

Aus der
Klinik für Allgemeine, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie
der Ludwig-Maximilians-Universität München
Direktor: Prof. Dr. med. Wolfgang Böcker

Wertigkeit unterschiedlicher pathologischer Grenzwerte des
TTTG-Abstandes und Evaluation eines TTTG-Index als
Risikofaktor für eine patellofemorale Instabilität

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Daniel Peter Ganter

aus
Rosenheim

2018

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Wolfgang Böcker

Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. Andrea Baur-Melnyk
Prof. Dr. med. Hans-Joachim Andreß

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: Dr. med. Markus Regauer

Dekan: Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel

Tag der mündlichen Prüfung: 29.11.2018

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
1.1	Funktionelle Anatomie.....	2
1.2	Biomechanik und Kinematik des Patellofemoralgelenks	6
1.2.1	Aktive Stabilisatoren	7
1.2.2	Passive Stabilisatoren	8
1.2.3	Statische Faktoren.....	8
1.2.4	Zusammenspiel der stabilisierenden Faktoren.....	9
1.3	Die Patellaluxation.....	9
1.3.1	Formen der Patellaluxation.....	10
1.3.2	Klinik der Patellaluxation.....	12
1.3.3	Diagnostik nach einer Patellaluxation.....	12
1.3.4	MRT bei der Diagnostik von Knieverletzungen	13
1.3.5	Risikofaktoren für Patellaluxationen	14
1.3.6	Therapie.....	16
1.4	Der Abstand zwischen Tuberositas tibiae und der Trochleagrube (TTTG-Abstand).....	16
1.5	TTTG-Index.....	18
1.6	Stand der Wissenschaft	18
1.6.1	Pathologischer Grenzwert des TTTG-Abstandes.....	21
1.6.2	Bisherige Forschung zum TTTG-Index.....	22
1.7	Ziele, Fragestellungen und Relevanz der Arbeit.....	23
1.7.1	Ziele	23
1.7.2	Konkrete Fragestellungen.....	25
1.7.3	Klinische Relevanz.....	25
2	Material und Methoden	27
2.1	Statistische Methoden	27
2.2	Material.....	27
2.2.1	Patientengut.....	27
2.2.2	Ausschlusskriterien	28
2.3	Methodik der Datengewinnung	29
2.3.1	Messung des TTTG-Abstandes.....	32
2.3.2	Messung von Epikondylenabstand und Breite/Höhe der lateralen Trochlea.....	34
2.3.3	Bestimmung des TTTG-Winkels und des Tuberositas-Rotationswinkels.....	35
2.3.4	Betrachtung von Grenzwert-Szenarien.....	37
2.3.5	Bestimmung eines geeigneten TTTG-Index und dessen Anwendung	42
2.3.6	Korrelationen.....	44

3	Ergebnisse	45
3.1	Deskriptive Statistiken	45
3.1.1	Alter	45
3.1.2	Körpergröße	47
3.1.3	Körpergewicht und Body-Mass-Index	48
3.2	Explorative Datenanalyse	50
3.2.1	TTTG-Abstände in der Gesamtpopulation	50
3.2.2	TTTG-Abstand bei den untersuchten Männern	53
3.2.3	TTTG-Abstand bei den untersuchten Frauen	54
3.2.4	Korrelationen	55
3.2.5	Untersuchung verschiedener pathologischer Grenzwerte des TTTG-Abstandes	58
3.2.6	Einfluss von Bandverletzungen auf den TTTG-Abstand	62
3.2.7	Ermittlung eines optimalen größenunabhängigen relativen TTTG-Index	62
3.2.8	Ergebnisse bei Verwendung eines TTTG-Index	64
3.2.9	TTTG-Index als Indikator für das Rezidiv-Risiko	67
3.2.10	Risikoabschätzung durch den TTTG-Index	68
4	Diskussion	70
4.1	Methodische Aspekte und Studiendesign	70
4.2	Diskussion der gewonnenen Erkenntnisse	71
5	Zusammenfassung	79
	Danksagung	81
	Abkürzungsverzeichnis	82
	Tabellenverzeichnis	83
	Abbildungsverzeichnis	84
	Literaturverzeichnis	85
	Lebenslauf	94

1 Einleitung

In den Ambulanzen des Klinikums der Universität München stellen sich zahlreiche Patienten mit Pathologien des Kniegelenks vor. Insbesondere bei Jüngeren und sportlich aktiven Menschen spielt die Patella gemeinsam mit den umliegenden Strukturen nicht selten eine Schlüsselrolle für die vorgebrachten Beschwerden. Das Spektrum der möglichen Pathomechanismen umfasst dabei auch Luxationen oder Subluxationen der Kniescheibe – denn es ist bekannt, dass jede zehnte Knieverletzung junger Erwachsener eine vollständige Luxation ist, bei Jugendlichen ist die Subluxation der Patella sogar die zweithäufigste Ursache eines Hämarthros im Kniegelenk (1). Bei Verletzungen des Kniegelenks erfolgt in vielen Fällen eine radiologische Diagnostik mittels Magnetresonanztomographie (MRT). Die dabei gestellten Befunde sind neben den klinischen Befunden regelmäßige Grundlage für die Planung der weiteren Therapie und entscheiden oft über die Frage einer konservativen oder operativen Herangehensweise.

Seit langem wird in CT-Untersuchungen (und seit einigen Jahren vorwiegend mittels MRT) der so genannte „TTTG-Abstand“ des Kniegelenks gemessen – eine in Millimetern erfasste Distanz zwischen zwei anatomischen Strukturen des Gelenks. Es gilt als anerkannt, dass ein hoher TTTG-Abstand eine gesteigerte Lateralisierung der Kniescheibe anzeigt und letztlich eine Instabilität des Patellofemoralgelenks bzw. eine Patellaluxation begünstigt. Bis dato haben sich im klinischen Alltag „pathologische Grenzwerte“ dieser Distanz etabliert – Werte jenseits dieser Grenzen sind dann häufig mitentscheidend für eine operative Therapie, wie z.B. einer Medialisierung der Tuberositas tibiae.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich einerseits mit der Fragestellung, ob diese gegenwärtig genutzten Grenzwerte in der Lage sind, ein Kollektiv von Patienten mit stattgehabter Patellaluxation von einer gesunden Kontrollgruppe hinreichend gut zu differenzieren. Es wird auch geprüft, inwieweit die Wahl anderer Grenzwerte zu einer signifikanten Veränderung verschiedener Testgütekriterien, wie beispielsweise der Sensitivität, führt.

Regelhaft wird im klinischen Alltag ein *absoluter* Grenzwert von 20 Millimetern für den TTTG-Abstand genutzt, ohne diesen an individuelle Eigenschaften des Untersuchten, wie beispielsweise Körpergröße oder Gewicht, anzupassen. Dies könnte problematisch sein, sollte der TTTG-Abstand in relevantem Ausmaß von solchen individuellen

Merkmale des Einzelnen abhängig sein. Die Arbeit beinhaltet daher eine entsprechende Prüfung der gewonnenen Messwerte auf ebensolche Zusammenhänge.

Im Mittelpunkt der Arbeit steht daher die Überlegung, ob die Verwendung eines relativen „TTTG-Index“ signifikante Vorteile gegenüber dem absoluten TTTG-Abstand zeigt. Dabei ist dieser Index definiert als Quotient aus dem TTTG-Abstand und einem weiteren Maß (z.B. der Kniebreite) – sodass möglicherweise eine individuellere Diagnostik und Therapieplanung hinsichtlich patellofemoraler Instabilität bzw. Patellaluxation möglich wird.

Die durchgeführte retrospektive Studie anhand von 255 MRT-Untersuchungen soll diesen Fragen unter kritischer Würdigung der Relevanz und praktischen Anwendbarkeit im klinischen Alltag nachgehen.

1.1 Funktionelle Anatomie

Das Kniegelenk, *Articulatio genus*, ist das größte Gelenk des menschlichen Körpers. Es wird als zusammengesetztes Gelenk gebildet aus dem Femorotibialgelenk und dem Femoropatellargelenk, welche gemeinsam eine funktionelle Einheit bilden.

Die Patella hebt als größtes Sesambein des Menschen den *M. quadriceps femoris* von der Gelenkfläche ab und bewirkt einen effektiveren Hebelarm, sodass eine kraftvolle Streckung im Kniegelenk (insbesondere in der Endphase) möglich wird. Die Zugkraft des *M. quadriceps femoris* wird dabei über die Patella und das *Lig. patellae* an die *Tuberositas tibia* weitergeleitet (2; 3).

Die beiden Teilgelenkflächen der dreieckigen Patella sind durch einen First voneinander getrennt, welcher normalerweise nach medial verschoben ist, in proximal-distaler Richtung verläuft und durch die knöcherne Struktur der Patella aufgeworfen wird. Die gelenkseitige Fläche, *Facies articularis*, zeigt physiologischerweise eine prominente Schicht hyalinen Knorpels. Dieser Knorpelüberzug fehlt in den Randbereichen der rückwärtigen Fläche ebenso wie im distal gelegenen Areal (3). Die Abbildung 1 zeigt einen histologischen Schnitt durch eine menschliche Patella.

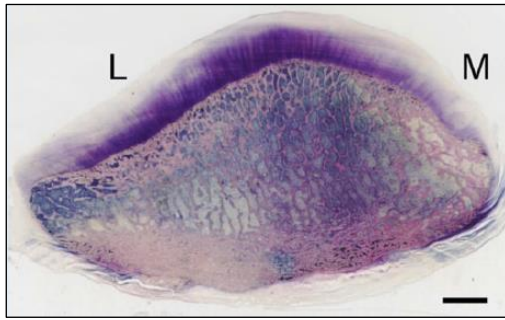


Abbildung 1: Gefärbter Horizontalschnitt durch die menschliche Patella, aus (3)

Die Form der Kniescheibe wird unter Zuhilfenahme einer axialen Röntgenaufnahme (bei 45° Beugung) meist nach Wiberg und Baumgartl eingeteilt. Dabei sind zu berücksichtigen: der Patellaöffnungswinkel, der Patellagelenksflächenwinkel nach Christiani, der Winkel, den knöcherner Patellafirst mit der inneren und äußeren Gelenkfacette bilden, sowie Länge und Form der medialen Gelenksfläche (4; 5). Es erfolgt eine Zuweisung der Form entsprechend der fünf „Wiberg-Typen“ – ggf. liegt auch eine Sonderform (Jägerhut-, Halbmond-, Kieselsteinform) vor. Die Abbildung 2 illustriert die möglichen Formen:

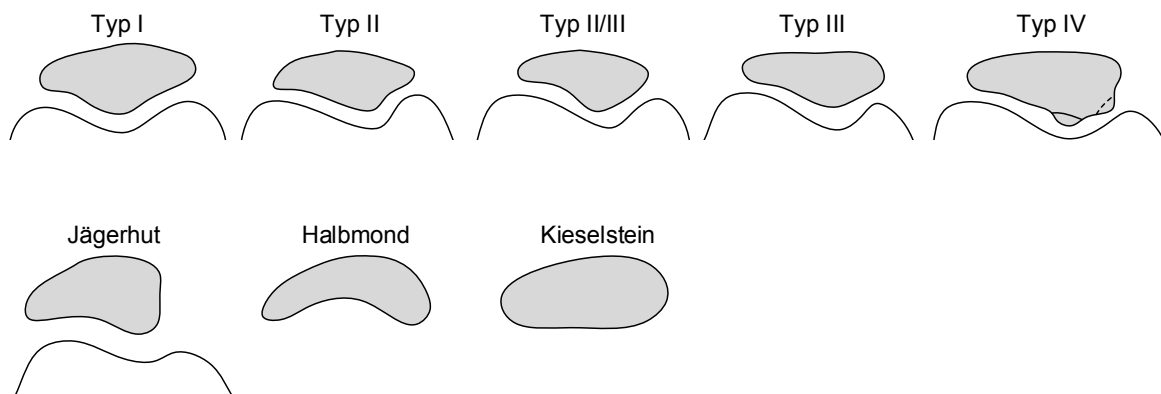


Abbildung 2: Patellaformen, in Anlehnung an (6)

Als nichtpathologische Normalformen gelten die Typen I, II und III – während Typ IV und die Sonderformen als Dysplasien der Patella anzusehen sind (7).

Während des dynamischen Prozesses der Kniebeugung gleitet die Patella in einer Art Führungsrinne, der Facies patellaris femoris (oft als „Trochlea“ bezeichnet). Es handelt sich dabei um den nach anterior gerichteten Teil der Gelenkfläche des distalen Femur. Diese gleitende Bewegung der Patella in der Trochlea hängt von anatomischen Gegebenheiten ab, welche unter Zuhilfenahme der Bildgebung beschrieben

werden. Relevant sind vertikale und horizontale Position der Patella, ihre Verkippung (Tilt) in der Horizontalen und – besonders wichtig – die Form der Trochlea, welche (ebenso wie die Patella) dysplastisch vorliegen kann und einen statischen Faktor der Stabilisierung darstellt, vgl. Kapitel 1.2.3.

Der **Index nach Insall und Salvati** wird am häufigsten verwendet, um die **vertikale Position** der Patella zu bestimmen und einen Patellahochstand (Patella alta) oder -tiefstand (Patella infera) zu erkennen. In einer seitlichen Röntgenaufnahme werden die größte diagonale Länge der Patella (P) und die Länge des Lig. Patellae (L) gemessen. Der Insall-Salvati-Index ergibt sich aus P/T , die Norm beträgt 0,8 – 1,2 (8). Die Bestimmung ist weitgehend unabhängig von der Gelenkstellung. Ein Versatz der Tuberositas tibiae ändert den Wert aber fälschlicherweise nicht, ebenso kann die Tuberositas schlecht abgrenzbar sein. Falsch-negative Befunde werden ggf. erhoben, wenn sich ein prominenter Apex der Patella zeigt (9).

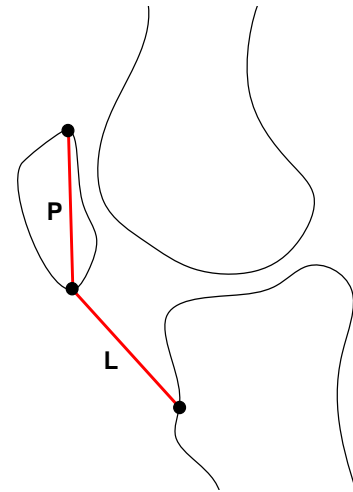


Abbildung 3: Messungen zur Berechnung des Insall-Salvati-Index

Die **horizontale Position** der Patella hat einen erheblichen Einfluss auf die gemeinsame Artikulationsfläche mit der Trochlea. Es hat sich die Messung des **patellofemorale Kongruenzwinkels** bewährt, welcher unter dem Einfluss von Patella- und Trochleaform einerseits und lateralem Patella-Shift (mediolaterale Position der Patella) andererseits steht.

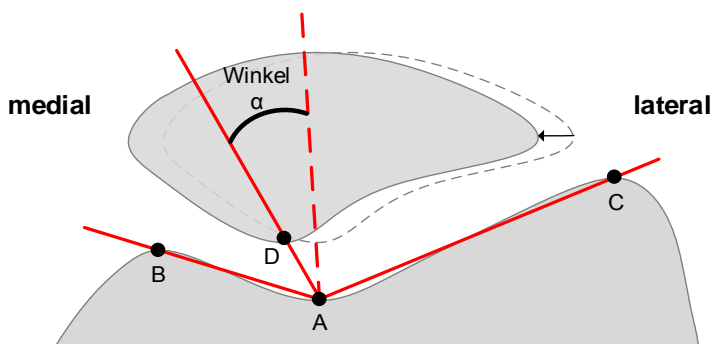


Abbildung 4: Messung des patellofemorale Kongruenzwinkels

Hierzu bestimmt man auf einer axialen Röntgenaufnahme den tiefsten Punkt der Trochlea (A) und die höchsten Punkte der Femurkondylen (B, C). Die Geraden A-B und A-C bilden den Sulkuswinkel und seine Winkelhalbierende dient als Hilfslinie (gestrichelt). Es wird letztlich der tiefste Punkt des Patellafirsts (D) festgelegt und der **patell-ofemorale Kongruenzwinkel α** ergibt sich aus der Verlängerung der Geraden A-D und der Hilfslinie. Es wird ein Mittelwert für diesen Winkel von -6° (also in Richtung des medialen Femurkondylus) angegeben und Werte $> +16^\circ$ werden als pathologisch betrachtet (9).

Ein gebräuchliches Maß für die **Verkipfung der Kniescheibe (Tilt)** ist der laterale **patell-ofemorale Winkel nach Laurin**. Dabei wird in einer axialen Röntgenaufnahme eine Gerade durch die höchsten Punkte der Femurkondylen angelegt und anschließend eine Gerade an der lateralen Patellafacette konstruiert.

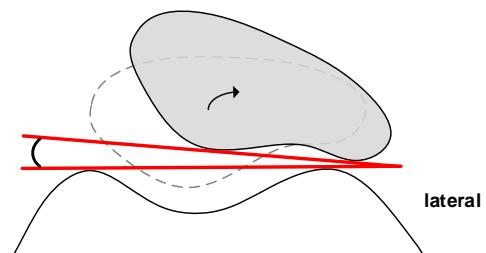


Abbildung 5: Verkipfung der Patella mit nach medial offenem Winkel

Physiologisch ist ein nach lateral offener Winkel, ein paralleler Verlauf der beiden Geraden oder ein nach medial geöffneter Winkel begünstigen hingegen eine Instabilität der Patella. Der Patellatilt sollte in voller Extensionsstellung des Kniegelenks untersucht werden, da mit zunehmender Flexionsstellung die Neigung der Patella durch die knöchernen Führung der Trochlea teilweise korrigiert werden kann (9).

Die **Form der Trochlea** hat als funktionelle Führungsschiene erheblichen Einfluss auf die Stabilisierung der Patella in Flexionsstellung des Kniegelenks. Eine Dysplasie der Patella kann eine (Sub-)Luxation der Kniescheibe (vgl. Kapitel 1.3) erheblich begünstigen. Nach Dejour, Walch et al. unterscheidet man die Typen A-D einer Trochleadysplasie (10):

- Typ A: abgeflachte Trochlea (verminderte Sulkustiefe)
- Typ B: abgeflachte oder konvexe Trochlea
- Typ C: Trochlea mit Asymmetrie der beiden Facetten
- Typ D: Trochlea mit Asymmetrie und einer buckelartigen Vorwölbung („bump“)

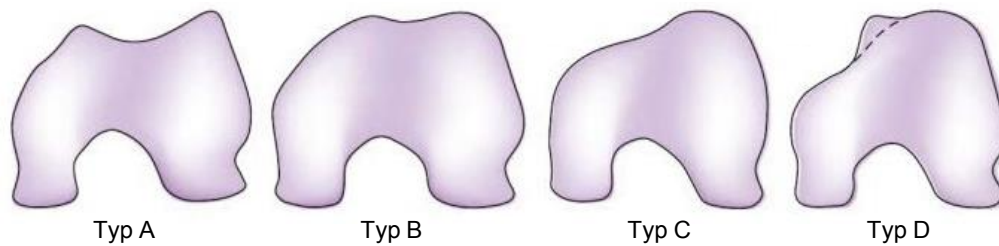


Abbildung 6: Formen A-D der Trochleadysplasie, modifiziert aus (11).

Zur Bewertung einer Trochleadysplasie wird meist der **Sulkuswinkel** bestimmt. Dabei wird in einer axialen Röntgenaufnahme zwischen dem tiefsten Punkt der Trochlea (A) und jeweils dem höchsten Punkt des lateralen (B) und des medialen Femurkondylus (C) gemessen (vgl. Abbildung 7). Es werden Winkel $> 145^\circ$ als Zeichen einer Trochleadysplasie gesehen (9).

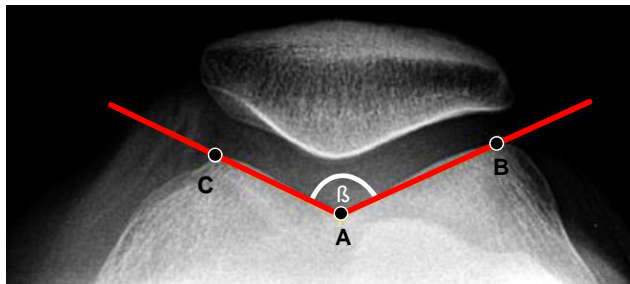


Abbildung 7: Bestimmung des Sulkuswinkels β , modifiziert aus (9).

1.2 Biomechanik und Kinematik des Patellofemoralgelenks

Die Kenntnis der am patellofemoralen Gelenk wirkenden Biomechanik und Kinematik sowie der verschiedenen stabilisierenden Faktoren ist notwendig, um Pathologien wie die patellofemorale Instabilität, die Patella(sub)luxation oder das patellofemorale Schmerzsyndrom zu verstehen. Von entscheidender Bedeutung ist die Stabilität des patellofemoralen Gelenks im Ganzen, welche anatomischen und biomechanischen Faktoren unterliegt. Diese notwendige Stabilität ist insbesondere bezüglich der Patellaluxation mittlerweile gut untersucht.

Mehrere Autoren gehen davon aus, dass (abgesehen von Hochrasanztraumen) entweder die sog. statischen und/oder passiven Stabilisatoren pathologisch verändert sein müssen, damit es zu einer Patellaluxation kommen kann (12–14).

Im Folgenden werden dargestellt:

- aktive Stabilisatoren (Muskulatur),
- passive Stabilisatoren (Kapsel-Band-Apparat) und
- statische Faktoren (Knochen, Gelenkgeometrie).

1.2.1 Aktive Stabilisatoren

Die vier Köpfe des M. quadriceps femoris zählen zu den aktiven stabilisierenden Faktoren. Besonders die Kraftkomponente des M. vastus medialis obliquus (VMO) wird oft als besonders bedeutsam erachtet, um der Patellalateralisierung entgegen zu wirken. Schöttle und Hensler sehen das kritisch, da der Vektor des VMO während der Kniebeugung nur bei einer physiologischen Patella zu tragen kommt und darüber hinaus nur durch einen anteroposterioren Anpressdruck stabilisierend wirkt. Dem steht wiederum eine In-vivo-Studie von Powers et al. entgegen, bei der eine patellastabilisierende Wirkung des gesamten Quadrizeps nur in Beugstellung gezeigt wurde, während es in Streckstellung zu einer Lateralisierungstendenz der Patella kam. Kommt dann eine Trochleadysplasie und/oder einer schwacher medialer Bandapparat (beides nicht-aktive Stabilisatoren) hinzu, kann es leicht zur Patellaluxation kommen (15; 16). Folgende Abbildung zeigt die auf die Patella wirkenden Zugrichtungen von Muskeln und Bändern.

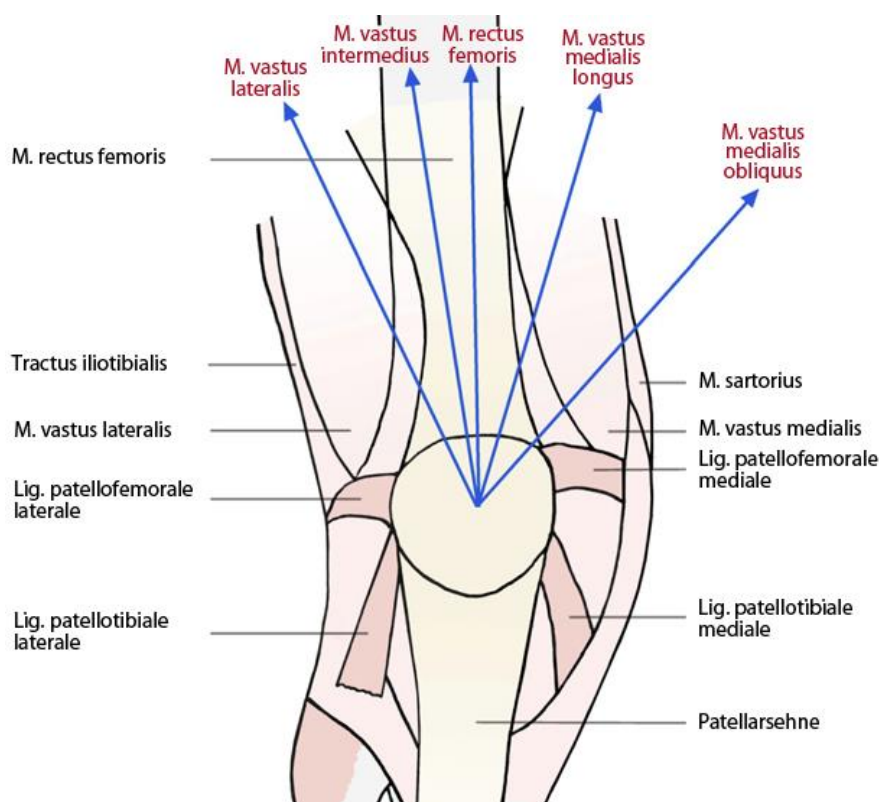


Abbildung 8: Zugkräfte auf die Patella durch Muskeln und Bänder, aus (17)

1.2.2 Passive Stabilisatoren

Das mediale patellofemorale Ligament (Lig. patellofemorale mediale, MPFL) gehört zu den wichtigsten passiven Stabilisatoren. Mit einer durchschnittlichen Länge von 55 mm und einer Breite von 3-30 mm weist es eine hohe Zugfestigkeit von 280 N auf und verhindert effektiv eine Dislokation der Patella nach lateral, besonders in strecknaher Knieposition, in der die Stabilisierung der Trochlea physiologisch fehlt. Dieses Band wird dabei von Faserzügen aus der Unterseite der Sehne des M. vastus medialis unterstützt, deren aktiver Muskelzug auch einer Lateralisierungstendenz der Patella entgegenwirkt. Diese distalen und schräg zur Femurlängsachse verlaufenden Muskelfaserzüge werden im Sinne einer funktionellen Einheit als M. vastus medialis obliquus (VMO) bezeichnet und von den längs verlaufenden Faserzügen abgegrenzt. Desio et al. zeigten, dass in über 90% nach einer Erstluxation der Patella eine pathologische Veränderung des MPFL vorliegt, eine Verletzung oder bestehende Insuffizienz des MPFL eine Luxation also maximal begünstigt (3; 15; 18–20).

1.2.3 Statische Faktoren

Statische Faktoren des patellofemorales Gelenks sind im Wesentlichen die Femurachsen und die Beschaffenheit der Trochlea.

Eine Veränderung der Femurachsen der unteren Extremität kann zu einer relativen bzw. indirekten Lateralisierung der Patella führen – trotz der zentralen Lage der Patella zwischen Hüftkopf und Sprunggelenk liegt sie dann bezogen auf das Kniegelenk zu weit lateral zur Trochlea. Diese Situation kommt bei einer Valgisierung des Kniegelenks ebenso zustande wie bei einer Innenrotation des Femurs: beides führt zu einer Medialisierung der Trochlea, hat aber keinen direkten Einfluss auf die Patella (15; 21; 22).

Eine morphologisch normal ausgebildete Trochlea ermöglicht ein Einsinken der Patella während der Flexionsbewegung und stabilisiert die Patella nach lateral hin. Liegt eine Trochleadysplasie vor, beispielsweise in Form einer zu flachen Trochlea, ist meist die Begrenzung nach lateral vermindert oder aufgehoben. Es fällt dann vor allem die stabilisierende Funktion der lateralen Trochleafacette gegen den lateralisierenden Quadrizepsvektor weg und es wird ein Abrutschen der Patella nach lateral und somit eine Luxation begünstigt. Die Arbeitsgruppen um Dejour und Malghem zeigten, dass bei 96% aller Patienten mit einer patellofemorales Instabilität eine begleitende

Trochleadysplasie vorlag und somit als wesentlicher Risikofaktor zu sehen ist (10; 15; 23).

In den Ausführungen zur Anatomie wurden die Typen A-D einer Trochleadysplasie (Einteilung nach Dejour) bereits beschrieben, vgl. Kapitel 1.1.

1.2.4 Zusammenspiel der stabilisierenden Faktoren

Das patellofemorale Gelenk wird je nach Stellung des Kniegelenks von unterschiedlichen Faktoren maßgeblich stabilisiert. Im Bereich von 0 bis 20° Flexion (gestrecktes Knie) wirken die passiven Faktoren, insbesondere das MPFL, am stärksten, während zwischen 20 und 60° Flexion zusätzlich die statischen Komponenten (Femurachsen, Möglichkeit der Patella, in die Trochlea einzusinken) hinzukommen. Erst bei sehr starker Flexion im Kniegelenk wirken die aktiven Faktoren (M. quadriceps femoris) in nennenswertem Ausmaß einer Lateralisierung der Patella entgegen (15).

1.3 Die Patellaluxation

Die Patellaluxation ist bei Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen ein häufiges orthopädisches bzw. unfallchirurgisches Krankheitsbild. Es handelt sich dabei um eine Dislokation der Kniescheibe aus ihrem regulären Gleitlager, der Trochlea, in nahezu allen Fällen nach lateral. Ein Luxieren nach medial ist äußerst selten, bei einer bestimmten Innenrotationsstellung des Unterschenkels zum Femur aber dennoch möglich (24). Das wiederholte Auftreten von Patellaluxationen im Sinne eines chronischen Leidens ist keine Seltenheit.

Es finden sich Angaben in der Literatur, wonach die zugrunde liegende patellofemorale Instabilität bis zu 11% der in der Praxis gesehenen muskuloskelettalen Symptome und 16-25 % aller Verletzungen bei Läufern bedingt (25).

Wenngleich die Ursachen und Arten der Patellaluxation vielfältig sind, so können doch spezifische Häufungen beobachtet werden. In Deutschland ereignen sich pro Jahr bis zu 23.000 Fälle einer Primärluxation (26). Die Inzidenz wurde in finnischen Studien mit 43/100.000 für Kinder unter 16 Jahren (27) und bei männlichen Soldaten während der Grundausbildung mit 77,4/100.000 angegeben - wobei es sich bei letzteren stets um traumatisch bedingte Luxationen handelte (28). Dies deckt sich mit den Beobachtungen, dass junge Menschen einerseits häufiger betroffen sind, denn der Altersgipfel

liegt zwischen zehn und zwanzig Jahren (29). Andererseits bedeutet sportliche Aktivität ein erhöhtes Risiko, mehr als die Hälfte aller Patellaluxationen treten bei sportlicher Aktivität auf (29–31). Vor allem den Sportarten Skifahren, Basketball und Fußball kommt dabei besondere Bedeutung für das Auftreten einer Erstluxation zu (26; 31).

