

**Degenerativer Innenmeniskusschaden und Geometrie des
Kniegelenks.**

Prospektive MRT-Fallstudie

Dissertation

Zur Erlangung des Doktorgrades

Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt dem Rat der Medizinischen Fakultät

Der Friedrich-Schiller-Universität Jena

von Aiste Mockute

Geboren am 28.03.1991 in Marijampole, Litauen

Gutachter

1. Prof Dr. Gunter Spahn
2. Prof. Dr. Georg Maziolis
3. Prof. Dr. Jörg Lützner

Tag der öffentlichen Verteidigung: 05.11.2019

Inhaltverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	1
Zusammenfassung	3
1. Einleitung	5
1.1. Funktion der Menisken und Definition des Meniskusschadens	5
1.2. Epidemiologie	7
1.3. Pathophysiologie des degenerativen Meniskusschadens	8
1.4. Diagnose des Meniskusschadens in der MRT	10
1.4. MRT Klassifikation der Meniskusläsionen	11
1.5. Validität der MRT bei Diagnostik von Meniskusschäden	15
1.6. Hochauflösende 3D-Bildgebung in der MRT	15
1.7. Risikofaktoren für den degenerativen Meniskusschaden und Therapieprinzipen	16
2. Ziele der Arbeit	19
3. Methodik	20
3.1. Untersuchungsablauf	20
3.2. Patienten	20
3.3. Datenerhebung	22
3.3.1. Anamnese	22
3.3.2. Kernspintomographie	22
3.4. Messpunkte des Kniegelenks	23

3.5.	Definition der Vergleichsgruppen	26
3.6.	Statistische Auswertung	26
4.	Ergebnisse	27
4.1.	Bestimmung der Reliabilität (Inter-Observer-Übereinstimmung) der MRT-Messungen	27
4.2.	Auswertung der Messungen von Innenmenisken	28
4.2.1.	Die Breite und Höhe des Innenmeniskus	28
4.2.2.	Gesamtdurchmesser des Innenmeniskus	32
4.3.	Messungen von distalem Femur und proximaler Tibia	34
4.4.	Indexberechnung: Innenmeniskusgröße im Bezug zu den Tibiadiametern	36
4.5.	Auswertung der Winkelmessungen	39
4.5.1.	Anatomischer medial-proximaler Tibia und anatomischer lateral- distaler Femurwinkel	39
4.5.2.	Anatomischer tibiofemoraler Winkel	39
4.6.	Auswertung der anamnestischen Erhebung	40
4.6.1.	Alter der Patienten	40
4.6.2.	Geschlecht.....	42
4.6.3.	Body-Mass-Index	42
4.6.4.	Anamnesedauer	43
4.6.5.	Sportliche Aktivität	44

4.6.6.	Beruf und Tätigkeiten	46
4.6.7.	Rauchen.....	47
5.	Diskussion	48
5.1.	Geometrie des medialen Meniskus in anderen Studien	48
5.2.	Beurteilung der Ergebnisse des medialen Meniskus	48
5.3.	Mögliche Bedeutung der Ergebnisse für die Behandlung von	
	Meniskusrissen	50
5.4.	Geometrie von Femur und Tibia in anderen Studien	50
5.5.	Geometrie von Femur und Tibia und Indexberechnung im Bezug zu	
	Meniskusschäden	52
5.6.	Winkelparameter und Meniskusschäden in anderen Studien	52
5.7.	Beurteilung der anamnestischen Daten im Bezug zu	
	Meniskusschäden	54
5.8.	Limitationen der Untersuchung	56
6.	Schlussfolgerungen	57
6.	Literatur- und Quellenverzeichnis	58
8.	Anhang	70
8.1.	Anamnesebogen	70
8.2.	Fallbeispiele: Messpunkte des Kniegelenks	73
8.3.	Lebenslauf	83
8.4.	Danksagung	84

8.5.	Ehrenwörtliche Erklärung	85
------	--------------------------------	----

Abkürzungsverzeichnis

3D-Rekonstruktion	Dreidimensionale Rekonstruktion
AG	Altersgruppe
aLDFA	Anatomischer lateral-distaler Femurwinkel
aMPTA	Anatomischer medial-proximaler Tibiawinkel
AP	Anterior - posterior
ATFA	Anatomischer tibiofemoraler Winkel
BMI	Body-Mass-Index
CPR	Clinical Prediction Rule
dF	Breite Femur
dIC	Breite vom lateralen Femurkondylus
dIT	Breite der lateralen Tibia
dmC	Breite vom medialen Femurkondylus
dmT	Breite der medialen Tibia
dT	Breite Tibia
FH	Foot - head (Fuß - Kopf)
FOV	Field of View
MB_HH	Meniskusbreite für Hinterhorn
MB_HH-PI	Meniskusbreite zwischen Hinterhorn und Pars Intermedia
MB_PI	Meniskusbreite für Pars Intermedia
MB_VH	Meniskusbreite für Vorderhorn
MB_VH-PI	Meniskusbreite zwischen Vorderhorn und Pars Intermedia
MH_max	Maximale Meniskushöhe

MPG (UMDNS)	Medizinprodukte-Nomenklatur
MRT	Magnetresonanztomographie
PD SPAIR	Protonen-gewichtete fettunterdrückte Sequenz
RL	Right - left (rechts - links)
T	Tesla
TE	Echozeit
TR	Repetitionszeit
TSE	Turbo-Spin-Echo Sequenz
T-Slope	Tibial Slope
ÜBAG	Die überörtliche Berufsausübungsgemeinschaft
VH-HH_max	Maximaler Gesamtdurchmesser von Meniskus Vorderhorn bis Hinterhorn
VH-HH_min	Minimaler Gesamtdurchmesser von Meniskus Vorderhorn bis Hinterhorn

Zusammenfassung

Einleitung und Ziele der Arbeit: Der degenerative Innenmeniskusschaden mit Rissbildung und entsprechender Symptomatik ist eine der häufigsten unfallchirurgisch-orthopädischen Erkrankungen. Im Hinblick darauf, dass bei einem Teil der Patienten Körpergröße oder sportliche Belastungen für dieses Krankheitsbild im Sinne eines Risikofaktors mitverantwortlich sind, ergeben sowohl in Bezug auf die Behandlung als auch im Rahmen von Begutachtungen mitunter Unklarheiten.

Ziel der Arbeit war es zu untersuchen, ob die Größe des Innenmeniskus und der relative Anteil im Bezug zum Diameter der Gelenkfläche mögliche assoziierte Faktoren für degenerative Rissbildungen sind. Da hierzu nur wenige Kenntnisse vorliegen, sollte die vorliegende Arbeit prospektiv diese Zusammenhänge untersuchen.

Weiterhin war es Ziel die Durchmesser von Femur und Tibia sowie verschiedene Winkelparameter des Kniegelenkes mit Meniskusschäden zu vergleichen. Ebenso galt es verschiedene anamnestische Faktoren im Bezug zu Meniskusschäden zu analysieren.

Methodik: In der Zeit von 10.10.2017-25.09.2018 haben 646 Patienten in der radiologischen Gemeinschaftspraxis in Eisenach an der MRT-Knie-Studie teilgenommen. Die Anamnese erfolgte durch Fragebögen. Die Daten von 265 Teilnehmern wurden aufgrund von Voroperationen, Trauma, des Vorliegens eines komplexen Meniskusrisses oder rheumatischer Erkrankung, mit einem BMI > 40 in der Studie nicht berücksichtigt. Insgesamt wurden die Daten von 381 Patienten (220 Frauen und 161 Männer) im Alter von 12 bis 82 Jahren (Median $50,0 \pm 16,4$ Jahre) analysiert. Die Klassifikation der möglichen Meniskusschäden erfolgt nach den Kriterien von Stoller und Crues.

Ergebnisse und Diskussion: In der Gruppe Stoller II/III wurden größere Innenmenisken nachgewiesen als in der Gruppe Stoller 0/I. Dieser Unterschied konnte hinsichtlich der Meniskusbreite, der -höhe und des maximalen - Gesamtdurchmessers des Meniskus' als signifikant nachgewiesen werden – vor allem die Meniskusbreite in der Position zwischen Hinterhorn und Pars Intermedia (Stoller II/III 19,2 mm, Stoller 0/I 15,7 mm bei Männern und Stoller II/III 16,6 mm, Stoller 0/I 14,3 mm bei Frauen). Die Intra-Klassen-Korrelation zeigte in dieser Position eine ausgezeichnete

Übereinstimmung (0,95). Damit konnte entsprechend die Vermutung bestätigt werden, dass größere Menisken mit Risschaden signifikant häufiger assoziiert sind.

Bei Männern zeigte sich ein größerer Unterschied zwischen den Gruppen Stoller 0/I und Stoller II/III, vor allem für die Meniskusbreite in der Position zwischen Hinterhorn und Pars Intermedia: 3,5 mm (18,2%) bei Männern und 1,9 mm (11,7%) bei Frauen. Damit sind die größeren Menisken bei Männern mehr rissgefährdet als bei Frauen. In der Gruppe Stoller II/III waren die Diameter des Femurs und der Tibia sowie die Messwerte der medialen Kondylen signifikant höher als in der Gruppe Stoller 0/I. Daraus ergibt sich, dass die Meniskusläsionen mit Körpergröße assoziiert sind.

Um den relativen Anteil des Innenmeniskus in der Gelenkfläche zu untersuchen, wurde ein prozentualer Index der Innenmeniskusgröße (MB_HH und MB_HH-PI) im Bezug zum Diameter von medialer Tibia und gesamter Tibiabreite berechnet. In der Gruppe Stoller II/III wurden signifikant höhere Mittelwerte der Innenmeniskusgröße im Bezug zur medialen Tibia und gesamter Tibiabreite nachgewiesen als in der Gruppe Stoller 0/I.

Die Winkelmessungen (anatomischer -medialer proximaler Tibiawinkel, -lateraler distaler Femurwinkel, -femorotibialer Winkel und Tibial Slope) zeigten keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen Stoller 0/I und Stoller II/III.

Bei der Analyse von anamnestischen Daten stieg der Schweregrad der Meniskusläsionen signifikant mit zunehmendem Alter und BMI. Sport, Beruf, Anamnesedauer und Rauchen zeigten keinen signifikanten Zusammenhang in Bezug zu Meniskusschäden.

Schlussfolgerungen: Nach Möglichkeit sollte auch ein degenerativ gerissener Meniskus vor allem bei jungen Menschen rekonstruiert werden. Bislang galt die Zoneneinteilung entsprechend der Meniskus-Durchblutung dafür als Kriterium. Leider versagt die Meniskusnaht in vielen Fällen. Eine mögliche Ursache für das Versagen von Nähten kann ein übergroßer Meniskus sein. Bei der Entscheidung über eine Operation sollte besonders bei Männern die Größe des Meniskus' als bedeutender Faktor berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse haben möglicherweise auch für die Beurteilung einer Schadensanlage für einen degenerativen Meniskusschaden (zum Beispiel nach Arbeitsunfällen oder bei der Begutachtung der BK 2102) in Zukunft Bedeutung.

1. Einleitung

1.1. Funktion der Menisken und Definition des Meniskusschadens

Funktion der Menisken

Eine der wichtigsten Funktionen der Menisken ist die Vergrößerung der kraftübertragenden Kontaktfläche zwischen Femur und Tibia und damit die Reduzierung des Kontaktdrucks (Dürselen et al. 2015). Einen Großteil des tibiofemorale Druckes nehmen die longitudinalen Fasern des Meniskus auf, die sich in die Wurzeln fortsetzen und den Druck auf den Knochen weiterleiten (Kopf, S. et al. 2017). Bei der Lastübertragung werden die Spannungsspitzen reduziert und der Gelenkknorpel wird geschützt (Dürselen et al. 2015).

Durch die Fixierung der Menisken an den Bändern (an Tibia und Femur, zwischen sich selbst und den Kreuzbändern) haben die Menisken nicht nur eine gelenkstabilisierende, sondern auch eine potenziell stoßdämpfende Wirkung (Wirth et al. 1997).

Bei der Beugung und Streckung gleiten die Menisken mit. Dadurch verbessern sie die Gleitfähigkeit der Gelenkflächen und die Nährstoffverteilung. Menisken haben zudem Nervenendungen, die für ein propriozeptives Feedback verantwortlich sind (Weigel et al. 2005).

Traumatische und degenerative Innenmeniskusschäden

Traumatische Meniskuläsionen sind auf übermäßige mechanische Kräfte auf einen gesunden Meniskus zurückzuführen. Im Gegensatz dazu, treten degenerative Läsionen infolge von normalen mechanischen Kräften auf, die auf einen Meniskus einwirken, der durch interstitielle myxoide Degeneration geschädigt ist (Faruch-Bilfeld et al. 2016).

Eine erhöhte Anfälligkeit für Schäden hat insbesondere der Innenmeniskus. Er ist außen an der Membrana fibrosa und am Ligamentum collaterale mediale fixiert. Damit hat er im Vergleich zum lateralen Meniskus eine verminderte Verschieblichkeit. Thompson et al. fand heraus, dass das Hinterhorn des Innenmeniskus die geringste Beweglichkeit hat. Daher ist dieser verletzungsanfälliger (Thompson et al. 1991).

Definition des Meniskusschadens

Die Diagnose einer Meniskusläsion wird in erster Linie klinisch gestellt und kann durch bildgebende Verfahren bestätigt werden (Siebert et al. 2016).

Klinisches Zeichen eines Meniskusschadens ist der Druckschmerz über dem betroffenen Gelenkspalt. Bei dislozierten Rissen treten insbesondere lokale belastungsabhängige Schmerzen, Ergussbildung, Blockierungen und Bewegungseinschränkungen auf (Siebert et al. 2016).

Es existieren verschiedene klinische Tests der Menisken, wie zum Beispiel die Empfindlichkeit der Gelenklinie, den McMurray-Test und den Apley-Kompressionstest, die zur Diagnose von Meniskusrissen ebenso zuverlässig sind, wie die MRT (Magnetresonanztomographie) (Mohan et al. 2006).

Bei eingeschränkter Möglichkeit, den Patienten klinisch sicher zu untersuchen (zum Beispiel bei massiven Schmerzen oder einem ausgeprägten Erguss) und insbesondere bei jungen Patienten mit schmerzhafter Bewegungseinschränkung ist die Meniskussonographie eine wertvolle Ergänzung (Wirth et al. 1997).

Begleitende knöcherner Verletzungen sowie bestehende degenerative Veränderungen werden mit Hilfe eines Röntgenbildes diagnostiziert. Bei Beurteilung von Meniskusverletzungen ist der diagnostische Wert dieser Methode deutlich begrenzt, da der Meniskus bei dieser Art von Untersuchung normalerweise nicht sichtbar ist (Siebert et al. 2016).

Zur Beurteilung der Menisken ist die MRT das Diagnostikum der ersten Wahl (Kopf et al. 2017). Diese kann den klinischen Verdacht eines Meniskusrisses bestätigen, die intra- und extraartikulären anatomischen Strukturen überprüfen und alternative Diagnosen ausschließen (Shiraev T. et al. 2012).

Ein wichtiges diagnostisches und therapeutisches Hilfsmittel bei Meniskusrissen ist die Kniearthroskopie (Ward et al. 2013). Eine arthroskopische Untersuchung der Chondralflächen, Gelenkräume und Menisken ist entscheidend, um den Knorpelzustand zu dokumentieren und Meniskusrisse zu lokalisieren (Howell et al. 2014).

1.2. Epidemiologie

Meniskusläsionen gehören zu den häufigsten Verletzungen des Knies mit einem starken Zusammenhang zwischen Lebensstilfaktoren und körperlicher Anstrengung (Kontio et al. 2017). In einer der größten Studien über die Häufigkeit von Meniskusverletzungen bei aktiven Dienstnehmern aus den USA zwischen 1998 und 2006 ergab sich eine Inzidenzrate von 8,27 pro 1000 Personenjahre (Jones et al. 2012).

Die Häufigkeit der Meniskusläsionen steigt tendenziell mit zunehmendem Alter. Diese beträgt 19% bei Frauen im Alter von 50 bis 59 Jahren und bis zu über 50% bei Männern im Alter von 70 bis 90 Jahren (Englund et al. 2008).

Pauli, C. et al. beschreibt einen engen makroskopischen und mikroskopischen Zusammenhang zwischen einer Meniskusdegeneration und dem Alter der Patienten. Bei jungen Menschen erschienen die Menisken mit einer durchscheinenden, glatten und glitzernden Oberfläche, wobei sich im fortschreitenden Alter eine Oberflächenaufrauung mit abnormaler Matrixorganisation innerhalb der Meniskus-Substanz zeigte (Pauli et al. 2011). Diesbezüglich zeigt sich ein wichtiger Aspekt der Epidemiologie – so tritt allgemein eine hohe Prävalenz von Meniskusschäden in der Bevölkerung auf, die als Teil des normalen Alterns betrachtet werden kann (Beaufils et al. 2017).

Etwa 2/3 aller Meniskusverletzungen betreffen den medialen Meniskus. Diese betreffen zumeist den posteriore Horn (Terzidis et al. 2006). Die häufigsten Rissformen stellen komplexe und radiäre Meniskusrisse dar (Hash. 2013). Ein radiärer Riss ist viel stärker mit Adipositas und höherem Alter verbunden (Ozkoc et al. 2008).

Eine weitere Form von Meniskusläsionen, der longitudinale Riss, ist häufig mit Traumata von Patienten verbunden. In der Studie von Arthur et al. hatten 98% der 50 Patienten mit einer MRT-Diagnose eines longitudinalen Meniskusrisses eine Knie Trauma Anamnese (Desmet et al. 2008).

1.3. Pathophysiologie des degenerativen Meniskusschadens

Eine Meniskusdegeneration wird definiert als die Summe morphologisch erkennbarer Texturstörungen an den zellulären und fibrillären Meniskusbestandteilen, die ausgeprägter als die allgemeinen altersbedingten Veränderungen sind (Fisseler-Eckhoff et al. 2011).

Für die Einstufung der Meniskusdegeneration wurden die histopathologischen Kriterien von Grad 0 bis Grad IV erfasst. Grad 0 gilt für die normale histologische Morphologie des Meniskus, Grad I - für geringe Degeneration (geringe Reduzierung der Zellularität, kleine Spalten in der Matrix), Grad II - für mäßige Degeneration (mäßige Reduzierung der Zellularität, mäßige Spalten in der Matrix). Eine Grad III Degeneration entspricht einer schweren Degeneration mit starker Reduzierung der Zellularität sowie pseudozystischen Spalten und Rissen in der Matrix (Krenn et al. 2010).

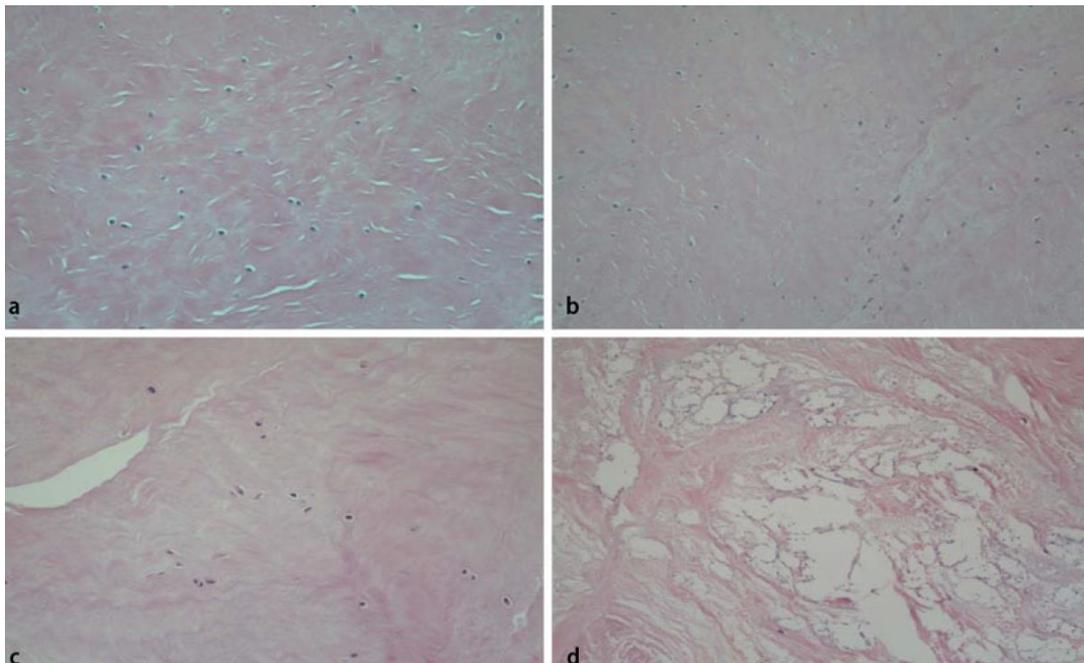


Abbildung 1

Histopathologische Merkmale des Degenerationsscores (HE-Färbung)

Normales Meniskusgewebe (a), Degenerationsgrad I (b) mit leicht reduzierter Zellularität und variabler Färbungsintensität, Degenerationsgrad II (c) mit mäßiger Reduzierung der Zellularität und variabler Größe der Chondrozyten, Degenerationsgrad III (d) mit hoher Reduzierung der Zellularität und mukoider pseudozystischer Veränderung (Krenn et al. 2010).

Die primäre Meniskusdegeneration ist definiert als die Gesamtheit der morphologischen Veränderungen von Zell- und Faserkomponenten des Meniskus, die altersabhängige Meniskusveränderungen übertreffen (Krenn et al. 2010). Mit fortschreitendem Alter entwickelt sich eine physiologische Texturstörung: Grad I und Grad II können aufgrund altersbedingter (primärer) Veränderungen interpretiert werden, wobei die Texturstörung Grad III nicht als altersabhängige Veränderungen, sondern als pathologische (sekundäre) Erkrankung zu bewerten ist (Hempfling et al. 2017). Die sekundäre Meniskusdegeneration entsteht in Menisken mit Vorschäden: Bei bereits bestehenden degenerativen, entzündlichen, posttraumatischen oder metabolischen Gelenkkrankheiten (Krenn et al. 2010).

Infolge von Meniskusschäden verkleinert sich die lastübertragende Gelenkfläche und somit die Gelenkstabilität. Der Druck auf den hyalinen Gelenkknorpel wird größer mit der Folge einer erhöhten Degeneration und schließlich der Entstehung einer Arthrose des Kniegelenks (Becker et al. 2015).

Gonarthrose kann ebenfalls durch eine Meniskektomie begünstigt werden. Infolge einer Teilmeniskektomie entwickeln etwa 75 % aller Patienten innerhalb der folgenden 20–30 Jahre radiologische Zeichen einer Gonarthrose. Risikofaktoren für diese Entwicklung sind insbesondere Resektion größerer Anteile des Meniskusgewebes, bis zur Basis reichende radiäre Risse, bereits bestehende Knorpelschäden, ligamentäre Instabilität, Achsabweichungen, Adipositas sowie ein Alter über 40 Jahre (Kaelin et al. 2018).

Die schweren Meniskusveränderungen, wie Meniskusmazeration und komplexe Risse, sind signifikant mit der Meniskusextrusion verbunden (Allen et al. 2010). Eine mediale Meniskusextrusion von mehr als 3 mm ist mit einer schweren Meniskusdegeneration, mit einem radiären Meniskusriss, einem komplexen Meniskusriss oder einem Meniskuswurzelriss verbunden (Costa et al. 2004).

Verschiedene Arten von Meniskuspathologien sind in der Abbildung 2 zu entnehmen (Antony et al. 2017).

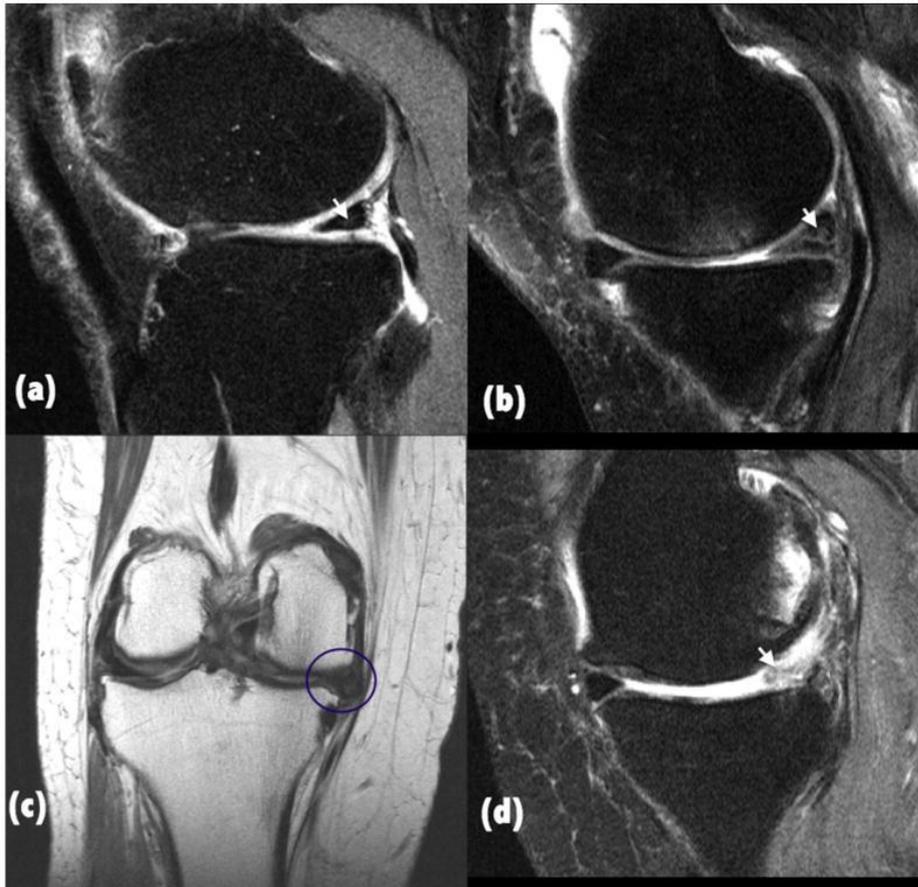


Abbildung 2

Verschiedene Formen von Meniskuspathologien (Antony et al. 2017)

a) Intrameniskales Signal b) Komplexer Riss c) Morphologische Deformität/Extrusion d) Mazeration

1.4. Diagnose des Meniskus Schadens in der MRT

Die normalen Menisken weisen aufgrund ihrer faserknorpeligen Struktur diffus niedrige Signalintensität an allen MRT-Sequenzen auf (Vanhoenacker et al. 2007). Die Ursachen der Signalveränderung können vielseitig sein. Bei Kindern können sie auf normaler Vaskularisation beruhen, aufgrund akuter Kontusion traumatisch bedingt sein oder im Rahmen einer muzinöser Degeneration auftreten (Nguyen et al. 2014). Während in der T1-Sequenz die Meniskusstruktur gut beurteilt werden kann, lässt sich in der T2-Sequenz am besten die Pathologie identifizieren (Howell et al. 2014).



