

Aus der Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie,
Rekonstruktive und Septische Chirurgie, Sporttraumatologie
des Bundeswehrkrankenhauses Ulm
Prof. Dr. med. Benedikt Friemert
Akademisches Krankenhaus der Universität Ulm

Hat die Resektion des Innenmeniskus einen Einfluss auf das Ausmaß der ventralen Kniegelenksinstabilität?

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin
der Medizinischen Fakultät
der Universität Ulm

vorgelegt von
Cornelia Leonie Hanel
Göppingen
2018

Amtierender Dekan: Prof. Dr. rer. nat. Thomas Wirth

1. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Benedikt Friemert

2. Berichterstatter: Prof. Dr. med. Michael Kramer

Tag der Promotion: 11.01.2019

INHALTSVERZEICHNIS

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	III
1. EINLEITUNG	1
2. MATERIAL UND METHODEN.....	8
2.1 Studienpopulation.....	8
2.1.1 Einschlusskriterien.....	8
2.1.2 Ausschlusskriterien.....	8
2.1.3 Abbruchkriterien.....	9
2.2 Studiendesign.....	9
2.3 Studienablauf	10
2.4 Untersuchungsmethoden	11
2.4.1 Dynamische Translationsmessung (Hamstring-Reflexapparatur).....	11
2.4.2 Statische Translationsmessung (KT-1000 Arthrometer)	13
2.4.3 Dynamische Posturographie (Biodex Stability System)	15
2.4.4 Hop-Tests	16
2.5 Statistik.....	18
3. ERGEBNISSE	20
3.1 Dynamische Translationsmessung (Hamstring-Reflexapparatur).....	21
3.1.1 <i>Krankes</i> Kniegelenk mit TEILBELASTUNG	22
3.1.2 <i>Krankes</i> Kniegelenk mit VOLLBELASTUNG	23
3.1.3 <i>Gesundes</i> Kniegelenk mit TEILBELASTUNG	24
3.1.4 <i>Gesundes</i> Kniegelenk mit VOLLBELASTUNG	25
3.2 Statische Translationsmessung (KT-1000 Arthrometer).....	26
3.2.1 <i>Krankes</i> Kniegelenk bei 67 NEWTON	27
3.2.2 <i>Krankes</i> Kniegelenk bei 89 NEWTON	28
3.2.3 <i>Krankes</i> Kniegelenk bei 110 NEWTON	29
3.2.4 <i>Krankes</i> Kniegelenk bei MAXIMALER ZUGKRAFT	30
3.2.5 <i>Gesundes</i> Kniegelenk bei 67 NEWTON	31
3.2.6 <i>Gesundes</i> Kniegelenk bei 89 NEWTON	32
3.2.7 <i>Gesundes</i> Kniegelenk bei 110 NEWTON	33
3.2.8 <i>Gesundes</i> Kniegelenk bei MAXIMALER ZUGKRAFT.....	34
3.3 Dynamische Posturographie (Biodex Stability System).....	35
3.3.1 GESAMTER Stabilitätsindex am <i>kranken</i> Kniegelenk	36

3.3.2 ANTERIOR-POSTERIORER Stabilitätsindex am <i>kranken</i> Kniegelenk.	37
3.3.3 MEDIAL-LATERALER Stabilitätsindex am <i>kranken</i> Kniegelenk.....	38
3.3.4 GESAMTER Stabilitätsindex am <i>gesunden</i> Kniegelenk	39
3.3.5 ANTERIOR-POSTERIORER Stabilitätsindex am <i>gesunden</i> Kniegelenk	40
3.3.6 MEDIAL-LATERALER Stabilitätsindex am <i>gesunden</i> Kniegelenk	41
3.4 Hop-Tests.....	42
3.4.1 SINGLE-Hop-Test am <i>kranken</i> Kniegelenk	43
3.4.2 CROSSOVER-Hop-Test am <i>kranken</i> Kniegelenk.....	44
3.4.3 SINGLE-Hop-Test am <i>gesunden</i> Kniegelenk	45
3.4.4 CROSSOVER-Hop-Test am <i>gesunden</i> Kniegelenk.....	46
3.5 Numerische Ratingskala.....	47
3.6 Übersicht aller Signifikanzen	48
3.6.1 Dynamische Translationsmessung (Hamstring-Reflexapparatur).....	48
3.6.2 Statische Translationsmessung (KT-1000 Arthrometer)	49
3.6.3 Dynamische Posturographie (Biodex Stability System)	50
3.6.4 Hop-Tests	51
4. DISKUSSION.....	52
4.1 Dynamische Translationsmessung (Hamstring-Reflexapparatur).....	55
4.2 Statische Translationsmessung (KT-1000 Arthrometer).....	56
4.3 Dynamische Posturographie (Biodex Stability System).....	57
4.4 Hop-Tests.....	58
4.5 Limitierungen der Studie.....	59
4.5.1 Fallzahl und Rekrutierung	59
4.5.2 Untersuchungszeitraum	60
4.5.3 Dynamische Translationsmessung (Hamstring-Reflexapparatur).....	61
4.5.3 Statische Translationsmessung (KT-1000 Arthrometer)	61
4.5.4 Dynamische Posturographie (Biodex Stability System)	62
4.5.5 Hop-Tests	62
5. ZUSAMMENFASSUNG	64
6. LITERATURVERZEICHNIS.....	66
DANKSAGUNG	70
LEBENS LAUF	71

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

Abb.	Abbildung
APSI	anterior/posterior stability index, anterior-posteriorer Stabilitätsindex
BWK	Bundeswehrkrankenhaus
cm	Zentimeter
et al.	et alii
kg	Kilogramm
m	Meter
MAX	Maximum
max. Zug.	maximale Zugkraft
MED	Median
MIN	Minimum
MLSI	medial/lateral stability index, medial-lateraler Stabilitätsindex
mm	Millimeter
MRT	Magnetresonanztomographie
ms	Millisekunden
MW	Mittelwert
N	Newton
NRS	numerische Ratingskala
OSI	overall stability index, gesamter Stabilitätsindex
postop.	postoperativ
präop.	präoperativ
SD	Standardabweichung
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences

1. EINLEITUNG

Meniskusverletzungen gehören zu den häufigsten Kniegelenksverletzungen [11]. Sie entstehen, wenn auf das Kniegelenk bei fixiertem Unterschenkel eine axiale Belastung mit einer Rotationsbewegung auftritt. Dies geschieht zum Beispiel beim Fußballspielen oder Skifahren, wenn es bei gebeugtem Kniegelenk zu einer plötzlichen Außenrotation des Unterschenkels kommt. Dabei wirken enorme Kräfte auf den Meniskus ein, die zu einer Schädigung führen können. Sehr häufig ist der Innenmeniskus betroffen.

Degenerative Meniskusveränderungen, wovon eher ältere Patienten betroffen sind, entstehen durch Überbelastung, Fehlbelastung durch Achsenfehlstellung und durch Abnutzung des Knorpels [5].

Aufgaben des Meniskus:

Der Meniskus ist vor allem für die Kraftverteilung und die Druckübertragung zwischen dem Femur und der Tibia verantwortlich. Seitz et al. [23] untersuchten an Leichen den Einfluss einer Meniskusresektion auf den Kontaktdruck und die Kontaktfläche im Kniegelenk und konnten nachweisen, dass der Kontaktdruck bei einer Resektion von 50 % des Innenmeniskus und einer Knieflexion von 60° stieg und die Kontaktfläche kleiner wurde.

Auch von Beamer et al. [7] wurden an Kniegelenken von Leichen mittels Sensoren die tibio-femorale Kontaktfläche und der Kontaktdruck genauer betrachtet. Sie führten die Untersuchungen bei intaktem Innenmeniskus, Innenmeniskusriss, Innenmeniskusreparatur, Innenmeniskusteilresektion und totaler Innenmeniskusresektion durch und bewiesen, dass bei Innenmeniskusriss, Innenmeniskusteilresektion und totaler Innenmeniskusresektion der Kontaktdruck anstieg und die Kontaktfläche reduziert wurde. Ein Zustand nach Innenmeniskusreparatur glich bei den Untersuchungen einem intakten Meniskus. Des Weiteren sorgt der Meniskus aber auch für die Dämpfung von Stößen und hat eine stabilisierende Funktion. Walker et al. [28] fanden heraus, dass speziell das

Innenmeniskushinterhorn bei 30° Knieflexion den höchsten Anteil der Scherkräfte trägt.

Der Meniskus schützt den auf den Knochen liegenden Knorpel, indem er die belasteten Gelenkflächen um 40-50 % vergrößert und somit eine Druckentlastung des Knorpels erreicht, als eine Art Schmierfilm für den Knorpel dient und im intakten Zustand eine Arthrose verhindert [1, 12, 28].

Außerdem hat der Meniskus eine reflektorische Schutzfunktion [12]. Über Nozizeptoren (freie Nervenendigungen) und Mechanozeptoren (Pacini-Körperchen, Ruffini-Körperchen und Golgi-Sehnenorgane), die sich in den äußeren zwei Dritteln des Meniskus, den Meniskusvorderhörnern und den Meniskushinterhörnern befinden, ist er für die Propriozeption zuständig. Das bedeutet, dass er für die Extremitätenposition und -bewegung verantwortlich ist [20].

Der Meniskus hat also viele verschiedene Aufgaben, weshalb es schwierig ist, die mechanischen Effekte oder das physiologische Verhalten zu untersuchen.

Anatomie der Menisken:

Der Innenmeniskus und der Außenmeniskus bestehen aus Faserknorpel und sind frei von der Synovialmembran. Im Querschnitt gleichen sie einem keilförmigen, 3-dimensionalen Komplex aus Wasser, Kollagenen (hauptsächlich Typ I) und Proteoglykanen [5, 16]. Sie sind in der Peripherie am dicksten und laufen zur Mitte hin flach zu. Die Kollagenfasern verlaufen in Umfangsrichtung und radial.

Der Innenmeniskus ist u-förmig und weniger gekrümmt. Er hat einen größeren Abstand vom Vorderhorn zum Hinterhorn, das Vorderhorn ist schmal, das Hinterhorn breit [12]. Der Außenmeniskus hingegen ist stärker gekrümmt als der Innenmeniskus und c-förmig durch einen kurzen Abstand der beiden Hörner.

Verankert sind die beweglichen Menisken mit ihrem jeweiligen Vorder- und Hinterhorn an der Area intercondylaris anterior bzw. posterior im Knochen. Das Ligamentum transversum genus verbindet die Vorderhörner. Die peripher liegenden Basen der Menisken sind mit der Gelenkkapsel verwachsen. Die Basis des Innenmeniskus ist breitflächig mit dem hinteren Teil des Ligamentum

collaterale tibiale verwachsen. Dadurch ist der Innenmeniskus in seiner Beweglichkeit auf dem Tibiaplateau eingeschränkt, wodurch er bei Außenrotation und Beugung im Kniegelenk unter starke Spannung gerät und nach dorsal ausweichen muss. Durch diese Gegebenheit wird er deutlich häufiger verletzt als der Außenmeniskus. Der Außenmeniskus ist dorsal nicht mit der Gelenkkapsel verwachsen und deshalb deutlich beweglicher als der Innenmeniskus und weniger verletzungsgefährdet [5, 16].

Bei der Geburt ist der komplette Meniskus mit Blut versorgt, beim Erwachsenen ist nur noch die Peripherie vaskularisiert [16]. Die Versorgung der Menisken mit Blutgefäßen erfolgt überwiegend über die Gelenkkapsel von der Basis her [5]. Histologisch und funktionell werden 3 Zonen unterschieden, die sich aus der Durchblutung der Menisken ergeben: Die rot-rote Zone ganz außen, die rot-weiße Zone in der Mitte und die weiße Zone ganz innen [10]. Die zentralen, inneren Anteile der Menisken sind gefäßfrei und werden durch die Synovialflüssigkeit von der Gelenkhöhle her versorgt. Auch Nerven erreichen über die Gelenkkapsel die Menisken [5]. Diese entstammen dem Ramus articularis posterior des Nervus tibialis, dem Ramus articularis medialis des Nervus obturatorius oder Nervus saphenus und dem Ramus articularis lateralis des Nervus peroneus. Die Sensorendichte ist in der rot-roten Zone und in den Meniskushinterhörnern am höchsten. Dort werden die Ruffini- und Pacini-Körperchen, die Golgi-Sehnenorgane und freie Nervenendigungen gefunden. In der mittleren Zone sind nur noch freie Nervenendigungen zu finden und in der innersten Zone keine Nerven mehr [10].

Das vordere Kreuzband:

Das vordere Kreuzband liegt in der Fossa intercondylaris des Kniegelenks und befindet sich intrakapsulär. Zwischen der Membrana fibrosa und der Membrana synovialis befindlich ist es an der anterioren und lateralen Seite von Synovialmembran überzogen. Es verläuft von der Innenseite der lateralen Femurkondyle zur Area intercondylaris der Tibia.

Bei gestrecktem Kniegelenk ist die Spannung des vorderen Kreuzbands maximal. Im gebeugten Kniegelenk stellt das vordere Kreuzband mit dem hinteren Kreuzband zusammen die einzige ligamentäre Stabilisation am Kniegelenk dar [5]. Eine Verletzung des vorderen Kreuzbands ist etwa 10 Mal häufiger als eine Verletzung des hinteren Kreuzbands. Tests für eine klinische Prüfung der vorderen Stabilität des Kniegelenks sind der Lachmann-Test und der Pivot-Shift-Test [12].

Aktuelle Studienlage:

Unklar ist nun, ob eine Innenmeniskusteilresektion bei intaktem vorderem Kreuzband einen Einfluss auf die ventrale Kniegelenksinstabilität hat. Uns interessiert, welche Bedeutung die Innenmeniskusteilresektion auf die ventrale Tibiatranslation hat, wenn das vordere Kreuzband intakt ist.

In der Literatur wurden zu diesem Thema Studien gefunden, die an Leichen durchgeführt worden sind. Der Effekt einer Innenmeniskusresektion auf die ventrale Kniegelenksinstabilität wurde unseres Wissens in vivo bisher nur von Netravali et al. [19] untersucht. Hier wurden die Kniegelenke von 10 Patienten nach arthroskopischer Innenmeniskusresektion im Laufen untersucht, indem ein System verwendet wurde, das eine 3-dimensionale Bewegungsanalyse durchführte, Kräfte im Kniegelenk gemessen wurden und mittels einer Druckplatte, auf der die Patienten liefen, Kräfte auf dem Boden gemessen wurden. Sie fanden, verglichen mit dem gesunden Kniegelenk, eine vermehrte Außenrotation im Kniegelenk und Einschränkungen in der maximalen Flexion und Extension im innenmeniskusresezierten Kniegelenk. Die anterior-posteriore Tibiatranslation zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen krankem und gesundem Kniegelenk. Die Patienten wurden nur postoperativ in einem Zeitraum von 3 Monaten bis 27 Jahren nach Operation untersucht.

Marsh et al. [17] untersuchten an 7 Patienten den Effekt eines Risses im Innenmeniskushinterhorn auf die Kinematik des Kniegelenks in vivo. Dazu wurden mittels Computertomographie 3-dimensionale Modelle der Kniegelenke erstellt. Das gesunde Kniegelenk wurde mit dem kranken Kniegelenk verglichen, in

EINLEITUNG

welchem eine vermehrte laterale Tibiatranslation gefunden wurde. Hier wurde zwar auch in vivo untersucht, allerdings wurde in dieser Studie die Auswirkung eines Risses im Innenmeniskushinterhorn auf die Kinematik des Kniegelenks untersucht und nicht der Effekt einer Innenmeniskusteilresektion.

Alle anderen Studien wurden an Leichen durchgeführt.

So zum Beispiel die Studie von Allaire et al. [3], in der Kniegelenke mit intakten vorderen Kreuzbändern untersucht wurden. Sie zeigte, dass ein Riss im Innenmeniskushinterhorn eine signifikante Veränderung des Kontaktdrucks zwischen Femur und Tibia und der Kniegelenksbewegung verursacht. An 9 gefrorenen Kadavern wurde die Kinematik des Kniegelenks in 4 verschiedene Gruppen aufgeteilt untersucht: Kniegelenk intakt, Riss im Innenmeniskushinterhorn, reparierter Riss im Innenmeniskushinterhorn und totale Meniskusresektion. Es wurden signifikante Zunahmen der Kniegelenksaußenrotation und der lateralen Tibiatranslation beim Innenmeniskushinterhornriss und der Meniskektomie gesehen.

Von Watanabe et al. [29] wurde die Kinematik der Kniegelenke von 10 Leichen untersucht, deren Kniegelenke intakt waren, ein Drittel bzw. zwei Drittel des Innenmeniskushinterhorns reseziert wurde und eine komplette Resektion des Innenmeniskushinterhorns stattfand. Dabei stellte sich heraus, dass eine Resektion des Innenmeniskushinterhorns von mehr als zwei Dritteln einen signifikanten Effekt auf die Kinematik des Kniegelenks hat. Sowohl die anteriore Tibiatranslation als auch die Außenrotation im Kniegelenk wurden größer.

Dass eine arthroskopische Innenmeniskusreparatur bei einer isolierten Innenmeniskusverletzung in Bezug auf eine Osteoarthroseprophylaxe und möglicher sportlicher Aktivität ein besseres Ergebnis liefert als eine Innenmeniskusteilresektion konnte in einer Studie von Stein et al. [26] gezeigt werden. 81 Patienten, von denen 42 eine Innenmeniskusreparatur und 39 eine Innenmeniskusteilresektion bekamen, wurden jeweils klinisch und radiologisch untersucht. Bei 80,8 % der Patienten mit Innenmeniskusreparatur wurde kein Fortschreiten der Osteoarthrose beobachtet. Hingegen wurde bei der Innenmeniskusteilresektion nur bei 40,0 % kein Osteoarthroseprogress

EINLEITUNG

beobachtet. Auch die sportliche Aktivität ging bei der Gruppe mit Innenmeniskusreparatur deutlich weniger zurück als bei der Gruppe mit Innenmeniskusteilresektion.

Chen et al. [9] zeigten an Kniegelenken von Schweinekadavern, dass bei intaktem vorderem Kreuzband das Innenmeniskushinterhorn beim gebeugten Kniegelenk wichtiger für die Rotationsstabilität nach innen ist als das Innenmeniskusvorderhorn, welches bei voll gestrecktem Kniegelenk wichtiger für die Rotationsstabilität nach außen ist.

Auswirkungen einer Meniskusverletzung wurden in anderen Studien auch in Kombination mit einer Ruptur des vorderen Kreuzbands untersucht. In einer Studie von Ahn et al. [2] konnte gezeigt werden, dass ein Längsriss im Innenmeniskushinterhorn eines Kniegelenks mit verletztem vorderem Kreuzband die Kniekinematik verändert, insbesondere die anterior-posteriore Tibiatranslation vergrößert. Die vermehrte Tibiatranslation ließ sich durch eine Innenmeniskusnaht signifikant verbessern. Dies wurde durch Messung der Kinematik an Kniegelenken von 10 Leichen unter folgenden 5 Bedingungen untersucht: Kniegelenk intakt, vordere Kreuzbandruptur, vordere Kreuzbandruptur mit Riss im Innenmeniskushinterhorn, vordere Kreuzbandruptur mit Innenmeniskusreparatur und vordere Kreuzbandruptur mit Meniskusresektion. Ein Kniegelenk mit Innenmeniskusresektion und intaktem vorderem Kreuzband wurde nicht untersucht.

Mithilfe des Lachmann-Tests und des Pivot-Shift-Tests wurden von Musahl et al. [18] Kniegelenke von Leichen mit instabilem vorderem Kreuzband in verschiedenen Zuständen untersucht: Knie intakt, vordere Kreuzbandruptur, nach Innenmeniskusresektion, nach Außenmeniskusresektion und nach Resektion beider Menisken. Bei dieser Studie kam man zu dem Ergebnis, dass der Innenmeniskus ein entscheidender sekundärer Stabilisator bei der anterioren Tibiatranslation während des Lachmann-Tests ist, der Außenmeniskus aber wichtiger zu sein scheint, um die anteriore Tibiatranslation beim Pivot-Shift-Test zu begrenzen.

Von Petrigliano et al. [21] wurde gezeigt, dass nach anatomischer Rekonstruktion eines verletzten vorderen Kreuzbands beim Pivot-Shift-Test die Tibiatranslation im lateralen Kompartiment reduziert wird. Nach Resektion beider Menisken der mit anatomischer Rekonstruktion versorgten Kniegelenke von Leichen vergrößerte sich die Tibiatranslation im lateralen Kompartiment.

Lorbach et al. [15] zeigten anhand von Kniegelenken von Leichen, dass der Zustand des Innenmeniskus bei einer Läsion des vorderen Kreuzbands einen entscheidenden Einfluss auf die Kinematik des Kniegelenks hat. Kommt zur vorderen Kreuzbandläsion ein verletzter Innenmeniskus hinzu, vermehrt sich die anteriore Tibiatranslation, die durch Innenmeniskusreparatur signifikant verkleinert werden konnte. Der Innenmeniskus garantiert also eine gewisse Stabilität im Kniegelenk mit vorderer Kreuzbandruptur.

Ziel dieser Studie:

In den bereits durchgeführten Studien wurden die Kniegelenke zwar nach Innenmeniskusresektion untersucht, jedoch wurden die Untersuchungen, ausgenommen die Studie von Netravali et al. [19], an Leichen durchgeführt. Die Kniegelenke der Leichen wurden im Liegen und ohne Belastung untersucht. Es ist anzunehmen, dass die Beweglichkeit der Sehnen am Kniegelenk einer Leiche eingeschränkt ist und dies einen Einfluss auf das Ausmaß der Bewegung im Gelenk hat. Auch der fehlende Muskeltonus einer Leiche unterscheidet sich vom lebenden Menschen.

In dieser Studie sollen Kniegelenke im Gegensatz zu den bekannten Studien in vivo untersucht werden, bei denen mindestens 30 % des Innenmeniskus reseziert wurden, jedoch keine vordere Kreuzbandruptur- oder Läsion vorliegt.

Ziel dieser Studie ist es, die Stabilisatorfunktion des Innenmeniskus für die Tibiatranslation nach ventral bei intaktem vorderem Kreuzband in vivo zu untersuchen. Zusätzlich sollen die Untersuchungen im Liegen ohne Gelenkbelastung und im Stehen mit Gelenkbelastung durchgeführt werden.

2. MATERIAL UND METHODEN

2.1 Studienpopulation

2.1.1 Einschlusskriterien

Die Studienpopulation umfasste Patienten, bei denen in der Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie des Bundeswehrkrankenhauses Ulm eine Kniearthroskopie aufgrund von Innenmeniskusdegeneration oder -läsion durchgeführt wurde. Folgende Kriterien mussten erfüllt sein, damit die Patienten in die Studie aufgenommen wurden:

- mündliche und schriftliche Einwilligung des Patienten zur Teilnahme an der Studie
- Operation: Kniearthroskopie mit Innenmeniskusteilresektion ohne Ruptur oder Läsion des vorderen Kreuzbands
- gesundes Kniegelenk der Gegenseite
- gesunde Hüfte und gesundes Sprunggelenk beidseits

2.1.2 Ausschlusskriterien

Nachfolgende Kriterien führten zum Ausschluss der Patienten aus der Studie:

- nicht erfolgte Teilnahme des Patienten an der Nachuntersuchung
- akute Verletzungen des Patienten bei laufender Studie, die die Messwerte verfälschen könnten
- Einschränkungen beider unteren Extremitäten wie zum Beispiel Ergussbildung, deutliche Bewegungseinschränkung oder Blockierung im Kniegelenk
- Verletzungen oder Erkrankungen des oberen und/oder des unteren Sprunggelenks
- Verletzungen oder Erkrankungen der Hüfte
- Unmöglichkeit einbeinig zu stehen
- Knorpelschäden
- Schmerzen der unteren Extremitäten

- neurologische und muskuläre Erkrankungen

2.1.3 Abbruchkriterien

Die Studie wäre für die einzelnen Patienten abgebrochen worden, wenn sie das Einverständnis zur Teilnahme mündlich oder schriftlich zurückgezogen hätten.

Des Weiteren wurden einzelne Messungen abgebrochen, wenn eine Fortführung aufgrund von Schmerzen, Angst oder Unsicherheit des Patienten nicht mehr möglich war.

2.2 Studiendesign

Es handelte sich um eine prospektive klinische Studie, die in der Klinik für Unfallchirurgie und Orthopädie im BWK Ulm durchgeführt wurde. Die Studie wurde durch die Ethikkommission Ulm genehmigt (Antrag Nr. 48/13).

Die Patienten für die Studie wurden aus dem Operationsplan des BWK rekrutiert und entweder am Vortag der Operation persönlich auf Station oder telefonisch gefragt, ob sie an dieser Studie teilnehmen möchten. Sie mussten die Einschlusskriterien erfüllen und wurden nach den Ausschlusskriterien ausgeschlossen.

Waren die Patienten mit der Studienteilnahme einverstanden, erklärten sich nach entsprechender Aufklärung mündlich und durch ihre Unterschrift auf einer Einverständniserklärung bereit.

Die Patienten wurden zwischen 1-3 Tagen vor Operation und zwischen 6-20 Wochen nach Operation mit folgenden Methoden untersucht:

- 1.) dynamische Translationsmessung im Stehen unter Teil- und Vollbelastung (Hamstring-Reflexapparatur)
- 2.) statische Translationsmessung im Liegen (KT-1000 Arthrometer)
- 3.) dynamische Posturographie (Biodex Stability System)
- 4.) Hop-Tests

Die Hauptzielgröße war die dynamische Translationsmessung mit der Hamstring-Reflexapparatur unter Teil- und Vollbelastung. Die statische Translationsmessung mittels KT-1000 Arthrometer, die dynamische Posturographie mithilfe des Biodex Stability Systems und die Hop-Tests waren Nebenzielgrößen.

Alle Messungen wurden jeweils vor und nach Operation an beiden Kniegelenken der Patienten durchgeführt, das heißt am zu operierenden bzw. operierten Kniegelenk und am gesunden Kniegelenk. Die gesunde Seite wurde als Kontrollgruppe verwendet. Der Patient wurde sowohl im Liegen, als auch im Stehen untersucht. Im Stehen war es möglich, das Kniegelenk mit und ohne Belastung zu untersuchen.

Es wurde für jeden Test einzeln randomisiert mit welchem Bein jeweils begonnen worden ist. Der Patient zog vor Beginn der Messungen blind eine Karte aus Stapeln für jede der einzelnen Untersuchungen. In jedem Stapel gab es gleich viele blaue (für das linke Bein) und rote (für das rechte Bein) Karten, die dem Stapel nach dem Ziehen nicht wieder hinzugefügt wurden. Die Tests wurden bei jedem Patienten in oben aufgeführter Reihenfolge (1.-4.) durchgeführt.

2.3 Studienablauf

Die Patienten wurden nach klinischer Untersuchung und Diagnosestellung mit Indikation zur Operation im BWK Ulm stationär aufgenommen. Die Aufnahme in die Studie erfolgte nach Aufklärung und Einwilligung unter Berücksichtigung der Ein- und Ausschlusskriterien.

Die Patienten füllten zu Beginn einen Bogen mit personenbezogenen Daten aus. Dieser beinhaltete den Patientennamen, Anschrift mit Telefonnummer und E-Mail-Adresse, Geburtsdatum, Alter des Patienten, Geschlecht, Körpergröße in cm und Körpergewicht in kg. Des Weiteren wurden Beruf und Sport oder Hobby erfragt, um eine eventuelle besonders starke Belastung des Kniegelenks zu eruieren. Nach Beschwerden, erfolgter Diagnostik, zu operierender Seite, Intaktheit des vorderen Kreuzbands und Vorerkrankungen, früheren Operationen und Unfällen wurde ebenfalls gefragt.

Anschließend erfolgte die Festlegung der Reihenfolge, bei welcher Untersuchung mit welchem Kniegelenk begonnen wurde. Die zuerst untersuchte Seite wurde auf den Datenerfassungsbögen festgehalten.

Die Ergebnisse der statischen Translationsmessung (KT-1000 Arthrometer), der dynamischen Posturographie (Biodex Stability System) und der Hop-Tests wurden jeweils auf den erstellten Datenerfassungsbögen für jede Untersuchung dokumentiert und anschließend auf dem Rechner gespeichert. Die Daten der dynamischen Translationsmessung (Hamstring-Reflexapparatur) wurden direkt bei der Messung auf dem Rechner erfasst und gespeichert.

Vor und nach den Untersuchungen wurde zur Erfassung und Dokumentation von Schmerzen die numerische Ratingskala abgefragt.

Außerdem wurden die Patienten nach der gesamten Untersuchung gefragt wie sie sich gefühlt haben, ob sie irgendwann unsicher waren und wenn etwas nicht ausgeführt werden konnte, aus welchem Grund.

Mithilfe der Operationsberichte der Patienten wurde nach der Operation kontrolliert, ob die Einschlusskriterien erfüllt wurden. Daraufhin wurde telefonisch oder per E-Mail ein Termin zur Nachuntersuchung vereinbart, welche in der gleichen Art und Weise ablief wie die Untersuchung vor der Operation.

2.4 Untersuchungsmethoden

2.4.1 Dynamische Translationsmessung (Hamstring-Reflexapparatur)

Zur Messung und Aufzeichnung der Tibiatranslation wurde ein Gerät eingesetzt, welches ursprünglich von Beard et al. [8] entwickelt wurde, von uns weiterentwickelt und schon in einigen Studien verwendet wurde [11]. Mithilfe dieses Gerätes war es möglich eine dynamische Messung der Tibiatranslation nach ventral unter Teil- und Vollbelastung durchzuführen. Die Patienten wurden im Stehen untersucht.

Das zu untersuchende Bein des Patienten wurde so in dieser Vorrichtung platziert, dass die Knieflexion ca. 30° und die Außenrotation ca. 5° betrug. Die Patella

MATERIAL UND METHODEN

wurde an einer ventral angebrachten Druckplatte positioniert, wodurch gewährleistet wurde, dass das Femur in der ventralen Beweglichkeit eingeschränkt war. Dadurch konnte sichergestellt werden, dass die von dorsal über einen Druckstempel ausgeübte Kraft auf die Wade nur eine Bewegung im Kniegelenk verursachte, nämlich eine Tibiatranslation nach ventral. Der ca. 1 cm vom Unterschenkel entfernte Druckstempel wurde über einen Pressluftzylinder mit einer Kraft von 300 N beschleunigt, sodass eine Kraft von dorsal auf den Unterschenkel ausgeübt werden konnte. Ca. 10 cm unterhalb des Kniegelenks traf dieser Druckstempel mit einem Winkel, der dem des Tibiaplateaus bei 30° gebeugten Kniegelenk entsprach, auf die Wade (siehe Abb. 1a und 1b). So wurde eine Translation der Tibia nach ventral bewirkt [11].

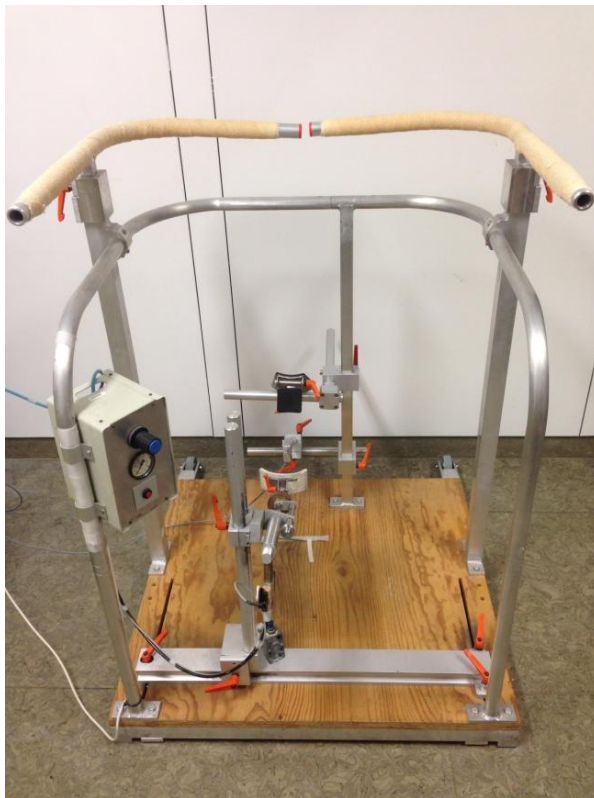


Abbildung 1a: Die dynamische Translationsmessung (Hamstring-Reflexapparat) in der Übersicht.



Abbildung 1b: Ein zur Messung platzierter Proband.

Über einen potenziometrischen Wegaufnehmer an der Tuberositas tibiae wurde die Translation der Tibia aufgenommen. Diese wurde mit einer speziellen Software abgeleitet und anschließend manuell ausgewertet.

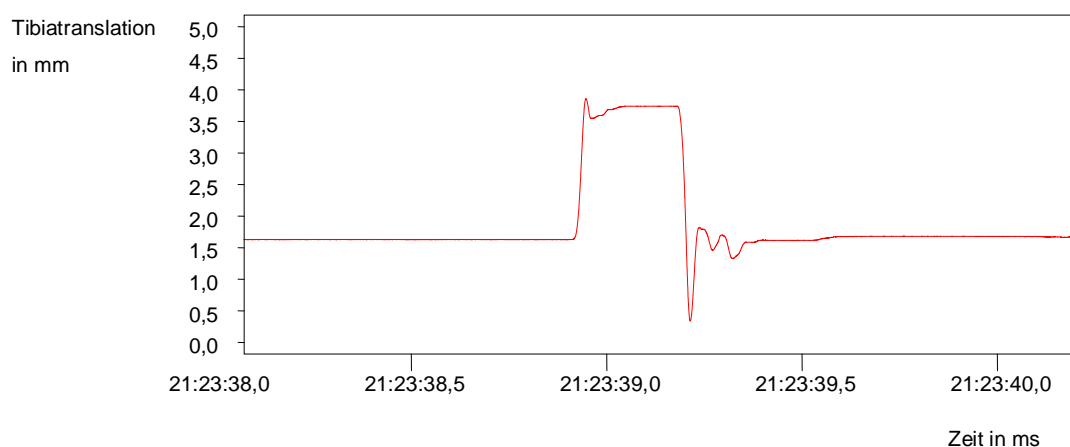


Abbildung 2: Screenshot aus dem für die Auswertung verwendeten Programm DASyLab6; mm = Millimeter, ms = Millisekunden.

In der Abb. 2 wird die Kurve der gemessenen Tibia translation in mm gezeigt. Zur Auswertung wurde die Differenz der Grundlinie, die sich in diesem Fall bei 1,6 mm befindet und der höchsten und größten Ebene gemessen, hier bei 3,8 mm. Mittels Cursor ließ sich die Differenz mit diesem Programm berechnen.

Durchgeführt wurden 15-20 Messungen einbeinig, also unter Vollbelastung, und 15-20 Messungen zweibeinig, also unter Teilbelastung. Die 15-20 Messungen wurden jeweils am kranken und am gesunden Kniegelenk vor und nach der Operation durchgeführt und anschließend die Mittelwerte ermittelt.

2.4.2 Statische Translationsmessung (KT-1000 Arthrometer)

Mit dem KT-1000 Arthrometer (Firma MEDmetric®, Corporation; San Diego, California) ließ sich die Translation der Tibia gegenüber des Femurs im Liegen bestimmen [24].

Das Bein des Patienten wurde mit einer Knierolle so auf der Untersuchungsfläche gelagert, dass im Kniegelenk eine Flexion von ca. 30° gegeben war. Die Füße wurden in leichter Supinationsstellung locker in ein Fußteil gelegt. Die

MATERIAL UND METHODEN

Hauptmesseinheit wurde mit 2 Gurten ventral auf dem Unterschenkel fixiert (siehe Abb. 3a und 3b).



Abbildung 3a: Das KT-1000 Arthrometer mit der Hauptmesseinheit, der Knierolle und dem Fußteil (von links nach rechts).

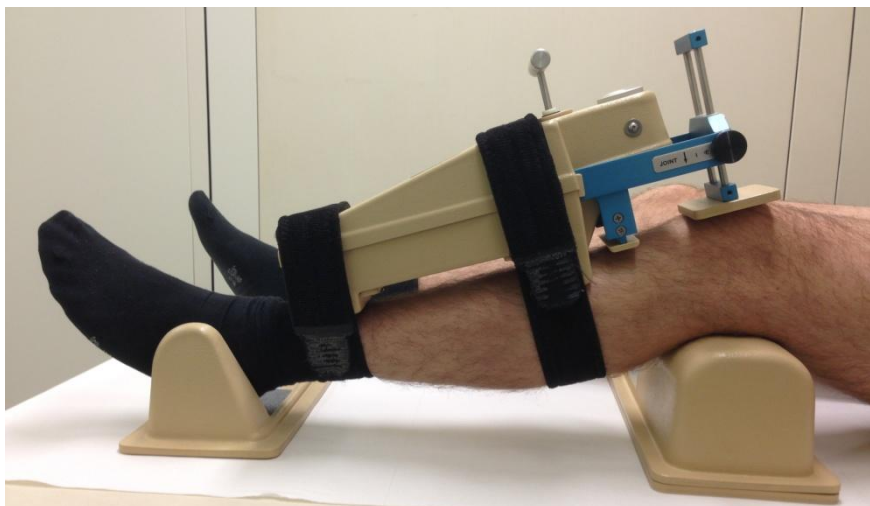


Abbildung 3b: Ein zur Messung vorbereiteter Proband.

Durch die Patella wurde der Referenznullpunkt der Messung dargestellt. Vor der Untersuchung wurde das Messgerät auf null kalibriert. Der Untersucher übte nun in einem rechten Winkel zur Tibia eine Zugkraft senkrecht zum Unterschenkel aus.

Die Tibiatranslation wurde in mm von der Messanzeige abgelesen. Das KT-1000 Arthrometer hatte 4 Ablesezeitpunkte. Bei einer Zugkraft von 67 N, 89 N und 110 N, welche jeweils durch einen Signalton vom Gerät gemeldet wurden und bei einer vom Untersucher abhängigen maximalen Zugkraft [24].

Die Untersuchung wurde am kranken und am gesunden Kniegelenk vor und nach der Operation jeweils 3 Mal durchgeführt und anschließend der Mittelwert berechnet.

2.4.3 Dynamische Posturographie (Biodex Stability System)

Das Biodex Stability System (Firma Biodex Medical Systems, Incorporated; Shirley, New York) diente zur Überprüfung der posturalen Kontrolle und des Gleichgewichtsinns [20].

Der Patient wurde mit Schuhen einbeinig in der Mitte der runden, instabilen Plattform platziert, die um bis zu 20° von der Horizontalebene abkippen konnte. Während der Messung durfte sich mit den Armen nicht abgestützt werden.



Abbildung 4: Das Biodex Stability System.

Sensoren an der Plattform maßen die dynamische Abweichung der Platte in alle Richtungen im zeitlichen Verlauf. Die Intensität und Dauer der Abweichung der Plattform wurde von diesen computerunterstützt in Echtzeit als Cursor auf dem Monitor des Biodex Stability Systems angezeigt. Die durchschnittliche Auslenkung der Plattform wurde dann in Winkelgraden berechnet. Dieser Durchschnitt wurde als gesamter Stabilitätsindex (overall stability index, OSI), anterior-posteriorer Stabilitätsindex (APSI) und medial-lateraler Stabilitätsindex (MLSI) angegeben. Das Gerät hatte eine Messgenauigkeit von $0,1^\circ$. Umso höher der Stabilitätsindex war, desto instabiler stand der Patient auf der Plattform [20].

Die Stabilität der Plattform ließ sich regulieren. Sie konnte auf ein statisches Level und 12 dynamische Level eingestellt werden. Level 1 war am instabilsten, Level 12 am stabilsten. Für unsere Studie wurde Level 8 gewählt, da wir mit unseren Messungen keine Extreme, sondern ein mittleres Level untersuchen wollten. Damit eine Verfälschung der Messwerte durch ein Feedback des Monitors, der die Auslenkung der Plattform grafisch darstellte, ausgeschlossen werden konnte, wurde der Bildschirm während der gesamten Messung mit einem Blatt Papier verdeckt. Die Untersuchung wurde mit dem kranken und dem gesunden Kniegelenk vor und nach der Operation 3 Mal mit einer jeweiligen Messdauer von 20 Sekunden durchgeführt und vom Gerät der Mittelwert der Stabilitätsindizes berechnet.

2.4.4 Hop-Tests

Zur Beurteilung der Kniestabilität wurden 2 der 4 Hop-Tests durchgeführt, wie sie in der Studie von Reid et al. [22] beschrieben sind. Reid et al. [22] führten in ihrer Studie den Single-Hop-Test, den 6-Meter-Hop-Test auf Zeit, den Dreifach-Hop-Test und den Crossover-Hop-Test durch. Wir beschränkten uns auf den Single-Hop-Test und den Crossover-Hop-Test.

Die Tests wurden über einem Streifen auf dem Boden durchgeführt, der 6 m lang und mit einer Messskala in m und cm versehen war. Die Startlinie war ebenfalls mit einem Streifen markiert.

MATERIAL UND METHODEN

Beim Single-Hop-Test sollte der Patient auf einem Bein stehen, dann so weit wie möglich nach vorne springen und auf dem gleichen Bein wieder landen. Die Sprungweite wurde auf Höhe der großen Zehe auf dem Teststreifen abgelesen.

Beim Crossover-Hop-Test stand der Patient zu Beginn seitlich des Streifens und hatte diesen mit einbeinigen Sprüngen in Richtung des anderen Endes des Streifens 3 Mal zu überqueren. Wurde der Test mit dem rechten Bein begonnen, stand der Patient zu Beginn links des Streifens, wurde mit dem linken Bein begonnen, stand er rechts des Streifens. Anschließend wurde die zurückgelegte Strecke in m auf dem Teststreifen abgelesen.

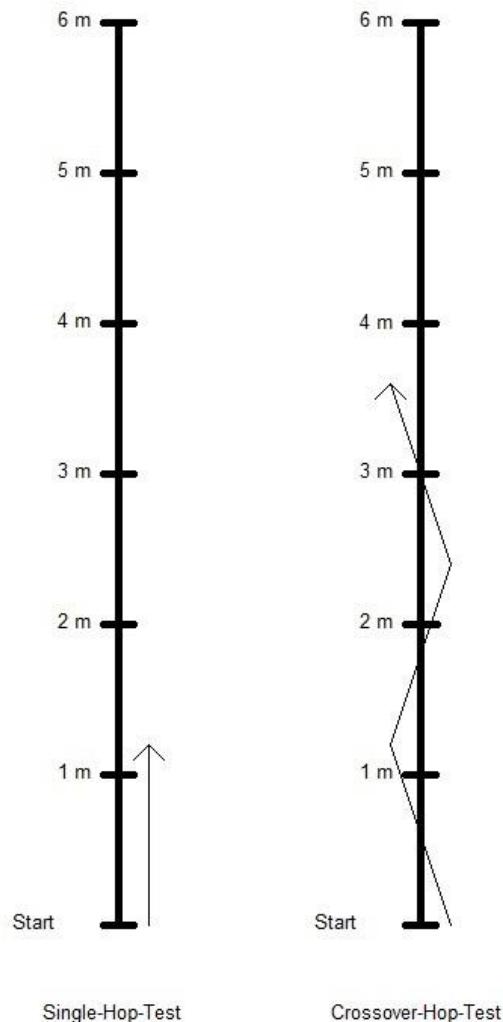


Abbildung 5: Single-Hop-Test und Crossover-Hop-Test; m = Meter.

Um Ermüdungserscheinungen zu vermeiden wurden zwischen den Tests Pausen von 1-2 Minuten eingelegt, bis der Patient sich erholt fühlte.

Die Patienten sollten bei jedem Untersuchungszeitpunkt dieselben Schuhe tragen. Anweisungen, wie sie die Arme zu halten hatten oder wo sie hinschauen sollten, bekamen sie nicht. Nach der Landung auf dem getesteten Bein musste der Patient 2 Sekunden lang auf dem untersuchten Bein stehen bleiben. Beim Aufsetzen des kontralateralen Beins, der Arme oder bei Verlust des Gleichgewichts wäre der Test als erfolglos bewertet worden. Das Gleiche galt für einen zusätzlichen Sprung nach der Landung.

Der Test wurde mit dem kranken und dem gesunden Kniegelenk vor und nach der Operation 3 Mal durchgeführt und anschließend der Mittelwert berechnet.

2.5 Statistik

Die Fallzahlplanung wurde auf Basis des verbundenen t-Tests gemacht, da die Patienten im Seitenvergleich untersucht und jeweils als ihre eigene Kontrolle genutzt wurden.

Es handelte sich um eine einseitige Fragestellung mit dem entsprechenden Signifikanzniveau von 2,5 % anstatt der üblichen 5 % bei zweiseitigen Fragestellungen. Wir wollten zeigen, dass die Tibiatranslationswerte am kranken Kniegelenk postoperativ größer sind als am gesunden Kniegelenk. Dazu wurden Mittelwerte verglichen.

Die dynamische Translationsmessung (Hamstring-Reflexapparatur) wurde als Hauptzielgröße festgelegt, für welche ein Translationsunterschied von $> 1,5$ mm als signifikant eingestuft wurde. Dieser Unterschied wurde anhand einer Studie von Friemert et al. [11] festgelegt, in der bei der dynamischen Translationsmessung mit der Hamstring-Reflexapparatur am gesunden Kniegelenk Tibiatranslationswerte von $6,6 \text{ mm} \pm 1,7 \text{ mm}$ und am Kniegelenk mit Meniskusläsion von $7,8 \text{ mm} \pm 2,4 \text{ mm}$ gemessen wurden.

MATERIAL UND METHODEN

Die Untersuchungen der statischen Translationsmessung (KT-1000 Arthrometer), der dynamischen Posturographie (Biodex Stability System) und die Hop-Tests waren Nebenzielgrößen.

Ausgehend von einem Mittelwertsunterschied von 1,5 mm bei der dynamischen Translationsmessung wurden bei 80%iger Power und verschiedenen Annahmen zur Standardabweichung (1,8/2,0/2,2) Fallzahlen von 14 bis 19 Patienten berechnet. Wir einigten uns ursprünglich darauf 25 Patienten in die Studie aufzunehmen.

Neben der deskriptiven Statistik, die im Ergebnisteil aufgeführt ist, wurden die erhobenen Daten der einzelnen Untersuchungsmethoden anhand von Histogrammen, Q-Q-Diagrammen und dem Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung geprüft. Da aufgrund dieser Prüfung und unserer geringen Fallzahl von nur 18 Patienten nicht von einer Normalverteilung ausgegangen werden konnte, wurden die Mittelwerte der dynamischen Translationsmessung (Hamstring-Reflexapparatur), der statischen Translationsmessung (KT-1000 Arthrometer), der dynamischen Posturographie (Biodex Stability System) und der Hop-Tests vom kranken und gesunden Kniegelenk mittels eines nichtparametrischen Tests, dem Wilcoxon-Test, auf Signifikanz überprüft. Als Signifikanzniveau wurde ein p-Wert von $p < 0,025$ festgelegt. Die statistischen Analysen erfolgten mit dem Statistikprogramm SPSS Statistics 21.

3. ERGEBNISSE

Um zu untersuchen, ob die Teilresektion des Innenmeniskus bei intaktem vorderem Kreuzband einen Einfluss auf die ventrale Kniegelenksinstabilität hat, wurden die Mittelwerte der am kranken Kniegelenk präoperativ erhobenen Daten mit den postoperativ erhobenen Daten der jeweiligen Untersuchungen verglichen. Bei allen Untersuchungsmethoden wurden weitere Untergruppen unterschieden, die in den einzelnen Ergebnisteilen beschrieben sind.

Als Kontrollgruppe wurde bei jedem Patienten das gesunde Kniegelenk untersucht und die präoperativ erhobenen Daten mit den postoperativen Daten verglichen.

In die Studie wurden ursprünglich 25 Patienten aufgenommen. Nur von 18 Patienten konnten die Daten jedoch ausgewertet werden. Das hatte den Grund, dass 4 Patienten nicht zur Nachuntersuchung erschienen, 2 Patienten nicht nachuntersucht wurden, da bei diesen keine Meniskusteilresektion erfolgt war und eine Patientin zwar nachuntersucht wurde, bei der jedoch keine Meniskusteilresektion durchgeführt worden war.

Die Patienten, die alle Einschlusskriterien und keine Ausschlusskriterien erfüllten, waren 52 Jahre \pm 14,7 Jahre alt (Range 27 bis 84 Jahre), 176,6 cm \pm 9,9 cm groß (Range 155 bis 193 cm) und 81,4 kg \pm 11,3 kg schwer (Range 60 bis 98 kg). 13 Patienten waren männlich, 5 weiblich.

3.1 Dynamische Translationsmessung (Hamstring-Reflexapparatur)

Mit der dynamischen Translationsmessung mithilfe der Hamstring-Reflexapparatur wurden vor und nach Operation am kranken und am gesunden Kniegelenk jeweils bei Teil- und Vollbelastung optimalerweise 15-20 Messungen durchgeführt. Dies gelang bei 8 Patienten. Bei 7 waren es bei allen Untersuchungsmomenten mindestens 10 Messungen, bei 3 Patienten mindestens 5 Messungen.

Es wurden die Mittelwerte der erhobenen Daten berechnet. Die präoperativen Mittelwerte wurden mit den postoperativen Mittelwerten des jeweils selben Kniegelenks bei gleicher Belastung verglichen und nach der Übersichtsgrafik in den folgenden Kapiteln einzeln dargestellt.

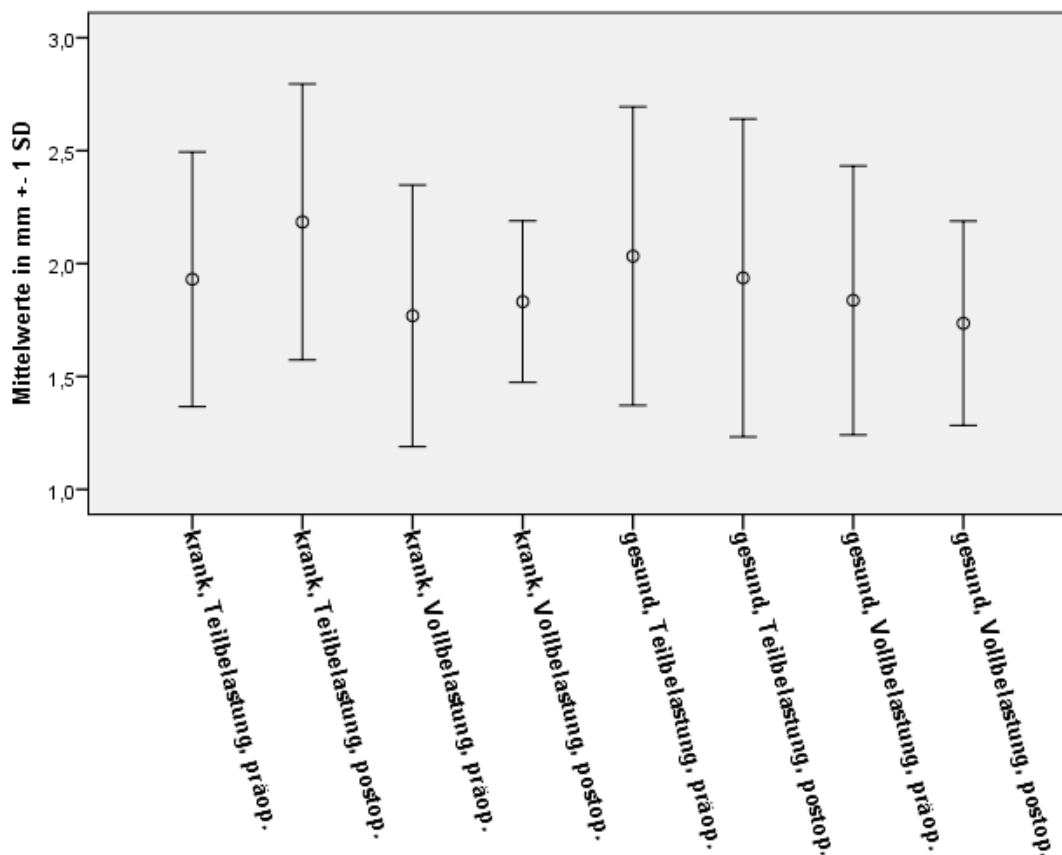


Abbildung 6: Grafische Darstellung der Mittelwerte der dynamischen Translationsmessung in mm mit Standardabweichung unter Teil- und Vollbelastung am kranken und am gesunden Kniegelenk der 18 Patienten des BWK Ulm 1-3 Tage vor und 6-20 Wochen nach arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion (2013-2014); mm = Millimeter, SD = Standardabweichung, präop. = präoperativ, postop. = postoperativ.

3.1.1 Krankes Kniegelenk mit TEILBELASTUNG

Der präoperative Mittelwert am kranken Kniegelenk mit Teilbelastung betrug 1,93 mm \pm 0,56 mm, der Median 1,86 mm und die Spannweite ging von 1,23 mm bis 3,43 mm. Postoperativ war der Mittelwert am kranken Kniegelenk mit Teilbelastung bei 2,18 mm \pm 0,61 mm, der Median bei 1,91 mm und die Spannweite bei 1,42 mm bis 3,30 mm (siehe Abb. 6 und 7). Die Mittelwertdifferenz von präoperativ zu postoperativ betrug 0,25 mm. Der Median war bei Betrachtung des Boxplot nahezu gleich, der Interquartilsabstand allerdings verschob sich zu mehr Translation postoperativ.

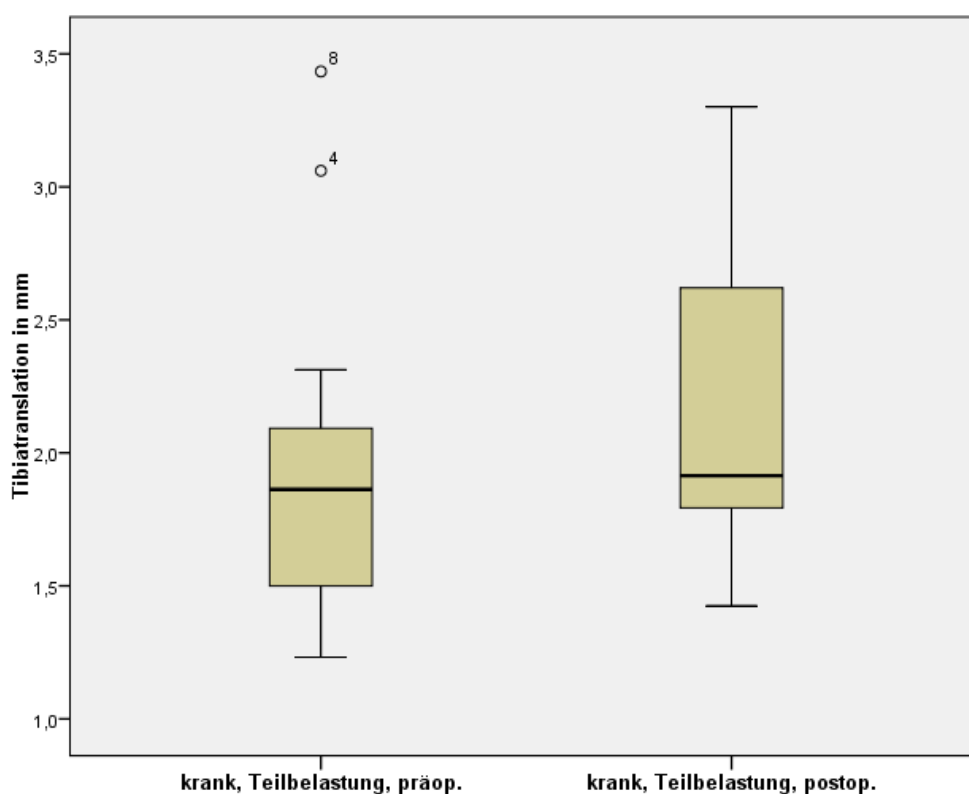


Abbildung 7: Boxplot mit Median, Interquartilsabstand, Antennen und Ausreißern der dynamischen Translationsmessung in mm am kranken Kniegelenk der 18 Patienten des BWK Ulm mit Teilbelastung 1-3 Tage vor und 6-20 Wochen nach arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion (2013-2014); mm = Millimeter, präop. = präoperativ, postop. = postoperativ.

Der Wilcoxon-Test zeigte beim Vergleich der Mittelwerte prä- und postoperativ am kranken Kniegelenk mit Teilbelastung mit einer Signifikanz von 0,12 keinen signifikanten Unterschied in der Translationsmessung vor und nach Operation.

3.1.2 Krankes Kniegelenk mit VOLLBELASTUNG

Präoperativ betrug der Mittelwert am kranken Kniegelenk mit Vollbelastung 1,77 mm \pm 0,58 mm, der Median 1,64 mm und die Spannweite 1,08 mm bis 3,42 mm. Verglichen wurde mit dem Mittelwert am kranken Kniegelenk mit Vollbelastung postoperativ von 1,83 mm \pm 0,36 mm, mit dem Median von 1,85 mm und der Spannweite von 1,18 mm bis 2,32 mm (siehe Abb. 6 und 8). Die Differenz der Mittelwerte betrug 0,06 mm. Die Spannweite war postoperativ kleiner.

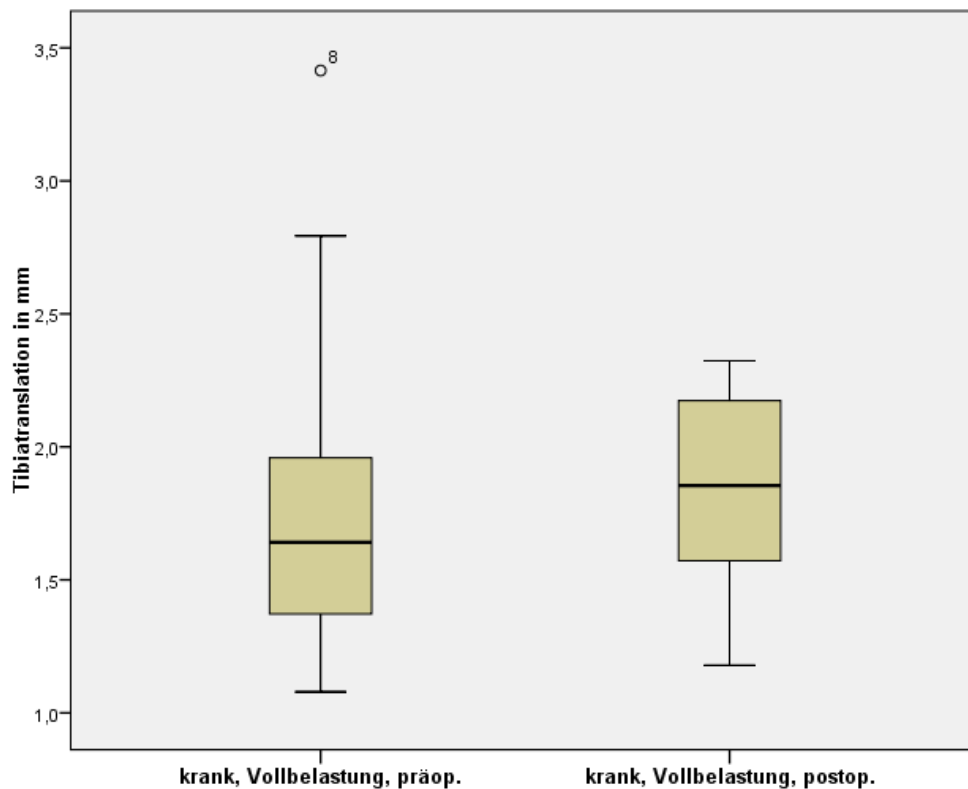


Abbildung 8: Boxplot mit Median, Interquartilsabstand, Antennen und Ausreißer der dynamischen Translationsmessung in mm am kranken Kniegelenk der 18 Patienten des BWK Ulm mit Vollbelastung 1-3 Tage vor und 6-20 Wochen nach arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion (2013-2014); mm = Millimeter, präop. = präoperativ, postop. = postoperativ.

Mithilfe des Wilcoxon-Tests zeigte sich im Vergleich der Mittelwerte prä- und postoperativ bei der Untersuchung am kranken Kniegelenk mit Vollbelastung mit einer Signifikanz von 0,24 kein signifikanter Unterschied in der dynamischen Translationsmessung vor und nach Operation.

3.1.3 Gesundes Kniegelenk mit TEILBELASTUNG

Der Mittelwert am gesunden Kniegelenk mit Teilbelastung präoperativ betrug 2,03 mm \pm 0,66 mm, der Median 1,90 mm und die Spannweite 1,24 mm bis 3,22 mm verglichen mit dem Mittelwert am gesunden Kniegelenk mit Teilbelastung postoperativ von 1,94 mm \pm 0,70 mm, dem Median von 1,66 mm und der Spannweite von 1,16 mm bis 4,00 mm (siehe Abb. 6 und 9). Bei dieser Messung war der postoperativ ermittelte Mittelwert kleiner als der präoperative.

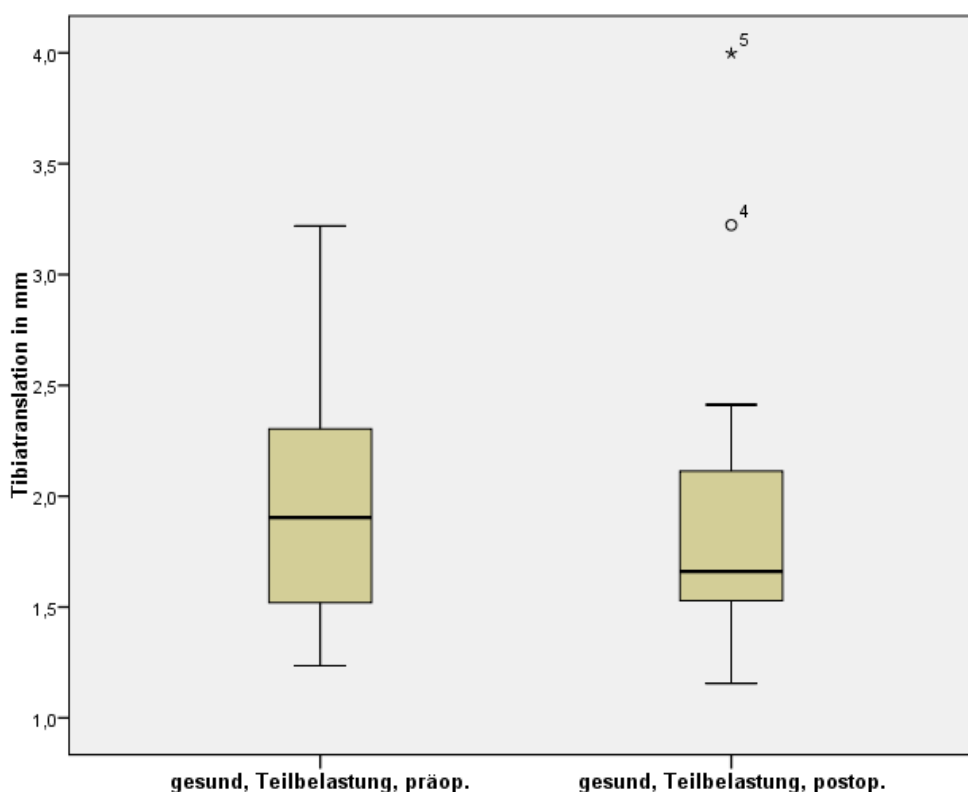


Abbildung 9: Boxplot mit Median, Interquartilsabstand, Antennen, Ausreißer und Extremwert der dynamischen Translationsmessung in mm am gesunden Kniegelenk der 18 Patienten des BWK Ulm mit Teilbelastung 1-3 Tage vor und 6-20 Wochen nach arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion der Gegenseite (2013-2014); mm = Millimeter, präop. = präoperativ, postop. = postoperativ.

Beim Vergleich der Mittelwerte prä- und postoperativ zeigte sich bei der Untersuchung am gesunden Kniegelenk mit Teilbelastung im Wilcoxon-Test mit einer Signifikanz von 0,16 kein signifikanter Unterschied in der dynamischen Tibiatrialslation vor und nach Operation.

3.1.4 Gesundes Kniegelenk mit VOLLBELASTUNG

Der Mittelwert am gesunden Kniegelenk mit Vollbelastung präoperativ betrug 1,84 mm \pm 0,60 mm, der Median 1,72 mm und die Spannweite 1,13 mm bis 3,25 mm. Verglichen wurde mit dem Mittelwert am gesunden Kniegelenk mit Vollbelastung postoperativ. Dieser betrug 1,74 mm \pm 0,45 mm, der Median 1,72 mm und die Spannweite 1,25 mm bis 2,82 mm (siehe Abb. 6 und 10). Auch hier waren der postoperative Mittelwert und der Interquartilsabstand kleiner als der präoperative.

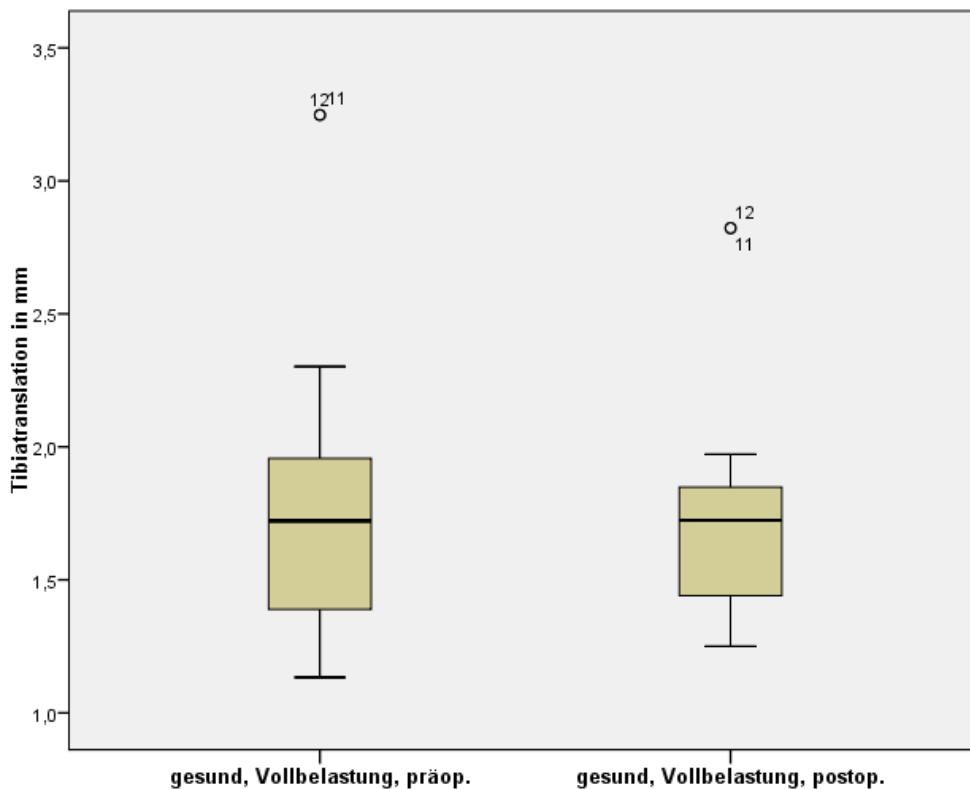


Abbildung 10: Boxplot mit Median, Interquartilsabstand, Antennen und Ausreißern der dynamischen Translationsmessung in mm am gesunden Kniegelenk der 18 Patienten des BWK Ulm mit Vollbelastung 1-3 Tage vor und 6-20 Wochen nach arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion der Gegenseite (2013-2014); mm = Millimeter, präop. = präoperativ, postop. = postoperativ.

Beim Vergleich der Mittelwerte prä- und postoperativ zeigte sich im Wilcoxon-Test bei dieser Untersuchung am gesunden Kniegelenk mit Vollbelastung mit einer Signifikanz von 0,12 kein signifikanter Unterschied in der Tibiatranslation vor und nach Operation.

3.2 Statische Translationsmessung (KT-1000 Arthrometer)

Mit der statischen Translationsmessung mittels KT-1000 Arthrometer wurden vor und nach Operation jeweils am kranken und am gesunden Kniegelenk 3 Messungen mit allen 4 Ablesezeitpunkten durchgeführt. Daraus wurden dann 4 Mittelwerte für jedes Kniegelenk berechnet. Die präoperativen Mittelwerte wurden mit den postoperativen Mittelwerten des jeweils selben Kniegelenks bei gleicher Zugkraft verglichen und nach der Übersichtsgrafik in den folgenden Kapiteln einzeln dargestellt.

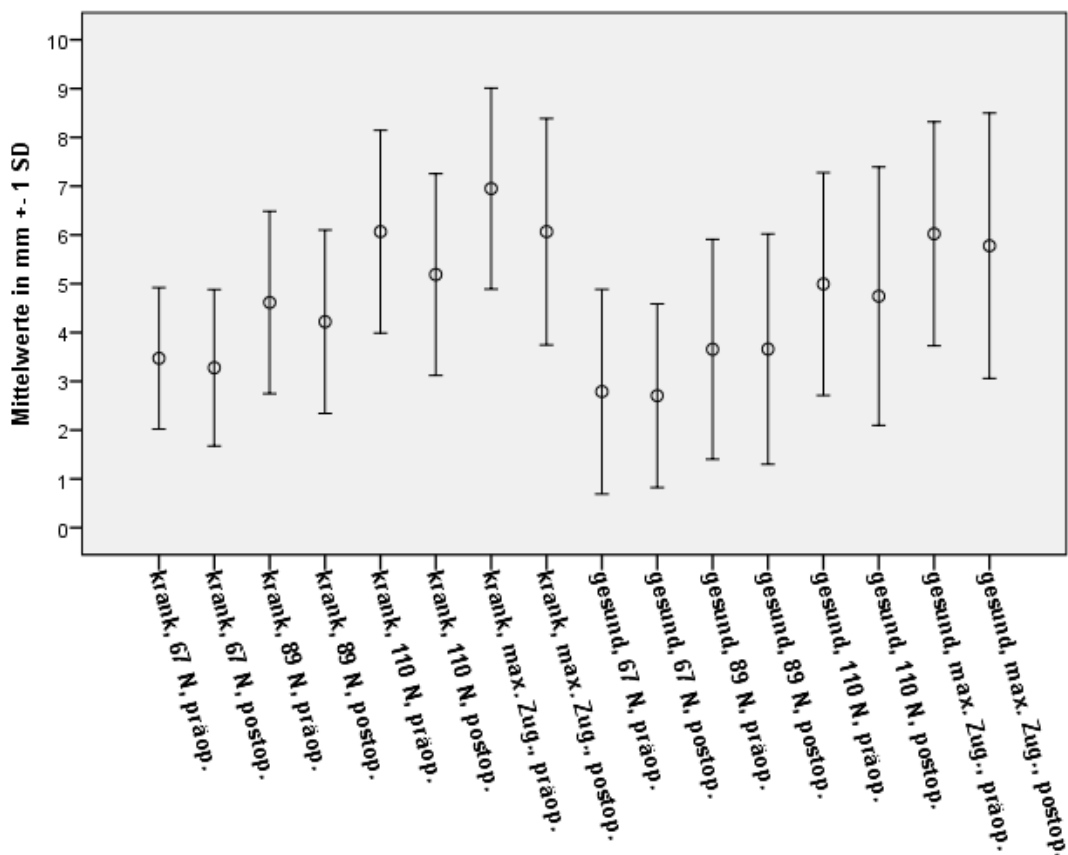


Abbildung 11: Grafische Darstellung der Mittelwerte der statischen Translationsmessung in mm mit Standardabweichung bei 67 N, 89 N, 110 N und maximaler Zugkraft am kranken und am gesunden Kniegelenk der 18 Patienten des BWK Ulm 1-3 Tage vor und 6-20 Wochen nach arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion (2013-2014); mm = Millimeter, SD = Standardabweichung, N = Newton, max. Zug. = maximale Zugkraft, präop. = präoperativ, postop. = postoperativ.

3.2.1 Krankes Kniegelenk bei 67 NEWTON

Der Mittelwert am kranken Kniegelenk bei 67 N präoperativ betrug $3,47 \text{ mm} \pm 1,45 \text{ mm}$, der Median $3,45 \text{ mm}$ und die Spannweite $1,20 \text{ mm}$ bis $7,50 \text{ mm}$. Der Mittelwert am kranken Kniegelenk postoperativ war bei $3,28 \text{ mm} \pm 1,60 \text{ mm}$, der Median bei $3,10 \text{ mm}$ und die Spannweite bei $1,00 \text{ mm}$ bis $6,50 \text{ mm}$ (siehe Abb. 11 und 12). Postoperativ konnte hier kein größerer Mittelwert gemessen werden als präoperativ.

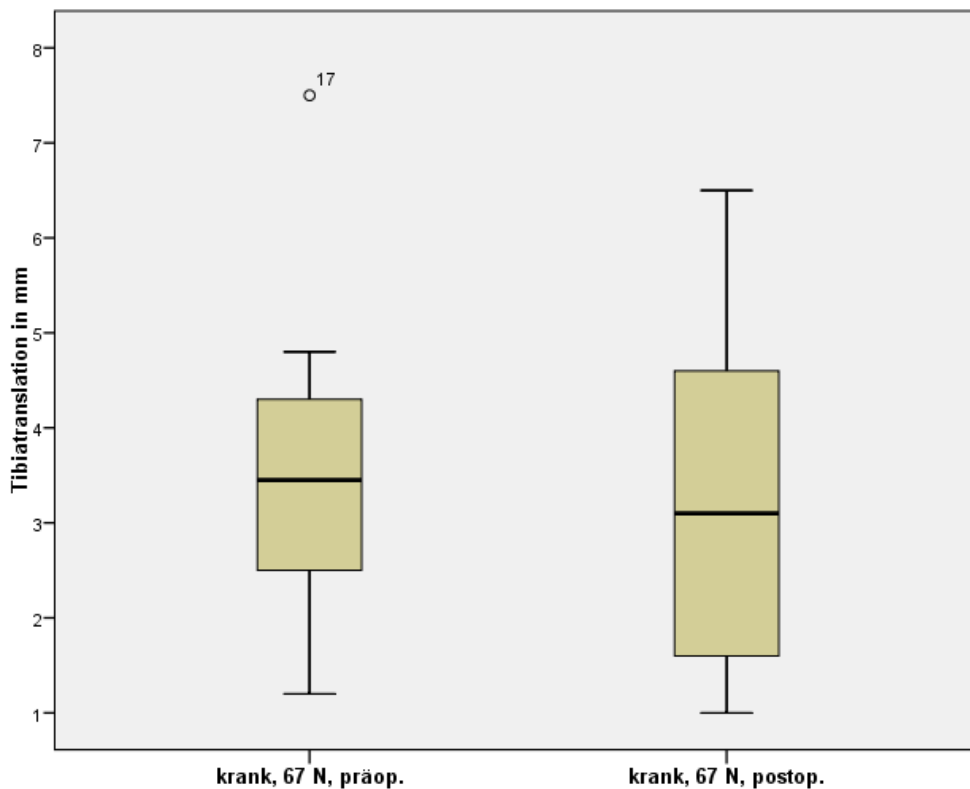


Abbildung 12: Boxplot mit Median, Interquartilsabstand, Antennen und Ausreißer der statischen Translationsmessung in mm am kranken Kniegelenk der 18 Patienten des BWK Ulm bei 67 N 1-3 Tage vor und 6-20 Wochen nach arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion (2013-2014); mm = Millimeter, N = Newton, präop. = präoperativ, postop. = postoperativ.

Der Wilcoxon-Test zeigte beim Vergleich der Mittelwerte prä- und postoperativ bei 67 N bei der Untersuchung am kranken Kniegelenk mit einer Signifikanz von 0,18 keinen signifikanten Unterschied in der statischen Tibiattranslation vor und nach Operation.

3.2.2 Krankes Kniegelenk bei 89 NEWTON

Am kranken Kniegelenk betrug der Mittelwert bei 89 N präoperativ 4,62 mm \pm 1,87 mm, der Median 4,35 mm und die Spannweite 1,60 mm bis 9,60 mm. Der Mittelwert am kranken Kniegelenk lag postoperativ bei 4,22 mm \pm 1,88 mm, der Median bei 3,90 mm und die Spannweite bei 1,50 mm bis 7,50 mm (siehe Abb. 11 und 13). Hier wurde postoperativ ein kleinerer Mittelwert gemessen als präoperativ.

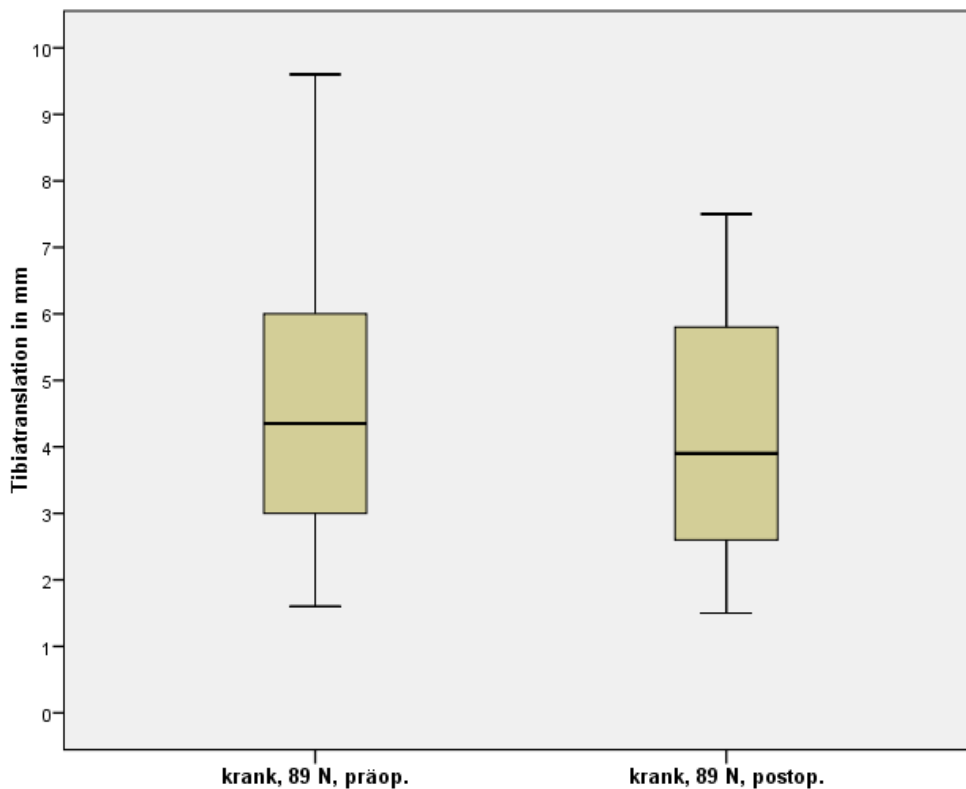


Abbildung 13: Boxplot mit Median, Interquartilsabstand und Antennen der statischen Translationsmessung in mm am kranken Kniegelenk der 18 Patienten des BWK Ulm bei 89 N 1-3 Tage vor und 6-20 Wochen nach arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion (2013-2014); mm = Millimeter, N = Newton, präop. = präoperativ, postop. = postoperativ.

Beim Vergleich der Mittelwerte prä- und postoperativ zeigte sich im Wilcoxon-Test bei 89 N bei der Untersuchung am kranken Kniegelenk mit einer Signifikanz von 0,13 kein signifikanter Unterschied in der Translation der Tibia vor und nach Operation.

3.2.3 Krankes Kniegelenk bei 110 NEWTON

Der Mittelwert am kranken Kniegelenk betrug präoperativ bei 110 N $6,07 \text{ mm} \pm 2,08 \text{ mm}$, der Median $5,60 \text{ mm}$ und die Spannweite ging von $2,60 \text{ mm}$ bis $11,30 \text{ mm}$. Im Vergleich betrug der Mittelwert postoperativ am kranken Kniegelenk $5,20 \text{ mm} \pm 2,07 \text{ mm}$, der Median $4,45 \text{ mm}$ und die Spannweite $2,00 \text{ mm}$ bis $9,20 \text{ mm}$ (siehe Abb. 11 und 14). Es war der präoperativ errechnete Mittelwert größer als der postoperative Mittelwert.

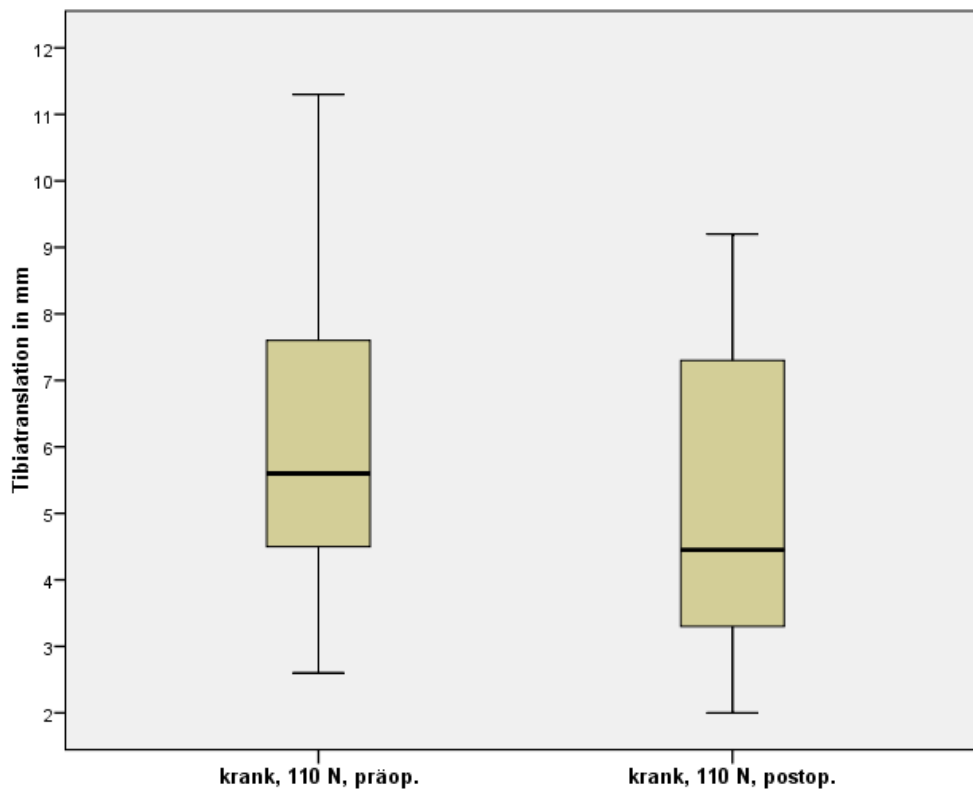


Abbildung 14: Boxplot mit Median, Interquartilsabstand und Antennen der statischen Translationsmessung in mm am kranken Kniegelenk der 18 Patienten des BWK Ulm bei 110 N 1-3 Tage vor und 6-20 Wochen nach arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion (2013-2014); mm = Millimeter, N = Newton, präop. = präoperativ, postop. = postoperativ.

Der Wilcoxon-Test zeigte bei der Untersuchung am kranken Kniegelenk beim Vergleich der Mittelwerte prä- und postoperativ bei 110 N mit einer Signifikanz von 0,03 einen Trend, der eine verringerte Tibialtranslation postoperativ im Vergleich zum präoperativen Mittelwert andeutete.

3.2.4 Krankes Kniegelenk bei MAXIMALER ZUGKRAFT

Der Mittelwert am kranken Kniegelenk betrug bei maximaler Zugkraft präoperativ 6,95 mm \pm 2,06 mm, der Median von 6,45 mm und die Spannweite ging von 3,50 mm bis 12,00 mm. Postoperativ betrug der Mittelwert am kranken Kniegelenk 6,07 mm \pm 2,32 mm, der Median 5,40 mm und die Spannweite reichte von 2,50 mm bis 10,50 mm (siehe Abb. 11 und 15). Postoperativ war der Mittelwert kleiner als präoperativ.

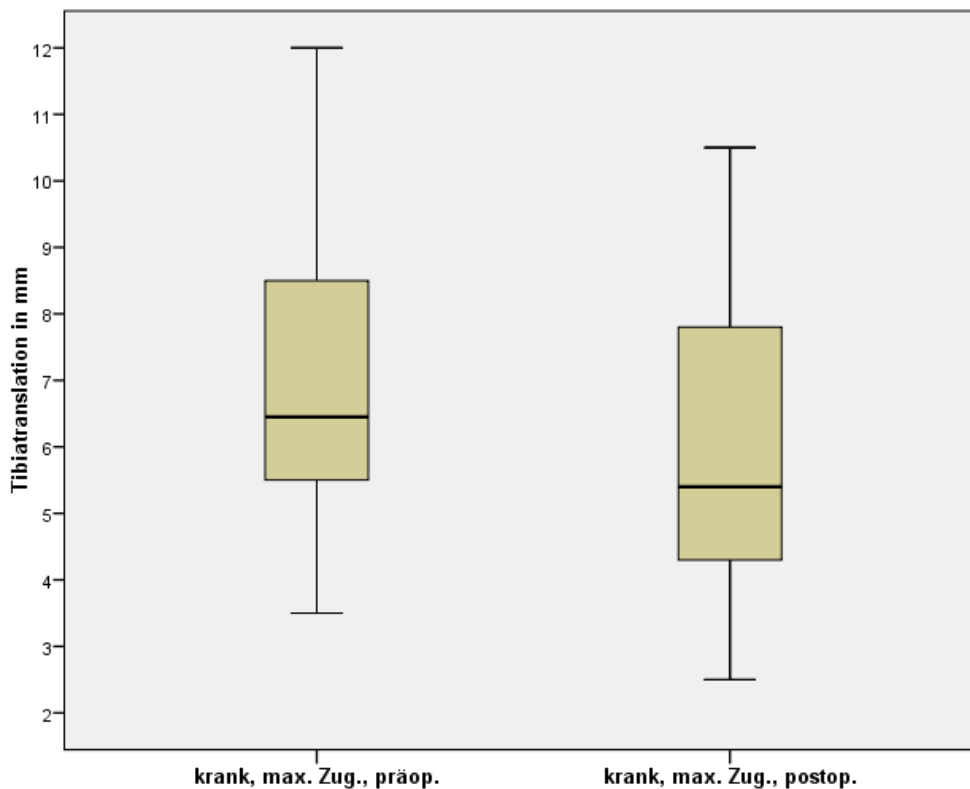


Abbildung 15: Boxplot mit Median, Interquartilsabstand und Antennen der statischen Translationsmessung in mm am kranken Kniegelenk der 18 Patienten des BWK Ulm bei maximaler Zugkraft 1-3 Tage vor und 6-20 Wochen nach arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion (2013-2014); mm = Millimeter, max. Zug. = maximale Zugkraft, präop. = präoperativ, postop. = postoperativ.

Bei maximaler Zugkraft zeigte sich im Wilcoxon-Test beim Vergleich der Mittelwerte prä- und postoperativ bei der Untersuchung am kranken Kniegelenk mit einer Signifikanz von 0,02 ein signifikanter Unterschied in der Tibiattranslation, die vor Operation größer war als nach Operation.

3.2.5 Gesundes Kniegelenk bei 67 NEWTON

Der Mittelwert am gesunden Kniegelenk bei 67 N betrug präoperativ $2,79 \text{ mm} \pm 2,10 \text{ mm}$, der Median $2,25 \text{ mm}$ und die Spannweite ging von $1,00 \text{ mm}$ bis $9,60 \text{ mm}$. Verglichen wurde mit dem Mittelwert am gesunden Kniegelenk postoperativ von $2,71 \text{ mm} \pm 1,88 \text{ mm}$, der Median betrug $2,10 \text{ mm}$ und die Spannweite $0,80 \text{ mm}$ bis $8,20 \text{ mm}$ (siehe Abb. 11 und 16). Hier war der postoperative Mittelwert minimal kleiner.

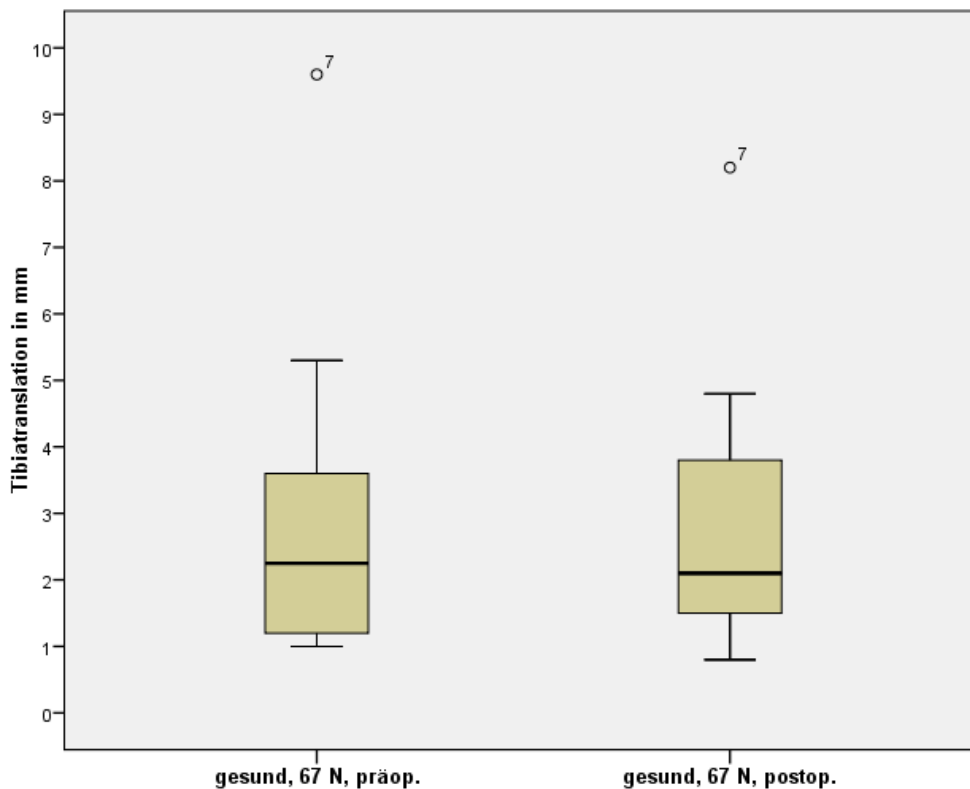


Abbildung 16: Boxplot mit Median, Interquartilsabstand, Antennen und Ausreißern der statischen Translationsmessung in mm am gesunden Kniegelenk der 18 Patienten des BWK Ulm bei 67 N 1-3 Tage vor und 6-20 Wochen nach arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion der Gegenseite (2013-2014); mm = Millimeter, N = Newton, präop. = präoperativ, postop. = postoperativ.

Beim Vergleich der Mittelwerte prä- und postoperativ bei 67 N zeigte sich bei der Untersuchung am gesunden Kniegelenk im Wilcoxon-Test mit einer Signifikanz von 0,39 kein signifikanter Unterschied in der Translationsmessung vor und nach Operation.

3.2.6 Gesundes Kniegelenk bei 89 NEWTON

Der Mittelwert am gesunden Kniegelenk bei 89 N präoperativ lag bei $3,66 \text{ mm} \pm 2,25 \text{ mm}$, der Median bei $3,15 \text{ mm}$ und die Spannweite reichte von $1,60 \text{ mm}$ bis $11,00 \text{ mm}$. Verglichen wurde mit dem Mittelwert am gesunden Kniegelenk postoperativ von $3,66 \text{ mm} \pm 2,36 \text{ mm}$, dem Median von $3,00 \text{ mm}$ und der Spannweite von $1,30 \text{ mm}$ bis $10,80 \text{ mm}$ (siehe Abb. 11 und 17). Die Mittelwerte waren prä- und postoperativ gleich, die Messungen unterschieden sich nur gering in der Spannweite.

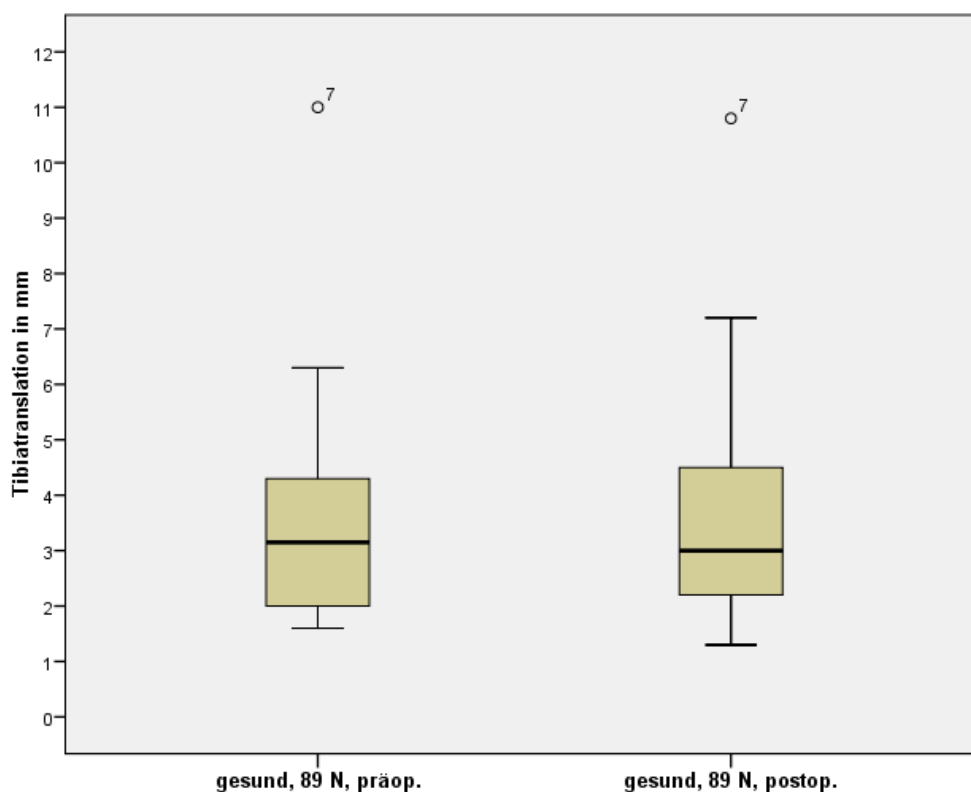


Abbildung 17: Boxplot mit Median, Interquartilsabstand, Antennen und Ausreißern der statischen Translationsmessung in mm am gesunden Kniegelenk der 18 Patienten des BWK Ulm bei 89 N 1-3 Tage vor und 6-20 Wochen nach arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion der Gegenseite (2013-2014); mm = Millimeter, N = Newton, präop. = präoperativ, postop. = postoperativ.

Mit einer Signifikanz von 0,39 zeigte sich im Wilcoxon-Test beim Vergleich der Mittelwerte prä- und postoperativ bei 89 N bei der Untersuchung am gesunden Kniegelenk kein signifikanter Unterschied in der Tibiatranslation vor und nach Operation.

3.2.7 Gesundes Kniegelenk bei 110 NEWTON

Der Mittelwert betrug $4,99 \text{ mm} \pm 2,28 \text{ mm}$ am gesunden Kniegelenk präoperativ bei 110 N, der Median $4,75 \text{ mm}$ und die Spannweite ging von $2,20 \text{ mm}$ bis $12,00 \text{ mm}$. Der postoperative Mittelwert am gesunden Kniegelenk lag bei $4,74 \text{ mm} \pm 2,65 \text{ mm}$, der Median bei $4,10 \text{ mm}$ und die Spannweite bei $2,20 \text{ mm}$ bis $12,80 \text{ mm}$ (siehe Abb. 11 und 18). Postoperativ war der Mittelwert minimal kleiner als präoperativ.

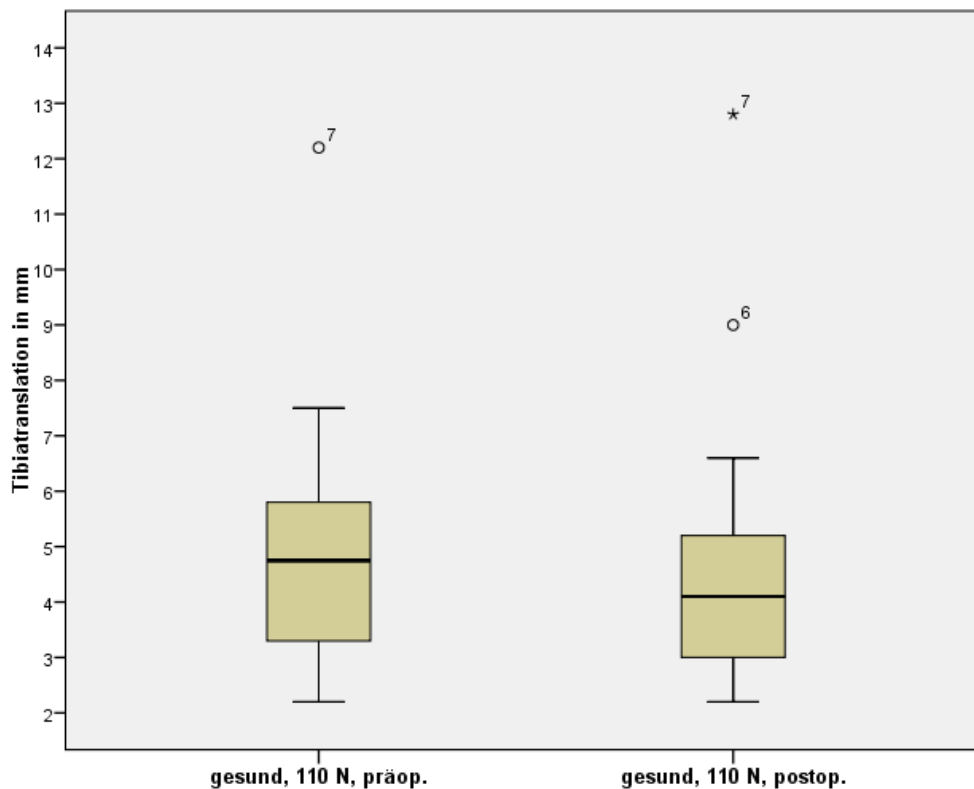


Abbildung 18: Boxplot mit Median, Interquartilsabstand, Antennen, Ausreißern und Extremwert der statischen Translationsmessung in mm am gesunden Kniegelenk der 18 Patienten des BWK Ulm bei 110 N 1-3 Tage vor und 6-20 Wochen nach arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion der Gegenseite (2013-2014); mm = Millimeter, N = Newton, präop. = präoperativ, postop. = postoperativ.

Der Wilcoxon-Test zeigte beim Vergleich der Mittelwerte prä- und postoperativ bei 110 N bei der Untersuchung am gesunden Kniegelenk mit einer Signifikanz von 0,11 keinen signifikanten Unterschied in der statischen Translationsmessung vor und nach Operation.

3.2.8 Gesundes Kniegelenk bei MAXIMALER ZUGKRAFT

Bei maximaler Zugkraft am gesunden Kniegelenk betrug der Mittelwert präoperativ 6,02 mm \pm 2,30 mm, der Median 5,75 mm und die Spannweite 3,50 mm bis 12,80 mm. Postoperativ war der Mittelwert am gesunden Kniegelenk bei 5,77 mm \pm 2,72 mm, der Median bei 5,35 mm und die Spannweite reichte von 2,80 mm bis 13,80 mm (siehe Abb. 11 und 19). Der postoperative Mittelwert war kleiner als der präoperative Mittelwert.

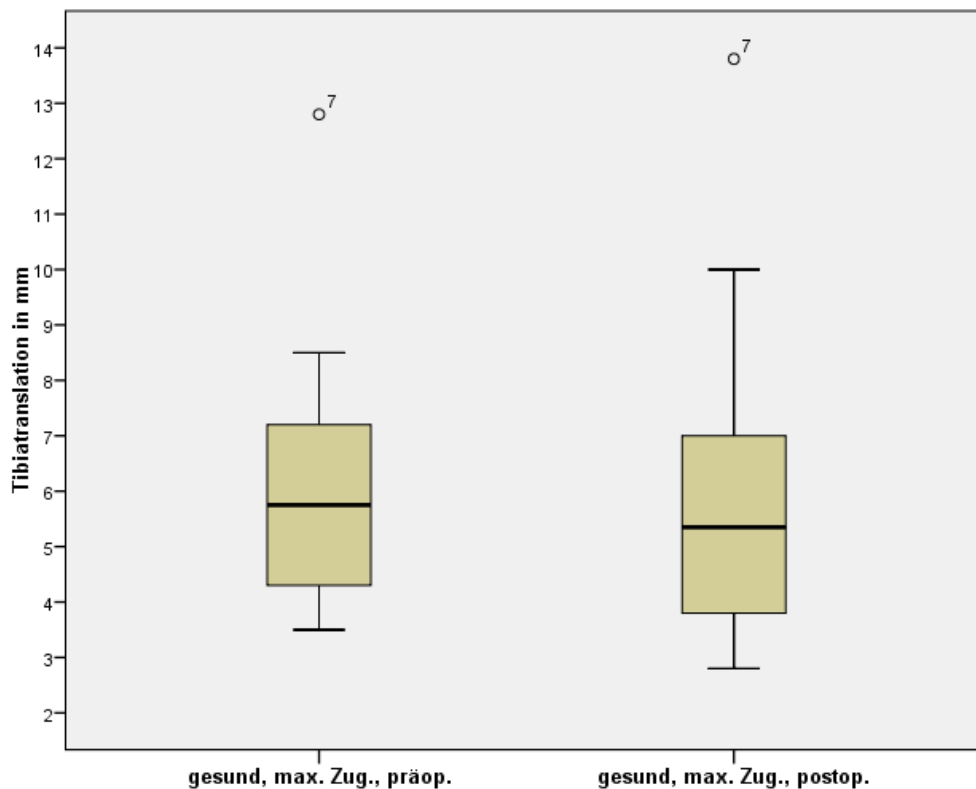


Abbildung 19: Boxplot mit Median, Interquartilsabstand, Antennen und Ausreißern der statischen Translationsmessung in mm am gesunden Kniegelenk der 18 Patienten des BWK Ulm bei maximaler Zugkraft 1-3 Tage vor und 6-20 Wochen nach arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion der Gegenseite (2013-2014); mm = Millimeter, max. Zug. = maximale Zugkraft, präop. = präoperativ, postop. = postoperativ,.

Der Wilcoxon-Test zeigte beim Vergleich der Mittelwerte prä- und postoperativ bei maximaler Zugkraft bei der Untersuchung am gesunden Kniegelenk mit einer Signifikanz von 0,11 keinen signifikanten Unterschied in der Tibiatranslation vor und nach Operation.

3.3 Dynamische Posturographie (Biodex Stability System)

Die dynamische Posturographie mit dem Biodex Stability System wurde vor und nach Operation jeweils am kranken und am gesunden Kniegelenk 3 Mal durchgeführt. Bei einem Patienten konnte hiermit nur präoperativ und bei einem anderen Patienten nur postoperativ untersucht werden.

Vom Gerät wurde ein Mittelwert für den gesamten Stabilitätsindex, den anterior-posterioren Stabilitätsindex und den medial-lateralen Stabilitätsindex angegeben. Die präoperativen Mittelwerte des jeweils selben Kniegelenks bei gleichem Stabilitätsindex wurden dann mit den postoperativen Mittelwerten verglichen und nach der Übersichtsgrafik in den folgenden Kapiteln einzeln dargestellt.

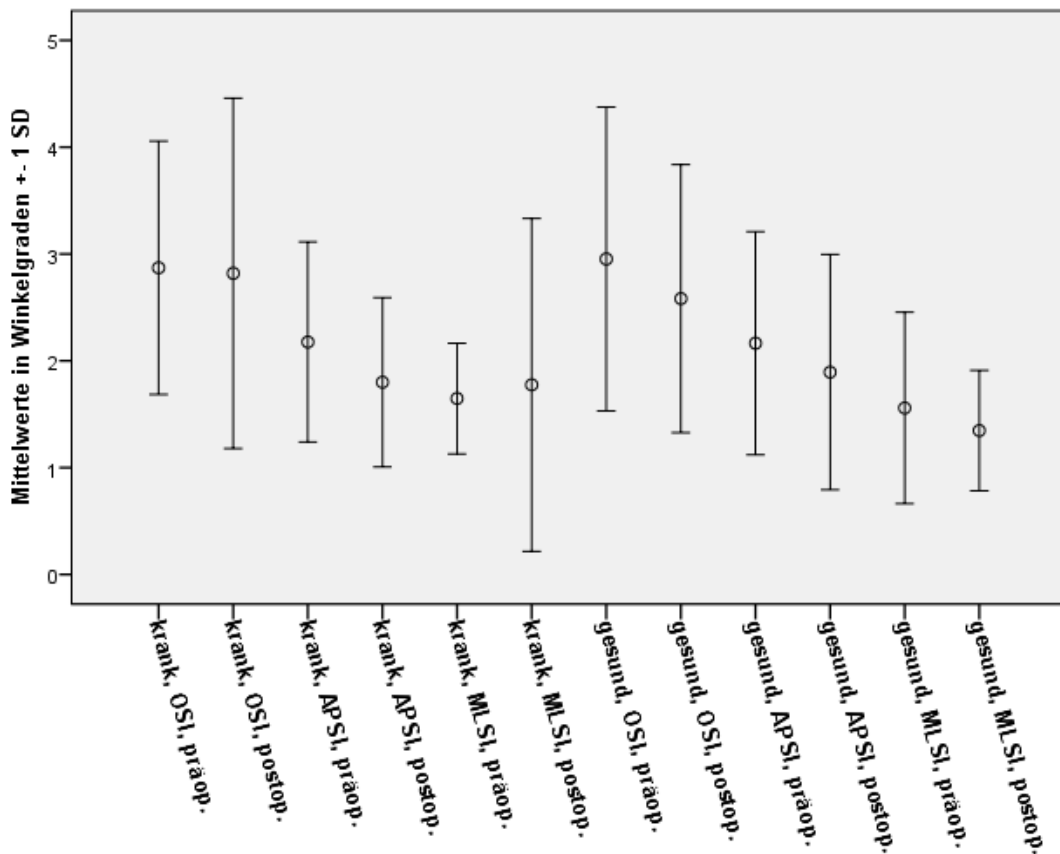


Abbildung 20: Grafische Darstellung der Mittelwerte der dynamischen Posturographie in Winkelgraden mit Standardabweichung als OSI, APSi und MLSi am kranken und am gesunden Kniegelenk der 18 Patienten des BWK Ulm 1-3 Tage vor und 6-20 Wochen nach arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion (2013-2014); SD = Standardabweichung, OSI = overall stability index, gesamter Stabilitätsindex, APSi = anterior-posteriore Stabilitätsindex, MLSi = medial-lateraler Stabilitätsindex, präop. = präoperativ, postop. = postoperativ.

3.3.1 GESAMTER Stabilitätsindex am *kranken* Kniegelenk

Der Mittelwert am kranken Kniegelenk betrug präoperativ $2,87^\circ \pm 1,19^\circ$, der Median $2,80^\circ$ und die Spannweite reichte von $0,30^\circ$ bis $5,60^\circ$. Postoperativ betrug der Mittelwert am kranken Kniegelenk $2,82^\circ \pm 1,64^\circ$, der Median $2,45^\circ$ und die Spannweite $0,90^\circ$ bis $8,00^\circ$ (siehe Abb. 20 und 21). Die Mittelwerte waren prä- und postoperativ nahezu gleich.

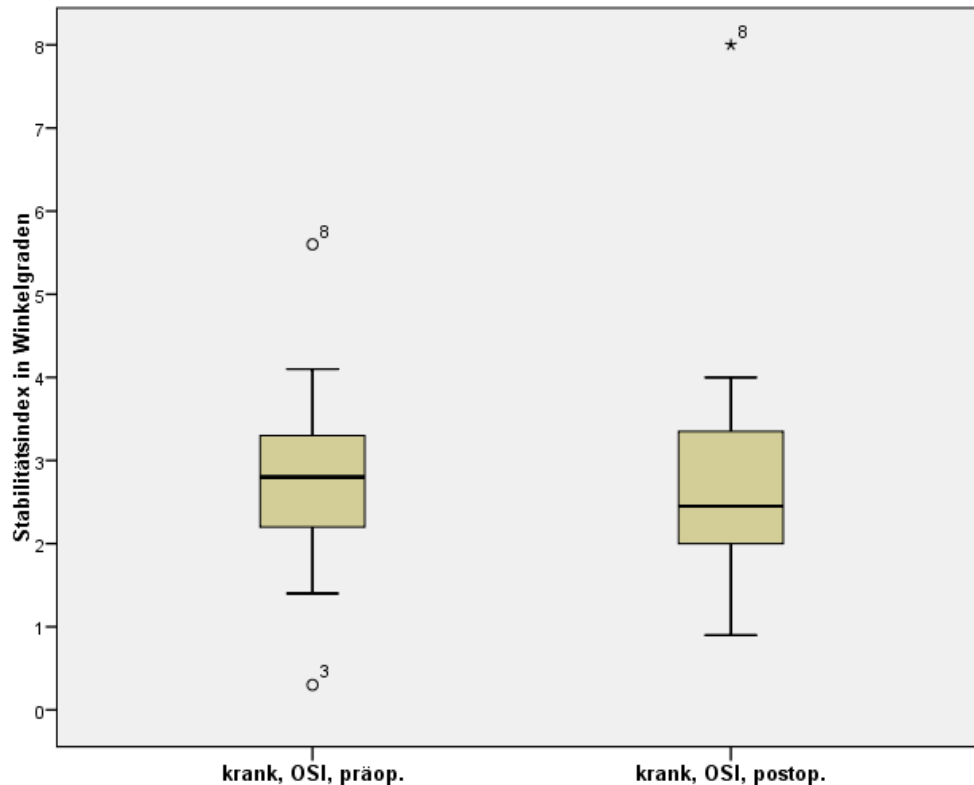


Abbildung 21: Boxplot mit Median, Interquartilsabstand, Antennen, Ausreißern und Extremwert des OSI der dynamischen Posturographie in Winkelgraden am kranken Kniegelenk der 18 Patienten des BWK Ulm 1-3 Tage vor und 6-20 Wochen nach arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion (2013-2014); OSI = overall stability index, gesamter Stabilitätsindex, präop. = präoperativ, postop. = postoperativ.

Der Vergleich der beiden Mittelwerte des OSI mittels Wilcoxon-Test prä- und postoperativ zeigte bei der Untersuchung am kranken Kniegelenk mit einer Signifikanz von 0,40 keinen signifikanten Unterschied im Stabilitätsindex vor und nach Operation.

3.3.2 ANTERIOR-POSTERIORER Stabilitätsindex am *kranken* Kniegelenk

Der Mittelwert am kranken Kniegelenk war präoperativ bei $2,18^\circ \pm 0,94^\circ$, der Median bei $2,10^\circ$ und die Spannweite bei $0,60^\circ$ bis $4,60^\circ$. Postoperativ lag der Mittelwert am kranken Kniegelenk bei $1,80^\circ \pm 0,79^\circ$, der Median bei $1,80^\circ$ und die Spannweite ging von $0,70^\circ$ bis $3,40^\circ$ (siehe Abb. 20 und 22). Es wurde postoperativ ein kleinerer Mittelwert gemessen als präoperativ.

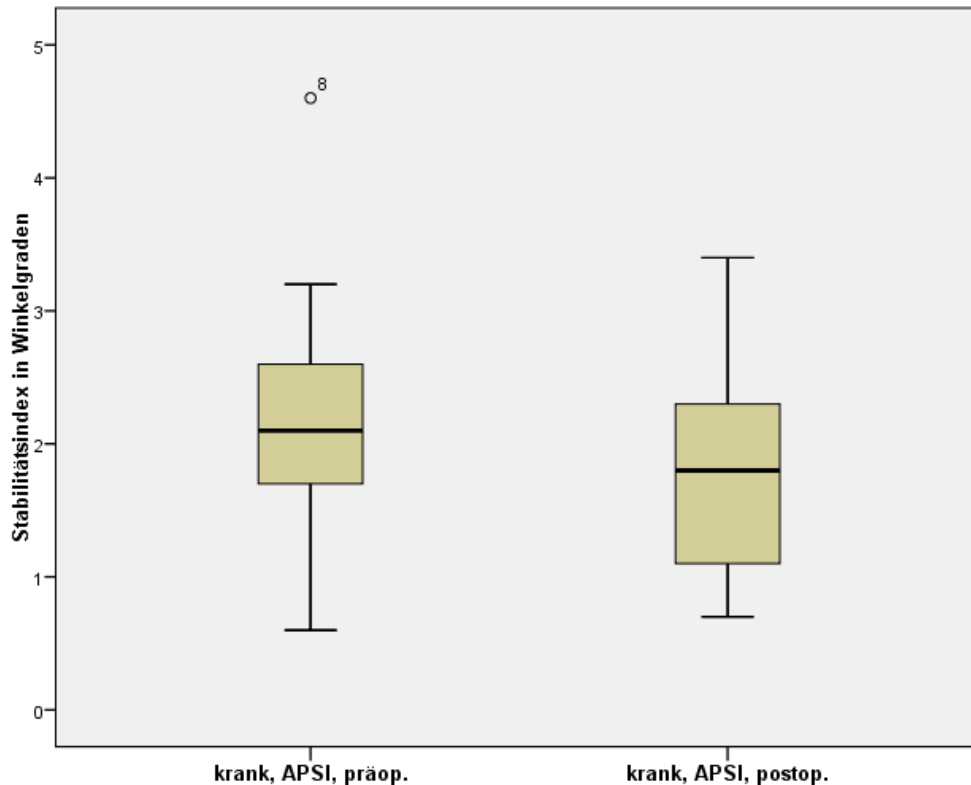


Abbildung 22: Boxplot mit Median, Interquartilsabstand, Antennen und Ausreißer des APSI der dynamischen Posturographie in Winkelgraden am kranken Kniegelenk der 18 Patienten des BWK Ulm 1-3 Tage vor und 6-20 Wochen nach arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion (2013-2014); APSI = anterior-posteriorer Stabilitätsindex, präop. = präoperativ, postop. = postoperativ

Im Wilcoxon-Test zeigte sich beim Vergleich der Mittelwerte beim APSI prä- und postoperativ bei der Untersuchung am kranken Kniegelenk mit einer Signifikanz von 0,16 kein signifikanter Unterschied des Stabilitätsindex vor und nach Operation.

3.3.3 MEDIAL-LATERALER Stabilitätsindex am *kranken* Kniegelenk

Präoperativ betrug der Mittelwert am kranken Kniegelenk $1,65^\circ \pm 0,52^\circ$, der Median $1,70^\circ$ und die Spannweite reichte von $0,80^\circ$ bis $2,70^\circ$. Verglichen wurde mit dem postoperativen Mittelwert am kranken Kniegelenk von $1,87^\circ \pm 1,56^\circ$, der Median lag postoperativ bei $1,50^\circ$ und die Spannweite bei $0,40^\circ$ bis $7,20^\circ$ (siehe Abb. 20 und 23). Beim MLSI ergab sich postoperativ ein etwas größerer Mittelwert als präoperativ.

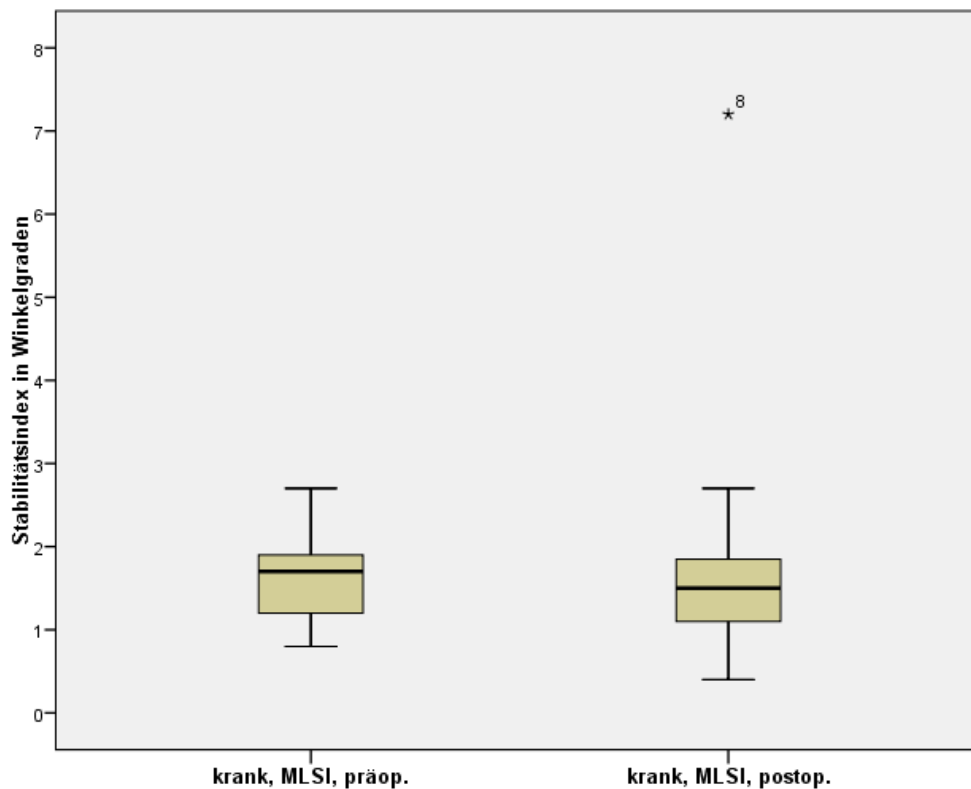


Abbildung 23: Boxplot mit Median, Interquartilsabstand, Antennen und Extremwert des MLSI der dynamischen Posturographie in Winkelgraden am kranken Kniegelenk der 18 Patienten des BWK Ulm 1-3 Tage vor und 6-20 Wochen nach arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion (2013-2014); MLSI = medial-lateraler Stabilitätsindex, präop. = präoperativ, postop. = postoperativ.

Beim Vergleich der Mittelwerte prä- und postoperativ zeigte sich im Wilcoxon-Test bei der Untersuchung am kranken Kniegelenk beim MLSI mit einer Signifikanz von 0,42 kein signifikanter Unterschied vor und nach Operation.

3.3.4 GESAMTER Stabilitätsindex am *gesunden* Kniegelenk

Am gesunden Kniegelenk war der Mittelwert präoperativ bei $2,95^\circ \pm 1,42^\circ$, der Median bei $2,80^\circ$ und die Spannweite ging von $1,30^\circ$ bis $6,70^\circ$. Postoperativ wurde am gesunden Kniegelenk ein Mittelwert von $2,58^\circ \pm 1,26^\circ$, ein Median von $2,20^\circ$ und eine Spannweite von $1,20^\circ$ bis $6,30^\circ$ gemessen (siehe Abb. 20 und 24). Der Mittelwert war postoperativ etwas kleiner als präoperativ.

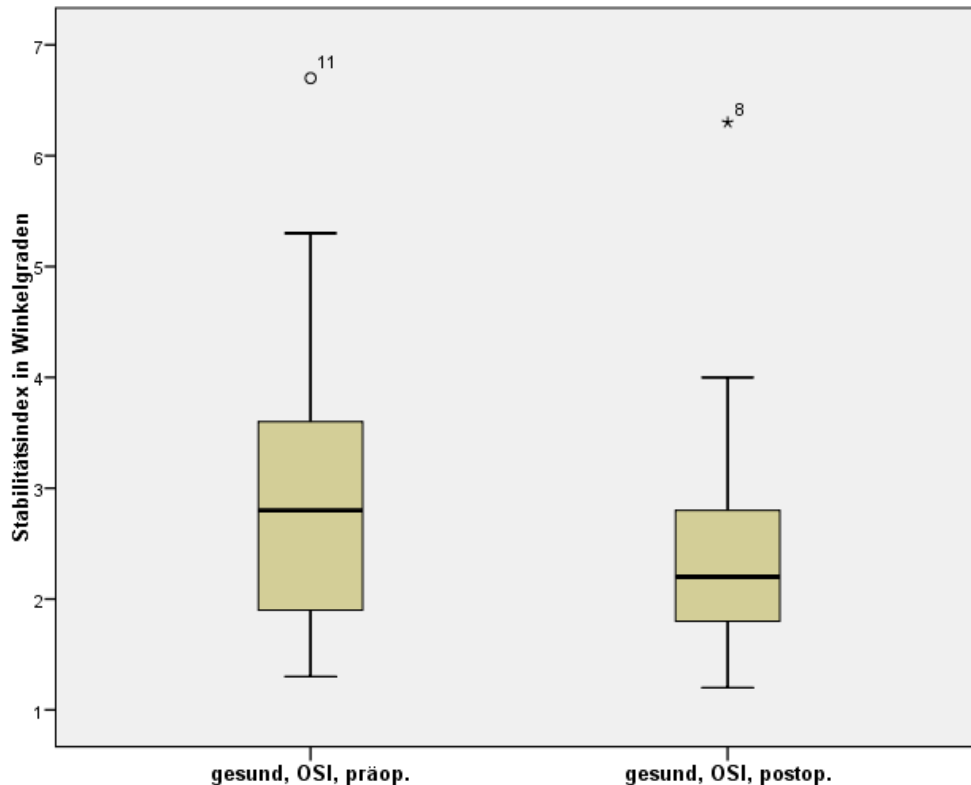


Abbildung 24: Boxplot mit Median, Interquartilsabstand, Antennen, Ausreißer und Extremwert des OSI der dynamischen Posturographie in Winkelgraden am gesunden Kniegelenk der 18 Patienten des BWK Ulm 1-3 Tage vor und 6-20 Wochen nach arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion der Gegenseite (2013-2014); OSI = overall stability index, gesamter Stabilitätsindex, präop. = präoperativ, postop. = postoperativ.

Der Wilcoxon-Test beschrieb hier beim Vergleich der Mittelwerte prä- und postoperativ bei der Untersuchung am gesunden Kniegelenk beim OSI mit einer Signifikanz von 0,26 keinen signifikanten Unterschied des Stabilitätsindex vor und nach Operation.

3.3.5 ANTERIOR-POSTERIORER Stabilitätsindex am *gesunden* Kniegelenk

Der Mittelwert am gesunden Kniegelenk betrug präoperativ $2,17^\circ \pm 1,05^\circ$, der Median $1,90^\circ$ und die Spannweite $0,50^\circ$ bis $4,20^\circ$. Der Mittelwert des gesunden Kniegelenks postoperativ lag bei $1,89^\circ \pm 1,10^\circ$, der Median bei $1,60^\circ$ und die Spannweite ging von $0,70^\circ$ bis $5,40^\circ$ (siehe Abb. 20 und 25). Bei dieser Untersuchung wurde postoperativ ein etwas kleinerer Mittelwert gemessen.

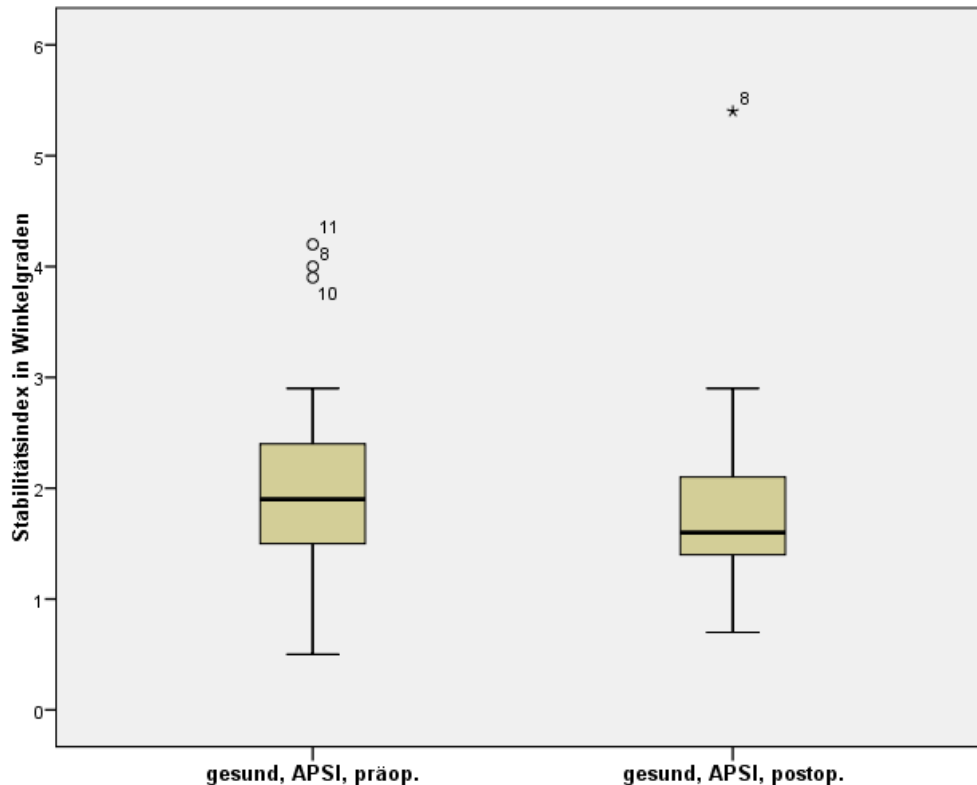


Abbildung 25: Boxplot mit Median, Interquartilsabstand, Antennen, Ausreißern und Extremwert des APSI der dynamischen Posturographie in Winkelgraden am gesunden Kniegelenk der 18 Patienten des BWK Ulm 1-3 Tage vor und 6-20 Wochen nach arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion der Gegenseite (2013-2014); APSI = anterior- posteriorer Stabilitätsindex, präop. = präoperativ, postop. = postoperativ.

Beim Vergleich der Mittelwerte prä- und postoperativ zeigte sich mit dem Wilcoxon-Test bei der Untersuchung am gesunden Kniegelenk beim APSI mit einer Signifikanz von 0,28 kein signifikanter Unterschied vor und nach Operation.

3.3.6 MEDIAL-LATERALER Stabilitätsindex am *gesunden* Kniegelenk

Der Mittelwert am gesunden Kniegelenk war präoperativ bei $1,56^\circ \pm 0,90^\circ$, der Median bei $1,30^\circ$ und die Spannweite ging von $0,60^\circ$ bis $4,20^\circ$. Postoperativ ergab sich am gesunden Kniegelenk ein Mittelwert von $1,35^\circ \pm 0,56^\circ$, ein Median von $1,10^\circ$ und eine Spannweite von $0,60^\circ$ bis $2,50^\circ$ (siehe Abb. 20 und 26). Ein etwas kleinerer Mittelwert wurde hier postoperativ ermittelt.

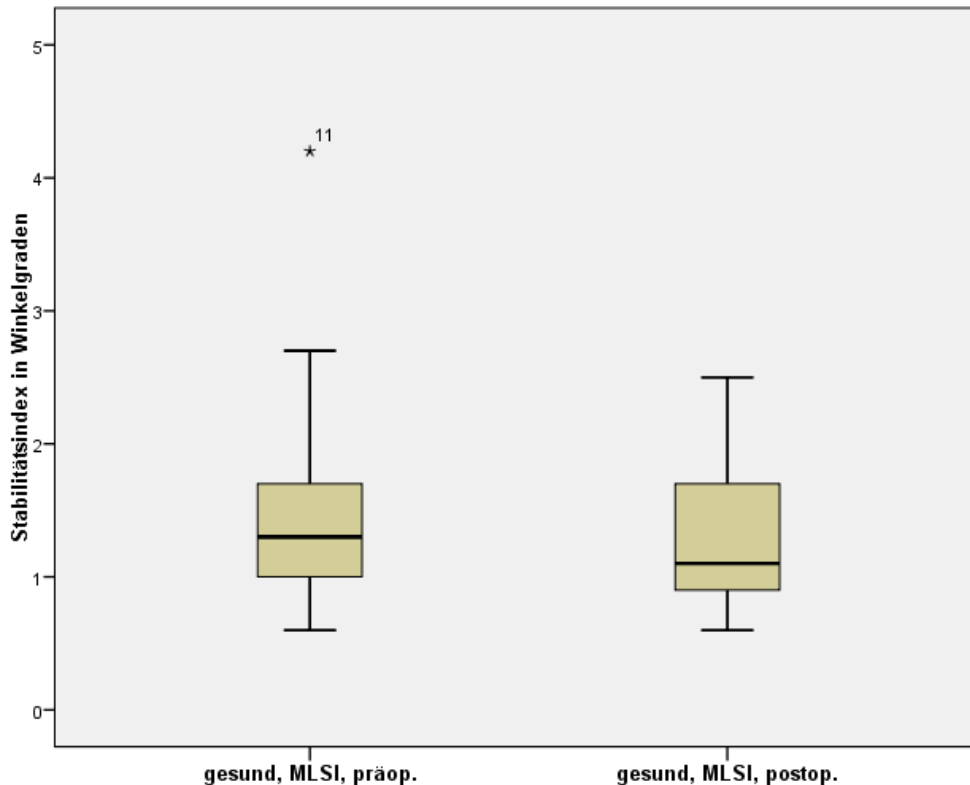


Abbildung 26: Boxplot mit Median, Interquartilsabstand, Antennen und Extremwert des MLSI der dynamischen Posturographie in Winkelgraden am gesunden Kniegelenk der 18 Patienten des BWK Ulm 1-3 Tage vor und 6-20 Wochen nach arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion der Gegenseite (2013-2014); MLSI = medial-lateraler Stabilitätsindex, präop. = präoperativ, postop. = postoperativ.

Der Vergleich der beiden Mittelwerte prä- und postoperativ mittels Wilcoxon-Test zeigte beim MLSI bei der Untersuchung am gesunden Kniegelenk mit einer Signifikanz von 0,32 keinen signifikanten Unterschied des Stabilitätsindex vor und nach Operation.

3.4 Hop-Tests

Der Single-Hop-Test und der Crossover-Hop-Test wurden am kranken und am gesunden Bein vor und nach Operation jeweils 3 Mal durchgeführt, die Sprungweite in m von der Skala auf dem Boden abgelesen und anschließend die Mittelwerte berechnet. Der Hop-Test konnte nur von 5 Patienten komplett und von 5 weiteren Patienten teilweise durchgeführt werden.

Es wurden die präoperativen Mittelwerte mit den postoperativen Mittelwerten des jeweils selben Kniegelenks bei gleichem Hop-Test verglichen und nach der Übersichtsgrafik in den folgenden Kapiteln einzeln dargestellt.

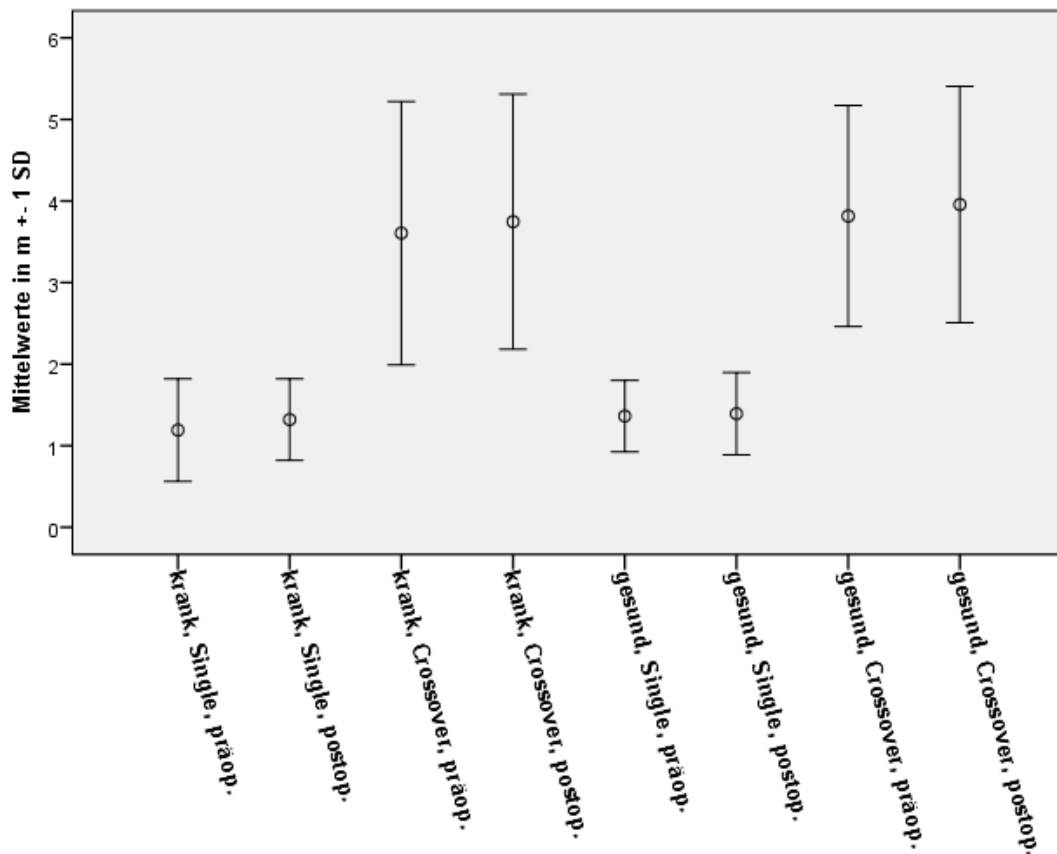


Abbildung 27: Grafische Darstellung der Mittelwerte der Hop-Tests in m mit Standardabweichung als Single-Hop-Test und als Crossover-Hop-Test am kranken und am gesunden Kniegelenk von 10 Patienten des BWK Ulm 1-3 Tage vor und 6-20 Wochen nach arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion (2013-2014); m = Meter, SD = Standardabweichung, präop. = präoperativ, postop. = postoperativ.

3.4.1 SINGLE-Hop-Test am *kranken* Kniegelenk

Der Mittelwert am kranken Kniegelenk lag präoperativ bei 1,19 m \pm 0,63 m, der Median auch bei 1,19 m und die Spannweite ging von 0,44 m bis 2,13 m. Postoperativ betrug der Mittelwert am kranken Kniegelenk 1,32 m \pm 0,50 m, der Median ebenfalls 1,32 m und die Spannweite ging von 0,62 m bis 2,09 m (siehe Abb. 27 und 28). Der postoperative Mittelwert war höher als der präoperativ ermittelte. Postoperativ lag ein geringeres Maximum vor.

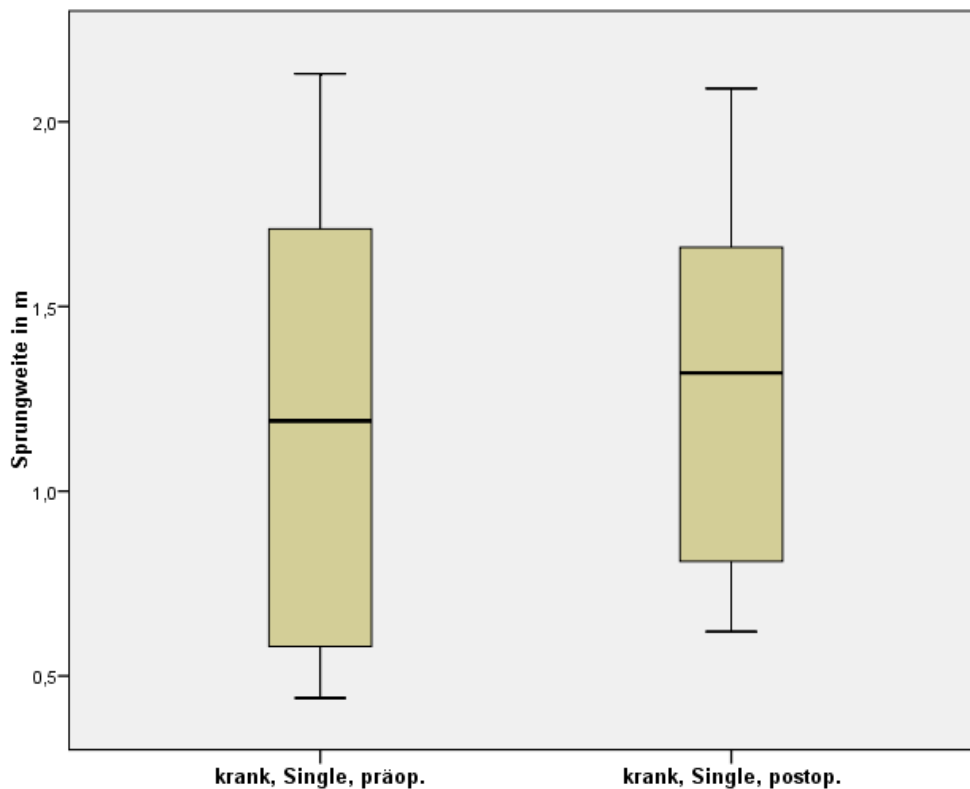


Abbildung 28: Boxplot mit Median, Interquartilsabstand und Antennen des Single-Hop-Tests in m am kranken Kniegelenk von 10 Patienten des BWK Ulm 1-3 Tage vor und 6-20 Wochen nach arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion (2013-2014); m = Meter, präop. = präoperativ, postop. = postoperativ.

Der Wilcoxon-Test zeigte beim Vergleich der Mittelwerte des Single-Hop-Tests prä- und postoperativ bei der Untersuchung am kranken Kniegelenk mit einer Signifikanz von 0,25 keinen signifikanten Unterschied in der Sprungweite vor und nach Operation.

3.4.2 CROSSOVER-Hop-Test am *kranken* Kniegelenk

Am kranken Kniegelenk wurde beim Crossover-Hop-Test präoperativ ein Mittelwert von 3,61 m \pm 1,61 m gemessen, ein Median von 3,02 m und eine Spannweite von 1,94 m bis 5,94 m ermittelt. Postoperativ war der Mittelwert am kranken Kniegelenk mit 3,75 m \pm 1,56 m größer, der Median war bei 3,57 m und die Spannweite reichte von 1,68 m bis 6,13 m (siehe Abb. 27 und 29).

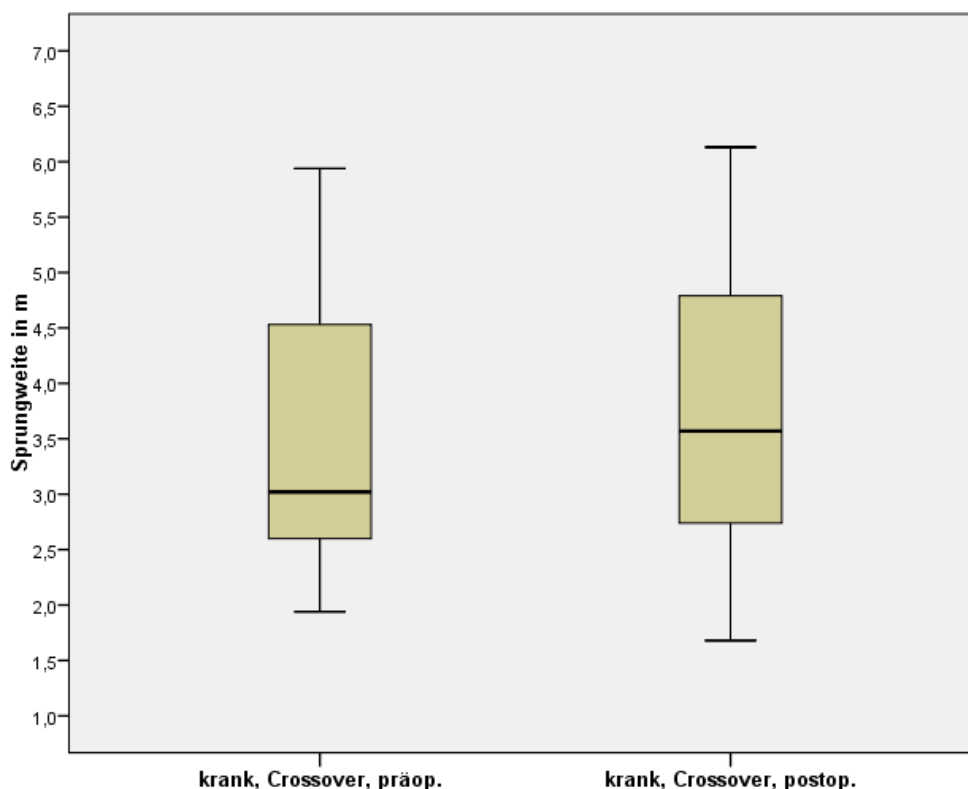


Abbildung 29: Boxplot mit Median, Interquartilsabstand und Antennen des Crossover-Hop-Tests in m am kranken Kniegelenk von 10 Patienten des BWK Ulm 1-3 Tage vor und 6-20 Wochen nach arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion (2013-2014); m = Meter, präop. = präoperativ, postop. = postoperativ.

Beim Vergleich der prä- und postoperativen Mittelwerte des Crossover-Hop-Tests mithilfe des Wilcoxon-Tests zeigte sich bei der Untersuchung am kranken Kniegelenk mit einer Signifikanz von 0,02 ein signifikanter Unterschied in der Sprungweite vor und nach Operation. Es wurde postoperativ eine weitere Strecke beim Crossover-Hop-Test zurückgelegt als präoperativ.

3.4.3 SINGLE-Hop-Test am *gesunden* Kniegelenk

Präoperativ betrug der Mittelwert am gesunden Kniegelenk $1,36 \text{ m} \pm 0,44 \text{ m}$, der Median $1,39 \text{ m}$ und die Spannweite $0,80 \text{ m}$ bis $1,94 \text{ m}$. Verglichen wurde mit dem Mittelwert am gesunden Kniegelenk postoperativ, der bei $1,39 \text{ m} \pm 0,50 \text{ m}$ lag. Der Median betrug postoperativ $1,32 \text{ m}$ und die Spannweite ging von $0,59 \text{ m}$ bis $2,00 \text{ m}$ (siehe Abb. 27 und 30). Der postoperative Mittelwert war größer, auch ein größeres postoperatives Maximum wurde gemessen.

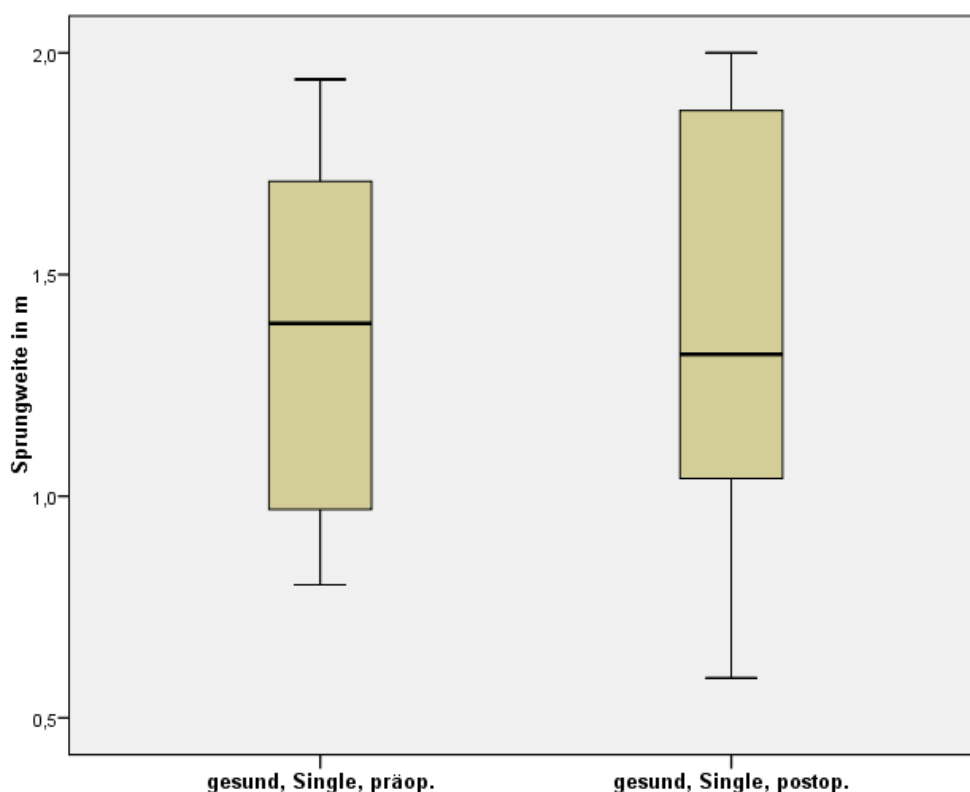


Abbildung 30: Boxplot mit Median, Interquartilsabstand und Antennen des Single-Hop-Tests in m am gesunden Kniegelenk von 10 Patienten des BWK Ulm 1-3 Tage vor und 6-20 Wochen nach arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion der Gegenseite (2013-2014); m = Meter, präop. = präoperativ, postop. = postoperativ.

Mittels Wilcoxon-Test wurde beim Vergleich der Mittelwerte des Single-Hop-Tests prä- und postoperativ bei der Untersuchung am gesunden Kniegelenk mit einer Signifikanz von 0,22 kein signifikanter Unterschied der Sprungweite vor und nach Operation beschrieben.

3.4.4 CROSSOVER-Hop-Test am *gesunden* Kniegelenk

Am gesunden Kniegelenk lag der Mittelwert präoperativ bei 3,82 m \pm 1,35 m, der Median bei 3,58 m und die Spannweite ging von 2,31 m bis 5,46 m. Postoperativ wurde ein Mittelwert am gesunden Kniegelenk von 3,96 m \pm 1,45 m gemessen, der Median war bei 3,90 m und die Spannweite ging von 2,00 m bis 6,08 m (siehe Abb. 27 und 31). Auch am gesunden Kniegelenk wurde postoperativ ein größerer Mittelwert und ein größeres Maximum ermittelt.

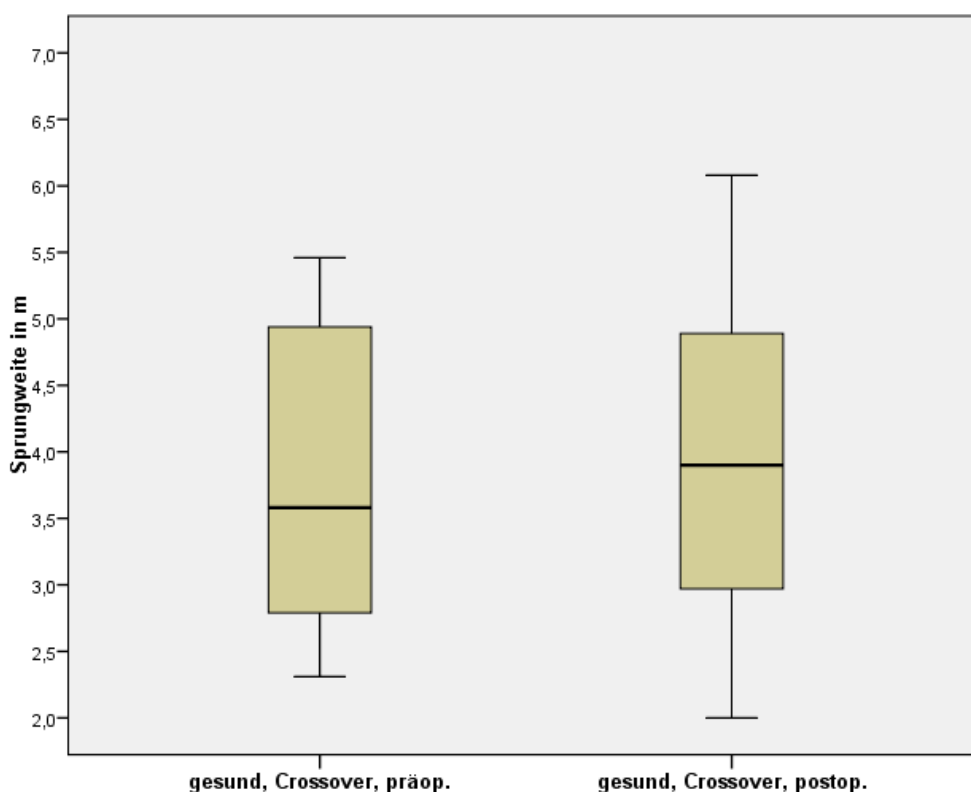


Abbildung 31: Boxplot mit Median, Interquartilsabstand und Antennen des Crossover-Hop-Tests in m am gesunden Kniegelenk von 10 Patienten des BWK Ulm 1-3 Tage vor und 6-20 Wochen nach arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion der Gegenseite (2013-2014); m = Meter, präop. = präoperativ, postop. = postoperativ.

Beim Vergleich der Mittelwerte prä- und postoperativ zeigte sich durch den Wilcoxon-Test beim Crossover-Hop-Test bei der Untersuchung am gesunden Kniegelenk mit einer Signifikanz von 0,04 ein Trend zum Unterschied vor und nach Operation, der eine postoperativ weiter zurückgelegte Sprungweite zeigte.

3.5 Numerische Ratingskala

Tabelle 1: Deskriptive Statistik der numerischen Ratingskala vor und nach den Untersuchungen mit der dynamischen Translationsmessung, der statischen Translationsmessung, der dynamischen Posturographie und den Hop-Tests am kranken und gesunden Kniegelenk der 18 Patienten des BWK Ulm 1-3 Tage vor und 6-20 Wochen nach arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion (2013-2014); MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung, MIN = Minimum, MAX = Maximum, MED = Median, präop. = präoperativ, postop. = postoperativ.

	vor Untersuchung präop.	nach Untersuchung präop.	vor Untersuchung postop.	nach Untersuchung postop.
MW	2,19	3,00	0,75	0,94
SD	2,77	2,89	1,40	1,48
MIN	0,00	0,00	0,00	0,00
MAX	9,00	9,00	5,00	5,00
MED	1,50	2,75	0,00	0,00

In Tab. 1 sind die Ergebnisse der Abfrage der NRS vor und nach der prä- und postoperativen Untersuchung mit der dynamischen und statischen Translationsmessung, der dynamischen Posturographie und den Hop-Tests aufgezeigt. Prä- und postoperativ wurde die NRS vor und nach Beendigung aller 4 Untersuchungsmethoden erfragt. Von den Patienten wurde ein Wert zwischen 0 und 10 genannt.

Es ist zu sehen, dass die Schmerzen bei den Untersuchungen vor der Operation, also mit bestehender Innenmeniskusläsion, insgesamt stärker waren als bei den Untersuchungen nach arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion. Vor der prä- und postoperativen Untersuchung waren die Schmerzen jeweils geringer als nach den 4 Untersuchungen mit der dynamischen und statischen Translationsmessung, der dynamischen Posturographie und den Hop-Tests. Das deutete darauf hin, dass sowohl im Kniegelenk mit Innenmeniskusläsion, als auch im Kniegelenk nach Innenmeniskusteilresektion die Schmerzen nach Beanspruchung des Kniegelenks etwas größer waren als ohne Beanspruchung.

3.6 Übersicht aller Signifikanzen

3.6.1 Dynamische Translationsmessung (Hamstring-Reflexapparatur)

Tabelle 2: Übersicht der Signifikanzen der dynamischen Translationsmessung unter Teil- und Vollbelastung am kranken und am gesunden Kniegelenk der 18 Patienten des BWK Ulm 1-3 Tage vor und 6-20 Wochen nach arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion (2013-2014); präop. = präoperativ, postop. = postoperativ.

	krank Teilbelastung präop. -	krank Vollbelastung präop. -	gesund Teilbelastung präop. -	gesund Vollbelastung präop. -
	krank Teilbelastung postop.	krank Vollbelastung postop.	gesund Teilbelastung postop.	gesund Vollbelastung postop.
Signifikanz	0,12	0,24	0,16	0,12

Bei der dynamischen Translationsmessung konnten keine signifikanten Unterschiede in der Tibiatranslation prä- und postoperativ im kranken oder gesunden Kniegelenk gefunden werden.

Am kranken Kniegelenk wurden postoperativ größere Mittelwerte der Tibiatranslation als präoperativ gemessen, beim gesunden Kniegelenk wurden postoperativ kleinere Mittelwerte als präoperativ beobachtet. Die Tendenzen verliefen also beim kranken und gesunden Kniegelenk gegenläufig.

ERGEBNISSE

3.6.2 Statische Translationsmessung (KT-1000 Arthrometer)

Tabelle 3: Übersicht der Signifikanzen der statischen Translationsmessung bei 67 N, 89 N, 110 N und maximaler Zugkraft am kranken und am gesunden Kniegelenk der 18 Patienten des BWK Ulm 1-3 Tage vor und 6-20 Wochen nach arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion (2013-2014); N = Newton, max. Zug. = maximale Zugkraft, präop. = präoperativ, postop. = postoperativ.

	krank 67 N präop.	krank 89 N präop.	krank 110 N präop.	krank max. Zug. präop.	gesund 67 N präop.	gesund 89 N präop.	gesund 110 N präop.	gesund max. Zug. präop.
	-	-	-	-	-	-	-	-
	krank 67 N postop.	krank 89 N postop.	krank 110 N postop.	krank max. Zug. postop.	gesund 67 N postop.	gesund 89 N postop.	gesund 110 N postop.	gesund max. Zug. postop.
Signifikanz	0,18	0,13	0,03	0,02	0,39	0,39	0,11	0,11

Statisch gemessen ergab sich für die Tibiatranslation im kranken Kniegelenk bei 110 N ein Trend und bei maximaler Zugkraft ein signifikanter Unterschied, der eine signifikant kleinere Tibiatranslation postoperativ im Vergleich zu präoperativ zeigte. Auch bei 67 N und 89 N waren postoperativ im kranken Kniegelenk kleinere Mittelwerte der Tibiatranslation zu messen, die zwar nicht signifikant waren, aber ebenfalls in Richtung kleinere Tibiatranslation postoperativ tendierten. Im gesunden Kniegelenk wurden keine signifikanten Unterschiede gefunden. Bei 67 N war der Mittelwert prä- und postoperativ nahezu gleich, bei 89 N war der Mittelwert identisch.

Es konnte eine allgemeine Tendenz beider Kniegelenke zu kleineren postoperativen Mittelwerten beobachtet werden, die eine kleinere Tibiatranslation postoperativ zeigten.

3.6.3 Dynamische Posturographie (Biodex Stability System)

Tabelle 4: Übersicht der Signifikanzen der dynamischen Posturographie als OSI, APSI und MLSI am kranken und am gesunden Kniegelenk der 18 Patienten des BWK Ulm 1-3 Tage vor und 6-20 Wochen nach arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion (2013-2014); OSI = overall stability index, gesamter Stabilitätsindex, APSI = anterior-posteriorer Stabilitätsindex, MLSI = medial-lateraler Stabilitätsindex, präop. = präoperativ, postop. = postoperativ.

	krank OSI präop.	krank APSI präop.	krank MLSI präop.	gesund OSI präop.	gesund APSI präop.	gesund MLSI präop.
	-	-	-	-	-	-
	krank OSI postop.	krank APSI postop.	krank MLSI postop.	gesund OSI postop.	gesund APSI postop.	gesund MLSI postop.
Signifikanz	0,40	0,16	0,42	0,26	0,28	0,32

Bei der dynamischen Posturographie wurden beim Vergleich der Mittelwerte sowohl beim kranken als auch beim gesunden Kniegelenk keine signifikanten Unterschiede der Stabilitätsindizes prä- und postoperativ gefunden.

Beim kranken Kniegelenk wurden postoperativ nahezu gleiche Mittelwerte des OSI und kleinere Mittelwerte des APSI gemessen im Vergleich zu präoperativ, die Mittelwerte des MLSI waren postoperativ größer als präoperativ.

Es zeigten sich beim gesunden Kniegelenk postoperativ sowohl beim OSI, als auch beim APSI und MLSI kleinere Mittelwerte postoperativ verglichen mit den Mittelwerten präoperativ.

Man konnte bei allen 6 durchgeführten Vergleichen bis auf den MLSI beim kranken Kniegelenk eine Tendenz zu kleineren Mittelwerten postoperativ sehen.

3.6.4 Hop-Tests

Tabelle 5: Übersicht der Signifikanzen der Hop-Tests als Single-Hop-Test und als Crossover-Hop-Test am kranken und am gesunden Kniegelenk von 10 Patienten des BWK Ulm 1-3 Tage vor und 6-20 Wochen nach arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion (2013-2014); präop. = präoperativ, postop. = postoperativ.

	krank Single präop.	krank Crossover präop.	gesund Single präop.	gesund Crossover präop.
	-	-	-	-
	krank Single postop.	krank Crossover postop.	gesund Single postop.	gesund Crossover postop.
Signifikanz	0,25	0,02	0,22	0,04

Bei den Hop-Tests zeigte sich beim Crossover-Hop-Test mit dem kranken Kniegelenk eine signifikant größere Sprungweite postoperativ.

Am gesunden Kniegelenk war beim Crossover-Hop-Test ein Trend zu beobachten, der in Richtung größerer Sprungweite postoperativ verglichen mit der präoperativen Distanz ging.

Beim Single-Hop-Test zeigten sich weder beim kranken Kniegelenk, noch beim gesunden Kniegelenk signifikante Unterschiede in der prä- und postoperativen Sprungweite.

Insgesamt waren größere Mittelwerte und somit eine größere Sprungweite postoperativ bei allen 4 Vergleichen zu beobachten. Es konnten also postoperativ jeweils größere Distanzen erreicht werden.

4. DISKUSSION

Ziel dieser Studie war es zu untersuchen, ob der Innenmeniskus eine Stabilisatorfunktion für die Tibiatranslation nach ventral bei intaktem vorderem Kreuzband in vivo unter funktionellen Aspekten hat. Wir konnten in unserer Studie nach einer Innenmeniskusteilresektion keine signifikanten Unterschiede nachweisen, die auf eine vermehrte postoperative Kniegelenksinstabilität hinweisen.

Bei den Untersuchungen im Stehen mittels der dynamischen Translationsmessung (Hamstring-Reflexapparatur) konnten keine signifikanten Unterschiede in der Tibiatranslation gefunden werden, obwohl die Mittelwerte beim kranken Kniegelenk sowohl bei Teilbelastung, als auch bei Vollbelastung postoperativ größer waren, die Mittelwerte am gesunden Kniegelenk hingegen kleinere Werte postoperativ zeigten. Diese Tendenzen verliefen beim kranken und gesunden Kniegelenk gegenläufig.

Bei der statischen Translationsmessung (KT-1000 Arthrometer) im Liegen konnte ein Trend im hohen Newton-Bereich bei 110 N und ein signifikanter Unterschied bei maximaler Zugkraft im kranken Kniegelenk beim Vergleich der Tibiatranslation prä- und postoperativ beobachtet werden, der jedoch eine kleinere Tibiatranslation postoperativ zeigte. Es gab also einen signifikanten Unterschied bei der statischen Translationsmessung zwischen prä- und postoperativ gemessenen Mittelwerten, dieser Unterschied zeigte aber signifikant kleinere Mittelwerte postoperativ. Wir hatten also eine verringerte Tibiatranslation postoperativ im Vergleich zu den präoperativ gemessenen Mittelwerten, was nicht unseren Erwartungen entsprochen hat. Auch am gesunden Kniegelenk blieben die postoperativen Mittelwerte im Vergleich zu den präoperativ erhobenen gleich oder wurden kleiner. Als indirekter Ausdruck der Kniegelenksstabilität wurde mit der dynamischen Posturographie (Biodex Stability System) nicht die Tibiatranslation, sondern die posturale Stabilität gemessen. Es ergaben sich hierbei keine signifikanten Unterschiede zwischen den prä- und postoperativ erhobenen Mittelwerten. Es konnte lediglich eine Tendenz bei allen Vergleichen dieser Untersuchung bis auf

DISKUSSION

den MLSI beim kranken Kniegelenk zu kleineren Mittelwerten postoperativ gesehen werden.

Bei den Hop-Tests ergaben sich bei dem etwas anspruchsvolleren Crossover-Hop-Test signifikante Unterschiede am kranken Kniegelenk und ein Trend beim gesunden Kniegelenk bei der Auswertung der prä- und postoperativ erhobenen Mittelwerte in Richtung größerer Sprungweite postoperativ. Die postoperativ zurückgelegte Strecke beim Crossover-Hop-Test mit dem kranken Kniegelenk war signifikant größer als die präoperativ zurückgelegte, was nicht dafür spricht, dass der Patient postoperativ ein vermehrtes Kniegelenksinstabilitätsgefühl empfand. Beim Single-Hop-Test wurde mit beiden Beinen eine größere Distanz postoperativ gesprungen, die nicht signifikant war.

Wir konnten bei der Literatursuche nur eine Studie von Netravali et al. [19] finden, die die Funktion des Innenmeniskus nach Innenmeniskusteilresektion für die Tibiattranslation nach ventral bei intaktem vorderem Kreuzband in vivo untersucht hat. Verglichen mit unserer Studie wurden die Kniegelenke in der Studie von Netravali et al. [19] aber nur postoperativ in einem sehr großen Untersuchungszeitraum von 3 Monaten bis 27 Jahren postoperativ untersucht. Außerdem wurden nur 10 Patienten untersucht. Bei unserer Studie wurden die Kniegelenke prä- und postoperativ untersucht, der postoperative Untersuchungszeitraum war mit 6-20 Wochen kleiner und unsere Fallzahl mit 18 Patienten größer.

Dadurch war die Vergleichbarkeit von bisherigen Studien mit unserer Studie nur bedingt möglich. Die Untersuchung am lebenden Menschen unterscheidet unsere Studie von den vorhandenen Studien zum Thema der ventralen Stabilisatorfunktion des Innenmeniskus nach Innenmeniskusteilresektion. Die anderen Studien, bei denen die Untersuchung des Einflusses einer Meniskusresektion auf die Kniegelenksinstabilität ein Teil der Studie war, wurden an Leichen durchgeführt.

So die Studie von Wieser et al. [30], in der unter anderem eine totale Meniskusresektion am Knie einer Leiche durchgeführt wurde und das Knie dann

DISKUSSION

auf die anterior-posteriore Tibiatranslation untersucht wurde. Hier konnte nach Meniskektomie eine vergrößerte anterior-posteriore Translation gezeigt werden. Das vordere Kreuzband war in dieser Studie zum Zeitpunkt der Untersuchung der Auswirkung der Meniskektomie noch intakt.

Arno et al. [4] untersuchten an Leichen den Effekt von arthroskopischer medialer Meniskusteilresektionen auf die tibio-femorale Stabilität. Das vordere Kreuzband war bei diesen Untersuchungen intakt. Sie verwendeten für ihre Studie eine Messvorrichtung, in welcher die anterior-posteriore Position und Nachlässigkeit der medialen Femurkondyle gemessen wurde, indem Kräfte von 50 N und 500 N bei maximaler Extension und 15°, 30°, 60° und 90° Flexion angewendet wurden. Es wurde zunächst ein MRT ohne mediale Meniskusresektion durchgeführt. Anschließend wurde arthroskopisch in mehreren Schritten immer mehr vom Innenmeniskus reseziert und die Kniegelenke bei jedem Schritt jeweils mit der Messvorrichtung und dem MRT untersucht. Arno et al. [4] kamen zu dem Ergebnis, dass eine Resektion des Innenmeniskushinterhorns ab 46 % die anterior-posteriore Position der medialen Femurkondyle so verändert, dass es zu einer Veränderung der tibio-femorale Stabilität und somit zu einer vergrößerten Nachlässigkeit im Kniegelenk kommt.

Auch Spang et al. [25] fanden am Kniegelenk von Leichen eine vergrößerte Tibiatranslation durch Meniskusresektion bei intaktem vorderem Kreuzband.

Levy et al. [14] untersuchten an Leichen die Tibiatranslation nach Meniskusresektion bei intaktem vorderem Kreuzband. Hierzu wurde eine Messvorrichtung verwendet, mit der die anterior-posteriore tibio-femorale Verschiebung und die daraus resultierende tibiale Rotation gemessen wurde. Hier zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den gemessenen Werten bei intaktem Meniskus und bei Meniskektomie.

Syam et al. [27] verdeutlichten mit ihrer Studie, dass ein intaktes Innenmeniskushinterhorn für die Stabilität in einem Kniegelenk nach vorderer Kreuzbandrekonstruktion eine wichtige Rolle spielt.

4.1 Dynamische Translationsmessung (Hamstring-Reflexapparatur)

Bei der Untersuchung der dynamischen Translation mit der Hamstring-Reflexapparatur konnten weder am kranken, noch am gesunden Kniegelenk signifikante Unterschiede in der Tibiatranslation prä- und postoperativ gezeigt werden. Dies galt sowohl für die Teilbelastung, bei der beide Kniegelenke jeweils im zweibeinigen Stand untersucht wurden, als auch für die Vollbelastung, bei der krankes und gesundes Kniegelenk im einbeinigen Stand, also unter Vollbelastung, untersucht wurden.

Allerdings konnte beobachtet werden, dass sich sowohl beim kranken Kniegelenk als auch beim gesunden Kniegelenk eine kleinere Tibiatranslation bei Vollbelastung im Vergleich zur Untersuchung mit Teilbelastung ergab. Dies war möglicherweise auf eine stabilisierende Muskelspannung um das Kniegelenk herum bei Vollbelastung zurückzuführen, die dem Kniegelenk eine Stabilisation in der ventralen Tibiatranslation geboten hat. Obwohl keine Literaturstelle hierzu gefunden wurde, schien dies die plausibelste Erklärung zu sein. Zu bedenken war auch, dass bei Vollbelastung das komplette Körpergewicht auf dem untersuchten Kniegelenk lastet, wobei durch das Körpergewicht von oben auf das Kniegelenk eine Einschränkung der Tibiatranslation nach ventral entstehen könnte. So zeigten Arno et al. [4], deren Vorgehen auf Seite 54 beschrieben wurde, dass bei einer auf dem Kniegelenk lastenden Kraft von 50 N eine größere anterior-posteriore und rotatorische Nachlässigkeit im Kniegelenk bestand als bei einer Kraft von 500 N, was für unseren Erklärungsversuch spricht.

Friemert et al. [11] konnten in ihrer Studie bei der dynamischen Translationsmessung mithilfe der Hamstring-Reflexapparatur keinen signifikanten Unterschied in der Tibiatranslation in einem Kniegelenk mit isolierter Meniskusläsion im Gegensatz zu einem Kniegelenk ohne Meniskusläsion zeigen. Es konnte lediglich eine Tendenz zur größeren Tibiatranslation im meniskusgeschädigten Kniegelenk erkannt werden. Aus den für seine Studie erhobenen Daten ergaben sich die Sachverhalte, aufgrund derer wir untersuchen wollten, ob sich die Tendenz der vermehrten Tibiatranslation im

meniskusgeschädigten Kniegelenk nachweisen lässt. Aber auch wir konnten in unserer Studie, in die wir gezielt nur Teilresektionen des Innenmeniskus eingeschlossen haben, keine signifikanten Unterschiede in der Tibiatranslation im Stehen nach Innenmeniskusteilresektion zeigen. Die Studie von Friemert et al. [11] schloss im Gegensatz zu unserer Studie mediale Meniskusläsionen, mediale und laterale Meniskusläsionen und Korbhenkelrisse ein. Die Läsionen waren sowohl im Meniskushinterhorn als auch im Meniskusvorderhorn lokalisiert und es wurde nur im Stehen unter Last untersucht. Im Fokus dieser Studie von Friemert et al. [11] stand die Reflexmessung. Ziel deren Studie war es, den Einfluss einer isolierten Meniskusläsion auf das Reflexverhalten der hinteren Oberschenkelmuskulatur zu untersuchen. Es konnte kein signifikanter Unterschied im Reflexverhalten zwischen krankem und gesundem Kniegelenk gezeigt werden.

4.2 Statische Translationsmessung (KT-1000 Arthrometer)

Bei der Untersuchung der statischen Translation mittels KT-1000 Arthrometer waren die Mittelwerte im kranken Kniegelenk postoperativ bei allen 4 Messzeitpunkten kleiner. Bei der Untersuchung bei 110 N zeigte sich ein Trend zur verringerten Tibiatranslation, bei maximaler Zugkraft war diese sogar signifikant verringert. Am gesunden Kniegelenk waren die Mittelwerte bei 67 N nahezu gleich, bei 89 N prä- und postoperativ identisch und im hohen Newton-Bereich etwas kleiner. Das unterstreicht, dass es einen Effekt auf der kranken Seite gab, der jedoch in die Richtung der verringerten Tibiatranslation postoperativ ging. Im Allgemeinen sanken die Mittelwerte bei den Untersuchungen mit dem KT-1000 Arthrometer postoperativ oder blieben wie beim gesunden Kniegelenk gleich. Als mögliche Erklärung für unsere Ergebnisse, die eine verringerte postoperative Tibiatranslation im kranken Kniegelenk zeigten, zogen wir eine vermehrte Muskelanspannung durch den Patienten während den postoperativen Messungen in Betracht. Allerdings gaben die Patienten bei der postoperativen Untersuchung keine verstärkten Schmerzen an, die auf eine reflektorische Muskelanspannung hindeuten. Auch Sernert et al. [24] konnten in ihrer Studie zeigen, dass es bei

Untersuchungen mit dem KT-1000 Arthrometer keinen Unterschied bei Messungen an einem Kniegelenk ohne vordere Kreuzbandruptur gab, ob sich der Patient zur Untersuchung in Narkose (Allgemeinanästhesie oder Spinalanästhesie) oder im wachen Zustand befand. Eine Beeinflussung der Messwerte durch Muskelanspannung scheint damit ausgeschlossen zu sein.

Möglicherweise war die vor allem im hohen Newtonbereich zu beobachtende geringere Tibiatranslation im kranken Kniegelenk postoperativ auf eine Narbenbildung nach Operation zurückzuführen, die die Tibiatranslation nach ventral beschränkte.

4.3 Dynamische Posturographie (Biodex Stability System)

Bei der Untersuchung der dynamischen Posturographie mit dem Biodex Stability System zeigten sich keine signifikanten Ergebnisse. Die Tendenzen gingen beim gesunden Kniegelenk und beim kranken Kniegelenk zu kleineren Mittelwerten, also kleineren Stabilitätsindizes, postoperativ. Nur beim MLSI im kranken Kniegelenk ergab sich postoperativ ein größerer Mittelwert. Die niedrigeren Mittelwerte am gesunden Kniegelenk postoperativ könnten vielleicht auf einen Übungseffekt zurückgeführt werden. Dafür würde auch die Aussage eines Patienten sprechen, der sich postoperativ sicherer fühlte, da er in der Krankengymnastik Gleichgewichtsübungen durchgeführt hat. Wobei Palm et al. [20] in ihrer Studie schrieben, dass sie Untersuchungen gefunden haben, die gegen einen Trainingseffekt sprechen.

Palm et al. [20] untersuchten in ihrer Studie mittels des Biodex Stability System, ob Meniskusverletzungen einen Einfluss auf die posturale Stabilität haben. Es wurden Patienten mit Verletzung des Innen- und/oder Außenmeniskus in die Studie aufgenommen, jedoch in der Auswertung nicht zwischen Innen- oder Außenmeniskusverletzung oder Lokalisation der Verletzung im Vorder- oder Hinterhorn des Meniskus unterscheiden. Die Ergebnisse dieser Studie zeigten, dass weder beim OSI, noch beim APSI oder MLSI eine signifikante

Verschlechterung der posturalen Stabilität im Vergleich zum gesunden Bein beobachtet werden konnte, wie es auch in unserer Studie gesehen wurde.

Durch eine Studie von Hoffman et al. [13] konnte nachgewiesen werden, dass die Dominanz eines Beines auf die posturale Stabilität keinen Einfluss hat. Daher kann bei der dynamischen Posturographie davon ausgegangen werden, dass es keine Rolle spielt, ob das kranke Kniegelenk das dominante Kniegelenk war oder nicht.

4.4 Hop-Tests

Bei den Hop-Tests zeigte sich beim Crossover-Hop-Test ein signifikanter Unterschied beim kranken Kniegelenk zwischen prä- und postoperativ gemessenem Mittelwert. Postoperativ wurde in diesem Test eine größere Sprungweite zurückgelegt als präoperativ. Dies sprach gegen eine vermehrte Instabilität im Kniegelenk nach Innenmeniskusteilresektion. Auch im Single-Hop-Test wurde mit dem kranken Kniegelenk postoperativ eine größere Distanz zurückgelegt, jedoch war dieser Unterschied in der weiter zurückgelegten Sprungweite nicht signifikant. Da auch beim gesunden Kniegelenk zwar kein signifikanter Unterschied, aber ein Trend zur weiter zurückgelegten Sprungweite im Crossover-Hop-Test postoperativ gezeigt werden konnte, könnten die postoperativ gemessenen Sprungweiten auf einen Übungseffekt zurückgeführt werden. Denn bei beiden Hop-Tests wurde sowohl beim gesunden als auch beim kranken Kniegelenk postoperativ eine größere Distanz gemessen.

Reid et al. [22] untersuchten die Zuverlässigkeit und Gültigkeit von Daten der Hop-Tests, die während der Rehabilitation nach Rekonstruktion des vorderen Kreuzbands erhoben wurden. In der Studie zeigten sich signifikante Unterschiede in der zurückgelegten Distanz im Kniegelenk mit vorderer Kreuzbandrekonstruktion im Vergleich zum nicht operierten Kniegelenk. In dieser Studie wurden alle 4 Hop-Tests (Single-Hop-Test, 6-Meter-Hop-Test auf Zeit, Dreifach-Hop-Test und Crossover-Hop-Test) durchgeführt, wohingegen wir bei den Planungen der Untersuchungen mit Probanden festgestellt haben, dass alle 4

Hop-Tests am Stück zu Ermüdungserscheinungen führten. Da wir befürchteten, dass dadurch die Messwerte verfälscht werden könnten, entschieden wir uns für die aus unserer Sicht aussagekräftigsten Hop-Tests und führten daher nur den Single-Hop-Test und den Crossover-Hop-Test mit unseren Patienten durch.

Barber et al. [6] fanden mithilfe von Hop-Tests heraus, dass es bei gesunden Probanden keinen statistischen Unterschied zwischen rechtem und linkem Bein gab in Bezug auf sportliche Aktivität, Geschlecht oder dominanter Seite. Allerdings wurden in dieser Studie mehr Hop-Tests durchgeführt. Es wurden insgesamt 5 Hop-Tests durchgeführt, wovon nur der Single-Hop-Test in der gleichen Weise durchgeführt wurde wie in unserer Studie.

4.5 Limitierungen der Studie

4.5.1 Fallzahl und Rekrutierung

Kritisch zu betrachten war die etwas geringe Fallzahl, die dadurch zustande kam, dass zwar 25 Patienten in die Studie aufgenommen wurden, jedoch nur von 18 Patienten die Daten zur Auswertung herangezogen werden konnten. Das hatte den Grund, dass 4 Patienten nicht zur Nachuntersuchung erschienen, 2 Patienten nicht nachuntersucht wurden, da bei diesen keine Innenmeniskusteilresektion erfolgt war und eine Patientin zwar nachuntersucht wurde, bei der jedoch keine Innenmeniskusteilresektion durchgeführt worden war.

Darüber hinaus war es eine große Schwierigkeit Patienten zu finden, die bereit waren 6-20 Wochen nach Operation zur Nachuntersuchung zu kommen, da einige über 2 Stunden von Ulm entfernt wohnten und der Aufwand zu groß gewesen wäre.

Berechnet wurde die Fallzahl für unsere Studie auf Basis des verbundenen t-Tests. Es handelte sich um eine einseitige Fragestellung mit dem entsprechenden Signifikanzniveau von 2,5 % anstatt der üblichen 5 % bei zweiseitigen Fragestellungen, da wir zeigen wollten, dass die Tibiatranslation im kranken Kniegelenk postoperativ größer war als im gesunden Kniegelenk. Unsere

Patienten wurden im Seitenvergleich untersucht und somit jeweils als ihre eigene Kontrolle genutzt.

Die dynamische Tibiatranslationsmessung war die Hauptzielgröße unserer Studie. Es wurde anhand einer Studie von Friemert et al. [11], in welcher mithilfe der dynamischen Translationsmessung am gesunden Kniegelenk Tibiatranslationswerte von $6,6 \text{ mm} \pm 1,7 \text{ mm}$ und am Kniegelenk mit Meniskusläsion von $7,8 \text{ mm} \pm 2,4 \text{ mm}$ gemessen wurde, ein Translationsunterschied von $> 1,5 \text{ mm}$ als signifikant eingestuft. Ausgehend von diesem Mittelwertsunterschied wurden bei 80%iger Power und verschiedenen Annahmen zur Standardabweichung (1,8/2,0/2,2) Fallzahlen von 14 bis 19 Patienten berechnet. Wir planten 25 Patienten in unsere Studie aufzunehmen, was sich jedoch aus oben genannten Gründen nicht umsetzen ließ.

Unsere geringe Fallzahl hatte bei der statistischen Auswertung zur Folge, dass die prä- und postoperativen Mittelwerte der dynamischen Translationsmessung (Hamstring-Reflexapparatur), der statischen Translationsmessung (KT-1000 Arthrometer), der dynamischen Posturographie (Biodex Stability System) und der Hop-Tests vom kranken und gesunden Kniegelenk mittels eines nichtparametrischen Tests, dem Wilcoxon-Test, auf Signifikanz überprüft wurden, da nicht von einer Normalverteilung ausgegangen werden konnte.

4.5.2 Untersuchungszeitraum

Der Zeitraum der Nachuntersuchung unserer Studie war mit 6-20 Wochen nach Operation relativ groß, da es organisatorisch nicht anders möglich war. Fraglich war, ob diese unterschiedlichen Zeitspannen von Operation zur Nachuntersuchung Auswirkungen auf unsere Ergebnisse hatten. Das Kniegelenk war 20 Wochen nach Operation eventuell doch belastbarer als 6 Wochen nach Operation und die Einschränkungen bei den Untersuchungen durch Schmerzen oder Unsicherheit mit Zunahme der Zeitspanne nach Operation geringer. Allerdings waren es nur 4 Patienten, bei denen der Nachuntersuchungstermin später als 12 Wochen postoperativ erfolgte.

4.5.3 Dynamische Translationsmessung (Hamstring-Reflexapparatur)

Als Hauptzielgröße war die dynamische Translationsmessung sehr gut geeignet, da wir mit dieser Methode die Tibiatranslation im Stehen und unter Voll- und Teilbelastung untersuchen konnten. Diese Untersuchung war somit am besten für unsere Studie geeignet, um die Stabilisatorfunktion des Innenmeniskus nach Teilresektion für die Tibiatranslation nach ventral bei intaktem vorderem Kreuzband in vivo zu untersuchen.

Während den Untersuchungen mit der Hamstring-Reflexapparatur ergaben sich Einschränkungen in der Durchführung unserer Messungen, da einige Patienten einen Druck auf die Wade während des Auslösens des Druckstempels, der die Tibia von dorsal beschleunigt, angaben und als unangenehm empfanden. Dies führte dazu, dass nicht alle Patienten die geplanten 15-20 Messungen tolerierten. Bei 8 Patienten konnten 15-20 Messungen durchgeführt werden, bei 7 Patienten waren bei allen Untersuchungsmomenten mindestens 10 Messungen möglich, bei 3 Patienten waren es mindestens 5 Messungen.

4.5.3 Statische Translationsmessung (KT-1000 Arthrometer)

Die statische Translationsmessung war eine Nebenzielgröße, mit der sich die Tibiatranslation in vivo beim Patienten vor und nach Innenmeniskusteilresektion im Liegen leicht messen ließ. Hierbei hat zwar die Belastung des Kniegelenks gefehlt, dafür konnten aber bei allen Patienten alle Messungen durchgeführt werden.

Eine Schwierigkeit und Fehlermöglichkeit dieser Untersuchung war, dass der Patient nicht entspannt auf der Untersuchungsfläche lag und seine Muskeln aktiv angespannt hat. Denn eine vermehrte Muskelanspannung um das Kniegelenk herum führt möglicherweise zu einer geringeren Tibiatranslation, wie wir es bei der Untersuchung mit der dynamischen Translationsmessung auch vermutet und oben diskutiert haben. Daher war es vor der Untersuchung nötig, den Patienten explizit darauf hinzuweisen eine Muskelanspannung im Bein während der Messung zu vermeiden.

4.5.4 Dynamische Posturographie (Biodex Stability System)

Auch die dynamische Posturographie war eine Nebenzielgröße. Mit dieser Untersuchung konnten wir nicht die Tibiatranslation, sondern die posturale Stabilität im Kniegelenk messen. Diese Messung war also nur ein indirekter Ausdruck der Kniegelenksinstabilität.

Es ergaben sich Einschränkungen mit diesem Gerät, da es für eine kurze Zeit defekt war, weshalb bei einem Patienten keine Nachuntersuchung und bei einem Patient keine Voruntersuchung erfolgen konnte.

Von einigen Patienten wurde während der Messung das Gefühl einer großen Unsicherheit angegeben, was sich jedoch in den Ergebnissen nicht wiedergespiegelt hat.

4.5.5 Hop-Tests

Mit den Hop-Tests, welche die dritte Nebenzielgröße unserer Studie waren, konnte wie auch mit der dynamischen Posturographie nicht die Tibiatranslation gemessen werden. Die Hop-Tests dienten mehr dazu einen Eindruck vom Stabilitätsgefühl des Patienten nach einer Innenmeniskusteilresektion zu gewinnen.

Reid et al. [22] führten in ihrer Studie 4 Hop-Tests durch, nämlich den Single-Hop-Test, den 6-Meter-Hop-Test auf Zeit, den Dreifach-Hop-Test und den Crossover-Hop-Test. Bevor die Daten für unsere Studie erhoben wurden, führten wir alle unsere Untersuchungen an 4 Probanden durch, um einen reibungslosen Ablauf zu gewährleisten. Dabei stellten wir fest, dass nach 4 Hop-Tests erhebliche Ermüdungserscheinungen auftraten. Daher beschlossen wir, uns bei der Datenerhebung bei den Patienten auf 2 Hop-Tests zu beschränken. Wir wählten den Single Hop-Test und den Crossover-Hop-Test, da wir diese beiden Tests für die Aussagekräftigsten hielten. Beim 6-Meter-Hop-Test auf Zeit kann es bei der Messung der Zeit mit der Stoppuhr auf eine so kurze Strecke aus unserer Sicht leicht zu Messungenauigkeiten kommen. Der Dreifach-Hop-Test ähnelt in seiner Art dem Single-Hop-Test, nur dass es dabei vermutlich schneller zur Ermüdung

DISKUSSION

des Patienten kommt als beim Single-Hop-Test, was unsere Ergebnisse negativ beeinträchtigen könnte.

Im Rahmen unserer Studie wurden die Hop-Tests nur von 5 Patienten prä- und postoperativ komplett durchgeführt, d.h. Single-Hop-Test und Crossover-Hop-Test. Von 8 Patienten wurde weder präoperativ noch postoperativ ein Hop-Test gemacht. Eine Patientin hat nur postoperativ den kompletten Hop-Test mit krankem und gesundem Kniegelenk durchgeführt, von 2 weiteren Patienten wurde prä- und postoperativ nur der Single-Hop-Test mit beiden Beinen durchgeführt. Ein Patient führte den Single-Hop-Test mit seinem gesunden Kniegelenk prä- und postoperativ und mit seinem kranken Kniegelenk nur postoperativ durch. Ein anderer Patient machte den Single-Hop-Test mit seinen beiden Kniegelenken nur präoperativ. Diese geringe und bei den verschiedenen Tests unterschiedliche Fallzahl ist bei der Interpretation der Ergebnisse zu beachten.

Die Gründe warum bei einigen Patienten der Hop-Test nur teilweise oder gar nicht durchgeführt wurde waren Angst vor Schmerzen beim Springen auf das kranke Kniegelenk. Es wurde angegeben, dass es bei starker Belastung des Kniegelenks oder bei einer unkontrollierten Drehbewegung zu einem einschließenden und stechenden Schmerz im kranken Kniegelenk kommen könnte. Dieser würde gerade durch solche eher unkontrollierten Bewegungen provoziert werden. Des Weiteren wurde ein Instabilitätsgefühl vor Operation im kranken Kniegelenk angegeben, das zu Einschränkungen bei der Ausführung der Hop-Tests präoperativ führte. Gerade bei älteren Patienten bestand generelle Unsicherheit beim Springen auf einem Bein.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Ziel der Studie war es, die funktionelle Stabilisatorfunktion des Innenmeniskus für die Tibiatranslation nach ventral bei intaktem vorderem Kreuzband in vivo zu untersuchen. Dazu wurden Untersuchungen am innenmeniskusresezierten Kniegelenk sowohl im Liegen ohne Belastung als auch im Stehen mit Belastung durchgeführt.

Es wurden 25 Patienten in die Studie aufgenommen. Von 18 Patienten, die sich aufgrund einer Innenmeniskusdegeneration oder -läsion einer Kniearthroskopie mit Innenmeniskusteilresektion unterziehen mussten und ein intaktes vorderes Kreuzband hatten, konnten die Daten zur Auswertung verwendet werden. Die Patienten wurden zwischen 1-3 Tagen vor Operation und zwischen 6-20 Wochen nach Operation mit der dynamischen Translationsmessung (Hamstring-Reflexapparatur) unter Teil- und Vollbelastung im Stehen, der statischen Translationsmessung (KT-1000 Arthrometer) im Liegen, der dynamischen Posturographie (Biodex Stability System) und den Hop-Tests untersucht. Alle Messverfahren wurden jeweils prä- und postoperativ am kranken und am gesunden Kniegelenk durchgeführt.

Für jede Untersuchung wurde eine deskriptive Statistik erstellt. Die Mittelwerte, die am kranken Kniegelenk präoperativ erhoben wurden, wurden mit den postoperativ gemessenen Mittelwerten verglichen und auf Signifikanz geprüft. Dasselbe wurde mit den am gesunden Kniegelenk erhobenen Mittelwerten durchgeführt und diese somit als Kontrollgruppe verwendet. Die Stichproben der erhobenen Daten der einzelnen Untersuchungsmethoden wurden mit Histogrammen, Q-Q-Diagrammen und dem Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung geprüft. Die prä- und postoperativen Mittelwerte der dynamischen Translationsmessung, der statischen Translationsmessung, der dynamischen Posturographie und der Hop-Tests vom kranken und gesunden Kniegelenk wurden mittels eines nichtparametrischen Tests, dem Wilcoxon-Test, auf Signifikanz überprüft.

Bei der Messung der Tibiatranslation im Stehen mittels der dynamischen Translationsmessung zeigten sich keine signifikanten Ergebnisse, obwohl die

ZUSAMMENFASSUNG

Mittelwerte beim kranken Kniegelenk sowohl bei Teilbelastung, als auch bei Vollbelastung postoperativ größer waren. Die Tibiatranslation im gesunden Kniegelenk war postoperativ bei Teil- und Vollbelastung kleiner. Es zeigten sich also gegenläufige Tendenzen zwischen krankem und gesundem Kniegelenk.

Die Mittelwerte der statischen Translationsmessung im Liegen waren bei allen Messungen am kranken und gesunden Kniegelenk postoperativ kleiner oder gleich. Am kranken Kniegelenk zeigte sich beim Vergleich der Tibiatranslation prä- und postoperativ im hohen Newton-Bereich bei 110 Newton ein Trend, bei maximaler Zugkraft ein signifikanter Unterschied in Richtung kleinerer Tibiatranslation postoperativ. Der Unterschied ging nicht in die Richtung, die wir vermutet hatten.

Das dynamische Posturographie zeigte keine signifikanten Unterschiede der Stabilitätsindizes zwischen den prä- und postoperativ erhobenen Mittelwerten am kranken und gesunden Kniegelenk. Insgesamt verlief die Tendenz zu kleineren Mittelwerten postoperativ, außer beim medial-lateralen Stabilitätsindex beim kranken Kniegelenk. Dieser war postoperativ größer als präoperativ.

Bei den Hop-Tests ergaben sich nur beim Crossover-Hop-Test signifikante Unterschiede am kranken Kniegelenk bei der Auswertung der prä- und postoperativ erhobenen Mittelwerte. Die postoperativ zurückgelegte Sprungweite beim Crossover-Hop-Test war mit dem kranken Kniegelenk signifikant größer als die präoperativ zurückgelegte Distanz. Das spricht für kein vermehrtes Kniegelenksinstabilitätsgefühl des Patienten nach Innenmeniskusteilresektion. Am gesunden Kniegelenk war beim Crossover-Hop-Test ein Trend zu beobachten, der in Richtung größerer Sprungweite postoperativ lief. Beim Single-Hop-Test wurde mit beiden Beinen postoperativ eine größere Distanz gesprungen, die aber nicht signifikant war.

Wir konnten in unserer Studie keine signifikanten Unterschiede in vivo zeigen, die auf eine vermehrte ventrale Instabilität im Kniegelenk nach arthroskopischer Innenmeniskusteilresektion hinwiesen. Mit unseren Untersuchungsmethoden konnte postoperativ keine signifikant größere Tibiatranslation nach ventral als präoperativ gezeigt werden.

6. LITERATURVERZEICHNIS

1. Aagaard H, Verdonk R: Function of the normal meniscus and consequences of meniscal resection. *Scand J Med Sci Sports* 9: 134-140 (1999)
2. Ahn JH, Bea TS, Kang K-S, Kang SY, Lee SH: Longitudinal tear of the medial meniscus posterior horn in the anterior cruciate ligament-deficient knee significantly influences anterior stability. *Am J Sports Med* 39: 2187-2193 (2011)
3. Allaire R, Muriuki M, Gilbertson L, Harner CD: Biomechanical consequences of a tear of the posterior root of the medial meniscus. Similar to total meniscectomy. *J Bone Joint Surg Am* 90: 1922-1931 (2008)
4. Arno S, Hadley S, Campbell KA, Bell CP, Hall M, Beltran LS, Recht MP, Sherman OH, Walker PS: The effect of arthroscopic partial medial meniscectomy on tibiofemoral stability. *Am J Sports Med* 41: 73-79 (2013)
5. Aumüller G, Aust G, Doll A, Engele J, Kirsch J, Mense S, Reißig D, Salvetter J, Schmidt W, Schmitz F, Schulte E, Spanel-Borowski K, Wolff W, Wurzinger LJ, Zilch H-G: Bandapparat und Gelenkkapsel des Kniegelenks, Menisci. Bob A, Bob K (Hrsg) *Duale Reihe Anatomie*, 2. Auflage, Thieme, Stuttgart, 321-325 und 328-329 (2010)
6. Barber SD, Noyes FR, Mangine RE, McCloskey JW, Hartman W: Quantitative assessment of functional limitations in normal and anterior cruciate ligament-deficient knees. *Clin Orthop Relat Res* 225: 204-214 (1990)
7. Beamer BS, Walley KC, Okajima S, Manoukian OS, Perez-Viloria M, DeAngelis JP, Ramappa AJ, Nazarian A: Changes in contact area in meniscus horizontal cleavage tears subjected to repair and resection. *Arthroscopy* 33: 617-624 (2017)

LITERATURVERZEICHNIS

8. Beard DJ, Kyberd PJ, Fergusson CM, Dodd CAF: Proprioception after rupture of the anterior cruciate ligament. An objective indication of the need for surgery? *J Bone Joint Surg* 75: 311-315 (1993)
9. Chen L, Linde-Rosen M, Hwang SC, Zhou J, Xie Q, Smolinski P, Fu FH: The effect of medial meniscal horn injury on knee stability. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 23: 126-131 (2015)
10. Diemer F, Sutor V: Meniskusverletzungen. *Physiopraxis Refresher* 1: 3-13 (2009), (https://www.fomt.info/Eigenartikel/Physio-Refresher_1-09_Satz.pdf am 05.02.2017)
11. Friemert B, Wiemer B, Claes L, Melnyk M: The influence of meniscal lesions on reflex activity in the hamstring muscles. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 15: 1198-1203 (2007)
12. Henne-Bruns D, Dürig M, Kremer B: Traumatologie, Meniskusverletzungen. Bob A, Bob K (Hrsg) *Duale Reihe Chirurgie*, 3. Auflage, Thieme, Stuttgart 861-862 und 864-865 (2008)
13. Hoffman M, Schrader J, Applegate T, Koceja D: Unilateral postural control of the functionally dominant and nondominant extremities of healthy subjects. *J Athl Train* 33: 319-322 (1998)
14. Levy IM, Torzilli PA: The effect of medial meniscectomy on anterior-posterior motion of the knee. *J Bone Joint Surg* 64: 883-888 (1982)
15. Lorbach O, Kieb M, Herbort M, Weyers I, Raschke M, Engelhardt M: The influence of the medial meniscus in different conditions on anterior tibial translation in the anterior cruciate deficient knee. *Int Orthop* 39: 681-687 (2015)
16. Maffulli N, Longo UG, Campi S, Denaro V: Meniscal tears. *Open Access J Sports Med* 1: 45-54 (2010)

LITERATURVERZEICHNIS

17. Marsh CA, Martin DE, Harner CD, Tashman S: Effect of posterior horn medial meniscus root tear on in vivo knee kinematics. *Orthop J Sports Med* 2: 1-7 (2014)
18. Musahl V, Citak M, O'Loughlin PF, Choi D, Bedi A, Pearle AD: The effect of medial versus lateral meniscectomy on the stability of the anterior cruciate ligament-deficient knee. *Am J Sports Med* 38: 1591-1597(2010)
19. Netravali NA, Giori NJ, Andriacchi TP: Partial medial meniscectomy and rotational differences at the knee during walking. *J Biomech* 43: 2948-2953 (2010)
20. Palm H-G, Laufer C, Lübken F von, Achatz G, Friemert B: Beeinträchtigen Meniskusverletzungen den stabilen Stand? *Orthopäde* 39: 486-494 (2010)
21. Petrigliano FA, Musahl V, Suero EM, Citak M, Pearle AD: Effect of meniscal loss on knee stability after single-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 19: 86-93 (2011)
22. Reid A, Birmingham TB, Stratford PW, Alcock GK, Giffin JR: Hop testing provides a reliable and valid outcome measure during rehabilitation after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Am Phys Ther Assoc* 87: 337-349 (2007)
23. Seitz AM, Lubomierski A, Friemert B, Ignatius A, Dürselen L: Effect of partial meniscectomy at the medial posterior horn on tibiofemoral contact mechanics and meniscal hoop strains in human knees. *J Orthop Res* 30: 934-942 (2011)
24. Sernert N, Kartus J, Köhler K, Ejerhed L, Karlsson J: Evaluation of the reproducibility of the KT-1000 arthrometer. *Scand J Med Sci Sports* 11: 120-125 (2001)

LITERATURVERZEICHNIS

25. Spang JT, Dang ABC, Mazzocca A, Rincon L, Obopilwe E, Beynon B, Arciero RA: The effect of medial meniscectomy and meniscal allograft transplantation on knee and anterior cruciate ligament biomechanics. *Arthroscopy* 26: 192-201 (2010)
26. Stein T, Mehling AP, Welsch F, Eisenhart-Rothe R von, Jäger A: Long-term outcome after arthroscopic meniscal repair versus arthroscopic partial meniscectomy for traumatic meniscal tears. *Am J Sports Med* 38: 1542-1548 (2010)
27. Syam K, Chouhan DK, Dhillon MS: Outcome of ACL reconstruction for chronic ACL injury in knees without the posterior horn of the medial meniscus: comparison with ACL reconstructed knees with an intact medial meniscus. *Knee Surg Relat Res* 29: 39-44 (2017)
28. Walker PS, Arno S, Bell C, Salvadore G, Borukhov I, Oh C: Function of the medial meniscus in force transmission and stability. *J Biomech* 48: 1383-1388 (2015)
29. Watanabe Y, Scyoc A van, Tsuda E, Debski RE, Woo SLY: Biomechanical function of the posterior horn of the medial meniscus: a human cadaveric study. *J Orthop Sci* 9: 280-284 (2004)
30. Wieser K, Betz M, Farshad M, Vich M, Fucentese SF, Meyer DC: Experimental loss of menisci, cartilage and subchondral bone gradually increases anteroposterior knee laxity. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 20: 2104-2108 (2012)

DANKSAGUNG

An erster Stelle möchte ich mich herzlich bei den Patienten dieser Studie bedanken, die zur Teilnahme an den Untersuchungen und dem damit verbundenen zeitlichen Aufwand bereit waren.

Herrn Prof. Dr. med. Friemert danke ich für die Überlassung dieses interessanten Promotionsthemas, die fachkundige Beratung, gute Betreuung und stets angenehme Zusammenarbeit während der Studie.

Außerdem möchte ich mich bei den Pflegekräften der unfallchirurgischen und orthopädischen Abteilung des Bundeswehrkrankenhauses Ulm für ihre Kooperationsbereitschaft bedanken.

Der unfallchirurgischen Forschungsgruppe des Bundeswehrkrankenhauses Ulm möchte ich für die ehrliche und hilfreiche Rückmeldung im Rahmen der Journal Clubs danken.

Meinen Freunden danke ich für die gegenseitige Motivation während des Studiums und der Doktorarbeit.

Mein größter Dank gilt von ganzem Herzen meiner lieben Familie für die Unterstützung, den zuverlässigen Rückhalt und die Motivation vor allem in schwierigen Zeiten meines Studiums und meiner Doktorarbeit.

LEBENS LAUF

Der Lebenslauf wurde aus Gründen des Datenschutzes entfernt.

LEBENS LAUF

Der Lebenslauf wurde aus Gründen des Datenschutzes entfernt.