Mehrere Studien zeigten, dass Frauen insgesamt gesehen häufiger eine Patellaluxation erleiden als Männer, sodass sich vor allem Mädchen im Alter von 10-17 Jahren als Gruppe mit besonders hohem Risiko mehrfach bestätigen (29; 32). Ursächlich soll hierfür eine stärkere Ausprägung der dysplastischen Gelenkfaktoren beim weiblichen Geschlecht sein (33). Dem widersprechen jedoch Waterman et al, welche zwar den Einfluss sportlicher Aktivität erkennen, aber keinen Einfluss des Geschlechts nachweisen konnten (31).

Durch ein Trauma entstandene Luxationen führen häufig zu einem Zustand (teilweise mehrfach) rezidivierender Luxationen, aber auch eine vorbestehende patellare Instabilität begünstigt erneute Ereignisse deutlich (34).

1.3.1 Formen der Patellaluxation

Die verschiedenen Formen der Patellaluxation unterscheiden sich primär in ihrer Pathogenese. Man unterscheidet dabei zwischen kongenitalen, traumatischen, habituellen und letztlich chronisch rezidivierenden Patellaluxationen.

1.3.1.1 Kongenitale Patellaluxation

Es liegt oft eine kleine dysplastische Patella vor, eine Dislokation nach lateral kann bei genauer Untersuchung schon beim Neugeborenen getastet werden (35). Eine kongenitale Patellaluxation ist selten, tritt meist beidseits und familiär gehäuft auf. Ebenso sind begleitende Deformitäten des Bewegungsapparates keine Seltenheit. Die kongenitale Luxation besteht oft im Rahmen einer Grunderkrankung wie dem Down-Syndrom oder dem Ehlers-Danlos-Syndrom, welche eine erhöhte Laxizität der Bandstrukturen verursachen. Häufig wird diese Form der Patellaluxation erst im dritten bis vierten Lebensjahr diagnostiziert. Begründet ist dies in einem zumeist unauffälligen Gehbeginn mit anfänglich physiologischem Gangbild. Eine dysplastische Patella und eine Verzögerung der Ossifikation führen im Verlauf dazu, dass eine aktive Kniestreckung im Sitzen nicht möglich ist. Die luxierte und nicht reponierbare Kniescheibe befindet sich dann seitlich des lateralen Femurkondylus. Nebenbefundlich kann man meist die Diagnose eines Genu valgum stellen (7).

1.3.1.2 Traumatische Patellaluxation

Die unfallbedingte Patellaluxation ereignet sich meist auf dem Boden von prädisponierenden Faktoren, beispielsweise einer dysplastischen Patella. Durch Gewalteinwirkung kommt es im Regelfall zur Ruptur des medialen Reservestreckapparates und dadurch zur Luxation der Patella nach lateral. Knöcherne Verletzungen können dabei ebenfalls verursacht werden, sind aber nicht die Regel (36).

Die traumatische Patellaluxation (beispielhafte Röntgenaufnahme siehe Abbildung 9) ereignet sich regelhaft nach dem 9. Lebensjahr, nur sehr selten früher (29). Dennoch wird sie vorwiegend bei Jugendlichen bzw. jungen Erwachsenen gesehen, welche aktiv Sport treiben, nicht selten auch Leistungssport (30). Typisch ist eine Flexions-, Außenrotations- und Valgusstellung des Kniegelenks, wobei es dann bei fixiertem Unterschenkel durch eine starke Kontraktion des M. quadriceps femoris zur Luxation und in vielen Fällen gleichzeitig zur Ruptur des MPFL kommt (37; 38). Es sei aber darauf hingewiesen, dass nach Angaben in der Literatur nur 7% aller Patellaluxationen alleine durch ein adäquates Trauma bedingt sind (30; 39).



Abbildung 9: Vollständige Patellaluxation (li.) und Subluxationsstellung (re.), aus (17)

1.3.1.3 Habituelle Patellaluxation

Tritt eine Luxation oder Subluxation ohne besondere Beanspruchung des Kniegelenks (in Alltagssituationen) auf, handelt es sich oft um die habituelle Form. Sie ist dadurch charakterisiert, dass sie charakteristischerweise bei Mädchen im Schulalter auftritt, ausgelöst durch eine unphysiologische und/oder rasche Bewegung und begünstigt durch eine zu flache Trochlea, einen schwachen Muskel-Band-Apparat, patellare Fehlbildungen oder einem Genu Valgum. Es kommt zum Einknicken des Kniegelenks und zur Luxation der Patella. In Extensionsstellung ist die Reposition meist leicht möglich und wird oft von der Patientin/dem Patienten selbst vorgenommen (7).

1.3.1.4 Chronisch rezidivierende Patellaluxation

Der Entwicklung einer chronischen Instabilität liegt eine traumatische Schädigung der ligamentären Stabilisatoren zugrunde. Es können jedoch auch anlagebedingte Risikofaktoren die Imbalance der stabilisierenden Kräfte begünstigen und somit wiederholte Luxationen der Patella verursachen. Sekundär kommt es dann zu einer Drucküberlastung des knorpeligen lateralen Gleitlagers mit Deformierung und Arthrose des patellofemoralen Gelenks (9; 17). In der Literatur wird die Wahrscheinlichkeit einer Rezidivluxation mit bis zu ca. 40% angegeben (40).

1.3.2 Klinik der Patellaluxation

Patienten mit einer akuten Luxation der Patella präsentieren sich meist mit einer erheblichen Schwellung des Kniegelenks im Sinne einer Kombination aus einem intraartikulären Erguss und einer periartikulären Weichteilschwellung (41).

Die klinische Untersuchung zeigt im Regelfall eine ausgeprägte Schmerzhaftigkeit des Kniegelenks im Ganzen und ggf. auch an für die Patellaluxation typischen druckschmerzhaften Arealen. Am medialen Patellarand führt eine Kontusion und eine eventuelle Ruptur des MPFL zu Schmerzen, im Bereich des femoralen Ansatzes des MPFL nahe dem Tuberculum aductorium kann es ebenfalls zu einer MPFL-Ruptur und dort lokalisierten Schmerzen kommen. Bei einer kompletten Luxation der Patella, welche in den allermeisten Fällen nach lateral erfolgt, ist auch mit einer Druckdolenz am lateralen Femurkondylus zu rechnen (41).

1.3.3 Diagnostik nach einer Patellaluxation

Nach dem Auftreten einer Patellaluxation sollen nach Mauch, Ammann und Kraus zwei Prinzipien verfolgt werden. Zum einen muss natürlich erst die Abklärung der akuten Verletzungsfolge erfolgen (42):

- Liegt eine Verletzung des MPFL vor?
- Wo ist eine solche Verletzung genau und wie ausgeprägt ist diese?
- Liegt ein Knorpelschaden oder „bone bruse“ (Mikrofrakturen des spongösen Knochens) vor?
- Wo ist ein solcher Knorpelschaden lokalisiert und wie ausgeprägt ist er?
- Sind weitere Zusatzverletzungen vorhanden?

Im Anschluss an die Akutversorgung sollte eine Analyse der Risikofaktoren (für Rezidive) erfolgen, was zur differenzierteren Betrachtung des Vorgehens in der Akutsituation führt und auch richtungsweisend für konservative oder operative Therapien sein kann (42).

Bei der bildgebenden Diagnostik nach einer Patella(sub)luxation spielt u.a. der so genannte „**TTTG-Abstand**“ eine bedeutende Rolle. Er beschreibt im Wesentlichen die Position der Trochlea in Bezug auf die Position der Tuberositas tibiae und wird v.a. zur Risikoabschätzung (insbesondere bzgl. der Rezidivneigung) und für die Therapieplanung genutzt. Dieses Abstandsmaß ist von zentraler Bedeutung für die Fragestellungen der vorliegenden Arbeit und wird umfassend ab Kapitel 1.4 dargestellt.

1.3.4 MRT bei der Diagnostik von Knieverletzungen

Noch 2006 beschrieben Schoettle et al. die Computertomographie (CT) als bis dahin geltenden Goldstandard bei der Messung des TTTG-Abstandes, betonten aber auch, dass diese Messung ebenso zuverlässig und präzise anhand von MRT-Bildern durchgeführt werden könnte, da sie keine statistisch signifikanten Messunterschiede zwischen MRT und CT finden konnten. Es überrascht insoweit nicht, dass sich die MRT (neben Röntgenaufnahmen und der Sonografie) nicht zuletzt wegen der ausbleibenden Strahlenbelastung als Standard bei der bildgebenden Diagnostik des Patellofemoralgelenks durchgesetzt hat. Insbesondere für die Gesamtbeurteilung von Patella, Trochlea, aller beteiligten Muskeln, Sehnen und Retinacula ist die MRT somit die Methode der Wahl (42–44).

Im Jahr 2015 veröffentlichten Hinckel et al. eine Studie (n=50) mit der erneuten Fragestellung, ob bei der Nutzung von CT- und MRT-Aufnahmen tatsächlich identische TTTG-Abstände gemessen werden. Sie widersprachen der Darstellung von Schoettle et al., da sie (bei n=50) in CT-Aufnahmen um 3,1 bis 3,6 mm größere TTTG-Abstände maßen als in den MRT-Aufnahmen derselben Kniegelenke und somit die Gleichheit von CT- und MRT-Messungen verneinten. Sie verwiesen dabei auch auf Camp et al. welche ebenfalls etwa 2,2 mm höhere TTTG-Abstände ($p < 0,001$) in CT-Aufnahmen feststellten (45).

Ho et al. zeigen ebenfalls, dass signifikant höhere TTTG-Abstände bei CT-Aufnahmen gemessen werden (n=59) und betonten insbesondere nicht-identische Untersu-

chungstechniken und Positionierungen des untersuchten Beins als relevante Ursachen (46).

Üblicherweise werden bei der MRT des Kniegelenks die koronare, sagittale und axiale Ebene benutzt, wobei besondere Fragestellungen auch mittels weiterer Ebenen betrachtet werden (beispielsweise parakoronare oder parasagittale Beurteilung des vorderen Kreuzbandes). Die koronare Ebene entspricht der a.p.- und die sagittale Ebene der seitlichen Aufnahme im Röntgen (42).

Koronare Ebene: Parallel zur Interkondylarlinie und parallel zum Tibiaschaft: Die koronare Ebene eignet sich zur Darstellung der Kollateralbänder, medialem und lateralem Seitenband sowie von Tractus iliotibialis, Bizeps- und Politeussehne. Auch die Beurteilung der Menisci sowie knöcherner und knorpeliger Strukturen erfolgen primär in dieser Ebene. (38; 42).

Sagittale Ebene: Senkrecht zur Interkondylarlinie (im Sinne einer Tangente an die dorsalen Femurkondylen): In der sagittalen Ebene werden vornehmlich die Kreuzbänder beurteilt, die Darstellung von Menisci, Knochen und Knorpeln vervollständigt die in der koronaren Ebene gewonnenen Informationen.

Axiale (transversale) Ebene: Senkrecht zur Oberfläche der Patella: Es erfolgt die Beurteilung von Patella, dem patellofemorale Gelenk sowie – vorwiegend in der Poplitealregion – der Weichteile (38; 42). Die für diese Arbeit erhobenen Messwerte wurden ebenfalls in Aufnahmen in der axialen Ebene erfasst.

Als typische MRT-Befunde nach einer stattgehabter Patellaluxationen werden angesehen (37; 38; 47):

- osteochondrale Verletzung der inferomedialen Patella
- Kontusionsareal bzw. Impressionsfraktur am lateralen Femurkondylus
- freie Knochen- oder Knorpelfragmente
- Ruptur oder Teilruptur des medialen Retinakulums bzw. des MPFL
- noch bestehende Subluxationsstellung der Patella nach lateral
- retropatellare chondrale Läsionen

1.3.5 Risikofaktoren für Patellaluxationen

Als Risikofaktoren für rezidivierende Patellaluxationen – und auch für die patellofemorale Instabilität – gelten der Patellahochstand, die Trochleadysplasie, eine horizontale

Kippung (Tilt) bzw. Lateralisierung der Patella sowie letztlich ein erhöhter TTTG-Abstand. Der Fokus dieser Arbeit liegt auf dem TTTG-Abstand, weshalb die anderen Risikofaktoren hier nur im Überblick beschrieben sind.

Eine *Patella alta* (Patellahochstand) begünstigt eine Luxation durch eine verspätete Artikulation zwischen Rückseite der Patella und dem Zentrum der Trochlea (48).

Eine *Trochleadysplasie* (mögliche Formen vgl. Kapitel 1.1) begünstigt je nach Ausmaß und Form eine fehlende Zentrierung der Patella insbesondere in Extensionsstellung des Kniegelenks und zeigt sich im seitlichen Röntgenbild klassischerweise durch das sog. „Crossing Sign“ (42).

Eine vermehrte Kippung der Patella in der Horizontalen (*Patella-Tilt*) geht auf eine Insuffizienz der medialen Strukturen zurück und begünstigt eine Luxation ebenso sowie eine Lateralisierung. Die Trochleadysplasie und ein kontraktives laterales Retinakulum können auch als Ursache für Tilt und Lateralisierung gesehen werden (42).

Es verbleibt der **Abstand zwischen Tuberositas tibiae und der Trochleagrube (TTTG-Abstand)** als Korrelat des nach lateral wirkenden Kraftvektors. Seine Wertigkeit als Risiko- bzw. Prognosefaktor für eine Patellaluxation steht im Fokus dieser Arbeit und wird im Folgenden weiter untersucht.

Meist liegt ein bestimmter Risikofaktor jedoch nicht alleine vor, sodass ein pathologisch erhöhter TTTG-Abstand in der Regel gemeinsam mit einer Trochleadysplasie zu beobachten ist (49). Zu beachten ist, dass eine korrekte Bestimmung des TTTG-Abstandes bei einer Trochleadysplasie Typ C oder D nicht möglich ist.

Ein Ansatz, eine prädiktive Aussage zum Reluxationsrisiko zu treffen, wurde von Balcarek et al. erarbeitet.

Sie entwickelten den *Patella Instability Severity Score* (PISS), mit dem auf das Risiko einer Reluxation geschlossen werden kann (50).

Risk factors	Points
Age (years)	
> 16	0
≤ 16	1
Bilateral instability	
No	0
Yes	1
Trochlear dysplasia	
None	0
Mild	1
Severe	2
Patellar height	
≤ 1.2	0
> 1.2	1
TT-TG (mm)	
< 16	0
≥ 16	1
Patellar tilt (°)	
≤ 20	0
> 20	1
Total points (Max)	7

Abbildung 10: PISS nach (51).

Der PISS berücksichtigt dabei die Einflussfaktoren Alter, beidseitige Patellaluxation, Trochleadysplasie, Patella alta, Patella-Tilt und den gemessenen TTTG-Abstand. Diese fließen in ein Punktesystem ein, mit welchem das Risiko einer Reluxation abgeschätzt werden kann.

Bei mehr als 4 Punkten im Patella Instability Severity Score ist das Risiko einer Reluxation der Patella 5-fach erhöht (51).

1.3.6 Therapie

Im Kontext der patellofemorale Instabilität respektive der Patellaluxation wurden bereits über 150 verschiedene operative Techniken beschrieben (15), weshalb Details hierzu nicht Gegenstand dieser Arbeit sind.

Es sei lediglich darauf verwiesen, dass in der Literatur zur Behandlung einer Erstluxation überwiegend die konservative Therapie einem operativen Vorgehen hinsichtlich der funktionellen Ergebnisse als gleichwertig angesehen wird (42). Konservative Maßnahmen sind vorrangig die Immobilisierung des Kniegelenks sowie Analgesie und entzündungshemmende Medikation.

1.4 Der Abstand zwischen Tuberositas tibiae und der Trochleagrube (TTTG-Abstand)

Der bereits mehrfach erwähnte **TTTG-Abstand** ist ein Maß, welches erstmals von Goutallier et al. beschrieben wurde (52) und ergibt sich bei der Betrachtung eines Summationsbildes aus zwei CT- oder MRT-Schichten. Er beschreibt letztlich den Abstand von Tuberositas tibia („TT“) zum tiefsten Punkt der Trochleagrube („TG“), wie Abbildung 11 illustriert:

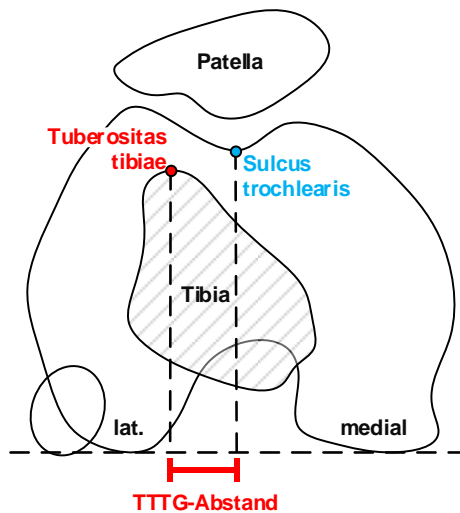


Abbildung 11: Bestimmung des TTTG-Abstandes

Ein hoher TTTG-Abstand ist letztlich das in Millimetern gemessene Korrelat eines erhöhten lateralisierenden Kraftvektors auf die Patella. Seine Messung wird regelmäßig nach einer traumatischen Erstluxation der Patella durchgeführt und ist neben der Gesamtbeurteilung auch wichtig, um den Patienten hinsichtlich der Gefahr einer erneuten Luxation (Rezidiv) zu beraten. Auch bei der Entscheidung für oder gegen eine operative Herangehensweise ist der TTTG-Abstand für den Behandler von Bedeutung.

Bei patellofemorale Beschwerden, insbesondere dem patellofemorale Schmerzsyndrom, wird seit langem der sog. "Q-Winkel" (Quadrizepswinkel) klinisch bestimmt, um den Patellauftrieb zu analysieren. Die Validität dieses Wertes ist aber umstritten. Der Q-Winkel wird gebildet zwischen einer ersten Linie, welche die Spina iliaca anterior superior und das Zentrum der Patella verbindet sowie einer zweiten Linie zwischen dem Zentrum der Patella und der Tuberositas tibiae (53) und beschreibt daher die Zugrichtungsänderung des M. quadriceps femoris.

In den letzten Jahren löste die Verwendung des TTTG-Abstandes den Q-Winkel aber zunehmend ab. Dickschas, Harrer et al. konnten zeigen, dass es lediglich eine Tendenz gibt, dass ein hoher TTTG-Abstand mit einem höheren Q-Winkel einhergeht (Korrelationskoeffizient nach Spearman = 0,35), ein signifikanter Zusammenhang zwischen beiden Werten ($p = 0,17$) aber nicht besteht (54).

1.5 TTTG-Index

Wie bereits erwähnt, beschäftigt sich diese Arbeit unter anderem mit der Frage, ob es Vorteile bietet, den TTTG-Abstand nicht allein zu betrachten – sondern in Relation zu einem geeigneten zweiten Messwert. Dies könnte die Möglichkeit bieten, patientenindividuelle Größenverhältnisse und somit die Anatomie des Einzelnen zu berücksichtigen.

Einen zu hohen TTTG-Abstand (i.d.R. bei Überschreiten des Grenzwertes von 20 mm) als Indikation für eine operative Therapie heranzuziehen, beurteilten beispielsweise Mauch, Ammann und Kraus äußerst kritisch – eben weil er die individuellen anatomischen Bedingungen im Kniegelenk nicht berücksichtigt (42). Sie betonen, dass es in der Literatur bislang an definierten Parametern mangelt, um diese individuellen Umstände zu beschreiben. Auch sie schlagen daher vor, den gemessenen TTTG-Abstand relativ zu einer weiteren Messgröße zu betrachten – und letztlich einen **TTTG-Index** (im Sinne eines Quotienten beider Werte) anzugeben.

In der vorliegenden Arbeit stellen sich bezüglich eines TTTG-Index zwei Fragen. Einerseits, ob es grundsätzlich relevante Vorteile bietet, gemessene TTTG-Abstände relativ zu einem weiteren Messwert zu interpretieren. Hierzu ist zu klären, welcher weitere Messwert am besten geeignet ist. Andererseits ist es interessant, zu untersuchen, welcher Grenzwert für einen solchen TTTG-Index etabliert werden kann, um (noch) physiologische Umstände von Pathologien abzugrenzen – und letztlich ob der TTTG-Index im Vergleich zum TTTG-Abstand messbare Vorteile bietet.

1.6 Stand der Wissenschaft

Obwohl es schon zahlreiche Veröffentlichungen bezüglich des als „normal“ geltenden TTTG-Abstandes gibt, unterscheiden sich die von den jeweiligen Autoren beschriebenen Werte erheblich. Der Erstbeschreibung von Dejour et al. im Jahre 1994 folgten weitere Untersuchungen, welche sich nicht nur im Ergebnis sondern auch in den zugrunde liegenden Fallzahlen deutlich unterscheiden. Nachfolgende Ausführungen sowie Tabelle 1 beschreiben ausführlich die von anderen Arbeitsgruppen erhobenen Normalwerte des TTTG-Abstandes (im Sinne der Angaben zu den kniegesunden Kontrollgruppen) bzw. Werte von Patienten mit patellofemorale Pathologien (Fallgruppen):

Dejour, Walch et al. beschrieben als erste im Jahr 1994 einen mittleren Normalwert des TTTG-Abstandes (bei einer asymptomatischen Kontrollgruppe) von $12,7 \pm 3,4$ mm und $19,8 \pm 1,6$ mm in einem Kollektiv mit symptomatischer patellofemorale Instabilität (10).

Schoettle, Zanetti et al. untersuchten die Vergleichbarkeit von MRT- und CT-Aufnahmen hinsichtlich des TTTG-Abstandes. Sie kamen zu dem Schluss, dass beide Verfahren verwendbar sind und gaben in einem Kollektiv mit patellofemorale Instabilität bzw. patellofemoralem Schmerzsyndrom TTTG-Abstände von $13,9 \pm 4,5$ mm im MRT sowie $14,4 \pm 5,4$ mm im CT an (43). Sie betrachteten allerdings keine Normalwerte von Kniegesunden, weiterhin war die Stichprobe sehr klein ($n=12$).

Alemparte, Ekdahl et al. erhoben bei CT-Bildgebungen von 30 kniegesunden Studenten (mittleres Alter 21,3 Jahre) einen mittleren Normalwert von $13,6 \pm 8,8$ mm (55).

Balcarek, Jung et al. veröffentlichten im Rahmen einer Fall-Kontroll-Studie den Vergleich einer kniegesunden Kontrollgruppe ($n=136$) mit einem Kollektiv mit stattgehabter Patellaluxation ($n=109$). Sie konzentrierten sich dabei auf junge Sportler im Alter von $21,6 \pm 7,9$ Jahren. Es wurden in MRT-Aufnahmen TTTG-Abstände von $10,6 \pm 4,0$ mm in der Kontrollgruppe und $14,6 \pm 4,6$ mm im Kollektiv mit Patellaluxation erhoben (56).

Pandit, Frampton et al. verglichen Normalwerte des TTTG-Abstandes bei kniegesunden Männern ($n=57$) und Frauen ($n=43$) getrennt voneinander. Sie gelangten zu einem mittleren TTTG-Abstand von 9,91 mm (95% KI 8,9 – 10,8) bei Männern und 10,04 mm (95% KI 8,9 – 11,1) bei Frauen (57).

Hingelbaum, Best et al. untersuchten im Jahr 2014 die TTTG-Abstände von 200 kniegesunden Probanden im MRT und erhoben einen Mittelwert von $7,5 \pm 3,5$ mm (58).

Tse et al. verglichen jüngst im Jahr 2015 ein Kollektiv von 23 Patienten mit rezidivierenden Patellaluxationen mit einer Kontrollgruppe von 73 Personen, welche aufgrund anderer Pathologien des Kniegelenks eine MRT erhielten. Sie ermittelten in der Kontrollgruppe einen TTTG-Abstand von $10,1 \pm 0,7$ mm und bei Patienten mit Patellaluxationen $16,4 \pm 1,9$ mm (59).

Tensho, Akaoka et al. beschrieben ebenfalls im Jahr 2015 den TTTG-Abstand im Kontext ihrer Untersuchungen zu Korrelationen des TTTG-Abstandes und anderen

Messwerten. Die kniegesunde Kontrollgruppe (n=44) zeigte dabei Normalwerte von $14,4 \pm 2,9$ mm, die Fallgruppe mit stattgehabter Patellaluxation von $19,3 \pm 4,2$ mm.

Im Jahr 2017 betrachteten Sobhanardekani et al. die TTTG-Abstände von 98 Personen, welche sich mit Knieschmerzen vorstellten, in der klinischen Untersuchung aber keine Auffälligkeiten zeigten. Der geschlechtsunabhängige Mittelwert betrug $10,9 \pm 2,5$ mm. Sie konnten weder signifikante Unterschiede zwischen Männern und Frauen noch zwischen unterschiedlichen Altersklassen feststellen.

Quelle	Art	Fälle (n)	Ø TTTG-Abst. Fälle (mm)	Kontrollen (n)	Ø TTTG-Abst. Kontrollen (mm)
Dejour, Walch et al., 1994 (10)	CT	143 ^(a)	$19,8 \pm 1,6$	94 ^(b)	$12,7 \pm 3,4$
Schoettle, Zanetti et al., 2006 (43)	CT und MRT	12 ^(c)	$14,4 \pm 5,4$ (CT) $13,9 \pm 4,5$ (MRT)	keine	
Alemparte, Ekdahl et al., 2007 (55)	CT	-	-	60 ^(d)	$13,6 \pm 8,8$ (alle) $12,5 \pm 3,2$ (♀) $14,8 \pm 5,2$ (♂)
Balcarek, Jung et al., 2011 (56)	MRT	109 ^(e)	$14,6 \pm 6,4$	136 ^(f)	$10,6 \pm 4,0$
Pandit, Frampton et al., 2011 (57)	MRT			100 ^(g)	9,91 (♀) 10,04 (♂)
Hingelbaum et al., 2014 (58)	MRT	54 ^(h)	$13,5 \pm 4,1$	200 ⁽ⁱ⁾	$7,5 \pm 3,5$
Tse et al., 2015 (59)	MRT	14 ^(j)	$16,4 \pm 1,9$	73 ^(k)	$10,1 \pm 0,7$
Tensho, Akaoka et al., 2015 (60)	CT	44 ^(l)	$19,3 \pm 4,2$	44 ^(m)	$14,4 \pm 2,9$
Sobhanardekani, Mohammad et al., 2017 (61)	MRT	keine		98 ⁽ⁿ⁾	$10,9 \pm 2,5$ (alle) $10,8 \pm 2,8$ (♀) $11,8 \pm 2,3$ (♂)

(a) „(CT) scans of 143 knees operated on for symptomatic patellar instability“ (10)
 (b) „67 contralateral asymptomatic knees (...) 27 control knee scans“ (10)
 (c) „had a history of patellar instability (n =10) or anterior patellofemoral pain syndrome (n =2)“ (43)
 (d) „Inclusion criteria were very strict. No volunteer presented clinical symptoms or signs in the knee after 1 year of strong physical training in the police academy“ (55)
 (e) „109 patients with lateral patellar instability“ (56)
 (f) „None of these participants had symptoms or objective pathologic findings related to the patellofemoral joint“ (56)
 (g) „Clinically, patients had no patellofemoral or cruciate instability and no varus, valgus or rotational malalignment.“ (57)
 (h) „54 knee MRTs of patients with patellofemoral instability were evaluated“ (58)
 (i) „MRI scans of healthy individuals (69 females and 131 males)“ (58)
 (j) „14 knees in 5 men and 9 women (...) who underwent surgery for recurrent patellar dislocation“ (59)
 (k) „73 control knees with problems other than patellar dislocation“ (59)
 (l) „first group (patellar dislocation)“ (60)
 (m) „second group (...) with no history of patellar instability or patellofemoral symptoms“ (60)
 (n) „purpose of this study was to report the normal value of TTTG in males and females in different age groups“ (61)

Tabelle 1: In der Literatur beschriebene Messwerte des TTTG-Abstandes

Insgesamt zeigt sich also, dass die bisherigen Untersuchungen des TTTG-Abstandes zu stark unterschiedlichen Ergebnissen geführt haben – sowohl bei Patienten mit patellofemorale Beschwerden/Patellaluxationen als auch bei Kniegesunden. Man kann festhalten, dass daher derzeit nicht von etablierten „Normalwerten“ für den TTTG-Abstand gesprochen werden kann und es in diesem Kontext interessant ist, erneut entsprechende Messwerte zu erheben und diese statistisch zu untersuchen.

1.6.1 Pathologischer Grenzwert des TTTG-Abstandes

In ihrer Studie aus dem Jahr 1994 legten Dejour, Walch et al. einen Grenzwert für den TTTG-Abstand von 20 mm fest. Seither gilt eine Überschreitung dieses Wertes als Pathologie und der Bereich von 15 bis 20 mm als „grenzwertig“. Dabei überschritten diesen Grenzwert 56% der von Dejour, Walch et al. untersuchten Patienten mit patellofemorale Instabilität und 3,5% ihrer Kontrollgruppe (10).

Dem Grenzwert des TTTG-Abstandes kommt oft auch eine besondere Rolle bei der Entscheidung für eine operative Therapie zu. So weisen Frosch, Balcarek et al. beispielsweise darauf hin, dass im Falle pathologischer Werte die Medialisierung der Tuberositas tibiae (OP nach Blauth) erfolgen sollte (39) – ein Beispiel dafür, dass ein zu großer TTTG-Abstand durchaus der entscheidende Faktor sein kann, das konservative Therapieregime zu verlassen.

Eine Instabilität des patellofemorale Gelenks bzw. die Patellaluxation ist auch bei Kindern möglich, wenngleich als typische Patienten dieser Pathologien Jugendliche bzw. junge Erwachsene zu nennen sind. Es wurden bisher für pädiatrische Patienten weder verbindliche normwertige noch pathologische Werte des TTTG-Abstandes definiert (62), aber bereits umfangreiche Vergleichsmessungen bei Kindern durchgeführt.

Dickens, Morrell et al. untersuchten 618 MRT-Aufnahmen von Kindern im Alter von 9 Monaten bis 16 Jahren ($11,9 \pm 0,3$ Jahre bei Patienten mit normaler Patella, $13,4 \pm 0,4$ Jahre bei Instabilität der Patella). Sie bemerkten eine hochsignifikante Relation von Alter und TTTG-Abstand ($p < 0,001$) und empfehlen, im Wachstumsalter den TTTG-Abstand bei der Entscheidung für oder gegen eine operative Therapie altersabhängig zu betrachten. Beispielsweise betrug der TTTG-Abstand bei Zwei- bis Dreijährigen $4,8 \pm 2,6$ mm und bei Sechs- bis Siebenjährigen $6,8 \pm 3,0$ mm (62).