Abbildung 3

Meniskusriss (Pfeilen)

a) T1-Sequenz b) T2-Sequenz (Cascio et al. 2010)

Die MRT-Diagnose eines Meniskusrisses besteht aus: 1) Signalanhebung in Folge des Flüssigkeitseintritts mit dem umgebenden normalen Meniskus bei nicht oder minimal dislozierten Rissen; 2) abnormaler Morphologie bei stark dislozierten Rissen (Kruger et al. 2016).

Nach der „two-slice-touch“ Regel gibt es MRT-Bildgebungskriterien, die für die Diagnose des Meniskusrisses notwendig sind (De Smet et al. 2006). Wenn zwei oder mehr MRT-Bilder mit Kontakt zur Gelenkfläche vorliegen, wird der Meniskus als zerrissen befundet. Der Meniskusriss könnte in einem koronaren und einem sagittalen Bild, in zwei sagittalen Bildern oder zwei koronaren Bildern sichtbar sein (Nguyen et al. 2014).

Bei der Interpretation der MRT-Aufnahmen des Meniskus gibt es jedoch mehrere Faktoren, die die Genauigkeit der Diagnose beeinflussen können. Um Fehler bei Diagnose zu vermeiden, sollten die technische Plattform und die Sequenzparameter berücksichtigt werden. Weiterhin bedarf es Kenntnisse über die normale Meniskus-anatomie und Kenntnisse über die Muster von Meniskusrissen (Bolog et al. 2016).

1.4. MRT Klassifikation der Meniskusläsionen

Das erste MRT-Gradierungssystem von Meniskusschäden wurde schon 1986 von Lotysch et al. beschrieben und in großem Umfang für das Staging von abnorm hohen Meniskus-Signalintensitäten verwendet (Li et al. 2013). Im Jahr 1987 wurde eine Klassifikation von Meniskusschäden im MRT von Stoller und Crues beschrieben,

welche den Charakter des intrameniskalen MRT-Bildgebungssignals aufwiesen (Cruet et al. 1987). Bei der Operation wurden 89% der Menisken, die nur Grad 1 oder Grad 2 aufwiesen, als normal befundet. 94% der Menisken, die ein Signal mit der Verbindung zu einer meniskalen Gelenkoberfläche zeigten (Grad 3), wurden bei Operation als gerissen befundet (Cruet et al. 1987).

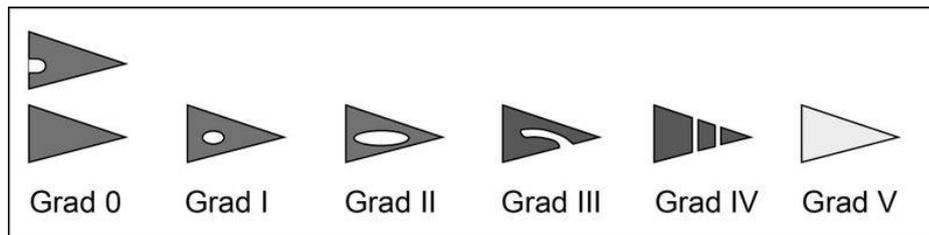


Abbildung 4
Klassifikationen der Signalalterationen im Meniskus nach Lotysch et al. (Vahlensieck et al 2001).

Tab. 1: Klassifikation der Signalerhöhungen in den Menischi nach Lotysch et al. (Vahlensieck et al 2001).

Grad	MRT	Histologie
0	Signalfreie dreieckige Struktur, evtl. Signalanhebung im Randbereich durch gefäßreiches Bindegewebe	Normaler Meniskus
I	Eine oder mehrere punktförmige oder globulare Signalerhöhungen ohne Verbindung zur Meniskusoberfläche	Muzinöse Degeneration, Magic-Angle-Artefakt
II	Lineare Signalerhöhung ohne Verbindung zur Meniskusoberfläche	Ausgedehnte muzinöse Degeneration oder Riss in der Meniskussubstanz
III	Lineare Signalerhöhung, die sich auf eine oder beide Meniskusoberflächen ausdehnt	Riss
IV	Mehrere Signalanhebungen sowie Deformierung und Fragmentierung	Komplexe Verletzungen
V	Diffuse Signalanhebung besonders im protonendichte- und T1 –gewichteten Kontrast	Mazeration („Erweichung“)

Je nach Raumbene kann ein Meniskusriss vertikal, horizontal oder komplex sein (Vogl et al. 2011). Ein horizontaler Riss ist definiert als eine lineare Signalanomalie, bei der sich die Oberfläche des Meniskus' in einer horizontalen Stellung von weniger als 30 ° relativ zu dem benachbarten Tibiaplateau befindet (De Smet et al. 2008).

Je nach Längsachse kann ein Meniskusriss longitudinal, schräg („Lappenriss“, „Flap Tear“), radiär oder komplex sein (Vogl et al. 2011).

Die Beispiele für Meniskusschäden in der MRT sind in der Abbildung 5 (MacFarlane et al. 2017) zu entnehmen.



Abbildung 5

Beispiele für Meniskusschäden in der MRT

a) Vertikaler Innenmeniskusriss des Hinterhorns. b) mediale Extrusion des Innenmeniskus (Pfeilspitze). c) zeigt einen kleinen radialen Einriss des Innenmeniskus (Bild 1: koronar, Bild 2: axial). d) Horizontaler, schräg verlaufender Einriss des Außenmeniskushinterhorns. e) Wurzelriss des Innenmeniskushinterhorns (Pfeil) mit medialer Meniskussubluxation (Pfeilspitze) (MacFarlane et al. 2017).

1.5. Validität der MRT bei Diagnostik von Meniskusschäden

Die MRT ist eine nichtinvasive Methode, die Meniskusschaden genau erfassen und charakterisieren werden kann - die neueste Studie (Khandelwal et al. 2018) zeigt eine "sehr gute" Übereinstimmung zwischen MRT und Arthroskopie zur Erkennung von Innenmeniskusverletzungen mit einer Sensibilität von 95,69% und einer Spezifität von 94,87%.

Antunes et al. beschreibt eine Korrelation zwischen MRT und Knie-Video-Arthroskopie zur Erkennung von medialem Meniskusriss mit einer Sensibilität von 100% und Spezifität von 82%. Dies beweist, dass die MRT eine effektive Methode zur Diagnose von medialen Meniskusrissen ist (Antunes et al. 2017).

1.6. Hochauflösende 3D-Bildgebung in der MRT

Nach Kruger et al. dient die 3D-Rekonstruktion dazu, normale Menisken zu identifizieren, die Darstellung der MRT-Daten umzufassen und eine Betrachtung von Objekten in jeder Ebene zu ermöglichen, um die Pathologie zu identifizieren (Kruger et al. 2016).

Diesbezüglich zeigt eine Studie über die diagnostische Leistung von 3D-Turbo-Spin-Echo-Sequenzen (TSE) im Vergleich zu 2D-TSE auf, dass die Verlässlichkeit der diagnostischen Bestimmung eines routinemäßigen 2D-TSE-Protokolls bei 1,5 T ähnlich der des 3D-TSE-Protokolls ist. Anzahlen der Meniskusrisse, die von zwei Befunder in den MRT-Techniken festgestellt wurden, waren sowohl in 2D-, als auch in 3D-Bildgebung fast identisch (Chagas-Neto et al. 2016).

In der Abbildung 6 ist ein Beispiel eines Meniskusrisses mit Darstellung im 2D-TSE, 3D-TSE-Protokoll und in der Arthroskopie zu entnehmen (Radiologische Praxis Eisenach-Eschwege und Praxisklinik für Unfallchirurgie und Orthopädie, Prof. Dr. Spahn, Eisenach).

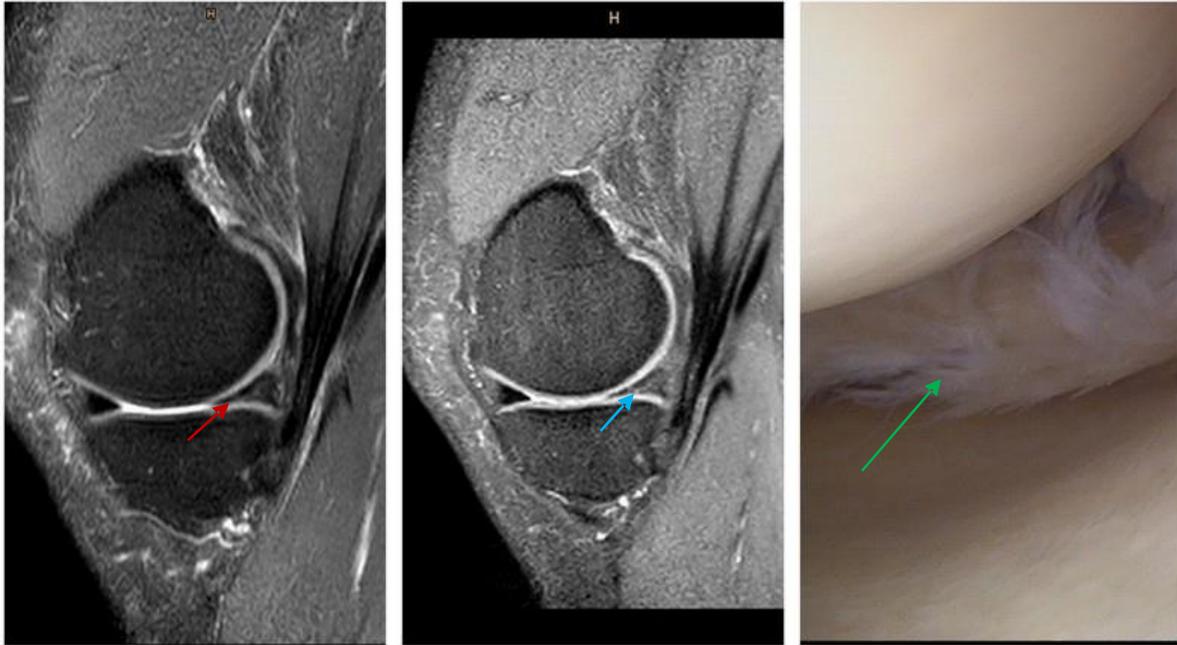


Abbildung 6

Ein 51-jähriger Mann mit einem Riss des Innenmeniskushinterhorns.

Sagittale MRT (Radiologische Praxis Eisenach-Eschwege, Dr. C. Retzlaff und Dr. E. Müller-Obliers, Eisenach) und korrelierendes arthroskopisches Bild (Praxisklinik für Unfallchirurgie und Orthopädie, Prof. Dr. Spahn, Eisenach). 2D TSE, links (roter Pfeil), 3D PD TSE SPAIR in der Mitte (blauer Pfeil). Entsprechende arthroskopische Korrelation des Risses rechts (grüner Pfeil).

1.7. Risikofaktoren für den degenerativen Meniskusschaden und Therapieprinzipien

Risikofaktoren

In umfangreichen Studien wurden Risikofaktoren untersucht, die mit Meniskusrissen korrelieren. Zu diesen Risikofaktoren für degenerative Meniskusschäden zählen ein Alter über 60 Jahre, Übergewicht, männliches Geschlecht, arbeitsbedingtes Knien und Hocken sowie regelmäßiges Treppensteigen. Längeres Gehen und Stehen ebenso wie das Tragen von schweren Gewichten sind weitere Risikofaktoren für derartige Meniskusrisse (Snoeker et al. 2013, Jones et al. 2012, Neubauer et al. 2010).

Die Sportarten mit dem höchsten Risiko für Meniskusverletzungen sind Ballspiele, Gymnastik und Jogging (Kontio et al. 2017).

In der Studie von Ma et al. hatten übergewichtige oder adipöse Rekruten im Militärdienst ein erhöhtes Risiko für Meniskusschaden im Vergleich zu Rekruten mit einem normalen Gewicht (Ma et al. 2016). Das Risiko eines Meniskusschadens erhöht sich mit steigendem BMI signifikant. Das zusätzliche Körpergewicht erhöht dabei die Intensität der körperlichen Aktivität, was zu schnellerer Ermüdung und wiederholter Belastung des Bewegungsapparates führt (Knapik. 2015).

Für die Erkennung von Meniskusrissen in der Primärversorgung wurde eine CPR (Clinical Prediction Rule) entwickelt: Eine schnelle und einfache klinische Vorhersageregeln basierend auf der Patientenanamnese (Geschlecht, Alter, Belastung bei Traumata, Sport, Erguss, Wärme, Verfärbung des Knies) und ein Deep-Squat-Test. Diese Vorhersageregeln können Ärzten dabei helfen, Hochrisikopatienten für eine Überweisung zur MRT zu identifizieren. Die CPR muss jedoch weiterentwickelt und validiert werden, um zwischen akuten und degenerativen Meniskusschäden zu unterscheiden (Snoeker et al. 2015).

Therapieprinzipien

Zur Behandlung des symptomatischen degenerativen Meniskusrisses können sowohl konservative als auch chirurgische Methoden verwendet werden.

Das Ziel der nicht-operativen Therapie ist die Linderung von Knieschmerzen. Vermeidung symptomeauslösender Aktivitäten, nicht-steroidale Entzündungshemmer (NSAR) und vor allem Physiotherapie und Rehabilitation sind die wichtigsten Aspekte der konservativen Behandlung (Howell et al. 2014).

Meniskusrisse werden operativ entweder mit der Entfernung der eingerissenen und instabilen Meniskusanteile oder durch Naht des Meniskusgewebes therapiert. Insgesamt ist die Prognose der Operation abhängig von individuellen Patientenfaktoren (Alter, Gewicht, Knorpelschaden), den Begleitverletzungen und -erkrankungen sowie der Zusammenarbeit mit dem Patienten (Becker et al. 2015).

Es ist noch umstritten, ob ein degenerativer Riss des medialen Meniskus operativ behandelt werden sollte. Die Studie von Yim et al. hat die Patienten mit einem degenerativen horizontalen Riss des Innenmeniskusinterhorns untersucht. Dabei wurden insbesondere Knieschmerzen, Kniefunktion und Zufriedenheit mit der Behandlung untersucht. Die Untersuchungsergebnisse ergaben nach zwei Jahren keine signifikanten Unterschiede zwischen einer Meniskektomie und nichtoperativem

Management (Yim et al. 2013). In der Studie von Kise et al. wurde die Bewegungstherapie mit partiellen Menishektomie bei Patienten mit degenerativem Meniskusriss mittleren Alters verglichen. Die Bewegungstherapie zeigte eine kurzfristige Verbesserung der Oberschenkelmuskulatur gegenüber der Menishektomie. Nach zwei Jahren bestätigten sich bezüglich der sekundären Ergebnisse keine klinisch relevanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen (Kise et al. 2016).

Entsprechend der Konsensusarbeit der ESSKA sollten Patienten mit einem Meniskusriss die ersten 3 Monate konservativ versorgt werden. Bestehen erhebliche mechanische Symptome, so ist eine frühere chirurgische Behandlung zu empfehlen. Eine Operation ist jedoch nicht zu empfehlen, wenn die Patienten bereits eine fortgeschrittene Arthrose zeigen (Beaufils et al. 2017).

Nach den deutschen S2k-Leitlinien der Meniskuserkrankung sollte eine operative Versorgung besonders bei Blockierungen durchgeführt werden, bei degenerativen symptomatischen Meniskusläsionen mit Einklemmungsbeschwerden ohne relevanten Knorpelschaden oder bei degenerativen Meniskusläsionen mit Blockierungen und fortgeschrittenen Knorpelschaden. Lange bestehende Meniskusbeschwerden nach konservativer Behandlung sowie traumatisch bedingte Meniskusveränderungen sollten ebenfalls chirurgisch versorgt werden. Lokalisation des Meniskusrisses (Rot-Rot Zone, Rot-Weiß Zone, Weiß-Weiß Zone), Achsabweichungen, Kniestabilität und begleitende Erkrankungen sind weitere wichtige Kriterien zur Entscheidung, ob eine Operation empfehlenswert ist (Becker et al. 2015).

2. Ziele der Arbeit

1. Ist die Größe des Innenmeniskus und der relative Anteil im Bezug zum Durchmesser der Gelenkfläche möglicherweise assoziierte Faktor für degenerative Rissbildungen?
2. Gibt es einen Zusammenhang zwischen den Winkelparametern des Kniegelenks (anatomischer -medialer proximaler Tibiawinkel, -lateraler distaler Femurwinkel, -femorotibialer Winkel und Tibial Slope) und einem degenerativen Risschaden am Innenmeniskus?
3. Sind die anamnestische Daten (Alter, Geschlecht, Anamnesedauer, Body-Mass-Index (BMI), Beruf, Tätigkeit der letzten 10 Jahre, sportliche Betätigung und Rauchen) assoziierte Faktoren bei einem degenerativen Innenmeniskusriss?

3. Methodik

Für die Durchführung der Untersuchungen bestand ein positives Votum der Ethikkommission am Universitätsklinikum Jena (5201-06/17).

3.1. Untersuchungsablauf

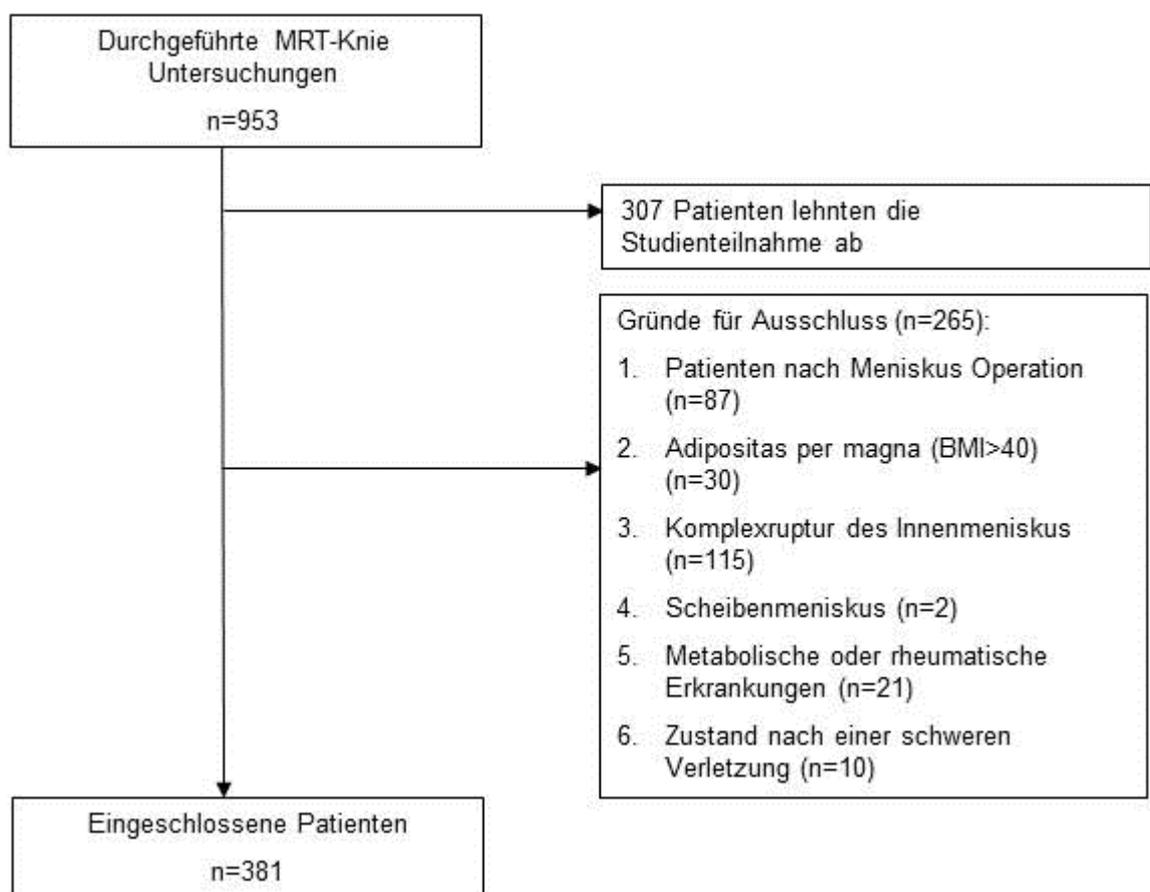


Abbildung 7
Flow-Chart-Diagramm der Untersuchung.

3.2. Patienten

In der Zeit von 10.10.2017-25.09.2018 wurden insgesamt 381 Patienten (220 Frauen und 161 Männer) im Alter von 12 bis 82 Jahren (Median $50,0 \pm 16,4$ Jahre) in die Studie einbezogen.

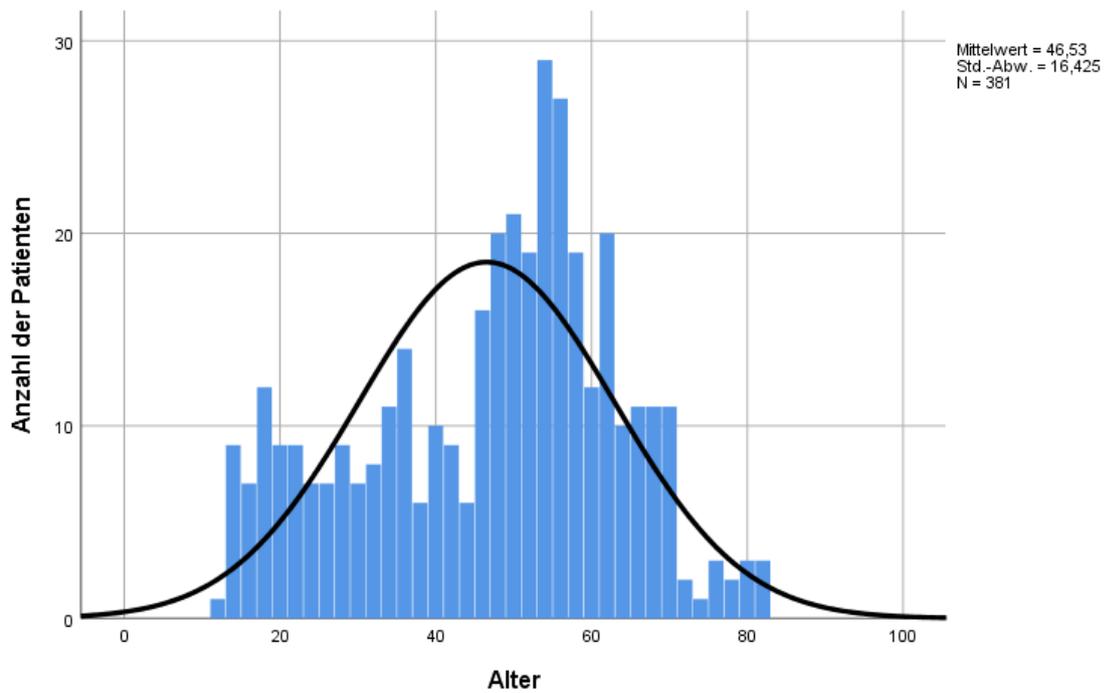


Abbildung 8
Gauß-Verteilung des Alters.

Das Gesamtkollektiv hatte einen mittleren BMI von $26,74 \pm 4,481$ kg/m² (Frauen und Männer zeigten keinen signifikanten Unterschied) bei großen individuellen Unterschieden (minimaler Wert von 16,45 und maximaler Wert von 39,63).

