

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

# **Der TT-TG-Abstand als Risikofaktor für die patellofemorale Instabilität**

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

vorgelegt von

Michael Peter Wellenhofer

aus

Straubing

2019

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität zu München

Berichterstatter:	Prof. Dr. Wolfgang Böcker
Mitberichterstatter:	PD Dr. Thomas Niethammer
Mitbetreuung durch den promovierten Mitarbeiter:	Dr. Markus Regauer
Dekan:	Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel

Tag der mündlichen Prüfung: 28.03.2019

In Dankbarkeit meiner Grossmutter

Barbara Urban-Fuhrmann

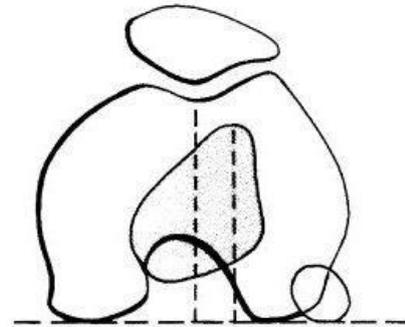
# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b><u>EINLEITUNG</u></b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b><u>GRUNDLAGEN</u></b>	<b>5</b>
2.1	EPIDEMIOLOGIE DER PATELLOFEMORALEN INSTABILITÄT	5
<b>3</b>	<b><u>ANATOMIE UND BIOMECHANIK</u></b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b><u>ÄTIOLOGIE DER PATELLOFEMORALEN INSTABILITÄT</u></b>	<b>9</b>
4.1	FORMEN DER PATELLALUXATION	10
4.2	WESENTLICHE FAKTOREN FÜR DIE STABILITÄT DES PATELLOFEMORALEN GELENKES	11
4.2.1	STATISCHE FAKTOREN	12
4.2.2	PASSIVE FAKTOREN	13
4.2.3	AKTIVE FAKTOREN	14
<b>5</b>	<b><u>STAND DER WISSENSCHAFT UND FRAGESTELLUNG</u></b>	<b>16</b>
<b>6</b>	<b><u>MATERIAL UND METHODEN</u></b>	<b>20</b>
6.1	STUDIENDESIGN UND PATIENTENGUT	20
6.2	EINTEILUNG DER STUDIENPOPULATION	21
6.2.1	KONTROLLGRUPPE	21
6.2.2	LUXATIONSGRUPPE	22
6.3	MESSUNG DES TT-TG-ABSTANDS UND ERMITTLUNG WEITERER PARAMETER	23
6.3.1	MEßVORSCHRIFT NACH GOUTALLIER/BERNAGEAU	24
<b>7</b>	<b><u>STATISTISCHE AUSWERTUNG</u></b>	<b>31</b>
<b>8</b>	<b><u>ERGEBNISSE</u></b>	<b>32</b>
8.1	BASISCHARAKTERISTIKA DER PROBANDEN	32
8.2	BERECHNUNG DER NORMWERTE DES TT-TG FÜR MÄNNER UND FRAUEN	37
8.3	BERECHNUNG DER PATHOLOGISCHEN GRENZWERTE	42
8.4	EINFLUSS VON BANDVERLETZUNGEN AUF DEN TT-TG	44
8.5	EINFLUSS DER KÖRPERGRÖÙE AUF DEN TT-TG	46
8.6	EINFLUSSFAKTOREN AUF DIE LUXATIONSWAHRSCHEINLICHKEIT	48
8.7	ERGEBNISÜBERBLICK	49
<b>9</b>	<b><u>DISKUSSION</u></b>	<b>50</b>
9.1	VERGLEICH DER TT-TG ERGEBNISSE MIT ANDEREN STUDIEN	50
9.2	NORMWERTE DES TT-TG	52
9.3	PATHOLOGISCHE GRENZWERTE DES TT-TG	53
9.4	DISKUSSION TT-TG UND KÖRPERGRÖÙE	55
9.5	DISKUSSION TT-TG UND BANDVERLETZUNG	56
9.6	DISKUSSION DER MESSUNG DES TT-TG	56

<b>9.7</b>	<b>SCHWÄCHEN UND STÄRKEN DER STUDIE</b>	<b>57</b>
<b>10</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>59</b>
<b>11</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>62</b>
<b>12</b>	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>68</b>
<b>13</b>	<b>TABELLENVERZEICHNIS</b>	<b>69</b>
<b>14</b>	<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS</b>	<b>70</b>
<b>15</b>	<b>LEBENS LAUF</b>	<b>71</b>

# 1 Einleitung

---

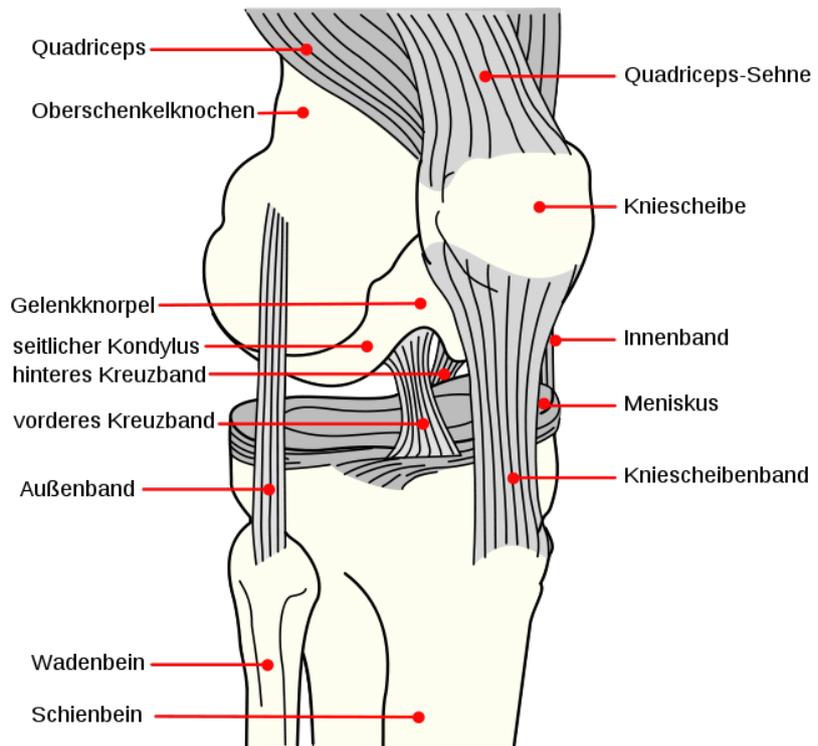


**Abbildung 1 – Schematische Darstellung des TT-TG<sup>1</sup>**

Patellofemorale Beschwerden treten meist bei Kindern, Jugendlichen und jüngeren Erwachsenen auf. Beim weiblichen Geschlecht treten sie häufiger auf. Diese Beschwerden präsentieren sich klinisch in vorderen Knieschmerzen mit oft nur dezenten radiologischen Korrelaten bis hin zu rezidivierenden Dislokationen der Patella aus ihrem zugehörigen Gleitlager, der Trochlea femoris, heraus.<sup>2 3 4 5 6 7</sup> Die akute Patellaluxation gehört zum Formenkreis der patellofemorale Instabilitäten. Hierbei kommt es zur Verlagerung des Sesambeins aus der Trochlea femoris.

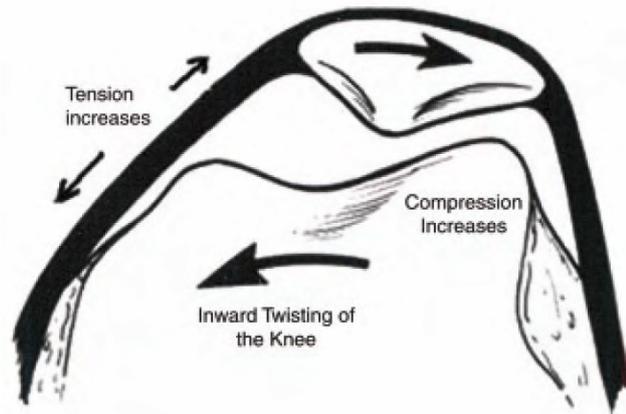
David Dejour et al. entwickelten in den 90er Jahren des letzten Jahrhunderts eine Klassifikation, die heute als Standard gilt. Danach werden folgende Gruppen unterteilt:<sup>4</sup>

- Patellofemorales Schmerzsyndrom ohne anatomische Abweichungen
- Patellofemorale Arthrose
- Patellainstabilität mit anatomischen Abweichungen bislang ohne stattgehabte Luxation
- Patellainstabilität mit der Folge von Luxationen bzw. Subluxationen aufgrund verschiedenster anatomischer Gegebenheiten



**Abbildung 2 - Anatomie des Kniegelenks<sup>8</sup>**

Hierbei stellt die patellofemorale Instabilität ein häufiges klinisches Syndrom dar. Die akute Patellaluxation ist assoziiert mit einer beträchtlichen und häufig langandauernden Funktionsstörung des Kniegelenks sowie einer hohen Rezidivrate. Als Teil des Kniegelenks stellen sich Anatomie und Biomechanik des patellofemorales Gelenks komplex dar. Die Ätiologie der Patellaluxation ist multifaktoriell, was sich in der individuellen Therapieentscheidung widerspiegelt. Weit über 100 chirurgische Techniken wurden seit Einführung der patellofemorales Chirurgie beschrieben, was sowohl ein Hinweis für das intensive Forschungsbestreben als auch auf oft nicht zufriedenstellende Langzeitergebnisse sein kann. Trotz des vergleichsweise häufigen Auftretens dieser Verletzung bestanden und bestehen auch noch heute kontroverse Diskussionen bezüglich der optimalen Behandlung.<sup>4</sup> Ebenso vielfältig waren in der Vergangenheit die Modelle zur Biomechanik des Kniegelenks, wobei sich innerhalb der letzten Jahre Tendenzen in der Gewichtung der beteiligten stabilisierenden anatomischen Strukturen und den daraus abgeleiteten Therapiekonzepten ergaben.<sup>9 10</sup>

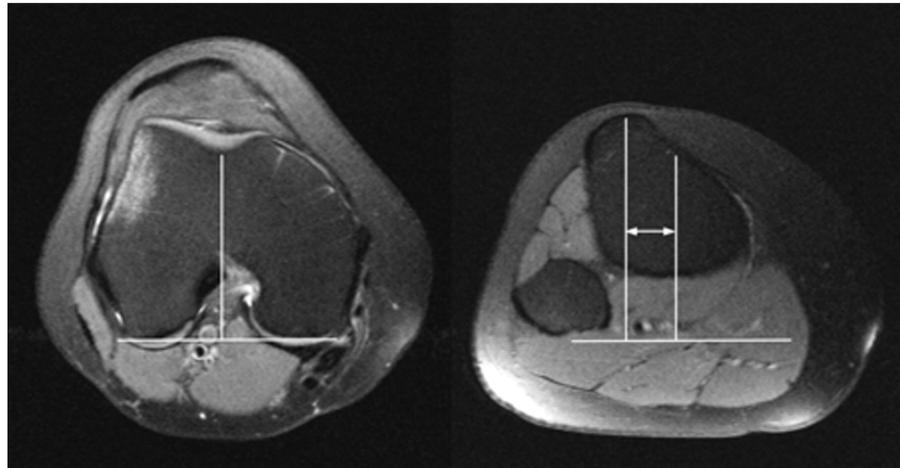


**Abbildung 3 - Mechanismus der lateralen Patellaluxation<sup>11</sup>**

In der Literatur sind zahlreiche konstitutionelle Risikofaktoren für eine patellofemorale Instabilität beschrieben worden, wie etwa die Trochleadysplasie oder die Lateralisation der Tuberositas tibiae mit konsekutiv vermehrter lateralisierender Wirkung des Quadrizepszugs auf die Patella. Der Q-Winkel dient seit Jahrzehnten als klinischer Parameter zur Beschreibung der Zugwirkung des Quadrizeps auf die Patella. Dieser wurde geschlechtsspezifisch zwischen 10° und 20° angegeben, hat sich jedoch als unzuverlässiger und nur ungenau zu bestimmender Parameter erwiesen.

Zuverlässiger und besser reproduzierbar erschien nachfolgend die Abschätzung des lateralisierenden Kraftmoments des Quadrizepszugs auf die Patella durch die Beschreibung der anatomischen Lagebeziehungen zwischen Trochlea femoris und Tuberositas tibiae, welche erstmals 1978 durch Goutallier publiziert wurde.<sup>12</sup> Die ersten Beschreibungen erfolgten anhand von konventionellen Röntgenbildern, in den Achtziger Jahren folgten genauere Messungen mit Hilfe von CT-Bildern. Entsprechend den anatomischen Orientierungspunkten ergab sich nun die Bezeichnung "Tibial Tuberosity – Trochlear Groove Distance" (im Folgenden TT-TG). Als pathologischer Grenzwert für den TT-TG wurde in folgenden Publikationen 20 mm angegeben, wobei bislang nur unzufriedenstellend zwischen Männern und Frauen unterschieden wurde. Schoettle konnte 2006 nachweisen, daß eine exakte Bestimmung des TT-TG auch in der ohnehin häufig nach stattgehabter Patellaluxation durchgeführten MRT möglich ist und eine zusätzliche, durch ionisierende Strahlung

belastende, CT-Untersuchung zur Bestimmung des TT-TG nicht erforderlich ist. Als Normwert für den TT-TG hatte Schöttle 13 mm genannt.<sup>13</sup> Ob diese Normwerte für Männer und Frauen gleichermaßen gelten blieb weiterhin unklar.



**Abbildung 4 - MRT: Schematische Darstellung zur Bestimmung des TT-TG<sup>14</sup>**

**Linkes Bild:** Die erste Gerade wird durch den tiefsten Punkt der Trochlea femoris gezogen. Sie ist definitionsgemäss im Lot zu einer Geraden durch die posteriore Kondylenebene.

**Rechtes Bild:** Die zweite Linie wird – in einer zweiten Ebene auf Höhe des Tibiakopfes - parallel zur ersten Gerade durch den prominentesten Punkt der Tuberositas tibiae/Mitte der Patellarsehne gezogen. Der Abstand zwischen den beiden Linien beschreibt den TT-TG Abstand.

Ziele dieser Arbeit sind nun die Ermittlung von geschlechtsspezifischen Normwerten und pathologischen Grenzwerten anhand der Auswertung von MRT-Untersuchungen.

Ebenfalls bisher unberücksichtigt blieb die Vermutung, daß bei kleineren Patienten und damit kleineren Kniegelenken ein entsprechend kleinerer TT-TG-Abstand bereits als pathologisch angesehen wird als bei einem grossen Kniegelenk. Dies soll im Rahmen der Untersuchung der Relation des TT-TG zur Körpergrösse Beachtung finden. Zudem soll der Einfluss von häufig begleitenden Bandverletzungen des Knies (Kreuzbänder/ mediales Kollateralband) auf die Bestimmung des TT-TG-Wertes ermittelt werden.

## 2 Grundlagen

---

### 2.1 Epidemiologie der patellofemorale Instabilität

Die Patellaluxation ist eine Dislokation der Patella aus ihrem femoralen Gleitlager heraus. Diese betrifft meist jüngere Patienten, wobei das weibliche Geschlecht häufiger betroffen ist. Die allgemeine Inzidenz wird altersabhängig mit 7-49/ 100.000 angegeben. Die Anzahl der Erstluxationen in Deutschland betragen etwa 23.000 pro Jahr.<sup>15 16 17</sup>

Die Patellaluxation macht etwa 2-3% aller Knieverletzungen aus und stellt die zweithäufigste Ursache eines Hämarthros dar.<sup>18 19</sup> Die Rate der Rezidivluxation liegt bei 15% – 44%.<sup>20 21 22</sup>

Obwohl Rezidive eher die Ausnahme als die Regel darstellen, leiden die meisten Betroffenen an persistierenden Beschwerden und Aktivitätseinschränkungen. Sechs Monate nach Luxationsergebnis sind 58% der Patienten im Rahmen anstrengender Tätigkeit deutlich eingeschränkt. 55% der Betroffenen konnten im genannten Zeitraum noch keine sportlichen Aktivitäten aufnehmen.<sup>15</sup>

Die Erstluxation tritt meistens in der Jugend auf, wobei wie bereits genannt Frauen häufiger betroffen sind.<sup>23 24</sup>

Auf eine familiäre Häufung wurde in der Literatur mehrfach hingewiesen. Dies gilt auch für möglicherweise zugrundeliegende anatomische Merkmale wie die Trochleadysplasie, welche signifikant die patellofemorale Stabilität beeinflusst.<sup>4</sup>

Studien haben gezeigt, daß die Form des patellofemorale Gleitlager eine genetisch determinierte Morphologie darstellt.<sup>25 26</sup>

Noch nicht erschöpfend geklärt ist, ob eine im Gleitlager schlecht geführte Patella langfristig zur Abflachung der trochleären Grube führt oder eine bereits bei Geburt vorliegende dysplastische Trochlea eine dauerhafte Patellainstabilität mit sich bringt.