Auch Dovi-Akue et al. untersuchten an 466 Kindern (im Alter von $13 \pm 3,2$ Jahren), ob sich die Normalwerte des TTTG-Abstandes signifikant von denen erwachsener Patienten unterscheiden. Die Autoren kamen durch die Betrachtung der linearen Regression (Abhängigkeit vom Alter) zu dem Schluss, dass für Kinder unter 9 Jahren gesonderte Normwerte notwendig sind, um patellofemorale Pathologien bei dieser Patientengruppe altersgerecht zu beurteilen (63).

Insgesamt erscheint eine sehr kritische Betrachtung des (absoluten) TTTG-Abstandes bei Kindern und Jugendlichen notwendig und es darf bezweifelt werden, ob für im Wachstum befindliche Kinder seine Interpretation überhaupt sinnvoll ist.

1.6.2 Bisherige Forschung zum TTTG-Index

Den möglichen Zusammenhang zwischen gemessenem TTTG-Abstand und anderen Parametern eines Patienten untersuchten bereits mehrere Arbeitsgruppen – regelhaft mit dem Ziel, mit einem TTTG-Index den individuellen anatomischen Gegebenheiten eines Patienten Rechnung zu tragen. Die entsprechenden Veröffentlichungen zeigten bislang aber konträre Ergebnisse:

Balcarek, Jung et al. untersuchten in einer häufig zitierten Studie aus dem Jahr 2011 Patienten mit bestehender lateraler patellofemorale Instabilität ($n=109$) sowie eine Kontrollgruppe ($n=136$) ohne derartiger Beschwerden. Dabei erhoben sie neben dem TTTG-Abstand auch das Alter und den Epikondylenabstand. Sie bildeten einen Index aus TTTG-Abstand und Epikondylenabstand und stellten zum einen fest, dass keine statistisch signifikante Korrelation von TTTG-Abstand und Epikondylenabstand (im Sinne der Kniegröße) bestand ($p = 0,15$). Der errechnete Index zeigte zwar in der Luxationsgruppe höhere Werte als in der Kontrollgruppe – die Autoren konnten ihren TTTG-Index letztlich aber nicht als statistisch signifikanten Risikofaktor für Patellaluxationen werten, während der reine TTTG-Abstand hohe Verlässlichkeit als Risikofaktor bot (56).

Hingelbaum, Best et al. veröffentlichten im Jahr 2014 eine umfassende Studie zur Wertigkeit eines anderen TTTG-Index, bei welchem sie den TTTG-Abstand zu einem „TTTE-Abstand“ in Relation setzten. Dieser TTTE-Abstand beschrieb dabei die Distanz beginnend am proximalen (chondralen) Eingang der Trochlea und endend auf Höhe der Tuberositas tibiae. Die Ergebnisse wurden dahingehend interpretiert, dass der betrachtete Index gut in der Lage sei, die individuellen Größenverhältnisse des

Kniegelenks zu berücksichtigen. Es wurde ein Grenzwert von 0,23 für diesen TTTE-Index festgelegt und dessen Überschreitung als unphysiologisch hohe Lateralisierung der Tuberositas tibiae gesehen. Yeoh und Lam nutzen im Jahr 2016 diesen Index bei der vergleichenden Untersuchung von Kindern mit einmaligen bzw. rezidivierenden Patellaluxationen und zeigten signifikante Unterschiede beider Gruppen sowohl für den TTTG-Abstand als auch den TTTE-Index (58; 64).

Auch Dornacher, Reichel et al. betrachteten im Jahr 2015 den TTTG-Abstand in Relation zum Epikondylenabstand. Sie konnten eine starke Korrelation zwischen Körpergröße und Epikondylenabstand zeigen, verneinten aber einen Zusammenhang zwischen TTTG-Abstand und Kniegröße (Epikondylenabstand) ebenso wie zwischen TTTG-Abstand und Körpergröße. Dieser Zusammenhang fehlte sowohl bei Patienten mit und ohne relevante Trochleadysplasie. Zusammenfassend kamen die Autoren zu dem Ergebnis, dass der TTTG-Abstand ein höchst individueller Parameter sei, der nicht mit der Körper- oder Kniegröße assoziiert sei und entsprechend für sich allein bewertet werden sollte (65).

Insgesamt scheint die bisherige Forschung zum TTTG-Index noch zu keinem allgemeinen Konsens gekommen zu sein, sodass es sich lohnt, im Rahmen dieser Arbeit die Wertigkeit und klinische Relevanz eines solchen Index näher zu beleuchten.

1.7 Ziele, Fragestellungen und Relevanz der Arbeit

1.7.1 Ziele

Wie bereits ausgeführt wurden in verschiedenen Veröffentlichungen bei Kniegesunden TTTG-Abstände von etwa 10 bis 14 mm beschrieben (10; 55–61).

Somit ist es zuerst interessant, die zur Verfügung stehenden MRT-Aufnahmen hinsichtlich des TTTG-Abstandes zu untersuchen und die Messwerte ausführlich mittels statistischer Methoden auszuwerten. Die Ergebnisse können dann mit den Erkenntnissen anderer Arbeitsgruppen verglichen werden.

TTTG-Abstände über 20 mm werden – entsprechend dem vor über zwei Jahrzehnten durch Dejour, Walch et al. propagierten Grenzwert – im klinischen Alltag meist als pathologisch interpretiert und bereits Werte ab 15 mm als mögliche Indikation für eine Operation kontrovers diskutiert (10; 66–68). Die in dieser Arbeit erhobenen Messwerte

werden daher dahingehend untersucht, ob der Grenzwert von 20 mm möglicherweise (erheblich) zu hoch gewählt ist, um Luxationspatienten von der Kontrollgruppe verlässlich, also mit möglichst hoher Sensitivität, abzugrenzen.

Hierzu erfolgt zunächst die Betrachtung von drei verschiedenen Grenzwert-Szenarien (A, B und C), um zu klären, wie sich unterschiedlich gewählte Grenzwerte auf

- die Spezifität,
- die Sensitivität,
- den positiven prädiktiven Wert,
- den negativen prädiktiven Wert,
- das positive Likelihood Ratio und
- das negative Likelihood Ratio

auswirken. Die genaue Vorgehensweise hierzu wird in Kapitel 2.3.4 beschrieben.

Es wird des Weiteren angenommen, dass es relevante Zusammenhänge zwischen der pathologischen Wertigkeit eines spezifischen TTTG-Abstandes und anderen Parametern eines Patienten gibt. Naheliegend ist es beispielsweise, die Körpergröße oder das Körpergewicht eines Patienten bei der Interpretation eines gemessenen TTTG-Abstandes mit zu berücksichtigen - denn es erscheint plausibel, dass z.B. ein TTTG-Abstand von 19 mm bei einer adipösen weiblichen Person mit 160 cm Körpergröße möglicherweise nicht ebenso interpretiert werden sollte wie bei einem schlanken Mann mit 190 cm Körpergröße.

Ein weiteres wesentliches Ziel der Arbeit ist somit die Untersuchung von Zusammenhängen *zwischen* den erhobenen Messwerten – insbesondere zwischen dem TTTG-Abstand und den anderen untersuchten Attributen wie Alter, Körpergröße, Körpergewicht sowie den weiteren (aus den MRT-Aufnahmen gewonnenen) Messwerten. Hierzu werden die Korrelationen nach Pearson ebenso untersucht wie die verschiedenen Möglichkeiten, einen TTTG-Index zu bilden – dieser wurde bereits näher erläutert.

Letztlich erfolgt eine vergleichende Darstellung, ob und ggf. inwieweit ein TTTG-Index an seinem statistisch optimalen Grenzwert im Sinne eines diagnostischen Tests besser geeignet ist als der alleinige TTTG-Abstand (ebenfalls am statistisch optimalen Grenzwert).

1.7.2 Konkrete Fragestellungen

Folgende konkrete Fragestellungen werden im Rahmen dieser Arbeit beantwortet:

- (1) Welche Messwerte des TTTG-Abstandes zeigt die untersuchte Gesamtpopulation?
- (2) Welche Messwerte des TTTG-Abstandes zeigen die untersuchten Männer?
- (3) Welche Messwerte des TTTG-Abstandes zeigen die untersuchten Frauen?
- (4) Wie korrelieren die erhobenen Messwerte?
- (5) Welche Erkenntnisse liefert die Untersuchung verschiedener pathologischer Grenzwerte des TTTG-Abstandes bei der Gesamtpopulation?
- (6) Welche Erkenntnisse liefert die Untersuchung verschiedener pathologischer Grenzwerte des TTTG-Abstandes für Männer?
- (7) Welche Erkenntnisse liefert die Untersuchung verschiedener pathologischer Grenzwerte des TTTG-Abstandes für Frauen?
- (8) Welchen Einfluss haben Bandverletzungen auf den TTTG-Abstand?

Die oben bereits ausführlich beschriebene *relative* Betrachtung des TTTG-Abstandes erfolgt durch Bildung eines TTTG-Index. Folgende konkrete Fragestellungen werden zu diesem Themenkomplex beantwortet:

- (9) Wie erfolgt die Ermittlung eines optimalen größenunabhängigen relativen TTTG-Index?
- (10) Welche Messwerte des ermittelten TTTG-Index zeigen sich bei Männern und Frauen?
- (11) Welche Erkenntnisse liefert die Untersuchung an einem statistisch optimalen Grenzwert des TTTG-Index für Männer und Frauen?
- (12) Gibt es Unterschiede zwischen Erst- und Rezidivluxationen, d.h. eignet sich der TTTG-Index als Indikator für das Rezidiv-Risiko bei konservativer Therapie?
- (13) Ist eine Verbesserung der Risikoabschätzung durch einen TTTG-Index gegenüber dem absoluten Wert tatsächlich möglich?

1.7.3 Klinische Relevanz

Die hohe Inzidenz der Patellaluxation vor allem beim jungen Patienten und mögliche langfristige Einschränkungen der Lebensqualität durch Chronifizierungen unterstreichen die Notwendigkeit einer suffizienten Therapie.

Es bestehen zahlreiche – teilweise zueinander in Konkurrenz stehende – Therapieoptionen. Hinsichtlich der Entscheidung für oder gegen ein operatives Prozedere gibt es bisweilen weder in der Literatur noch in der klinischen Praxis einen absoluten Konsens (41). Gerade in Grenzfällen, z.B. bei mäßig erhöhtem TTTG-Abstand, ist eine Entscheidung für oder gegen eine operative Therapie nicht einfach. Daher muss jeder Therapieentscheidung bei patellofemorale Instabilität (oder einer Patellaluxation) eine möglichst aussagekräftige Diagnostik vorausgehen.

Ein wesentliches Ziel dieser Arbeit und der oben genannten konkreten Fragestellungen ist es, zu untersuchen, ob neben dem TTTG-Abstand (als Absolutwert in Millimetern gemessen) eine verlässlichere Methode etabliert werden kann, um Patienten mit stattgehabten Patellaluxationen von einer kniegesunden Kontrollgruppe zu unterscheiden. Dies kann künftig dazu beitragen, bessere Therapieentscheidungen zu treffen und ermöglicht ggf. eine verbesserte Beratung von Patienten, welche aufgrund ihrer anatomischen Gegebenheiten zu Patellaluxationen neigen.

Kritisch ist dabei ferner zu hinterfragen, ob für die untersuchten Methoden eine praktische Umsetzbarkeit im klinischen Alltag gegeben ist.

2 Material und Methoden

2.1 Statistische Methoden

Die statistische Auswertung erfolgte mit den Programmen *IBM® SPSS® Statistics* (Version 22) und *Microsoft® Excel®* (Version 2010). Sämtlichen Berechnungen liegt ein 95%-Konfidenzintervall zugrunde.

Zur korrekten Auswahl der jeweiligen statistischen Tests erfolgte vorab die Prüfung der Messwerte auf Normalverteilung, u.a. mittels des Shapiro-Wilk-Tests.

Eine Beratung zur statistischen Auswertung erfolgte dankenswerterweise durch Herrn Dr. Michael Lauseker, Mitarbeiter des Instituts für medizinische Informationsverarbeitung, Biometrie und Epidemiologie am Universitätsklinikum Großhadern.

2.2 Material

2.2.1 Patientengut

Es wurden MRT-Bilder von 255 Patienten zur retrospektiven Auswertung herangezogen, welche in den Jahren 2002 bis 2013 entstanden.

Die Kontrollgruppe bildeten dabei 152 Patienten (87 Männer, 65 Frauen), welche keine patellofemorale Instabilität aufwiesen und keine Patellaluxation erlitten hatten. Hier wurde weiter differenziert, ob bei diesen Patienten eine Bandläsion (vorderes / hinteres Kreuzband / Seitenband, auch mehrere gleichzeitig) diagnostiziert wurde (21,7 % der Fälle) oder nicht (78,3 %).

Der Kontrollgruppe standen 103 Patienten (43 Männer, 60 Frauen) mit stattgehabter Patellaluxation gegenüber. Aus den radiologischen Befunden und der weiteren Patientendokumentation wurde evaluiert, ob es sich gewiss um eine Erstluxation (29,1 % der Fälle) oder eine Rezidivluxation (mindestens zwei Luxationen, 27,2 % der Fälle) handelte. In 43,7 % der Fälle konnte diesbezüglich anhand der verfügbaren Unterlagen keine Zuordnung getroffen werden.

	Anzahl	%
(ausgeschlossene Patienten, vgl. Tabelle 3)	(184)	(100,0 %)
Patientengut Fälle	103	100,0%
Erstluxation	30	29,1 %
Rezidivluxation	28	27,2 %
unbekannt ob Erst-/Rezidivlux.	45	43,7 %
Kontrollgruppe	152	100,0 %
mit Bandläsion	119	78,3 %
ohne Bandläsion	33	21,7 %

Tabelle 2: Patientengut in Fall- und Kontrollgruppe

2.2.2 Ausschlusskriterien

Es wurden 184 Patienten aufgrund folgender Ausschlusskriterien nicht betrachtet und aus der Studie ausgeschlossen:

- Alter unter 16 Jahre: Zur Gewährleistung der Vergleichbarkeit wurden Kinder/Jugendliche bis einschließlich des 15. Lebensjahres ausgeschlossen; übereinstimmend bspw. mit den Alterskriterien einer aktuellen Untersuchung von Sobhanardekani et al. (61).
- MRT-Bilder, welche nicht weit genug nach distal reichten: In zahlreichen in Frage kommenden MRT-Bildern erfolgte die Bildgebung nicht weit genug nach distal, sodass die Tuberositas tibiae nicht oder nicht vollständig dargestellt wurde. Lediglich Aufnahmen, in welchen die Tuberositas tibiae zu mehr als zwei Dritteln zu sehen war, wurden aufgenommen.
- Frakturen: MRT-Bilder, welche Frakturen im Bereich des Kniegelenks, der Patella oder des Tibiakopfes aufwiesen, wurden nicht verwendet, da Verfälschungen durch Verschiebungen der notwendigen Messpunkte zu befürchten waren.
- Trochlea-Dysplasien: Patienten mit Trochleadysplasien ab Grad C entsprechend der Klassifikation von Dejour und Le Coultre (67) wurden ausgeschlossen, da es bei ausgeprägter Dysplasie an einer messbaren Vertiefung der Trochlea mangelt und dadurch der TTTG-Abstand nicht bestimmbar ist (49).
- Technisch nicht verwertbar: Aufnahmen, welche nicht das ganze Kniegelenk abbildeten wurden ebenso ausgeschlossen, wie jene, welche aufgrund schlechter Bildqualität oder Artefakte keine exakte Vermessung ermöglichten.

	Anzahl	%
--	--------	---

Ausgeschlossene Patienten	184	100,0%
Alter < 16 Jahre	42	22,9%
MRT nicht ausreichend weit nach distal reichend	51	27,7%
Frakturzeichen	12	6,5%
Trochleadysplasie ab Grad C	33	17,9%
technisch nicht verwertbar	46	25,0%

Tabelle 3: Ausgeschlossene Patienten nach Ausschlussgrund

2.3 Methodik der Datengewinnung

Es wurden MRT-Bilder aus den Radiologischen Instituten der Standorte Innenstadt und Großhadern des Klinikums der Universität München herangezogen. Im Zeitraum der Jahre 2002 bis 2013 wurden diese Aufnahmen mittels verschiedener MRT-Anlagen der Firma Siemens[®] angefertigt: MAGNETOM[®] Verio (3.0 T), MAGNETOM[®] Aera (1,5 T) sowie MAGNETOM[®] Harmony (1,0 T).

Das nachfolgend abgebildete Flussdiagramm (Abbildung 12) illustriert den Vorgang der Datengewinnung, die in der Arbeitsgruppe durchgeführten Vermessungen der MRT-Schnitte sowie die statistische Auswertung und letztlich die Interpretation der gewonnenen Werte:

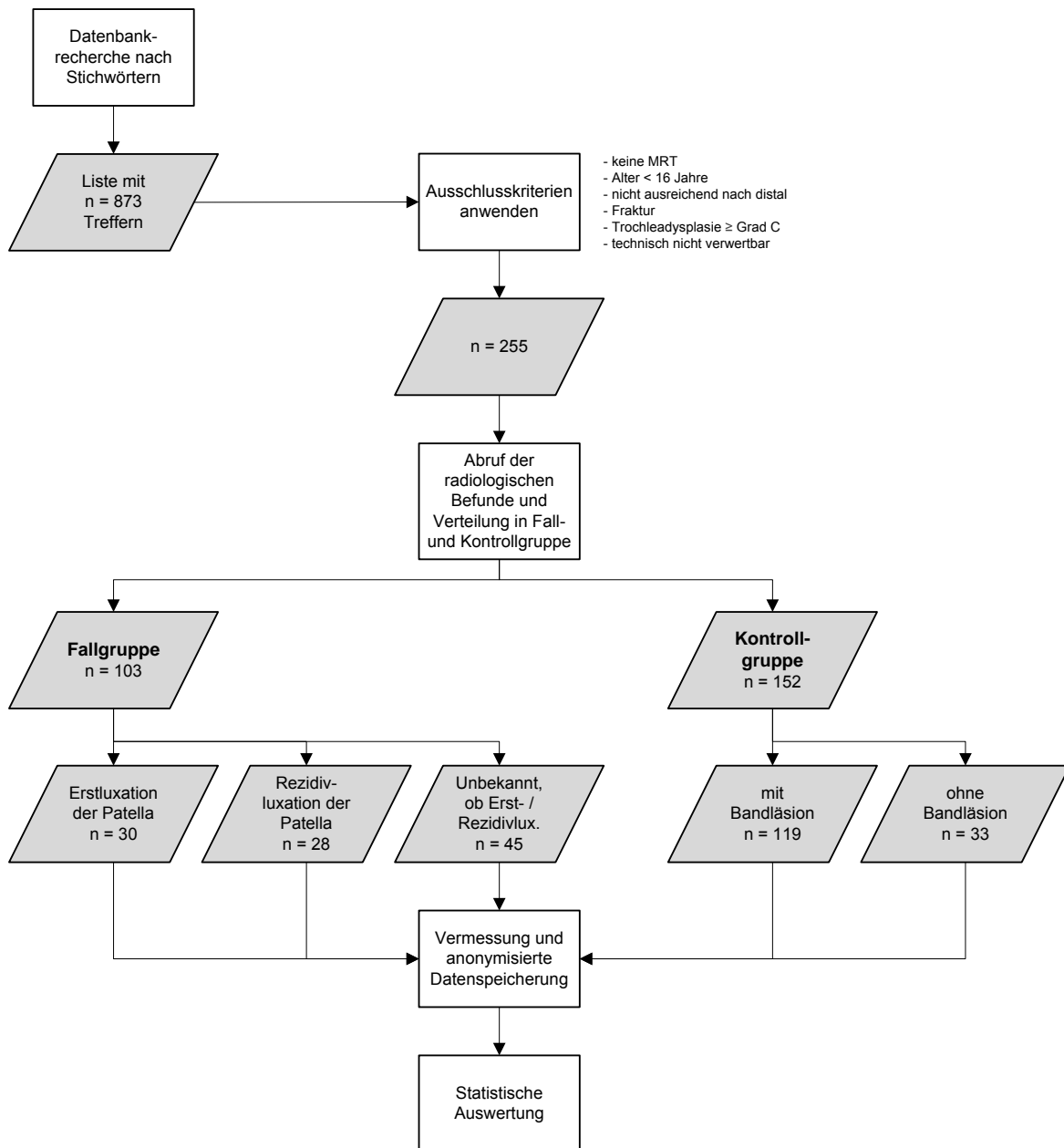


Abbildung 12: Flussdiagramm der Datengewinnung

1. Datenbankrecherche

Freundlicherweise erfolgte durch das Institut für Klinische Radiologie eine Datenbankabfrage mit verschiedenen Schlagworten wie u.a. „Patellaluxation“, „Kreuzband“, „Meniskus“ in dort gespeicherten Befunden seit dem Jahr 2002. Diese Abfrage ergab eine Liste mit 873 potentiellen Treffern, welche für die Fall- oder Kontrollgruppe grundsätzlich in Frage kamen.

2. Anwendung der Ausschlusskriterien

Es folgte eine Auswertung dieser Liste, um alle auszuschließenden Patienten zu identifizieren (Ausschlusskriterien siehe 2.2.2). Die Liste enthielt v.a. zahlreiche Röntgen- und CT-Befunde, welche ausgeschlossen werden mussten. Es verblieben somit 255 Fälle einer MRT-Diagnostik des Kniegelenks.

3. Abruf der MRT-Bilder und radiologischen Befunde

Die MRT-Bilder dieser 255 Untersuchungen wurden aus dem IT-System der Klinik abgerufen – ebenso wie die dazugehörigen radiologischen Befunde, deren Auswertung eine Zuordnung zu den fünf Gruppen der Studie ermöglichte (beispielsweise „sichere Erstluxation“).

4. Zuteilung zur Fall- oder Kontrollgruppe

Das Patientengut wurde den einzelnen Subgruppen der Fall- und Kontrollgruppe zugewiesen (vgl. Kapitel 2.2.1).

5. Auswahl der zu vermessenen Schnitte, Vermessung und anonymisierte Datenerfassung

Bei allen in die Studie eingeschlossenen MRT-Untersuchungen wurden vier der verfügbaren Schnittbilder nach folgenden Kriterien ausgewählt:

- **Schnitt 1:** Der tiefste Punkt der Trochlea ist vollständig mit Knorpel bedeckt.
- **Schnitt 2:** Die Ebene zeigt den breitesten Abstand der Epikondylen.
- **Schnitt 3:** Die Ebene, in welcher die Epikondylen am weitesten nach distal reichen.
- **Schnitt 4:** Die Ebene, in welcher die Prominenz der Tuberositas tibiae ebenso wie das einstrahlende Ligamentum patellae eindeutig sichtbar sind.

Es erfolgte die manuelle Vermessung und anschließende Interpretation bzw. Weiterverwendung dieser Werte:

- TTTG-Abstand
- Epikondylenabstand
- Breite der lateralen Trochlea
- Höhe der lateralen Trochlea
- TTTG-Winkel
- Tuberositas-Rotationswinkel

Das Prozedere der Vermessungen wird im Folgenden erläutert.

2.3.1 Messung des TTTG-Abstandes

Der TTTG-Abstand ist definiert als Abstand zwischen Tuberositas tibiae (TT) und tiefstem Punkt der knöchernen trochleären Grube (TG) senkrecht zur Tangente der posterioren Femurkondylen (13; 69). Wie bereits erwähnt, ist die Gleichwertigkeit des TTTG-Abstandes in MRT- und CT-Bildern noch umstritten – dennoch werden heute im klinischen Alltag in der Regel MRT-Befunde erhoben.

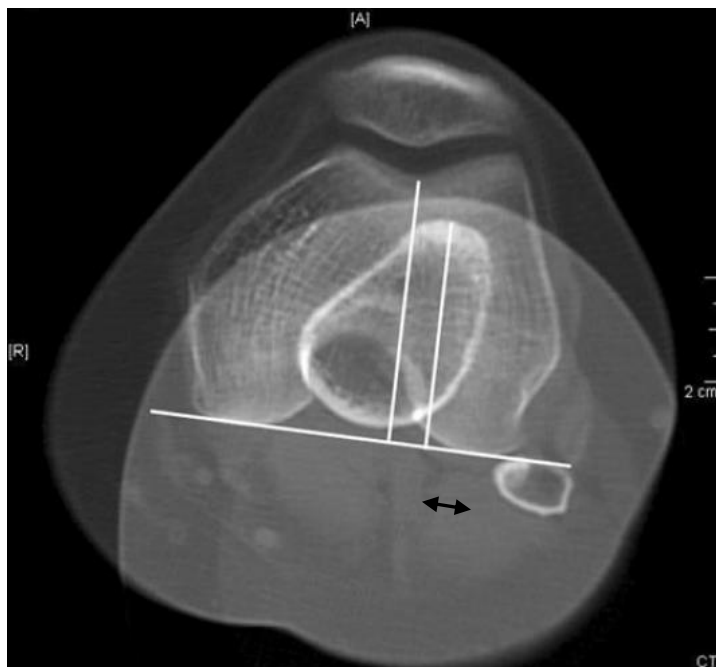


Abbildung 13: TTTG-Abstand in zwei übereinander projizierten CT-Aufnahmen, aus (15)

Die Messung des TTTG-Abstandes erfolgte in folgenden Schritten:

Schritt 1:

In Schnittbild Nr. 3, in welchem die Epikondylen am weitesten nach distal reichen:

Festlegen der posterioren Kondylenebene (= Gerade a), dann Übertragen der Gerade a in alle anderen Schnitte.

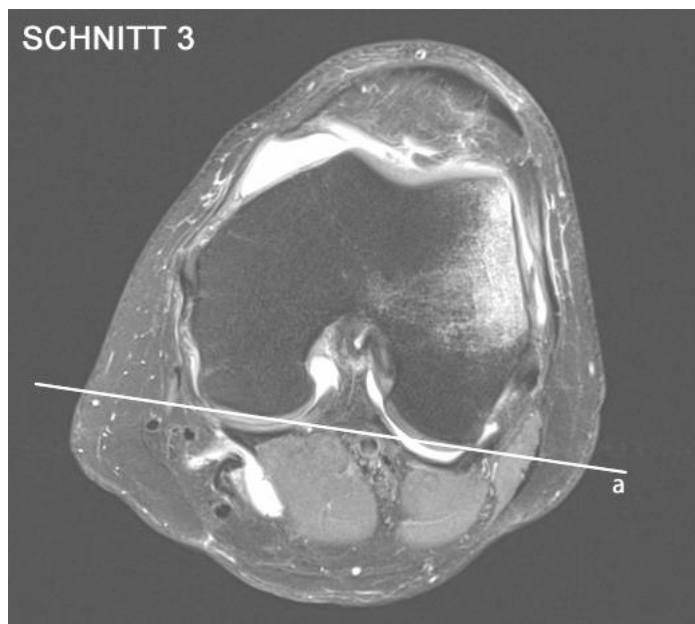


Abbildung 14: Schnittbild 3 zur Bestimmung des TTTG-Abstandes

Schritt 2:

In Schnittbild Nr. 1, in welchem der tiefste Punkt der Trochlea vollständig mit Knorpel bedeckt ist:

Parallele zur posterioren Kondylenebene durch den tiefsten Punkt der Trochlea festlegen (= Gerade b). Darauf achten, dass der tiefste knöchernen Punkt der Trochlea getroffen wird, nicht der überziehende Knorpel.

Eine Senkrechte zu b einsetzen, welche auch durch den tiefsten Punkt der knöchernen Trochlea verläuft (= Gerade c).

Dann Übertragen der Gerade c in die Schnitte Nr. 2 und 4.

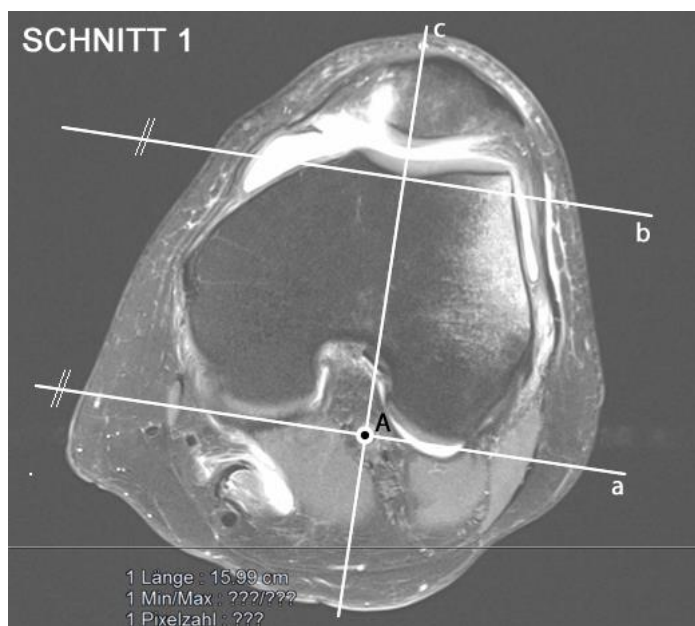


Abbildung 15: Schnittbild 1 zur Bestimmung des TTTG-Abstandes

Schritt 3:

In **Schnittbild Nr. 4**, in welchem die Prominenz der Tuberositas tibiae ebenso wie das einstrahlende Ligamentum patellae eindeutig sichtbar sind:

Lege den Mittelpunkt der Patellarsehne fest (= Punkt B).

Lege dann eine Parallele zu c durch diesen Mittelpunkt.

Der Abstand zwischen den Geraden c und d ist der TTTG-Abstand.

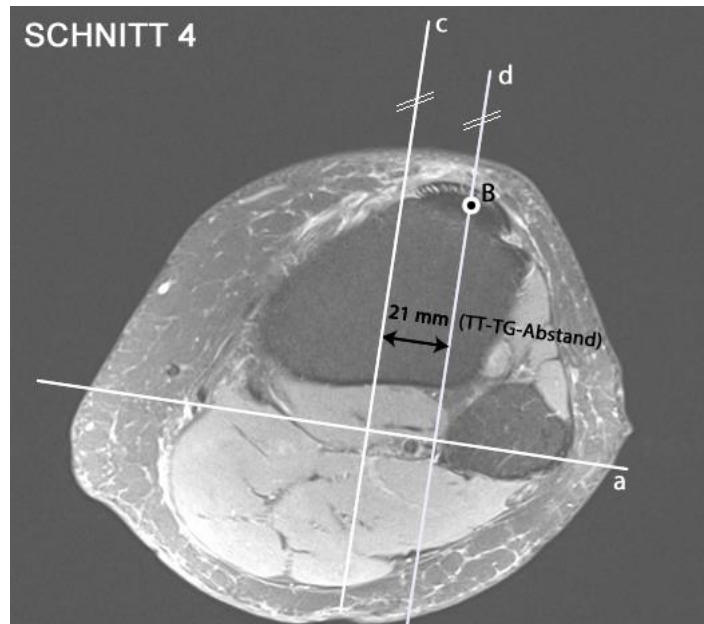


Abbildung 16: Schnittbild 4 zur Bestimmung des TTTG-Abstandes

2.3.2 Messung von Epikondylenabstand und Breite/Höhe der lateralen Trochlea

Schritt 1:

In **Schnittbild Nr. 2**, welches den breitesten Abstand der Epikondylen zeigt:

Festlegen zweier Parallelen zu c durch die mediale und laterale Begrenzung der knöchernen Trochlea (= Geraden e und f).