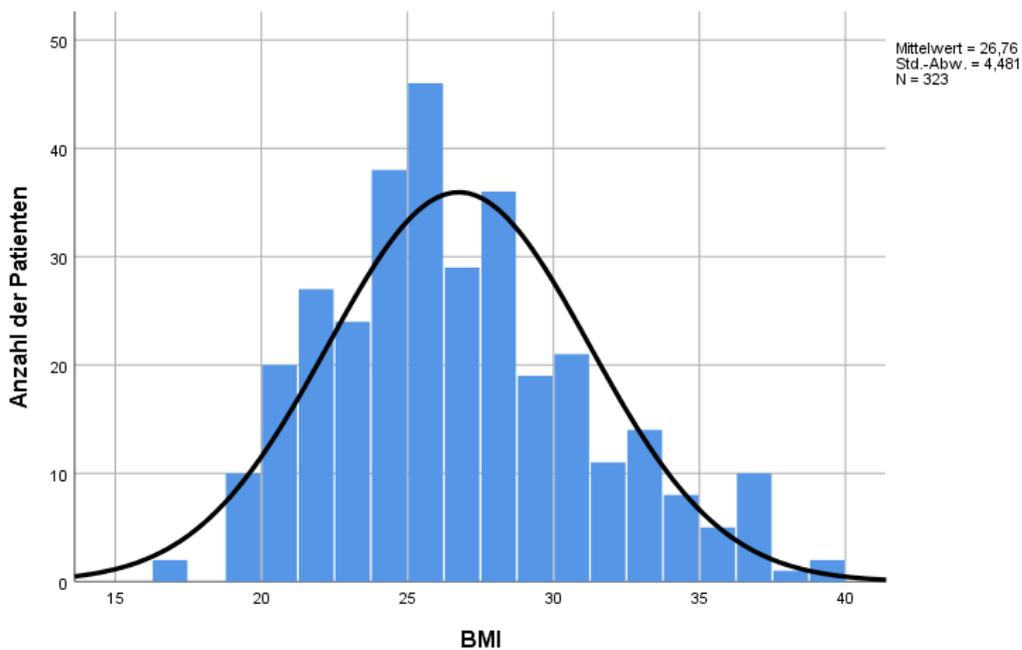


Abbildung 9
Gauß-Verteilung des BMI.

3.3. Datenerhebung

3.3.1. Anamnese

Nach Einverständnis zur Studienteilnahme füllten die Patienten einen Fragebogen aus (Anhang, Anlage 1). Dabei wurden erfragt: Alter, Geschlecht, Anamnesedauer, Körpergröße/Körpergewicht, vorangegangenen Verletzungen oder Operationen, Beruf insbesondere die berufliche Tätigkeit der letzten 10 Jahre, sportliche Aktivität, Rauchen, sonstige mögliche eine Meniskus-Pathologie bedingende Faktoren.

3.3.2. Kernspintomographie

Die MRT-Untersuchungen der Knie wurden in radiologischer Gemeinschaftspraxis in Eisenach durchgeführt.

Geräte-Stammdaten.

Hersteller: Philips Medical Systems, Amsterdam, Niederlande
Systembezeichnung: Ingenia 1,5 T

Tab. 2: MRT Protokoll.

MRT-Sequenz Konfigurationsparameter	PD SPAIR Sagittal	T1 TSE Sagittal	PD SPAIR Coronar	3D VIEW PD SPAIR Sagittal
TR (Repetitionszeit)	3085 ms	694 ms	3084 ms	1200 ms
TE (Echozeit)	25 ms	9 ms	25 ms	28 ms
Kippwinkel	90°	90°	90°	90°
Schichtdicke	3 mm	3 mm	3 mm	0,68 mm
FOV (Field of view)	AP 150 mm FH 150 mm RL 99 mm	AP 150 mm FH 150 mm RL 99 mm	AP 99 mm FH 150 mm RL 150 mm	AP 169 mm FH 150 mm RL 160 mm
Matrix	AP 272 FH 154 RL 30 slices	AP 256 FH 187 RL 30 slices	AP 30 slices FH 256 RL 187	AP 247 FH 220 RL 236 slices
Voxel	AP 0,59 mm FH 0,75 mm RL 3 mm	AP 0,55 mm FH 0,69 mm RL 3 mm	AP 3 mm FH 0,586 mm RL 0,75 mm	AP 0,68 mm FH 0,68 mm RL 0,68 mm
Untersuchungszeit	02:47 min	02:44 min	02:10 min	04:22 min

3.4. Messpunkte des Kniegelenks

Alle Messungen des Kniegelenks wurden in 3 Gruppen eingeteilt:

1. **Messpunkte des Innenmeniskus**
2. **Geometrie von distalem Femur und proximaler Tibia**
3. **Winkelmessung des Kniegelenks**

Messungen des Innenmeniskus wurden innerhalb 3D-Datensatzes durchgeführt.

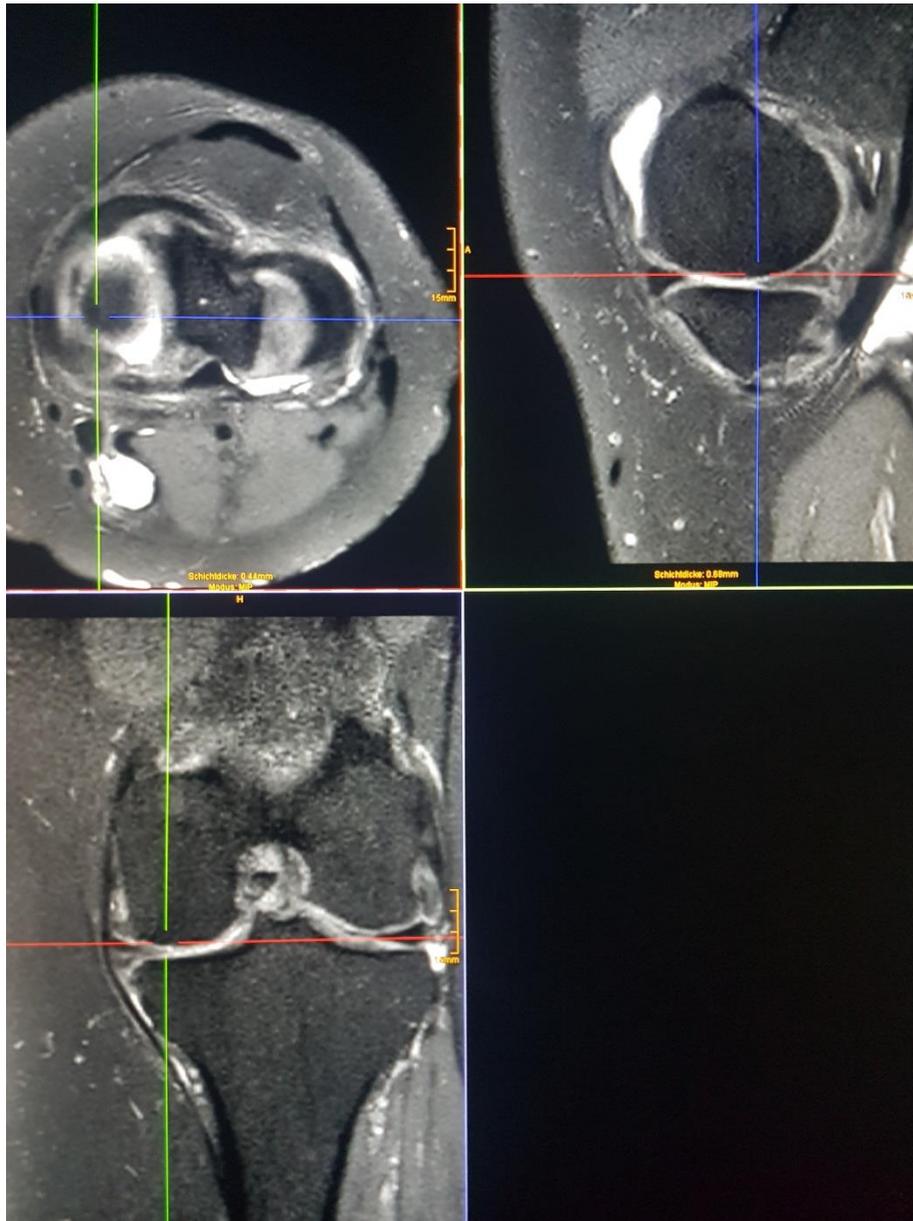


Abbildung 10

Darstellung des Innenmeniskus innerhalb 3D-Datensatzes (3D VIEW PD SPAIR)
Radiologische Praxis Eisenach-Eschwege.

Fallbeispiele der MRT-Messungen finden sich im Anhang (siehe Anlage 2).

Tab. 3: Messpunkte von Innenmeniskus.

Nr.	Abkürzung	Parameter	Technische Durchführung	Fallbeispiel (Anlage 2)
1.	MB_HH	Meniskusbreite für Hinterhorn	Planung in axialer Schnitfführung und 180 Grad Rekonstruktion für Hinterhorn (HH). Mittellinienbereich koronar zwischen Eminentia intercondylaris medialis und medialen Meniskusrand. Messung sagittal innerhalb 3D-Datensatzes.	Abbildung 11
2.	MB_VH	Meniskusbreite für Vorderhorn	Planung in axialer Schnitfführung und 180 Grad Rekonstruktion für das Vorderhorn (VH). Mittellinienbereich koronar zwischen Eminentia intercondylaris medialis und medialen Meniskusrand. Messung sagittal innerhalb 3D-Datensatzes.	Abbildung 12
3.	MB_PI	Meniskusbreite für Pars Intermedia	Planung in axialer Schnitfführung und 90 Grad Rekonstruktion für Pars Intermedia (PI). Mittellinienbereich koronar am medialen Rand von Eminentia intercondylaris medialis. Messung coronar innerhalb des 3D-Datensatzes.	Abbildung 13
4.	MB_HH-PI	Meniskusbreite zwischen Hinterhorn und Pars Intermedia	Planung in axialer Schnitfführung und 45 Grad Rekonstruktion für Übergang zwischen Hinterhorn und Pars Intermedia (HH-PI). Mittellinienbereich koronar am medialen Rand von Eminentia intercondylaris medialis. Messung koronar innerhalb 3D-Datensatzes.	Abbildung 14
5.	MB_VH-PI	Meniskusbreite zwischen Vorderhorn und Pars Intermedia	Planung in axialer Schnitfführung und 45 Grad Rekonstruktion für Übergang zwischen Vorderhorn und Pars Intermedia (VH-PI). Mittellinienbereich koronar am medialen Rand von Eminentia intercondylaris medialis. Messung koronar innerhalb des 3D-Datensatzes.	Abbildung 15
6.	VH-HH_max	Maximaler Gesamtdurchmesser von Meniskus Vorderhorn bis Hinterhorn	Maximaler Gesamtdurchmesser des Meniskus' (in sagittal zur Basis). Mittellinienbereich koronar zwischen Eminentia intercondylaris medialis und medialen Meniskusrand. Schnitfführung im größten sagittalen Durchmesser (Meniskus Spitze zur Meniskus Spitze).	Abbildung 16
7.	VH-HH_min	Minimaler Gesamtdurchmesser von Meniskus Vorderhorn bis Hinterhorn	Minimaler Gesamtdurchmesser des Meniskus' (in sagittal zur Basis). Mittellinienbereich koronar zwischen Eminentia intercondylaris medialis und medialen Meniskusrand. Schnitfführung im kleinsten sagittalen Durchmesser (Meniskus Spitze zur Meniskus Spitze).	Abbildung 17
8.	MH_max	Maximale Meniskushöhe	Planung in axialer Schnitfführung und 180 Grad Rekonstruktion für das Hinterhorn. Mittellinienbereich koronar am medialen Meniskusrand. Gemessen wird die maximale Höhe der Meniskusbasis im Hinterhorn. Messung sagittal innerhalb 3D-Datensatzes.	Abbildung 18

Tab. 4: Geometrie von distalem Femur und proximaler Tibia.

Nr.	Abkürzung	Parameter	Technische Durchführung	Fallbeispiel (Anlage 2)
1.	dmC	Breite von medialen Femurkondylus	Bezugspunkt Mitte Fossa Intercondylaris (Übergang zur Trochlea). Messung koronar bis zur medialen Gelenkwand.	Abbildung 19
2.	dIC	Breite von lateralen Femurkondylus	Bezugspunkt Mitte Fossa Intercondylaris (Übergang zur Trochlea). Messung koronar bis lateraler Gelenkwand.	Abbildung 20
3.	dmT	Breite von medialer Tibia	Bezugspunkt Mitte zwischen Eminentia Intercondylaris lateralis und medialis. Messung koronar bis zu medialer Gelenkwand.	Abbildung 21
4.	dIT	Breite von lateraler Tibia	Bezugspunkt Mitte zwischen Eminentia Intercondylaris lateralis und medialis. Messung koronar bis zu lateraler Gelenkwand.	Abbildung 22
5.	dF	Breite Femur	Größte Diameter koronar von medialer bis zu lateraler Gelenkwand.	Abbildung 23
6.	dT	Breite Tibia	Größte Diameter koronar von medialer bis zu lateraler Gelenkwand.	Abbildung 24

Tab. 5: Winkelmessung des Kniegelenks.

Nr.	Abkürzung	Parameter	Technische Durchführung	Fallbeispiel (Anlage 2)
1.	aMPTA	Anatomischer medial-proximaler Tibia-Winkel	Anhand der axialen Schnitfführung wird die Mittellinie bestimmt (proximale Tibia Diaphyse). Übertragung der Mittellinie und Messung koronar bis zum Mittelpunkt Eminentia intercondylaris. Messung der gesamten Gelenkfläche von proximaler Tibia. Messung des anatomischen medial-proximalen Tibia-Winkels koronar.	Abbildung 25
2.	aLDFA	Anatomischer lateral-distaler Femur-Winkel	Anhand der axialen Schnitfführung wird die Mittellinie bestimmt (distale Femur Diaphyse). Übertragung der Mittellinie und Messung koronar bis zum Mittelpunkt Fossa intercondylaris. Messung der gesamten Gelenkfläche von distalem Femur. Messung des anatomischen lateral-distalen Femur-Winkels koronar.	Abbildung 26
3.	ATFA	Anatomischer tibiofemorale Winkel	Anhand der axialen Schnitfführung wird die Mittellinie für Tibia bestimmt (proximale Tibia Diaphyse). Übertragung der Mittellinie und Messung koronar bis zum Mittelpunkt Eminentia intercondylaris. Anhand der axialen Schnitfführung wird die Mittellinie für Femur bestimmt (distale Femur Diaphyse). Übertragung der Mittellinie und Messung koronar bis zum Mittelpunkt Fossa intercondylaris. Messung des anatomischen tibiofemorale Winkels koronar.	Abbildung 27
4.	T-Slope	Tibial Slope	Größte Diameter medialer Tibia in sagittaler Schnitfführung. Bildung einer Tangente zur tibialen Gelenkfläche medial. Erstellung einer Mittellinie der Tibia mit 2 Messpunkten. Übertragung der Mittellinie von Tibia über mehreren Schnittpunkten. Messung der Tibial Slope.	Abbildung 28

3.5. Definition der Vergleichsgruppen

Klassifikation des Meniskusschadens nach Stoller 0/I vs. Stoller II/III

Zur Gruppe Stoller 0/I gehörten die Patienten, die Innenmeniskusschäden nach Klassifikation von Stoller und Crues Grad 0 (normaler Meniskus) oder Grad I (punktförmige Degeneration) zeigten.

Zur Gruppe Stoller II/III gehörten die Patienten, die Innenmeniskusschäden nach Klassifikation von Stoller und Crues Grad II (lineare Degeneration, möglicher Riss) oder Grad III (Riss) zeigten (siehe Einleitung, Kapitel 1.4.).

3.6. Statistische Auswertung

Die erhobenen Daten wurden in eine Exceltabelle (Microsoft Office 365 ProPlus) bzw. ein SPSS-Datenblatt (IBM SPSS Statistics 25) übertragen.

Die Auswertung erfolgte anonymisiert durch die Studien-Ärzte selbst.

Die statistischen Berechnungen erfolgten durch:

1. Chi-Quadrat-Test nach Pearson: Altersgruppen, Anamnesedauer, Geschlecht, Sportliche Aktivität, Beruf und Tätigkeiten, Rauchen.
2. Exakter Fisher-Yates-Test: BMI.
3. T-Test für 2 unabhängige Stichproben: Messungen von Innenmenisken (Breite, Höhe, Gesamtdurchmesser), Diameter von Femur und Tibia, Winkelmessungen des Kniegelenkes.
4. Intra-Klassen-Korrelation: Messungen von Innenmenisken (Breite und Höhe), Diameter von Femur und Tibia.

Das Signifikanzniveau wurde einheitlich auf $p \leq 0,05$ festgelegt.

Quantifizierung der Übereinstimmung erfolgte zwischen mehreren Beurteilern (3 Radiologen) in Bezug auf die signifikanten Messungen. Die Intra-Klassen-Korrelation wird berechnet mit Interpretation nach Guideline von Koo und Li (Koo et al. 2016).

4. Ergebnisse

4.1. Bestimmung der Reliabilität (Inter-Observer-Übereinstimmung) der MRT-Messungen

Zu Beginn wurde die Validität der Untersuchungen durch Bestimmung der Intra-Klassen-Korrelation von insgesamt 3 erfahrenen Radiologen an 10 präliminäre Patienten bestimmt. Hierbei wurden nur die wesentlichen Parameter berechnet.

Die Intra-Klassen-Korrelation wurde durchgeführt mit Interpretation nach Guideline von Koo und Li: unter 0,50: Schlechte Übereinstimmung, zwischen 0,50 und 0,75: Moderate Übereinstimmung, zwischen 0,75 und 0,90: Gute Übereinstimmung und über 0,90: Ausgezeichnete Übereinstimmung (Koo et al. 2016).

Die Schätzungen innerhalb der verschiedenen Klassen sind in der Tabelle 6 zu entnehmen.

Tab. 6: Intra-Klassen-Korrelationen.

Parameter des Innenmeniskus	Intra-Klassen-Koeffizient	Parameter der Tibia und Femur	Intra-Klassen-Koeffizient
1. Meniskus Breite HH-PI (Hinterhorn-Pars Intermedia)	0,95	1. Breite von medialen Femurkondyl	0,93
2. Meniskus Breite HH (Hinterhorn)	0,87	2. Breite von lateralen Femurkondyl	0,83
3. Meniskus Breite PI (Pars Intermedia)	0,67	3. Breite Femur	0,92
4. Meniskus Breite VH-PI (Vorderhorn-Pars Intermedia)	0,68	4. Breite medialer Tibia	0,81
5. Meniskus Breite VH (Vorderhorn)	0,84	5. Breite lateraler Tibia	0,94
6. Meniskus Höhe	0,91	6. Breite Tibia	0,97

4.2. Auswertung der Messungen von Innenmenisken

4.2.1. Die Breite und Höhe des Innenmeniskus

In der Gruppe Stoller II/III wurden höhere Messwerte des Innenmeniskus nachgewiesen als in der Gruppe Stoller 0/I. Dieser Unterschied konnte in allen Innenmeniskusmessungen sowohl bei Frauen als auch bei Männern als signifikant nachgewiesen werden. Nachfolgend die statistische Berechnung und die grafische Darstellung.

Geschlecht: Frauen.

Tab. 7: Mittelwert, Standardabweichung und T-Test von Innenmeniskusbreite und -höhe nach Stoller bei Frauen.

Parameter	Klassifikation nach Stoller	N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Signifikanz (T-Test, 2-seitig)
Meniskus Breite_VH	0/I	90	8,9	1,7	p<0,001
	II/III	130	9,8	1,4	
Meniskus Breite_HH	0/I	90	11,7	1,7	p<0,001
	II/III	130	13,4	1,5	
Meniskus Höhe	0/I	90	6,5	0,9	p<0,001
	II/III	130	7,4	1,2	
Meniskus Breite_PI	0/I	90	7,9	1,6	p<0,001
	II/III	130	9,2	1,9	
Meniskus Breite_VH-PI	0/I	90	8,9	1,7	p<0,001
	II/III	130	9,8	1,6	
Meniskus Breite_HH-PI	0/I	90	14,3	1,8	p<0,001
	II/III	130	16,6	2,3	

Geschlecht: Männer.

Tab. 8: Mittelwert, Standardabweichung und T-Test von Innenmeniskusbreite und -höhe nach Stoller bei Männern.

Parameter	Klassifikation nach Stoller	N	Mittelwert	Std.-Abweichung	Signifikanz (T-Test, 2-seitig)
Meniskus Breite_VH	0/I	58	9,6	1,9	p=0,01
	II/III	103	10,4	1,7	
Meniskus Breite_HH	0/I	58	12,3	1,5	p<0,001
	II/III	103	15,2	1,7	
Meniskus Höhe	0/I	58	6,9	0,9	p<0,001
	II/III	103	8,2	1,4	
Meniskus Breite_PI	0/I	58	9,0	1,7	p<0,001
	II/III	103	10,4	2,1	
Meniskus Breite_VH-PI	0/I	58	9,3	1,7	p<0,001
	II/III	103	10,2	1,4	
Meniskus Breite_HH-PI	0/I	58	15,7	1,9	p<0,001
	II/III	103	19,2	1,9	

Die Ergebnisse wurden in einem Box-Plot Diagramm für Frauen und Männer dargestellt.

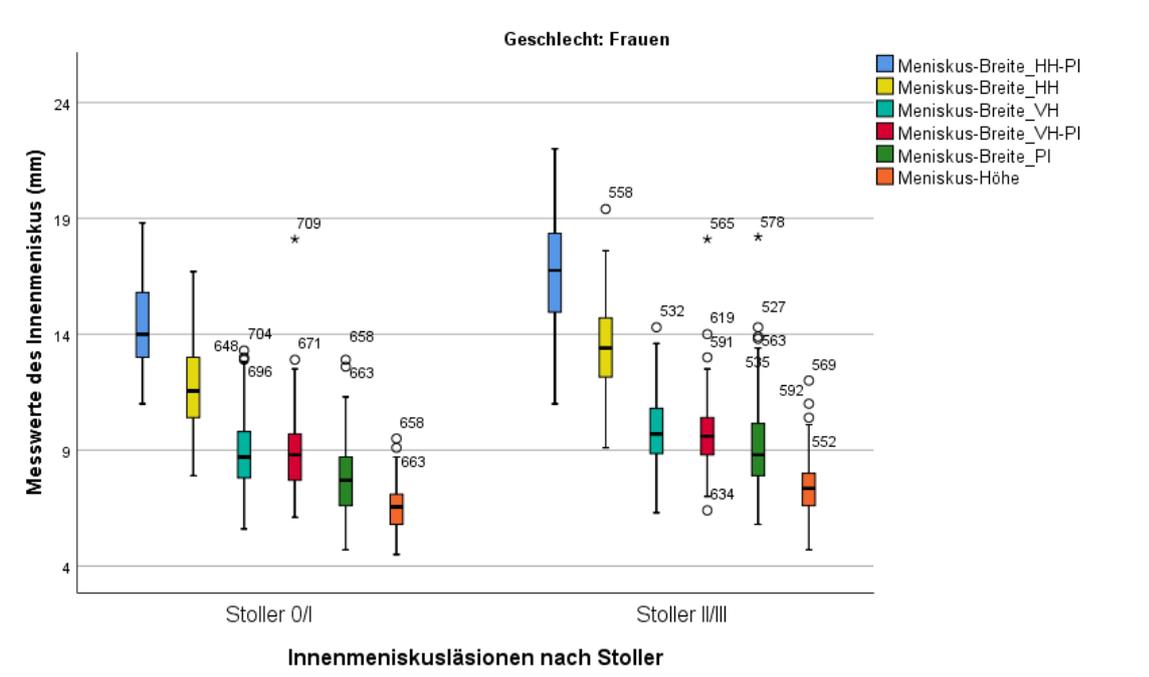


Abbildung 29

Messwerte des Innenmeniskus im Vergleich zu Innenmeniskusläsionen nach Stoller bei Frauen

In der Gruppe Stoller II/III wurden höhere Messwerte des Innenmeniskus (Breite und Höhe) nachgewiesen als in der Gruppe Stoller 0/I.

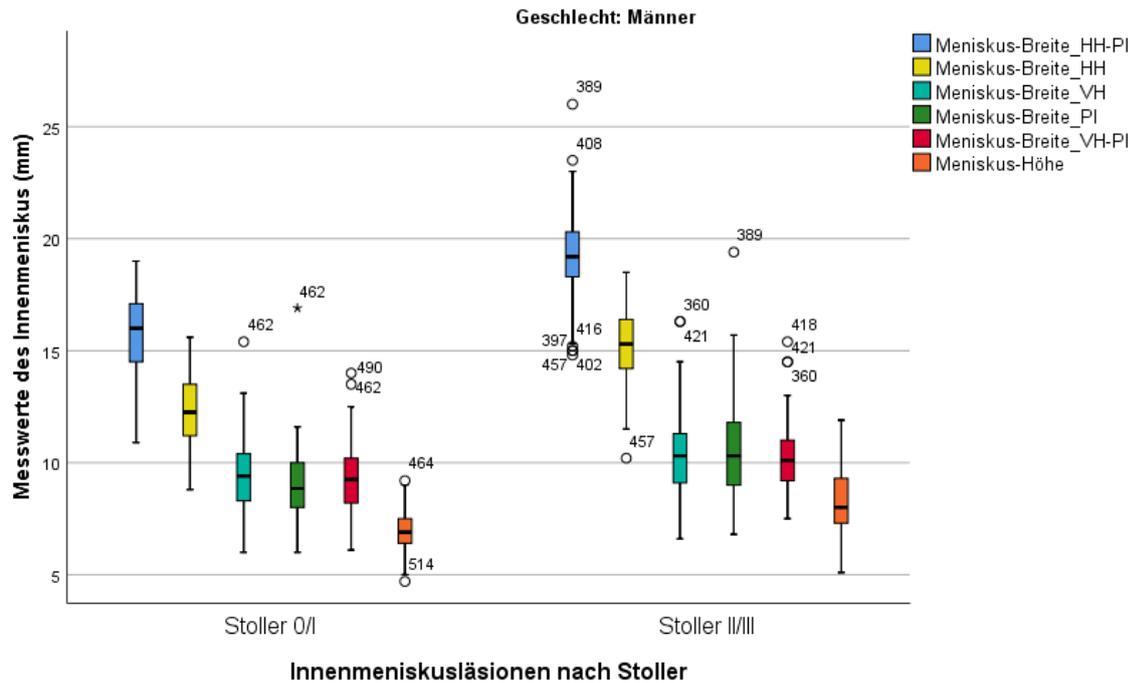


Abbildung 30

Messwerte des Innenmeniskus im Vergleich zu Innenmeniskusläsionen nach Stoller bei Männern

In der Gruppe Stoller II/III wurden höhere Messwerte des Innenmeniskus (Breite und Höhe) nachgewiesen als in der Gruppe Stoller 0/I.