### 3 Anatomie und Biomechanik

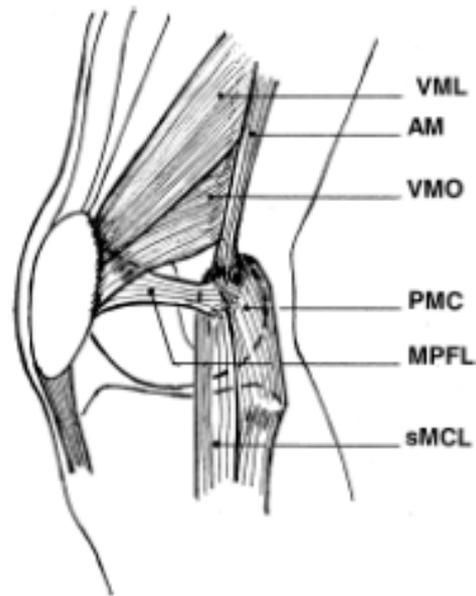
---

Das Kniegelenk als grösstes Gelenk des Menschen besteht aus dem patellofemoralem und dem tibiofemoralem Gelenk. Im hier beleuchteten patellofemoralem Gelenk artikuliert die knorpelige Rückseite der Patella – *Facies articularis patellae* – mit der ebenfalls knorpeligen, nach ventral gerichteten Gleitrinne des distalen Femurs – *Facies patellaris ossis femoris* – auch *Trochlea femoris* genannt.

Die mediale und laterale Facette der *Trochlea femoris* bilden die äusseren Begrenzungen des *Sulcus femoris*, welcher der Patella als Führungsrinne dient. Die deutlich prominente und auch längere laterale Facette wirkt der durch den Quadrizepszug bedingten Lateralisierungstendenz der Patella entgegen. Der *Sulcus* vertieft sich nach distal hin und wirkt einer Luxation vor allem bei höheren Flexionsgraden entgegen.

Bei normalen anatomischen Verhältnissen wirken auf die laterale Facette deutlich höhere Kräfte ein. Die Form der Patella erinnert an ein Dreieck. Als grösstes Sesambein des Körpers ist die Patella in die Sehne des Quadrizepsmuskels eingebunden, wobei sich die teils überkreuzenden Sehnenfasern nach distal hin in das *Ligamentum patellae* fortsetzen. Nach ventral gerichtet befinden sich am proximalen Ende der Tibia die *Tuberositas tibiae*, an welchen das Ligament ansetzt.

Die in jüngeren Lebensjahren noch dick mit Knorpel überzogene Rückseite der Patella ist gelenkbildend mit den den Femurkondylen aufsitzenden Facetten, und weist wie die *Trochlea* je eine mediale und laterale Facette auf.



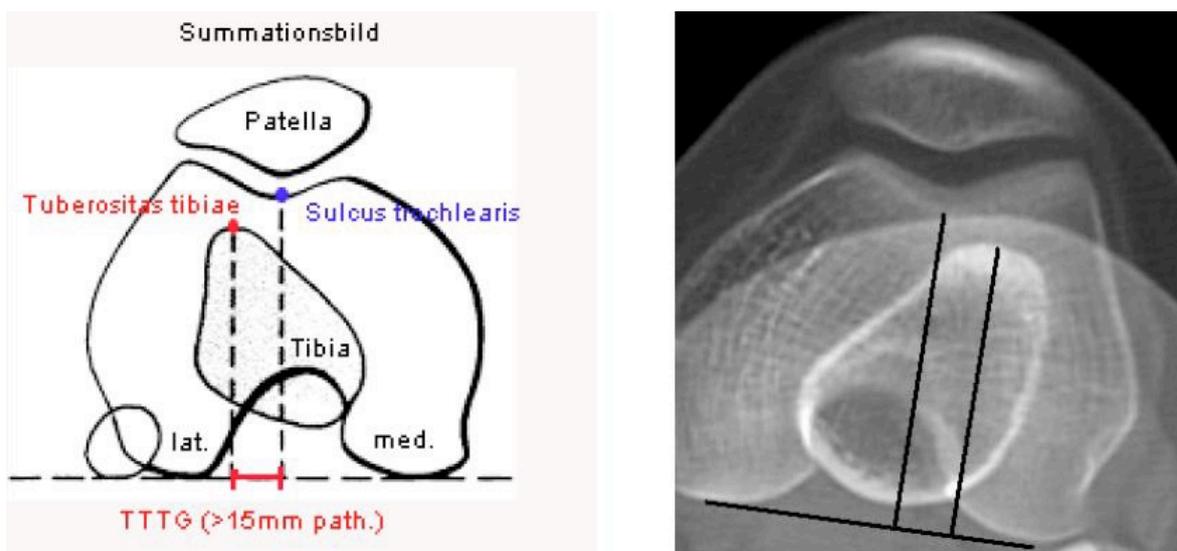
**Abbildung 5 - Anatomische Lagebeziehung des MPFL zu umgebenden Strukturen<sup>27</sup>**

Als Teil der Quadrizepssehne verlängert die Patella den Hebelarm der Oberschenkelstreckmuskulatur und wirkt damit als Hypomochlion. Sich bereits aus seiner Bezeichnung erschliessend, stellt sich der M.Quadrizeps vierköpfig dar. Er setzt sich zusammen aus M.rectus femoris, M.vastus medialis, intermedius und lateralis. Fasern des M.vastus medialis bilden das Retinaculum patellae mediale. Strukturen des M.rectus femoris und des M.vastus lateralis dienen als Basis für das Retinaculum patellae laterale. Neben den Retinaculae zählen u.a. die Gelenkkapsel, Faszien, Aponeurosen und vor allem das Mediopatellofemorale Ligament (MPFL) zu den passiven Stabilisatoren. Das MPFL ist Teil des medialen patellofemorales Komplexes, in welchem Warren und Marshall drei Schichten identifiziert haben.<sup>28</sup>

Das MPFL ist im Rahmen einer Erstluxation fast immer betroffen. In mehr als 90% der Fälle rupturiert oder zumindest teiltrupturiert es. Die Bedeutung in biomechanischer Hinsicht veranschaulicht u.a. die Arbeit von Hautamaa et.al.<sup>29</sup> Hierbei wurden in 30° Knieflexion nach Anspannung des M.Quadrizeps mit 9 N eine lateralisierende Kraft auf die Patella von 22 N angelegt. Nach Durchtrennung des MPFL zeigte sich eine Zunahme der Patellalateralisierung um 5 mm. Zahlreiche weitere biomechanische Studien kommen zu dem Ergebnis, daß die medialen passiven Stabilisatoren in Extension angespannt sind,

wohingegen diese in zunehmender Flexion und Entspannung keine relevante stabilisierende Wirkung mehr aufweisen können. Dann kommt der Stabilisierung durch den Sulcus eine zunehmend bedeutendere Rolle zu.<sup>30 31 29 32 33 34 35 27 28</sup>

In Kniestreckung liegt die Patella auf dem suprapatellaren Recessus, lediglich der Apex patellaris steht mit dem Sulcus in Kontakt. Mit zunehmender Beugung taucht die Patella von proximal nach distal vollständig in die Gelenkrinne ein und legt dabei beim Erwachsenen eine Strecke von bis zu 7cm zurück. Je nach Flexionsgrad variieren die patellofemorale Kontaktfläche und der patellofemorale Kontaktdruck. Der Kontaktdruck ergibt sich aus den Kraftvektoren von Quadrizeps und Patellarsehne, variiert mit dem Beugegrad und ist bei etwa 60° Flexion am grössten. Die Kontaktfläche hingegen nimmt kontinuierlich mit der Flexion zu.



**Abbildung 6 - Schematische Darstellung des TT-TG Abstands<sup>36</sup>**

Wie bereits in der Einführung angedeutet ist die anatomischen Lagebeziehungen zwischen Trochlea femoris und Tuberositas tibiae – der TT-TG, ein bedeutender Faktor für die patellofemorale Instabilität.<sup>12</sup>

## 4 Ätiologie der patellofemorale Instabilität

---

Die patellofemorale Stabilität wird durch zahlreiche Faktoren bedingt. Unter physiologischen Bedingungen besteht ein Gleichgewicht der die Patella stabilisierenden Kräfte am Kniegelenk. Lateralisierend wirken der Quadrizepszug, der Tractus iliotibialis, das laterale Retinakulum und der M.vastus lateralis. Dem wirken entgegen der M. vastus medialis und M. vastus obliquus, das Gleitlager des lateralen Femurkondylus, das mediale Retinakulum bzw. der mediale Kapselbandapparat. Ohne pathologische Veränderungen der Anatomie ist eine Patellaluxation nur im Rahmen schwerer Traumen wie zum Beispiel ausgeprägter direkter Anpralltraumen möglich.<sup>37 29</sup>



**Abbildung 7 - Patellaluxation links in vivo und im konventionellen Röntgenbild <sup>38</sup>**

Abweichungen im Bereich der stabilisierenden Strukturen können jedoch eine Dysbalance der wirkenden Kräfte und damit einen verstärkten Zug der Patella nach lateral und damit die Dislokation begünstigen. Eine Luxation der Patella nach medial ist sehr selten und tritt meist postoperativ nach einem inzwischen deutlich weniger häufig durchgeführten Release des lateralen Kapsel-Band-Apparats auf. Eine oder mehrere anatomische Formabweichungen

chungen im Sinne pathologischer Veränderungen des statischen oder passiven Halteapparates können nun über eine Störung des Kräftegleichgewichts zur Luxation führen. Angeborene prädisponierende Faktoren wie Trochleadysplasie, Patella alta, Genu valgum, lateralisierte Tuberositas tibiae, vermehrte Tibiaausserrotation, vermehrte Femurinnenrotation bzw. –antetorsion, gesteigerte allgemeine Bandlaxizität und Adipositas wurden in den letzten Jahrzehnten mehrfach in der einschlägigen Literatur genannt. Ebenso erworbene Abweichungen wie Gelenkdeformitäten nach Trauma, Tumoren oder Infektionen, neurologische Erkrankungen mit konsekutiven Muskelschwächen oder Kontrakturen sowie posttraumatischer Schädigung des Kapselband-Apparates. Systemische Erkrankungen wie Marfan-, Down- oder Ehler-Danlos-Syndrom und Arthrogrypose können über verschiedene Mechanismen ebenfalls mit Dislokationen der Patella einhergehen.<sup>15 39 6 21</sup>

33 40

#### **4.1 Formen der Patellaluxation**

Der Begriff „patellofemorale Instabilität“ beinhaltet die Begriffe Patellaluxation, Patella-subluxation und die generelle patellofemorale Instabilität. Grundsätzlich wird zwischen anlagebedingten atraumatischen und durch Trauma bedingte Patellaluxationen unterschieden. Bei der habituellen atraumatischen Form der Luxation und Subluxation bedarf es keines adäquaten Traumas. Bereits bei alltäglichen Belastungen luxiert die Patella, bevorzugt bei leichter Flexion, aus dem femoropatellaren Gleitlager nach aussen. Häufig relokalisiert sie sich in Extension selbst oder kann selbstständig reponiert werden, ohne grössere Beschwerden zu verursachen. In der klinischen Untersuchung findet sich meist nur noch ein schmerzhaftes Kniegelenk, sowie gelegentlich ein Gelenkerguss, meist ohne Hämarthros. Im weiteren Verlauf treten die Luxationen immer öfter und leichter auf. Die habituelle Patellaluxation wird beim männlichen Geschlecht deutlich seltener gesehen. Typischerweise kommt es beim Sport zum „giving way“, also dem plötzlichen Einknicken des Kniegelenks. Die Vererbung morphologischer Gegebenheiten wie Genu valgum oder Trochleadysplasie können diese begünstigen.<sup>41 42 21 23 24</sup>

Sehr selten ist die kongenitale Patellaluxation, welche meist beidseitig, dann aber häufig mit weiteren Deformitäten im Rahmen einer systemischen Erkrankung der Weichteile oder des Bewegungsapparates auftritt und oft erst im Kindergartenalter auffällig wird.<sup>24</sup>

Die traumatische Patellaluxation wird durch Einwirkung grösserer Kräfte mit mediolateral gerichtetem Kraftvektor bewirkt. Diese Form bringt stärkere Schmerzen und fast regelhaft einen Hämarthros mit sich. Nach reflektorischer Quadrizepsanspannung gleitet die Patella gelegentlich eigenständig in die ursprüngliche Position zurück, muss jedoch häufig durch Ersthelfer oder Arzt reponiert werden. Durch die Luxation, aber sehr häufig auch durch die Reposition der Patella, kommt es regelmässig zu osteochondralen/chondralen Läsionen an der medialen Patellafacette oder/und der lateralen Femurkondyle. Diese Abscherläsionen, sog. Flake-Frakturen, treten wie die traumatische Form der Patellaluxation an sich am häufigsten bei männlichen Jugendlichen auf. Nach traumatischer Erstluxation kann es infolge einer sekundären Instabilität des Kapselbandapparates zu einer dauerhaften Luxationsneigung, der sogenannten chronisch rezidivierenden Patellaluxation, kommen.<sup>43 22 44</sup>

#### **4.2 Wesentliche Faktoren für die Stabilität des patellofemoralen Gelenkes**

Das Verständnis der komplexen Interaktion der am Kniegelenk beteiligten anatomischen Strukturen sowie der daran geknüpften funktionellen Pathoanatomie ist Grundvoraussetzung für das Verstehen der patellaren Dislokation und der daraus resultierenden Therapieansätze. Innerhalb der letzten drei Jahrzehnte hat ein beträchtlicher Wissenszuwachs, auch aufgrund jüngerer biomechanischer Studien, zur genaueren Analyse der Ursachen der patellofemoralen Stabilität und von daraus abgeleiteten neuen Therapieansätzen geführt. Grundlegend unterscheidet man drei Faktoren, welche in Wechselwirkung stehen und die Stabilität und Funktion des patellofemoralen Gelenkes bestimmen. Statische (Knochengeometrie), passive (Bänder und Gelenkapselanteile) und aktive (Muskulatur) Stabilisatoren.

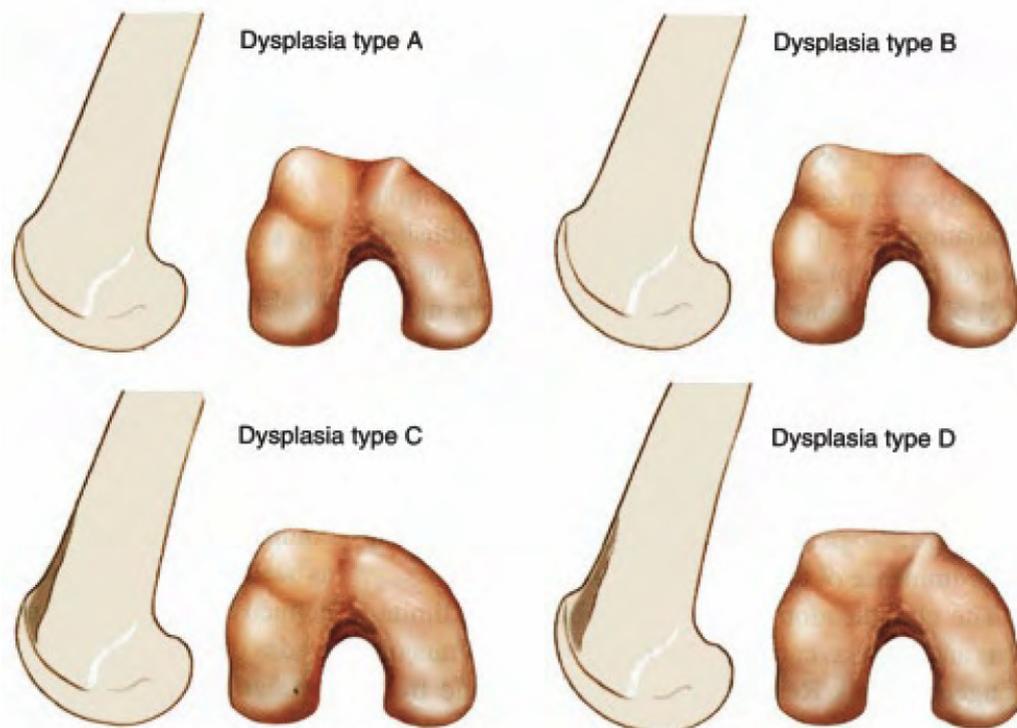
#### **4.2.1 Statische Faktoren**

Zu den statischen Faktoren werden die Geometrie des patellofemoralen Gleitlagers, insbesondere die Form der Trochlea, die Höhenanordnung der Patella und die Femurachsen gezählt. Besonders die laterale Trochleafacette stellt sich stabilisierend gegen den auf die Patella lateralisierenden Quadrizepszug.

Die stabilisierende Wirkung der Trochlea hängt massgeblich vom Flexionsgrad im Kniegelenk ab. Bei Extension befindet sich die Patella proximal der Gelenkrinne, sodass diese hier noch keinen stabilisierenden Einfluss auf die Führung haben kann. Bei einer normalen patellaren Morphologie nimmt die Trochlea erst ab einer Flexionsgrad von 20° eine nach lateral stabilisierende Funktion ein, da erst dann die Patella in kranio-kaudaler Richtung in die Gelenkrinne eintaucht.

Bei einer dysplastischen Trochlea liegt eine abgeflachte oder sogar konvexe Form vor. Der Sulcuswinkel ist vergrössert und konsekutiv ist die Führung der Patella insuffizient.

Die Trochleadysplasie ist einer der Hauptriskofaktoren und wird, in zumindest geringerer Ausprägung, bei fast allen Patienten mit patellofemorale Instabilität gefunden. Durch die fehlende oder mangelhafte Führung kann die Patella nun nach proximal und lateral geschoben werden.