Der Abstand zwischen e und f ist der Epikondylenabstand (dieser ist im weiteren Verlauf von besonderer Bedeutung für die Bildung des „TTTG-Index“).

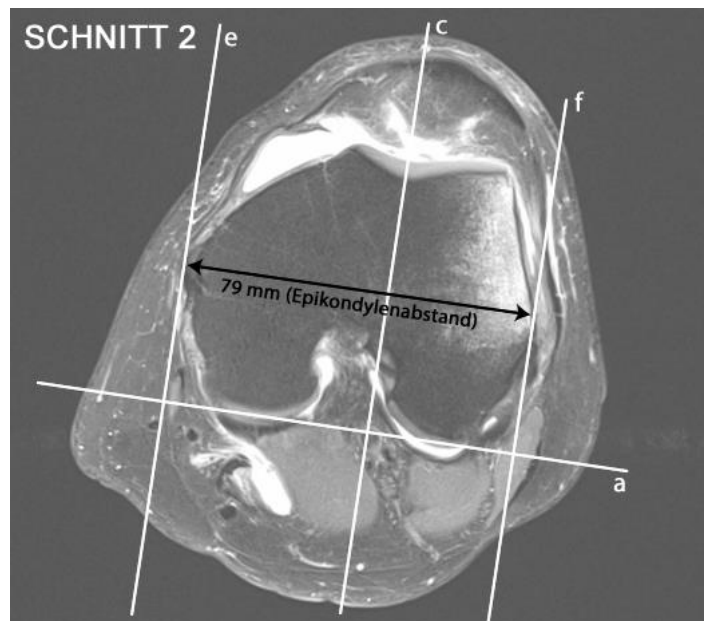


Abbildung 17: Schnittbild 2 zur Bestimmung des Epikondylenabstandes

Schritt 2:**In Schnittbild Nr. 2:**

Festlegen des höchsten knöchernen Punkts der lateralen Trochlea (= Punkt C).

Sodann Festlegen einer Parallelen zur Gerade a durch C (= Gerade g). Der Abstand zwischen c und h ist die Breite der lateralen Trochlea.

Der Abstand zwischen a und g ist die Höhe der lateralen Trochlea.

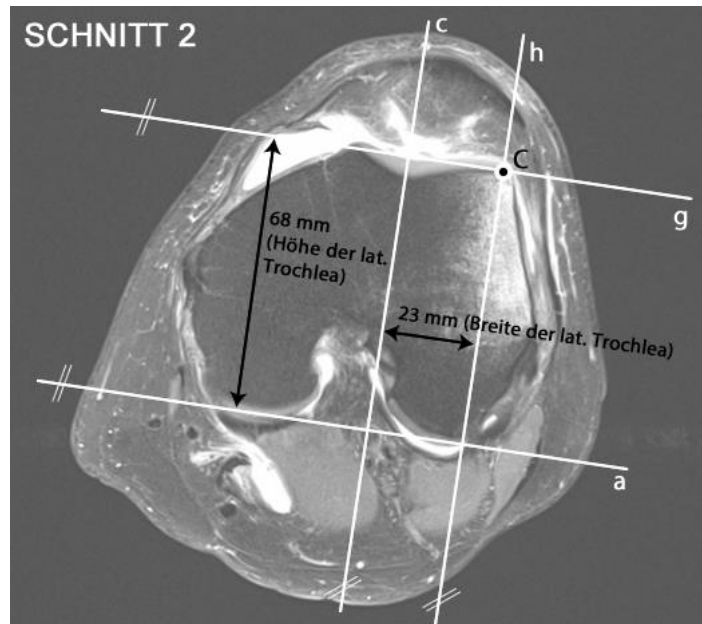


Abbildung 18: Schnittbild 2 zur Bestimmung von Breite und Höhe der lateralen Trochlea

2.3.3 Bestimmung des TTTG-Winkels und des Tuberositas-Rotationswinkels

Schritt 1:

In Schnittbild Nr. 4, in welchem die Prominenz der Tuberositas tibiae ebenso wie das einstrahlende Ligamentum patellae eindeutig sichtbar ist:

Verbinden der Punkte A und B ergibt die Gerade i.

Der kleinste Winkel zwischen den Geraden c und i ist der TTTG-Winkel.

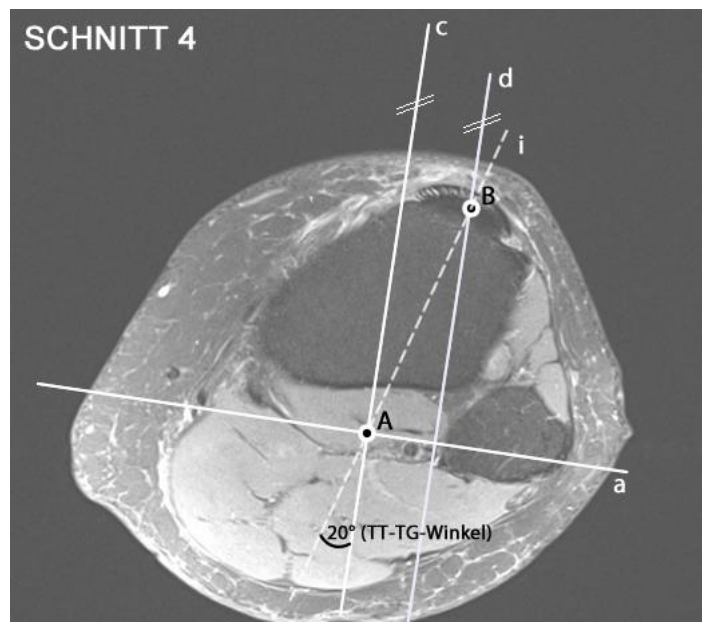


Abbildung 19: Schnittbild 4 zur Bestimmung des TTTG-Winkels

Schritt 2:**In Schnittbild Nr. 3:**

Bestimmen der Mitte der Notch-Breite sowie des Dachs der Notch (= Punkt D).

Sodann Legen einer Senkrechten zu a durch D.

Die Senkrechte ist die Gerade j und wird in den Schnitt Nr. 4 übertragen

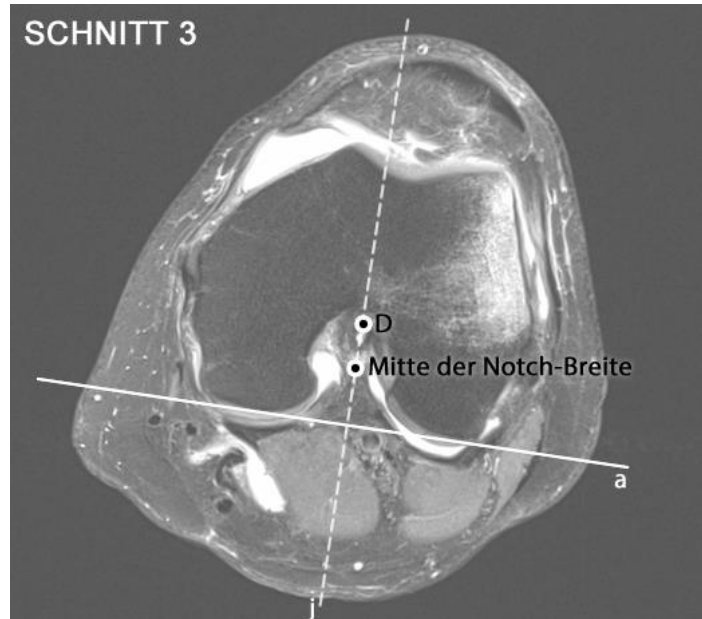


Abbildung 20: Schnittbild 3 zur Bestimmung des Tuberositas-Rotationswinkels

Schritt 3:**In Schnittbild Nr. 4:**

Gerade j wurde aus Schnitt 3 in Schnitt 4 übertragen.

Bestimmte den Schnittpunkt von a und j (= Punkt E).

Verbinden der Punkte B und E führt zur Geraden k.

Der kleinste Winkel zwischen a und k ist der Tuberositas-Rotationswinkel.

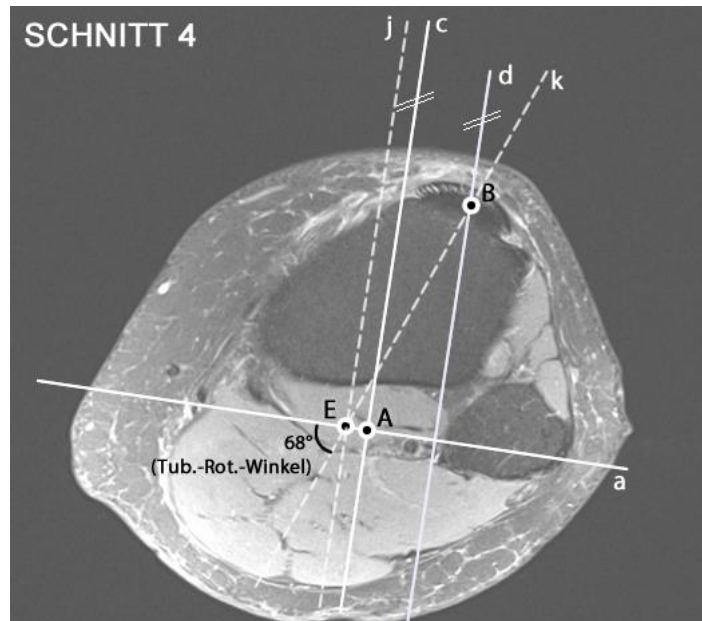


Abbildung 21: Schnittbild 4 zur Bestimmung des Tuberositas-Rotationswinkels

Zur Wahrung des informationellen Selbstbestimmungsrechts der Patienten erfolgte nach den Vermessungen die Speicherung der gewonnenen Werte sowie der weiteren Daten wie Geschlecht, Körpergewicht, Körpergröße etc. in anonymisierter Form. Hierbei wurde jedem Datensatz eine laufende Nummer (ID) zugewiesen. Die unmittelbar

durchgeführte Vernichtung der direkt patientenbezogenen Ausdrücke verhindert damit dauerhaft den Rückschluss auf die einzelnen Untersuchten. Alle Auswertungen erfolgten ausschließlich anhand der anonymisierten Daten.

2.3.4 Betrachtung von Grenzwert-Szenarien

Wie bereits erläutert, wird in der klinischen Praxis derzeit ein „pathologischer“ Grenzwert von 20 mm für den TTTG-Abstand benutzt, der zumindest mitbestimmend für oder gegen eine bestimmte Therapie (z.B. Operation) sein kann.

In der vorliegenden Arbeit wurden zunächst drei verschiedene Grenzwerte des TTTG-Abstandes (und im Weiteren auch eines TTTG-Index) herangezogen und im Sinne von drei verschiedenen Szenarien (A, B, C) überprüft, inwieweit sich folgende Testgütekriterien verändern:

1. **Sensitivität**
2. **Spezifität**
3. **Positiver prädiktiver Wert (PPW)**
4. **Negativer prädiktiver Wert (NPW)**
5. **Positives Likelihood Ratio (LR+)**
6. **Negatives Likelihood Ratio (LR-)**

Als etablierte Maße für die allgemeine Güte eines diagnostischen Tests gelten die *Sensitivität und Spezifität* (70):

Sensitivität = Anteil der positiven Tests unter den tatsächlich Kranken

Spezifität = Anteil der negativen Tests unter den tatsächlich Gesunden

Eine hohe Sensitivität bedeutet wenige Falsch-Negative, eine hohe Spezifität, dass es wenig Falsch-Positive gibt. Sensitivität und Spezifität können in einer Auswahl an Personen (Studienkollektiv oder auch Teilnehmer an einem Screening) nicht gleichzeitig maximiert werden – anders ausgedrückt: weniger Falsch-Negative bedeuten mehr Falsch-Positive und umgekehrt. Je nach Bedeutung und Folgen für die Betroffenen („Test-positive“ bzw. „Test-negative“ Individuen) muss man sich beim Design einer Studie oder einer Screening-Maßnahme entscheiden, welcher Wert möglichst hoch ausfallen soll – es muss ein für die jeweilige Situation geeigneter Kompromiss gefunden werden. Dies ist u.a. deshalb wichtig, da einem falsch-positiven Testergebnis oft eine weitere, manchmal invasive oder risikoreiche diagnostische Abklärung folgt.

In der klinischen Anwendung liefern die Maße Sensitivität und Spezifität aber keine Antwort auf die Frage nach der Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen der Krankheit. Für die tatsächliche Diagnostik in der klinischen Praxis sind die *prädiktiven Werte* wichtiger (70–72). Denn für den Behandler (aber auch die betroffenen Patienten) ist vielmehr interessant, ob das Testergebnis den richtigen Krankheitsstatus anzeigt. Eine solche Aussage lässt sich mit Vorhersagewerten (prädiktiven Werten) treffen (73):

Der **positive prädiktive Wert (PPW)** ist der Anteil der Kranken unter allen Test-Positiven (70):

$$PPW = \text{Sensitivität} \times \text{Prävalenz} / [\text{Sensitivität} \times \text{Prävalenz} + (1 - \text{Spezifität}) \times (1 - \text{Prävalenz})]$$

Analog ist der **negative prädiktive Wert (NPW)** als Anteil der Gesunden unter den Test-Negativen definiert. PPW und NPW berechnen sich wie folgt (70):

$$NPW = \text{Spezifität} \times (1 - \text{Prävalenz}) / [\text{Spezifität} \times (1 - \text{Prävalenz}) + (1 - \text{Sensitivität}) \times \text{Prävalenz}]$$

Für die Berechnung des PPW und NPW ist folglich die Kenntnis der Prävalenz einer Erkrankung notwendig. Sie beschreibt die Wahrscheinlichkeit, erkrankt zu sein, bevor das Testergebnis bekannt ist – sie wird daher auch als „apriori-Wahrscheinlichkeit“ bezeichnet, während der positive Vorhersagewert „a-posteriori-Wahrscheinlichkeit“ genannt wird (73). Somit errechnet man für unterschiedliche Prävalenzen völlig unterschiedliche Werte für PPW und NPW. Für die Patellaluxation sind in der Literatur zwar Angaben zur Inzidenz (Zahl der in einer betrachteten Zeitspanne neu Erkrankten) bekannt (27; 28). Für die Prävalenz (Gesamtzahl aller zum Untersuchungszeitpunkt Erkrankten) gibt es derzeit aber keine verlässlichen Angaben.

Somit bleibt für die in dieser Arbeit erhobenen Daten zwar die Möglichkeit, die prädiktiven Werte aus den Werten Sensitivität und Spezifität (also bei der Prävalenz des betrachteten Patientengutes) zu berechnen – die Ergebnisse dürfen aber nicht auf ein anderes Kollektiv (oder gar die Allgemeinheit) übertragen werden und gelten nur für die im Rahmen der Arbeit betrachtete Stichprobe. Die Prävalenz im untersuchten Patientengut von etwa 40% (103 von 255 untersuchten Personen) ist zweifellos um ein Vielfaches höher als in der Allgemeinbevölkerung – somit haben die errechneten prädiktiven Werte in dieser Arbeit eher informativen Charakter oder können zum Vergleich mit anderen Studien verwendet werden, welche eine ähnliche Prävalenz zeigen.

Es lohnt sich weiterhin, die so genannten *Likelihood Ratios* zu betrachten:

- Das **positive Likelihood Ratio LR(+)** gibt den Faktor an, um den sich die a-priori Chance für Krankheit gegenüber Gesundheit *nach* Vorliegen eines *positiven* Testergebnisses verändert. (74):

$$LR(+) = \text{Sensitivität} / (1 - \text{Spezifität})$$

- Das **negative Likelihood Ratio LR(-)** gibt somit analog den Faktor an, um den sich die a-priori Chance für Krankheit gegenüber Gesundheit *nach* Vorliegen eines *negativen* Testergebnisses verändert (74):

$$LR(-) = (1 - \text{Sensitivität}) / \text{Spezifität}$$

Vorteilhafterweise ist für die Angabe von Likelihood Ratios die Kenntnis der Prävalenz nicht notwendig. Beispiel: Ein diagnostischer Test mit einem LR(+) von 10 bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit für ein *positives* Testergebnis unter den tatsächlich Erkrankten 10-mal so hoch ist, wie unter den Gesunden. Ein LR(+) von 1 hingegen entspricht einem wertlosen Test (einem Münzwurf) (74).

Angelehnt an Jaeschke, Guyatt et al. kann man die jeweiligen Werte für LR(+) und LR(-) als Güte eines diagnostischen Tests wie folgt interpretieren (75):

Wahrscheinlichkeitsverhältnisse	Interpretation
LR(+) > 10 bzw. LR(-) < 0,1	„überzeugende diagnostische Evidenz“
LR(+) 5-10 bzw. LR(-) 0,1 - 0,2	„hohe diagnostische Evidenz“
LR(+) 2-5 bzw. LR(-) 0,2 - 0,5	„schwache diagnostische Evidenz“
LR(+) 1-2 bzw. LR(-) 0,5 - 1	„kaum relevante diagnostische Evidenz“

Tabelle 4: Interpretation von Likelihood Ratios

Als besonders vorteilhaft erweisen sich Likelihood Ratios bei der vergleichenden Betrachtung der Güte mehrerer Tests (74) – wie in der vorliegenden Arbeit bei Anwendung unterschiedlicher Grenzwerte für den TTTG-Abstand:

Die beschriebenen sechs Testgütekriterien (Sensitivität, Spezifität, PPW, PPW, positives LR, negatives LR) werden im Rahmen dieser Arbeit zunächst in drei verschiedenen Szenarien **(A)**, **(B)** und **(C)** untersucht. Diese Szenarien beruhen jeweils auf der Annahme unterschiedlicher „pathologischer Grenzwerten“ des TTTG-Abstandes:

Szenario

(A) Der derzeit im klinischen Alltag übliche Grenzwert von 20 mm

(B) Die obere Schranke eines 95%-Referenzbereichs

Insbesondere für medizinische Fragestellungen sind so genannte Referenzbereiche wichtig, die 95% aller Werte beinhalten. Liegen normalverteilte Daten vor, geht man davon aus, dass ein Wert außerhalb eines solchen Referenzbereichs überprüft werden sollte, beispielsweise auf Messfehler oder auch auf das Vorliegen pathologischer Besonderheiten (73).

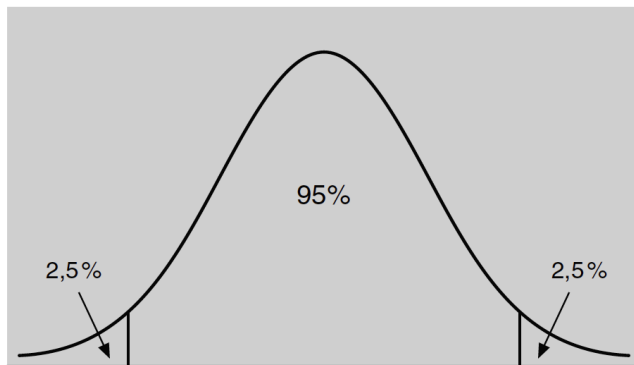


Abbildung 22: 95%-Referenzbereich einer Normalverteilung, aus (73)

In dieser Arbeit leitet sich der Referenzbereich aus den Daten der „Gesunden“ (der Kontrollgruppe) ohne patellofemorale Pathologien oder erlittene Patellaluxation ab. Die obere Schranke eines 95%-Referenzbereichs errechnet sich allgemein nach der Formel

$$\text{Mittelwert} + 1,96 \times \text{Standardabweichung}$$

und beträgt für den TTG-Abstand:

- in der gesamten Kontrollgruppe (beide Geschlechter) 17,24 mm
- bei den Männern der Kontrollgruppe 16,85 mm
- bei den Frauen der Kontrollgruppe 17,55 mm.

(C) Statistisch optimierter Grenzwert

Wenn man als Ziel vorgibt, eine möglichst hohe Vorhersagegüte eines diagnostischen Tests zu erreichen, bietet sich der so genannte Youden-Index an.

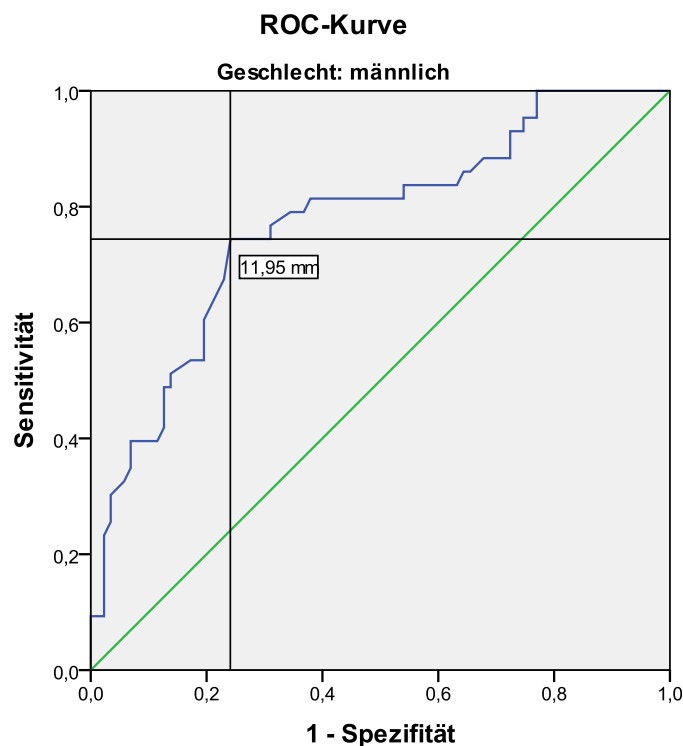
Der Youden-Index ermöglicht es, einen optimierten Grenzwert zu bestimmen, indem er die Sensitivität und Spezifität eines diagnostischen Tests zu einer gemeinsamen Kenngröße zusammenführt:

$$\text{Youden-Index} = \text{Sensitivität} + \text{Spezifität} - 1$$

Mittels Receiver Operating Characteristics (ROC)-Analyse wurden schließlich **statistisch optimale Grenzwerte des TTTG-Abstandes** ermittelt, bei welchen die Vorhersagegüte des Tests für das jeweilige Kollektiv (alle Patienten, alle Männer, alle Frauen) maximal ist, also der bestmögliche Kompromiss aus Sensitivität und Spezifität besteht.

Zu beachten ist allerdings, dass in den Youden-Index die Sensitivität und Spezifität gleichgewichtet einfließen. In einer Situation in der man beispielsweise größeren Wert auf eine hohe Sensitivität legt und die Spezifität nicht besonders wichtig ist, wäre die Grenzwertbestimmung entsprechend – z.B. zugunsten der Sensitivität – anzupassen.

Nachfolgende Abbildung zeigt beispielhaft die ROC-Kurve bei der Ermittlung eines optimierten Grenzwertes der männlichen Patienten:



Optimaler Grenzwert für Männer (11,95 mm) mit Sensitivität von 0,744 und Spezifität von 0,759

Abbildung 23: Beispielhafte ROC-Kurve zur Grenzwertermittlung

An jenem Punkt der Kurve, welcher am weitesten links oben (bzw. von der 45°-Diagonalen am weitesten entfernt) liegt, lassen sich an den Achsen Sensitivität und (1-) Spezifität ablesen – in diesem beispielhaften Fall der Männer liegt dieser bei 11,95 mm.

Wichtig ist es, zu beachten, dass ein „optimaler Grenzwert“ in der klinischen Realität nicht ausschließlich mittels mathematischer bzw. wahrscheinlichkeitstheoretischer Überlegungen aufgestellt werden kann und sollte.

Andere, klinische und ethische Überlegungen aber auch ökonomische Betrachtungen spielen ebenfalls eine bedeutende Rolle. Als Arzt ist man zuletzt stets dem Umstand unterworfen, dass die Interpretation eines Testergebnisses in aller Regel von einem mehr oder minder willkürlich festgelegten Schwellenwert abhängt (73).

2.3.5 Bestimmung eines geeigneten TTTG-Index und dessen Anwendung

Wie bereits im Kapitel 1.5 beschrieben, bezeichnet ein „TTTG-Index“ den Quotienten aus TTTG-Abstand und einem weiteren Messwert – mit dem Gedanken, dass der Wert des Index möglicherweise besser geeignet ist, zwischen Patienten mit patell-

ofemoraler Pathologie (Patellaluxation) und gesunden Patienten (Kontrollgruppe) zu differenzieren, da die individuellen Eigenschaften des Untersuchten dabei mehr Berücksichtigung finden.

Prinzipiell könnte der TTTG-Abstand mit jedem anderen erhobenen Messwert in Relation gesetzt werden und damit die Bildung eines Index erfolgen.

Mit der Zielsetzung, einen *geeigneten* TTTG-Index herauszugreifen und dann hinsichtlich seiner Testgüte mit dem absoluten TTTG-Abstand zu vergleichen, wurde wie folgt vorgegangen:

1. Auswahl des am besten geeigneten TTTG-Index hinsichtlich seiner Verwendung in einem diagnostischen Test. Folgende Indizes standen zur Wahl:
 - **TTTG-Abstand / Epikondylenabstand**
 - **TTTG-Abstand / Breite der lateralen Trochlea**
 - **TTTG-Abstand / Höhe der lateralen Trochlea**
 - **TTTG-Abstand / TTTG-Winkel**
 - **TTTG-Abstand / Tuberositas-Rotations-Winkel**
 - **TTTG-Abstand / Körpergröße**
 - **TTTG-Abstand / Körpergewicht**

Mittels ROC-Analyse wurde für alle diese TTTG-Indizes die „Area under the curve“ (AUC) ermittelt. Die höchste AUC definierte somit denjenigen Index, der am besten zwischen Fall- und Kontrollgruppe zu unterscheiden vermag.

2. Bestimmung eines statistisch optimalen Grenzwertes mittels Youden-Index für diesen gewählten („besten“) TTTG-Index.
3. An diesem statistisch optimalen Grenzwert erfolgte erneut (wie zuvor für die verschiedenen Grenzwertszenarien für den absoluten TTTG-Abstand) die Berechnung der Testgütekriterien:
 - **Sensitivität**
 - **Spezifität**
 - **positiver prädiktiver Wert**
 - **negativer prädiktiver Wert**
 - **positives Likelihood Ratio**
 - **negatives Likelihood Ratio**

4. Letztlich erfolgte die vergleichende Bewertung von TTTG-Abstand und TTTG-Index (jeweils an ihren statistisch optimalen Grenzwerten). Dabei bildete der TTTG-Index das Szenario **(D)**, welches die bereits oben beschriebenen drei Szenarien zwecks Vergleichs ergänzte.

2.3.6 Korrelationen

Es wurden die Korrelationskoeffizienten (nach Pearson) von TTTG-Abstand und den jeweils anderen erhobenen Messwerten untersucht, um eventuelle Zusammenhänge zwischen den Messgrößen zu erfassen oder ausschließen zu können. Dabei gingen neben den Messwerten aus den MRT-Bildern auch die Parameter Alter, Körpergröße und Körpergewicht ein.

Es mangelt in der Literatur zur Statistik an einheitlichen Richtlinien zur Bewertung der Korrelationskoeffizienten - die Übergänge z.B. von einem „schwachen“ zu einem „deutlichen“ Zusammenhang sind fließend. Den Sachbezug in die Beurteilung des Korrelationskoeffizienten einzubeziehen erscheint insofern wichtiger, als sich an festen Grenzen festzuhalten. In dieser Arbeit erfolgte die Bewertung wie folgt (76):

Korrelationskoeffizient von 0,0 bis 0,2 → kein bis geringer Zusammenhang

Korrelationskoeffizient von 0,2 bis 0,5 → schwacher bis mäßiger Zusammenhang

Korrelationskoeffizient von 0,5 bis 0,8 → deutlicher Zusammenhang

Korrelationskoeffizient von 0,8 bis 1,0 → hoher bis perfekter Zusammenhang

Zu beachten ist, dass ein Korrelationskoeffizient ungleich Null lediglich besagt, dass ein Zusammenhang *nicht auszuschließen* ist - jedoch nichts darüber aussagt, worauf dieser Zusammenhang zurückzuführen ist, ob er kausal bedingt ist und welche Schlussfolgerungen zu ziehen sind.

3 Ergebnisse

Dieses Kapitel präsentiert die Ergebnisse der durchgeführten statistischen Untersuchungen und beantwortet die oben formulierten konkreten Fragestellungen 1-13.

3.1 Deskriptive Statistiken

3.1.1 Alter

Das durchschnittliche Alter aller Patienten der Kontrollgruppe (n=152) betrug 35,8 Jahre (Median 34,5 Jahre) und das aller Luxationspatienten (n=103) 26,8 Jahre (Median 24,0 Jahre).

Der Unterschied des mittleren Alters zwischen Fällen und Kontrollgruppe ist höchst signifikant ($p < 0,001$).

Nachfolgende Tabelle zeigt das mittlere Alter in den einzelnen Subgruppen und nach Geschlechtern getrennt:

Gruppe / Subgruppe	Geschlecht	Anzahl	mittleres Alter (Jahre)
Fallgruppe			
sichere Erstluxation	männlich	12	27,00
	weiblich	18	27,44
sichere Rezidivluxation	männlich	12	26,25
	weiblich	16	26,81
unbekannt ob Erst- / Rezidivluxation	männlich	19	27,16
	weiblich	26	26,19
Kontrollgruppe			
ohne Bandläsion	männlich	69	33,48
	weiblich	50	40,70
mit Bandläsion	männlich	18	32,39
	weiblich	15	34,67

Tabelle 5: Mittleres Alter in den Subgruppen

Nachfolgende Abbildung 24 zeigt die Altersverteilung unabhängig der Zugehörigkeit zur Fall- oder Kontrollgruppe, getrennt nach Geschlechtern:

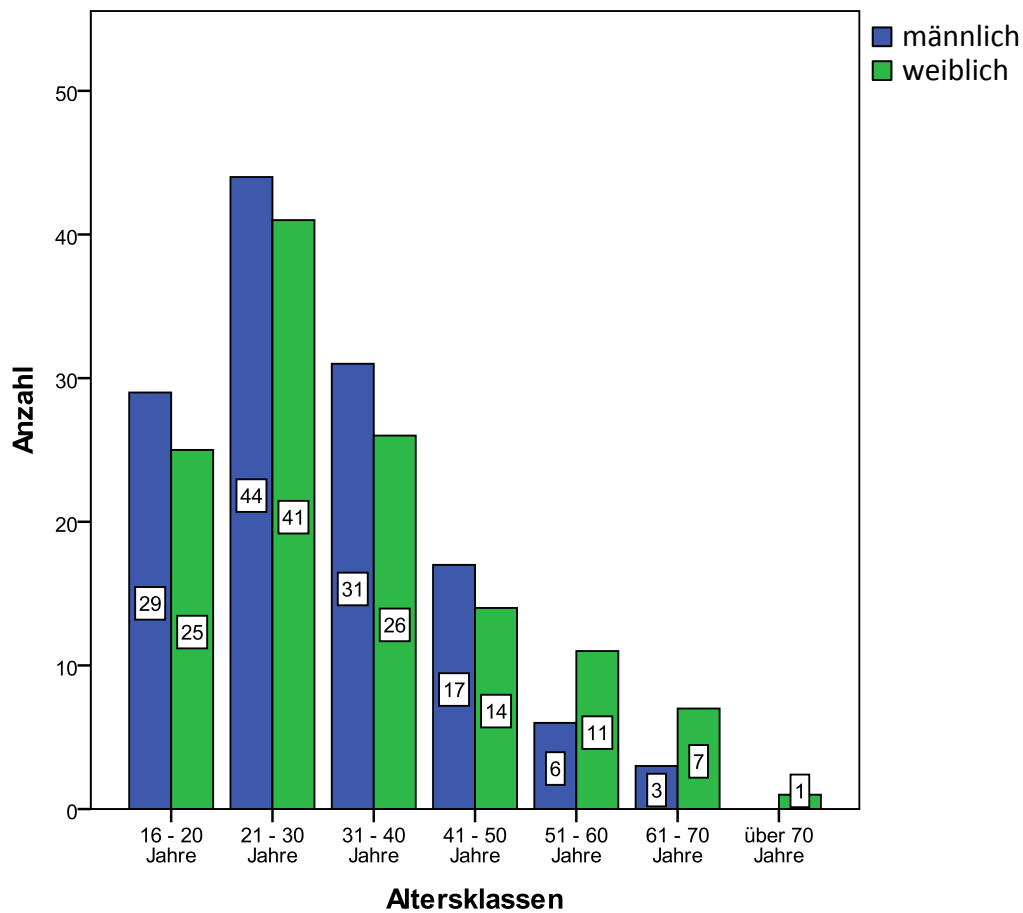


Abbildung 24: Altersverteilung aller 255 untersuchten Patienten (Alter klassiert)

Die Abbildung 25 illustriert die anteilige Zugehörigkeit zur Fall- oder Kontrollgruppe in den jeweiligen Altersklassen (je 10 Jahre). Alle Patienten jenseits des 60. Lebensjahres stellten sich ohne Patellaluxation vor, sodass sie alle der Kontrollgruppe angehörten.

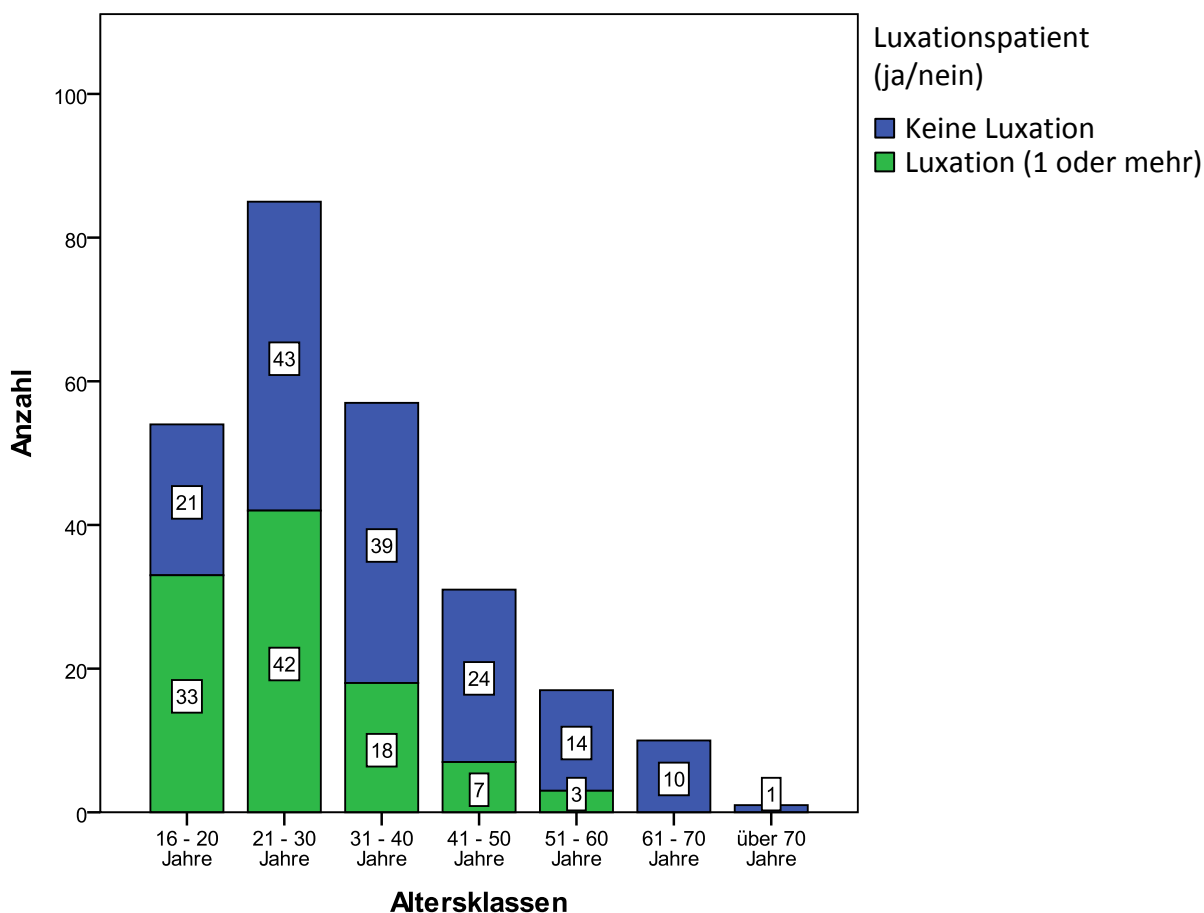


Abbildung 25: Altersverteilung getrennt nach Kontrollgruppe (blau) und Luxationspatienten (grün)

3.1.2 Körpergröße

Bei 117 Patienten konnte die Körpergröße aus der klinischen Dokumentation entnommen werden. Nachfolgende Tabelle zeigt die Verteilung der erhobenen Körpergrößen in Klassen von je 10 cm (beide Geschlechter):

Körpergröße (Klassen von je 10 cm)			Geschlecht	
			männlich (Anzahl)	weiblich (Anzahl)
Körpergröße (cm)	151-160 cm	mind. 1 Patellaluxation (Fälle)	0	2
		keine Luxation (Kontrollgruppe)	0	4
	161-170 cm	mind. 1 Patellaluxation (Fälle)	0	13
		keine Luxation (Kontrollgruppe)	8	22
	171-180 cm	mind. 1 Patellaluxation (Fälle)	5	9
		keine Luxation (Kontrollgruppe)	10	7

181-190 cm	mind. 1 Patellaluxation (Fälle)	9	3
	keine Luxation (Kontrollgruppe)	20	0
191-200 cm	mind. 1 Patellaluxation (Fälle)	3	0
	keine Luxation (Kontrollgruppe)	2	0

Tabelle 6: Körpergrößen in Fall- und Kontrollgruppe (geschlechtsneutral)

Die beiden Geschlechter zeigten erwartungsgemäß hochsignifikante Unterschiede bezüglich der Körpergröße. Bei den untersuchten Männern betrug diese im Mittel 181,05 cm und bei den Frauen 168,20 cm.

Bezüglich der Luxationsgeschehen konnte jedoch mittels einfaktorieller Varianzanalyse (ANOVA) kein signifikanter Zusammenhang zwischen Körpergröße und einem Luxationsgeschehen nachgewiesen werden.

3.1.3 Körpergewicht und Body-Mass-Index

Bei 117 Patienten (57 Männer, 60 Frauen) wurde laut klinischer Dokumentation das Körpergewicht erfasst. Es handelt sich um dieselben Patienten, bei denen auch die Körpergröße in Erfahrung gebracht werden konnte:

Körpergewicht (kg)					
Anzahl	Mittelwert	Median	Std.-Abw.	Minimum	Maximum
117	75,00	75,00	17,29	40,00	130,00

Tabelle 7: Körpergewicht von 117 Patienten

Eine Unterscheidung in die Gewichtskategorien Untergewicht, Normalgewicht, Übergewicht und Adipositas (alle Grade) entsprechend dem Body-Mass-Index (= Körpergewicht [kg] / Körpergröße [m]²) ergab folgende Verteilung:

Gewichtskategorien von 177 Patienten				Anzahl	%
Gewichtskategorien (gemäß WHO)	Untergewicht (BMI bis 18,4)	Geschlecht	männlich	0	0,0 %
			weiblich	6	5,1 %
	Normalgewicht (BMI 18,5 - 24,9)	Geschlecht	männlich	25	21,4 %
			weiblich	36	30,8 %
	Übergewicht (BMI 25 - 29,9)	Geschlecht	männlich	26	22,2 %
			weiblich	13	11,1 %
Adipositas (BMI ab 30)	Geschlecht	männlich	6	5,1 %	
		weiblich	5	4,3 %	

Tabelle 8: Gewichtskategorien (nach WHO) von 177 Patienten

Betrachtete man lediglich alle Luxationspatienten (bei denen das Gewicht bekannt war), zeigten sich folgende Zugehörigkeiten zu den Gewichtsklassen:

Gewichtskategorien von 44 Luxationspatienten			Anzahl	%
Gewichtskategorien (gemäß WHO)	Untergewicht (BMI bis 18,4)	männlich	0	0,0 %
		weiblich	2	4,5 %
	Normalgewicht (BMI 18,5 - 24,9)	männlich	4	9,1 %
		weiblich	17	38,6 %
	Übergewicht (BMI 25 - 29,9)	männlich	9	20,5 %
		weiblich	6	13,6 %
	Adipositas (BMI ab 30)	männlich	4	9,1 %
		weiblich	2	4,5 %

Tabelle 9: Gewichtskategorien (nach WHO) der Luxationspatienten (sofern Gewicht bekannt, n=44)

Auffällig ist dabei die Häufung weiblicher Personen in der Kategorie der Normalgewichtigen, wenngleich dies nicht statistisch signifikant ist. Eine Kreuztabelle bezogen auf ein Luxationsgeschehen zeigt aber deutlich, dass das Trauma der Patellaluxation nicht mit Übergewicht assoziiert ist:

		Luxationspatient (ja/nein)		Gesamtsumme
		ja	nein	
Körpergewicht (kg)	bis 50 kg	3	3	6
	51-60 kg	12	8	20
	61-70 kg	22	8	30
	71-80 kg	14	6	20
	81-90 kg	15	6	21
	91-100 kg	4	10	14
	101-110 kg	1	2	3
	111-120 kg	2	0	2
	121-130 kg	0	1	1
Gesamtsumme		73	44	117

Tabelle 10: Kreuztabelle Körpergewicht zu Luxationsgeschehen

3.2 Explorative Datenanalyse

In diesem Kapitel werden die – teils eingangs vermuteten – Zusammenhänge zwischen verschiedenen Kollektiven bzw. Messwerten untersucht. Kern der Überlegungen ist insbesondere auch die Frage nach statistisch signifikantem Zusammenhängen der gemessenen TTTG-Abstände und weiteren Attributen der Patienten.

3.2.1 TTTG-Abstände in der Gesamtpopulation

Als **Antwort auf die Fragestellung (1)**: Welche Messwerte des TTTG-Abstandes zeigt die untersuchte Gesamtpopulation?

Betrachtete man den TTTG-Abstand aller Patienten, ergab sich ein Mittelwert von 12,07 mm (Median 11,80 mm). Die Spannweite der beobachteten Werte reichte dabei von 3,2 bis 27,3 mm. Die mittleren 50 Prozent der Daten (1. bis 3. Quartil) lagen im Bereich von 9,2 bis 14,7 mm.

<i>TTTG-Abstand in mm (alle untersuchten Patienten)</i>					
Anzahl	Mittelwert (mm)	Median (mm)	Std.-Abw. (mm)	Minimum (mm)	Maximum (mm)
255	12,07	11,80	4,18	3,20	27,30

Tabelle 11: TTTG-Abstand aller untersuchten Patienten (n=255)

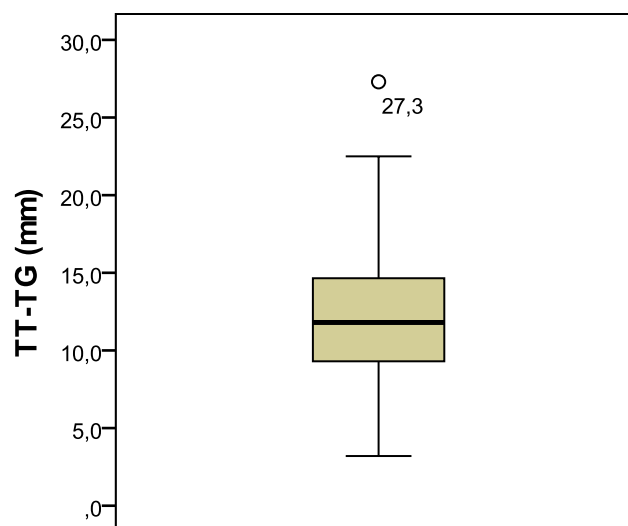


Abbildung 26: TTTG-Abstand aller untersuchten Patienten (Boxplot)

Im Histogramm bestätigte sich die (schon zuvor mittels im Shapiro-Wilk-Test festgestellte) Normalverteilung der TTTG-Abstände:

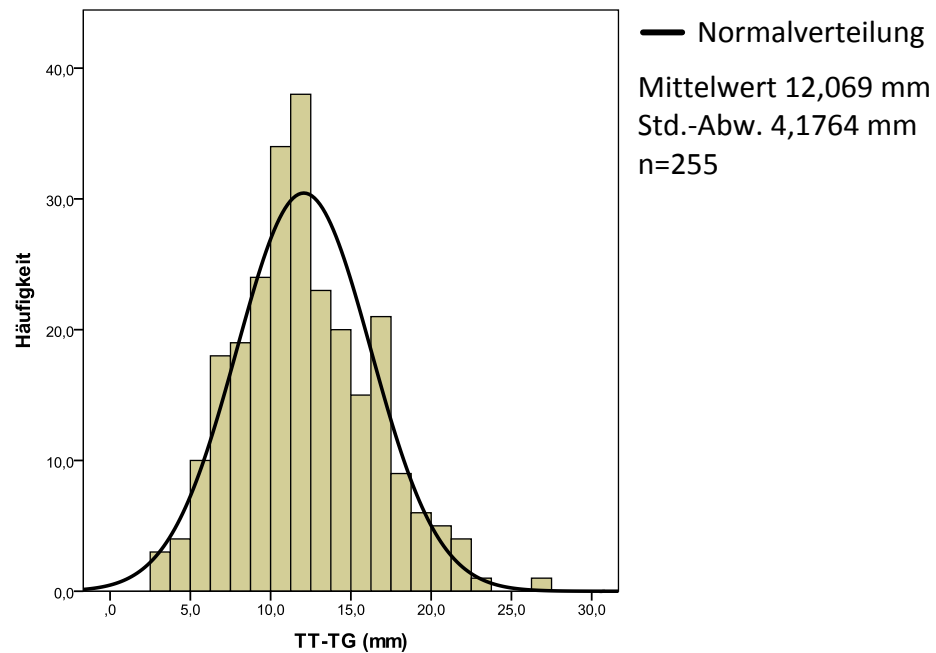


Abbildung 27: Histogramm aller erhobenen TTTG-Abstände (geschlechtsunabhängig)

Bei den Personen der Kontrollgruppe, welche keine Patellaluxation erlitten hatten und MRT-Aufnahmen des Kniegelenks aus anderen Gründen erhielten, betrug der mittlere TTTG-Abstand 10,56 mm:

TTTG-Abstand in mm					
(alle Patienten der Kontrollgruppe, keine Patellaluxation)					
Anzahl	Mittelwert (mm)	Median (mm)	Std.-Abw. (mm)	Minimum (mm)	Maximum (mm)
152	10,56	10,30	3,41	3,40	20,20

Tabelle 12: TTTG-Abstand aller Patienten der Kontrollgruppe (n=152)

Hingegen war der mittlere TTTG-Abstand bei den Patienten mit stattgehabter Patellaluxation etwa 3,7 mm höher:

TTTG-Abstand in mm					
(alle Patienten der Fallgruppe mit erlittener Patellaluxation)					
Anzahl	Mittelwert (mm)	Median (mm)	Std.-Abw. (mm)	Minimum (mm)	Maximum (mm)
103	14,29	14,10	4,23	3,20	27,30

Tabelle 13: TTTG-Abstand aller Patienten der Fallgruppe (n=103)

3.2.1.1 TTTG-Abstand und Alter

Es wurden Daten von Patienten im Alter von 16 bis 71 Jahren erhoben. Eine Klassierung nach Altersdekaden zeigt folgende (geschlechtsunabhängige) Verteilung:

Alter (klassiert)	TTTG-Abstand in mm						
	Anzahl	%	Mittelwert (mm)	Median (mm)	Std.-Abw. (mm)	Minimum (mm)	Maximum (mm)
16 - 20 Jahre	54	22,3 %	12,70	12,20	4,48	5,00	27,30
21 - 30 Jahre	85	33,8 %	12,24	11,60	4,37	3,80	22,50
31 - 40 Jahre	57	21,7 %	11,73	11,20	3,47	3,20	22,00
41 - 50 Jahre	31	12,2 %	12,11	11,30	4,58	3,40	21,80
51 - 60 Jahre	17	6,3 %	11,37	11,30	3,29	5,60	16,90
61 - 70 Jahre	10	3,2 %	9,91	9,20	4,60	3,80	16,30
> 70 Jahre	1	0,5 %	15,10	15,10	.	15,10	15,10

Tabelle 14: TTTG-Abstände in den Altersklassen

Es konnte kein statistisch relevanter Zusammenhang zwischen dem Alter eines Patienten und dem gemessenen TTTG-Abstand gezeigt werden – lediglich die bereits beschriebene Häufigkeit junger Erwachsener im Patientengut war auffällig.

3.2.1.2 TTTG-Abstand und Körpergröße

In Klassen von je 10 cm der Körpergröße wurden folgende TTTG-Abstände erhoben:

Körpergröße (klassiert)	TTTG-Abstand in mm						
	Anzahl	%	Mittelwert (mm)	Median (mm)	Std.-Abw. (mm)	Minimum (mm)	Maximum (mm)
151-160 cm	6	5,1 %	12,0	11,6	5,6	6,0	18,9
161-170 cm	43	36,8 %	11,6	11,9	3,3	4,7	17,5
171-180 cm	31	26,5 %	12,8	11,4	4,5	5,6	22,1
181-190 cm	32	27,4 %	11,5	10,9	4,8	3,4	27,3
191-200 cm	5	4,3 %	12,7	12,7	3,8	7,5	18,2

Tabelle 15: TTTG-Abstände in den Gewichtsklassen

Es existiert kein statistisch nachweisbarer Zusammenhang zwischen Körpergröße und dem gemessenem TTTG-Abstand.

3.2.1.3 TTTG-Abstand und Körpergewicht

Es wurden die TTTG-Abstände in den jeweiligen Gewichtskategorien untersucht:

Körpergewicht (klassiert)	TTTG-Abstand in mm						
	Anzahl	%	Mittelwert (mm)	Median (mm)	Std.-Abw. (mm)	Minimum (mm)	Maximum (mm)
Untergewicht	6	5,1%	12,0	12,2	2,7	7,9	15,5
Normalgewicht	61	52,1%	11,9	11,8	3,7	3,8	22,1
Übergewicht	39	33,3%	11,8	10,3	5,3	3,4	27,3
Adipositas	11	9,4%	12,6	12,2	3,5	6,0	18,4

Tabelle 16: TTTG-Abstände in den Gewichtsklassen

Mittels einfaktorieller Varianzanalyse (ANOVA) konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen der Zugehörigkeit zu einer Gewichtskategorie und einem Luxationsgeschehen nachgewiesen werden.

3.2.2 TTTG-Abstand bei den untersuchten Männern

Als **Antwort auf die Fragestellung (2)**: Welche Messwerte des TTTG-Abstandes zeigen die untersuchten Männer?

Der gemessene mittlere TTTG-Abstand beträgt bei den untersuchten Männern 11,36 mm (Median 11,20 mm). Der kleinste TTTG-Abstand lag dabei bei 3,4 mm und der größte bei 27,30 mm. Es handelt sich hierbei gleichzeitig um den größten gemessenen TTTG-Abstand aller untersuchten Personen.

		TTTG-Abstand in mm					
		Anzahl	Mittelwert (mm)	Median (mm)	Std.-Abw. (mm)	Minimum (mm)	Maximum (mm)
Geschlecht	männlich	130	11,36	11,20	4,22	3,40	27,30

Tabelle 17: TTTG-Abstand bei den untersuchten Männern

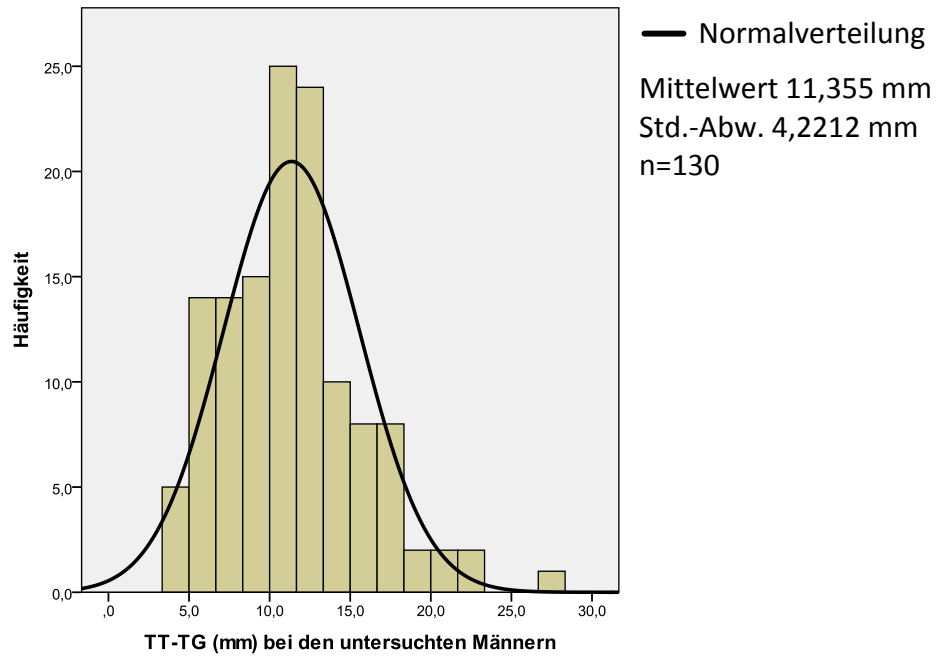


Abbildung 28: TTTG-Abstand bei den untersuchten Männern

3.2.3 TTTG-Abstand bei den untersuchten Frauen

Als **Antwort auf die Fragestellung (3)**: Welche Messwerte des TTTG-Abstandes zeigen die untersuchten Frauen?

Der gemessene mittlere TTTG-Abstand betrug bei den untersuchten Frauen 12,81 mm (Median 12,50 mm). Der kleinste TTTG-Abstand lag bei 3,2 mm und war damit gleichzeitig der kleinste gemessenen TTTG-Abstand aller untersuchten Personen. Der größte TTTG-Abstand der untersuchten Frauen lag bei 22,5 mm.

		<i>TTTG-Abstand in mm</i>					
		Anzahl	Mittelwert (mm)	Median (mm)	Std.-Abw. (mm)	Minimum (mm)	Maximum (mm)
Geschlecht	weiblich	125	12,81	12,50	4,01	3,20	22,50

Tabelle 18: TTTG-Abstand nach Geschlechtern

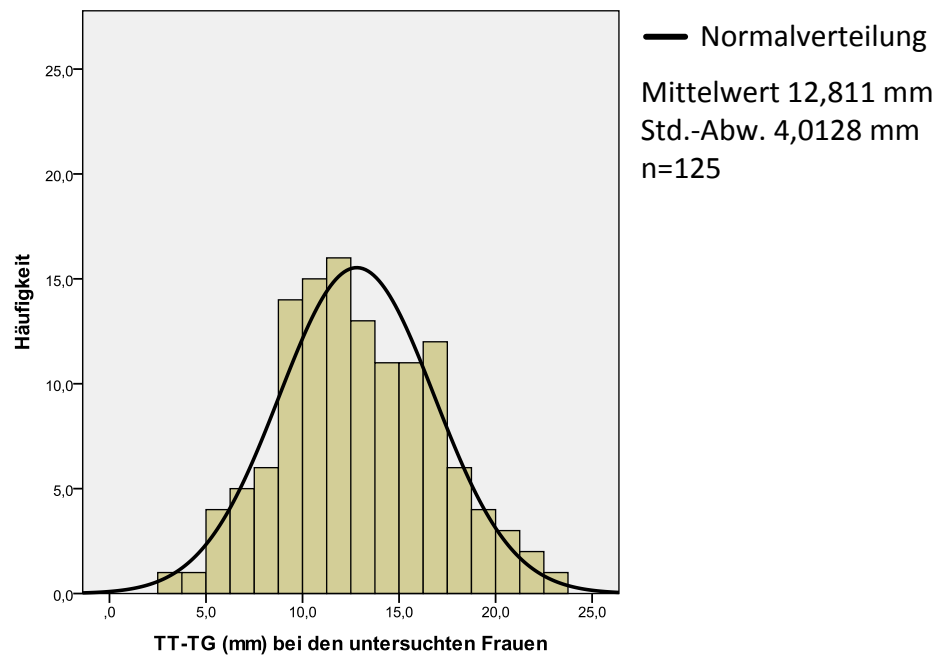


Abbildung 29: TTTG-Abstand bei den untersuchten Frauen

Vergleicht man die Messwerte beider Geschlechter, stellt man bei den untersuchten Frauen einen um etwa 1,5 mm höheren mittleren TTTG-Abstand fest. Die Mittelwerte beider Geschlechter unterschieden sich im t-Test für unverbundene Stichproben hochsignifikant ($p = 0,005$).

3.2.4 Korrelationen

Als **Antwort auf die Fragestellung (4)**: Wie korrelieren die erhobenen Messwerte?

Nachfolgende Tabelle zeigt die jeweiligen Korrelationen des TTTG-Abstandes zu den anderen erhobenen Messwerten (fett = signifikant):

Korrelationen (Pearson)				
Variable 1	Variable 2	Korrelation	p-Wert	Anzahl
TTTG-Abstand	Epikondylenabstand (mm)	- 0,085	0,18	255
TTTG-Abstand	Breite lat. Trochlea (mm)	0,165	< 0,01	255
TTTG-Abstand	Höhe lat. Trochlea (mm)	0,098	0,12	255
TTTG-Abstand	TTTG-Winkel	0,931	< 0,01	255
TTTG-Abstand	Tuberositas-Rot.-Winkel	- 0,753	< 0,01	255
TTTG-Abstand	Alter	- 0,118	0,06	255
TTTG-Abstand	Körpergröße (cm)	- 0,002	0,98	117
TTTG-Abstand	Körpergewicht (kg)	- 0,020	0,83	117

Tabelle 19: Korrelationen von TTTG-Wert und anderen Messwerten ($p < 0,05$)

Es zeigt sich also, dass der TTTG-Abstand lediglich mit den Messwerten

- Breite der lateralen Trochlea,
- TTTG-Winkel,
- Tuberositas-Rotationswinkel

signifikant korreliert, wobei der Zusammenhang mit der Breite der lateralen Trochlea allenfalls als (sehr) gering zu beschreiben ist ($r = 0,165$). Die hohen Korrelationen von TTTG-Abstand und TTTG-Winkel bzw. TTTG-Abstand und Tuberositas-Rotationswinkel ergeben sich bereits durch geometrische Überlegungen bei der Vermessung, vgl. Methodik in Kapitel 2.3.3. Insofern überraschen diese Korrelationen nicht.

Zu Beginn der vorliegenden Arbeit wurde vermutet, dass sich möglicherweise signifikante Korrelationen zwischen

- TTTG-Abstand und der Kniegröße (dem Epikondylenabstand),
- TTTG-Abstand und der Körpergröße sowie
- TTTG-Abstand und dem Körpergewicht

zeigen könnten. Alle drei Zusammenhänge bestehen jedoch nicht, was auch die folgenden drei Punktdiagramme deutlich illustrieren:

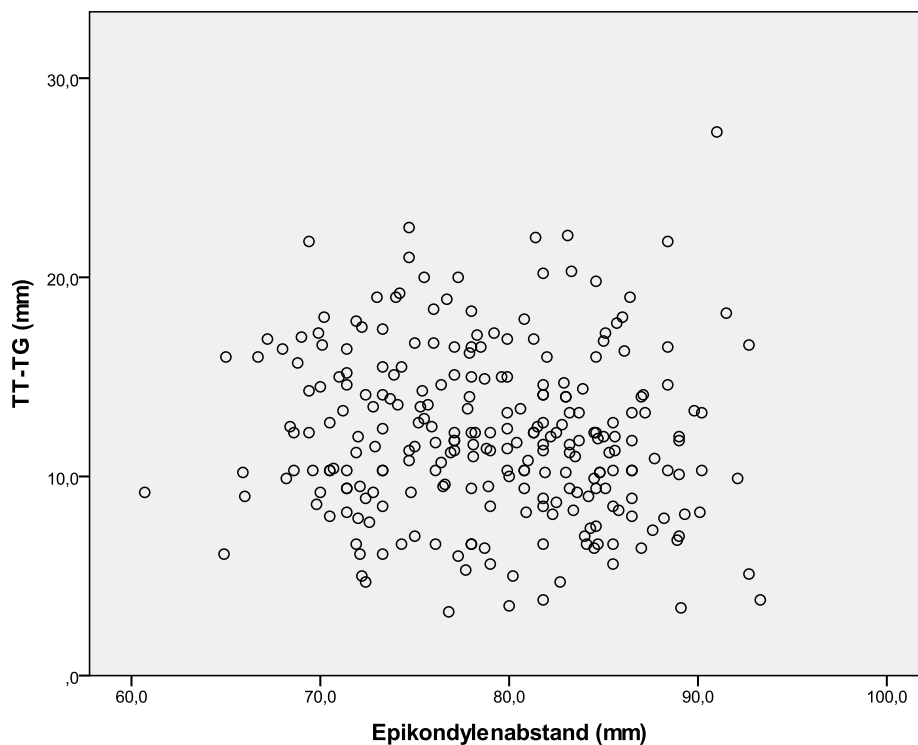


Abbildung 30: Punktdiagramm mit TTTG-Abstand (mm) und Epikondylenabstand (mm)

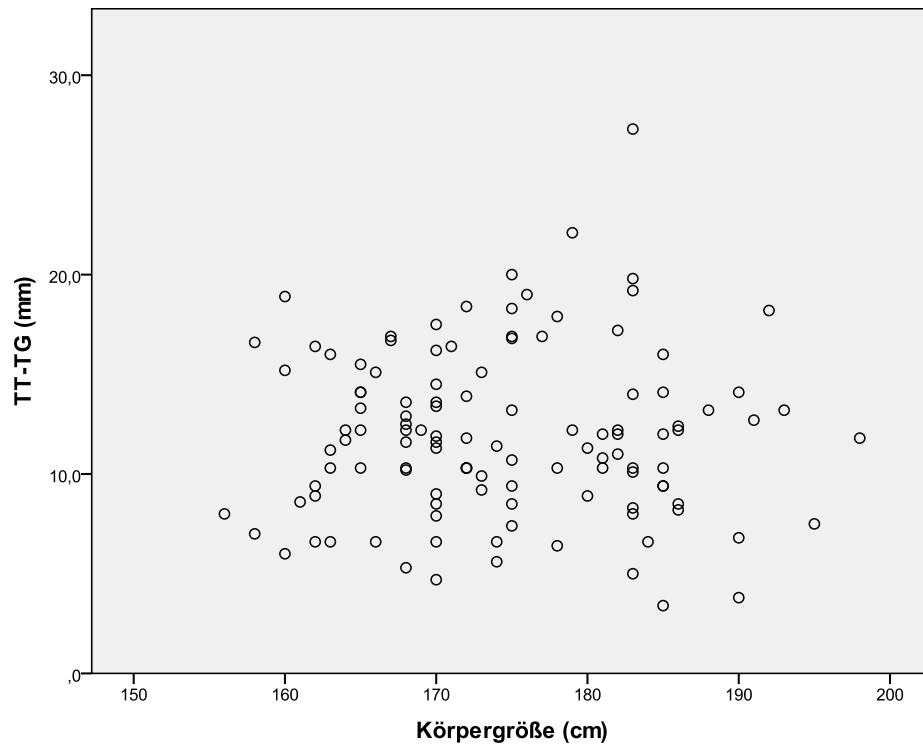


Abbildung 31: Punktdiagramm mit TTTG-Abstand (mm) und Körpergröße (cm)

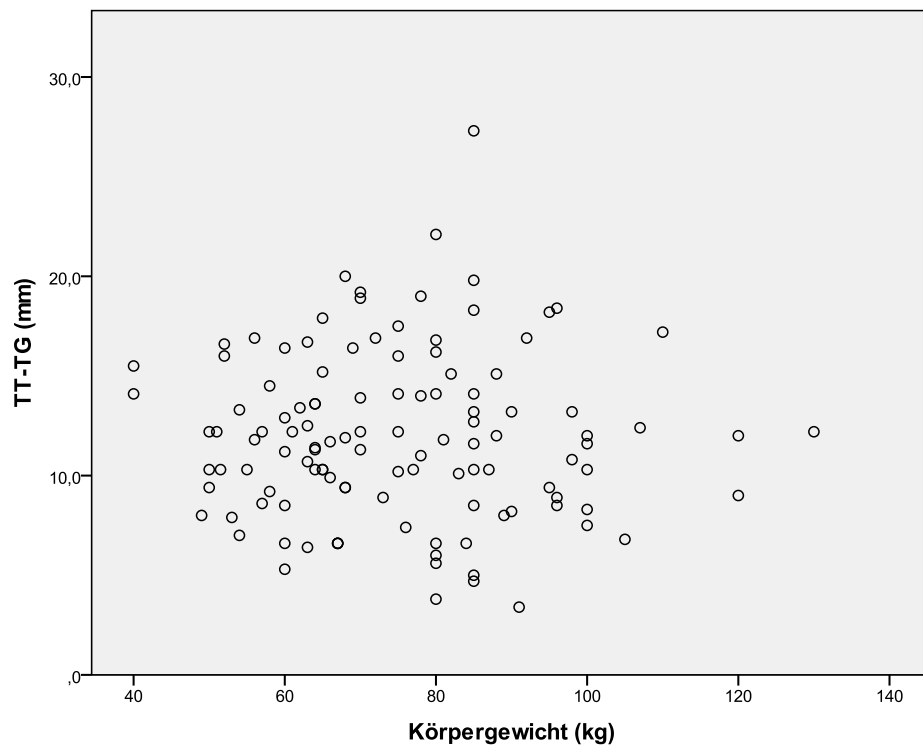


Abbildung 32: Punktdiagramm mit TTTG-Abstand (mm) und Körpergewicht (kg)

3.2.5 Untersuchung verschiedener pathologischer Grenzwerte des TTTG-Abstandes

Als Antwort auf die Fragestellungen

(5): Welche Erkenntnisse liefert die Untersuchung verschiedener pathologischer Grenzwerte des TTTG-Abstandes bei der Gesamtpopulation?

(6): Welche Erkenntnisse liefert die Untersuchung verschiedener pathologischer Grenzwerte des TTTG-Abstandes für Männer?

(7): Welche Erkenntnisse liefert die Untersuchung verschiedener pathologischer Grenzwerte des TTTG-Abstandes für Frauen?

In dieser Arbeit ergaben sich für jedes Szenario jeweils drei Kontingenztafeln: für alle Patienten (geschlechtsunabhängig), für alle Männer und für alle Frauen. Der Übersichtlichkeit halber fasst nachfolgende Tabelle die Ergebnisse aller drei Szenarien A, B und C zusammen. Die einzelnen Kontingenztafeln sind anschließend abgebildet:

Szenario	Sensitivität (%)			Spezifität (%)			Positiver prädiktiver Wert (%)			Negativer prädiktiver Wert (%)			Positives Likelihood-Ratio			Negatives Likelihood-Ratio				
	Alle	m	w	Alle	m	w	Alle	m	w	Alle	m	w	Alle	m	w	Alle	m	w		
A	7,8	9,3	10,0	99,3	98,9	100,0	88,9	80,0	100,0	61,4	68,8	54,6	11,81	8,09	∞	0,93	0,92	0,90		
													(aus 4-Felder-Taf.)	(aus 4-Felder-Taf.)						
														8,00	4,00	∞	0,63	0,45	0,83	
																			Prävalenz-bezogen	Prävalenz-bezogen
B	22,3	25,6	23,3	97,4	96,6	98,5	85,2	78,6	93,3	64,9	72,4	58,2	8,49	7,42	15,17	0,79	0,77	0,78		
													(aus 4-Felder-Taf.)	(aus 4-Felder-Taf.)						
														5,75	3,67	14,00	0,54	0,38	0,72	
																			Prävalenz-bezogen	Prävalenz-bezogen
C	73,8	74,4	66,7	69,1	75,9	75,4	61,8	60,4	71,4	79,5	85,7	71,0	2,39	3,08	2,71	0,38	0,33	0,44		
													(aus 4-Felder-Taf.)	(aus 4-Felder-Taf.)						
														1,61	1,52	2,50	0,26	0,17	0,41	
																			Prävalenz-bezogen	Prävalenz-bezogen

Tabelle 20: Übersichtstabelle mit Szenario A-C

Szenario **A** = Grenzwert von 20 mm (wie derzeit klinisch üblich)

Szenario **B** = Absenkung des Grenzwertes auf die obere Schranke eines 95%-Referenzbereiches

Szenario **C** = Absenkung des Grenzwertes auf einen statistisch optimalen Grenzwert des TTTG-Abstandes

Grenzwert von 20 mm	Wirklichkeit		(Alle Patienten)
	Luxationspatient	Kein Luxationspatient	Summen
Test positiv (TTTG > 20 mm)	8	1	9
Test negativ (TTTG ≤ 20 mm)	95	151	246
Summen	103	152	255
Sensitivität:	7,8 %	(3,7 – 15,2 % bei 95% KI)	
Spezifität:	99,3 %	(95,8 – 100 % bei 95% KI)	
Positiv prädiktiver Wert:	88,9 %	(50,7 – 99,4 % bei 95% KI)	
Negativ prädiktiver Wert:	61,4 %	(55,0 – 67,4 % bei 95% KI)	
Positives Likelihood Ratio (LR+):	11,81 8	(1,50 – 92,98 bei 95% KI) (1,24 – 51,51 bei 95% KI)	konventionelles LR+ Prävalenz-bezogen
Negatives Likelihood Ratio (LR-):	0,93 0,63	(0,88 – 0,98 bei 95% KI) (0,53 – 0,74 bei 95% KI)	konventionelles LR- Prävalenz-bezogen

Tabelle 21: Grenzwert des TTTG-Abstandes von 20 mm (Alle Patienten)

Obere Grenze eines 95% Ref.-bereichs (17,24 mm)	Wirklichkeit		(Alle Patienten)
	Luxationspatient	Kein Luxationspatient	Summen
Test positiv (TTTG > 17,24 mm)	23	4	27
Test negativ (TTTG ≤ 17,24 mm)	80	148	228
Summen	103	152	255
Sensitivität:	22,3 %	(15,0 – 31,9 % bei 95% KI)	
Spezifität:	97,4 %	(93,0 – 99,2 % bei 95% KI)	
Positiv prädiktiver Wert:	85,2 %	(65,4 – 95,1 % bei 95% KI)	
Negativ prädiktiver Wert:	64,9 %	(58,3 – 71,0 % bei 95% KI)	
Positives Likelihood Ratio (LR+):	8,49 5,75	(3,02 – 23,81 bei 95% KI) (2,30 – 14,40 bei 95% KI)	konventionelles LR+ Prävalenz-bezogen
Negatives Likelihood Ratio (LR-):	0,79 0,54	(0,72 – 0,89 bei 95% KI) (0,45 – 0,65 bei 95% KI)	konventionelles LR- Prävalenz-bezogen

Tabelle 22: Grenzwert am oberen Ende eines 95% Referenzbereichs (Alle Patienten)

Optimierter Grenzwert (11,95 mm)	Wirklichkeit		(Alle Patienten)
	Luxationspatient	Kein Luxationspatient	Summen
Test positiv (TTTG > 11,95 mm)	76	47	123
Test negativ (TTTG ≤ 11,95 mm)	27	105	132
Summen	103	152	255
Sensitivität:	73,8 %	(64,0 – 81,7 % bei 95% KI)	
Spezifität:	69,1 %	(61,0 – 76,2 % bei 95% KI)	
Positiv prädiktiver Wert:	61,8 %	(52,6 – 70,3 % bei 95% KI)	
Negativ prädiktiver Wert:	79,5 %	(71,5 – 85,9 % bei 95% KI)	
Positives Likelihood Ratio (LR+):	2,39 1,61	(1,83 – 3,11 bei 95% KI) (1,24 – 2,11 bei 95% KI)	konventionelles LR+ Prävalenz-bezogen
Negatives Likelihood Ratio (LR-):	0,38 0,26	(0,27 – 0,53 bei 95% KI) (0,18 – 0,36 bei 95% KI)	konventionelles LR- Prävalenz-bezogen

Tabelle 23: Optimierter Grenzwert (Alle Patienten)

Grenzwert von 20 mm	Wirklichkeit		(Männer)
	Luxationspatient	Kein Luxationspatient	Summen
Test positiv (TTTG > 20 mm)	4	1	5
Test negativ (TTTG ≤ 20 mm)	39	86	125
Summen	43	87	130
Sensitivität:	9,3 %	(3,0 – 23,1 % bei 95% KI)	
Spezifität:	98,9 %	(92,9 – 99,9 % bei 95% KI)	
Positiv prädiktiver Wert:	80,0 %	(29,9 – 98,9 % bei 95% KI)	
Negativ prädiktiver Wert:	68,8 %	(59,9 – 76,7 % bei 95% KI)	
Positives Likelihood Ratio (LR+):	8,09	(0,93 – 70,22 bei 95% KI)	konventionelles LR+
	4,00	(0,66 – 24,37 bei 95% KI)	Prävalenz-bezogen
Negatives Likelihood Ratio (LR-):	0,92	(0,83 – 1,01 bei 95% KI)	konventionelles LR-
	0,45	(0,35 – 0,59 bei 95% KI)	Prävalenz-bezogen

Tabelle 24: Grenzwert des TTTG-Abstandes von 20 mm (Männer)

Obere Grenze eines 95% Ref.-bereichs (16,85 mm)	Wirklichkeit		(Männer)
	Luxationspatient	Kein Luxationspatient	Summen
Test positiv (TTTG > 16,85 mm)	11	3	14
Test negativ (TTTG ≤ 16,85 mm)	32	84	116
Summen	43	87	130
Sensitivität:	25,6 %	(14,0 – 41,5 % bei 95% KI)	
Spezifität:	96,6 %	(90,0 – 99,1 % bei 95% KI)	
Positiv prädiktiver Wert:	78,6 %	(48,8 – 94,3 % bei 95% KI)	
Negativ prädiktiver Wert:	72,4 %	(63,2 – 80,1 % bei 95% KI)	
Positives Likelihood Ratio (LR+):	7,42	(2,18 – 25,2 bei 95% KI)	konventionelles LR+
	3,67	(1,30 – 10,37 bei 95% KI)	Prävalenz-bezogen
Negatives Likelihood Ratio (LR-):	0,77	(0,65 – 0,92 bei 95% KI)	konventionelles LR-
	0,38	(0,28 – 0,51 bei 95% KI)	Prävalenz-bezogen

Tabelle 25: Grenzwert am oberen Ende eines 95% Referenzbereichs (Männer)

Optimierter Grenzwert (11,95 mm)	Wirklichkeit		(Männer)
	Luxationspatient	Kein Luxationspatient	Summen
Test positiv (TTTG > 11,95 mm)	32	21	53
Test negativ (TTTG ≤ 11,95 mm)	11	66	77
Summen	43	87	130
Sensitivität:	74,4 %	(58,5 – 86,0 % bei 95% KI)	
Spezifität:	75,9 %	(65,3 – 84,1 % bei 95% KI)	
Positiv prädiktiver Wert:	60,4 %	(46,0 – 73,2 % bei 95% KI)	
Negativ prädiktiver Wert:	85,7 %	(75,5 – 92,3 % bei 95% KI)	
Positives Likelihood Ratio (LR+):	3,08	(2,04 – 4,65 bei 95% KI)	konventionelles LR+
	1,52	(1,02 – 2,27 bei 95% KI)	Prävalenz-bezogen
Negatives Likelihood Ratio (LR-):	0,33	(0,20 – 0,57 bei 95% KI)	konventionelles LR-
	0,17	(0,10 – 0,29 bei 95% KI)	Prävalenz-bezogen

Tabelle 26: Optimierter Grenzwert (Männer)

Grenzwert von 20 mm	Wirklichkeit		(Frauen)
	Luxationspatient	Kein Luxationspatient	Summen
Test positiv (TTTG > 20 mm)	6	0	6
Test negativ (TTTG ≤ 20 mm)	54	65	119
Summen	60	65	125
Sensitivität:	10,0 %	(4,1 – 21,2 % bei 95% KI)	
Spezifität:	100,0 %	(93,0 – 100,0 % bei 95% KI)	
Positiv prädiktiver Wert:	100,0 %	(51,7 – 100,0 % bei 95% KI)	
Negativ prädiktiver Wert:	54,6 %	(45,3 – 63,7 % bei 95% KI)	
Positives Likelihood Ratio (LR+):	∞	(NaN – ∞ bei 95% KI)	konventionelles LR+
	∞	(NaN – ∞ bei 95% KI)	Prävalenz-bezogen
Negatives Likelihood Ratio (LR-):	0,90	(0,83 – 0,98 bei 95% KI)	konventionelles LR-
	0,83	(0,67 – 1,03 bei 95% KI)	Prävalenz-bezogen

Tabelle 27: Grenzwert des TTTG-Abstandes von 20 mm (Frauen)

Obere Grenze eines 95% Ref.-bereichs (17,55 mm)	Wirklichkeit		(Frauen)
	Luxationspatient	Kein Luxationspatient	Summen
Test positiv (TTTG > 17,55 mm)	14	1	15
Test negativ (TTTG ≤ 17,55 mm)	46	64	110
Summen	60	65	125
Sensitivität:	23,3 %	(13,8 – 36,3 % bei 95% KI)	
Spezifität:	98,5 %	(90,6 – 99,9 % bei 95% KI)	
Positiv prädiktiver Wert:	93,3 %	(66,0 – 99,7 % bei 95% KI)	
Negativ prädiktiver Wert:	58,2 %	(48,4 – 67,4 % bei 95% KI)	
Positives Likelihood Ratio (LR+):	15,17	(2,06 – 111,86 bei 95% KI)	konventionelles LR+
	14,00	(2,10 – 93,45 bei 95% KI)	Prävalenz-bezogen
Negatives Likelihood Ratio (LR-):	0,78	(0,68 – 0,90 bei 95% KI)	konventionelles LR-
	0,72	(0,57 – 0,91 bei 95% KI)	Prävalenz-bezogen

Tabelle 28: Grenzwert am oberen Ende eines 95% Referenzbereichs (Frauen)

Optimierter Grenzwert (13,25 mm)	Wirklichkeit		(Frauen)
	Luxationspatient	Kein Luxationspatient	Summen
Test positiv (TTTG > 13,25 mm)	40	16	56
Test negativ (TTTG ≤ 13,25 mm)	20	49	69
Summen	60	65	125
Sensitivität:	66,7 %	(53,2 – 78,0 % bei 95% KI)	
Spezifität:	75,4 %	(62,9 – 84,9 % bei 95% KI)	
Positiv prädiktiver Wert:	71,4 %	(57,6 – 82,3 % bei 95% KI)	
Negativ prädiktiver Wert:	71,0 %	(58,7 – 81,0 % bei 95% KI)	
Positives Likelihood Ratio (LR+):	2,71	(1,71 – 4,30 bei 95% KI)	konventionelles LR+
	2,50	(1,60 – 3,91 bei 95% KI)	Prävalenz-bezogen
Negatives Likelihood Ratio (LR-):	0,44	(0,31 – 0,64 bei 95% KI)	konventionelles LR-
	0,41	(0,28 – 0,60 bei 95% KI)	Prävalenz-bezogen

Tabelle 29: Optimierter Grenzwert (Frauen)

Eine Absenkung des Grenzwertes des TTTG-Abstandes auf die obere Schranke des 95% - Referenzbereichs führte schon zu einer relevanten Verbesserung der Sensitivität um etwa 15 bis 20%, während sich Spezifität, positiver sowie negativer prädiktiver nicht erheblich änderten.

Die Verwendung eines (für die vorliegenden Daten) optimalen Grenzwertes ermöglichte eine Verbesserung der Sensitivität auf fast 75% bei Männern und 67% bei Frauen, auch der negative prädiktive Wert stieg leicht an. Diese Steigerungen bedingten natürlich Verluste bei Spezifität und positivem prädiktivem Wert.

3.2.6 Einfluss von Bandverletzungen auf den TTTG-Abstand

Als **Antwort auf die Fragestellung (8)**: Welchen Einfluss haben Bandverletzungen auf den TTTG-Abstand?

In der Kontrollgruppe, also bei allen Patienten ohne stattgehabte Patellaluxation, wurde erfasst, ob eine Verletzung des kniegelenkstabilisierenden Bandapparates vorlag:

	<i>TTTG in mm</i>					
	Anzahl	Mittelwert (mm)	Median (mm)	Std.-Abw. (mm)	Minimum (mm)	Maximum (mm)
ohne Bandläsion	119	10,75	10,30	3,50	3,40	20,20
mit Bandläsion	33	9,88	10,30	2,96	3,80	16,70

Tabelle 30: TTTG-Abstand in den Kontrollgruppen

Es lässt sich festhalten, dass der TTTG-Abstand bei Patienten ohne Bandläsion knapp 1 mm höher war als bei Patienten mit Bandläsion. Im t-Test für unverbundene Stichproben unterschieden sich diese beiden Gruppen erwartungsgemäß aber nicht signifikant ($p = 0,16$).

3.2.7 Ermittlung eines optimalen größenunabhängigen relativen TTTG-Index

Als **Antwort auf die Fragestellung (9)**: Wie erfolgt die Ermittlung eines optimalen größenunabhängigen relativen TTTG-Index?

Wie im Kapitel 2.3.5 beschrieben, erfolgte mittels ROC-Analyse die Auswahl desjenigen TTTG-Index, welcher am besten in der Lage ist, Kontroll- und Fallgruppe voneinander zu unterscheiden.

Im Rahmen der ROC-Analyse zeigte die so genannte „Area under the curve“ (AUC), welcher Index am besten zwischen Fall- und Kontrollgruppe unterscheiden konnte. Definitionsgemäß würde ein (fiktiver) perfekter diagnostischer Test eine AUC von 1 liefern, während ein wertloser Test (Münzwurf) eine AUC von 0,5 ausgibt.

Konsequenterweise erfolgte die ROC-Analyse dreimal: für alle Patienten, für alle Männer und alle Frauen. Es ergaben sich diese AUC-Werte (fett = höchster Wert):

Alle Patienten	Fläche unter der Kurve
Überprüfter Index	(Area under the curve, AUC)
Index TTTG / Epikondylenabstand	0,767
Index TTTG / Breite lat. Trochlea	0,760
Index TTTG / Höhe lat. Trochlea	0,762
Index TTTG / TTTG-Winkel	0,523
Index TTTG / Tub.-Rot.-Winkel	0,755
Index TTTG / Körpergröße	0,761
Index TTTG / Körpergewicht	0,693

Tabelle 31: AUC-Werte der untersuchten TTTG-Indizes (Alle Patienten)

Männer	Fläche unter der Kurve
Überprüfter Index	(Area under the curve, AUC)
Index TTTG / Epikondylenabstand	0,774
Index TTTG / Breite lat. Trochlea	0,757
Index TTTG / Höhe lat. Trochlea	0,773
Index TTTG / TTTG-Winkel	0,591
Index TTTG / Tub.-Rot.-Winkel	0,768
Index TTTG / Körpergröße	0,784
Index TTTG / Körpergewicht	0,664

Tabelle 32: AUC-Werte der untersuchten TTTG-Indizes (Alle Männer)

Frauen	Fläche unter der Kurve
Überprüfter Index	(Area under the curve, AUC)
Index TTTG / Epikondylenabstand	0,753
Index TTTG / Breite lat. Trochlea	0,754
Index TTTG / Höhe lat. Trochlea	0,740
Index TTTG / TTTG-Winkel	0,555
Index TTTG / Tub.-Rot.-Winkel	0,733
Index TTTG / Körpergröße	0,724
Index TTTG / Körpergewicht	0,695

Tabelle 33: AUC-Werte der untersuchten TTTG-Indizes (Alle Frauen)

Bei Betrachtung der Tabellen 31 bis 33 erkennt man, dass sich pro Index jeweils sehr ähnliche Werte bei geschlechtsneutraler Betrachtung, bei Männern und auch bei Frauen ergaben.

Folgende Indizes schnitten am schlechtesten ab (AUC unter 0,7):

- TTTG-Abstand / TTTG-Winkel
- TTTG-Abstand / Körpergewicht

Man erinnere sich, dass eine AUC von 0,5 einem Münzwurf und somit einem wertlosen Test entspricht. Die übrigen Indizes lagen mit einer AUC zwischen etwa 0,7 und 0,8. **Da in der geschlechtsneutralen Betrachtung der Index „TTTG-Abstand / Epikondylenabstand“ den höchsten AUC-Wert erzielte, wurde dieser Index für die weitere vergleichende Betrachtung (TTTG-Abstand vs. TTTG-Index) verwendet.** Dies bot sich auch deshalb an, weil bereits andere Autoren die Kniebreite (entspricht Epikondylenabstand) nutzten, um sie relativ zum TTTG-Abstand zu betrachten, u.a. Dornacher, Reichel et al. (65).

Hierzu wurde mittels ROC-Analyse ebenfalls (wie zuvor für den TTTG-Abstand) ein statistisch optimaler Grenzwert ermittelt. Dieser lag

bei allen Patienten bei: **TTTG-Abstand / Epikondylenabstand = 0,1480**

bei den Männern bei: **TTTG-Abstand / Epikondylenabstand = 0,1398**

bei den Frauen bei: **TTTG-Abstand / Epikondylenabstand = 0,1797**

Mittels dieser optimierten Grenzwerte konnten sodann – analog zum vorherigen Vorgehen - erneut die entsprechenden Kontingenztafeln erstellt werden und die Berechnung der Testgütekriterien erfolgen.

3.2.8 Ergebnisse bei Verwendung eines TTTG-Index

Als **Antwort auf die Fragestellung (10):** Welche Messwerte des ermittelten TTTG-Index zeigen sich bei Männer und Frauen?

sowie auf **die Fragestellung (11):** Welche Erkenntnisse liefert die Untersuchung an einem statistisch optimalen Grenzwert des TTTG-Index für Männer und Frauen?

Folgende Tabelle zeigt die bei beiden Geschlechtern ermittelten Werte des Index „TTTG-Abstand / Epikonylenabstand“:

		Index „TTG-Abstand / Epikonylenabstand“					
		Anzahl	Mittelwert	Median	Std.-Abw.	Minimum	Maximum
Geschlecht	männlich	130	0,1360	0,1336	0,04991	0,04	0,30
Geschlecht	weiblich	125	0,1730	0,1663	0,05466	0,04	0,31

Tabelle 34: Werte des gemessenen TTTG-Index bei beiden Geschlechtern

Die Mittelwerte unterschieden sich hochsignifikant ($p < 0,001$) wobei die weiblichen Untersuchten die eindeutig höheren Messwerte aufwiesen. Nachfolgende Kontingenztafeln zeigen die Testgütekriterien bei Verwendung des TTTG-Index am statistisch optimalen Grenzwert, welcher – wie zuvor beim alleinigen TTTG-Abstand – mittels ROC-Analyse berechnet wurde:

Optimierter Grenzwert des Index (0,1480)

	Wirklichkeit		(alle Patienten)
	Luxationspatient	Kein Luxationspatient	Summen
Test positiv (TTTG-Index > 0,1480)	77	50	127
Test negativ (TTTG-Index ≤ 0,1480)	26	102	128
Summen	103	152	125
Sensitivität:	74,8 %	(65,1 – 82,6 % bei 95% KI)	
Spezifität:	67,1 %	(59,0 – 74,4 % bei 95% KI)	
Positiv prädiktiver Wert:	60,6 %	(51,5 – 69,1 % bei 95% KI)	
Negativ prädiktiver Wert:	79,7 %	(71,5 – 86,1 % bei 95% KI)	
Positives Likelihood Ratio (LR+):	2,27	(1,76 – 2,93 bei 95% KI)	konventionelles LR+
	1,54	(1,19 – 1,99 bei 95% KI)	Prävalenz-bezogen
Negatives Likelihood Ratio (LR-):	0,38	(0,27 – 0,53 bei 95% KI)	konventionelles LR-
	0,25	(0,18 – 0,36 bei 95% KI)	Prävalenz-bezogen

Tabelle 35: Optimierter Grenzwert des TTTG-Index (Alle Patienten)

Optimierter Grenzwert des Index (0,1398)

	Wirklichkeit		(alle Männer)
	Luxationspatient	Kein Luxationspatient	Summen
Test positiv (TTTG-Index > 0,1398)	34	25	59
Test negativ (TTTG-Index ≤ 0,1398)	9	62	71
Summen	43	87	130
Sensitivität:	79,1 %	(63,5 – 89,4 % bei 95% KI)	
Spezifität:	71,3 %	(60,4 – 80,2 % bei 95% KI)	
Positiv prädiktiver Wert:	57,6 %	(44,1 – 70,2 % bei 95% KI)	
Negativ prädiktiver Wert:	87,3 %	(76,8 – 93,7 % bei 95% KI)	
Positives Likelihood Ratio (LR+):	2,75	(1,91 – 3,96 bei 95% KI)	konventionelles LR+
	1,36	(0,94 – 1,97 bei 95% KI)	Prävalenz-bezogen
Negatives Likelihood Ratio (LR-):	0,29	(0,16 – 0,53 bei 95% KI)	konventionelles LR-
	0,15	(0,08 – 0,27 bei 95% KI)	Prävalenz-bezogen

Tabelle 36: Optimierter Grenzwert des TTTG-Index (Alle Männer)

Optimierter Grenzwert des Index (0,1797)

	Wirklichkeit		(alle Frauen)
	Luxationspatient	Kein Luxationspatient	Summen
Test positiv (TTTG-Index > 0,1797)	39	15	54
Test negativ (TTTG-Index ≤ 0,1797)	21	50	71
Summen	60	65	125
Sensitivität:	65,0 %	(51,5 – 76,6 % bei 95% KI)	
Spezifität:	76,9 %	(64,5 – 86,1 % bei 95% KI)	
Positiv prädiktiver Wert:	72,2 %	(58,1 – 83,1 % bei 95% KI)	
Negativ prädiktiver Wert:	70,4 %	(58,2 – 80,4 % bei 95% KI)	
Positives Likelihood Ratio (LR+):	2,82 2,60	(1,74 – 4,56 bei 95% KI) (1,64 – 4,12 bei 95% KI)	konventionelles LR+ Prävalenz-bezogen
Negatives Likelihood Ratio (LR-):	0,46 0,42	(0,32 – 0,65 bei 95% KI) (0,29 – 0,61 bei 95% KI)	konventionelles LR- Prävalenz-bezogen

Tabelle 37: Optimierter Grenzwert des TTTG-Index (Alle Frauen)

Die um das Szenario D erweiterte Übersichtstabelle stellte sich sodann wie folgt dar:

Szenario	Sensitivität (%)			Spezifität (%)			Positiver prädiktiver Wert (%)			Negativer prädiktiver Wert (%)			Positives Likelihood-Ratio			Negatives Likelihood-Ratio		
	Alle	m	w	Alle	m	w	Alle	m	w	Alle	m	w	Alle	m	w	Alle	m	w
A	7,8	9,3	10,0	99,3	98,9	100,0	88,9	80,0	100,0	61,4	68,8	54,6	11,81	8,09	∞	0,93	0,92	0,90
													(aus 4-Felder-Taf.)	(aus 4-Felder-Taf.)				
													8,00	4,00	∞	0,63	0,45	0,83
													Prävalenz-bezogen	Prävalenz-bezogen				
B	22,3	25,6	23,3	97,4	96,6	98,5	85,2	78,6	93,3	64,9	72,4	58,2	8,49	7,42	15,17	0,79	0,77	0,78
													(aus 4-Felder-Taf.)	(aus 4-Felder-Taf.)				
													5,75	3,67	14,00	0,54	0,38	0,72
													Prävalenz-bezogen	Prävalenz-bezogen				
C	73,8	74,4	66,7	69,1	75,9	75,4	61,8	60,4	71,4	79,5	85,7	71,0	2,39	3,08	2,71	0,38	0,33	0,44
													(aus 4-Felder-Taf.)	(aus 4-Felder-Taf.)				
													1,61	1,52	2,50	0,26	0,17	0,41
													Prävalenz-bezogen	Prävalenz-bezogen				
D	74,8	79,1	65,0	67,1	71,3	76,9	60,6	57,6	72,2	79,7	87,3	70,4	2,27	2,75	2,82	0,38	0,29	0,46
													(aus 4-Felder-Taf.)	(aus 4-Felder-Taf.)				
													1,54	1,36	2,60	0,25	0,15	0,42
													Prävalenz-bezogen	Prävalenz-bezogen				

Tabelle 38: Übersichtstabelle mit Szenario A-D

Szenario **A** = Grenzwert von 20 mm (wie derzeit klinisch üblich)
Szenario **B** = Absenkung des Grenzwertes auf die obere Schranke eines 95%-Referenzbereiches
Szenario **C** = Absenkung des Grenzwertes auf einen statistisch optimalen Grenzwert des TTTG-Abstandes
Szenario **D** = Statistisch optimaler Grenzwert des TTTG-Index

Zur Beantwortung der Frage, ob es sinnvoll ist, anstelle des TTTG-Abstandes einen TTTG-Index zu verwenden, konnte nun ein Vergleich der Szenarien C und D erfolgen.

Es ließ sich feststellen, dass der TTTG-Index, welcher hier aus TTTG-Abstand und Epikondylenabstand berechnet wurde, am statistisch optimierten Grenzwert bei den Männern eine um 5% bessere Sensitivität zeigte als der TTTG-Abstand (auch an seinem statistisch optimierten Grenzwert). Bei den Frauen schnitt der TTTG-Index jedoch knapp 2% schlechter ab als der der TTTG-Abstand – **verglich man geschlechtsunabhängig, zeigte die Verwendung eines Index nur eine Verbesserung um 1% der Sensitivität.**

Naturgemäß verhielt sich die Spezifität entsprechend gegensinnig, sodass diese bei der geschlechtsunabhängigen Betrachtung gering absank.

Bei den prädiktiven Werten kam es durch Verwendung des TTTG-Index de facto auch zu keiner nennenswerten Änderung.

Auch bei den Likelihood Ratios, welche (wie bereits erläutert) als probates Mittel zur Bewertung eines diagnostischen Tests verwendet werden können, zeigte die Verwendung des Index gegenüber dem alleinigen TTTG-Abstand keinen relevanten Vorteil.

3.2.9 TTTG-Index als Indikator für das Rezidiv-Risiko

Als **Antwort auf die Fragestellung (12)**: Gibt es Unterschiede zwischen Erst- und Rezidivluxationen, d.h. eignet sich der TTTG-Index als Indikator für das Rezidiv-Risiko bei konservativer Therapie?

Bei insgesamt 58 Patienten mit stattgehabter Patellaluxation konnte erhoben werden, ob es sich gewiss um eine erstmalige Luxation handelte oder ob eine Rezidivluxation vorlag (auch mehrfache Rezidive). Dabei waren 30 Patienten von einer Erstluxation betroffen und 28 von einem Rezidiv.

Ein lohnenswertes Ziel könnte es sein, mit einem TTTG-Index besser zwischen diesen beiden Gruppen unterscheiden zu können, als mit dem reinen TTTG-Abstand.

Folgende Mittelwerte von TTTG-Abstand und TTTG-Index (im Sinne von TTTG-Abstand / Epikondylenabstand) ergaben sich in den beiden Gruppen:

	Erstluxation (n=30)	Rezidivluxation (n=28)
TTTG-Abstand	13,98 mm	14,79 mm
TTTG-Index	0,1821	0,1882

Tabelle 39: Vergleich von TTTG-Abstand und TTTG-Index bei Erst- und Rezidivluxationen

Ein t-Test für unabhängige Stichproben zeigte eindeutig, dass weder bei Verwendung des TTTG-Abstandes ($p = 0,50$) noch bei Verwendung des TTTG-Index ($p = 0,70$) statistisch signifikante Unterschiede vorlagen.

Somit kann festgehalten werden, dass der betrachtete TTTG-Index (TTTG-Abstand / Epikondylenabstand) auch bei der Abschätzung des Rezidivrisikos keine Vorteile gegenüber dem (für diesen Zweck ebenfalls ungeeigneten) TTTG-Abstand aufweist.

3.2.10 Risikoabschätzung durch den TTTG-Index

Als **Antwort auf die Fragestellung (13)**: Ist eine Verbesserung der Risikoabschätzung durch einen TTTG-Index gegenüber dem absoluten Wert tatsächlich möglich?

Wie bereits ausgeführt, konnte durch Verwendung des TTTG-Index gegenüber dem absoluten Wert eines TTTG-Abstandes keine nennenswerte Verbesserung im Sinne eines diagnostischen Tests gezeigt werden.

Das Testgütekriterium Sensitivität (hier in Bezug auf ein Luxationsgeschehen) ist vor allem bei Präventions- oder Screeningmaßnahmen von großer Bedeutung bei der Risikoabschätzung. Es gelang nicht, zu zeigen, dass die relative Betrachtung des TTTG-Abstandes im Sinne eines Index hier nennenswerte Verbesserungen ermöglicht.

Auch bei der Frage nach der Fähigkeit, Erst- und Rezidivluxationen zu differenzieren, kommt dem TTTG-Index keine tragende Rolle zu, da er sich auch hier nicht positiv vom bislang allein genutzten TTTG-Abstand abheben konnte.

Zur fehlenden messbaren Verbesserung kommt der erhöhte Aufwand hinzu, welcher für die Bildung eines TTTG-Index nötig ist (adaptierte Durchführung der Bildgebung, Vermessung eines zusätzlichen Wertes, Berechnung des Index).

4 Diskussion

4.1 Methodische Aspekte und Studiendesign

Es wurden MRT-Aufnahmen von 255 Patienten betrachtet, welche sich in den Jahren 2002 bis 2013 vorstellten. Die Suche nach diesen basierte auf einer Datenbankabfrage in den radiologischen IT-Systemen und wurde anhand von Stichwortsuchen durchgeführt. Hierbei kann es möglicherweise dazu gekommen sein, dass einige relevante Patienten unberücksichtigt blieben, falls in den Befundtexten die genutzten Stichwörter nicht zur Anwendung kamen. Dies könnte beispielsweise schon durch einfache Rechtschreibfehler bedingt gewesen sein oder durch eine unübliche Befundformulierung, bei der keines der definierten Stichwörter verwendet wurde und solche Patienten im Rahmen der Datenbankabfrage nicht enthalten waren.

Weiterhin wurden die Ausschlusskriterien im Rahmen der Arbeit selbst definiert und sind nicht per se vergleichbar mit denen anderer Publikationen. Beispielsweise wurde ein Mindestalter von 16 Jahren festgelegt, wenngleich möglicherweise geringfügig jüngere Patienten vorhanden gewesen wären, welche wegen bereits ausreichender Skelettreife hätten in die Studie eingeschlossen werden können. Es wurden ausschließlich MRT-Untersuchungen vermessen, da eine Gleichwertigkeit von MRT und CT bei der Erfassung des TTTG-Abstandes noch Gegenstand der wissenschaftlichen Diskussion ist. Daher war es konsequent, Patienten von der Studie auszuschließen, welche eine CT-Untersuchung des Kniegelenks erhielten – sie hätten jedoch möglicherweise zur Verbesserung der Vollständigkeit des Patientenkollektivs mittels MRT nachuntersucht werden können, was ggf. zu etwas höheren Fallzahlen geführt hätte. Die praktische Umsetzbarkeit solcher Nachuntersuchungen nur zum Zwecke einer Verbesserung der Datenbasis darf jedoch bezweifelt werden.

Die Aufbereitung und Vermessung der MRT-Aufnahmen durch die Arbeitsgruppe erfolgte (ebenso wie die Sichtung der Befunde und Erhebung der weiteren Patientenparameter) so präzise wie möglich – die Vermessung wurde jedoch manuell anhand von Papierausdrucken der relevanten MRT-Schnitte durchgeführt. Eine digitale Vermessung im radiologischen Befundsystem hätte möglicherweise noch etwas genauere Daten hervorgebracht.

Der Wahrung der informationellen Selbstbestimmung wurde durch irreversibel anonymisierte Speicherung der gewonnenen Daten Rechnung getragen; zum Zwecke der Vermessung ausgedruckte MRT-Schnitte wurden unmittelbar nach den Messungen wieder vernichtet. Die gesamte Auswertung erfolgte ausschließlich anhand der anonymisierten Datenbasis, sodass ein Rückschluss auf einzelne Patienten dauerhaft nicht möglich ist.

4.2 Diskussion der gewonnenen Erkenntnisse

Die im Rahmen dieser Dissertation gewonnenen Erkenntnisse bestätigen teilweise die aus der bisherigen Forschung bekannten Feststellungen – sie stehen mit manchen aber auch in Widerspruch. Dieses Kapitel beleuchtet die Ergebnisse daher im Kontext des bisherigen Standes der Wissenschaft und zeigt, inwieweit sich die zu Beginn der Arbeit vermuteten Zusammenhänge bestätigten oder widerlegt wurden.

Bezüglich des Alters der Patienten fällt auf, dass überwiegend Jugendliche bzw. junge Erwachsene untersucht wurden. Es stellten sich insbesondere Patienten bis zum 30. Lebensjahr mit einer Patellaluxation vor, jenseits davon nahm die Anzahl der hiervon Betroffenen stark ab. Im Mittel waren Patienten mit stattgehabter Patellaluxation (Fallgruppe) etwa 10 Jahre jünger als die Patienten der Kontrollgruppe, welche eine MRT-Untersuchung des Kniegelenks aus anderen Gründen erhielten ($p < 0,001$). Dies deckt sich mit den aus der bisherigen Literatur bekannten Altersgipfeln und den dabei beschriebenen Gründen – vor allem bestimmten, zumeist sportlichen Aktivitäten im jungen Erwachsenenalter (29–31). Von den 103 Patienten mit stattgehabter Patellaluxation waren lediglich 10 Personen älter als 40 Jahre, jenseits des 60. Lebensjahres stellte sich gar kein Patient mit einer Patellaluxation vor. Es konnte kein signifikanter Unterschied der TTTG-Abstände in verschiedenen Altersklassen gezeigt werden – auch Sobhanardekani et al. verneinten in ihrer Veröffentlichung aus dem Jahr 2017 eine Altersabhängigkeit des TTTG-Abstandes (61).

Die (bei 177 von 255 Patienten) erfasste Körpergröße zeigte lediglich den naturgemäß signifikanten Unterschied zwischen Männern und Frauen, eine einfaktorielle Varianzanalyse konnte aber keinen Zusammenhang zwischen der Körpergröße und dem Geschehen einer Patellaluxation nachweisen. Insofern scheint bei den vorliegenden Daten eine über- oder unterdurchschnittliche Körpergröße kein Risikofaktor für Luxationen zu sein. Dies deckt sich letztlich mit einer Publikation von Dornacher, Reichel et

al., welche keinen relevanten Zusammenhang von Körpergröße und TTTG-Abstand zeigen konnten (65).

Bezüglich des Körpergewichts sowie des Body-Mass-Index lässt sich festhalten, dass etwa 43 % aller untersuchten Patienten (also unabhängig vom Status einer erlittenen Patellaluxation) übergewichtig oder adipös waren. Dieser Wert liegt deutlich über dem von der OECD jährlich festgestellten Anteil der Übergewichtigen an der Gesamtbevölkerung in Deutschland und lässt den Schluss zu, dass Übergewicht zumindest zu vermehrten Pathologien des Kniegelenks im Allgemeinen führt, welche hier mittels MRT untersucht wurden (77).

Die gemessenen TTTG-Abstände waren normalverteilt. Der erhobene Mittelwert von etwa 12,1 mm (aller Patienten) steht im Einklang mit den bislang von anderen Arbeitsgruppen erhobenen Werten, welche mittlere TTTG-Abstände von etwa 7,5 bis 14 mm publizierten (10; 43; 55–61). Zu bedenken ist, dass den anderen Arbeiten jedoch sehr unterschiedlich große Stichproben zugrunde lagen und beispielsweise bei Schoettle, Zanetti et al. lediglich 12 Patienten untersucht wurden (43). Mit einem Patientengut von 255 Personen wurde in der vorliegenden Arbeit eine der bislang größten Stichproben betrachtet.

Der mittlere TTTG-Abstand war bei den untersuchten Frauen etwa 1,1 mm größer als bei den Männern ($p < 0,01$). Dies ist interessant, da mehrere andere Arbeitsgruppen höhere TTTG-Abstände beim männlichen Geschlecht messen konnten (55; 57; 61). Insofern erscheint es weiterhin unklar, welches Geschlecht einen höheren TTTG-Abstand zeigt respektive ob das Geschlecht überhaupt maßgeblichen Einfluss auf den TTTG-Abstand hat.

Es wurden TTTG-Abstände bei Patienten zwischen dem 16. und 71. Lebensjahr erhoben. Übereinstimmend mit einer aktuellen Arbeit von Sobhanardekani et al. (61) ließ sich dabei kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Alter und TTTG-Abstand zeigen, da dieser zwar im Kindes- und frühen Jugendalter einer wachstumsbedingten Veränderung unterliegt, danach aber regelhaft unverändert bleibt.

Die gemessenen TTTG-Abstände zeigten weiterhin keine statistisch signifikanten Unterschiede bei Personen unterschiedlicher Körpergröße. Dies deckt sich mit den Aussagen der Gruppe um Dornacher, Reichel et al., welche ebenfalls keine Korrelation von TTTG-Abstand und Körpergröße zeigen konnten und dies als Hinweis dafür sa-

hen, dass es sich bei dem TTTG-Abstand um ein hochindividuelles und nicht von der Körpergröße abhängiges Maß handelt (65).

Auch besteht bei einer einfaktoriellen Varianzanalyse kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Personen gewisser Gewichtsklassen und dem TTTG-Abstand. Dieser ist weder bei Untergewichtigen noch bei Übergewichtigen/Adipösen auffallend abweichend; es wurden nahezu identische Mittelwerte bei unter-, normal-, übergewichtigen und adipösen Untersuchten gemessen. Der Umstand, dass überproportional viele Personen mit Übergewicht/Adipositas im untersuchten Zeitraum eine MRT-Untersuchung des Kniegelenks erhielten (unabhängig von der Indikation) deutet daher lediglich darauf hin, dass ein (zu) hohes Gewicht Pathologien des Kniegelenks im Allgemeinen begünstigt, aber nicht zwingend zu vermehrten Luxationen der Patella führt.

Hinsichtlich der TTTG-Abstände in der Fall- und Kontrollgruppe zeigte sich ein um 3,7 mm höherer Mittelwert bei denjenigen Patienten, welche eine Patellaluxation erlitten hatten. Dieser Unterschied war hoch signifikant ($p < 0,01$) und steht beispielsweise im Einklang mit der Erhebung durch Balcarek, Jung et al., welche bei Patienten mit stattgehabter Patellaluxation einen um 4 mm höheren mittleren TTTG-Abstand zeigten (56). Er deckt sich weiterhin mit zahlreichen Ergebnissen anderer Autoren, vgl. Tabelle 1.

Zur durchgeführten Betrachtung des TTTG-Abstandes kann zusammenfassend die etablierte Meinung geteilt werden, dass dieser ein sehr individuelles anatomisches Maß ist und keine statistisch signifikanten Zusammenhänge bezüglich Alter, Geschlecht, Körpergröße und Körpergewicht bestehen. Weiterhin bestätigte sich, dass ein erhöhter TTTG-Abstand als prädisponierender Faktor für Patellaluxationen zu werten ist.

Die Untersuchung der Korrelationswerte (nach Pearson) zwischen den erhobenen Messwerten zeigte lediglich bei denjenigen Messwerten signifikante Zusammenhänge, bei denen sich diese schon aus rein geometrischen Überlegungen während der Vermessung ergaben. Zu betonen ist, dass – entgegen der Vermutung zu Beginn der Arbeit – *keine* statistisch relevanten Korrelationen bei folgenden Wertepaaren bestehen:

- TTTG-Abstand und Epikondylenabstand
- TTTG-Abstand und Höhe der lateralen Trochlea
- TTTG-Abstand und Alter
- TTTG-Abstand und Körpergröße bzw. Körpergewicht

Zu Anfang wurde eine bestehende Korrelation von TTTG-Abstand und Kniegröße (repräsentiert durch den Epikondylenabstand) sowie von TTTG-Abstand und Körpergröße in Betracht gezogen. Das Ergebnis, dass diese nicht bestehen, deckt sich auch mit einer aktuellen Veröffentlichung aus dem Jahre 2015 von Dornacher, Reichel et al., welche diese Zusammenhänge ebenfalls verneinten (65).

Somit kann von der Körpergröße bzw. dem Körpergewicht nicht auf ein besonders hohes Risiko für patellofemorale Instabilität oder gar Patellaluxationen geschlossen werden. Gleichwohl verbleibt die schon erwähnte Feststellung, dass übergewichtige Patienten besonders häufig eine MRT-Untersuchung des Kniegelenks erhielten.

Neben der deskriptiven Untersuchung der gewonnenen Messwerte war eine Kernaufgabe dieser Arbeit die Untersuchung des im klinischen Alltag üblichen „pathologischen Grenzwertes“ des TTTG-Abstandes. Dieser ist seit seiner Erstbeschreibung im Jahr 1994 durch Dejour, Walch et al. bei 20 mm etabliert (10). Hierzu sollte eine vergleichende Betrachtung anderer Grenzwerte erfolgen, welche zu diesem Zweck möglichst sinnvoll zu wählen waren. Die durchgeführte Mehrfachbetrachtung im Sinne dreier Szenarien (diagnostischer Tests) zeigte zu Beginn, dass es in der theoretischen Vorarbeit ebenso schwer ist wie im klinischen Alltag, „geeignete Grenzwerte“ festzulegen. Letztlich führt die Frage, welchen Grenzwert man wählt, stets zur Suche nach einem geeigneten Kompromiss bezüglich aller Testgütekriterien – welche sich aber vielfach gegensinnig verändern. So kann es bei einer bestimmten klinischen Fragestellung, z.B. einer Screening- oder Präventionsmaßnahme, von besonderer Bedeutung sein, eine hohe Sensitivität zu erzielen, während in einer anderen Situation diese auch dann akzeptabel sein kann, wenn sie zugunsten der Spezifität geringer ausfällt.

Dennoch sollte man im klinischen Alltag fest definierte Grenzwerte grundsätzlich kritisch betrachten, wenn sie für alle Patienten gleichermaßen angewendet werden und die individuellen Eigenschaften eines Patienten keine Berücksichtigung finden. Diese Vermutung lag zu Beginn der Arbeit auch hinsichtlich des TTTG-Abstandes vor, welcher besonders hinsichtlich der Therapieplanung bei patellofemorale Instabilität oder (rezidivierenden) Patellaluxationen eine wichtige Rolle spielt. Da es sich beim TTTG-

Abstand um ein von der Anatomie des Einzelnen abhängiges Maß handelt, lag es nahe, dass dieser nicht gleichermaßen für alle Menschen als pathologisch bewertet werden sollte, sobald er eine Grenze von 20 mm überschreitet.

Es blieb das Problem, dass Grenzwerte für die Unterscheidung von physiologischen und pathologischen Zuständen prinzipiell frei gewählt werden können – dies gilt für alle diagnostischen Verfahren, beispielsweise auch in der Labormedizin. Letztlich wurden in dieser Arbeit die beiden weiteren untersuchten Grenzwerte anhand mathematischer Überlegungen festgelegt und dann jeweils für das gesamte Kollektiv sowie getrennt für Männer und Frauen untersucht. Es bleibt dennoch zu bedenken, dass eine willkürliche Wahl der Grenzwerte möglich gewesen wäre und dies auch eine vergleichende Betrachtung erlaubt hätte.

Die Veränderungen der Testgütekriterien (Sensitivität, Spezifität, prädiktive Werte und Likelihood Ratios) bei drei unterschiedlichen Grenzwerten zeigten ausführlich, dass bei den erhobenen Daten unter Verwendung des bisher üblichen Grenzwertes von 20 mm eine auffallend niedrige Erkennungsrate der tatsächlich Erkrankten vorlag (Sensitivität sehr gering, Spezifität dementsprechend sehr hoch). Eine statistisch optimierte Absenkung des Grenzwertes auf Werte um 12 bis 13 mm führte zu einer starken Verbesserung der Sensitivität bei naturgemäß dadurch abfallender Spezifität. Dieser mathematisch (bei den hier vorliegenden Daten) optimierte Grenzwert lag allerdings sehr nah an den durchschnittlich gemessenen TTTG-Abständen, sowohl der Kontrollgruppe (10,56 mm) als auch der Fallgruppe (14,29 mm), sodass es wenig praktikabel erscheint, in diesem Bereich einen Grenzwert für die klinische Verwendung vorzuschlagen.

Da die Berechnungen der positiven und prädiktiven Werte von der Prävalenz abhängig sind, können diese Werte letztlich nur für Vergleiche mit ähnlichen oder zukünftigen Arbeiten dienen, welche eine annähernd gleiche Prävalenz aufweisen.

Interessant war die Betrachtung der Likelihood Ratios, welche nicht von der Prävalenz abhängen und eine Bewertung der diagnostischen Evidenz eines Testverfahrens erlauben. Bei einem Grenzwert von 20 mm ergab sich zwar rechnerisch ein hohes positives Likelihood Ratio von 11,8 (welches an sich für eine hohe Güte dieses Tests spricht), ihm steht aber ein negatives Likelihood Ratio von 0,9 entgegen, welches für eine kaum relevante diagnostische Evidenz steht. Diese beiden Extremwerte beim Grenzwert von 20 mm ergeben sich rechnerisch aufgrund der sehr geringen Sensitivi-

tät und extrem hohen Spezifität. Insofern können diese Likelihood Ratios nicht per se dazu führen, diesem langjährig genutzten Grenzwert eine besonders hohe diagnostische Güte zuzuschreiben.

Akzeptable Werte mit einem positiven Likelihood Ratio von 8,5 zeigte der untersuchte Grenzwert am Punkt der oberen Schranke eines 95%-Referenzbereiches (Szenario B), was einem Grenzwert von etwa 17 mm entsprach.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass – zumindest anhand der hier untersuchten Patienten – ein „pathologischer Grenzwert“ des TTTG-Abstandes von 20 mm, wie er 1994 von Dejour, Walch et al. eingeführt wurde (10), als deutlich zu hoch gewählt erscheint. Dies begründet sich vor allem durch eine sehr geringe Sensitivität (deutlich unter 10%), welche im klinischen Alltag dazu führt, dass sehr vielen Patienten mit erlittener Patellaluxation ein physiologischer TTTG-Abstand attestiert wird. Der Bereich von etwa 15-17 mm erscheint insgesamt für den klinischen Alltag durchaus geeigneter als die bislang regelhaft genutzte Grenze von 20 mm. Interessant ist es, hierzu erneut auf den *Patellar Instability Severity Score* (PISS) von Balcarek et al. zu verweisen, bei dem schon ein TTTG-Abstand ab 16 mm als Risikofaktor gewertet wird (51).

Eine Nebenfrage der Arbeit war ein möglicher Zusammenhang von TTTG-Abstand und einer ggf. vorhandenen Bandläsion – egal, in welchem traumatischen Kontext diese Verletzung entstanden war. Statistisch konnte kein Zusammenhang zwischen besonders hohen oder niedrigen TTTG-Abständen und einer Bandverletzung gezeigt werden. Mangels vergleichbarer Aussagen in der Literatur wäre es interessant, dieses Ergebnis im Rahmen einer weiterführenden Studie ausführlicher zu untersuchen.

Eine weitere Kernfrage der Arbeit war es, die Wertigkeit eines größenunabhängigen relativen TTTG-Index zu betrachten. Unter diesem wurde der Quotient aus TTTG-Abstand und einem weiteren Messwert verstanden – mit der Intention, den individuellen anatomischen Eigenschaften einer untersuchten Person Rechnung zu tragen und dadurch ggf. eine verlässlichere Diagnostik zu erlauben.

Bei der Auswahl des zweiten Wertes, zu welchem die relative Betrachtung im weiteren Verlauf der Arbeit erfolgen sollte, kam eine ROC-Analyse zum Einsatz. Dabei wurden alle potentiellen Indizes hinsichtlich ihrer Klassifizierungsfähigkeit zwischen Luxationspatienten und Patienten der Kontrollgruppe untersucht. Eindrucksvoll war, dass einige Indizes diesbezüglich eine nahezu gleiche Klassifizierungsfähigkeit aufwiesen. Hierbei handelte es sich um den Epikondylenabstand, die Breite sowie die

Höhe der lateralen Trochlea, den Tuberositas-Rotationswinkel und die Körpergröße. Letztlich fiel die Wahl für den zweiten Wert zur Bildung eines Index auf den Epikondylenabstand, welcher in der geschlechtsunabhängigen ROC-Analyse den höchsten AUC-Wert aufwies.

Die deskriptive Untersuchung des Index „TTTG-Abstand / Epikondylenabstand“ zeigte, dass sich signifikant höhere Werte bei den untersuchten Frauen ergaben. Dies überrascht einerseits nicht, da der in den Index eingehende TTTG-Abstand bei Frauen ebenfalls höher war, als bei den Männern – demonstrierte andererseits aber auch, dass der Epikondylenabstand die höheren Werte der Frauen nicht aufheben konnte.

Um im Weiteren zu vergleichen, ob ein diagnostischer Test bei Verwendung des TTTG-Index bessere Ergebnisse erzielt als der TTTG-Abstand, wurde für den Index ebenfalls ein statistisch optimaler Grenzwert errechnet. Dieser lag bei den untersuchten Männern bei etwa 0,14 und bei den Frauen etwa 28% höher bei knapp 0,18. So dann erfolgte analog zum vorherigen Vorgehen (beim TTTG-Abstand) die Berechnung der Testgütekriterien und Erweiterung der Übersichtstabelle (Tabelle 38) um das Szenario D.

Beim Vergleich von Szenario C (optimaler Grenzwert des TTTG-Abstandes) und Szenario D (optimaler Grenzwert des TTTG-Index) konnte man feststellen, dass die Verwendung des Index zu keiner wesentlichen Veränderung aller Testgütekriterien führte – es kam lediglich zu Veränderungen im Bereich von 1-2%. Diese geringe und statistisch nicht signifikante Veränderung rechtfertigt letztlich den zusätzlichen Aufwand für die Bildung dieses spezifischen TTTG-Index im klinischen Alltag nicht.

Zusammenfassend betrachtet konnte hinsichtlich des TTTG-Index kein für die klinische Praxis relevanter Vorteil gegenüber dem bisher genutzten TTTG-Abstand gezeigt werden – zu beachten ist jedoch, dass der hier näher untersuchte Index lediglich eine relative Betrachtung hinsichtlich des Epikondylenabstandes – vereinfacht also der Kniebreite – darstellte. Bezüglich dieses Index gelangten Balcarek, Jung et al. ebenfalls zu dem Schluss, dass dieser keine Verbesserung der Diagnostik erlaubt. Dornacher et al. verneinten im Jahr 2015 auch einen verwertbaren Zusammenhang von TTTG-Abstand und Kniebreite (Epikondylenabstand) und betonten, dass es sich beim TTTG-Abstand um ein hochindividuelles anatomisches Maß handele, welches nicht mit der Kniebreite assoziiert sei (56; 65).

Die gewonnenen Erkenntnisse zum TTTG-Index führen im Kontext der bisherigen Forschung aber nicht zwangsläufig dazu, eine relative Betrachtung des TTTG-Abstandes im Allgemeinen abzulehnen. Hingelbaum, Best et al. etablierten im Jahr 2014 beispielsweise einen Index aus TTTG-Abstand und einem „TTTE-Abstand“ (Distanz vom Eingang der Trochlea bis zur Tuberositas tibiae) und betonten dessen Fähigkeit, durch Hinzunahme des zweiten Wertes die individuellen Größenverhältnisse des Kniegelenks besser zu berücksichtigen, als ein für alle Patienten gleichermaßen und allein betrachteter TTTG-Abstand. Es könnte daher sinnvoll sein, in einer weiterführenden Studie noch andere Messwerte zu erheben und so einen TTTG-Index zu etablieren, dessen routinemäßige Verwendung im klinischen Alltag sinnvoll umsetzbar wäre.

5 Zusammenfassung

Bei umfassender Recherche der bisherigen Literatur zum TTTG-Abstand, insbesondere den erhobenen Normalwerten sowie Werten bei Patienten mit patellofemorale Pathologien oder Patellaluxationen, zeigte sich, dass in den vergangenen zwei Jahrzehnten stark unterschiedliche Werte dieses Maßes erhoben wurden. Dies gilt sowohl für Messungen bei asymptomatischen Patienten (Normalwerte) als auch bei Personen, welche bereits eine oder mehrere Patellaluxationen erlitten hatten. Es lohnte sich daher, im Rahmen dieser Dissertation einen Beitrag zu diesem noch nicht abschließend geklärten Thema zu leisten, indem in der Arbeitsgruppe entsprechende Messungen an einem umfassenden Kollektiv von 255 Patienten erhoben wurden. Die deskriptiven Betrachtungen bestätigten dabei weitgehend den bisherigen Stand der Wissenschaft, insbesondere bezüglich bekannter Altersgipfel, dem nicht nachzuweisenden Zusammenhang zwischen Körpergröße bzw. Gewicht und dem Auftreten von Patellaluxationen und vor allem hinsichtlich der erhobenen Werte des TTTG-Abstandes.

Bisher durch andere Arbeitsgruppen publizierte Mittelwerte des TTTG-Abstandes (etwa 7,5 bis 14 mm) konnten am untersuchten Patientengut bestätigt werden, welches einen mittleren TTTG-Abstand von 12,1 mm aufwies, wobei – entgegen anderen Veröffentlichungen – Frauen einen signifikant höheren Wert zeigten. Ein anfangs in Betracht gezogener Zusammenhang zwischen TTTG-Abstand und den Parametern Körpergröße bzw. Körpergewicht konnte hingegen statistisch eindeutig widerlegt werden. Weiterhin war keine relevante Korrelation zwischen der Kniegröße (im Sinne des Epikonylenabstandes) und dem TTTG-Abstand nachweisbar, sodass – wie von anderen Autoren bereits veröffentlicht – beim TTTG-Abstand von einem hochindividuellen anatomischen Maß auszugehen ist. Hinsichtlich des Auftretens einer Patellaluxation bei (bzw. aufgrund von) erhöhter patellofemorale Instabilität konnte der TTTG-Abstand zweifellos als prädisponierender Faktor dargestellt werden – er war bei den hiervon betroffenen Personen im Mittel um 3,7 mm hochsignifikant größer.

Die vergleichende Untersuchung unterschiedlicher pathologischer Grenzwerte des TTTG-Abstandes zeigte einerseits auf, wie schwierig es ist, sich im theoretischen wie auch praktischen Kontext für einen gewissen Grenzwert zu entscheiden. Andererseits wurde hierbei deutlich, dass die Wahl eines geeigneten Grenzwertes primär als Kompromiss der sich ergebenden Testgütekriterien zu verstehen ist. Je nach klinischer

Fragestellung oder Zielvorgabe – beispielsweise dem Verlangen nach hoher Sensitivität bei Präventions- oder Screeningmaßnahmen – kann ein jeweils anderer Grenzwert am geeignetsten sein. Der bislang im klinischen Alltag übliche Grenzwert des TTTG-Abstandes (20 mm) erscheint anhand der durchgeführten Messungen und der sich ergebenden Testgütekriterien als deutlich zu hoch gewählt, um pathologische Zustände hinreichend gut zu erkennen. Kritisch ist auch zu bewerten, dass die bisher übliche absolute Interpretation des TTTG-Abstandes keinerlei andere Parameter eines Patienten (z.B. Körper- oder Kniegröße) berücksichtigt. Selbst unter Beibehaltung dieser wenig individuellen Sichtweise zeigte sich, dass ein Grenzwert von 15-17 mm erheblich besser zwischen Kniegesunden und Patienten mit stattgehabter Patellaluxation unterscheiden konnte.

Die Untersuchung eines TTTG-Index (also einer relativen Betrachtung des TTTG-Abstandes in Bezug auf andere Messwerte) erfolgte mit der Intention, den individuellen Maßen eines Patienten Rechnung zu tragen – es erschien zu Beginn der Arbeit nahezu logisch, dass grenzwertig hohe TTTG-Abstände bei unterschiedlichen Rahmenbedingungen (bspw. verschiedenen Körpergrößen, Körpergewichten, Kniegrößen) differenziert betrachtet werden sollten und ein starrer Grenzwert von 20 mm dies nicht leisten könne. Überlegungen bezüglich eines TTTG-Index sind bereits Gegenstand der jüngeren Forschung, sodass es von Interesse war, die gewonnenen Daten diesbezüglich auszuwerten. Entgegen den anfänglichen Vermutungen konnte jedoch kein signifikanter Vorteil des hier näher untersuchten TTTG-Index gegenüber dem TTTG-Abstand gezeigt werden. Weiterhin ist zu bedenken, dass die Erfassung eines zweiten Messwertes zur Bildung eines Index im Alltag mit zusätzlichem Aufwand verbunden wäre, sodass – zumindest hinsichtlich der hier gewonnenen Daten – dem betrachteten TTTG-Index kein Vorteil zuzuschreiben ist.

Es bleibt zusammenzufassen, dass der TTTG-Abstand als hochindividuelles Maß offenbar nicht zwangsläufig relativ zu anderen Merkmalen eines Patienten interpretiert werden muss. Es ist jedoch auch festzuhalten, dass Pathologien wie eine Luxation der Kniescheibe häufig bereits bei TTTG-Abständen vorliegen, welche weit unterhalb des seit zwei Jahrzehnten geltenden Grenzwertes von Dejour et al. liegen und dieser im klinischen Alltag kritisch zu hinterfragen ist.

Danksagung

Mein herzlicher Dank gilt

- Herrn Prof. Dr. med. Wolfgang Böcker, meinem Doktorvater, für die Überlassung des hochinteressanten Themas.
- Herrn Dr. med. Markus Regauer für die hervorragende Betreuung der Arbeit, die eifrigen Diskussionen und seine freundschaftliche Unterstützung bei allen angefallenen Fragen sowie Hilfe bei organisatorischen Belangen.
- Herrn Dr. Michael Lauseker, Mitarbeiter am Institut für Medizinische Informationsverarbeitung, Biometrie und Epidemiologie (IBE) für seine wertvollen Hinweise bezüglich der statistischen Methoden.

Mein besonderer Dank gilt meiner Ehefrau Sabrina, welche die entbehrungsreiche Zeit meines zweiten Studiums über viele Jahre mitgetragen hat, mich in vielen schwierigen Phasen bedingungslos unterstützt und unentwegt an mich geglaubt hat.

Abkürzungsverzeichnis

ANOVA	einfaktorielle Varianzanalyse
AUC	Area under the curve
BMI	body mass index
CT	Computertomographie
KI	Konfidenzintervall
Lig.	Ligamentum
LR	Likelihood Ratio
M.	Musculus
MPFL	Ligamentum patellofemorale mediale
MRT	Magnetresonanztomographie
NPW	negativer prädiktiver Wert
PISS	Patella Instability Severity Score
PPW	positiver prädiktiver Wert
ROC	Receiver Operating Characteristic
TTTE (Abstand)	(distance between) proximal-distal distance between the cartilaginous entrance of the trochlear groove and the tibial tubercle
TTTG (Abstand)	Tuberositas-Tibiae-Trochlea-Groove (distance)
VMO	Musculus vastus medialis

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: In der Literatur beschriebene Messwerte des TTTG-Abstandes	20
Tabelle 2: Patientengut in Fall- und Kontrollgruppe	28
Tabelle 3: Ausgeschlossene Patienten nach Ausschlussgrund	29
Tabelle 4: Interpretation von Likelihood Ratios	39
Tabelle 5: Mittleres Alter in den Subgruppen	45
Tabelle 6: Körpergrößen in Fall- und Kontrollgruppe (geschlechtsneutral)	48
Tabelle 7: Körpergewicht von 117 Patienten	48
Tabelle 8: Gewichtskategorien (nach WHO) von 177 Patienten	48
Tabelle 9: Gewichtskategorien (nach WHO) der Luxationspatienten (sofern Gewicht bekannt, n=44)	49
Tabelle 10: Kreuztabelle Körpergewicht zu Luxationsgeschehen	49
Tabelle 11: TTTG-Abstand aller untersuchten Patienten (n=255)	50
Tabelle 12: TTTG-Abstand aller Patienten der Kontrollgruppe (n=152)	51
Tabelle 13: TTTG-Abstand aller Patienten der Fallgruppe (n=103)	51
Tabelle 14: TTTG-Abstände in den Altersklassen	52
Tabelle 15: TTTG-Abstände in den Gewichtsklassen	52
Tabelle 16: TTTG-Abstände in den Gewichtsklassen	53
Tabelle 17: TTTG-Abstand bei den untersuchten Männern	53
Tabelle 18: TTTG-Abstand nach Geschlechtern	54
Tabelle 19: Korrelationen von TTTG-Wert und anderen Messwerten ($p < 0,05$)	55
Tabelle 20: Übersichtstabelle mit Szenario A-C	58
Tabelle 21: Grenzwert des TTTG-Abstandes von 20 mm (Alle Patienten)	59
Tabelle 22: Grenzwert am oberen Ende eines 95% Referenzbereichs (Alle Patienten)	59
Tabelle 23: Optimierter Grenzwert (Alle Patienten)	59
Tabelle 24: Grenzwert des TTTG-Abstandes von 20 mm (Männer)	60
Tabelle 25: Grenzwert am oberen Ende eines 95% Referenzbereichs (Männer)	60
Tabelle 26: Optimierter Grenzwert (Männer)	60
Tabelle 27: Grenzwert des TTTG-Abstandes von 20 mm (Frauen)	61
Tabelle 28: Grenzwert am oberen Ende eines 95% Referenzbereichs (Frauen)	61
Tabelle 29: Optimierter Grenzwert (Frauen)	61
Tabelle 30: TTTG-Abstand in den Kontrollgruppen	62
Tabelle 31: AUC-Werte der untersuchten TTTG-Indizes (Alle Patienten)	63
Tabelle 32: AUC-Werte der untersuchten TTTG-Indizes (Alle Männer)	63
Tabelle 33: AUC-Werte der untersuchten TTTG-Indizes (Alle Frauen)	63
Tabelle 34: Werte des gemessen TTTG-Index bei beiden Geschlechtern	65
Tabelle 35: Optimierter Grenzwert des TTTG-Index (Alle Patienten)	65
Tabelle 36: Optimierter Grenzwert des TTTG-Index (Alle Männer)	65
Tabelle 37: Optimierter Grenzwert des TTTG-Index (Alle Frauen)	66
Tabelle 38: Übersichtstabelle mit Szenario A-D	66
Tabelle 39: Vergleich von TTTG-Abstand und TTTG-Index bei Erst- und Rezidivluxationen	68

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Gefärbter Horizontalschnitt durch die menschliche Patella, aus (3).....	3
Abbildung 2: Patellaformen, in Anlehnung an (6).....	3
Abbildung 3: Messungen zur Berechnung des Insall-Salvati-Index	4
Abbildung 4: Messung des patellofemorale Kongruenzwinkels	4
Abbildung 5: Verkippung der Patella mit nach medial offenem Winkel	5
Abbildung 6: Formen A-D der Trochleadysplasie, modifiziert aus (11).....	6
Abbildung 7: Bestimmung des Sulkuswinkels β , modifiziert aus (9).....	6
Abbildung 8: Zugkräfte auf die Patella durch Muskeln und Bänder, aus (17)	7
Abbildung 9: Vollständige Patellaluxation (li.) und Subluxationsstellung (re.), aus (17).....	11
Abbildung 10: PISS nach (51).....	15
Abbildung 11: Bestimmung des TTTG-Abstandes.....	17
Abbildung 12: Flussdiagramm der Datengewinnung	30
Abbildung 13: TTTG-Abstand in zwei übereinander projizierten CT-Aufnahmen, aus (15)	32
Abbildung 14: Schnittbild 3 zur Bestimmung des TTTG-Abstandes	33
Abbildung 15: Schnittbild 1 zur Bestimmung des TTTG-Abstandes	33
Abbildung 16: Schnittbild 4 zur Bestimmung des TTTG-Abstandes	34
Abbildung 17: Schnittbild 2 zur Bestimmung des Epikondylenabstandes	34
Abbildung 18: Schnittbild 2 zur Bestimmung von Breite und Höhe der lateralen Trochlea	35
Abbildung 19: Schnittbild 4 zur Bestimmung des TTTG-Winkels.....	35
Abbildung 20: Schnittbild 3 zur Bestimmung des Tuberositas-Rotationswinkels	36
Abbildung 21: Schnittbild 4 zur Bestimmung des Tuberositas-Rotationswinkels	36
Abbildung 22: 95%-Referenzbereich einer Normalverteilung, aus (73)	40
Abbildung 23: Beispielhafte ROC-Kurve zur Grenzwertermittlung.....	42
Abbildung 24: Altersverteilung aller 255 untersuchten Patienten (Alter klassiert).....	46
Abbildung 25: Altersverteilung getrennt nach Kontrollgruppe (blau) und Luxationspatienten (grün).....	47
Abbildung 26: TTTG-Abstand aller untersuchten Patienten (Boxplot)	50
Abbildung 27: Histogramm aller erhobenen TTTG-Abstände (geschlechtsunabhängig)	51
Abbildung 28: TTTG-Abstand bei den untersuchten Männern.....	54
Abbildung 29: TTTG-Abstand bei den untersuchten Frauen	55
Abbildung 30: Punktdiagramm mit TTTG-Abstand (mm) und Epikondylenabstand (mm).....	56
Abbildung 31: Punktdiagramm mit TTTG-Abstand (mm) und Körpergröße (cm).....	57
Abbildung 32: Punktdiagramm mit TTTG-Abstand (mm) und Körpergewicht (kg)	57

Literaturverzeichnis

- 1 Muhr, G; Knopp, W; Neumann, K (1989): Luxation und Subluxation der Patella. *Orthopade* 18 (4), S. 294–301.
- 2 Outerbridge, RE; Dunlop, JA (1975): The problem of chondromalacia patellae. *Clin. Orthop. Relat. Res.* (110), S. 177–196.
- 3 Steinbrück, A; Milz, S; Woiczinski, M; Schröder, C; Utzschneider, S; Jansson, V; Fottner, A (2011): Anatomie und Biomechanik des Patellofemoralgelenks. Physiologische Gegebenheiten und Veränderungen nach Implantation einer Knieotalendoprothese. *Orthopade* 40 (10), 848, 850-2, 854.
- 4 Baumgartl, F (1964): Das Kniegelenk. Erkrankungen, Verletzungen und ihre Behandlung mit Hinweisen für die Begutachtung. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. Online verfügbar unter <http://dx.doi.org/10.1007/978-3-642-49807-7>.
- 5 Wiberg, G (1941): Roentgenographic and anatomic studies on the Femoro-Patellar Joint. *Acta Orthop. Scand.*
- 6 Ludolph, E; Schröter, F; Krumbiegel, A; Hempfling, H (2014): Patellaluxation (Kniescheibenverrenkung). *MedSach* (110), S. 212–233.
- 7 Strobl, W; Grill, F (1998): Die Patellaluxation. *Orthopade* 27 (3), S. 197–205.
- 8 Waldt, S; Eiber, M; Wörtler, K (2011): Messverfahren und Klassifikationen in der muskuloskelettalen Radiologie. 1. Aufl. s.l: Georg Thieme Verlag KG. Online verfügbar unter http://ebooks.ciando.com/book/index.cfm/bok_id/1650771.
- 9 Waldt, S; Rummeny, EJ (2012): Bildgebung der patellofemorale Instabilität. *Radiologe* 52 (11), S. 1003–1011.
- 10 Dejour, H; Walch, G; Nove-Josserand, L; Guier, C (1994): Factors of patellar instability: An anatomic radiographic study. *Knee Surg, Sports traumatol, Arthroscopy* 2 (1), S. 19–26.
- 11 Imhoff, AB; Baumgartner, R; Linke, RD (2014): Checkliste Orthopädie. 47 Videos. 3., vollst. überarb. Aufl. Stuttgart [u.a.]: Thieme (Checklisten der aktuellen Medizin).

- 12 Fithian, DC; Mishra, DK; Balen, PF; Stone, ML; Daniel, DM (1995): Instrumented measurement of patellar mobility. *The American Journal of Sports Medicine* 23 (5), S. 607–615.
- 13 Hautamaa, PV; Fithian, DC; Kaufman, KR; Daniel, DM; Pohlmeier, AM (1998): Medial soft tissue restraints in lateral patellar instability and repair. *Clin. Orthop. Relat. Res.* (349), S. 174–182.
- 14 Teitge, RA; Faerber, WW; Des Madryl, P; Matelic, TM (1996): Stress radiographs of the patellofemoral joint. *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 78 (2), S. 193–203.
- 15 Schöttle, PB; Hensler, D (2008): Revisionseingriffe zur Patellastabilisierung nach erfolgloser Operation am Streckapparat. *Arthroskopie* 21 (3), S. 145–152.
- 16 Powers, CM; Lilley, JC; Lee, TQ (1998): The effects of axial and multi-plane loading of the extensor mechanism on the patellofemoral joint. *Clinical biomechanics (Bristol, Avon)* 13 (8), S. 616–624.
- 17 Oestern, S; Varoga, D; Lippross, S; Kaschwich, M; Finn, J; Buddrus, B; Seekamp, A (2011): Patellaluxation. *Unfallchirurg* 114 (4), S. 345–359.
- 18 Amis, AA; Firer, P; Mountney, J; Senavongse, W; Thomas, NP (2003): Anatomy and biomechanics of the medial patellofemoral ligament. *The Knee* 10 (3), S. 215–220.
- 19 Lieb, FJ; Perry, J (1968): Quadriceps function. An anatomical and mechanical study using amputated limbs. *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 50 (8), S. 1535–1548.
- 20 Desio, SM; Burks, RT; Bachus, KN (1998): Soft tissue restraints to lateral patellar translation in the human knee. *Am J Sports Med* 26 (1), S. 59–65.
- 21 Feller, JA; Amis, AA; Andrish, JT; Arendt, EA; Erasmus, PJ; Powers, CM (2007): Surgical Biomechanics of the Patellofemoral Joint. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 23 (5), S. 542–553.
- 22 Post, WR; Teitge, R; Amis, A (2002): Patellofemoral malalignment: looking beyond the viewbox. *Clinics in sports medicine* 21 (3), 521-46, x.
- 23 Malghem, J; Maldague, B (1989): Depth insufficiency of the proximal trochlear groove on lateral radiographs of the knee: relation to patellar dislocation. *Radiology* 170 (2), S. 507–510.

- 24 Memminger, M (2001): Mediale Patellaluxation. *Der Unfallchirurg* 104 (10), S. 1011–1013.
- 25 Garrett, WE; Speer, KP; Kirkendall, DT (2000): Principles and practice of orthopaedic sports medicine. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- 26 Neubert, M; Steinbrück, K (1991): Die Patellaerstluxation beim Sportler. Arthroskopische Diagnostik und Therapie. *Unfallchirurg* 94 (2), S. 73–76.
- 27 Nietosvaara, Y; Aalto, K; Kallio, PE (1994): Acute patellar dislocation in children: incidence and associated osteochondral fractures. *J Pediatr Orthop* 14 (4), S. 513–515.
- 28 Sillanpää, P; Mattila, VM; Iivonen, T; Visuri, T; Pihlajamäki, H (2008): Incidence and Risk Factors of Acute Traumatic Primary Patellar Dislocation. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 40 (4), S. 606–611.
- 29 Fithian, DC; Paxton, EW; Stone, ML; Silva, P; Davis, DK; Elias, DA; White, LM (2004): Epidemiology and natural history of acute patellar dislocation. *Am J Sports Med* 32 (5), S. 1114–1121.
- 30 Atkin, DM; Fithian, DC; Marangi, KS; Stone, ML; Dobson, BE; Mendelsohn, C (2000): Characteristics of patients with primary acute lateral patellar dislocation and their recovery within the first 6 months of injury. *Am J Sports Med* 28 (4), S. 472–479.
- 31 Waterman, BR; Belmont, PJ; Owens, BD (2012): Patellar dislocation in the United States: role of sex, age, race, and athletic participation. *J Knee Surg* 25 (1), S. 51–57.
- 32 Colvin, AC; West, RV (2008): Patellar instability. *J Bone Joint Surg Am* 90 (12), S. 2751–2762.
- 33 Balcarek, P; Jung, K; Ammon, J; Walde, TA; Frosch, S; Schuttrumpf, JP et al. (2010): Anatomy of Lateral Patellar Instability: Trochlear Dysplasia and Tibial Tubercle-Trochlear Groove Distance Is More Pronounced in Women Who Dislocate the Patella. *The American Journal of Sports Medicine* 38 (11), S. 2320–2327.
- 34 Wirth, T (2011): Patellaluxationen. *Unfallchirurg* 114 (5), S. 388–395.
- 35 Weinberg, A; Tscherne, H (2006): Tscherne Unfallchirurgie. Unfallchirurgie im Kindesalter. Berlin: Springer.

- 36 Niethard, FU (2005): Duale Reihe Orthopädie. [Online-Ausg.] = 5., korrigierte Aufl. [der Druckausg.]. Stuttgart: Thieme. Online verfügbar unter <http://www.thieme.de/ebooklibrary/inhalte/313130815x/index.html>.
- 37 Sanders, TG; Medynski, MA; Feller, JF; Lawhorn, KW (2000): Bone contusion patterns of the knee at MR imaging: footprint of the mechanism of injury. *Radio-graphics* 20 Spec No, S135-51.
- 38 Wörtler, K (2008): MRT des Kniegelenks. *Orthopäde* 37 (2), S. 157–172.
- 39 Frosch, S; Balcarek, P; Walde, T; Schüttrumpf, J; Wachowski, M; Ferleman, K-G et al. (2011): Die Therapie der Patellaluxation: eine systematische Literaturanalyse. *Z Orthop Unfall* 149 (06), S. 630–645.
- 40 Hawkins, RJ; Bell, RH; Anisette, G (1986): Acute patellar dislocations. The natural history. *Am J Sports Med* 14 (2), S. 117–120.
- 41 Krüger-Franke, M; Schurk, B; Kugler, A; Englert, A: Diagnostik und Therapie der akuten Patellaluxation.
- 42 Mauch, F; Ammann, B; Kraus, M (2014): MRT des Kniegelenks unter besonderer Berücksichtigung der Patellaluxation. *Unfallchirurg* 117 (3), S. 211–220.
- 43 Schoettle, PB; Zanetti, M; Seifert, B; Pfirrmann, Christian W. A.; Fucentese, SF; Romero, J (2006): The tibial tuberosity–trochlear groove distance; a comparative study between CT and MRI scanning. *The Knee* 13 (1), S. 26–31.
- 44 Kramer, J; Scheurecker, G; Scheurecker, A; Stöger, A; Huber, H; Hofmann, S (2008): Bildgebende Untersuchungen des Patellofemoralgelenks. *Orthopäde* 37 (9), S. 818–834.
- 45 Camp, CL; Stuart, MJ; Krych, AJ; Levy, BA; Bond, JR; Collins, MS; Dahm, DL (2013): CT and MRI Measurements of Tibial Tubercle-Trochlear Groove Distances Are Not Equivalent in Patients With Patellar Instability. *The American Journal of Sports Medicine* 41 (8), S. 1835–1840.
- 46 Ho, CP; James, EW; Surowiec, RK; Gatlin, CC; Ellman, MB; Cram, TR et al. (2015): Systematic Technique-Dependent Differences in CT Versus MRI Measurement of the Tibial Tubercle-Trochlear Groove Distance. *The American Journal of Sports Medicine* 43 (3), S. 675–682.

- 47 Elias, DA; White, LM; Fithian, DC (2002): Acute Lateral Patellar Dislocation at MR Imaging: Injury Patterns of Medial Patellar Soft-Tissue Restraints and Osteochondral Injuries of the Inferomedial Patella. *RY 225* (3), S. 736–743.
- 48 Balcarek, P; Ammon, J; Frosch, S; Walde, TA; Schüttrumpf, JP; Ferlemann, KG et al. (2010): Magnetic Resonance Imaging Characteristics of the Medial Patellofemoral Ligament Lesion in Acute Lateral Patellar Dislocations Considering Trochlear Dysplasia, Patella Alta, and Tibial Tuberosity–Trochlear Groove Distance. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 26 (7), S. 926–935.
- 49 Diederichs, G; Scheffler, S (2013): MRT nach Patellaluxation: Quantifizierung der Risikofaktoren und Beschreibung der Folgeschäden. *Fortschr Röntgenstr* 185 (07), S. 611–620.
- 50 Frosch, K-H; Akoto, R; Heitmann, M; Preiss, A (2015): Patellofemorale Instabilität. *Arthroscopie* 28 (3), S. 194–201.
- 51 Balcarek, P; Oberthür, S; Hopfensitz, S; Frosch, S; Walde, TA; Wachowski, MM et al. (2014): Which patellae are likely to redislocate? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 22 (10), S. 2308–2314.
- 52 Goutallier, D; Bernageau, J; Lecudonnet, B (1978): Mesure de l'écart tubérosité tibiale antérieure - gorge de la trochlée (T.A.-G.T.). Technique. Résultats. Intérêt. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 64 (5), S. 423–428.
- 53 Caylor, D; Fites, R; Worrell, TW (1993): The relationship between quadriceps angle and anterior knee pain syndrome. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy* 17 (1), S. 11–16.
- 54 Dickschas, J; Harrer, J; Thomas, B; Schwitulla, J; Strecker, W (2013): Zusammenhänge von TTTG Abstand und Q-Winkel in der Analyse der Beingeometrie. *German Medical Science GMS Publishing House*.
- 55 Alemparte, J; Ekdahl, M; Burnier, L; Hernández, R; Cardemil, A; Cielo, R; Danilila, S (2007): Patellofemoral Evaluation With Radiographs and Computed Tomography Scans in 60 Knees of Asymptomatic Subjects. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 23 (2), S. 170–177.

- 56 Balcarek, P; Jung, K; Frosch, K-H; Sturmer, MK (2011): Value of the Tibial Tuberosity-Trochlear Groove Distance in Patellar Instability in the Young Athlete. *The American Journal of Sports Medicine* 39 (8), S. 1756–1761.
- 57 Pandit, S; Frampton, C; Stoddart, J; Lynskey, T (2011): Magnetic resonance imaging assessment of tibial tuberosity–trochlear groove distance: normal values for males and females. *International Orthopaedics (SICOT)* 35 (12), S. 1799–1803.
- 58 Hingelbaum, S; Best, R; Huth, J; Wagner, D; Bauer, G; Mauch, F (2014): The TT-TG Index: a new knee size adjusted measure method to determine the TT-TG distance. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 22 (10), S. 2388–2395.
- 59 Tse, MS; Lie, CW; Pan, NY; Chan, CH; Chow, HL; Chan, WL (2015): Tibial tuberosity-trochlear groove distance in Chinese patients with or without recurrent patellar dislocation. *Journal of orthopaedic surgery (Hong Kong)* 23 (2), S. 180–181.
- 60 Tensho, K; Akaoka, Y; Shimodaira, H; Takanashi, S; Ikegami, S; Kato, H; Saito, N (2015): What Components Comprise the Measurement of the Tibial Tuberosity-Trochlear Groove Distance in a Patellar Dislocation Population? *The Journal of bone and joint surgery. American volume* 97 (17), S. 1441–1448.
- 61 Sobhanardekani, M; Sobhan, MR; Nafisi Moghadam, R; Nabavinejad, S; Razavi Ratki, SK (2017): The Normal Value of Tibial Tubercle Trochlear Groove Distance in Patients With Normal Knee Examinations Using MRI. *Acta medica Iranica* 55 (9), S. 573–577.
- 62 Dickens, AJ; Morrell, NT; Doering, A; Tandberg, D; Treme, G (2014): Tibial Tubercle-Trochlear Groove Distance: Defining Normal in a Pediatric Population. *J Bone Joint Surg Am* 96 (4), S. 318.
- 63 Dovi-Akue, D; Schwarzkopf, E; Südkamp, NP; Niemeyer, P (2013): Beurteilung des Patellofemoralgelenkes: Normwerte des Tibial tuberosity- Trochlea groove (TTTG) Abstandes und des Insall-Salvati Indexes für Kinder und Jugendliche. *M0224*.
- 64 Yeoh, C S N; Lam, KY (2016): Tibial tubercle to trochlear groove distance and index in children with one-time versus recurrent patellar dislocation: a magnetic resonance imaging study. *Journal of orthopaedic surgery (Hong Kong)* 24 (2), S. 253–257.

- 65 Dornacher, D; Reichel, H; Kappe, T (2015): Does tibial tuberosity–trochlear groove distance (TT–TG) correlate with knee size or body height? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.*
- 66 Balcarek, P; Frosch, K-H (2012): Die Patellaluxation im Kindes- und Jugendalter. *Arthroskopie* 25 (4), S. 266–274.
- 67 Dejour, D; Le Coultre, B (2007): Osteotomies in patello-femoral instabilities. *Sports Med Arthrosc* 15 (1), S. 39–46.
- 68 Koeter, S; Diks, M. J. F.; Anderson, PG; Wymenga, AB (2007): A modified tibial tubercle osteotomy for patellar maltracking: RESULTS AT TWO YEARS. *Journal of Bone and Joint Surgery - British Volume* 89-B (2), S. 180–185.
- 69 Beaconsfield, T; Pintore, E; Maffulli, N; Petri, GJ (1994): Radiological measurements in patellofemoral disorders. A review. *Clin. Orthop. Relat. Res.* (308), S. 18–28.
- 70 Bender, R; Lange, S (2007): Die Vierfeldertafel. *Dtsch med Wochenschr* 132 (S 01), e12-e14.
- 71 Altman, DG; Bland, JM (1994): Diagnostic tests. 1: Sensitivity and specificity. *BMJ (Clinical research ed.)* 308 (6943), S. 1552.
- 72 Altman, DG; Bland, JM (1994): Diagnostic tests 2: Predictive values. *BMJ (Clinical research ed.)* 309 (6947), S. 102.
- 73 Weiss, C (2010): Basiswissen Medizinische Statistik. 5. überarbeitete Aufl. Heidelberg: Springer Medizin Verlag (Springer-Lehrbuch).
- 74 Hilgers, R-D; Bauer, P; Scheiber, V (2007): Einführung in die medizinische Statistik. 2., verb. und überarb. Aufl. Berlin [u.a.]: Springer (Statistik und ihre Anwendungen).
- 75 Jaeschke, R; Guyatt, GH; Sackett, DL (1994): Users' guides to the medical literature. III. How to use an article about a diagnostic test. B. What are the results and will they help me in caring for my patients? The Evidence-Based Medicine Working Group. *JAMA* 271 (9), S. 703–707.
- 76 Hirche, Z; Xiong, L; Hirche, C; Willis, S (2016): Führt die Vakuumsaugtherapie tatsächlich zu einer Kosteneffektivität in der Allgemein Chirurgie im G-DRG-System? *Zentralblatt für Chirurgie* 141 (2), S. 197–203.

77 Health at a glance 2015. OECD indicators. 2015 edition.

Eidesstattliche Versicherung

Ganter, Daniel

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt,
dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Thema

Wertigkeit unterschiedlicher pathologischer Grenzwerte des TTTG-Abstandes und
Evaluation eines TTTG-Index als Risikofaktor für eine patellofemorale Instabilität

selbständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und
alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als
solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle
einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in
ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades
eingereicht wurde.

Kolbermoor, 03.12.2018

Ort, Datum

(Ganter)

Unterschrift Doktorandin/Doktorand

Lebenslauf

Aus Datenschutzgründen entfernt.