Die deutlichsten Unterschiede zwischen Stoller 0/I und Stoller II/III bei Frauen und Männern bestehen hinsichtlich der Meniskusbreite zwischen Hinterhorn und Pars Intermedia sowie der Breite des Hinterhorns. Daher wurde nur ein Diagramm für diese beiden Messwerte erstellt.

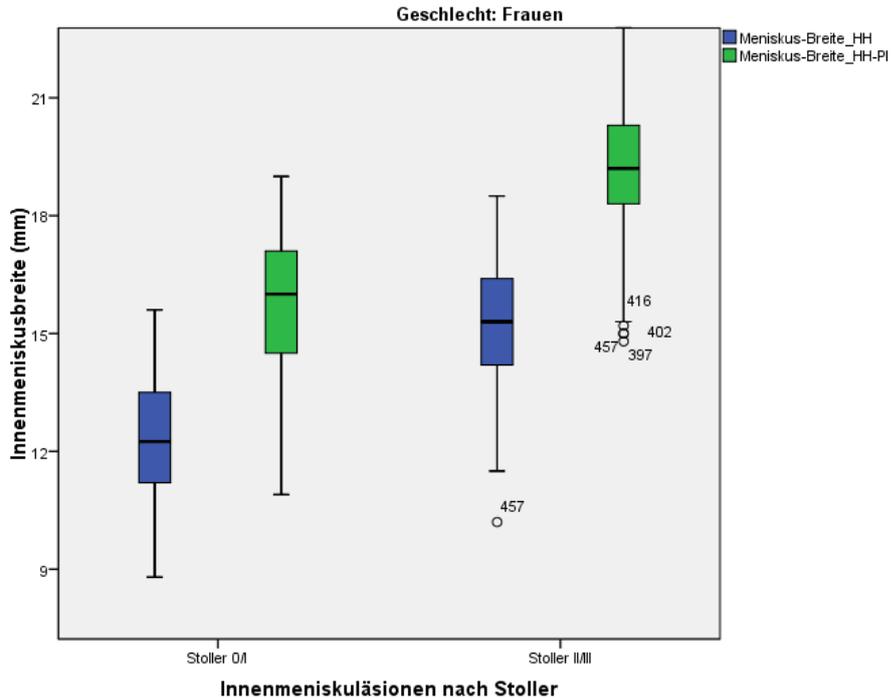


Abbildung 31

Varianzanalyse zwischen Innenmeniskusbreite und Innenmeniskuläsionen nach Stoller bei Frauen

In der Gruppe Stoller II/III wurden höhere Messwerte des Innenmeniskus (MB_HH und MB_HH-PI) nachgewiesen als in der Gruppe Stoller 0/I.

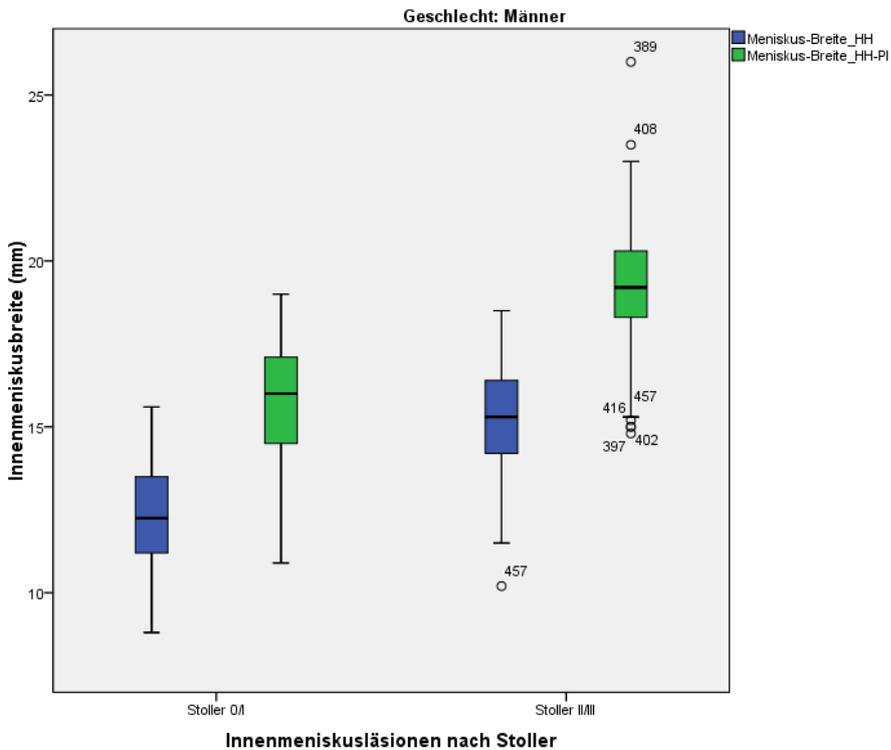


Abbildung 32

Varianzanalyse zwischen Innenmeniskusbreite und Innenmeniskuläsionen nach Stoller bei Männern

In der Gruppe Stoller II/III wurden höhere Messwerte des Innenmeniskus (MB_HH und MB_HH-PI) nachgewiesen als in der Gruppe Stoller 0/I.

Ein Geschlechtsunterschied konnte ebenfalls nachgewiesen werden: Bei Männern zeigte sich ein größerer Unterschied zwischen den Gruppen Stoller 0/I und Stoller II/III – vor allem in der Position zwischen Hinterhorn und Pars Intermedia: 3,5 mm (18,2%) bei Männern und 1,9 mm bei Frauen (11,7%).

4.2.2. Gesamtdurchmesser des Innenmeniskus

Der maximale Gesamtdurchmesser zwischen Vorderhorn und Hinterhorn hat in der Gruppe Stoller II/III höhere Werte als in der Gruppe Stoller 0/I. Dieser Unterschied konnte sowohl bei Frauen als auch bei Männern als signifikant nachgewiesen werden. Der minimale Gesamtdurchmesser zwischen Vorderhorn und Hinterhorn zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen.

Geschlecht: Frauen

Tab. 9: Mittelwert, Standardabweichung und T-Test vom Gesamtdurchmesser der Menisken nach Stoller bei Frauen.

Parameter	Klassifikation nach Stoller	N	Mittelwert (mm)	Std.-Abweichung	Signifikanz (T-Test, 2-seitig)
Gesamtdurchmesser Vorderhorn-Hinterhorn_max.	0/I	90	43,5	2,9	p<0,001
	II/III	130	45,5	3,0	
Gesamtdurchmesser Vorderhorn-Hinterhorn_min.	0/I	90	22,6	2,7	p=0,67
	II/III	130	21,9	3,0	

Geschlecht: Männer

Tab. 10: Mittelwert, Standardabweichung und T-Test vom Gesamtdurchmesser der Menisken nach Stoller bei Männern.

Parameter	Klassifikation nach Stoller	N	Mittelwert (mm)	Std.-Abweichung	Signifikanz (T-Test, 2-seitig)
Gesamtdurchmesser Vorderhorn-Hinterhorn_max	0/I	58	47,5	2,9	p<0,001
	II/III	103	50,0	3,6	
Gesamtdurchmesser Vorderhorn-Hinterhorn_min	0/I	58	25,2	3,0	p=0,61
	II/III	103	24,3	2,8	

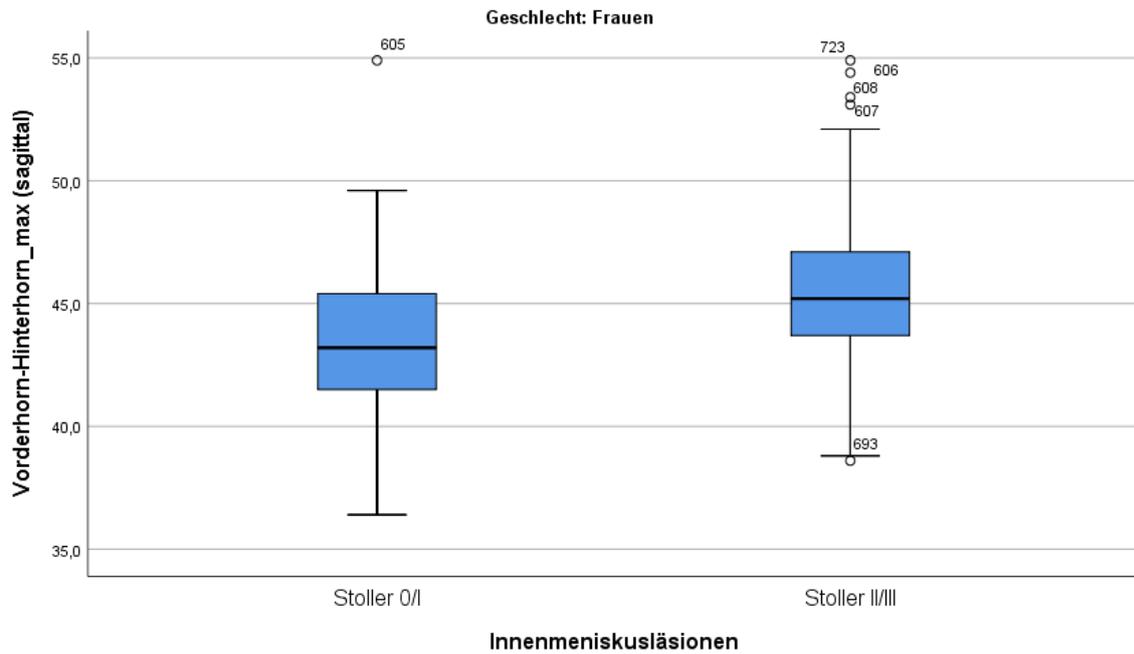


Abbildung 33

Maximaler Gesamtdurchmesser zwischen Vorderhorn und Hinterhorn (mm) im Vergleich zu Innenmeniskusläsionen bei Frauen

Der maximale Gesamtdurchmesser zwischen Vorderhorn und Hinterhorn hat in der Gruppe Stoller II/III höhere Werte als in der Gruppe Stoller 0/I.

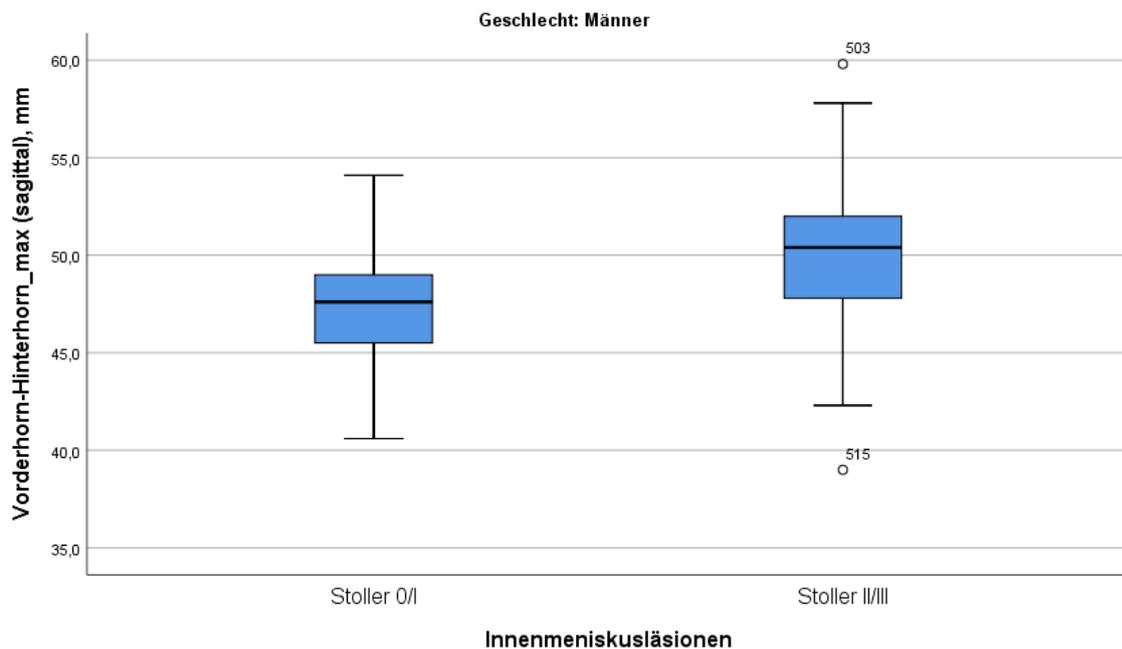


Abbildung 34

Maximaler Gesamtdurchmesser zwischen Vorderhorn und Hinterhorn (mm) im Vergleich zu Innenmeniskusläsionen bei Männern

Der maximale Gesamtdurchmesser zwischen Vorderhorn und Hinterhorn hat in der Gruppe Stoller II/III höhere Werte als in der Gruppe Stoller 0/I.

4.3. Messungen von distalem Femur und proximaler Tibia

Die Diameter von distalem Femur und proximaler Tibia hatten in der Gruppe Stoller II/III höhere Werte als in der Gruppe Stoller 0/I. Dieser Unterschied konnte für die Breite des Femurs und der Tibia, für die Breite des medialen Femurs, medialer und lateraler Tibia als signifikant nachgewiesen werden.

Nachfolgend die statistische Berechnung und die grafische Darstellung.

Tab. 11: Mittelwert, Standardabweichung und T-Test von Femur und Tibia Diameter nach Stoller.

Parameter	Klassifikation nach Stoller	N	Mittelwert (mm)	Std.-Abweichung	Signifikanz (T-Test, 2-seitig)
Breite Femur	0/I	148	70,7	6,2	p=0,002
	II/III	233	72,7	5,8	
Breite Tibia	0/I	148	72,7	5,6	p=0,016
	II/III	233	74,5	6,2	
Breite med. Femurkondyl	0/I	148	38,3	3,2	p=0,002
	II/III	233	39,2	3,2	
Breite lat. Femurkondyl	0/I	148	41,5	3,6	p=0,071
	II/III	233	42,2	3,7	
Breite medialer Tibia	0/I	148	34,8	3,2	p=0,006
	II/III	233	36,0	4,6	
Breite lateraler Tibia	0/I	148	37,7	3,3	p=0,025
	II/III	233	38,5	3,6	

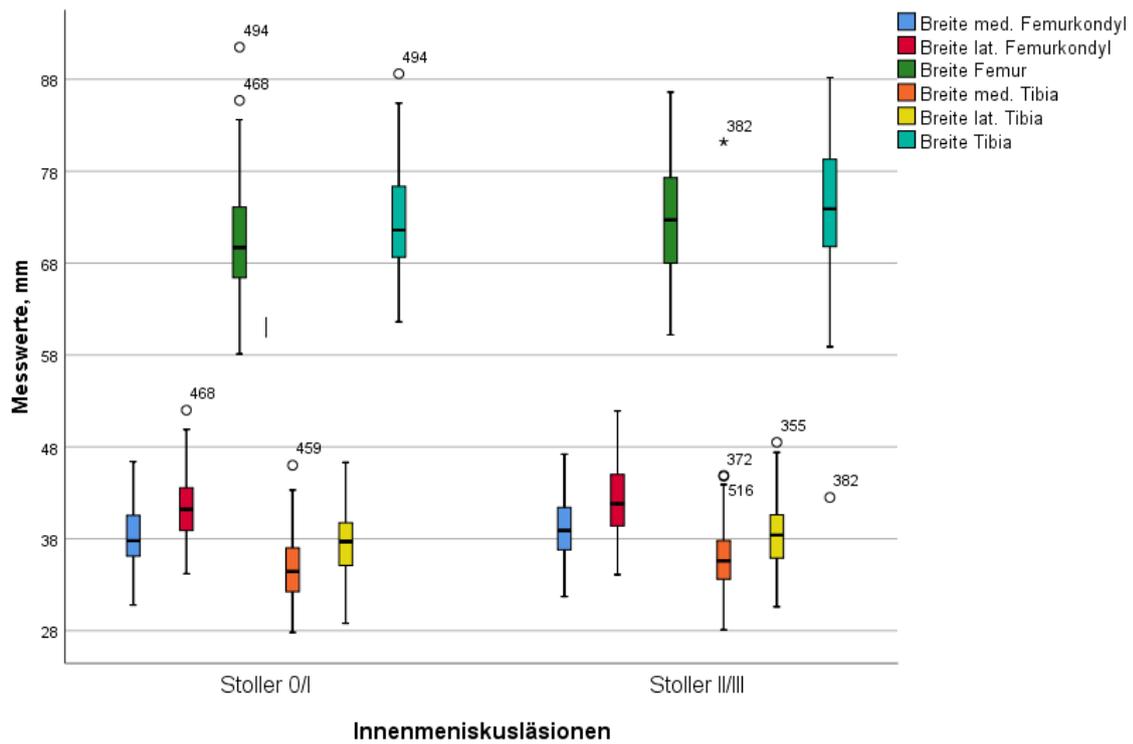


Abbildung 35

Mittelwerte von Femur-, Tibiabreite und Kondylen im Vergleich zu Innenmeniskuläsionen nach Stoller

Die Durchmesser von distalem Femur und proximaler Tibia hatten in der Gruppe Stoller II/III höhere Werte als in der Gruppe Stoller 0/I. Dieser Unterschied konnte für die Breite des Femurs und der Tibia, für die Breite des medialen Femurs, medialer und lateraler Tibia als signifikant nachgewiesen werden.

4.4. Indexberechnung: Innenmeniskusgröße im Bezug zu den Tibiadiametern

Das Ziel dieser Berechnung war es, die Größe des Innenmeniskus (Meniskusbreite zwischen Hinterhorn und Pars Intermedia, MB_HH-PI und die Breite des Hinterhorns, MB_HH), im Bezug zu den Tibiadiametern zu bestimmen und zwischen den Gruppen Stoller 0/I und Stoller II/III zu vergleichen.

1. Innenmeniskusgröße im Bezug zu medialer Tibia

Es wurde ein prozentualer Index der Innenmeniskusgröße (MB_HH und MB_HH-PI) im Bezug zum Diameter von medialer Tibia (siehe Abb. 21, Anhang) berechnet. In der Gruppe Stoller II/III wurden höhere Mittelwerte (%) der Innenmeniskusgröße im Bezug zur medialen Tibia nachgewiesen als in der Gruppe Stoller 0/I. Dieser Unterschied war sowohl für die Meniskusbreite für Hinterhorn, als auch für die Meniskusbreite für Hinterhorn-Pars Intermedia signifikant.

Nachfolgend die statistische Berechnung und graphische Darstellung.

Tab. 12: Indexberechnung: Innenmeniskusgröße im Bezug zu medialer Tibia.

Parameter	Klassifikation nach Stoller	N	Mittelwert (%)	Std.-Abweichung	Signifikanz (T-Test, 2-seitig)
Index der Innenmeniskusgröße (MB_HH-PI) im Bezug zum Diameter von medialer Tibia	0/I	148	43,1	6,1	p<0,001
	II/III	233	49,7	6,8	
Index der Innenmeniskusgröße (MB_HH) im Bezug zum Diameter von medialer Tibia	0/I	148	34,5	5,5	p<0,001
	II/III	233	39,7	5,5	

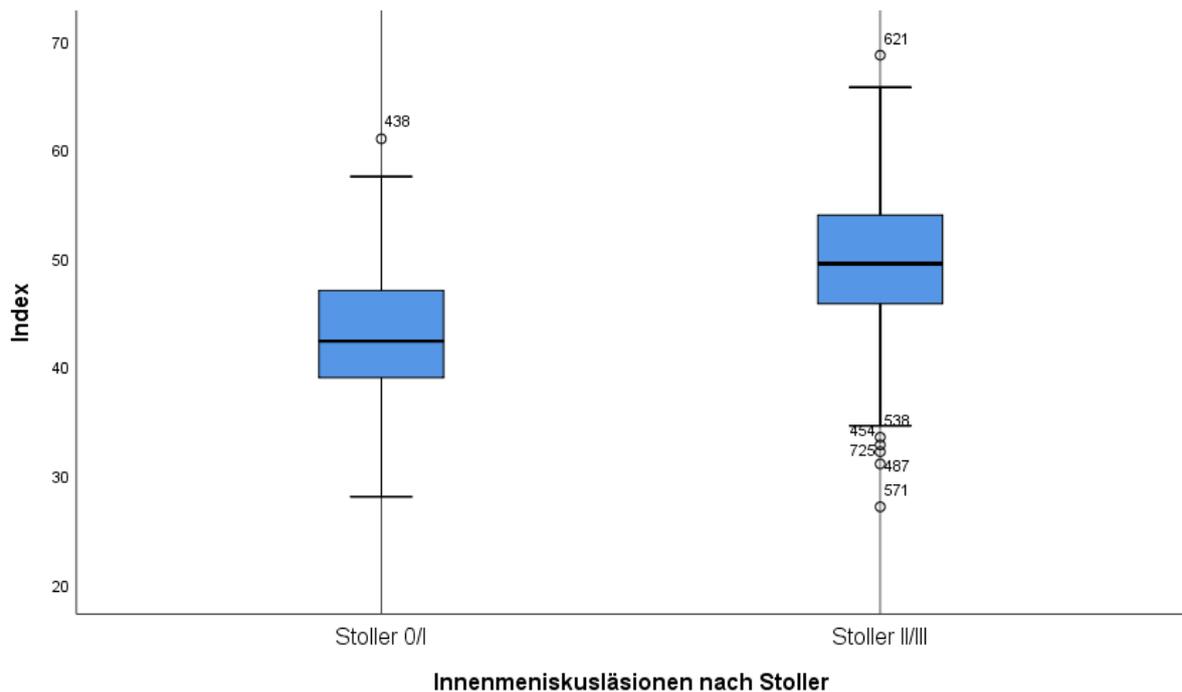


Abbildung 36

Prozentualer Index der Innenmeniskusgröße (MB_HH-PI) im Bezug zum Diameter von medialer Tibia

In der Gruppe Stoller II/III wurden signifikant höhere Mittelwerte (%) der Innenmeniskusgröße im Bezug zur medialen Tibia nachgewiesen als in der Gruppe Stoller 0/I.

2. Innenmeniskusgröße im Bezug zur Tibiabreite

Es wurde ein prozentualer Index der Innenmeniskusgröße (MB_HH und MB_HH-PI) im Bezug zum Diameter von Tibia (siehe Abb. 24, Anhang) berechnet. In der Gruppe Stoller II/III wurden höhere Mittelwerte (%) der Innenmeniskusgröße im Bezug zur Tibia nachgewiesen als in der Gruppe Stoller 0/I. Dieser Unterschied war sowohl für die Meniskusbreite für Hinterhorn, als auch für die Meniskusbreite für Hinterhorn-Pars Intermedia signifikant.

Nachfolgend die statistische Berechnung und graphische Darstellung.

Tab. 13: Indexberechnung: Innenmeniskusgröße im Bezug zur Tibiabreite.

Parameter	Klassifikation nach Stoller	N	Mittelwert (%)	Std.-Abweichung	Signifikanz (T-Test, 2-seitig)
Index der Innenmeniskusgröße (MB_HH-PI) im Bezug zur Tibiabreite	0/I	148	20,5	2,6	p<0,001
	II/III	233	23,9	3,5	
Index der Innenmeniskusgröße (MB_HH) im Bezug zur Tibiabreite	0/I	148	16,5	2,3	p<0,001
	II/III	233	19,2	2,9	

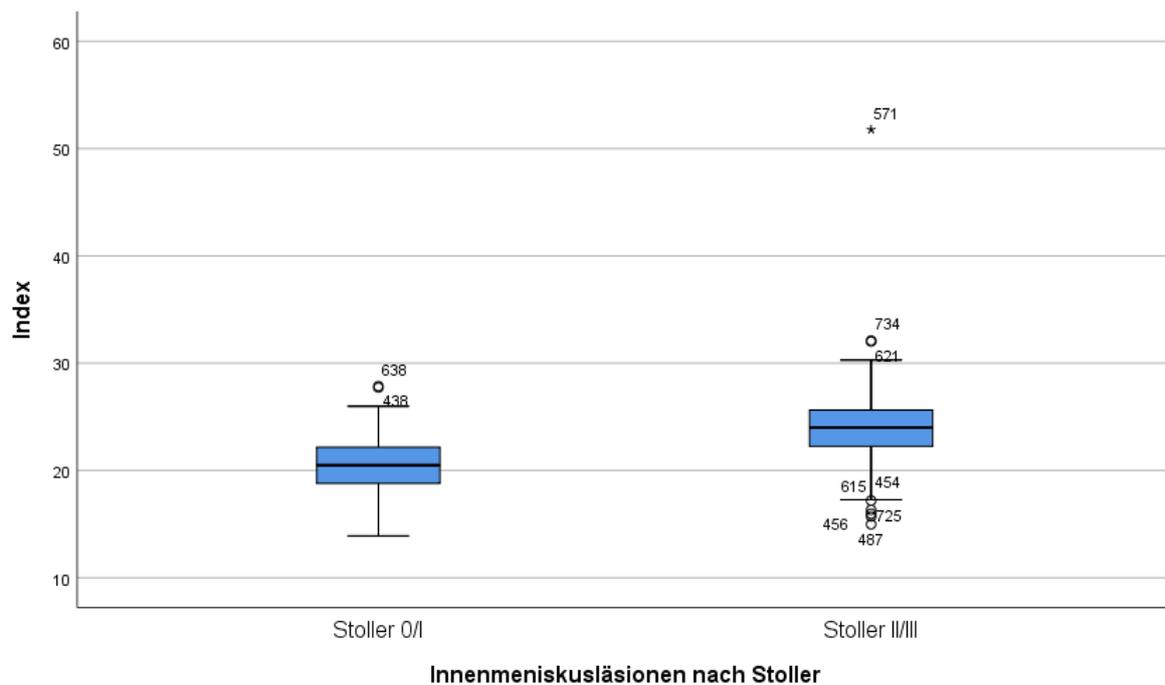


Abbildung 37

Prozentualer Index der Innenmeniskusgröße (MB_HH-PI) im Bezug zur Tibiabreite

In der Gruppe Stoller II/III wurden signifikant höhere Mittelwerte (%) der Innenmeniskusgröße im Bezug zur Tibia nachgewiesen als in der Gruppe Stoller 0/I.

4.5. Auswertung der Winkelmessungen

4.5.1. Anatomischer medial-proximaler Tibia und anatomischer lateral-distaler Femurwinkel

Anatomischer medial-proximaler Tibiawinkel und anatomischer lateral-distaler Femurwinkel zeigten keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen Stoller 0/I und Stoller II/III ($p > 0,05$).

Tab. 14: Mittelwert, Standardabweichung und T-Test von aMPTA und aLDFA nach Stoller.

Parameter	Klassifikation nach Stoller	N	Mittelwert (mm)	Std.-Abweichung	Signifikanz (T-Test, 2-seitig)
Anatomischer medial-proximaler Tibiawinkel	0/I	148	88,8	2,2	p=0,072
	II/III	233	88,4	2,2	
Anatomischer lateral-distaler Femurwinkel	0/I	148	80,7	3,0	p=0,952
	II/III	233	80,7	5,3	

4.5.2. Anatomischer tibiofemoraler Winkel

Anatomischer tibiofemoraler Winkel zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen Stoller 0/I und Stoller II/III ($p > 0,05$).

Tab. 15: Mittelwert, Standardabweichung und T-Test von ATFA nach Stoller.

Parameter	Klassifikation nach Stoller	N	Mittelwert (mm)	Std.-Abweichung	Signifikanz (T-Test, 2-seitig)
Anatomischer tibiofemoraler Winkel	0/I	148	7,1	3,2	p=0,078
	II/III	233	6,5	3,1	

4.5.3. Tibial Slope

Tibial Slope zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen Stoller 0/I und Stoller II/III ($p > 0,05$).

Tab. 16: Mittelwert, Standardabweichung und T-Test von Tibial Slope nach Stoller.

Parameter	Klassifikation nach Stoller	N	Mittelwert (mm)	Std.-Abweichung	Signifikanz (T-Test, 2-seitig)
Tibial Slope	0/I	148	83,9	5,2	p=0,223
	II/III	233	84,5	4,1	

4.6. Auswertung der anamnestischen Erhebung

4.6.1. Alter der Patienten

Ausgewertet wurden die Daten von 381 Patienten im Alter von 12 bis 82 Jahren (Median $50,0 \pm 16,4$ Jahre). Die Patienten wurden vier Altersgruppen zugeteilt, wobei die Altersgruppe 1 (AG1) die bis 20-Jährigen, die Altersgruppe 2 (AG2) die 21- bis 40-Jährigen, die Altersgruppe 3 (AG3) die 41- bis 60-Jährigen und die Altersgruppe 4 (AG4) die 61-Jährigen und Älteren erfasste. Wie stark die einzelnen Altersgruppen vertreten waren, ist der Tabelle 5 zu entnehmen.

Tab. 17: Anzahl der Patienten in den einzelnen Altersgruppen.

	AG1 bis 20 Jahre	AG2 21 bis 40 Jahre	AG3 41 bis 60 Jahre	AG4 ab 61 Jahre	Gesamt
Männer	13 (3,4%)	55 (14,4%)	68 (17,8%)	25 (6,5%)	161 (42,1%)
Frauen	24 (6,5%)	33 (8,6%)	111 (29,1%)	52 (13,6%)	220 (57,9%)
Gesamt	37 (9,9%)	88 (23%)	179 (46,9%)	77 (20,2%)	381 (100%)

Tab. 18: Kreuztabelle der Altersgruppen und Innenmeniskusschaden.

Altersgruppen	Stoller 0/I	Stoller II/III	Gesamt
AG1	28	10	38
AG2	53	35	88
AG3	54	124	178
AG4	13	64	77
Gesamt	148	233	381

Bewertung: Es besteht eine Assoziation zwischen Innenmeniskusschaden und Altersgruppen. Der Schweregrad der Meniskusläsionen steigte signifikant ($p < 0,001$) mit zunehmendem Alter und zeigte eine Prädominanz in der Altersgruppe 3 (Abb. 25, Abb. 26):

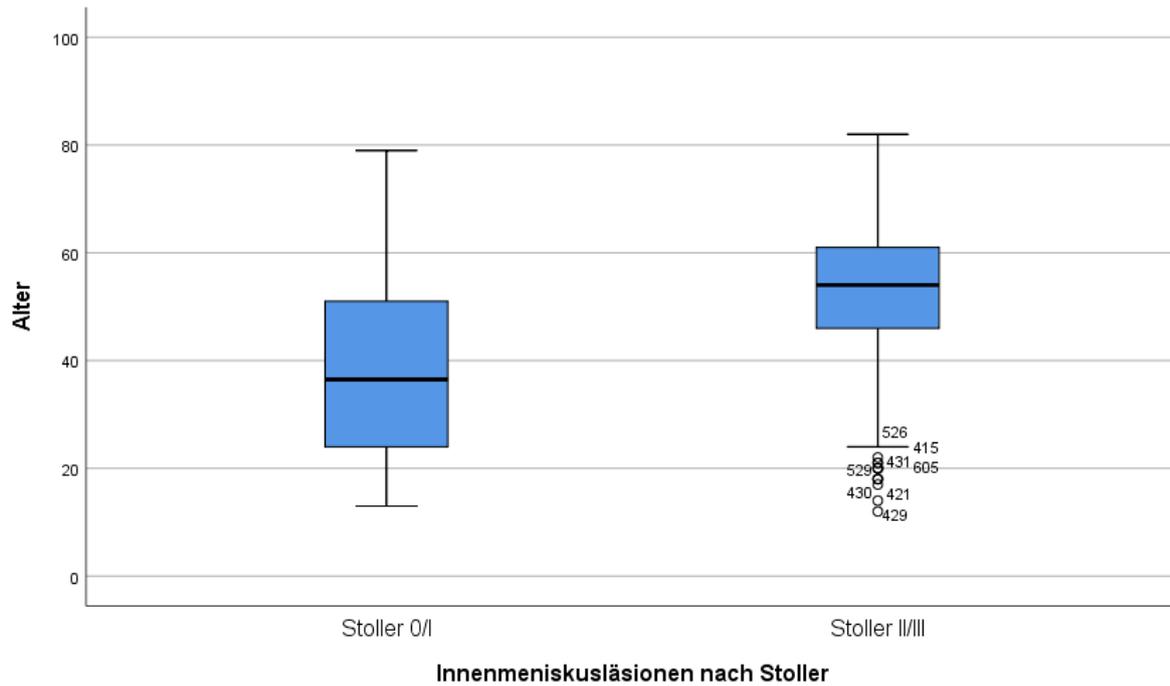


Abbildung 38

Schweregrad der Innenmeniskuläsionen im Vergleich zum Alter

Der Schweregrad der Meniskuläsionen steigt signifikant ($p < 0,001$) mit zunehmendem Alter.

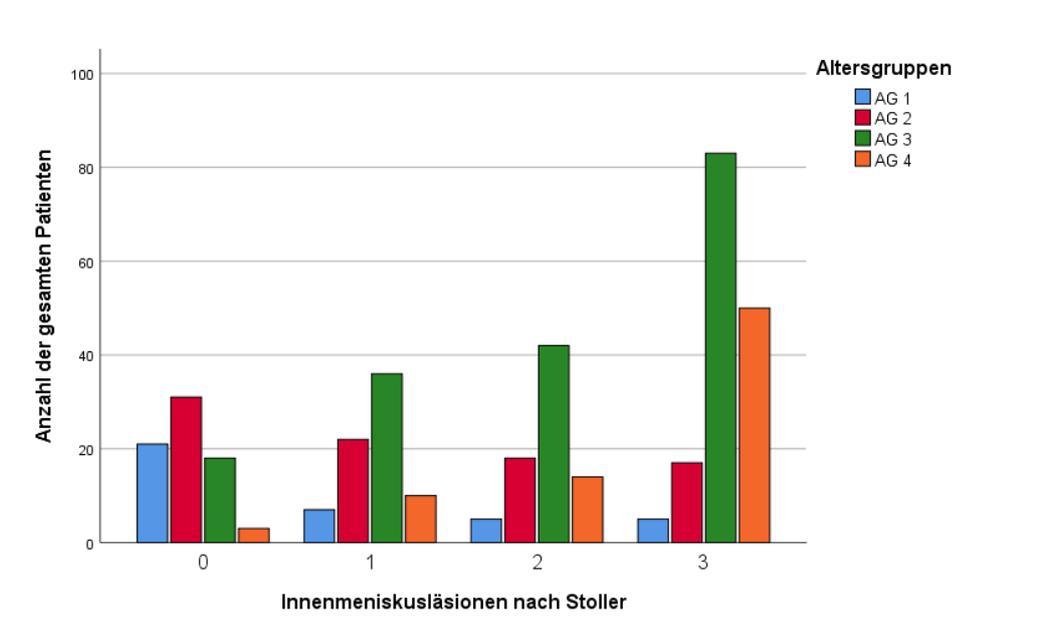


Abbildung 39

Schweregrad der Innenmeniskuläsionen im Vergleich zu verschiedenen Altersgruppen.

Schweregrad der Meniskuläsionen steigte mit einer Prädominanz in der Altersgruppe 3.

4.6.2. Geschlecht

Ausgewertet wurden die Daten von 220 Frauen (57,9 %) und 161 Männer (42,1%). Bei der Beurteilung von Meniskusschäden zwischen Frauen und Männer zeigten sich häufigere Meniskusrisse bei Frauen (23,8%) als bei Männern (16,8%). Allerdings war dieser Zusammenhang nicht signifikant ($p = 0,334$).

4.6.3. Body-Mass-Index

Das Gesamtkollektiv hatte einen mittleren BMI von $26,74 \pm 4,481 \text{ kg/m}^2$ (Frauen und Männer zeigten keinen signifikanten Unterschied) bei großen individuellen Unterschieden (minimaler Wert von 16,45 und maximaler Wert von 39,63). Daher wurden Patienten vier Gruppen zugeteilt: BMI unter 19 – Untergewicht, BMI 19-24 – Normalgewicht, BMI 25-30 – Übergewicht, BMI 31-40 – Fettleibigkeit.

115 (30,1%) Patienten haben die Frage über die Größe und Gewicht nicht geantwortet. Der Schweregrad der Meniskusläsionen steigte signifikant mit zunehmendem BMI ($p < 0,001$).

Wie stark die einzelnen BMI-Gruppen vertreten waren, ist der Tabelle 7 zu entnehmen.

Tab. 19: Anzahl der Patienten in den einzelnen BMI-Gruppen.

BMI Gruppen	BMI 1	BMI 2	BMI 3	BMI 4	Gesamt
Innenmeniskus					
Stoller 0	1 (0,4 %)	21 (7,9%)	16 (6%)	7 (2,6 %)	45 (16,9%)
Stoller 1	1 (0,4 %)	21 (7,9%)	19 (7,1%)	11 (4,1%)	52 (19,5%)
Stoller 2	0 (0%)	14 (5,2%)	29 (10,9%)	15 (5,6%)	58 (21,7 %)
Stoller 3	0 (0%)	22 (8,2 %)	66 (24,7%)	24 (9%)	112 (41,9%)
Gesamt	2 (0,7%)	78 (29,2%)	130 (48,7%)	57 (21,3%)	267 (100%)

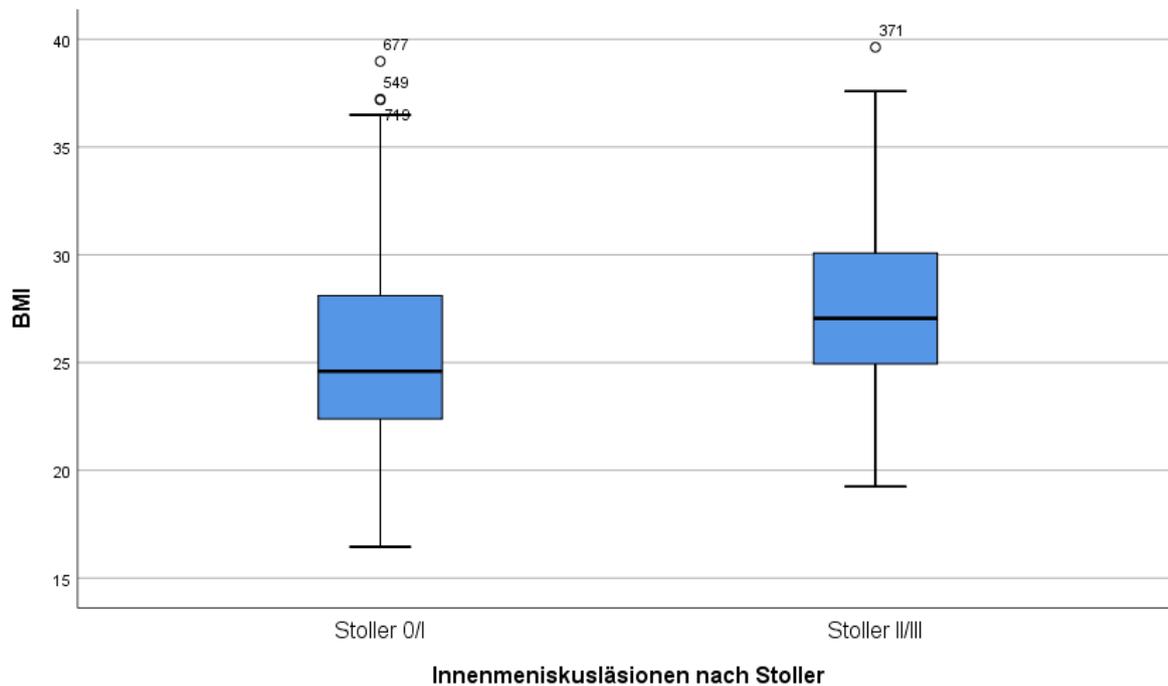


Abbildung 40

Schweregrad der Innenmeniskusläsionen im Vergleich zu BMI

Der Schweregrad der Meniskusläsionen steigt signifikant mit zunehmendem BMI ($p < 0,001$).

4.6.4. Anamnesedauer

Anamnesedauer in Bezug auf den Meniskusschaden ist in Abbildung 41 gezeigt. Die meisten Patienten hatten eine Anamnesedauer zwischen 3 und 12 Monaten. Es bestand Unabhängigkeit zwischen den Innenmeniskusschaden (Stoller 0/I, Stoller II/III) und Anamnesedauer ($p = 0,072$).

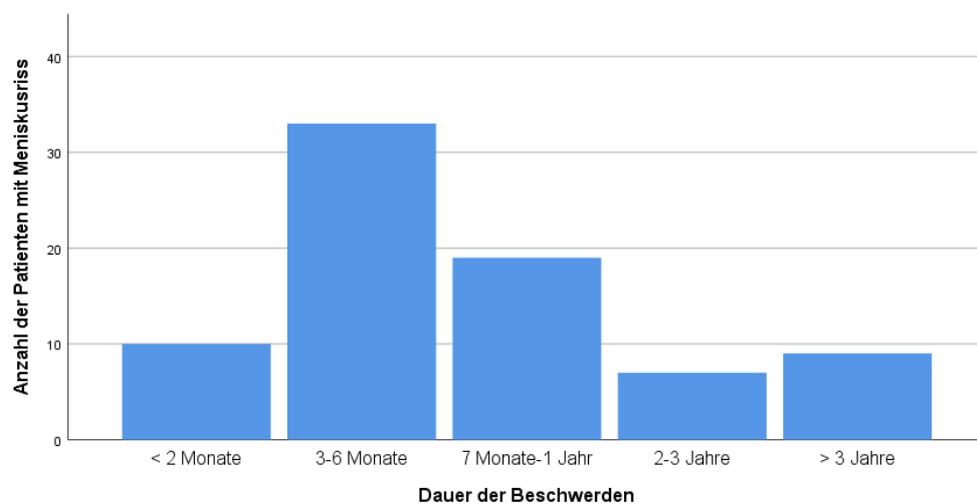


Abbildung 41

Anzahl der Patienten mit Meniskusriss bei unterschiedlicher Dauer der Beschwerden

4.6.5. Sportliche Aktivität

Bei der Befragung über Sport berichteten 120 Patienten (31,41%), dass sie keine körperlichen Aktivitäten unternehmen. 209 Patienten (54,71%) berichteten über einen aktiven Sport und 52 Patienten (13,87%), dass sie früher aktiv Sport betrieben. Am häufigsten wurden die Meniskusrisse bei den Patienten beobachtet, die über einen aktiven Sport berichteten (Abbildung 42).

Die häufigsten Sportarten waren Radsport (43%) und Fußball (43%) (Abbildung 43).

Am Häufigsten traten Risse bei Patienten auf, die in den Bereichen Radsport, Leichtathletik, Fußball und Schwimmen aktiv waren (Abbildung 44).

Nach der statistischen Berechnung gab es keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen sportlicher Aktivität und Innenmeniskusläsionen ($p = 0,134$).

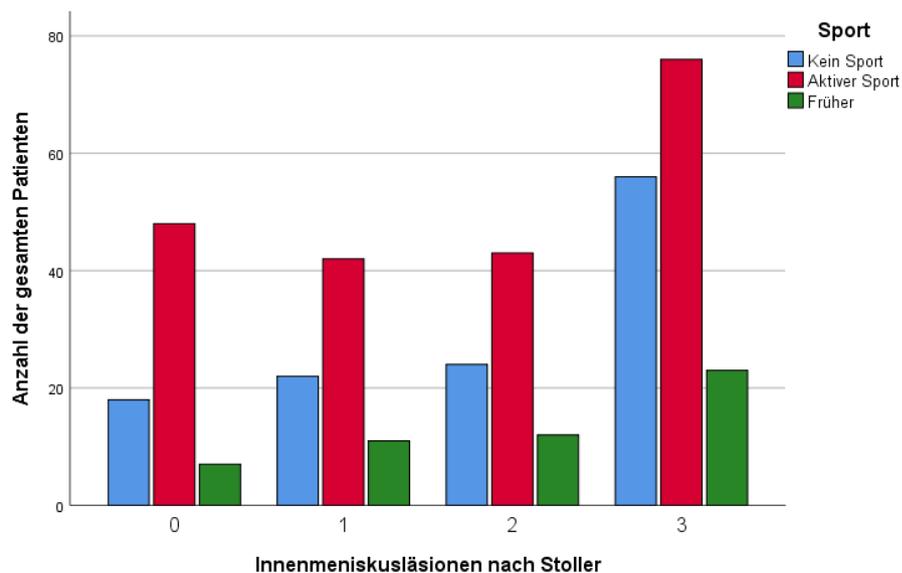


Abbildung 42

Schweregrad der Innenmeniskusläsionen im Vergleich zu verschiedenen Sportaktivitäten

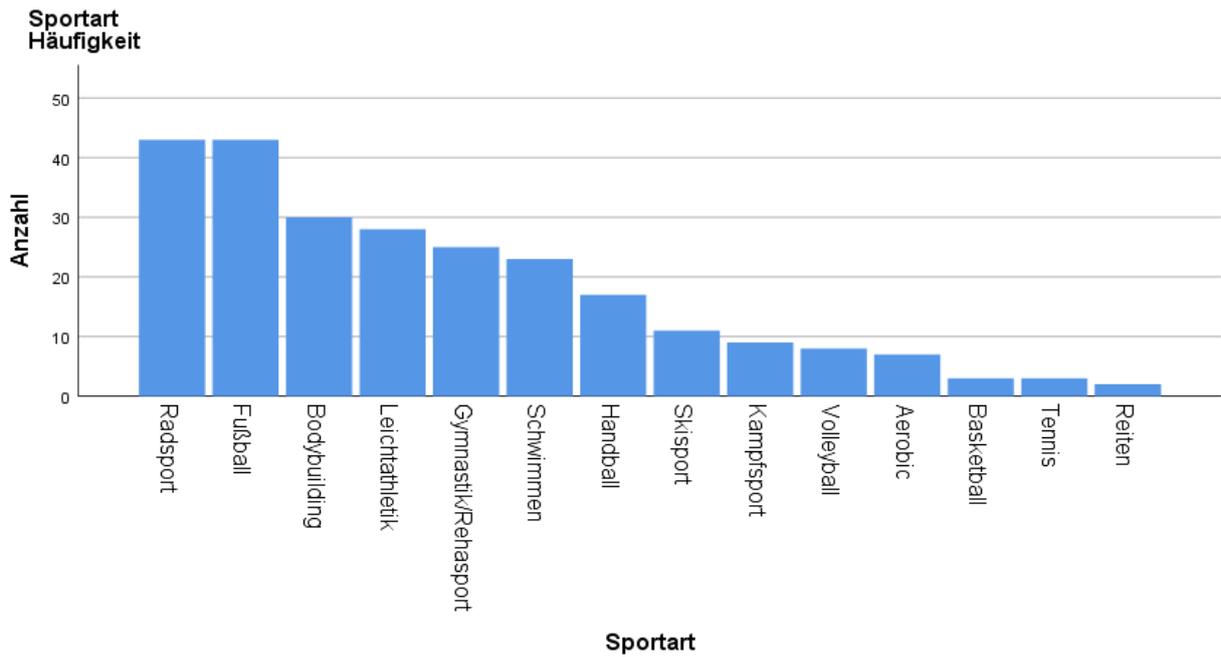


Abbildung 43
Häufigkeit der verschiedenen Sportarten im aktiven Patientenkollektiv
 Die häufigsten Sportarten waren Radsport (43%) und Fußball (43%).

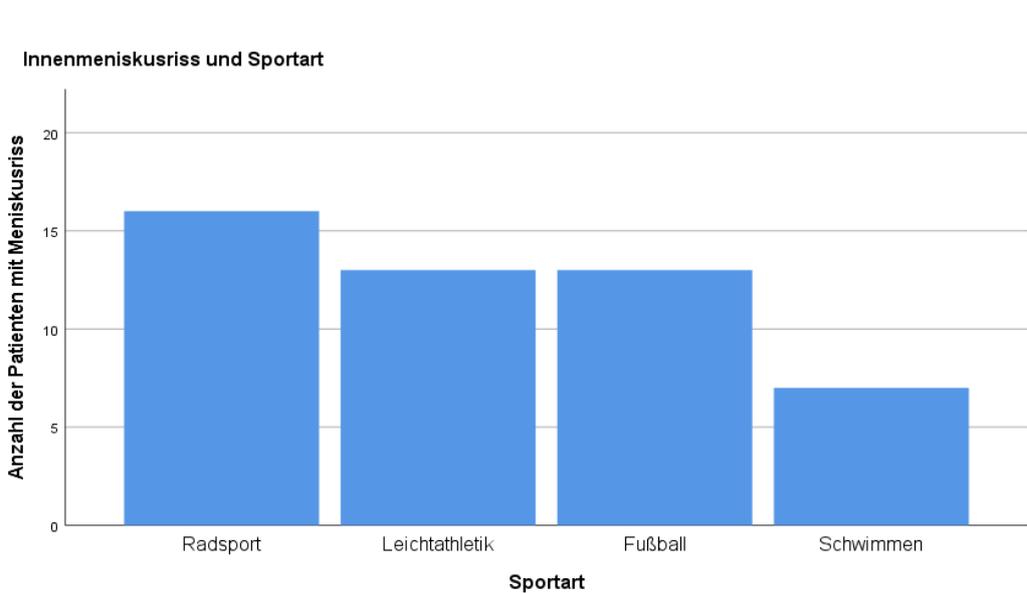


Abbildung 44
Anzahl der Patienten mit Meniskusriss bei unterschiedlichen Sportarten
 Am Häufigsten traten Risse bei Patienten auf, die in den Bereichen Radsport, Leichtathletik, Fußball und Schwimmen aktiv waren.

4.6.6. Beruf und Tätigkeiten

Beruf:

293 (76,9%) Patienten haben die Frage über ihren Beruf beantwortet. Am häufigsten wurden die Bereiche Industrie, Verkauf und in Bürotätigkeiten angegeben (Abbildung 45). Zumeist wurden Innenmeniskusläsionen im Bereich Industrie und Handwerk beobachtet (Abbildung 46).

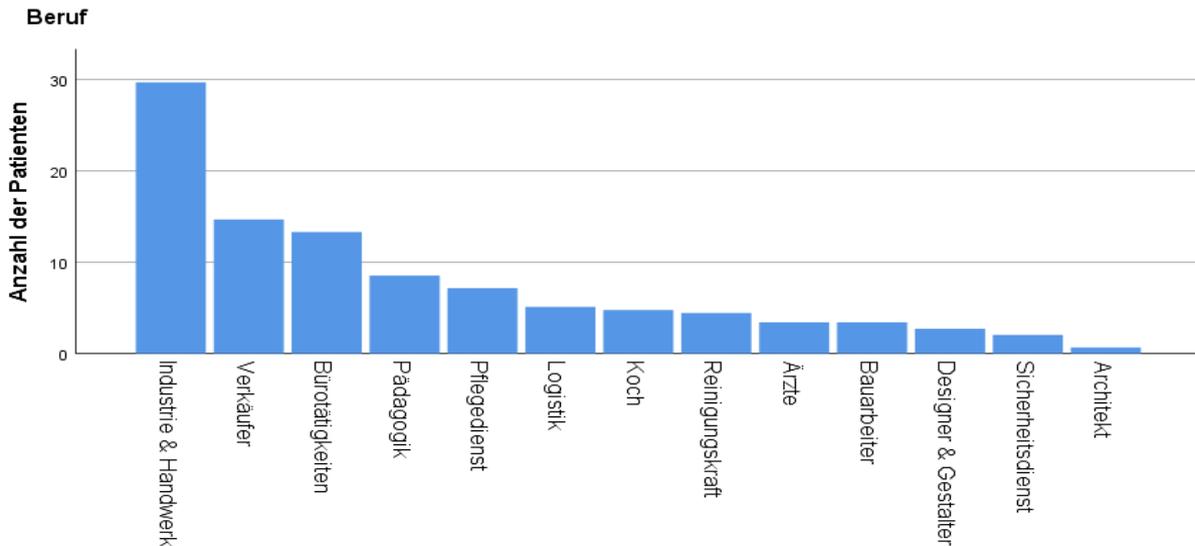


Abbildung 45
Anzahl der Patienten nach ihrem Beruf

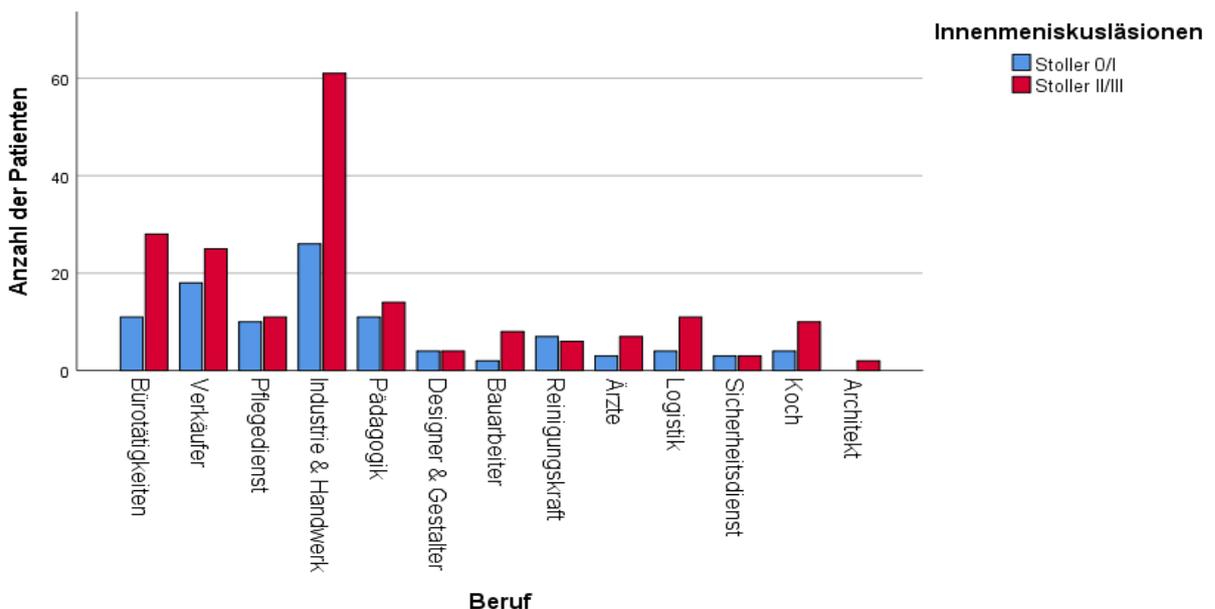


Abbildung 46
Beruf und Schweregrad der Innenmeniskusläsionen
Am häufigsten wurden Innenmeniskusläsionen im Bereich Industrie und Handwerk beobachtet.

Tätigkeiten:

Die Frage über die Tätigkeit der letzten 10 Jahren beantworteten 348 Patienten. 288 (39,2%) Patienten waren erwerbstätig, 27 (3,7%) Patienten waren in der Ausbildung (Schüler und Studenten) und 33 (4,5%) in Rente.

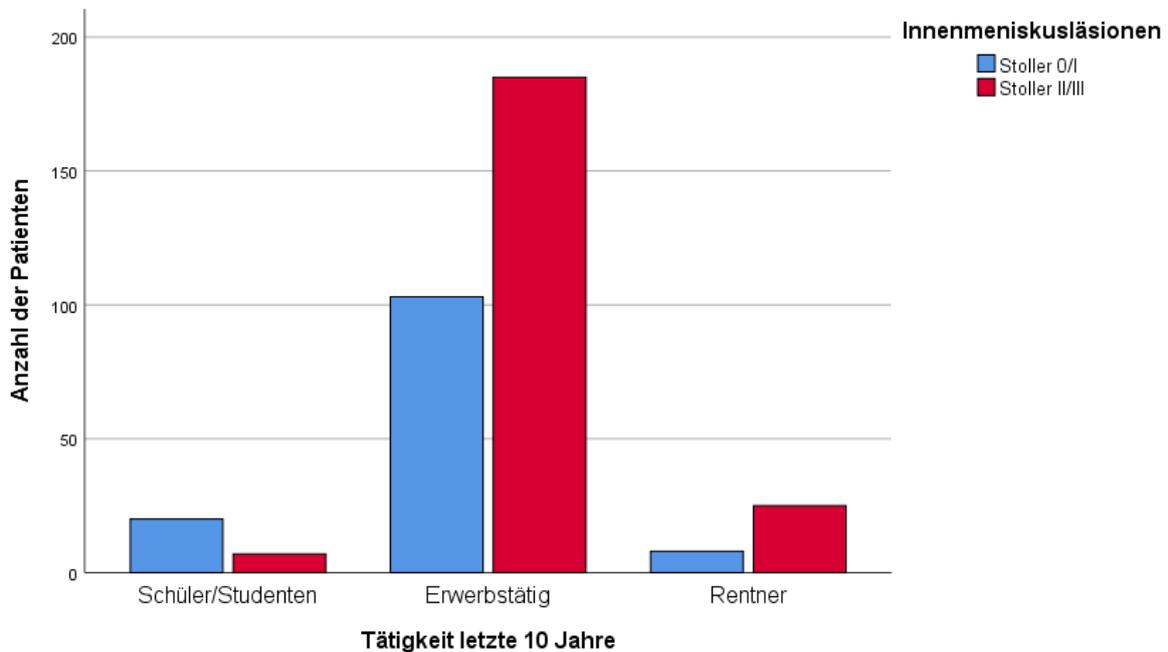


Abbildung 47

Tätigkeit der letzten 10 Jahre und Schwergrad der Innenmeniskusläsionen

Nach der statistischen Berechnung gab es keinen signifikanten Unterschied zwischen Innenmeniskusläsionen und Beruf ($p=0.94$) sowie Tätigkeit der letzten 10 Jahre ($p=0.90$).

4.6.7. Rauchen

Von den untersuchten Patienten waren 260 (68,2%) Nicht-Raucher, 90 (23,5%) aktive Raucher und 31 (8,4%) ehemalige Raucher.

Nach der statistischen Berechnung gab es keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen Rauchen und Innenmeniskusläsionen ($p = 0,192$).

5. Diskussion

In der vorliegenden Arbeit wurden die Daten von 381 Patienten ausgewertet. Bei allen Patienten wurde die Meniskus Diagnose mittels MRT-Knie-Untersuchung erstellt. Das Ziel der Studie war es zu untersuchen, ob die Größe des Innenmeniskus und der relative Anteil im Bezug zum Diameter der Gelenkfläche mögliche assoziierte Faktoren mit degenerativen Rissbildungen sind. Diese Vermutung wurde durch unsere Untersuchungen bestätigt. Die Größe des Innenmeniskus und die relative Größe des Meniskus in Bezug auf die Tibia-Breite ist signifikant häufiger mit Rissbildungen innerhalb des Innenmeniskus assoziiert.

5.1. Geometrie des medialen Meniskus in anderen Studien

Die Innenmeniskusgröße ist in einigen Studien beschrieben (Makris et al. 2011, Fox et al. 2012, Bloecker et al. 2012, Vrancken et al. 2014). Laut der Studie von Makris, et al. sind die mediale Menisken 40,5-45,5 mm lang und 27 mm breit. In der Studie von Bloecker et al. beträgt die maximale Breite von medialen Menisken 18,7 mm. In der Studie von Fox et al. misst der mediale Meniskus etwa 35 mm im Durchmesser und ist posterior wesentlich breiter als anterior.

Wichtig zu erwähnen ist, dass die Menisken nicht nur bezüglich der Größe, sondern auch bezüglich ihrer Form unterschiedlich sind. Vrancken et al. hat zuerst die mediale Meniskusgeometrie aus einer 3D-Perspektive beschrieben. Ein Großteil der Geometrievariation könnte eher auf Größenänderungen als auf Formänderungen zurückzuführen sein. Der Unterschied zwischen männlichen und weiblichen Menisken ist überwiegend größenorientiert (Vrancken et al. 2014).

Obwohl es zahlreiche Studien über die Geometrie des medialen Meniskus gibt, wurde die Assoziation zwischen von Innenmeniskusgröße und Meniskusschaden bisher nicht untersucht.

5.2. Beurteilung der Ergebnisse des medialen Meniskus

In der vorliegenden Studie wurde die Meniskusbreite in 5 Positionen (MB_VH, MB_VH-PI, MB_PI, MB_HH-PI, MB_HH), die Meniskushöhe (MH_max) sowie der Gesamtdurchmesser des Innenmeniskus (VH-HH_max, VH-HH_min) gemessen und mit dem Schweregrad der Innenmeniskusläsionen verglichen.

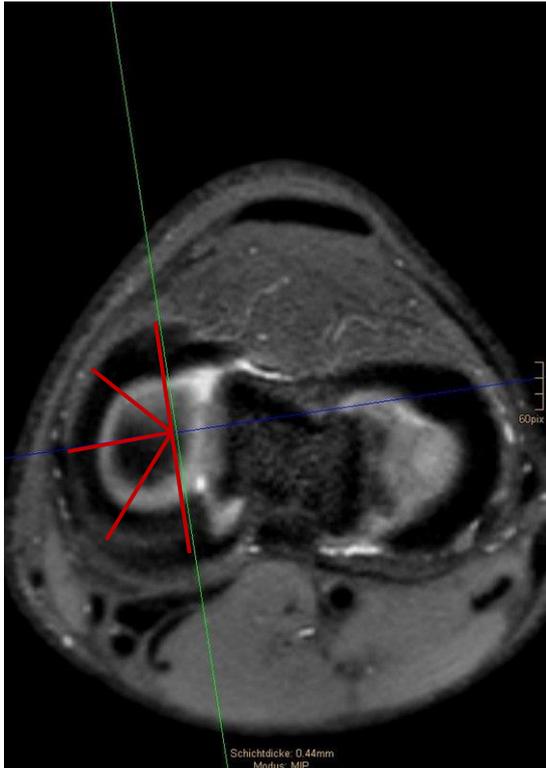


Abbildung 48

Meniskusbreite in 5 Positionen: MB_VH, MB_VH-PI, MB_PI, MB_HH-PI, MB_HH

Am breitesten war der Meniskus in der Position zwischen Hinterhorn und Pars Intermedia (HH-PI) mit einem Mittelwert von 15,7 mm in der Gruppe Stoller 0/I, 19,2 mm in der Gruppe Stoller II/III bei Männern und mit einem Mittelwert von 14,3 mm in der Gruppe Stoller 0/I, 16,2 mm in der Gruppe Stoller II/III bei Frauen. Die Intra-Klassen-Korrelation zeigte in dieser Position eine ausgezeichnete Übereinstimmung (0,95).

Es gab einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen sowohl bei Männern, als auch bei Frauen. Dieser Unterschied konnte in allen Messungen von Meniskusbreite und -höhe sowie dem maximalen Gesamtdurchmesser der Menisken nachgewiesen werden. Damit konnte die Vermutung bestätigt werden, dass größere Menisken mit Risschaden signifikant assoziiert sind.

Ein Geschlechtsunterschied konnte ebenfalls nachgewiesen werden: Bei Männern zeigte sich ein größerer Unterschied zwischen den Gruppen Stoller 0/I und Stoller II/III, vor allem in der Position zwischen Hinterhorn und Pars Intermedia: 3,5 mm (18,2%) bei Männern und 1,9 mm (11,7%) bei Frauen. Damit sind die größeren Menisken bei Männern signifikanter rissgefährdet als bei Frauen.

5.3. Mögliche Bedeutung der Ergebnisse für die Behandlung von Meniskusrissen
Auf der einen Seite sind die Meniskusküsläsionen häufig mit Knorpelläsionen und früher Osteoarthritis assoziiert (Berthiaume et al. 2005). Auf der anderen Seite kann eine Meniskektomie eine Überlastung der Gelenkflächen verursachen und somit die Osteoarthritis vorantreiben: In der Studie von Papalia et al. wurde eine Gesamtdurchschnittsprävalenz von Knie-Osteoarthritis in 53,5% berechnet. Die entsprechende Rate im kontralateralen, nicht operierten Knie lag zwischen 0% und 44% (Papalia et al. 2011).

Nach Möglichkeit sollte der Meniskus rekonstruiert werden. Leider versagt die Meniskusnaht in etwa 20,2% bis 24,3% der Fälle (Nepple et al. 2012). Eine mögliche Ursache für das Versagen von Nähten kann ein großer Meniskus sein. Bei der Entscheidung über eine Operation sollte besonders bei Männern die Größe des Meniskus' als bedeutender Faktor berücksichtigt werden.

5.4. Geometrie von Femur und Tibia in anderen Studien

Es existieren zahlreiche Studien über die anthropometrischen Daten von Femur und Tibia. Besonders hervorzuheben ist die Arbeit von Loures et al., die intraoperative Kniemessungen und MRT-Messungen vergleicht (Loures et al. 2017). Die statistische Analyse ergab, dass eine sehr signifikante Übereinstimmung der durch präoperative MRT-Messungen ermittelten anthropometrischen Messwerte des Knies und der intraoperativen Messwerte vorliegt.

Tabelle 20 gibt einen Überblick über Geometrie von Femur und Tibia in mehreren Fallserien.

Tab. 20: Geometrie von Femur und Tibia (Mittelwerte) im Studienvergleich.

Messung	Gandhi, S. et al., 2014	Berger RA et al., 1998	Loures, F. B. et al., 2016	Loures, F. B. et al., 2017	Eigene Daten
dF (mm)	-	-	67,8 bei Frauen und 77,7 bei Männern	69,7	67,0-68,9 bei Frauen und 76,5-77,5 bei Männern
dT (mm)	-	69,1 bei Frauen und 78,1 bei Männern	69,6 bei Frauen und 79,8 bei Männern	71,3	69,2-70,7 bei Frauen und 78,1-79,2 bei Männern
dIC (mm)	-	-	-	26,9	39,6-40,0 bei Frauen und 44,6-45,0 bei Männern
dmC (mm)	-	-	-	26,6	36,7-37,4 bei Frauen und 40,9-41,4 bei Männern
dIT (mm)	26,0-26,1 bei Frauen und 28,6-28,8 bei Männern	-	-	-	35,9-36,6 bei Frauen und 40,3-41,0 bei Männern
dmT (mm)	27-27,3 bei Frauen und 29,4-30,2 bei Männern	-	-	-	33,2-34,2 bei Frauen und 37,2-38,2 bei Männern

Die Tabelle 20 verdeutlicht im Hinblick auf die Femur- (dF) und Tibiabreite (dT) eine hohe Übereinstimmung mit anderen Studien. Die Daten von Femur- und Tibiakondylen sind jedoch im Vergleich zu unseren Daten unterschiedlich. Eine Erklärung hierfür könnte in der Verwendung unterschiedlicher Messtechniken liegen. Sowohl in der Studie von Loures et al., als auch in der Studie von Gandhi et al. wurden

die Kondylen auf transversaler Ebene gemessen, wobei in der vorliegenden Studie die Kondylen auf koronarer Ebene gemessen wurden. Der Bezugspunkt der Messung lag für Tibia zwischen Eminentia Intercondylaris lateralis und medialis, für Femur Mitte der Fossa interkondylaris.

5.5. Geometrie von Femur und Tibia und Indexberechnung im Bezug zu Meniskusschäden

Es existiert bisher noch keine Studie, die die Geometrie von Femur und Tibia im Bezug zu Meniskusschäden untersucht hat. In der vorliegenden Studie konnten wir nachweisen, dass in der Gruppe Stoller II/III die Werte des Femurs und der Tibia sowie der medialen Kondylen signifikant höher sind als in der Gruppe Stoller 0/I.

Es ist beschrieben, dass der Innenmeniskus einen größeren Anteil der Gelenkfläche nimmt (ca. 60%) (Fox et al. 2012). Keine Studien existieren jedoch zu relativer Anteil der Innenmeniskus in der Gelenkfläche im Bezug zu Meniskusschaden. In der vorliegenden Studie wurde es ein prozentualer Index der Innenmeniskusgröße (MB_HH und MB_HH-PI) im Bezug zum Diameter von medialer Tibia und gesamter Tibiabreite berechnet. In der Gruppe Stoller II/III wurden höhere Mittelwerte der Innenmeniskusgröße im Bezug zur medialen Tibia nachgewiesen als in der Gruppe Stoller 0/I. Dieser Unterschied war sowohl für die Meniskusbreite für Hinterhorn, als auch für die Meniskusbreite für Hinterhorn-Pars Intermedia signifikant.

Kritisch zu beurteilen ist, dass es nicht die gesamte Gelenkfläche, sondern nur die Diameter von medialer Tibia und gesamte Tibiabreite gemessen wurden. Daher konnten die Ergebnisse nicht unter optimalen Bedingungen beurteilt werden.

5.6. Winkelparameter und Meniskusschäden in anderen Studien

In unserer Studie wurden verschiedene Winkelparameter mittels MRT gemessen: aMPTA, aLDFA, ATFA und T-Slope. Es existieren zahlreiche Studien, in denen die genannten Parameter gemessen wurden. Tabelle 21 und 22 geben einen Überblick über Winkelparameter in anderen Studien.

Tab. 21: Mittelwerte von aMPTA, aLDFA und ATFA im Studienvergleich.

Messung	Igbigbi PS et al., 2002	Wang, J. H. et al., 2009	Pornrattananeewong, C. et al., 2012	Imhoff, F. B. et al., 2017	Akamatsu, Y. et al., 2018	Eigene Daten
aMPTA (°)	-	84,4-93,5	85,1-98,3	-	85.3-95,1	88,4-88,8
aLDFA (°)	-	-	-	80.4	81,1-81.3	80,7
ATFA (°)	5,5-5,9	-	-	-	-	6,5-7,1

Die Tabelle 21 zeigt, dass die erhobenen Winkelparameter mit den Werten anderer Studien übereinstimmen. Bemerkenswert ist, dass die Messungen verschiedener Parameter mittels unterschiedlicher Untersuchungsmethoden (Konventionelles Röntgen, Computertomographie) erhoben wurden.

Kritisch zu beurteilen ist die Messtechnik der Beinachsen. Die anatomische Beinachse wird durch die Femur- und die Tibiaschaftachse festgelegt und auf der Ganzbeinaufnahme beurteilt (Waldt et al., 2011). In der vorliegenden Studie war die Festlegung der Femur- und Tibiaschaftachse mittels MRT-Knie-Untersuchung nicht möglich. Die Achsen wurden anhand der proximalen Tibiadiaphyse und distalen Femurdiaphyse bestimmt. Daher konnten die Ergebnisse nicht unter optimalen Bedingungen beurteilt werden.

Tab. 22: Mittelwert von Tibial Slope (mediales Kompartiment) im Studienvergleich.

Messung	Waiwaiole, A. et al., 2016	Karimi, E. et al., 2017	Mochizuki, T. et al., 2018	Eigene Daten
Tibial Slope (°)	83-85	82,2	80,8-83,3	83,9-84,5

Die Tabelle 22 zeigt eine hohe Übereinstimmung von Tibial Slope zu den Ergebnissen anderer Studien. Die Messwerte anderer Studien wurden durch konventionelles Röntgen und MRT-Knie-Untersuchungen ermittelt.

In der vorliegenden Studie zeigte keine der Messungen (aMPTA, aLDFA, ATFA, T-Slope) einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen Stoller 0/I und Stoller II/III.

Einige Studien beschreiben einen Zusammenhang zwischen medialen Meniskus und T-Slope. In der Studie von Cho, S. D. et al. war die posteriore T-Slope in der Gruppe mit einem Hinterhorn plus Wurzelriss des Meniskus‘ signifikant größer als in den Gruppen nur mit einem Hinterhorn oder einem Wurzelriss (Cho et al., 2016). Alici, T. et al. fand heraus, dass die T-Slope der lateralen und medialen Tibiaplateaus bei Patienten mit und ohne mediale Meniskusrisse signifikant unterschiedlich waren (Alici et al. 2011).

Die Studie von Sirik M. beschreibt die Beziehung zwischen Meniskusverletzungen und dem Femorotibialwinkel im Kniegelenk (Sirik. 2017). Es gab keine statistisch signifikante Korrelation zwischen Femorotibialwinkelwerten und dem Vorhandensein von Verletzungen bei medialem Meniskus.

5.7. Beurteilung der anamnestischen Daten im Bezug zu Meniskusschäden

Alter und BMI

In der vorliegenden Studie steigt der Schweregrad der Meniskusläsionen signifikant mit zunehmendem Alter und BMI ($p < .001$). Korrespondierend dazu wurde das erhöhte Alter in der Studie von Jones J. C. et al. mit signifikant höheren Raten von Meniskusschädigungen assoziiert (Jones et al. 2012). Ein hoher BMI war in der Studie von Kontio, T. et al. ein unabhängiger Risikofaktor für den ersten Krankenhausaufenthalt aufgrund von Meniskusschädigungen (Kontio et al. 2017). Eine mögliche Erklärung hierfür liefert Rai, M. F. et al.: Mit zunehmendem Alter und BMI verschlechtern sich die strukturellen Komponenten des Meniskus, wodurch eine Kombination aus erhöhtem BMI und Alter besonders nachteilig für die Meniskushomöostase ist (Rai et al. 2014). Die Studie legt zudem nahe, dass eine Gewichtsabnahme bei Adipositas einen günstigen molekularen und biologischen Effekt auf den Meniskus haben kann.

Riddle et al. fand heraus, dass Personen, die über einen Zeitraum von etwa drei Jahren $\geq 10\%$ ihres Körpergewichts verlieren, einen signifikant niedrigeren funktionsbedingten Schmerz und einen verbesserten Funktionsstatus des Knies

angeben. Im Gegensatz dazu zeigten Personen, deren Ausgangskörpergewicht sich um $\geq 10\%$ erhöhte, eine signifikante Verschlechterung der Kniebeschwerden (Riddle et al. 2013).

Sportliche Aktivität

In unserer Studie gab es keinen statistisch signifikanten Zusammenhang von sportlicher Aktivität und Innenmeniskusläsionen. Kritisch zu beurteilen ist, dass das Gesamtkollektiv unterschiedliche Alters- und Gewichtverteilung aufwies und darüber hinaus verschiedene Sportarten angegeben hatte. Im Gegensatz dazu hat Pappas, G. P. et al. eine Gruppe Basketball-Spieler im Alter von 18 bis 22 Jahren vor und nach einer Saison intensiven Trainings untersucht (Pappas et al. 2016). Signalveränderungen des Meniskus wurden bei 50% der Spieler vor der Saison beobachtet und bei 62% der Spieler nach der Saison.

Geschlecht

Bei Männern zeigte sich ein größerer Unterschied der Meniskusgröße zwischen den Gruppen Stoller 0/I und Stoller II/III als bei Frauen. Damit sind die größeren Menisken bei Männern signifikanter rissgefährdet als bei Frauen. Hinsichtlich der Inzidenzrate gab es jedoch keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen Geschlecht und Meniskusschaden. Laut der Studie von Jones J. C. war die Wahrscheinlichkeit, dass Männer einen Meniskusschaden aufweisen um fast 20% höher als bei Frauen, wenn man von konstanten Faktoren hinsichtlich Alter, beruflicher Tätigkeit und der Leistung der Wehrpflicht ausgeht (Jones. 2012).

Sonstige Faktoren

Der Zusammenhang zwischen Rauchen und Meniskusschäden ist nicht bekannt. In unserer Studie gab es keinen signifikanten Zusammenhang zwischen Meniskusläsionen und Rauchen. Ebenso wenig konnten signifikante Zusammenhänge von Meniskusschäden und der Anamnesedauer ermittelt werden. Weiterhin wurde keine Verbindung vom ausgeübten Beruf sowie ausgeführten Tätigkeiten zu vorhandenen Meniskusschäden gefunden. Abweichend hiervon wurde in der Studie von Kontio et al. ein erhöhtes Risiko für Knieschädigungen bei Personen nachgewiesen, die in Rente, arbeitslos oder als Hausfrauen tätig waren. Diesem Befund kann eine Vielzahl von Ursachen zugrunde liegen. (Kontio et al. 2017).

5.8. Limitationen der Untersuchung

Nach unserer Kenntnis ist dies die erste MRT-Studie die sich mit dem Zusammenhang zwischen Meniskusgröße und relativer Meniskusgröße (in Bezug auf die Tibia Breite) befasste. Es entspricht dem Wesen einer solchen präliminären Untersuchung, dass eine solche Fallserie eine Reihe von Limitationen hat.

Zu diesen Schwächen zählt in erster Linie der Umstand, dass es sich um eine konsekutive Fall-Serie mit hoher Variabilität der Patienten in Bezug auf die Symptomatik und die Altersstruktur, handelte. Wesentlich Kritikpunkt unserer Untersuchung ist der Umstand, dass es keine Kontrollgruppe gesunder Probanden gab.

Ebenso ist kritisch anzumerken, dass es sich um eine Single Center-Studie handelte. Auch die Auswahl der Patienten muss als Limitation angesehen werden. In unsere Betrachtungen schlossen wir nicht die Möglichkeit einer Früharthrose und eines konsekutiven Knorpelschadens mit ein. Damit sind selbstverständlich die Ergebnisse in ihrer Aussagekraft begrenzt.

Für künftige Untersuchungen wären daher prospektive Studien mit Kontrollgruppen zu fordern. Im Hinblick auf unsere Ergebnisse wären solche Untersuchungen jedoch absolut sinnvoll.

6. Schlussfolgerungen

Unsere Untersuchungen bestätigten die Vermutung, je größer ein Innenmeniskus ist, je mehr er in den medialen Gelenksraum hineinragt (relativer Meniskus-Index), je häufiger ist er auch mit einer degenerativen Rissbildung assoziiert. Dies könnte ein möglicher Risikofaktor für die Ausbildung eines degenerativ-bedingten Risschadens am Innenmeniskus sein. Inwieweit diese jedoch klinische Konsequenz (Rekonstruktion versus Resektion) bei der operativen Therapie hat, bzw. für künftige Fragen in der Begutachtung relevant ist, muss in weiteren prospektiven Studien mit einer entsprechenden Kontrollgruppe untersucht werden.

6. Literatur- und Quellenverzeichnis

Akamatsu Y, Kobayashi H, Tsuji M, Nejima S, Kumagai K, Saito T. Should sagittal osteotomy line be parallel to tibial posterior slope in high tibial osteotomy? *BMC Musculoskeletal Disorders* [journal article]. 2018;19(1):338.

Alici T, Esenyel CZ, Esenyel M, Imren Y, Ayanoglu S, Cubuk R. Relationship between meniscal tears and tibial slope on the tibial plateau. *The Eurasian journal of medicine*. 2011;43(3):146-51.

Antony B, Driban JB, Price LL, Lo GH, Ward RJ, Nevitt M, Lynch J, Eaton CB, Ding C, McAlindon TE. The relationship between meniscal pathology and osteoarthritis depends on the type of meniscal damage visible on magnetic resonance images: data from the Osteoarthritis Initiative. *Osteoarthritis and Cartilage*. 2017;25(1):76-84.

Antunes LC, Souza JMGd, Cerqueira NB, Dahmer C, Tavares BAdP, Faria ÂJNd. Evaluation of clinical tests and magnetic resonance imaging for knee meniscal injuries: correlation with video arthroscopy. *Revista brasileira de ortopedia*. 2017;52(5):582-8.

Beaufils P, Becker R, Kopf S, Matthieu O, Pujol N. The knee meniscus: management of traumatic tears and degenerative lesions. *EFORT open reviews*. 2017;2(5):195-203.

Becker R., Buchner M., Förster J., Frosch K. H., Losch A., Niemeyer P., Scheffler S., Slebert C. H. 2015. S2k - Leitlinie Meniskuserkrankung der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie (DGOU).

Berger RA, Crossett LS, Jacobs JJ. Malrotation causing patellofemoral complications after total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 1998; 356:144-153.

Berthiaume MJ, Raynauld JP, Martel-Pelletier J, Labonté F, Beaudoin G, Bloch DA, Choquette D, Haraoui B, Altman RD, Hochberg M, Meyer JM, Cline GA, Pelletier JP. Meniscal tear and extrusion are strongly associated with progression of symptomatic knee osteoarthritis as assessed by quantitative magnetic resonance imaging. *Annals of the rheumatic diseases.* 2005;64(4):556-63.

Bloeker K, Wirth W, Hudelmaier M, Burgkart R, Frobell R, Eckstein F. Morphometric differences between the medial and lateral meniscus in healthy men - a three-dimensional analysis using magnetic resonance imaging. *Cells, tissues, organs.* 2012;195(4):353-64.

Bolog NV, Andreisek G. Reporting knee meniscal tears: technical aspects, typical pitfalls and how to avoid them. *Insights into imaging.* 2016;7(3):385-98.

Cascio BM, Khanna AJ, Glait SA, Cosgarea AJ, Johnson TS, Reeder JD. *MRI for Orthopaedic Surgeons.* 1 Aufl. Thieme: New York, NY 2010.

Chagas-Neto FA, Nogueira-Barbosa MH, Lorenzato MM, Salim R, Kfuri-Junior M, Crema MD. Diagnostic performance of 3D TSE MRI versus 2D TSE MRI of the knee at 1.5 T, with prompt arthroscopic correlation, in the detection of meniscal and cruciate ligament tears. *Radiologia brasileira.* 2016;49(2):69-74.

Cho SD, Youm YS, Kim JH, Cho HY, Kim KH. Patterns and Influencing Factors of Medial Meniscus Tears in Varus Knee Osteoarthritis. *Knee surgery & related research*. 2016;28(2):142-6.

Costa CR, Morrison WB, Carrino JA. Medial Meniscus Extrusion on Knee MRI: Is Extent Associated with Severity of Degeneration or Type of Tear? *American Journal of Roentgenology*. 2004;183(1):17-23.

De Smet AA, Nathan DH, Graf BK, Haaland BA, Fine JP. Clinical and MRI Findings Associated with False-Positive Knee MR Diagnoses of Medial Meniscal Tears. *American Journal of Roentgenology*. 2008;191(1):93-9.

De Smet AA, Tuite MJ. Use of the "Two-Slice-Touch" Rule for the MRI Diagnosis of Meniscal Tears. *American Journal of Roentgenology*. 2006;187(4):911-4.

Dürselen L, Freutel M. Biomechanik des Meniskus. *Orthopädie und Unfallchirurgie up2date*. 2015;10(3):215-27.

Englund M, Guermazi A, Gale D, Hunter DJ, Aliabadi P, Clancy M, Felson DT. Incidental meniscal findings on knee MRI in middle-aged and elderly persons. *The New England journal of medicine*. 2008;359(11):1108-15.

Faruch-Bilfeld M, Lapegue F, Chiavassa H, Sans N. Imaging of meniscus and ligament injuries of the knee. *Diagnostic and Interventional Imaging*. 2016;97(7):749-65.

Fisseler-Eckhoff A, Müller KM. Histopathologische Begutachtung des Meniskus 2011.

Fox AJS, Bedi A, Rodeo SA. The basic science of human knee menisci: structure, composition, and function. *Sports health*. 2012;4(4):340-51.

Gandhi S, Singla RK, Kullar JS, Suri RK, Mehta V. Morphometric analysis of upper end of tibia. *Journal of clinical and diagnostic research: JCDR*. 2014;8(8):AC10-AC3.

Hash TW, 2nd. Magnetic resonance imaging of the knee. *Sports health*. 2013;5(1):78-107.

Hempfling H, Krenn V. Schadenbeurteilung am Bewegungssystem. 1 Aufl. De Gruyter: Berlin 2017.

Howell R, Kumar NS, Patel N, Tom J. Degenerative meniscus: Pathogenesis, diagnosis, and treatment options. *World journal of orthopedics*. 2014;5(5):597-602.

Igbigbi P, Msamati BC. Tibiofemoral angle in Malawians. *Clin Anat*. 2002;15(4):293-6.

Imhoff FB, Scheiderer B, Zakko P, Obopilwe E, Liska F, Imhoff AB, Mazzocca AD, Arciero RA, Beitzel K. How to avoid unintended valgus alignment in distal femoral

derotational osteotomy for treatment of femoral torsional malalignment - a concept study. *BMC musculoskeletal disorders*. 2017;18(1):553.

Crues JV, Mink J, Levy TL, Lotysch M, Stoller DW. Meniscal tears of the knee: accuracy of MR imaging. *Radiology*. 1987;164(2):445-8.

Jones JC, Burks R, Owens BD, Sturdivant RX, Svoboda SJ, Cameron KL. Incidence and risk factors associated with meniscal injuries among active-duty US military service members. *Journal of athletic training*. 2012;47(1):67-73.

Kaelin R, Christen B, Eggli S, Miozzari H, Arnold MP. Behandlung degenerativer Meniskusläsionen. *Schweizerisches Medizin-Forum*. 2018;18(7):147-153.

Karimi E, Norouzian M, Birjandinejad A, Zandi R, Makhmalbaf H. Measurement of Posterior Tibial Slope Using Magnetic Resonance Imaging. *The Archives of Bone and Joint Surgery*. 2017;5(6):435-9.

Khandelwal K, Chaturvedi VC, Mishra V, Khandelwal G. Diagnostic accuracy of MRI knee in reference to arthroscopy in meniscal and anterior cruciate ligament injuries. *The Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2018;49(1):138-45.

Knapik JJ. 2015. The Importance of Physical Fitness for Injury Prevention: Part 2. *J Spec Oper Med*. 2015;15(2):112-5.

Kontio T, Heliövaara M, Rissanen H, Knekt P, Aromaa A, Solovieva S. Risk factors for first hospitalization due to meniscal lesions - a population-based cohort study with 30 years of follow-up. *BMC musculoskeletal disorders*. 2017;18(1):528.

Koo TK, Li MY. A Guideline of Selecting and Reporting Intraclass Correlation Coefficients for Reliability Research. *Journal of chiropractic medicine*. 2016;15(2):155-63.

Kopf S, Stärke C, Becker R. Meniskuswurzelläsionen: Klinische Relevanz und Therapie. *Der Orthopäde [journal article]*. 2017;46(10):839-45.

Krenn V. Meniskusdegenerationscore und NITEGE-Expression: Immunhistochemischer NITEGE-Nachweis in der schwergradigen Meniskusdegeneration. *Der Orthopäde*. 2010;39(5):475-85.

Kruger N, McNally E, Al-Ali S, Rout R, Rees JL, Price AJ. Three-dimensional reconstructed magnetic resonance scans: Accuracy in identifying and defining knee meniscal tears. *World journal of orthopedics*. 2016;7(11):731-7.

Lefevre N, Naouri JF, Herman S, Gerometta A, Klouche S, Bohu Y. A Current Review of the Meniscus Imaging: Proposition of a Useful Tool for Its Radiologic Analysis. *Radiology research and practice*. 2016.

Li CA, Kim MK, Kim IH, Lee JH, Jang KY, Lee SY. Correlation of histological examination of meniscus with MR images: focused on high signal intensity of the meniscus not caused by definite meniscal tear and impact on mr diagnosis of tears.

Korean journal of radiology. 2013;14(6):935-45.

Loures FB, Carrara RJ, Góes RFdA, Albuquerque RSPE, Barretto JM, Kinder A, Gameiro VS, Marchiori E. Anthropometric study of the knee in patients with osteoarthritis: intraoperative measurement versus magnetic resonance imaging.

Radiologia brasileira. 2017;50(3):170-5.

Loures FB, de Araújo Góes RF, da Palma IM, Labronici PJ, Granjeiro JM, Olej B.

Anthropometric study of the knee and its correlation with the size of three implants available for arthroplasty. Revista brasileira de ortopedia. 2016;51(3):282-9.

Allen MD, Li L, Crema MD, Marra DM, Guermazi A, Wyman B, Hellio Le Graverand MP, Englund M, Brandt DK, Hunter JD. The Relationship between Meniscal Tears and Meniscal Position 2010.

Ma JZ, Cui SF, Hu F, Lu QJ, Li W. Incidence and Characteristics of Meniscal Injuries in Cadets at a Military School, 2013-2015. Journal of athletic training. 2016;51(11):876-9.

MacFarlane LA, Yang H, Collins JE, Guermazi A, Jones MH, Teeple E, Xu L, Losina E, Katz JN. Associations among meniscal damage, meniscal symptoms and knee pain severity. Osteoarthritis and cartilage. 2017;25(6):850-7.

Makris EA, Hadidi P, Athanasiou KA. The knee meniscus: structure-function, pathophysiology, current repair techniques, and prospects for regeneration. *Biomaterials*. 2011;32(30):7411-31.

Mochizuki T, Tanifuji O, Koga Y, Sato T, Kobayashi K, Watanabe S, Fujii T, Yamagiwa H, Katsumi R, Koga H, Omori G, Endo N. Correlation between posterior tibial slope and sagittal alignment under weight-bearing conditions in osteoarthritic knees. *PloS one*. 2018;13(9).

Mohan BR, Gosal HS. Reliability of clinical diagnosis in meniscal tears. *International orthopaedics*. 2007;31(1):57-60.

Nepple JJ, Dunn WR, Wright RW. Meniscal repair outcomes at greater than five years: a systematic literature review and meta-analysis. *The Journal of bone and joint surgery American volume*. 2012;94(24):2222-7.

Neubauer H, Li M, Jung A, Spahn G, Hahn D, Schiele R. Berufliche Kniebelastung und degenerative Meniskusläsionen in der MRT bei Patienten mit nicht-traumatischen Kniebeschwerden. *Fortschr Röntgenstr*. 2010;182(S 01):VO226_1.

Nguyen JC, De Smet AA, Graf BK, Rosas HG. MR Imaging–based Diagnosis and Classification of Meniscal Tears. *RadioGraphics*. 2014;34(4):981-99.

Ozkoc, G, Circi, E, Gonc, U. Radial tears in the root of the posterior horn of the medial meniscus. *Knee Surg Sports Traumatol Arthr.* 2008;16:849.

Papalia R, Del Buono A, Osti L, Denaro V, Maffulli N. Meniscectomy as a risk factor for knee osteoarthritis: a systematic review. *British Medical Bulletin.* 2011;99(1):89-106.

Pappas GP, Vogelsong MA, Staroswiecki E, Gold GE, Safran MR. Magnetic Resonance Imaging of Asymptomatic Knees in Collegiate Basketball Players: The Effect of One Season of Play. *Clinical journal of sport medicine: official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine.* 2016;26(6):483-9.

Pauli C, Grogan SP, Patil S, Otsuki S, Hasegawa A, Koziol J, Lotz MK, D'Lima DD. Macroscopic and histopathologic analysis of human knee menisci in aging and osteoarthritis. *Osteoarthritis and cartilage.* 2011;19(9):1132-41.

Pornrattananeewong C, Narkbunnam R, Chareancholvanich K. Medial proximal tibial angle after medial opening wedge HTO: A retrospective diagnostic test study. *Indian Journal of Orthopaedics [Original Article].* 2012;46(5):525-30.

Rai MF, Patra D, Sandell LJ, Brophy RH. Relationship of gene expression in the injured human meniscus to body mass index: a biologic connection between obesity and osteoarthritis. *Arthritis & rheumatology (Hoboken, NJ).* 2014;66(8):2152-64.

Riddle DL, Stratford PW. Body weight changes and corresponding changes in pain and function in persons with symptomatic knee osteoarthritis: a cohort study. *Arthritis care & research*. 2013;65(1):15-22.

Shiraev T, Anderson S, Hope N. Meniscal tear Presentation, diagnosis and management. *Australian Family Physician*. 2012;41:182-7.

Siebert CH, Becker R, Buchner M, Förster J, Frosch KH, Losch A, Niemeyer P, Scheffler S. S2k-Leitlinie Meniskuserkrankung: Von der Ätiologie bis zum Scoring. *Z Orthop Unfall*. 2017;155(02):165-8.

Sirik M. Evaluation of the relationship between the femoro-tibial angle and meniscal injury. *Northern clinics of Istanbul*. 2017;4(3):242-6.

Snoeker BA, Zwinderman AH, Lucas C, Lindeboom R. A clinical prediction rule for meniscal tears in primary care: development and internal validation using a multicentre study. *The British journal of general practice: the journal of the Royal College of General Practitioners*. 2015;65(637):e523-e9.

Snoeker BAM, Bakker EWP, Kegel CAT, Lucas C. Risk Factors for Meniscal Tears: A Systematic Review Including Meta-analysis. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*. 2013;43(6):352-67.

Terzidis IP, Christodoulou A, Ploumis A, Givissis P, Natsis K, Koimtzis M. Meniscal Tear Characteristics in Young Athletes with a Stable Knee: Arthroscopic Evaluation. *The American Journal of Sports Medicine*. 2006;34(7):1170-5.

Thompson WO, Thaete FL, Fu FH, Dye SF. Tibial meniscal dynamics using three-dimensional reconstruction of magnetic resonance images. *The American Journal of Sports Medicine*. 1991;19(3):210-6.

Vahlensieck M, Reiser, M. MRT des Bewegungsapparats. 2 Aufl. Thieme: Stuttgart 2001.

Vanhoenacker FM, Maas M, Gielen LMAJ. Imaging of Orthopedic Sports Injuries. 1 Aufl. Springer: Berlin, Heidelberg 2007.

Vogl TJ, Reith W, Rummeny EJ. Diagnostische und interventionelle Radiologie. Aufl. 1. Springer: Berlin, Heidelberg 2011.

Vrancken ACT, Crijns SPM, Ploegmakers MJM, O'Kane C, van Tienen TG, Janssen D, Buma P, Verdonchot N. 3D geometry analysis of the medial meniscus--a statistical shape modeling approach. *Journal of anatomy*. 2014;225(4):395-402.

Waldt S, Eiber M, Wörtler K. Messverfahren und Klassifikationen in der muskuloskelettalen Radiologie. 1 Aufl. Thieme: Stuttgart 2011.

Waiwaiole A, Gurbani A, Motamedi K, Seeger L, Shin Sim M, Nwajuaku P, Hame S.

Relationship of ACL Injury and Posterior Tibial Slope With Patient Age, Sex, and Race

2016.

Wang JH, Bae JH, Lim HC, Shon WY, Kim CW, Cho JW. Medial Open Wedge High

Tibial Osteotomy: The Effect of the Cortical Hinge on Posterior Tibial Slope. The

American Journal of Sports Medicine. 2009;37(12):2411-8.

Ward BD, Lubowitz JH. Basic knee arthroscopy part 2: surface anatomy and portal

placement. Arthroscopy techniques. 2013;2(4):e501-e2.

Weigel B., Nerlich M. Praxisbuch Unfallchirurgie. 1 Aufl. Springer: Berlin, Heidelberg

2005.

8. Anhang

8.1. Anamnesebogen



Name:

geb.

Datum:

Sehr geehrte Patientin,

Sehr geehrter Patient,

bei Ihnen wurde durch ihre behandelnde Ärztin / Ihren behandelnden Arzt eine Kernspintomographie-Untersuchung (MRT) des Kniegelenkes veranlasst.

Knieerkrankungen sind sehr häufig und stellen für die betroffenen Patienten häufig ein großes Problem dar. In den letzten Jahren hat intensive Forschung dazu geführt, dass viele Erkrankungen des Kniegelenkes erfolgreich behandelt werden können. Dennoch bleiben viele wissenschaftlich-medizinische Fragen offen. Dazu ist es weiter erforderlich, intensive Forschung zu betreiben- zum Wohle des Patienten. Nur durch die Mitarbeit der Patienten jedoch ist es möglich, solche Forschungsprojekte auch erfolgreich zum Abschluss zu bringen.

Daher bitten auch wir Sie um Ihre Mithilfe!

Bei Ihnen wird nunmehr die Kernspintomographie des Kniegelenkes durchgeführt. Dabei werden zahlreiche Informationen über Ihr Kniegelenk erhoben. Wir planen, diese, Ihre Daten für eine konkrete wissenschaftliche Fragestellung zu verwerten. Dabei soll herausgefunden werden, ob die Größe und Lage ihrer Knochen und der Menisken (Knorpelscheiben) möglicherweise im Zusammenhang mit Schäden am Meniskus des Kniegelenkes stehen. Dies wurde bislang nicht untersucht, wäre jedoch sehr wichtig für Fragen der Therapieplanung oder möglicherweise sogar der Prophylaxe dieser Erkrankung.

Wir würden uns daher sehr freuen, wenn Sie damit einverstanden wären, dass diese Daten im Rahmen dieser Untersuchung auf elektronischen Datenträgern ohne Namensnennung (pseudonymisiert) gespeichert und für wissenschaftliche Auswertungen verwendet werden. Abgesehen der Beantwortung einiger Fragen zu ihrem Gesundheitszustand und ihrer Krankheitsgeschichte entstehen dadurch für sie keinerlei sonstige Belastungen.

Die Untersuchung wurde durch die Ethikkommission am Universitätsklinikum Jena positiv bewertet, die Bestimmungen des Datenschutzes werden dabei strikt beachtet.

Die Teilnahme an dieser Studie ist für sie völlig freiwillig. In Bezug auf die geplante MRT-Diagnostik entstehen Ihnen bei Verweigerung zur Teilnahme an dieser Untersuchung keinerlei Nachteile. Außerdem kann das erteilte Einverständnis zur Datenweitergabe durch Sie jederzeit ohne Angabe von Gründen zurückgezogen werden.

Vielen Dank für Ihre Mitarbeit!
Im Namen der Forschungsgruppe

Dr. Cornelia Retzlaff

Einverständniserklärung

Hiermit erkläre ich mich damit einverstanden, dass meine anlässlich der heute durchgeführten MRT-Untersuchung des Kniegelenkes erhobenen medizinischen Daten anonym auf elektronischen Datenträgern gespeichert und für die vorstehend genannte Untersuchung verwendet werden.

Eisenach, den

.....

Unterschrift

Sehr geehrte Patientin,
 Sehr geehrter Patient,

Nochmals herzlichen Dank für Ihre Bereitschaft, an der geplanten Studie teilzunehmen und uns ihre Daten zur Auswertung zu überlassen.

Wir würden sie jetzt herzlich bitten, einige folgende Fragen kurz zu beantworten. Sollten Unklarheiten bestehen, so helfen wir Ihnen gerne.

Im Namen der Forschungsgruppe

Dr. Cornelia Retzlaff

Mann

Frau

Alter:

Körpergröße (cm):

Körpergewicht (kg):

Wie lange bestehen die Beschwerden an Ihrem Knie?

Haben Sie einen Unfall erlitten?

Ja

nein

Wenn ja, welche Verletzung?

Wurden Sie an ihrem Knie bereits einmal operiert?

Ja

nein

Wenn ja, welche Operation/-en?

Leiden Sie unter

Rheuma

Gicht

Tumor

Sind Sie Raucher?

Ja

nein

früher

Welchen Beruf haben Sie?

Was haben Sie beruflich in den letzten 10 Jahren gemacht?

Haben Sie früher oder jetzt Sport getrieben?

Wenn ja, welche Sportart?

Gibt es für Sie sonstige Dinge, die in Bezug auf ihre Knieerkrankung von Bedeutung sein könnten?

8.2. Fallbeispiele: Messpunkte des Kniegelenks

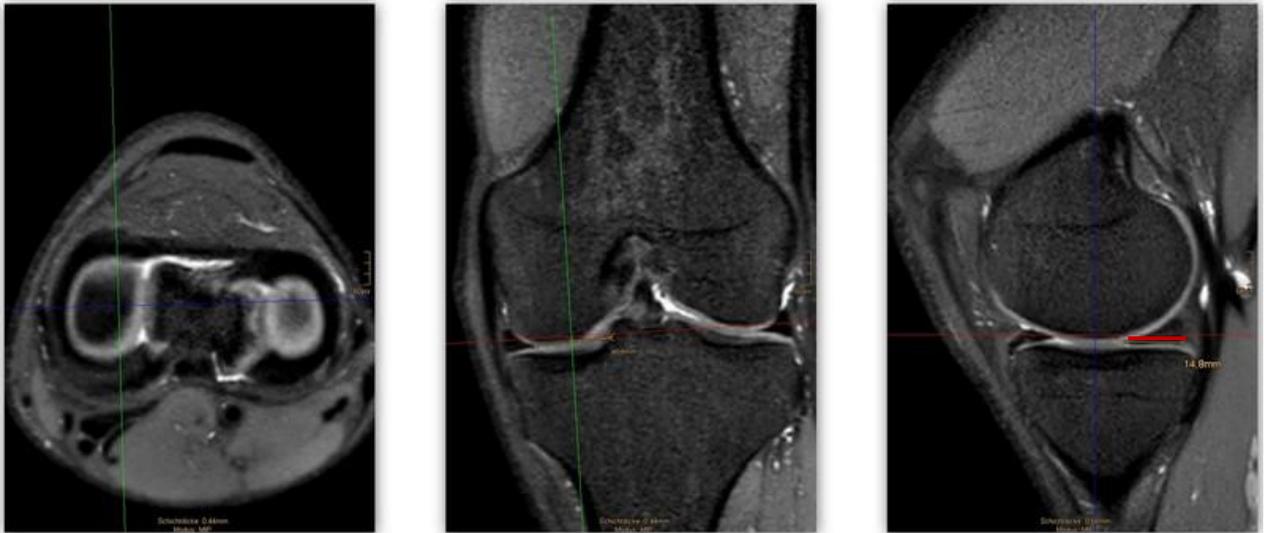


Abbildung 11
Meniskusbreite für Hinterhorn (MB_HH)



Abbildung 12
Meniskusbreite für Vorderhorn (MB_VH)

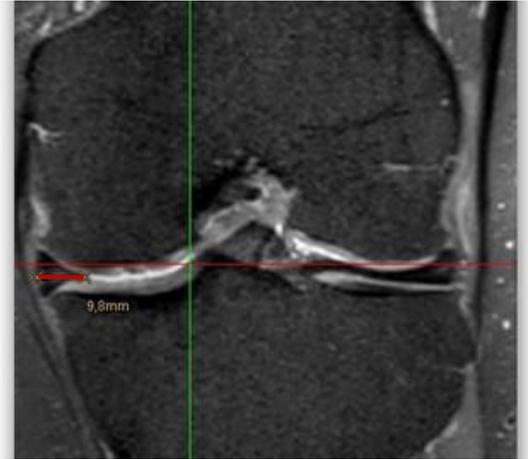
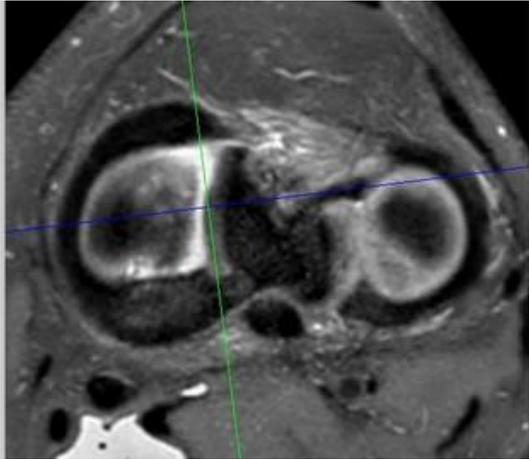


Abbildung 13
Meniskusbreite für Pars Intermedia (MB_PI)

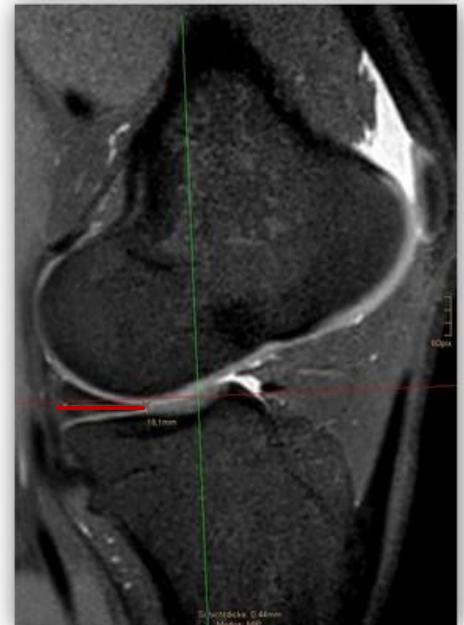
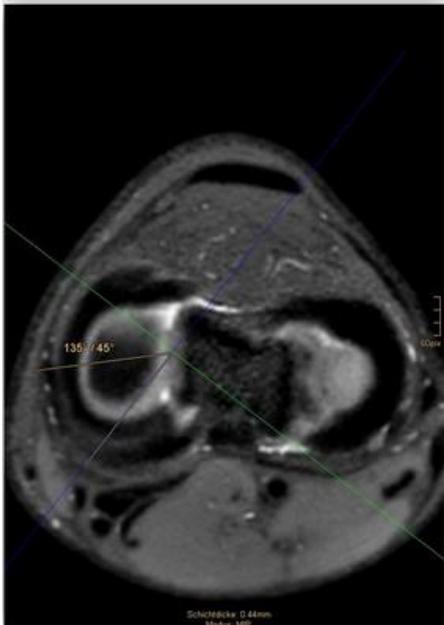


Abbildung 14
Meniskusbreite zwischen Hinterhorn und Pars Intermedia (MB_HH-PI)

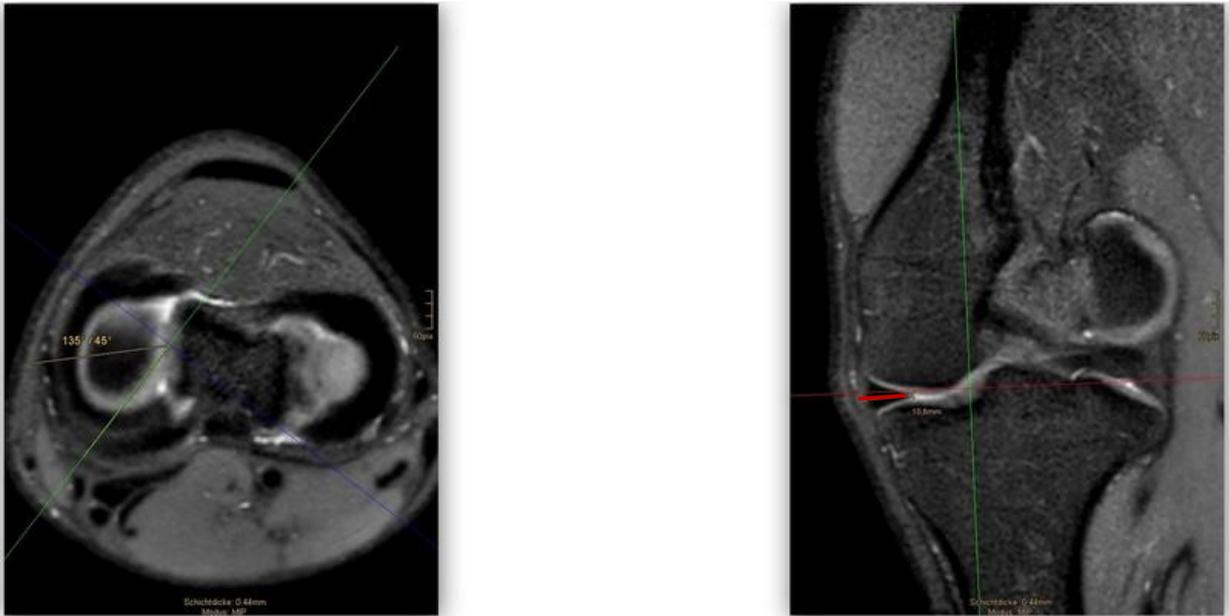


Abbildung 15
Meniskusbreite zwischen Vorderhorn und Pars Intermedia (MB_VH-PI)

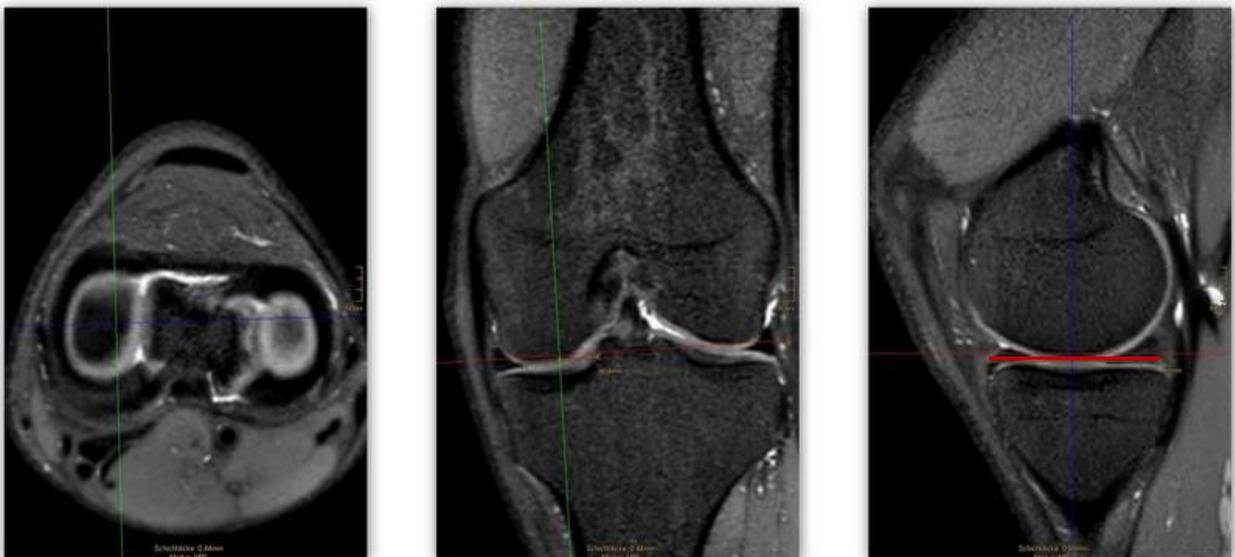


Abbildung 16
Maximaler Gesamtdurchmesser von Meniskus Vorderhorn bis Hinterhorn (VH-HH_max)

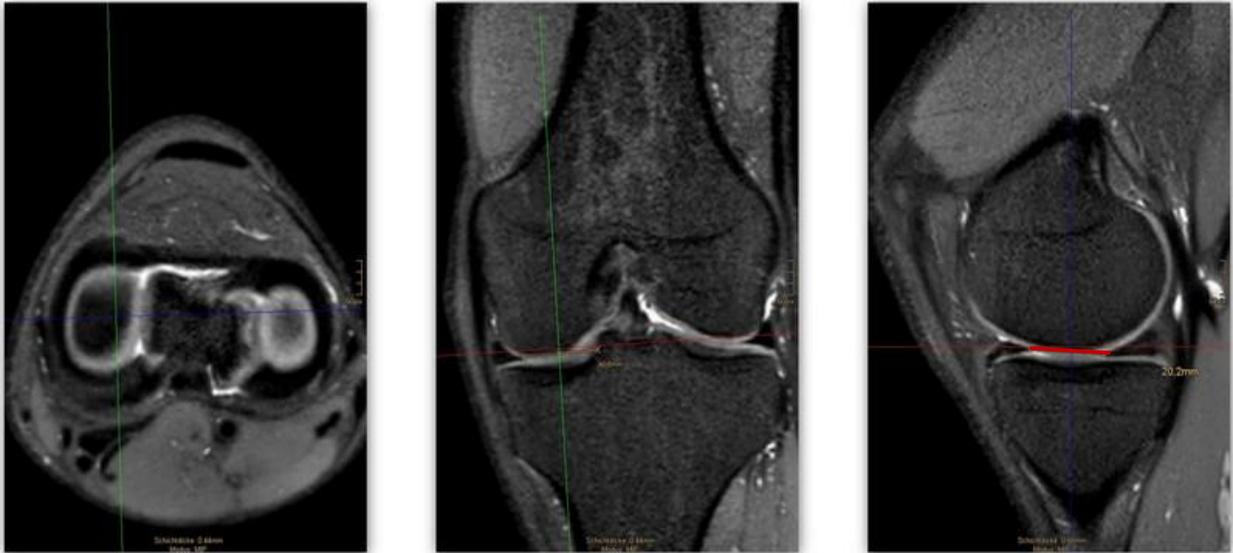


Abbildung 17
Minimaler Gesamtdurchmesser von Meniskus-Vorderhorn bis Hinterhorn (VH-HH_min)



Abbildung 18
Maximale Meniskushöhe (MH_max)



Abbildung 19
Breite von medialen Femurkondylus (dmC)



Abbildung 20
Breite von lateralen Femurkondylus (dlC)



Abbildung 21
Breite von medialer Tibia (dmT)



Abbildung 22
Breite von lateraler Tibia (dlT)



Abbildung 23
Breite Femur (dF)



Abbildung 24
Breite Tibia (dT)

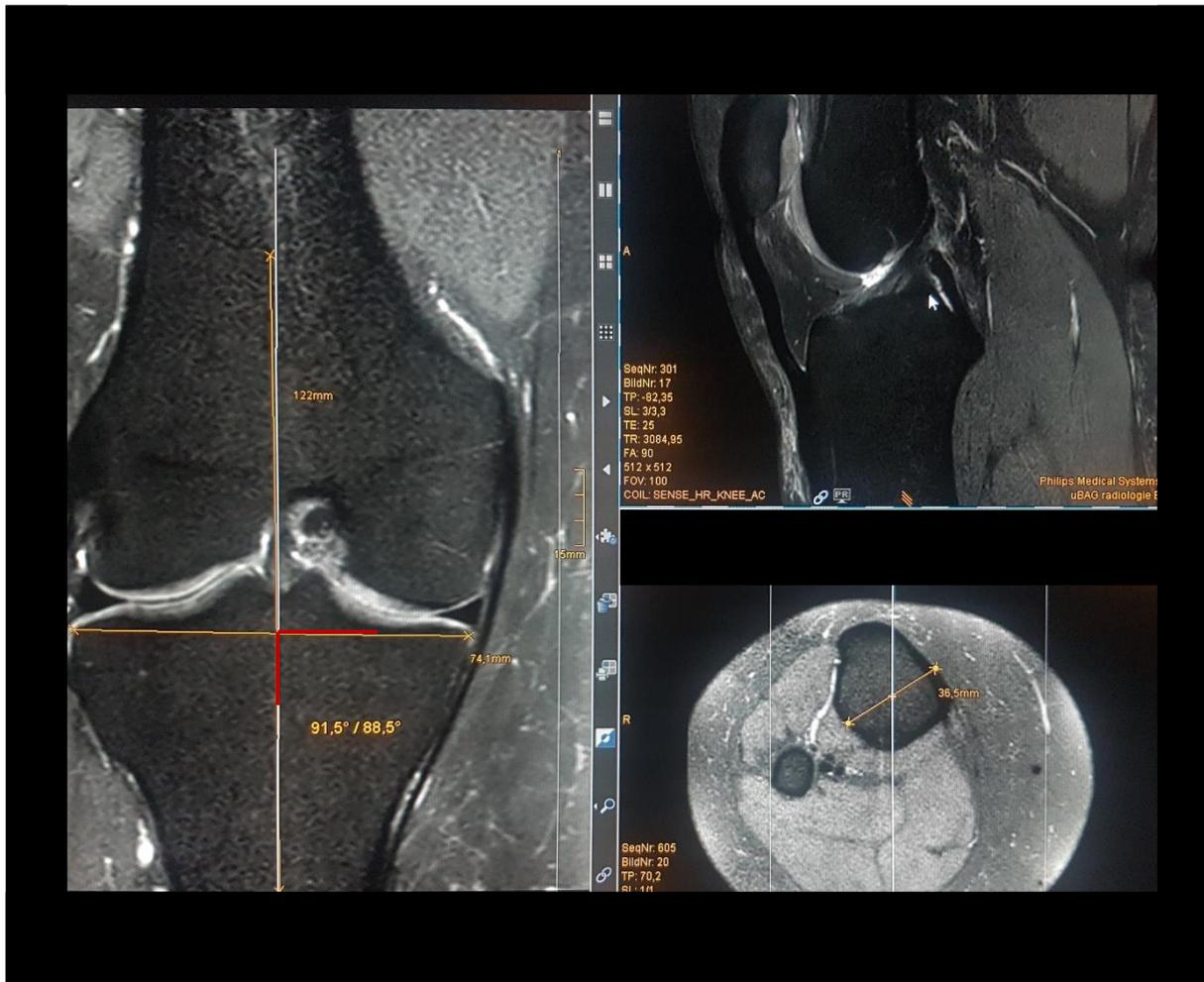


Abbildung 25
Anatomischer medial-proximaler Tibia-Winkel (aMPTA)

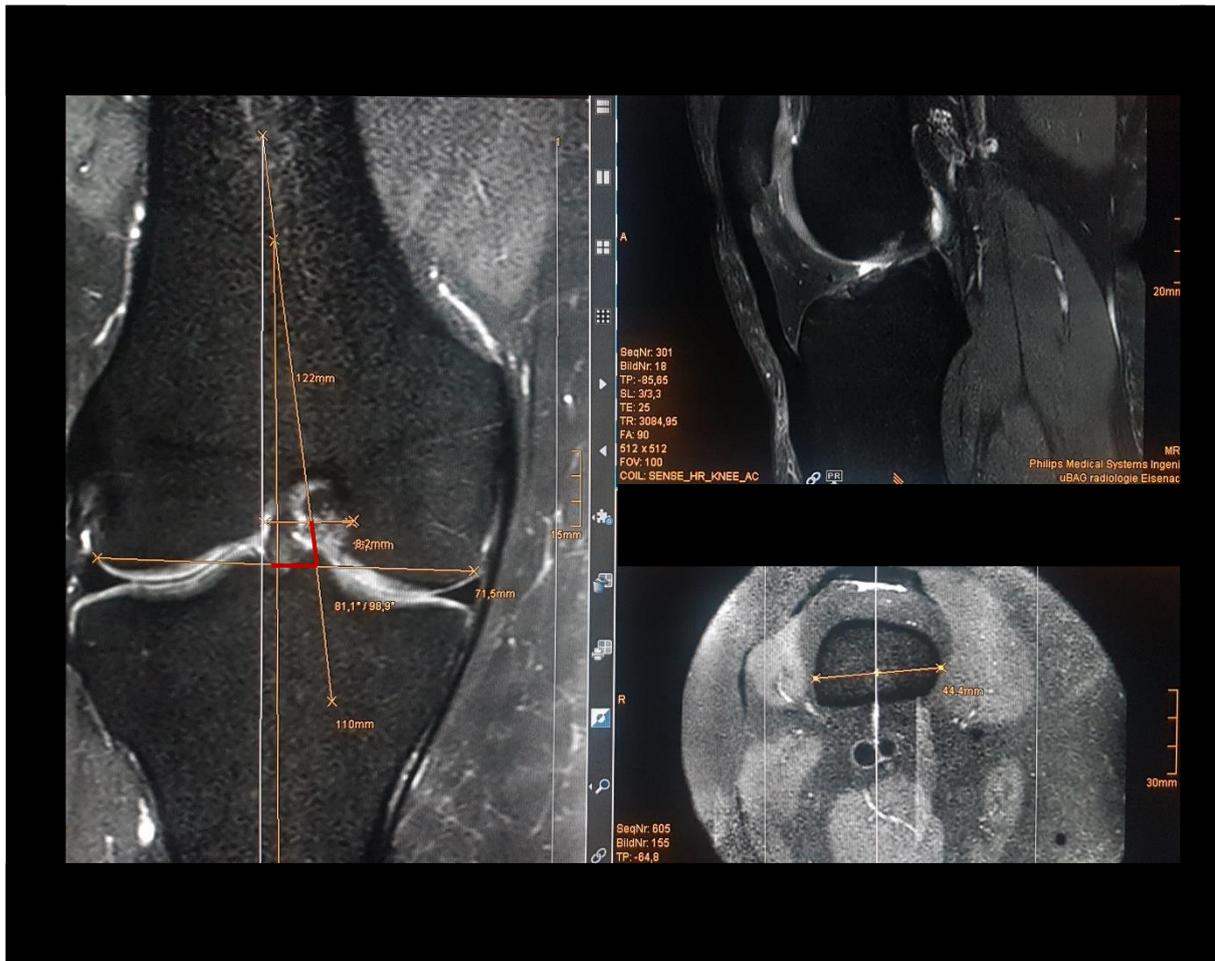


Abbildung 26
Anatomischer lateral-distaler Femur-Winkel (aL DFA)

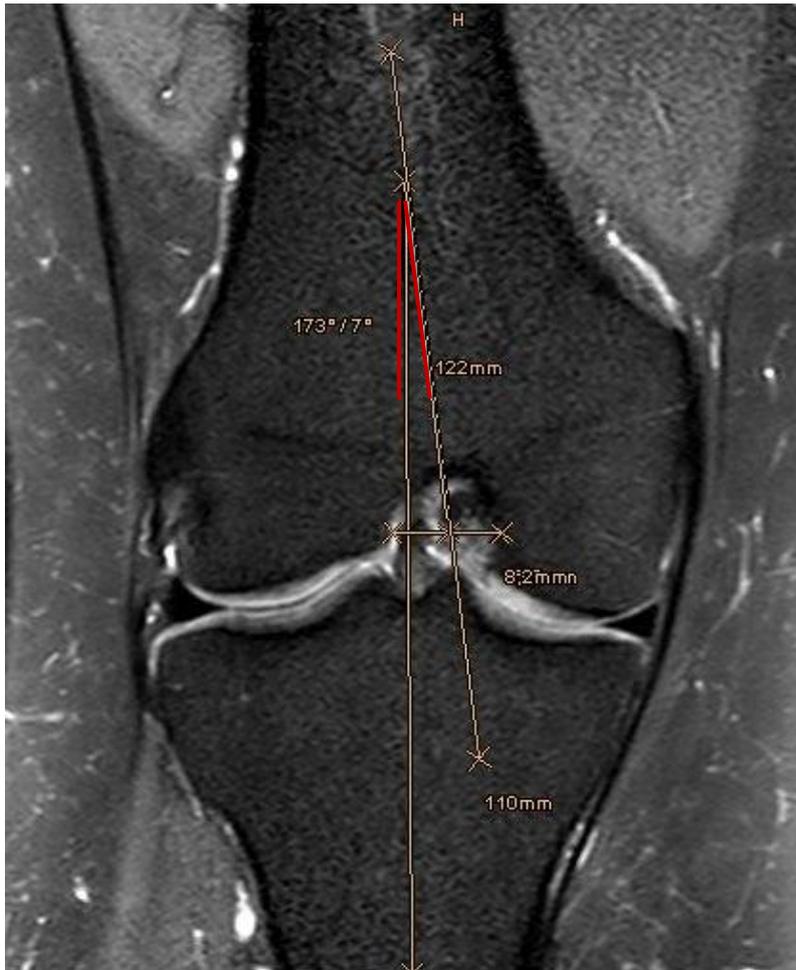


Abbildung 27
Anatomischer tibiofemoraler Winkel (ATFA)



Abbildung 28
Tibial Slope (T-Slope)

8.3. Lebenslauf

Name:	Aiste Mockute
Geburtsdatum:	28. März 1991
Geburtsort:	Marijampole, Litauen
09/1997 – 06/2001	Grundschule Rimanto Stankeviciaus Marijampole, Litauen
09/2001 – 06/2009	Gymnasium Rygiskiu Jono Marijampole, Litauen
09/2009 – 06/2015	Medizinstudium an der Universität Vilnius Vilnius, Litauen
08/2014 – 09/2014	Famulatur im Universitätsklinikum Schleswig- Holstein, im Fach Augenheilkunde Lübeck, Deutschland
02/2015 – 05/2015	Praktikum im HELIOS Klinikum Berlin-Buch, in den Fächern Anästhesiologie, Augenheilkunde, Neuroradiologie Berlin, Deutschland
06/2015 – 08/2015	Praktikum im Agaplesion Markuskrankenhaus, im Fach Radiologie Frankfurt am Main, Deutschland
12/2015 – Heute	Facharztweiterbildung in der Abteilung für Radiologie üBAG Radiologie Eisenach – Eschwege

8.4. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich all jenen danken, die mich im Laufe meines Promotionsverfahrens sowie während des Verfassens meiner Dissertation unterstützt haben. Einige möchte ich namentlich erwähnen.

Herrn Univ.- Prof. Dr. med. habil. Dr. rer. nat. G. O. Hofmann möchte ich mich bedanken für die Überlassung dieses interessanten Themas und die Betreuung der Arbeit.

Mein herzlicher Dank gilt meinem zweiten Betreuer, Herrn apl. Prof. Dr. med. habil. G. Spahn, der diese Studie initiierte, mir Mut machte und mich in jeder Phase der Studie umfassend unterstützte. Insbesondere der konstruktive Austausch sowie die regelmäßigen Gespräche waren stets eine große Hilfe für mich und haben mich positiv beeinflusst und ermutigt.

Meinen besonderen Dank möchte ich Frau Dr. med. Retzlaff und Herrn Dr. med. Kirchner aussprechen. Durch sachkundige und freundliche Unterstützung lieferten sie mir wichtige Informationen zu den radiologischen Fragen dieser MRT-Studie und waren exzellente Ansprechpartner im Rahmen wissenschaftlicher Diskussionen.

Mein ganz besonderer Dank gilt den MTRA-Assistentinnen sowie den Mitarbeiterinnen der Anmeldung in der Radiologischen Praxis in Eisenach, welche die Patienten über die Teilnahme der Studie aufgeklärt haben und einen erheblichen Beitrag zur Erhebung der Daten geleistet haben.

Meinen Eltern möchte ich für die unermüdliche Unterstützung während dieser Jahre danken. Sie haben mich in allen Umbrüchen und Veränderungen gestärkt und mir vieles möglich gemacht, das ohne ihre Hilfe nicht möglich gewesen wäre.

Meinem Lebensgefährten Rudolf Jens Göbel möchte ich für die grammatikalische und syntaktische Durchsicht der Arbeit, die moralische Unterstützung und das Interesse bedanken.

8.5. Ehrenwörtliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass mir die Promotionsordnung der Medizinischen Fakultät der Friedrich-Schiller-Universität bekannt ist, ich die Dissertation selbst angefertigt habe und alle von mir benutzten Hilfsmittel, persönlichen Mitteilungen und Quellen in meiner Arbeit angegeben sind, mich folgende Personen bei der Auswahl und Auswertung des Materials sowie bei der Herstellung des Manuskripts unterstützt haben:

Univ.- Prof. Dr. med. habil. Dr. rer. nat. G. O. Hofmann,
apl. Prof. Dr. med. habil. G. Spahn,

die Hilfe eines Promotionsberaters nicht in Anspruch genommen wurde und dass Dritte weder unmittelbar noch mittelbar geldwerte Leistungen von mir für Arbeiten erhalten haben, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen,

dass ich die Dissertation noch nicht als Prüfungsarbeit für eine staatliche oder andere wissenschaftliche Prüfung eingereicht habe und

dass ich die gleiche, eine in wesentlichen Teilen ähnliche oder eine andere Abhandlung nicht bei einer anderen Hochschule als Dissertation eingereicht habe.

Jena, 05.11.2019

Ort, Datum



Aiste Mockute