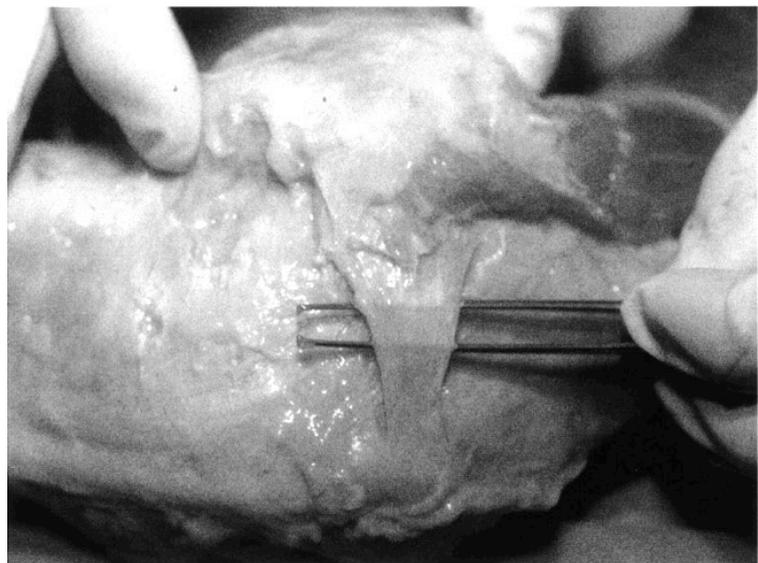
**Abbildung 8 - Einteilung des Trochleardysplasiegrade nach Dejour et al.<sup>4</sup>**

Es liegt nun ein Hochstand der Patella, die sogenannte Patella alta vor. Aufgrund der Abflachung der lateralen Kondyle weist die Patella dann oft eine erhöhte Kippung (Tilt) und Verschiebung (Shift) nach lateral auf. Auch Rotationsabweichungen (vermehrte Innenrotation des Femurs oder Aussenrotation der Tibia) oder Achsabweichungen (Genu valgum) können eine Lateralisierung der Patella begünstigen. In der Folge führen diese Abweichungen zur Medialisierung des Gleitlagers und damit indirekt zur Lateralisierung der Patella.<sup>45 46 47 48 49 50 51 52</sup>

#### **4.2.2 Passive Faktoren**

Nach Warren und Marshall werden die passiven (medialen) Stabilisatoren in drei Schichten eingeteilt.<sup>28</sup> Aus dieser Gruppe ist besonders das mediale patellofemorale Ligament (MPFL) als primärer Stabilisator gegen laterale Translation hervorzuheben. Da in strecknaher Position noch keine Stabilisierung durch die Trochlea erfolgen kann, ist hier das MPFL die einzige relevante Struktur, welche dem lateralisierenden Kraftmoment des M. Quadrizeps entgegenwirken kann. Kadaverstudien ergaben, daß in strecknaher Position

das MPFL den Hauptanteil am Widerstand gegen den lateralisierenden Quadrizepszug trägt. Mehrere Studien konnten aufzeigen, daß im Falle einer Erstluxation fast immer (>90%) das MPFL rupturiert oder zumindest teilrupturiert. Ohne Ruptur dieser Bandstruktur, im Falle eines Erstereignisses, oder Insuffizienz bei rezidivierenden Ereignissen ist eine Luxation kaum denkbar. Auffällig ist ausserdem das vermehrte Vorkommen dysplastischer Bandstrukturen und Trochleamorphologien im Rahmen von Rezidivluxationen. Es erscheint leicht verständlich, daß bei von Kindheit an bestehender Patella alta sich das durchgehend unter Zug stehende MPFL nicht ausreichend entwickelt präsentieren kann. Die lateralen Band- und Kapselstrukturen haben für die Stabilität des patellofemorales Gelenks eine deutlich geringere Bedeutung. Desio et al. konnten zeigen, daß diese mit etwa 10% der Lateralisierung der Patella entgegenwirken, was bei insuffizienten medialen Stabilisatoren durchaus eine Rolle spielen kann<sup>32</sup>. Das lange Zeit populäre "Lateral Release" spielt aufgrund dieser Feststellungen in der patellofemorales Chirurgie zunehmend eine untergeordnete Rolle.<sup>31 30 53 49 32 29</sup>



**Abbildung 9 - Anatomie des MPFL<sup>9</sup>**

#### **4.2.3 Aktive Faktoren**

Die aktiven Faktoren der patellofemorales Instabilität bestehen aus den Anteilen des Quadrizepsmuskels, wobei besonders der M.vastus medialis obliquus (VMO) einer Lateralisation entgegensteht. Die in der Anatomie begründete Prädisposition zur Lateralisierungstendenz lässt sich mit dem nach lateral offenen Q-Winkel beschreiben, welcher aus

dem Gesamtvektor des M.Quadrizeps und der Patellarsehne gebildet wird. Mit zunehmendem Winkel steigt das lateralisierende Kraftmoment auf die Patella, wobei Werte über 18°-22° als pathologisch angesehen werden. Der Q-Winkel ist jedoch von einer Vielzahl von Faktoren abhängig und seine Reproduzierbarkeit daher unzuverlässig. Die aktiven Faktoren haben an der patellofemorale Stabilität den geringsten Anteil. Erst ab einem Flexionsgrad von > 60°, bewirkt der Kraftvektor des VMO eine stabilisierende Wirkung, welche sich durch die Tatsache der inzwischen in die Trochlea eingeglittenen Patella relativiert. Selbst bei vorliegender dysplastischer Trochlea spielt die stabilisierende Rolle der Muskulatur bei diesen Beugegraden nur noch eine untergeordnete Rolle.<sup>47 54 55 9 52</sup>

Die Stabilität des patellofemorale Gelenks wird also in den jeweiligen Beugegraden durch verschiedene anatomische Strukturen unterstützt. Strecknah erfolgt dies fast ausschliesslich durch passive Faktoren wie das MPFL, mit zunehmendem Eintauchen der Patella in den Sulcus kommt es nun zunehmend zur Ablösung durch statische Faktoren. Erst nach komplettem Eingleiten der Patella in die Trochlea femoris können aktive Komponenten einen kleinen Beitrag zur Stabilität beitragen. Es sind folglich passive und statische Faktoren, welche massgeblich für die Stabilität des patellofemorale Gelenks sind.

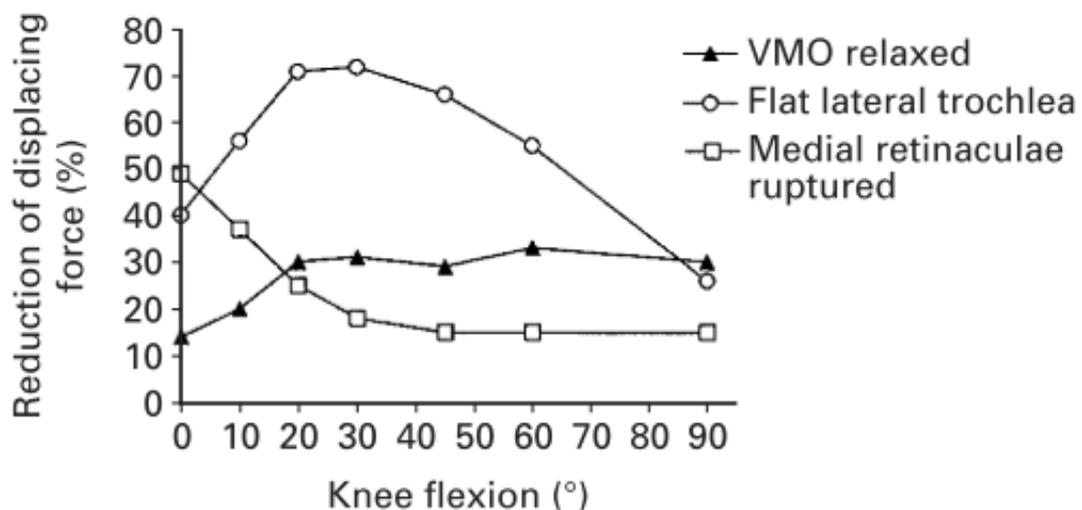


Abbildung 10 - Stabilisoren der Patella nach Flexionsgrad<sup>30</sup>

## 5 Stand der Wissenschaft und Fragestellung

---

Goutallier war der erste Autor, welcher 1978 mit Hilfe der anatomischen Lagebeziehung zwischen Trochlea femoris und Tuberositas tibia eine zuverlässige und gut reproduzierbare Abschätzung des lateralisierenden Kraftmoments des Quadrizepszugs auf die Patella beschrieb.<sup>12</sup> Später wurden genauere Messungen an CT-Bildern durchgeführt. Köter et al. hatten einen Abstand  $> 15$  mm als pathologisch betrachtet<sup>56</sup>, hingegen Dejour et al. einen Tuberositastransfer ab einem TT-TG von 20 mm empfohlen<sup>4</sup>. Als Normwert für den TT-TG nannte Schöttle in seiner Arbeit 13 mm<sup>13</sup>. Darüberhinaus konnte er nachweisen, daß MRT-Untersuchungen ebenso geeignet sind, um den TT-TG zuverlässig zu bestimmen und sich somit zusätzliche strahlenbelastende CT-Untersuchungen vermeiden lassen. In den CT-Messungen ergab sich für Luxationspatienten ein durchschnittlicher TT-TG von  $14,4 \pm 5,4$  mm und ein TT-TG von  $13,9 \pm 4,5$  mm in den MRT-Messungen.<sup>12 13 4 56</sup>

Zusammenfassend wird in der Literatur ein TT-TG von 20 mm oder mehr als pathologisch angesehen. Geschlechtsspezifische Unterschiede wurden bislang noch nicht untersucht. Balcarek et al. führten 2010 eine Studie zur Detektion von bildmorphologischen MRT-Charakteristika im Rahmen von Patellaluxationen durch, wobei der Fokus auf Verletzungsmustern des MPFL lag. Aus 1276 Kniescans wurden 73 Patienten der Studiengruppe mit eindeutiger Luxationsvorgeschichte und bildmorphologischen Kriterien zugeordnet. Die gleiche Zahl an Patienten wurden der Kontrollgruppe zugeordnet. 98,6% der Patienten mit akuter Patellaluxation wiesen eine komplette oder zumindest partielle Ruptur des MPFL auf. Patienten mit patellanahen MPFL-Rupturen zeigten signifikant erhöhte TT-TG. Für die Kontrollgruppe ergab sich als TT-TG  $10,66 \pm 3,50$  mm, für die zu untersuchende Gruppe  $12,75 \pm 3,97$  mm. Auffällig ist der bei patellanahen Rupturen ermittelte TT-TG von  $16,80 \pm 3,46$  mm.<sup>57</sup>

Mit dem Ziel geschlechtsspezifische anatomische Unterschiede bei Patellaluxationspatienten zu identifizieren führten Balcarek et al. 2010 eine weitere Studie durch. 100 Patienten mit Patellainstabilität in der Studiengruppe standen nun 157 Patienten ohne

dieses Merkmal in der Kontrollgruppe gegenüber. Hier wurde nun erstmalig zwischen Männern und Frauen unterschieden. Für Männer der Studiengruppe ergab sich ein TT-TG von  $12,6 \pm 4,7$  mm, für die Kontrollgruppe  $11,0 \pm 3,9$  mm. Für weibliche Luxationspatienten hingegen wurde ein durchschnittlicher TT-TG von  $14,1 \pm 3,7$  mm gemessen. In der Kontrollgruppe lag dieser bei  $10,0 \pm 3,5$  mm. Darüberhinaus ergab sich eine statistische Signifikanz für den Zusammenhang weibliche Luxationspatienten und Trochleadysplasie. Dies widerspricht nicht der Feststellung, daß sich Frauen, im Gegensatz zu Männern, eher im Rahmen eines Bagatelltraumas eine Luxation der Patella zuziehen.<sup>14</sup>

Eine weitere Arbeit von Balcarek et al. aus dem Jahr 2011 beleuchtete den TT-TG bei jugendlichen Sportlern mit Patellaluxation. 109 Patienten mit einer Luxationsanamnese standen hier 136 Patienten in der Kontrollgruppe gegenüber. 11% der Patienten hatten einen TT-TG  $> 20$  mm und 35% zeigten einen Abstand  $> 15$  mm. In der Kontrollgruppe lagen die Anteile bei 2,2% und 10,3%. Der durchschnittliche TT-TG in der Studiengruppe lag bei  $14,6 \pm 4,6$  mm, in der Kontrollgruppe bei  $10,6 \pm 4,0$  mm. Der Empfehlung Köeter et al. folgend wurde ein TT-TG  $> 15$  mm als pathologisch eingestuft. Der Einfluss des TT-TG auf die Patellaluxation stellte sich als unabhängig vom Patientenalter heraus.<sup>58</sup>

Dejour et. al veröffentlichten 1994 die Ergebnisse einer seit 1981 laufenden Studie mit dem Ziel der Detektion anatomischer Risikofaktoren bei Patellaluxation. Neben der Trochleadysplasie, der Quadrizepsdysplasie und dem Patellahochstand wurde auch der TT-TG als relevanter anatomischer Risikofaktor benannt. Als Grundlage dienten konventionelle Röntgenbilder und CT-Scans von 435 Luxationsknien. Schichtbildtomographisch ergab in der Kontrollgruppe ein TT-TG von  $12,7 \pm 3,4$  mm, in der Luxationsgruppe stieg dieser auf durchschnittlich  $19,8 \pm 1,6$  mm an. 56% der Luxationspatienten wiesen einen TT-TG  $> 20$  mm (3,5% in der Kontrollgruppe) auf, was in der Folge zum o.g. geschlechtsunspezifischen Grenzwert von 20 mm führte.<sup>4</sup>

Dornacher et al. untersuchten MRT Aufnahmen von 61 Kniegelenken mit PFI und 38 Kniegelenken ohne dieses Merkmal. Als Mittelwert für die TT-TG-Distanz ergab sich  $16,0 \pm$

4,6 mm. Die inter- und intraobserver Korrelation bei der Messung dieses Parameters, in Abhängigkeit vom Schweregrad der Trochleadysplasie standen im Zentrum dieser Arbeit. Insbesondere bei höhergradiger Trochleadysplasie (Grad C/D nach Dejour) zeigte sich aufgrund der problematischen Bestimmung von standardisierten Messpunkten eine deutliche Reduktion der inter- und intraobserver Korrelation für die Messung des TT-TG.<sup>59</sup>

Hingelbaum et al. gingen 2012 einen Schritt weiter. Auf dem Boden der Annahme, daß der ermittelte TT-TG in einem kleinen Knie ein andere Wertigkeit haben musste als in einem grossen Knie, hatte man nach einem entsprechenden Index gesucht. Es wurde der TT-TG durch die proximo-distale Distanz zwischen dem chondralen Trochleaeingang (TE) und der Höhe der Tuberositas tibiae (TT), der TT-TE-Distanz relativiert (TT-TG-Index =  $TT-TG/TT-TE$ ). Die durchschnittliche TT-TG-Distanz wurde mit  $14 \pm 2$  mm ermittelt, wobei keine geschlechtsspezifischen Unterschiede bezüglich dieses Parameters zu erkennen waren. In der Folge ergab sich auch bei den berechneten TT-TG-Indizes kein signifikanter Geschlechtsunterschied. Im betrachteten Patientenkollektiv lag der durchschnittliche TT-TG-Index mit 0,23 signifikant über dem des gesunden Kollektivs mit 0,12.<sup>60</sup>

Lustig et. al veröffentlichten 2007 die Ergebnisse einer retrospektiven Studie basierend auf CT-Scans. Messungen an 48 Knien von Luxationspatienten ergaben einen durchschnittlichen TT-TG von  $17,0 \pm 4,5$  mm.<sup>62</sup>

Eine vielzitierte Studie von Schöttle et al. aus dem Jahr 2006 beschrieb die Zuverlässigkeit von TT-TG-Messungen in MRT-Scans im Vergleich zu den bis dato als Goldstandard geltenden Messungen an CT-Scans. Studiengrundlage waren Messungen an 12 Knien, wobei 10 Patienten eine Luxationsvorgeschichte vorweisen konnten und die verbleibenden zwei Patienten vordere Knieschmerzen zu beklagen hatten. Sich an knöchernen Strukturen orientierend, ergaben sich für die TT-TG-Distanz in den CT-Messungen  $14,4 \pm 5,4$  mm, in den MRT-Scans  $13,9 \pm 4,5$  mm. Es konnte also gezeigt werden, daß das ohnehin häufig nach stattgehabter Patellaluxation durchgeführte MRT des Knies ebenso zuverlässig zur Bestimmung des Parameters taugt.<sup>13</sup>

Alemparte et al. veröffentlichten 2006 die Ergebnisse einer Studie an einem Kollektiv von 30 gesunden Absolventen einer Polizeischule. Konventionelle Röntgenbilder sowie CT-Scans von insgesamt 60 Knien dienten als Grundlage zur Bestimmung verschiedener Parameter. Frauen wiesen mit  $12,5 \pm 3,16$  mm einen im Vergleich zu Männern ( $14,8 \pm 5,19$  mm) kleineren TT-TG auf.<sup>63</sup>

Basierend auf dem dargestellten Stand der Wissenschaft ergaben sich für die vorliegende Dissertation nun folgende Fragestellungen:

1. Können für Männer und Frauen unterschiedliche spezifische Normwerte bzw. Normbereiche für den TT-TG-Abstand festgelegt werden?
2. Welche pathologischen Grenzwerte ergeben sich für Männer und Frauen auf der Grundlage der von uns erhobenen Daten?
3. In welchem Ausmaß haben Bandverletzungen, im Sinne von Verletzungen des medialen Kniekollateralbandes und/oder der Kreuzbänder, einen Einfluss auf den TT-TG-Abstand?
4. Inwieweit hat die Körpergrösse einen Einfluss auf den TT-TG-Abstand?

## 6 Material und Methoden

---

### 6.1 Studiendesign und Patientengut

In dieser explorativen Arbeit wurden als Zielgröße ca. 100 Patienten ohne patellofemorale Pathologie (Normalkollektiv), ca. 50 Patienten mit Bandverletzungen und jeweils 25 Patienten mit Erstluxation sowie 25 Patienten mit Rezidivluxation der Patella definiert.

Grundlage dieser Arbeit sind MRT-Untersuchungen, die zwischen 02/2003 und 08/2013 aufgrund einer Kniegelenkverletzung in der Chirurgischen Klinik und Poliklinik Innenstadt der Ludwig-Maximilians-Universität in Zusammenarbeit mit dem Radiologischen Institut Innenstadt durchgeführt wurden.

Als Datengrundlage standen zur Verfügung:

- Die Patientenakte
- Die MRT-Bilder mit zugehörigen radiologischen Befunden

In der ersten Phase wurden daher alle MRT-Aufnahmen der Jahre 2008 und 2009 ausgemessen. Hier stellte sich heraus, dass nur ca. 10% der Patienten eine patellofemorale Pathologie hatten. Daher wurde der Zeitraum der Analyse auf alle MRT-Untersuchungen zwischen Februar 2003 und August 2013 erweitert und anhand der Diagnosen in der Patientenakte gezielt nach Patellaluxationen gesucht.

Im Vorfeld wurden folgende Einschlusskriterien definiert:

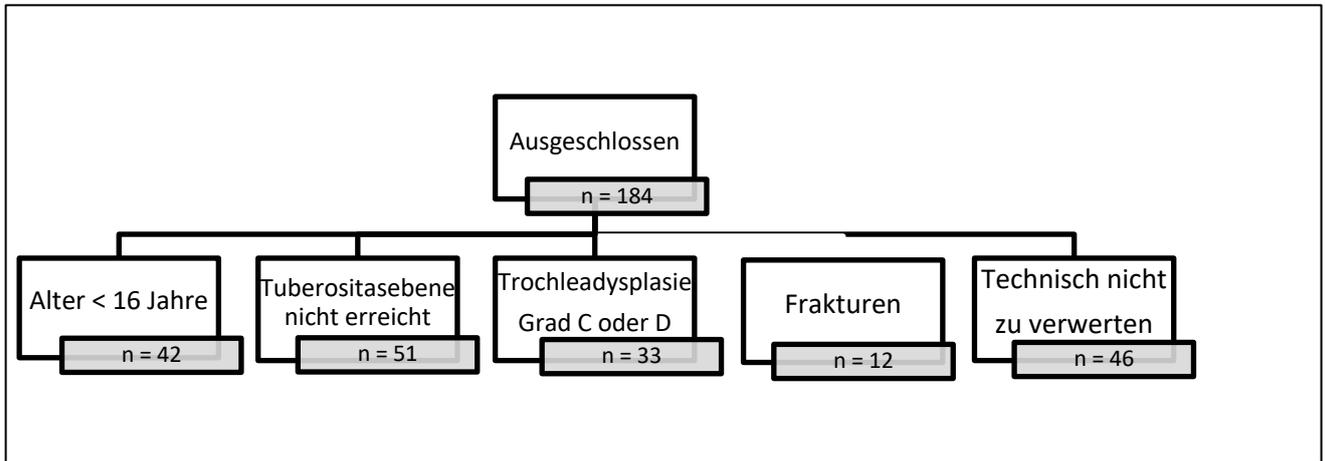
- Alter mind. 16 Jahre
- MRT-Darstellungen der Kniegelenke, bei welchen die Ebene der Tuberositas tibiae eindeutig erkennbar war

Die Ausschlusskriterien waren:

- Frakturen im Bereich des Kniegelenks
- Trochleadysplasien Grad C und D nach Dejour
- unbrauchbare Darstellungen aufgrund technischer Probleme und Artefakte

Zur Klärung der Frage, ob und wie oft Luxationen auftraten, wurde die Patientenakte sowie der MRT-Befund analysiert.

Insgesamt wurden 439 Patienten identifiziert. Aufgrund der o.g. Kriterien mussten 184 Patienten ausgeschlossen werden. (siehe Abbildung 11).



**Abbildung 11 - Übersicht der ausgeschlossenen Patienten**

Die manuell ermittelten Messwerte sowie weitere Parameter wie Körpergröße, Körpergewicht und Geschlecht wurden nach Zuweisung einer laufenden Nummer in nachfolgend auszugsweise dargestellte Exceltabelle übertragen. Da sofort im Anschluss alle personenbezogenen Unterlagen vernichtet wurden, standen für die eigentliche wissenschaftliche Arbeit nur noch Daten in anonymisierter Form zur Verfügung, sodass keinerlei Rückschlüsse auf die Patienten mehr möglich war. Dies erfolgte im Sinne des informationellen Selbstbestimmungsrechts der Patienten.

## **6.2 Einteilung der Studienpopulation**

### **6.2.1 Kontrollgruppe**

In die Kontrollgruppe wurden jene Patienten aufgenommen, die sich nicht wegen einer Patellaluxation der Schichtbilduntersuchung unterzogen. Zur Untersuchung der Frage, ob Bandverletzungen (mediales Kniekollateralband und/oder Kreuzbänder) einen Einfluss auf den TT-TG hatten, wurde die Kontrollgruppe nochmals in Patienten mit und ohne Bandverletzungen unterteilt.

### 6.2.2 Luxationsgruppe

In die Luxationsgruppe wurden jene Patienten aufgenommen, bei denen Anamnese oder radiologische Hinweise auf eine Patellaluxation, wie z.B. ein Knochenödem (bone bruise) der lateralen Trochlea, Ruptur des Retinakulums, Flake-Frakturen etc. aufwiesen.

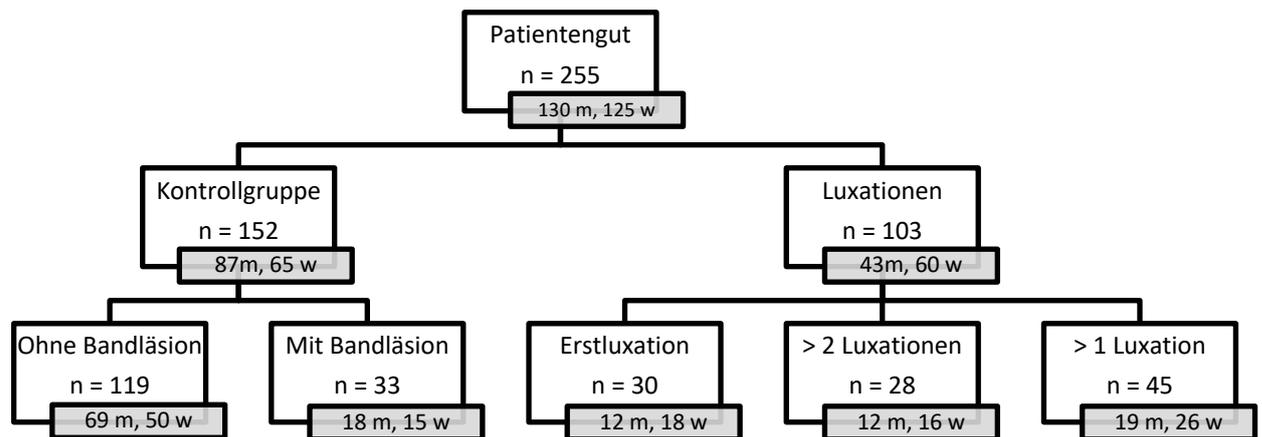


Abbildung 12 - Verteilung der Patienten nach Anwendung der Ausschlusskriterien

### **6.3 Messung des TT-TG-Abstands und Ermittlung weiterer Parameter**

Ausgangspunkt der Studie war die Recherche nach Knie-MRT-Aufnahmen, welche in oben genanntem Zeitraum im Auftrag der Chirurgischen Klinik Innenstadt durchgeführt wurden. Diese Schichtbilddarstellungen entstanden über Scans der in der Radiologischen Abteilung Innenstadt platzierten Kernspingeräte Siemens Harmony 1,0 Tesla, Siemens Verio 3,0 Tesla und Siemens Magnetom Aera 1,5 Tesla.

Die mithilfe der betriebsinternen LAMP-Software akquirierten Patientendaten wurden in das Bildbefundungsprogramm Syngo übertragen. Danach wurden hier gemäß im Anschluss erläuterten und zuvor festgelegten anatomischen Kriterien vier Schnitte in der Transversalebene bestimmt. Diese vier Schnittbilder waren von kranial nach kaudal:

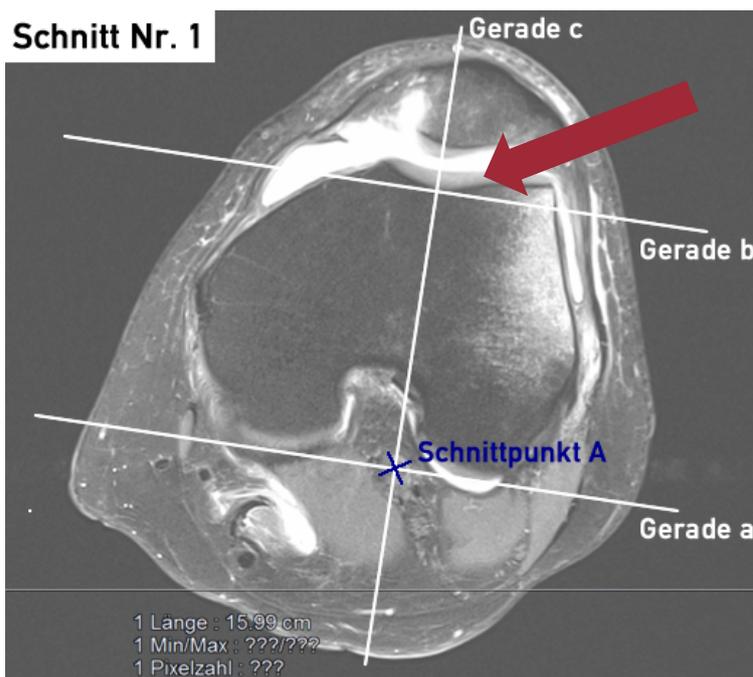
- Schnitt 1: Die Ebene, in welcher der tiefste Punkt der knöchernen Trochlea vollständig mit Knorpel bedeckt ist.
- Schnitt 2: Die Ebene mit dem grössten Abstand der Epikondylen zueinander.
- Schnitt 3: Die Ebene, in welcher die Kondylen am weitesten nach dorsal reichen.
- Schnitt 4: Die Ebene, in welcher die Prominenz der Tuberositas tibiae und die dort inserierende Patellarsehne eindeutig zu sehen sind.

Anmerkung: Die Ebenen 2 und 3 sind manchmal identisch.

Nach Zusammenführung der vier Schnittbilder in einer Microsoft PowerPoint-Datei konnte in den entsprechenden Ausdrucken die händische Vermessung nach standardisierter Vorgehensweise, der Mess-Vorschrift, erfolgen.

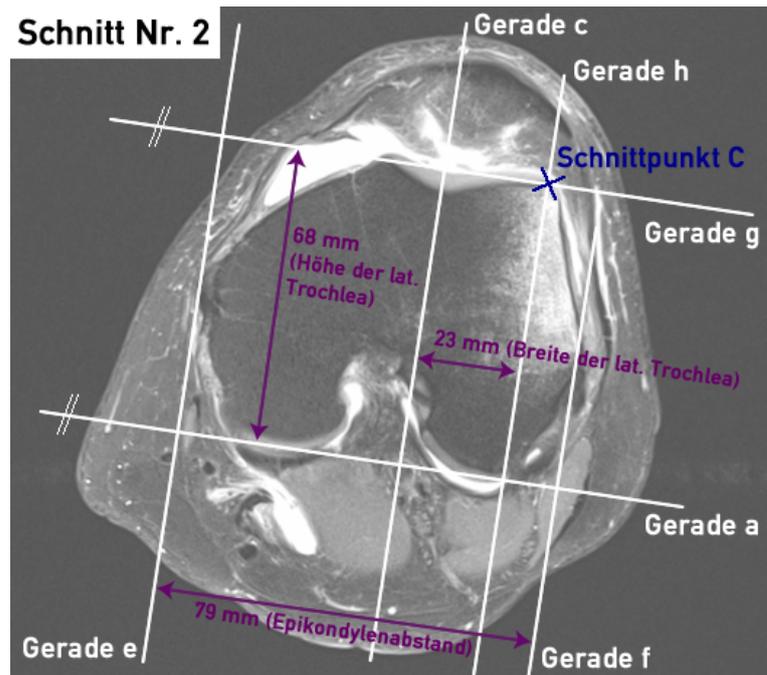
### 6.3.1 Meßvorschrift nach Goutallier/Bernageau

- Durch Verbinden der knöchernen Begrenzungen der Kondylen in **Schnitt 3** wurde die **posteriore Kondylenebene** als **Gerade a** festgelegt und deren Koordinaten in die **Schnitte 1,2 und 4** übertragen.



**Abbildung 13 - Kranialster Schnitt zur Bestimmung des tiefsten Punktes der Trochlea femoris (Roter Pfeil).**

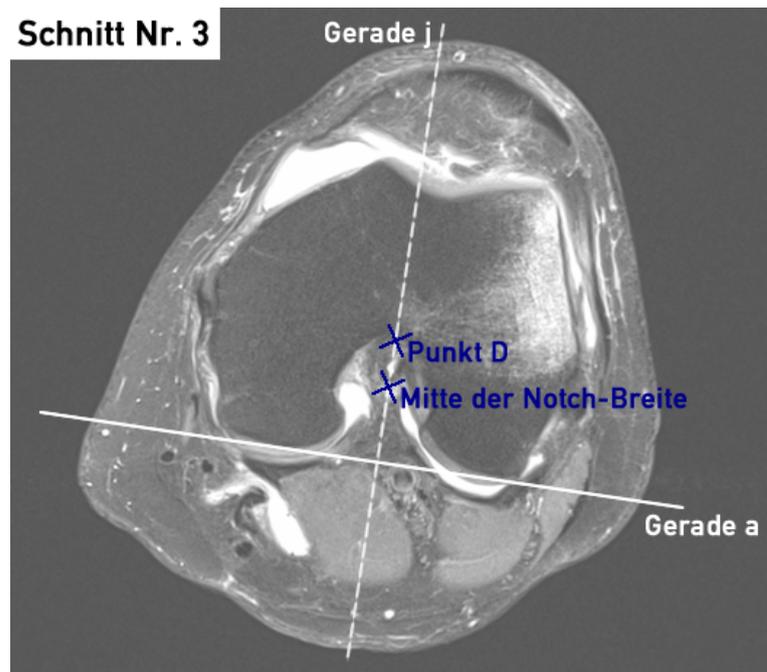
- Eine in **Schnitt 1** durch den tiefsten Punkt der **knöchernen Trochlea** gelegte Parallele zu **Gerade a** ergibt **Gerade b**.
- Die **Senkrechte** zu den **Geraden a** und **b** durch den **tiefsten Punkt** der **knöchernen Trochlea** führt zur **Geraden c** sowie zum **Schnittpunkt A** auf der **Geraden a**.
- Die Koordinaten von **Gerade c** werden nun in die **Schnitte 2 und 4** übertragen.



**Abbildung 14 - Die Ebene mit dem grössten Abstand der Epikondylen**

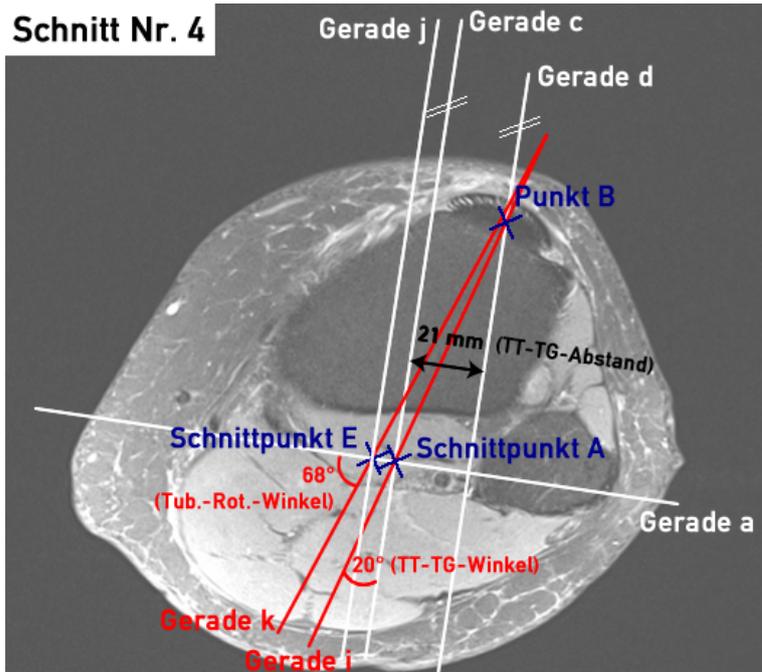
- In **Schnitt 4** führt die Bestimmung des **Mittelpunkts der Patellarsehne** zu **Punkt B**.
- Eine zu **Gerade c** und durch **Punkt B** gelegte **Parallele** bestimmt **Gerade d**.
- Das Ausmessen des **Abstands** zwischen den **Geraden c** und **d** ergibt den **TT-TG** in Millimeterangabe.
- Zwei in **Schnitt 2** gelegte **Parallelen** zur **Geraden c** durch die mediale und laterale knöcherne **Begrenzung der Epikondylen** ergeben die **Geraden e** und **f**.
- Der ausgemessene Abstand zwischen den **Geraden e** und **f** führt zum **Epikondylenabstand** in Millimeterangabe.
- In **Schnitt 2** wird eine **Parallele** zu **a** durch den **höchsten Punkt der lateralen knöchernen Trochlea** gelegt um **Gerade g** zu erhalten.
- Eine **Parallele** zu **Gerade c** durch den **höchsten Punkt der lateralen knöchernen Trochlea** ergibt **Gerade h** und den **Schnittpunkt C** der **Geraden g** und **h**.
- Das Ausmessen des **Abstands** zwischen den **Geraden c** und **h** führt zur **Breite der lateralen Trochlea** in Millimeterangabe.

- Das Maß des Abstands zwischen den **Geraden a** und **g** ergibt die **Höhe der lateralen Trochlea** in Millimeterangabe.
- Die Verbindungslinie zwischen den **Punkten A** und **B** in **Schnitt 4** ergibt **Gerade i**.
- Der kleinste Winkel zwischen den **Geraden c** und **i** bestimmt in **Schnitt 4** den **TT-TG-Winkel** (absolut) in Gradangabe.



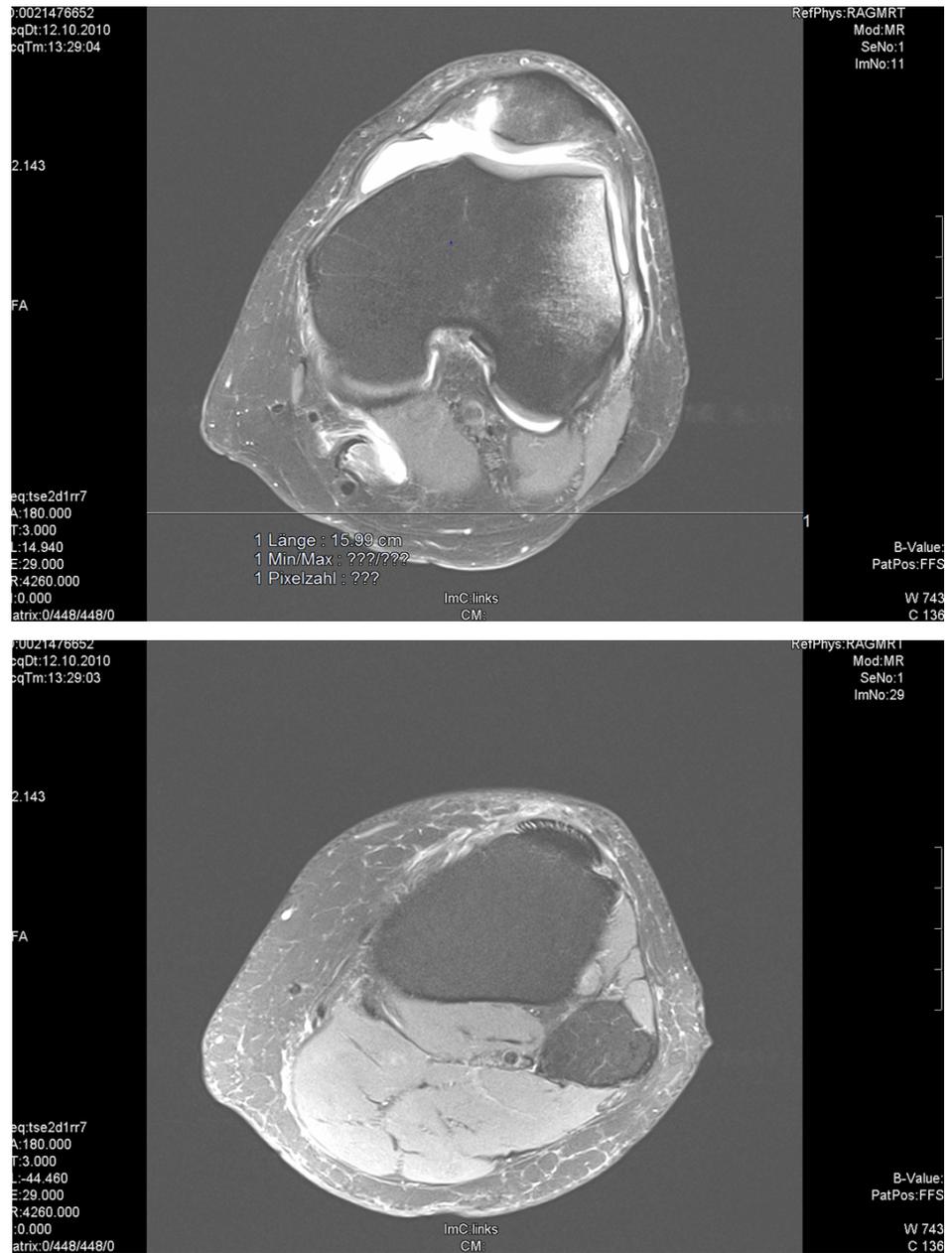
**Abbildung 15 - Die Ebene in welcher die Kondylen am weitesten nach dorsal reichen**

- In **Schnitt 3** wird die **Mitte** der nach dorsal gerichteten **Notch** (=Kerbe) festgelegt.
- Ein in **Schnitt 3** durch die **Notchmitte** auf **Gerade a** gelegtes **Lot** führt zur **Geraden j** und **Punkt D** auf dem **Dach der Notch**.
- Es schliesst sich die **Übertragung der Koordinaten** von **j** in **Schnitt 4** an.
- Der Schnittpunkt der **Geraden j** mit **a** wird **Punkt E** benannt.
- Die Verbindungslinie zwischen den **Punkten B** und **E** ergibt **Gerade k**.
- Der kleinste Winkel zwischen den **Linien a** und **k** bestimmt den **Tuberositasrotationswinkel** (absolut) in Gradangabe.



**Abbildung 16 - Die Ebene in welcher die Prominenz der Tuberositas tibiae und die dort inserierende Patellarsehne eindeutig zu sehen sind**

- Um Übertragungsfehler von Syngo in Powerpoint aufzudecken wurde zunächst die Länge von in Schnitt 1 von Hand eingetragene weisse Eichstrecke abgelesen.
- Im Anschluss wird der Quotient aus eben dieser tatsächlichen Länge und der im Ausdruck gemessenen Länge gebildet um Vergrößerungsfaktor F zu erhalten. Also hier  $F = 15,99 \text{ cm} : VV \text{ cm}$ .
- Zur Kontrolle wird in Schnitt 4 die seitlich rechts (**Original**) angegebene Standard-Eichstrecke (tatsächliche Länge 4cm) ausgemessen und der Quotient hieraus gebildet. Dieser wird Vergrößerungsfaktor  $F'$  genannt. Also hier:  $F' = 4,0 \text{ cm} : XX \text{ cm} = VV \text{ cm}$ .
- Bei nicht ausreichender Übereinstimmung von F und  $F'$  schloss sich eine Fehleranalyse an.



**Abbildung 17 -  
 Schnitt 1 (weisse Eichstrecke) und Schnitt 4 einer MRT-Untersuchung des linken Knies  
 der Chirurgischen Klinik und Poliklinik Innenstadt der LMU**

Die gemessenen Streckenlängen wurden mit dem Faktor F multipliziert, um die realen Werte zu erhalten, welche vor der weiteren Verwendung in die Excel-Datentabelle eingetragen wurden. Diese setzte sich wie folgt zusammen:

- Laufende Nummer
- Patientenalter
- Geschlecht (1 = m, 2 = w)
- Gruppenzugehörigkeit (1 = Kontrollgruppe ohne Bandläsion, 2 = Kontrollgruppe mit Bandläsion, 3 = Erstluxation, 4 = Rezidivluxation, 5 = unklare Anzahl an Luxationen)
- TT-TG in mm
- Epikondylenabstand in mm
- Breite der lateralen Trochlea in mm
- Höhe der lateralen Trochlea in mm
- TT-TG-Winkel in Gradangabe
- Tuberositas-Rotationswinkel in Gradangabe
- Körpergrösse in cm
- Körpergewicht in kg
- TT-TG-Index als Quotient aus TT-TG geteilt durch Epikondylenabstand
- TT-TG-Index als Quotient aus TT-TG geteilt durch Breite der lateralen Trochlea
- TT-TG-Index als Quotient aus TT-TG geteilt durch Höhe der lateralen Trochlea
- TT-TG-Index als Quotient aus TT-TG geteilt durch Körpergrösse
- Trochleadysplasiegrad mit zur Bestimmung führender Angabe des Winkels (siehe Abbildung 18)

Die folgende Exceltabelle enthält Parameter, welche in dieser Studie keine Verwendung fanden.

Microsoft Excel - kniescheibe\_05\_juni\_14 [Kompatibilitätsmodus]

A	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
Lfd.Nr.	Alter	Geschlecht	Gruppe	TT-TG-Abstand	Epikondylarenabstand	Breite lat. Trochlea	Höhe lat. Trochlea	TT-TG Winkel	Tub.-Rot.-Winkel	Körpergröße	Körpergewicht	Bisherige Luxationen	TT-TG-Index aus G:H	TT-TG-Index aus G:I	TT-TG-Index aus G:J	TT-TG-Index aus G:M	Trochleadysplasiegrad	Winkel	
20	15	22	2	4	18,3	78	22,1	63,5	17°	175	85	3	0,235	0,828	0,288	0,010	A	147	
21	16	34	1	2	11	83,5	21,4	69	10°	182	78		0,132	0,514	0,159	0,006			
22	17	29	2	5	19	73	21	54	21°				0,260	0,905	0,352	#DIV/0!			
23	18	42	1	2	10,3	88,4	23,5	72,4	9°				0,117	0,438	0,142	#DIV/0!			
24	19	18	2	1	6,6	71,9	14,6	59,7	6,5°	162	67		0,092	0,452	0,111	0,004	A	154	
25	20	40	1	1	9,4	85,1	21,2	67,7	8°	185	95		0,110	0,443	0,139	0,005			
26	21	32	1	1	6,1	73,3	19,7	62	6°				0,083	0,310	0,098	#DIV/0!	A	150	
27	22	39	2	4	3,2	76,8	21,8	61,1	3°			?	0,042	0,147	0,052	#DIV/0!	A	146	
28	23	29	2	1	10,7	76,4	21,4	64,7	9°	175	63		0,140	0,500	0,165	0,006			
29	24	27	1	1	5	80,2	19,2	65,3	5°	183	85		0,062	0,260	0,077	0,003	A	146	
30	25	24	2	4	9	66	17	55	9°				0,136	0,529	0,164				
31	26	29	2	1	10,3	71,4	20,7	54,1	11°				0,144	0,498	0,190	#DIV/0!			
32	27	64	2	1	13,2	79,9	23,5	61,1	13°				0,165	0,562	0,216	#DIV/0!			
33	29	25	2	5	13,4	80,6	19,2	65,3	15°				?	0,166	0,698	0,205	#DIV/0!	B	
34	30	28	2	3	13,9	73,7	23,5	60	13°	172	70	1	0,189	0,591	0,232	0,008			
35	32	26	1	2	11,6	83,2	23,5	66,7	13°	170	85		0,139	0,494	0,174	0,007			
36	33	26	1	1	4,7	82,7	24,4	67,7	4°	170	85		0,057	0,193	0,069	0,003			
37	34	32	1	1	16	84,6	23,5	63,9	16°	185	75		0,189	0,681	0,250	0,009	A	148	
38	35	16	2	3	12,2	69,4	15	57,1	12°	164	61	1	0,176	0,813	0,214	0,007			
39	36	25	1	4	18,2	91,5	22,9	67,6	15°	192	95	2	0,199	0,795	0,269	0,009	A	150	
40	37	16	2	3	15,5	74,3	19,3	61,1	16°	165	40	1	0,209	0,803	0,254	0,009	A	146	
41	38	16	2	3	14,1	72,4	20,7	62,5	14°	165	40	1	0,195	0,681	0,226	0,009	A	148	
42	39	25	2	5	17	69	19	56	20°				0,246	0,895	0,304	#DIV/0!			
43	40	24	2	2	7,9	72	18,9	59,5	8°	170	53		0,110	0,418	0,133	0,005			
44	41	41	1	2	11,9	84,7	23,8	64,3	12°	170	68		0,140	0,500	0,185	0,007			
45	42	24	1	1	10,3	76,1	20,7	63,5	10°	185	85		0,135	0,498	0,162	0,006	A?B?		
46	43	17	2	5	12	72	15	57	12°				0,167	0,800	0,211	#DIV/0!			
47	44	66	2	1	12,5	75,9	22,9	59,3	12°	168	63		0,165	0,546	0,211	0,007	A	148	
48	45	35	2	1	9,6	76,6	17,2	66	10°				0,125	0,558	0,145	#DIV/0!			
49	46	31	2	2	9,5	76,5	20,9	66,5	8°				0,124	0,455	0,143	#DIV/0!			
50	47	29	2	5	15,5	73,3	19,7	61,1	15°			?	0,211	0,787	0,254	#DIV/0!			
51	48	24	2	5	21	74,7	18,3	55,7	22°			?	0,281	1,148	0,377	#DIV/0!	A	146	
52	49	39	1	1	14,6	89,4	26,4	64,4	14°				0,165	0,653	0,237	#DIV/0!	A	154	

Abbildung 18 - Beispiel des Datenblattes mit den wesentlichen Parametern

## 7 Statistische Auswertung

---

Die in der Datentabelle gesammelten Daten wurden über SPSS 22.0 erfasst und ausgewertet. Zur Präsentation des Patientenkollektivs wurden für die stetigen Merkmale mittels Mittelwert, Standardabweichung, Median, Minimum und Maximum angegeben, die diskreten Merkmale repräsentieren Häufigkeiten und Prozentwerte.

Ausgewählte Gruppenunterschiede wurden mit Hilfe von Boxplots dargestellt, stetige Zusammenhänge wurden mit Punktwolken beschrieben.

Nach Prüfung einer möglichen Normalverteilungsannahme mittels Kolmogorov Smirnov Test wurden die Gruppenunterschiede mit t-Test sowie ANOVA errechnet. Im Fall eines signifikanten Ergebnisses in der ANOVA wurde der Tukey HSD Test als posthoc Test verwendet. Für diskrete Gruppenzusammenhänge wurde der Chi<sup>2</sup> Test und für stetige Zusammenhänge wurden lineare Regressionen berechnet. Logistische Regressionsanalysen fanden bei Mehrgruppenzusammenhängen Verwendung.

Die Normwerte des TT-TG wurden mittels Mittelwert  $\pm 1,96^*$  der Standardabweichung definiert. Der obere Grenzwert wurde als pathologischer Grenzwert definiert. Für alle Tests galt ein Signifikanzniveau von 5%.

## 8 Ergebnisse

---

### 8.1 Basischarakteristika der Probanden

**Tabelle 1 - Geschlechterverteilung der Studienpopulation**

		Anzahl	%
Geschlecht	männlich	130	51,0%
	weiblich	125	49,0%

Die 255 Patienten (51% Männer und 49% Frauen) waren im Mittel 32,2 Jahre alt, bei einer mittleren Körpergröße von 174,5 cm und einem mittleren Körpergewicht von 75 kg (siehe Tabelle 1).

**Tabelle 2 - Übersicht über Alter, Körpergröße und Körpergewicht**

	Alter	Körpergröße (cm)	Körpergewicht (kg)
Mittelwert	32,2	174,5	75
Standardabweichung	13	9,2	17,3
Median	29	173	75
Minimum	15	156	40
Maximum	71	198	130

Von den insgesamt 255 analysierten Patientenknieen konnten 152 Patienten der Kontrollgruppe zugeordnet werden und 103 der Luxationsgruppe (siehe Tabelle 3).

**Tabelle 3 - Übersicht Luxations- und Kontrollgruppe**

Gruppe	Anzahl	In %
keine Luxation (KG)	152	59,6%
Luxation (1 oder mehr)	103	40,4%

Die Kontrollgruppe (n=152) besteht aus 87 männlichen (57,2%) und 65 weiblichen (42,8%) Knieen. Innerhalb dieser Gruppe ergaben sich in 33 Fällen radiologische Hinweise auf eine

komplette Kreuzband- oder Innenbandruptur, 18 davon männlich (54,5%) und 15 weiblich (45,5%).

**Tabelle 4 - Übersicht Aufteilung der Untergruppen**

Gruppe	Anzahl	In %
KG ohne Bandläsion	119	46,7%
KG mit Bandläsion	33	12,9%
Erstluxation	30	11,8%
Mindestens eine Luxation	45	17,6%
Mindestens zwei Luxationen	28	11,0%

119 MRT-Untersuchen ergaben weder Hinweise auf eine stattgehabte Luxation noch auf eine Bandverletzung. In dieser Gruppe waren 69 Knie (58%) Männern zuzuordnen, 50 Knie (42%) Frauen. Das eigentliche Interesse dieser Studie galt jedoch den 103 untersuchten Luxationsknien. Diese setzten sich zusammen aus 43 männlichen (41,7%) und 60 weiblichen Knien (58,3%) (siehe Tabelle 5).

**Tabelle 5 - Kreuztabelle Kontrollgruppe und Luxationsgruppe nach Geschlecht**

		Kontrollgruppe	Luxationsgruppe	Summe
Geschlecht	männlich	87	43	130
	weiblich	65	60	125
Gesamtsumme		152	103	255

Eindeutig der Gruppe der Erstluxationen zuzuordnen waren 30 Knie, 12 männlich (40%) und 18 weiblich (60%). Mindestens 28 Patienten hatten bereits mind. zwei Luxationen am untersuchten Knie erlitten, 12 männlichem (42,8%) und 16 weiblichem Geschlecht (57,2%). Bei 45 Patienten konnte aufgrund der zur Verfügung stehenden Unterlagen nicht geklärt werden, ob in der Vorgeschichte eine oder mehrere Patellaluxationen zu beklagen waren. Diese Gruppe setzte sich zusammen aus 19 männlichen (42,9%) und 26 weiblichen Patienten (57,1%). Diese Gruppe wurde als „Mind. eine Luxation“ bezeichnet. Siehe hierzu Tabelle 4.

Die Luxationsgruppe unterschied sich in wesentlichen Variablen von den Kontrollen. Die Kontrollen waren signifikant älter, es waren signifikant mehr Männer und der TT-TG Wert war signifikant niedriger (siehe Tabelle 6).

**Tabelle 6 - Wesentliche Charakteristika von Kontrollgruppe und Luxationsgruppe**

	Kontrollgruppe	Luxationsgruppe	p
	N=152	N=103	
<b>Alter</b>			
Mittelwert [95% KI]	34,5 (24,8;44,0)	24,0 (19,0;31,5)	<0.001
<b>Geschlecht:</b>			0.021
Männlich Anzahl (Anteil in %)	87 (57,2%)	43 (41,7%)	
weiblich Anzahl (Anteil in %)	65 (42,8%)	60 (58,3%)	
<b>TT-TG</b>			
Mittelwert [95% KI]	10,6 (3,9;17,2)	14,3 (6,0;22,6)	<0.001

**Tabelle 7 - Wesentliche Charakteristika in der Kontrollgruppe mit und ohne Bandläsionen, sowie erstmaliger Luxation, mindestens eine Luxation und mindestens zwei Luxationen**

	KG ohne Bandläsionen	KG mit Bandläsionen	Erstmalige Luxation	Mindestens eine Luxation	Mindestens zwei Luxationen	p-overall
	N=119	N=33	N=30	N=45	N=28	
<b>Alter</b>						
Mittelwert	35,0	31,0	23,0	26,0	24,0 [19,0;31,2]	<0,001
[95% KI]	[26,0;44,5]	[23,0;41,0]	[18,0;36,0]	[20,0;30,0]		
<b>Geschlecht:</b>						
<b>Männlich</b>						
N	69	18	12	19	12	
Anteil in %	(58,0%)	(54,5%)	(40,0%)	(42,2%)	(42,9%)	
<b>Weiblich</b>						
N	50	15	18	26	16	
Anteil in %	(42,0%)	(45,5%)	(60,0%)	(57,8%)	(57,1%)	
<b>TT-TG</b>						
Mittelwert	10,3	10,3	13,6	14,0	15,4	<0,001
[95% KI]	[8,50;12,5]	[7,40;11,9]	[11,0;16,6]	[12,0;17,2]	[12,1;18,2]	

Tabelle 7 zeigt die wesentliche Charakteristika in der Kontrollgruppe mit und ohne Bandläsionen sowie erstmaliger Luxation, mindestens eine Luxation und mindestens zwei Luxationen. Auch in dieser Analyse unterschieden sich Alter und TT-TG signifikant in den Gruppen. Die post-hoc Tests, also die paarweisen Vergleiche untereinander, sind in der nächsten Tabelle abgetragen (Tabelle 8). Hier sieht man keinen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen der Kontrollen, ebenso konnten unter den Luxationen keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Bezüglich des TT-TG unterschieden sich die beiden Kontrollgruppen von den 3 Luxationsgruppen signifikant.

**Tabelle 8 - Post Hoc Test zur Ermittlung der Signifikanzlevel in den verschiedenen Gruppen**

Gruppen, die getestet wurden		p-Wert für Alter	p-Wert für TT-TG
KG ohne Bandläsion vs.	KG mit Bandläsion	0,482	0,354
	erstmalige Luxation	0,002	0,001
	mindestens eine Luxation (1-n)	<0,001	<0,001
	mindestens zwei Luxationen (2-n)	0,002	<0,001
KG mit Bandläsion vs.	erstmalige Luxation	0,056	<0,001
	mindestens eine Luxation (1-n)	0,035	<0,001
	mindestens zwei Luxationen (2-n)	0,056	<0,001
erstmalige Luxation vs.	mindestens eine Luxation (1-n)	0,759	0,516
	mindestens zwei Luxationen (2-n)	0,759	0,33
mindestens eine Luxation (1-n) vs.	mindestens zwei Luxationen (2-n)	0,759	0,432

## 8.2 Berechnung der Normwerte des TT-TG für Männer und Frauen

Der mittlere TT-TG Abstand für beide Geschlechter lag in der Gesamtpopulation bei 12,1 mm mit einer Standardabweichung von 4,2 mm (siehe Tabelle 9).

**Tabelle 9 - Übersicht TT-TG Abstände - Gesamtpopulation**

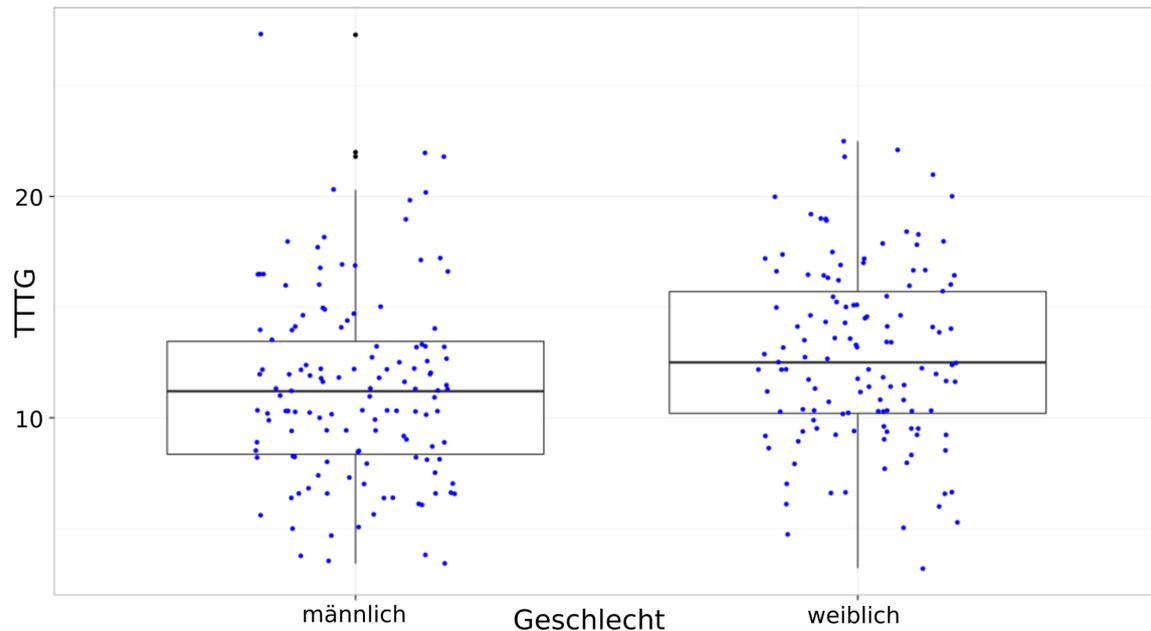
TT-TG (mm)	Mittelwert	12,1
	Median	11,8
	Standardabweichung	4,2
	Minimum	3,2
	Maximum	27,3

Der TT-TG-Abstand bei den weiblichen Patienten der Gesamtpopulation lag mit 12,8 mm knapp eineinhalb Millimeter über dem TT-TG-Abstand der männlichen Patienten (11,4 mm). Dieser Unterschied war mit einem p-Wert von 0,002 signifikant (siehe Tabelle 10).

**Tabelle 10 - Übersicht TT-TG nach Geschlechtern getrennt**

		Geschlecht	
		männlich	weiblich
TT-TG (mm)	Mittelwert	11,4	12,8
	Median	11,2	12,5
	Standardabweichung	4,2	4
	Minimum	3,4	3,2
	Maximum	27,3	22,5

Der durchschnittlich um 1,4 mm grössere TT-TG-Abstand der Frauen lässt sich auch in der nach oben verschobenen Punktwolke mittels Box-Whisker-Plot darstellen (siehe Abbildung 19).



**Abbildung 19 - Boxplot der TT-TG-Abstände nach Geschlecht getrennt (Gesamtpopulation)**

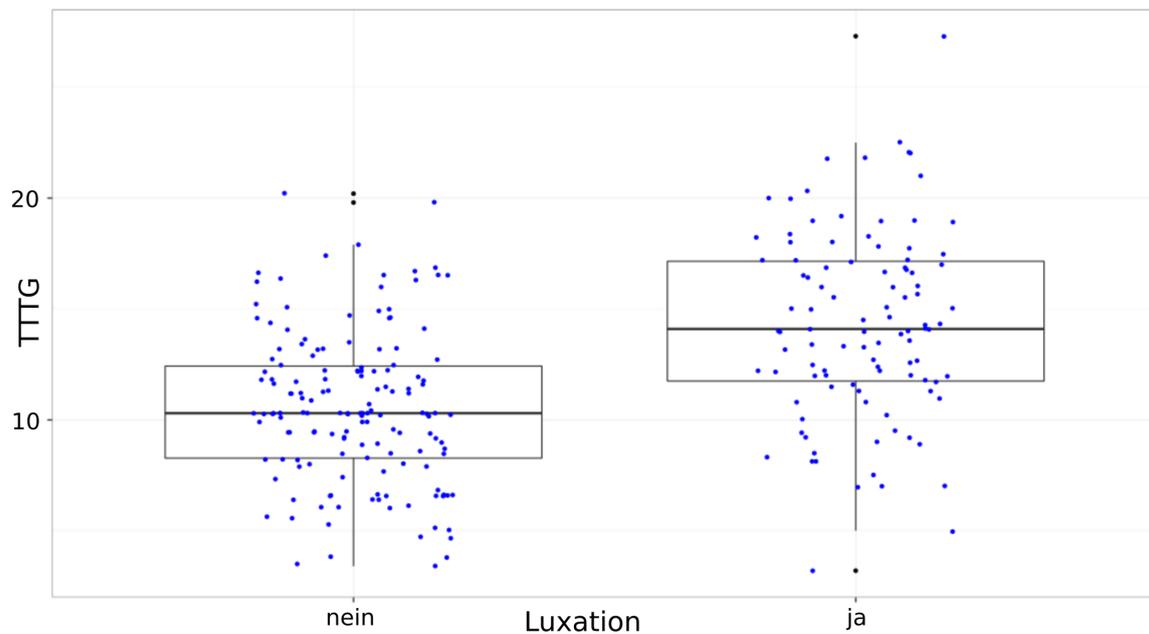
Patienten mit Luxation (beider Geschlechter) hatten mit  $14,3 \pm 4,2$  mm einen im Mittel um 3,7 mm größeren TT-TG als Patienten der Kontrollgruppe  $10,6 \pm 3,4$  mm. Dieser Unterschied war mit einem p-Wert von 0,0001 hochsignifikant.

**Tabelle 11 - Übersicht der TT-TG Maßzahlen nach Gruppen**

		Keine Luxation (KG)	Luxation (1 oder mehr)
TT-TG (mm)	Mittelwert	10,6	14,3
	Median	10,3	14,1
	Standardabweichung	3,4	4,2
	Minimum	3,4	3,2
	Maximum	20,2	27,3

Die erste zentrale Fragestellung dieser Studie nach Normwerten des TT-TG-Abstandes konnte nach Betrachtung der folgenden Werte beantwortet werden. Unter Verwendung des in der Kontrollgruppe ermittelten Mittelwerts von 10,6 mm ergab sich über die doppelte Standardabweichung ein Normbereich von 3,94 mm bis 17,26 mm.

Der oben erwähnte deutlich signifikant grössere TT-TG-Abstand in Luxationsknien liess sich zur besseren visuellen Erfassung in folgendem Box-Whisker-Plot darstellen (siehe Abbildung 20).



**Abbildung 20 - Boxplot der TT-TG in der Kontroll- und Luxationsgruppe (Gesamtpopulation)**

Um nun Normbereiche bzw. Normwerte für Männer und Frauen getrennt angeben zu können wurde folgende Tabelle erstellt. Die mittlere Differenz der TT-TG-Abstände zwischen Kontroll- und Luxationsgruppe betrug bei den Männern 4 mm und bei den Frauen 3,2 mm.

**Tabelle 12 - Berechnete Mittelwerte des TT-TG für Männer und Frauen in der Kontroll- und Luxationsgruppe**

		Männer		Frauen	
		Kontrollgruppe	Luxation	Kontrollgruppe	Luxation
TT-TG (mm)	Mittelwert	10,0	14,0	11,3	14,5
	Median	10,2	13,3	11,2	14,4
	Standardabweichung	3,5	4,4	3,2	4,2
	Minimum	3,4	7,0	4,7	3,2
	Maximum	20,2	27,3	17,9	22,5

Die Normbereiche des TT-TG-Abstands wurden bei den Männern in der Kontrollgruppe über Verwendung der doppelten Standardabweichung mit dem Ergebnis von **3,14 mm** bis **16,86 mm** bestimmt. Bei den Frauen wurde der Normbereich analog über die Betrachtung der Werte in der Kontrollgruppe mit **5,03 mm** bis **17,57 mm** bestimmt. In beiden Geschlechtern ergaben sich signifikante Unterschiede im Mittelwert der TT-TG-Abstände zwischen Kontroll- und Luxationsgruppe ( $p < 0,001$ ).

In einer weiteren Subanalyse haben wir den TT-TG in Abhängigkeit von der Anzahl der Luxationen untersucht. Siehe hierzu Tabelle 13.

**Tabelle 13 - TT-TG Abstände in der Kontrollgruppe, und den Luxationssubgruppen (Erstmalige Luxation, mindestens eine Luxation, mindestens 2 Luxationen)**

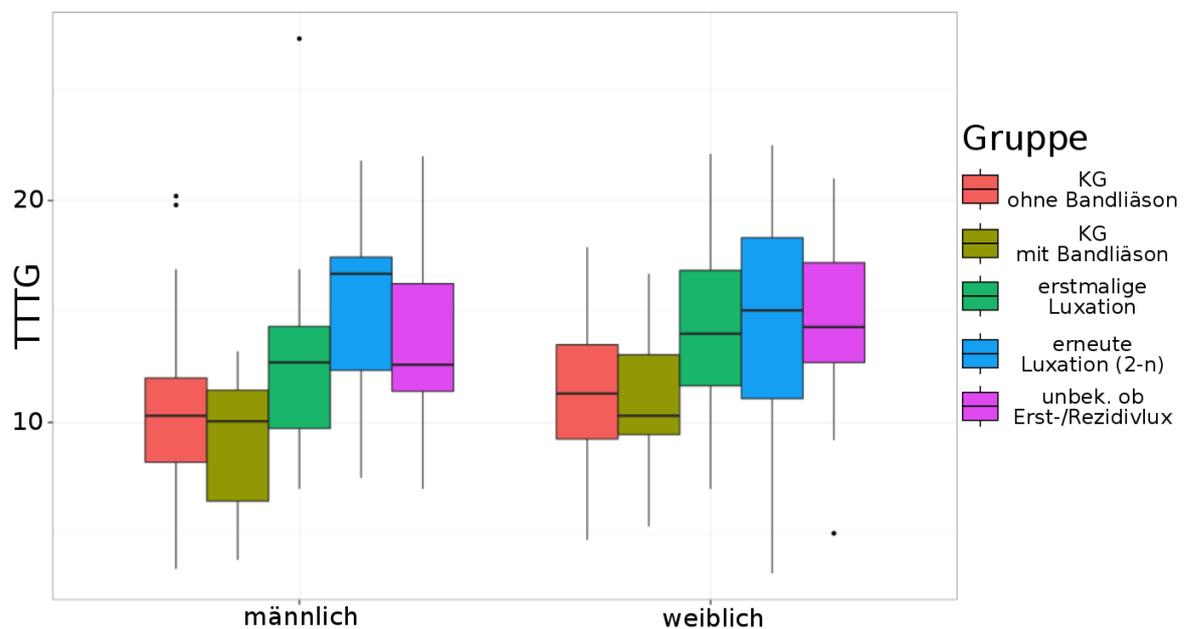
	Kontrolle	erstmalige Luxation	Mindestens eine Luxation	mindestens zwei Luxationen	p
	N=152	N=30	N=45	N=28	
<b>TT-TG</b> Mittelwert [95% KI]	10,3 [8,28;12,4]	13,6 [11,0;16,6]	14,0 [12,0;17,2]	15,4 [12,1;18,2]	<0,001

Im paarweisen Vergleich (Tabelle 14) ist ersichtlich, daß sich alle drei Luxationsgruppen von der Kontrollgruppe unterscheiden. Keine Luxationsgruppe unterscheidet sich signifikant von den anderen Luxationsgruppen.

**Tabelle 14 - Post Hoc Test zum Vergleich aller Luxationsgruppen**

		p-Wert
Kontrolle	Erstmalige Luxation	<0,001
Kontrolle	Mind. 1 Luxation	<0,001
Kontrolle	Mind. 2 Luxationen	<0,001
Erstmalige Luxation	Mind. 1 Luxation	0,989
Erstmalige Luxation	Mind. 2 Luxationen	0,652
Mind. 1 Luxation	Mind. 2 Luxationen	0,775

Bezüglich der TT-TG-Werte deutet sich eine "Dosis-Wirkungsbeziehung" an. Mit zunehmendem TT-TG steigt die Anzahl der Luxationen. Dies ist für Männer und Frauen identisch, wie nachfolgendes Boxplot zeigt.



**Abbildung 21 - Box-Whisker-Plot der TT-TG-Abstände für die Kontrollgruppe mit und ohne Bandverletzungen, erstmalige Luxation, mehr als zwei Luxationen, mindestens eine Luxation**

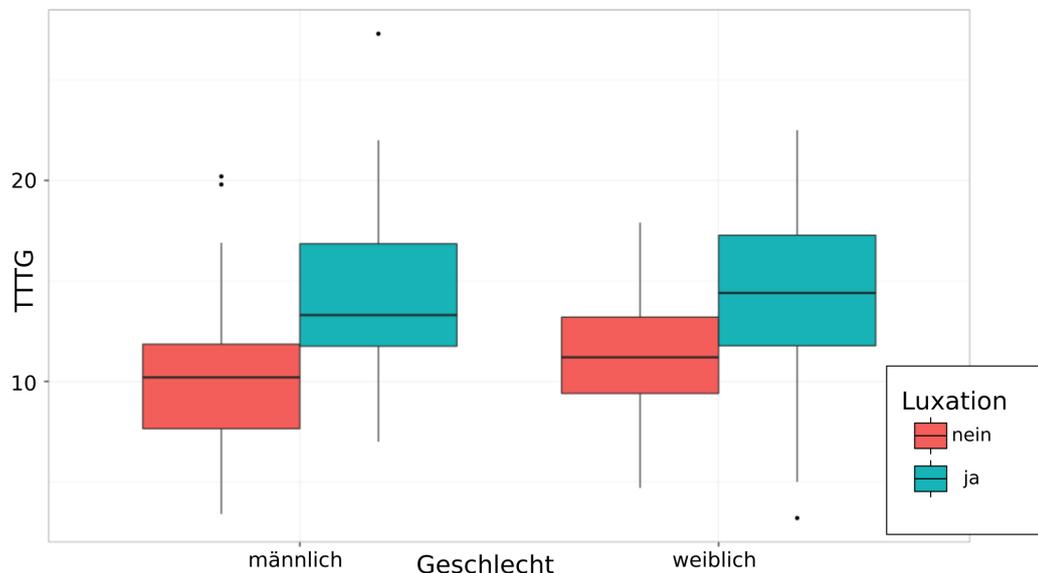
### 8.3 Berechnung der pathologischen Grenzwerte

Als Grenzwerte wurden im Vorfeld der Arbeit Werte definiert, die jenseits von zwei Standardabweichungen vom Mittelwert liegen. Ausgangspopulation für die Betrachtung der Grenzwerte war die Kontrollgruppe.

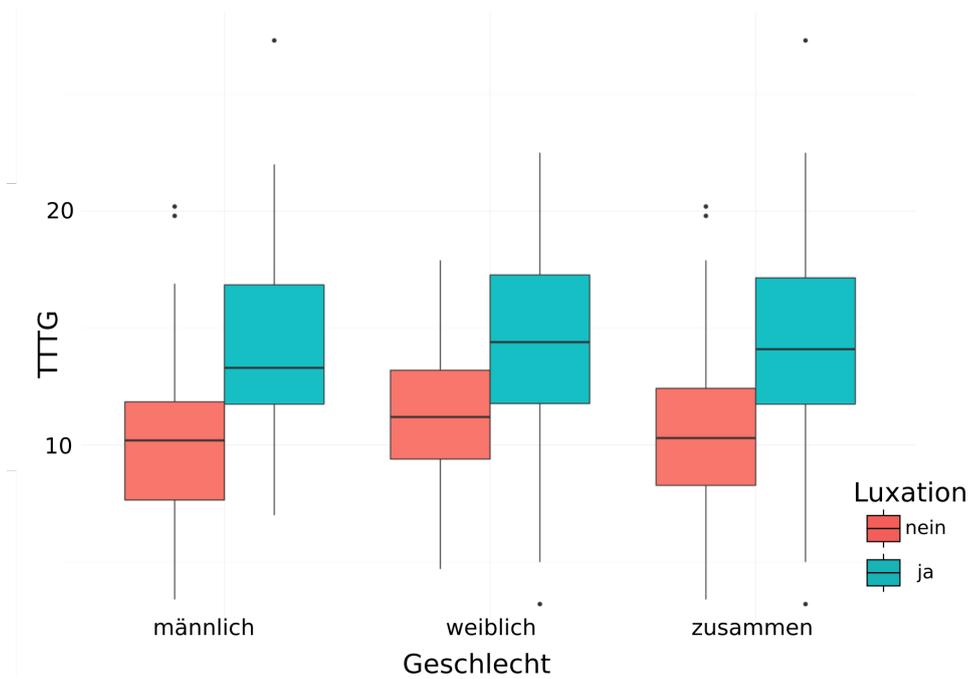
Die Normbereiche des TT-TG betragen bei den Männern in der Kontrollgruppe 3,14 mm bis 16,86 mm. Der pathologische Grenzwert bei Männern beträgt demnach **16,86 mm**.

Bei den Frauen betragen die Normwerte in der Kontrollgruppe 5,03 mm bis 17,57 mm. Dementsprechend ergab sich hier rechnerisch ein pathologischer Grenzwert von **17,57 mm**.

Der Unterschied der pathologischen Grenzwerte des TT-TG zwischen Männern und Frauen war statistisch nicht signifikant ( $p = 0,594$ ). Siehe hierzu folgende Box-Plots.



**Abbildung 22 - TT-TG in der Kontroll- und Luxationsgruppe nach Geschlecht getrennt als Box-Whisker-Plot dargestellt**



**Abbildung 23 - TT-TG in der Kontroll- und Luxationsgruppe nach Geschlecht getrennt sowie zusammengefasst als Box-Whisker-Plot**

Um den Einfluss von Alter und Geschlecht auf den TT-TG zu untersuchen wurde eine logistische Regressionsanalyse durchgeführt. Bei dem gewählten Cut-Off von 20 mm ergab sich für Alter und Geschlecht kein signifikanter Zusammenhang.

**Tabelle 15 - Logistische Regression für den TT-TG Abstand (>20mm) und die Variablen Alter und Geschlecht**

	OR	Standard Fehler	t-Wert	p-Wert
(Intercept)	2,881	0,032	32,676	<0,0001
Alter	0,999	0,001	-0,701	0,484
Geschlecht: weiblich	0,995	0,023	-0,22	0,826

Da sich in den Analysen keine statistisch signifikanten Geschlechtsunterschiede zwischen den Grenzwerten von Frauen und Männern ergaben wurde auf eine geschlechtsspezifische Berechnung der TT-TG Grenzwerte verzichtet.

Der geschlechtsunabhängige Mittelwert (Männer und Frauen in der Analyse) der Kontrollgruppe betrug  $10,6 \pm 3,4$ mm. Dementsprechend betrug der obere Grenzwert und somit der pathologische Grenzwert 17,26 mm.

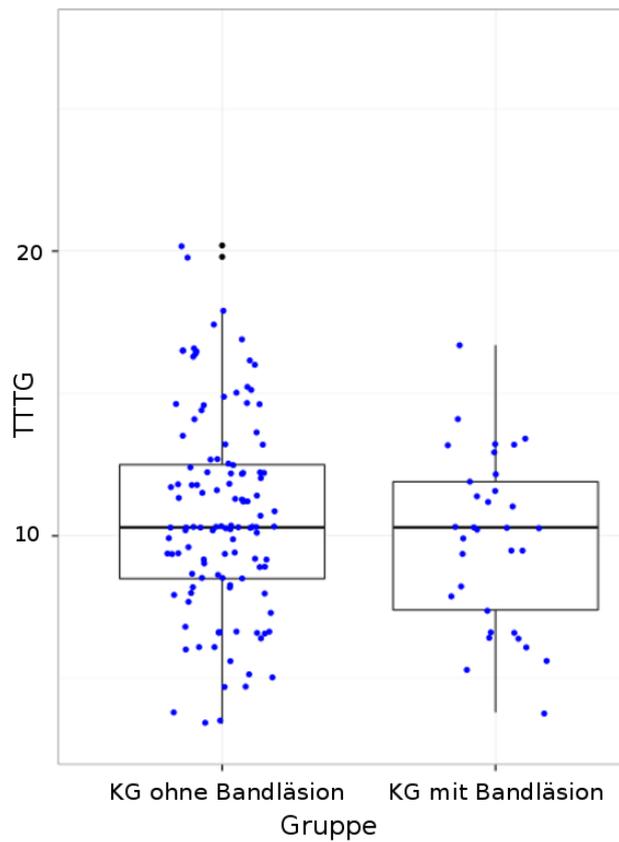
#### **8.4 Einfluss von Bandverletzungen auf den TT-TG**

Ein Ziel dieser Arbeit war die Frage nach dem Einfluss von Bandverletzungen auf den TT-TG. Die Analyse ergab für Kontrollpatienten ohne Bandverletzungen einen Mittelwert des TT-TG von  $10,8 \pm 3,5$  mm, für Patienten mit stattgehabter Bandläsion  $9,9 \pm 3$  mm. Dieser Unterschied war statistisch nicht signifikant.

**Tabelle 16 – TT-TG bei Kontrollpatienten mit und ohne Bandläsion**

	Kontrollgruppe ohne Bandläsionen n=119	Kontrollgruppe mit Bandläsionen n=33	p-Wert
TT-TG (Mittelwert in mm)	10,8	9,9	0,762
Standardabweichung	(3,5)	(3)	
TT-TG Median (min-max)	10,3 (3,4;20,2)	10,3 (3,8;16,7)	

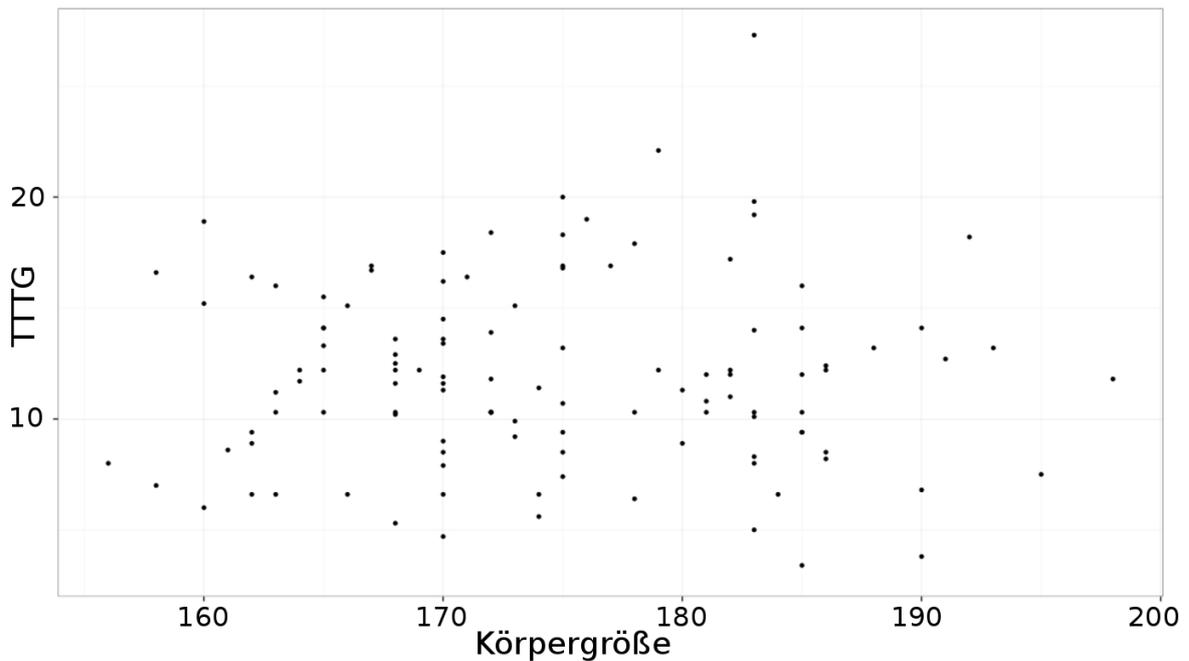
Zur besseren visuellen Darstellung wurde der TT-TG der Kontrollgruppe in den Subgruppen mit Bandverletzung und ohne Bandverletzung in Abbildung 24 dargestellt.



**Abbildung 24 - Box-Plot der TT-TG Abstände in der Kontrollgruppe mit und ohne Bandrupturen**

### 8.5 Einfluss der Körpergröße auf den TT-TG

Daten zur Körpergröße lagen nur bei 117 Patienten vor. Diese wurden mit dem entsprechenden TT-TG als Streudiagramm dargestellt (siehe hierzu Abbildung 25). Visuell liess sich kein Zusammenhang zwischen den beiden Parametern erkennen.



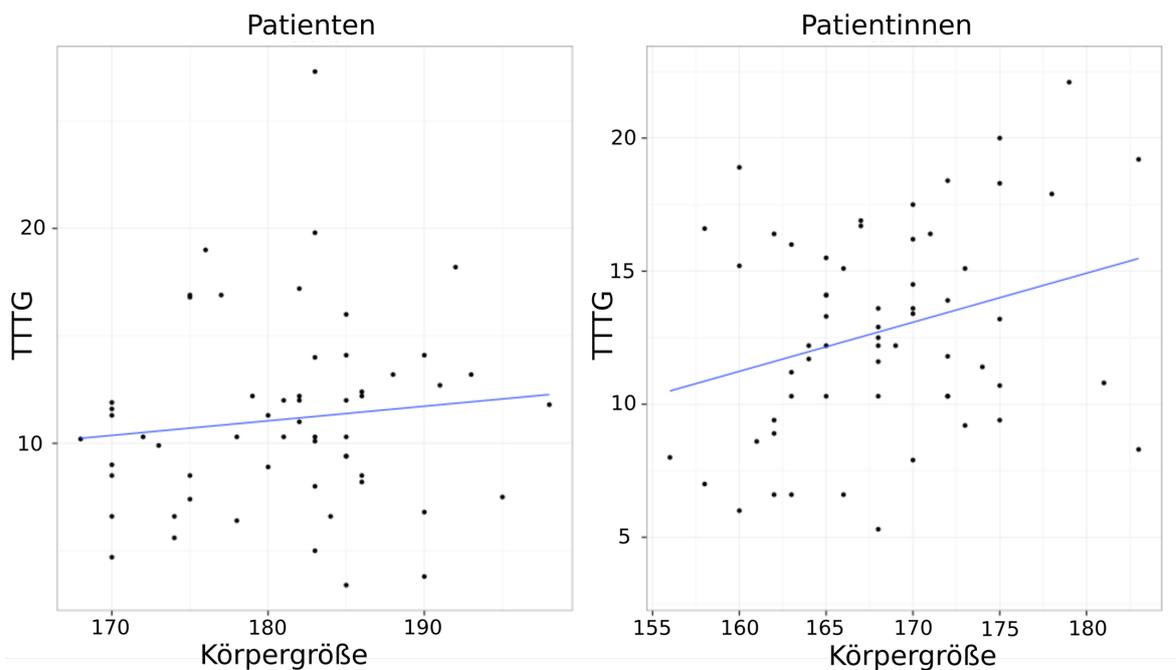
**Abbildung 25 - Punktwolke mit Darstellung von TT-TG und Körpergröße**

Dieser optische Eindruck wurde durch das Ergebnis der linearen Regression bestätigt. Für beide Geschlechter zusammen betrachtet ergab sich kein signifikanter Einfluss der Körpergröße auf den TT-TG-Wert bei einem p-Wert von 0,981. (Tabelle 17)

**Tabelle 17 - Lineares Regressionsmodell für den TT-TG in Abhängigkeit von der Körpergröße**

	Regressionskoeffizient	p-Wert
(Intercept)	12	0,103
Koerpergroesse	-0,001011	0,981

Um zu untersuchen, ob es innerhalb der Geschlechtergruppen einen signifikanten Einfluss der Körpergröße auf den TT-TG Abstand gibt, wurden die oben beschriebenen Verfahren getrennt nach Geschlecht wiederholt (siehe Abbildung 26).



**Abbildung 26 - Streudiagramm für TT-TG und Körpergröße getrennt für Männer und Frauen**

In der multivariaten logistischen Regression fand sich jedoch kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen TT-TG und Körpergröße (siehe Tabelle 18).

**Tabelle 18 - Logistische Regression für den TT-TG Abstand (>20mm) und die Variablen Alter und Geschlecht und Körpergröße**

	OR	Std. Fehler	t Wert	p-Wert
(Intercept)	1,962	0,342	1,968	0,051
Alter	0,999	0,001	-1,258	0,211
Geschlecht: weiblich	1,030	0,034	0,898	0,371
Körpergröße	1,002	0,002	1,126	0,263

### **8.6 Einflussfaktoren auf die Luxationswahrscheinlichkeit**

Für die Analyse, welche Faktoren in dieser Studie einen Zusammenhang mit einer patellofemorale Luxation haben, wurde erneut eine logistische Regression gerechnet.

Hier zeigt sich, dass ein niedrigeres Alter ein hochsignifikanter Risikofaktor für eine Luxation ist ( $p < 0,0001$ ). Gleiches gilt für den TT-TG Abstand ( $p < 0,0001$ ). Auch das weibliche Geschlecht war mit vermehrten Luxationen assoziiert. Allerdings war die statistische Signifikanz nicht so eindrucksvoll wie bei Alter und TT-TG.

**Tabelle 19 - Logistische Regression Luxation (ja/nein) und den Einflussfaktoren Alter, Geschlecht und TT-TG Abstand**

	OR	Std. Fehler	t Wert	p-Wert
(Intercept)	3,254	0,109	10,81	<0,0001
Alter	0,988	0,002	-5,7	<0,0001
Geschlecht: weiblich	1,114	0,053	2,033	0,043
TT-TG	1,046	0,006	7,032	<0,0001

## 8.7 Ergebnisüberblick

- Frauen wiesen, unter Betrachtung der Gesamtpopulation, einen signifikant grösseren TT-TG-Abstand auf (12,8 mm vs. 11,4 mm)
- Luxationspatienten hatten einen hochsignifikant, im Mittel 3,7 mm größeren, TT-TG-Abstand als Patienten der Kontrollgruppe
- Für Männer ergab sich ein Normbereich von 3,14 mm bis 16,86 mm, für Frauen von 5,03 mm bis 17,57 mm
- Der Unterschied der pathologischen Grenzwerte des TT-TG zwischen Männern (16,86 mm) und Frauen (17,57 mm) war statistisch nicht signifikant
- Der geschlechtsunabhängige pathologische Grenzwert wurde mit 17,26 mm festgelegt
- Verletzungen der medialen Kollateralbänder und/oder der Kreuzbänder führten nicht zu statistisch signifikanten Veränderungen des TT-TG-Abstands
- Die Annahme von größeren TT-TG-Abständen in größeren Menschen konnte, auch für beide Geschlechter getrennt betrachtet, nicht statistisch signifikant belegt werden
- Niedriges Alters und grosser TT-TG-Abstand sind hochsignifikante Risikofaktoren für eine Luxation, in geringerem Mass auch das weibliche Geschlecht

## 9 Diskussion

---

### 9.1 Vergleich der TT-TG Ergebnisse mit anderen Studien

In der vorliegenden Arbeit wurden 439 MRT-Untersuchungen an Knien als Grundlage verwendet. Nach Anwendung der Ausschlusskriterien konnten noch 255 Untersuchungen in die eigentliche wissenschaftliche Arbeit aufgenommen werden. Schliesslich standen 103 Patellaluxationen 152 Schichtbilduntersuchungen der Kontrollgruppe gegenüber. Es wurden 6 publizierte Studien identifiziert, die auch Daten zu einer Kontrollgruppe enthielten. Bis auf die Studie von Alemparte et al. 2006 rekrutierte sich die Kontrollgruppe aus Patienten, die ein MRT oder ein CT aufgrund von konkreten Kniebeschwerden bekamen. Alemparte untersuchte 30 vollkommen gesunde chilenische Polizeischüler an beiden Knien, um die Reliabilität von Röntgenaufnahmen und CT-Aufnahmen zu überprüfen.<sup>63</sup> Insofern ist die Studie von Alemparte die einzige uns bekannte Studie, die eine wirkliche standardisierte und gesunde Kohorte untersuchte. Allerdings ist die Studie mit insgesamt 30 Probanden klein. Der heutige Standard sind MRT-Untersuchungen und dies ist wahrscheinlich auch das Dilemma eine wirklich überzeugende Studie für die Analyse von Normwerten vom TT-TG zu konstruieren. MRT-Untersuchungen sind teuer. Dazu kommt das ethische Problem eine aufwändige Untersuchung an völlig gesunden Probanden durchzuführen.

Alemparte et. al und Dejour et al. benutzen Computertomographien zur Analyse der TT-TG. Dies mag ein Grund sein, warum die TT-TG-Abstände in den Kontrollgruppen dieser Studien tendenziell etwas größer sind als in den Untersuchungen, die MRTs analysierten wie unsere Arbeit.<sup>64,14</sup> Die Gruppe um Camp et al. hatte im Jahr 2013 59 Knie mit CT und MRT untersucht und kam zu dem Ergebnis, dass das MRT im Vergleich zum CT zu niedrigeren Werten für den TT-TG führt.<sup>65</sup> Auch die viel zitierte Studie von Schoettle et al. von 2006 zeigte leicht höhere Werte für den TT-TG im CT als im MRT ( $14,4 \pm 5,4\text{mm}$  vs.  $13,9 \pm 4,5\text{mm}$ ).<sup>13</sup> Dieser Unterschied bei der Messung der knöchernen Strukturen war

jedoch nicht statistisch signifikant. In der Zusammenschau zeigen jedoch alle Studien der Tabelle 20 Werte, die innerhalb von 1,96 Standardabweichungen liegen und damit übereinstimmende Ergebnisse.

Der Standard bei den Studien – wie auch in der vorliegenden Arbeit – ist, dass als Kontrollgruppe Personen dienen, die eine MRT-Untersuchungen aus einem anderen Anlass als einer patellofemorale Instabilität erhielten. Es verwundert also nicht, daß diese Patienten im Mittel älter sind. Jüngere Patienten sind meist sportlich aktiver und erleiden daher öfter Patellluxationen. Da die patellofemorale Instabilität bei Frauen deutlich häufiger ist als bei Männern überwiegt in der Regel der Anteil der Frauen in der Gruppe mit stattgehabten Luxationen der Patella. Dies ist in Übereinstimmung mit der Literatur.<sup>4,61,62</sup>

**Tabelle 20 – Übersicht über TT-TG Studien mit Kontrollgruppe**

Nr.	Autor	Anzahl der Patienten	Ergebnisse	
	Unsere Arbeit	255 Patienten Kontrollgruppe: 152 Patienten Studiengruppe 103 Patienten mit patellarer Instabilität	<b>Kontrollgruppe</b>	<b>Studiengruppe</b>
			Männer Frauen	10 ± 3,5 14,0 ± 4,4 11,3 ± 3,2 14,5 ± 4,2
1	Dejour et. al. 1994	143 Patienten, die aufgrund patell. Instabilität operiert wurden; Kontrollen: 67 kontralaterale asymptomatische Knie der Patienten sowie 27 MRTs gesunder weiterer Patienten	<b>Kontrollgruppe</b>	<b>Studiengruppe</b>
			12,7 ± 3,4	19,8 ± 1,6
			TT-TG-Abstand > 20 mm 3,5%	56%
			Empfehlung: geschlechtsunspezifischen Grenzwert von 20mm	
2	Hinckel et al. 2015	182 Patienten; Kontrollgruppe: je 50 Männer und Frauen; Studiengruppe: 82 Patienten mit patellarer Instabilität; jedoch keine Daten zu Geschlechtsspezifischen Unterschieden für die TT-TG-Abstände	<b>Kontrollgruppe</b>	<b>Studiengruppe</b>
			8.4 ± 3.2	14.5 ± 6.9
3	Balcarek et al. 2010	73 Patienten mit patella Luxation (40 Männer, 33 Frauen) und	<b>Kontrollgruppe</b>	<b>Studiengruppe</b>
			10,7 ± 3,5	12,8 ± 4,0
4	Balcarek et al. 2010	257 Patienten Studiengruppe: 100 Patienten mit patellarer Instabilität Kontrollgruppe: 157 Patienten matched für Alter und Geschlecht	<b>Kontrollgruppe</b>	<b>Studiengruppe</b>
			Männer	11,0 ± 3,9 12,6 ± 4,7
			Frauen	10,0 ± 3,5 14,1 ± 3,7
5	Balcarek et al. 2011	245 jugendliche Sportlern mit Patellaluxation 136 Patienten in der Kontrollgruppe vs. 109 Patienten mit einer Luxationsanamnese	<b>Kontrollgruppe</b>	<b>Studiengruppe</b>
			10,6 ± 4,0	14,6 ± 4,6
			TT-TG-Abstand > 20 mm 2,2%	11%
			TT-TG-Abstand > 15 mm 10,3%	35%
			Empfehlung. TT-TG-Abstand > 15 mm ist pathologisch	
6	Alemparte et al. 2006	30 gesunden Absolventen einer Polizeischule; je 15 Frauen und 15 Männer. Jeweils bei-	<b>Kontrollgruppe</b>	
			Männer	14,8 ± 5,19

		de Knie gingen in die Analyse ein	Frauen	12,5 ± 3,16
7	Hingelbaum et al, 2014	200 MRTs von gesunden Probanden	Gesamt	<b>Kontrollgruppe</b> 7.5 ± 3.5

**Tabelle 21 – Übersicht über TT-TG Studien ohne Kontrollgruppe**

Nr.	Autor	Anzahl der Patienten	Ergebnisse
1	Köter et al. 2007	60 Patienten. 30 Patienten mit „lateral tracking patella“ und 30 Patienten mit patellarer Instabilität. Alle Patienten wurden operiert (Verschiebung der tuberositas tibiae)	„Lateral tracking patella“ 17,9 (15-28)  vs. Objektive patellare Inst. 17.8 (15-27)
2	Schoettle et al. 2006	Vergleich von CT und MRT bei 11 Patienten mit patellofemoraler Instabilität	<b>Studiengruppe</b> 13,9 ± 4,5
3	Lustig et. al 2007	48 Luxationspatienten; 30 Frauen und 42 Männer	<b>Studiengruppe</b> 17,0 ± 4,5
4	Hingelbaum et al., 2012	51 Patienten mit 54 MRTs der Kniegelenke; 33 Frauen und 18 Männer	<b>Studiengruppe</b> 14,0 ± 2 (gesamt)  Männer 14,4 ± 4,0 Frauen 14,0 ± 4,0

## 9.2 Normwerte des TT-TG

Patellaluxationen treten meist bei jungen gesunden Frauen in der zweiten Lebensdekade auf. Fithian et al. fanden das höchste Risiko bei jungen Frauen zwischen 10 und 17 Jahren.<sup>21</sup> Gleichzeitig sind Frauen im Mittel kleiner als Männer. Wir gingen der Frage nach, ob sich die Normwerte zwischen den Geschlechtern signifikant unterscheiden.

Mit dem Ziel geschlechtspezifische anatomische Unterschiede bei Patellaluxationspatienten zu identifizieren führten Balcarek et al. 2010 eine Studie durch.<sup>14</sup> 100 Patienten mit Patellainstabilität in der Studiengruppe standen 157 Patienten ohne dieses Merkmal in der Kontrollgruppe gegenüber. Für Männer der Studiengruppe ergab sich ein TT-TG von 12,6 ± 4,7 mm, für die Kontrollgruppe 11,0 ± 3,9 mm. Für weibliche Luxationspatienten wurde ein durchschnittlicher TT-TG von 14,1 ± 3,7 mm gemessen. In der Kontrollgruppe lag dieser bei 10,0 ± 3,5 mm. In der Varianzanalyse fand sich ein hochsignifikanter Zusammenhang zwischen TT-TG und Patellarluxation. Die Ergebnisse des t-Tests machten deutlich, daß das Geschlecht keinen Einfluss auf den TT-TG hat.<sup>14</sup>

Eine weitere Arbeit von Balcarek et al. aus dem Jahr 2011 beleuchtete den TT-TG bei jugendlichen Sportlern mit Patellaluxation. 109 Patienten mit einer Luxationsanamnese standen hier 136 Patienten in der Kontrollgruppe gegenüber. Die jüngsten Patienten in der Luxationsgruppe waren 10 Jahre alt. In der Analyse mittels logistischer Regression fand sich ein signifikanter Zusammenhang zwischen TT-TG und Patellaluxation. Dieser war jedoch unabhängig von Alter, Geschlecht oder Kniedurchmesser.<sup>58</sup>

In der kleinen Studie von Alemparte et al.<sup>63</sup> mit je 15 jungen Männern und Frauen ohne bekannte muskuloskelettale Vorerkrankungen war der TT-TG bei den Männern zwar im Mittel etwas höher, der Unterschied zu den Frauen jedoch nicht signifikant.

Hingelbaum veröffentlichten kürzlich ein Studie mit gesunden Probanden (n=200), in der verschiedenen Parameter gemessen wurden. Bezüglich des TT-TG fand sich kein Unterschied zwischen Männern und Frauen in der gesunden Population.<sup>61</sup>

In der hier vorliegenden Arbeit bei 255 Probanden errechneten wir für die Kontrollgruppe einen TT-TG für die Männer von  $10 \pm 3,5$  mm vs.  $11,3 \pm 3,2$  mm bei den Frauen. In der Luxationsgruppe waren die Mittelwerte mit  $14 \pm 4,4$  mm bei den Männern und  $14,5 \pm 4,2$  mm bei den Frauen fast identisch. Diese geschlechtsspezifischen Unterschiede des TT-TG waren nicht signifikant. In der multivariaten Analyse war der Einfluss des Geschlechts mit einem p-Wert von 0,3 kein signifikanter Einflussfaktor. Damit unterstreichten die Ergebnisse unserer Studie die bereits publizierten Daten vergleichbarer Studien.

### **9.3 Pathologische Grenzwerte des TT-TG**

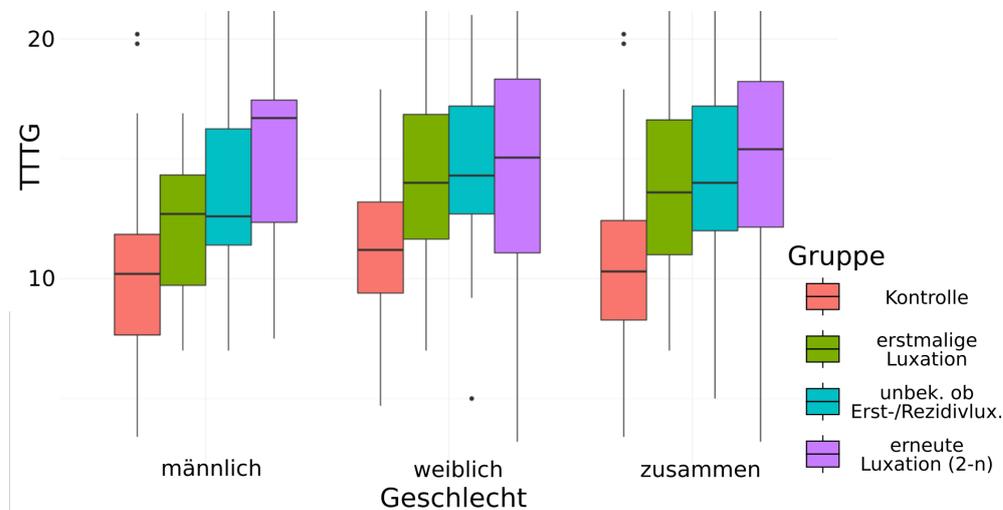
Ein Ziel der vorliegenden Arbeit war zu untersuchen, ob sich für Männer und Frauen unterschiedliche Normwerte des TT-TG-Abstands zeigen lassen um auf dieser Basis pathologische Grenzwerte für Männer und Frauen festzulegen. Da wir wie oben angeführt jedoch keinen Unterschied zwischen den pathologischen Grenzwerten der TT-TG-Abstände bei Männern und Frauen feststellen konnten, fanden wir keine Anhaltspunkte ge-

schlechtsspezifische Grenzwerte für Männer und Frauen getrennt zu postulieren. Ein TT-TG im Bereich von 15-20mm wird als grenzwertig beurteilt.<sup>66</sup> Dejour hatte auf der Grundlage von CT-Untersuchungen vorgeschlagen, dass ein TT-TG von mehr als 20 mm operativ durch eine Medialisation der Tuberositas tibiae korrigiert werden sollte. Dieser Grenzwert gilt auch heute noch. Allerdings würde eine zufällig im MRT oder CT erkannter TT-TG von 20 mm und größer nur nach sorgfältiger Abwägung und in der Gesamtschau der anatomischen Gegebenheiten primär operiert werden. In der Gesamtschau sind Fehlbildungen der Patella, ein Hochstand der Patella oder eine Fehlbildung des Gleitlagers der Patella (Trochleadysplasie), eine Dysplasie des M.Quadrizeps sowie Rotationsfehlstellungen weitere wichtige Beispiele für Ursachen einer Luxation der Patella und damit in die Therapieentscheidung einzubinden.

Gemäß der S1-Leitlinie „Patella-Luxation“ der Leitlinienkommission der Deutschen Gesellschaft für Unfallchirurgie e.V. (DGU)<sup>67</sup> wird eine traumatische Erstluxation ohne osteochondrales Flake nach Abwägung der individuellen Wahrscheinlichkeit einer Reluxation konservativ behandelt. Relative OP-Indikationen sind: ein vollständig rupturiertes mediales patellofemorales Ligament (MPFL) bzw. mediales Retinaculum, