionsprogramm zahlreiche Zürcher Vereine und Verbände erreichen. Auch von Swiss Olympic habe ich Unterstützung bei der Veröffentlichung des Videos in der Schweiz erhalten. Zudem hat die IG Sport Luzern, welche in der Zentralschweiz mit der Suva zusammenarbeitet, mein Video an alle ihre Mitgliedervereine weitergeleitet. Dadurch ist es mir gelungen, mein Präventionsprogramm möglichst breit zu streuen und so einen Beitrag zur Prävention von Kreuzbandrissen zu leisten. Ich erhoffe mir dadurch, insbesondere junge Frauen im Schweizer Breitensport auf die Thematik aufmerksam zu machen und sie vor Kreuzbandrissen so gut wie möglich zu schützen.

7 Schlusswort

Zusammenfassend bestand der Versuch dieser Arbeit darin, herauszufinden, wie sich die Kniestabilität durch das regelmässige Durchführen meines selbst erarbeiteten Präventionsprogramms innerhalb von acht Wochen verändert. Dabei wurde die Zunahme der Maximalkraft, die Aufschluss über die Veränderung der Kniestabilität geben sollte, mittels einer isokinetischen Kraftmessung in einer Vorher-/Nachher-Messung ermittelt. In diesem Zusammenhang greife ich auch meine in der Einleitung erwähnte Fragestellung wieder auf. Nämlich, ob man anhand dieses Präventionsprogramms im vorgegebenen Zeitraum die Kniestabilität um zehn Prozent erhöhen könne. Mit Blick auf die Resultate der isokinetischen Kraftmessung ist festzuhalten, dass die Fragestellung nicht eindeutig beantwortet werden kann. Es hat sich gezeigt, dass der Zuwachs der Maximalkraft je nach Probandin von 0 bis maximal 17 Prozent reicht. Ein Zuwachs von zehn Prozent ist also möglich, doch hat sich dieser bei keiner der drei Probandinnen bei allen zu betrachtenden Muskelgruppen gezeigt. Während die Maximalkraft bei Probandin 1 nicht zunahm, stieg Letztere bei Probandin 3 bei allen getesteten Muskelgruppen an. Der Versuch hat auch die Grenzen der isokinetischen Kraftmessung aufgezeigt. Gewisse Verbesserungen der Kniestabilität, die die Probandinnen im Alltag und im Sport nach Absolvierung des Übungsprogramms feststellen konnten, waren bei den Resultaten der Messung nicht ersichtlich. Es muss an dieser Stelle auch gesagt werden, dass die isokinetische Methode allein nicht abschliessend Aufschluss über die Kniestabilität geben kann. Dazu wären weitere Tests, die auch andere Faktoren, die zur Kniestabilität beitragen (z.B. Rumpfmuskulatur, Balance) einbeziehen, nötig. Um aussagekräftigere Resultate zu erlangen, müssten bei einer erneuten Durchführung des Versuchs auch der Probandenpool und der Zeitraum zwischen den Messungen vergrössert werden.

Das Präventionsprogramm selbst hat sich als gut ausführbar erwiesen. Die Übungen sind dank dem Video nachvollziehbar, der Umfang machbar und in den Alltag integrierbar. Alles in allem ist das Programm bei den jungen, sportlichen Frauen auf viel Begeisterung gestossen. Bzgl. der theoretischen Kriterien (s. Kapitel 2.11. «Kriterien für ein erfolgreiches Präventionsprogramm») konnte festgestellt werden, dass sie mehrheitlich ins Präventionsprogramm miteingeflossen sind. Das Programm zeichnet sich insbesondere durch vielfältige Übungen aus verschiedenen Trainingsbereichen (Hypertrophietraining, Plyometrik und neuromuskulärem Training) aus. Die Verbreitung des Präventionsprogramms konnte schliesslich in Zusammenarbeit mit dem ZKS, der IG Sport Luzern und Swiss Olympic erfolgen.

Mit meiner Arbeit hoffe ich einen Beitrag dazu leisten zu können, die Bedeutsamkeit der Verletzungsprävention aufzuzeigen. Es ist festzustellen, dass durch Vorbeugen vieles erreicht bzw. vermieden werden kann. Dass Vorbeugen besser ist als Heilen, bemerkte bereits Hippokrates 400 v. Chr. (Wolstein, o.J.). Dieser Aspekt verdient auch heute noch viel Aufmerksamkeit und das möchte ich jedem Leser dieser Arbeit als «take-home message» mitgeben.

8 Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle herzlich bei einigen Personen bedanken, die mich beim Verfassen dieser Arbeit unterstützt haben und einen grossen Teil zum Gelingen meiner Maturitätsarbeit beigetragen haben:

Danken möchte ich meinem Betreuer Herrn Daniel Fahrni für sein Interesse, seine Unterstützung, seine hilfreichen Anregungen und die konstruktive Kritik beim Verfassen meiner Arbeit.

Ein besonderer Dank geht an die Schulthess Klinik Zürich für die tatkräftige und finanzielle Unterstützung meiner Arbeit. Dankbar bin ich insbesondere Herrn Markus Dohm-Acker für die Möglichkeit, die Kraftmessungen in der physiotherapeutischen Abteilung der Schulthess Klinik durchführen zu können. Herrn Markus Dohm-Acker und Herrn Marcel Büchi gebührt ebenfalls Dank für die Durchführung der Kraftmessungen bei meinen Probandinnen.

Grosse Unterstützung habe ich auch durch die Physiotherapeutin Frau Nina Boser erfahren. Mit viel Engagement, Geduld und unter Einbringen Ihres Knowhows hat sie mit mir zusammen das Präventionsprogramm erarbeitet. Auch ihr danke ich herzlich.

Ebenso geht mein Dank an meine Probandinnen, Carla Friedli, Nina Freitag und Helen Schmid. Sie alle haben mit viel Herzblut und Schweiß mein Präventionsprogramm während zwei Monaten, dreimal wöchentlich durchgeführt und an je zwei Kraftmessungen an der Schulthess Klinik teilgenommen. Herzlichen Dank!

Zudem möchte ich mich bei Herrn Nicola Ryser vom Zürcher Kantonalverband für Sport, bei Frau Melanie Müller, Geschäftsführerin der IG Sport Luzern, sowie bei Herrn Kilian Hegg von Swiss Olympic bedanken. Sie haben für meine Arbeit und für mein Präventionsprogramm Begeisterung gezeigt und sich für die Streuung des Videos engagiert.

Zum Schluss danke ich meiner Familie, die für meine Maturitätsarbeit grosses Interesse gezeigt hat und mich in vielfältiger Art und Weise unterstützt und motiviert hat.

9 Literaturverzeichnis

9.1 Literaturquellen

Antwerpes, F. (2019). *Fossa intercondylaris femoris*. Abgerufen von https://flexikon.doc-check.com/de/Fossa_intercondylaris_femoris [Zugriff am 12. Oktober 2022]

Antwerpes, F. (2019). *Vorderes Kreuzband*. Abgerufen von https://flexikon.doc-check.com/de/Vorderes_Kreuzband [Zugriff am 12. Oktober 2022]

Antwerpes, F. (2017). *Bewegungsapparat*. Abgerufen von <https://flexikon.doc-check.com/de/Bewegungsapparat> [Zugriff am 11. Oktober 2022]

Beynon, B. D., Shultz, S. J. (2008). Anatomic Alignment, Menstrual Cycle Phase, and The Risk of Anterior Cruciate Ligament Injury: Cruciate Ligament Injury. *Journal of Athletic Training*, 43(5), S.541-542.

Brakmann, J. (2020). *Maximalkraft – was ist das?* Abgerufen von <https://www.personalfitness.de/lifestyle/639> [Zugriff am 27. November 2022]

Bundesamt für Sport BASPO (2017). *Sportvereine in der Schweiz*. Abgerufen von https://www.swissolympic.ch/dam/jcr:2f1c1244-0773-4f26-9051-4832920f898c/Sportvereine_Schweiz_2017_DE.pdf [Zugriff am 13. August 2022]

Deutsches Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz (2021). *Die Gelenke*. Abgerufen von <https://www.gesundheit.gv.at/krankheiten/koerper/bewegungsapparat.html> [Zugriff am 2. August 2022]

Duthon, V.B., et al. (2006). Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 14(3), S.205-206.

Eckermann, L., Hoefler, P., Jakobi, O. (o.J.). *Wie kann ich einem Kreuzbandriss vorbeugen?* Abgerufen von <https://www.ottobock.com/de-at/situation/diagnosen-und-symptome/kreuzbandriss> [Zugriff am 14. August 2022]

Elsevier GmbH (Herausgeber) (2019). *Atlas Anatomie*. 1. Auflage. München: Elsevier GmbH.

Fellner, B. (o.J.). *Verletzungsprävention im Leistungsfussball*. Abgerufen von https://www.dfb.de/fileadmin/_dfbdam/160122-Verletzungspraevention_im_Leistungsfussball_%28Regensburg-Studie%29.pdf [Zugriff am 20. Oktober 2022]

Fröhlich, C. (2019). *Übungen nach Kreuzbandriss: Wie trainierst du richtig?* Abgerufen von <https://www.online-trainer-lizenz.de/blog/uebungen-nach-kreuzbandriss/> [Zugriff am 11. Oktober 2022]

Gesundheitsdirektion des Kantons Zürich (2009). *Ruptur des vorderen Kreuzbandes: operative oder konservative Behandlung?* Abgerufen von https://www.swissmedicalboard.ch/fileadmin/public/news/2011_und_aelter/bericht__smb_kreuzbandriss_lang_2009.pdf [Zugriff am 22. Mai 2022]

Glunk, K. (2015). *Kreuzbandriss im Frauenfussball: Ist das Geschlecht die Erklärung*. Abgerufen von <https://www.knie-marathon.de/kreuzbandriss-im-frauenfussball-geschlecht-als-risiko/> [Zugriff am 2. Oktober 2022]

Graham, J. (2014). *Agilität – schnell, explosiv und kraftvoll agieren*. Abgerufen von <https://www.functional-training-magazin.de/agilitaet-zentrale-leistungsfahigkeit/> [Zugriff am 20. Oktober 2022]

Grünenwald, S. (2016). *10 Gründe für Training mit Powerbands*. Abgerufen von https://www.gymondo.com/de/imprint/?_ga=2.6868402.1249734947.1665394777-683555595.1657549538 [Zugriff am 10. Oktober 2022]

Grünewälder, T. (2021). *Rote und weisse Muskelfasern – der Unterschied und wie man sie trainieren kann*. Abgerufen von <https://www.fitbook.de/fitness/rote-und-weisse-muskelfasern-unterschied-training> [Zugriff am 27. November 2022]

Gutknecht, L. (o.J.). *Hypertrophie: Wie Muskelaufbau wirklich funktioniert*. Abgerufen von <https://www.foodspring.ch/magazine/hypertrophie-wie-muskelaufbau-wirklich-funktioniert> [Zugriff am 20. Oktober 2022]

Gutknecht, L. (o.J.). *Plyometrisches Training: Schneller, höher, weiter mit diesen Sprungübungen*. Abgerufen von <https://www.foodspring.ch/magazine/plyometrisches-training> [Zugriff am 20. Oktober 2022]

Gutknecht, L. (o.J.). *Was ist propriozeptives Training und wie funktioniert es?* Abgerufen von <https://www.foodspring.ch/magazine/propriozeptives-training> [Zugriff am 20. Oktober 2022]

Haberzettl, J. (2020). *Bewegungs- und Stützapparat*. Abgerufen von <https://www.mein-med.at/gesundheit/bewegungs-und-stuetzapparat/1474#anatomie-und-funktion-des-aktiven-bewegungsapparats-41666> [Zugriff am 11. Oktober 2022]

Hama H., Yamamuro, T., Takeda, T. (1976). Experimental studies on connective tissue of the capsular ligament: influences of aging and sex hormones. *Acta Orthopaedica Scandinavica*, 47(5), S.473-479.

Herold, J. (2014). *Reaktivkraft – Mehr Power durch plyometrisches Training*. Abgerufen von <https://www.muskelaufbau.de/training/methoden/reaktivkraft-mehr-power-durch-plyometrisches-training/> [Zugriff am 27. November 2022]

Höfler, H. (o.J.). *7 Übungen gegen Knieschmerzen*. Abgerufen von <https://trainer-magazine.com/7-uebungen-gegen-knieschmerzen/> [Zugriff am 11. Oktober 2022]

Institut für Qualität und Wirtschaftlichkeit im Gesundheitswesen (2021). *Kreuzbandriss (Riss des vorderen Kreuzbands)*. Abgerufen von <https://www.gesundheitsinformation.de/kreuzbandriss-riss-des-vorderen-kreuzbands.html> [Zugriff am 10. Oktober 2022]

Institut für Qualität und Wirtschaftlichkeit im Gesundheitswesen (2021). *Wie funktioniert das Knie?* Abgerufen von <https://www.gesundheitsinformation.de/wie-funktioniert-das-knie.html> [Zugriff am 2. August 2022]

Jantsch, A. (1999). *Grundlagen und Prinzipien der Gelenk- und Muskelmechanik am Beispiel der Biomechanik des Kniegelenkes* (Seminararbeit). Halle: Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.

Khadavi, M., Fredericson, M. (2019). *ACL Tear: Causes and Risk Factors*. Abgerufen von <https://www.sports-health.com/sports-injuries/knee-injuries/acl-tear-causes-and-risk-factors> [Zugriff am 2. August 2022]

Klinik Pyramide am See (o.J.). *Knorpelschaden im Knie*. Abgerufen von <https://pyramide.ch/de/gelenk-und-sportchirurgie/knieoperationen/knorpelschaden/> [Zugriff am 10. Oktober 2022]

Klug, M. (o.J.). *Das Knie*. Abgerufen von <https://www.kniezentrum-wuerzburg.de/das-knie> [Zugriff am 2. August 2022]

Koelbel, C. (2022). *Was ist isokinetisches Training?* Abgerufen von <https://koelbel.com/was-ist-isokinetisches-training> [Zugriff am 20. Oktober 2022]

Krüger, M., Bienlein, B. (2021). *Hypertrophie: Muskelaufbau verstehen und richtig trainieren*. Abgerufen von <https://maxinutrition.de/maxi-blog/post/hypertrophie-muskelaufbau-verstehen-und-richtig-trainieren/> [Zugriff am 10. Oktober 2022]

Lewun, M. (2020). *Statisches und dynamisches Krafttraining*. Abgerufen von <https://www.trainingsworld.com/training/krafttraining/statisches-dynamisches-krafttraining-trainingspraxis-2619103> [Zugriff am 14. Dezember 2022]

Luzerner Kantonsspital (o.J.). *Isokinetische Kraftmessung Kniegelenk*. Abgerufen von https://www.medbase.ch/fileadmin/sportmedizin_zentralschweiz/Sportmedizin_Zentralsch-Zent_Isokinetische_Kraftmessung.pdf [Zugriff am 20. Oktober 2022]

Markowitz, S. (2015). *Was ist Isokinetik?* Abgerufen von <https://www.physiopraxis-mainz.de/was-ist-isokinetik/> [Zugriff am 20. Oktober 2022]

Mathiebe M., Mathiebe S. (o.J.). *Neuromuskuläres Training als Präventionsmassnahme von Verletzungen*. Abgerufen von <https://www.teamsportbedarf.de/fussballtraining/neuromuskula-res-training/> [Zugriff am 10. Oktober 2022]

Myklebust, G., Engebretsen, L., Braekken, I.H., et al. (2007). Prevention of anterior cruciate ligament injuries in female team handball players. *Instr. Course Lect.* 56: 207-18. PMID: 17472324

Ostermeier, S., Marquass, B. (2022). *Kreuzbandriss: Symptome, Diagnose und Behandlung*. Abgerufen von <https://gelenk-klinik.de/kniegelenk/kreuzbandriss.html#ursachen> [Zugriff am 2. Oktober 2022]

Petersen, W., Zantop, T. (2009). *Das vordere Kreuzband, Grundlagen und aktuelle Praxis der operativen Therapie*. 1. Auflage. Köln: Deutscher Ärzte-Verlag GmbH

Pfister, N. (2015). *Inwiefern hat neuromuskuläres Training einen präventiven Effekt auf vordere Kreuzband Rupturen bei Fussballspielerinnen? (Bachelorarbeit)*. Zürich: ZHAW

Ramesh, R., Von Arx, O., Azzopardi, T., Schranz, P.J. (2005). The risk of anterior cruciate ligament rupture with generalized joint laxity. *Journal of Bone and Joint Surgery British*, 87(6).

Renstrom, P., et al. (2008). Non-contact ACL injuries in female athletes: an International Olympic Committee current concepts statement. *Br J Sports Med*, 42(6).

Rheinländer, A. (2022). *Vorderes Kreuzband*. Abgerufen von <https://www.kennhub.com/de/library/anatomie/das-vordere-kreuzband> [Zugriff am 12. Oktober 2022]

Roesch-Schlenderer, P. (o.J.). *Isokinetisches Training: EGYM Trainingsmethode*. Abgerufen von <https://egym.com/de/blog/egym-trainingsmethode-isokinetisch> [Zugriff am 20. Oktober 2022]

Romani, W., Patrie, J., Curl, L. A., Flaws, J. A. (2003). The correlations between estradiol, estrone, estriol, progesterone, and sex hormone-binding globulin and anterior cruciate ligament stiffness in healthy, active females. *Journal of Women's Health*, 12(3), S.287-298.

Rosenthal A. (o.J.). *Knie – Aufbau des Kniegelenkes*. Abgerufen von <https://www.dr-rosenthal.de/leistungsspektrum/operativ/arthroskopische-operationen/knie/> [Zugriff am 11. Oktober 2022]

Rottenberg, B. (o.J.). *Kreuzbandriss*. Abgerufen von <https://www.ottobock.com/de-at/situation/diagnosen-und-symptome/kreuzbandriss> [Zugriff am 10. Oktober 2022]

Römer, G. (2012). *Risikofaktor*. Abgerufen von <https://flexikon.doccheck.com/de/Risikofaktor> [Zugriff am 2. Oktober 2022]

Rudolf-Müller, E. (2021). *Hüftmuskulatur*. Abgerufen von <https://www.netdokter.ch/anatomie/hueftmuskulatur/> [Zugriff am 5. August 2022]

Sangines, F., Gygax, B. (2022). *Der steinige Weg von Viola Calligaris zurück in den Profifussball*. Video-Datei. Abgerufen von <https://www.tagesanzeiger.ch/viola-calligaris-ihr-steiniger-weg-zurueck-an-die-spitze-547078269058> [Zugriff am 13. August 2022]

Schulthess Klinik (o.J.). *Kreuzbandriss – Kreuzbandruptur*. Abgerufen von <https://www.schulthess-klinik.ch/de/kniechirurgie/behandlung/kreuzbandriss-kreuzbandruptur>. [Zugriff am 25. April 2022]

Schulz, S. (o.J.). *Krankheitsbild Kreuzbandverletzung*. Abgerufen von <https://www.myphysio-deutschland.de/2020/08/22/ruptur-des-vorderen-kreuzbandes/> [Zugriff am 10. Oktober 2022]

Silvers-Granelli, H. (2021). Why Female Athletes Injure Their ACL's More Frequently? What can we do to mitigate their risk? *International Journal of Sports Physical Therapy*, 16(4), S.1.

Sinowatz, F. (2021). *Meniskusriss*. Abgerufen von <https://www.netdokter.ch/krankheiten/meniskusriss/> [Zugriff am 10. Oktober 2022]

Slauterbeck, JR., Fuzie, SF., Smith, MP., et al (2002). The menstrual cycle, sex hormones, and anterior cruciate ligament injury. *J Athl Train*, 37(3).

Sobhani, D. (2019). *Was ist plyometrisches Training und wie profitierst du davon?* Abgerufen von <https://www.freeletics.com/de/blog/posts/plyometrisches-training/#gsc.tab=0> [Zugriff am 10. Oktober 2022]

Stoffels, T., Kolb, J.P. (o.J.). *Vorderes Kreuzband*. Abgerufen von <https://sportaerztezeitung.com/rubriken/operation/9195/vorderes-kreuzband/> [Zugriff am 2. Oktober 2022]

Vavken, P., Leumann, A., Hügler, T., Valderrabano, V., Pagenstert, G. (2013). Kreuzband und Arthrose: Was können wir aus den Tiermodellen lernen, und was ist die klinische Evidenz beim Menschen. *Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin und Sporttraumatologie*, 61(2), S.21-24.

Weihe et al. (o.J.). *Isokinetik- Kraftmessung der Gelenke (Diagnostik)*. Abgerufen von <https://docortho.de/isokinetik-kraftmessung-der-gelenke-diagnostik/> [Zugriff am 20. Oktober 2022]

Wendler, N. (2022). *Kniegelenk*. Abgerufen von <https://www.netdokter.ch/anatomie/kniegelenk/> [Zugriff am 2. August 2022]

Wolstein, J. (o.J.). *Vorbeugen ist besser als Heilen*. Abgerufen von https://www.uni-bamberg.de/fileadmin/uni/verwaltung/presse/045-UNI-PUBLIKATIONEN/uni.vers/2010-2019/2014-Forschung/05_Wolstein.pdf [Zugriff am 12. Dezember 2022]

Zangerl, C. (2020). *Dynamische Kniestabilität - Ihre Variation unter verschiedenen Belastungen, ihr Zusammenhang mit der Biomechanik des Hüftgelenks und Effekte von Trainingsinterventionen (Dissertation)*. Kaiserslautern: Technische Universität.

9.2 Bildquellen

Abb. 1:

Fotographie durch Alice Schmid (links); Abgerufen von <https://gelenk-klinik.de/kniegelenk/kreuzbandriss.html> [Zugriff am 17. Oktober 2022] (rechts)

Abb. 2: Abb. erstellt durch Alice Schmid mittels BioRender

Abb. 3: Abgerufen von <http://www.dpwolfer.ch/dpwolfer/Pdf/AnabwAllg2014F-3.pdf> [Zugriff am 2. August 2022]

Abb. 4: : Abgerufen von <https://www.gesundheitsinformation.de/wie-funktioniert-das-knie.html> [Zugriff am 2. August 2022]

Abb. 5: Abgerufen von <https://www.gesundheitsinformation.de/wie-funktioniert-das-knie.html> [Zugriff am 2. August 2022]

Abb. 6: Abgerufen von https://sv.differbetween.com/article/difference_between_antagonist_and_protagonist_mumuscl [Zugriff am 10. Oktober 2022]

Abb. 7: Abgerufen von https://kvd-mannheim.de/wp-content/uploads/2020/11/R7_Bio_muskeln_bewegung_gm.pdf [Zugriff am 3. August 2022]

Abb. 8: Abgerufen von <https://www.fitundattraktiv.de/abnehmen-an-den-oberschenkeln-zuhause/> [Zugriff am 5. August 2022]

Abb. 9: Abgerufen von <https://www.professionalpt.com/two-myths-that-will-not-go-away-isolation-training-of-the-vastus-medialis-obliquus-vmo-and-the-stretching-of-the-iliotibial-band-itb/> [Zugriff am 5. August 2022]

Abb. 10: Abgerufen von <https://www.menshealth.de/krafttraining/die-besten-uebungen-fuer-starke-hamstrings/> [Zugriff am 5. August 2022]

Abb. 11: Abgerufen von <https://www.zeitschrift-sportmedizin.de/risikofaktoren-fuer-verletzungen-der-hamstring-muskulatur/> [Zugriff am 5. August 2022]

Abb. 12: Abgerufen von <https://www.mtc.ch/blog/2018/09/adduktorenzerrung-leistenzerrung-ursache-und-behandlung> [Zugriff am 5. August 2022]

Abb. 13: Abgerufen von <https://www.physiozentrum.ch/2018/10/srf-zu-besuch-im-physiozentrum-wil/> [Zugriff am 5. August 2022]

Abb. 14: Abgerufen von https://de.wikipedia.org/wiki/Musculus_gluteus_maximus [Zugriff am 5. August 2022]

Abb. 15: Abb. erstellt durch Alice Schmid mittels BioRender

Abb. 16: Abgerufen von <https://eref.thieme.de/cockpits/clAna0001/0/coAna00020/4-4533> [Zugriff am 12. Oktober 2022]

Abb. 17: Duthon, V.B., et al. (2006). Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 14(3), S.205-206.

Abb. 18: Abgerufen von <https://orthoknowledge.eu/forschung/kollagen-fur-gesunde-gelenke/> [Zugriff am 12. Oktober 2022]

Abb. 19: Abgerufen von <https://www.ottobock.com/de-at/situation/diagnosen-und-symptome/kreuzbandriss> [Zugriff am 10. Oktober 2022]

Abb. 20: Abgerufen von <https://www.hessing-kliniken.de/orthopaedische-fachkliniken/sportorthopaedie-arthroskopische-chirurgie-und-schulterchirurgie/kreuzbandriss/> [Zugriff am 10. Oktober 2022]

Abb. 21: Abgerufen von <https://news.atos-kliniken.com/der-optimale-op-zeitpunkt-bei-akutem-kreuzbandriss/> [Zugriff am 10. Oktober 2022]

Abb. 22: Abgerufen von <https://www.schulthess-klinik.ch/de/kniechirurgie/behandlung/kreuzbandriss-kreuzbandruptur> [Zugriff am 10. Oktober 2022]

Abb. 23.: Zangerl, C. (2020). *Dynamische Kniestabilität - Ihre Variation unter verschiedenen Belastungen, ihr Zusammenhang mit der Biomechanik des Hüftgelenks und Effekte von Trainingsinterventionen (Dissertation)*. Kaiserslautern: Technische Universität.

Abb. 24: Pfister, N. (2015). *Inwiefern hat neuromuskuläres Training einen präventiven Effekt auf vordere Kreuzband Rupturen bei Fussballspielerinnen?* (Bachelorarbeit). Zürich: ZHAW

Abb. 25: Zangerl, C. (2020). *Dynamische Kniestabilität - Ihre Variation unter verschiedenen Belastungen, ihr Zusammenhang mit der Biomechanik des Hüftgelenks und Effekte von Trainingsinterventionen* (Dissertation). Kaiserslautern: Technische Universität.

Abb. 26: Abgerufen von https://de-m.liveok.com/health/hypermobilitaet-der-gelenke_129715i15950.html [Zugriff am 9. Oktober 2022]

Abb. 27: Zangerl, C. (2020). *Dynamische Kniestabilität - Ihre Variation unter verschiedenen Belastungen, ihr Zusammenhang mit der Biomechanik des Hüftgelenks und Effekte von Trainingsinterventionen* (Dissertation). Kaiserslautern: Technische Universität.

Abb. 28: Abgerufen von <https://sportaerztezeitung.com/rubriken/operation/9195/vorderes-kreuzband/> [Zugriff am 9. Oktober 2022]

Abb. 29: Abgerufen von https://jkoa.org/ViewImage.php?Type=F&aid=507809&id=F1&afn=43_JKOA_48_4_266&fn=jkoa-48-266-g001_0043JKOA [Zugriff am 9. Oktober 2022]

Abb. 30: Aus dem Präventionsprogramm von Alice Schmid

Abb. 31: Aus dem Präventionsprogramm von Alice Schmid

Abb. 32: Aus dem Präventionsprogramm von Alice Schmid

Abb. 33: Aus dem Präventionsprogramm von Alice Schmid

Abb. 34: Aus dem Präventionsprogramm von Alice Schmid

Abb. 35: Aus dem Präventionsprogramm von Alice Schmid

Abb. 36: Aus dem Präventionsprogramm von Alice Schmid

Abb. 37: Aus dem Präventionsprogramm von Alice Schmid

Abb. 38: Aus dem Präventionsprogramm von Alice Schmid

Abb. 39: Aus dem Präventionsprogramm von Alice Schmid

Abb. 40: Aus dem Präventionsprogramm von Alice Schmid

Abb. 41: Abgerufen von <https://www.medaix.de/physiotherapie/cybex-therapie> [Zugriff am 18. Oktober 2022]

Abb. 42: Fotografie durch Alice Schmid

Abb. 43: Fotografie durch Alice Schmid

10 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Die Strukturen des menschlichen Kniegelenks	10
Tab. 2: Die Risikofaktoren bei Frauen	24
Tab. 3: Daten isokinetische Kraftmessung	53
Tab. 4: Feedback zum Präventionsprogramm	57

11 Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: Vorher-/ Nachher-Messung Kniestrecker und Kniebeuger (Testperson 1)	34
Diagramm 2: Vorher-/ Nachher-Messung Verhältnis Strecker zu Beuger (Testperson 1)	34
Diagramm 3: Vorher-/ Nachher-Messung Kniestrecker und Kniebeuger (Testperson 2)	35
Diagramm 4: Vorher-/ Nachher-Messung Verhältnis Strecker zu Beuger (Testperson 2)	35
Diagramm 5: Vorher-/ Nachher-Messung Kniestrecker und Kniebeuger (Testperson 3)	36
Diagramm 6: Vorher-/ Nachher-Messung Verhältnis Strecker zu Beuger (Testperson 3)	36
Diagramm 7: Kraftverlaufskurve (Testperson 1)	54
Diagramm 8: Kraftverlaufskurve (Testperson 2)	55
Diagramm 9: Kraftverlaufskurve (Testperson 3)	56

12 Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung	o.V	ohne Verfasser
Bsp.	Beispiel	sog.	sogenannt
bspw.	beispielsweise	Tab.	Tabelle
bes.	besonders	u.U.	unter Umständen
bzgl.	Bezüglich	usw.	und so weiter
ca.	circa	v.a.	vor allem
d.h.	das heisst	Vgl.	Vergleich
et al.	et alii	VKB	vorderes Kreuzband
etc.	et cetera	VKB-Ruptur	vorderer Kreuz-
i.d.R.	in der Regel		bandriss
o.J.	ohne Jahr	z.B.	zum Beispiel

13 Anhang

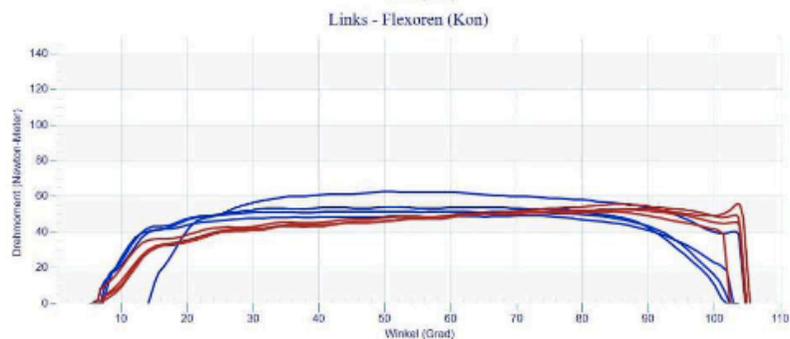
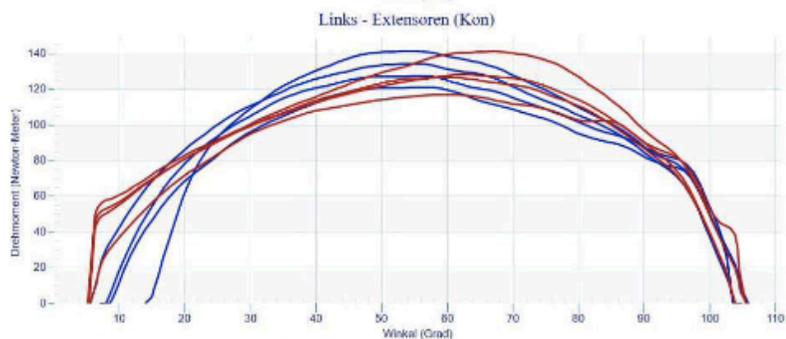
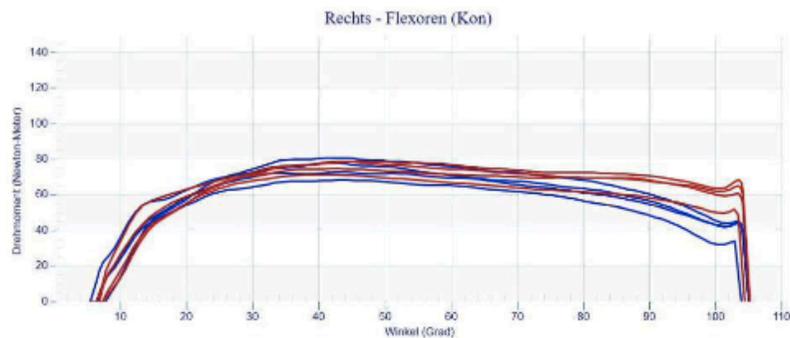
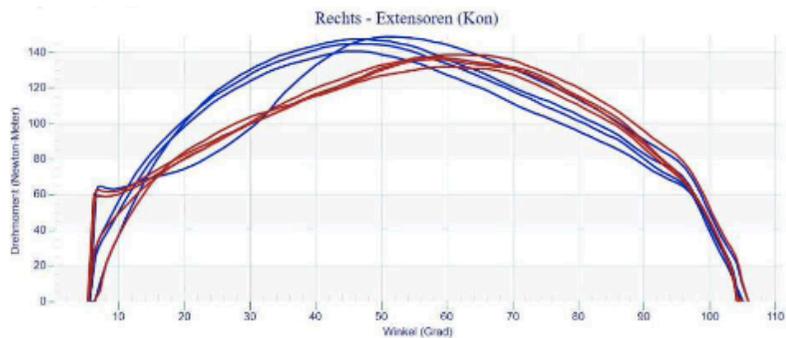
13.1 Daten isokinetische Kraftmessung

Testperson 1	Test 1: Kniestrecker (Nm)		Test 2: Kniestrecker (Nm)		Test 1: Kniebeuger (Nm)		Test 2: Kniebeuger (Nm)		Test 1: Strecker / Beuger (%)	Test 2: Strecker / Beuger (%)
		Vgl. zum Gewicht		Vgl. zum Gewicht		Vgl. zum Gewicht		Vgl. zum Gewicht		
Referenz	115	1.99	115	1.99	71	1.22	71	1.22	62	62
Rechts	149	2.57	140	2.41	81	1.4	79	1.36	54	56
Links	141	2.43	141	2.43	62	1.07	56	0.97	44	40
Seitendifferenz (%)	5		1		23		29			

Testperson 2	Test 1: Kniestrecker (Nm)		Test 2: Kniestrecker (Nm)		Test 1: Kniebeuger (Nm)		Test 2: Kniebeuger (Nm)		Test 1: Strecker / Beuger (%)	Test 2: Strecker / Beuger (%)
		Vgl. zum Gewicht		Vgl. zum Gewicht		Vgl. zum Gewicht		Vgl. zum Gewicht		
Referenz	105	1.99	105	1.99	65	1.22	65	1.22	62	62
Rechts	110	2.08	98	1.85	62	1.17	73	1.38	56	74
Links	106	2	103	1.94	72	1.36	76	1.43	68	74
Seitendifferenz (%)	4		5		14		4			

Testperson 3	Test 1: Kniestrecker (Nm)		Test 2: Kniestrecker (Nm)		Test 1: Kniebeuger (Nm)		Test 2: Kniebeuger (Nm)		Test 1: Strecker / Beuger (%)	Test 2: Strecker / Beuger (%)
		Vgl. zum Gewicht		Vgl. zum Gewicht		Vgl. zum Gewicht		Vgl. zum Gewicht		
Referenz	129	1.99	129	1.99	79	1.22	79	1.22	61	61
Rechts	129	1.95	129	1.98	75	1.15	79	1.22	59	61
Links	127	1.95	142	2.18	85	1.31	87	1.34	67	61
Seitendifferenz (%)	0		9		12		9			

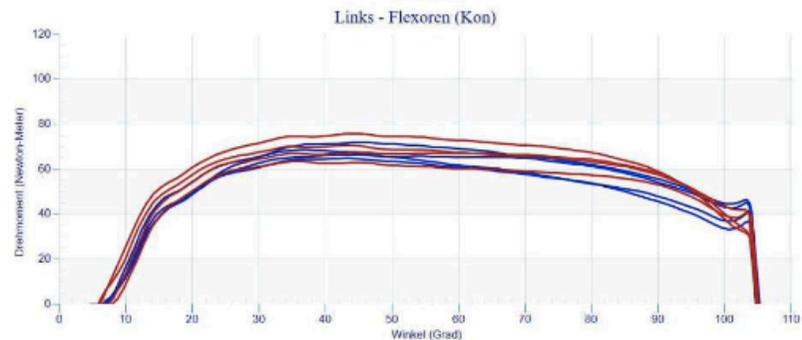
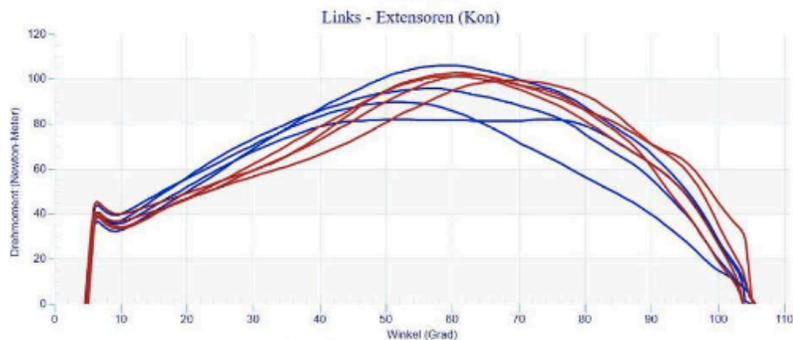
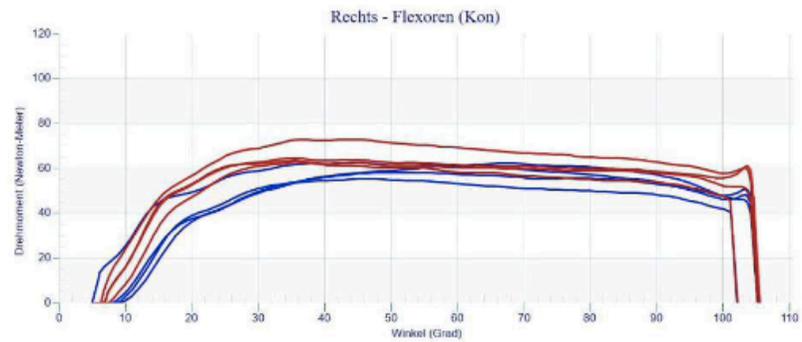
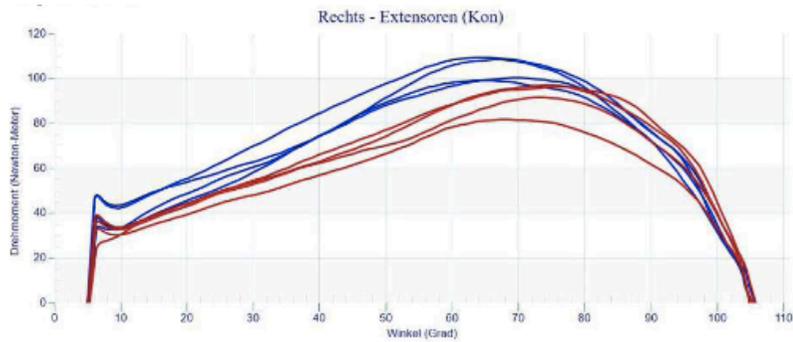
Tab. 3: Daten isokinetische Kraftmessung



08.08.2022 03.10.2022 Satz: 1
 Isokinetisch Kon/Kon Extensoren (Kon) Flexoren (Kon)
Speed 120/120 d/s 4 Wdh 08.08.2022 03.10.2022 Änderungen 08.08.2022 03.10.2022 Änderungen

Maximalkraft (Newton-Meter - Beste Wiederholung)						
Rechts	149	140	-6 %	81	79	-3 %
Links	141	141	0 %	62	56	-11 %
Defizit	5	-1		23	29	
Arbeit pro Wiederholung (Newton-Meter - Beste Wiederholung)						
Rechts	182	176	-3 %	110	118	7 %
Links	170	180	6 %	84	76	-10 %
Defizit	7	-2		23	36	

Diagramm 7: Kraftverlaufskurve (Testperson 1). Das Diagramm zeigt die Kraftentwicklung der Oberschenkelmuskulatur vom gebeugten zum gestreckten Bein und umgekehrt. Bzgl. dieser Kurven ist zu sagen, dass das «Defizit» so angegeben wird, dass der Wert des rechten Beins zum Wert des linken Beins gerechnet wird (in %). So kann gesagt werden, dass bei einem negativen Wert das linke Bein um x% stärker ist, bei einem positiven Wert das rechte Bein um x%. Die «Arbeit» kann man als die Fläche unter der Kurve verstehen. Sie gibt eine Aussage zur Gesamtleistung, nicht nur über den maximalen Kraftwert. So bewertet man die Kraftentwicklung über die ganze Bewegungsamplitude.



08.08.2022

07.10.2022

Satz: 1

Isokinetisch Kon/Kon

Speed 120/120 d/s 4 Wdh

Extensoren (Kon)

08.08.2022 07.10.2022 Änderungen

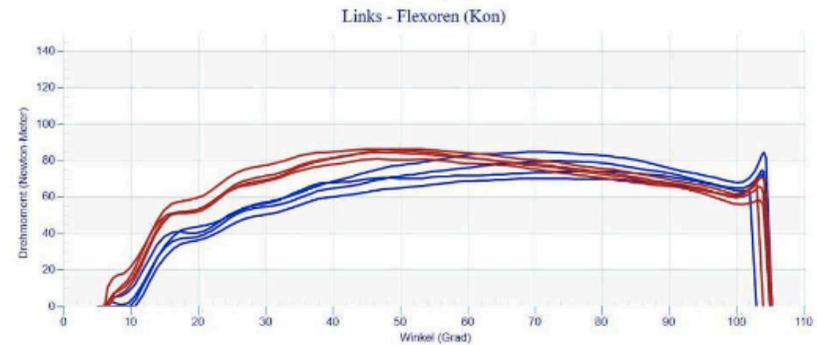
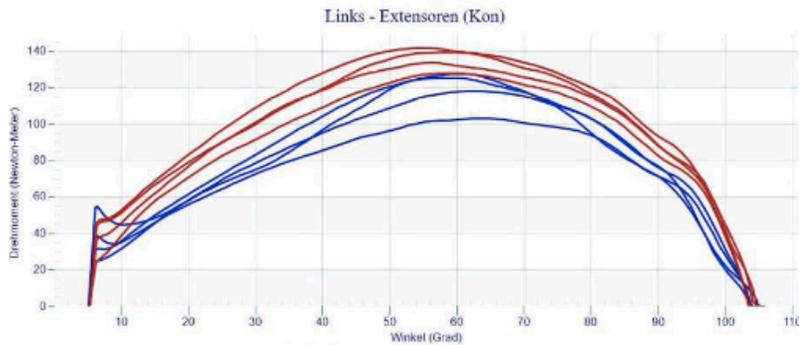
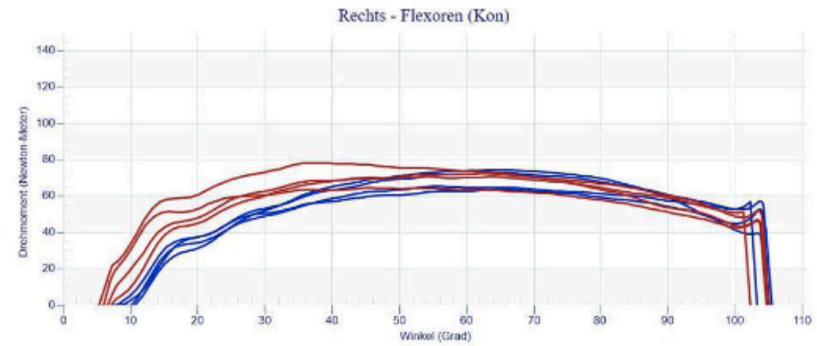
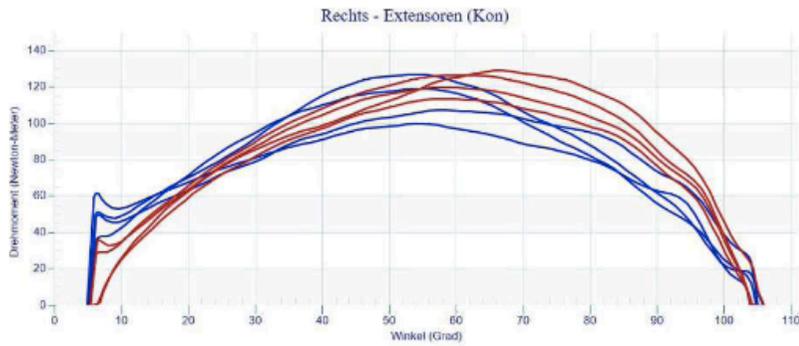
Flexoren (Kon)

08.08.2022 07.10.2022 Änderungen

Maximalkraft (Newton-Meter - Beste Wiederholung)

Rechts	110	98	-11 %	62	73	17 %
Links	106	103	-3 %	72	76	6 %
Defizit	4	-5		-13	-4	
Arbeit pro Wiederholung (Newton-Meter - Beste Wiederholung)						
Rechts	134	118	-12 %	94	106	13 %
Links	126	122	-3 %	98	106	8 %
Defizit	6	-3		-4	0	

Diagramm 8: Kraftverlaufskurve (Testperson 2). Das Diagramm zeigt die Kraftentwicklung der Oberschenkelmuskulatur vom gebeugten zum gestreckten Bein und umgekehrt. Bzgl. dieser Kurven ist zu sagen, dass das «Defizit» so angegeben wird, dass der Wert des rechten Beins zum Wert des linken Beins gerechnet wird (in %). So kann gesagt werden, dass bei einem negativen Wert das linke Bein um x% stärker ist, bei einem positiven Wert das rechte Bein um x%. Die «Arbeit» kann man als die Fläche unter der Kurve verstehen. Sie gibt eine Aussage zur Gesamtleistung, nicht nur über den maximalen Kraftwert. So bewertet man die Kraftentwicklung über die ganze Bewegungsamplitude.



08.08.2022 06.10.2022 Satz: 1
 Isokinetisch Kon/Kon Extensoren (Kon) Flexoren (Kon)
Speed 120/120 d/s 4 Wdh 08.08.2022 06.10.2022 Änderungen 08.08.2022 06.10.2022 Änderungen

Maximalkraft (Newton-Meter - Beste Wiederholung)							
Rechts	127	129	1 %	75	79	5 %	
Links	127	142	12 %	85	87	2 %	
Defizit	0	10		13	9		
Arbeit pro Wiederholung (Newton-Meter - Beste Wiederholung)							
Rechts	149	157	5 %	96	108	13 %	
Links	149	179	20 %	113	119	6 %	
Defizit	0	12		14	9		

Diagramm 9: Kraftverlaufskurve (Testperson 3). Das Diagramm zeigt die Kraftentwicklung der Oberschenkelmuskulatur vom gebeugten zum gestreckten Bein und umgekehrt. Bzgl. dieser Kurven ist zu sagen, dass das «Defizit» so angegeben wird, dass der Wert des rechten Beins zum Wert des linken Beins gerechnet wird (in %). So kann gesagt werden, dass bei einem negativen Wert das linke Bein um x% stärker ist, bei einem positiven Wert das rechte Bein um x%. Die «Arbeit» kann man als die Fläche unter der Kurve verstehen. Sie gibt eine Aussage zur Gesamtleistung, nicht nur über den maximalen Kraftwert. So bewertet man die Kraftentwicklung über die ganze Bewegungsamplitude.

13.2 Feedback zum Präventionsprogramm (Tab.)

	Probandin 1	Probandin 2	Probandin 3
Positive Aspekte	<ul style="list-style-type: none"> - Freude und Spass an den Übungen - Format Video hilfreich; korrekte Ausführung wird schnell ersichtlich - Nicht viel Zusatzmaterial wird benötigt; man kann die Übungen an verschiedenen Orten durchführen - Innerhalb der acht Wochen von den Übungen profitiert; keine Knie-schmerzen mehr beim Joggen - Möchte die Übungen auch in Zukunft regelmässig durchführen 	<ul style="list-style-type: none"> - Freude und Spass an den Übungen - Format Video hilfreich; man kann sich die Übungen problemlos selbst beibringen - Optionale Übungen sorgen für Abwechslung - Viele Erfolgserlebnisse gegeben; plötzlich kann man die Anzahl Wiederholungen pro Übung steigern 	<ul style="list-style-type: none"> - Freude und Spass an den Übungen - Video ist sehr anschaulich - Vielfältigkeit der Übungen: Oberschenkelmuskulatur, Rumpfmuskulatur, Plyometrie sowie neuromuskuläres Training - Der Aufwand (3x pro Woche) scheint nach viel, doch die Übungen lassen sich gut in den Alltag integrieren - Man kann die Übungen zuhause durchführen
Negative Aspekte	<ul style="list-style-type: none"> - Für korrekte Ausführung der Übungen wird mehr als vorgesehene Zeit gebraucht 	<ul style="list-style-type: none"> - Für korrekte Ausführung der Übungen wird mehr als vorgesehene Zeit gebraucht 	<ul style="list-style-type: none"> - Die Kommentare und Bemerkungen zu den Übungen könnten z.T. noch ausgeführt werden

Tab. 4: Feedback zum Präventionsprogramm

13.3 QR Code zum Präventionsprogramm



14 Authentizitätserklärung

Ich, Alice Schmid, erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Titel «Vorbeugen statt Heilen – Die Verletzungsprävention von Kreuzbandrissen bei jungen, sportlichen Frauen» selbstständig und ohne Benützung anderer als der angegebenen Quellen oder Hilfsmittel verfasst bzw. gestaltet habe. Die vorliegende Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form nicht veröffentlicht worden.

Ort und Datum:

Unterschrift: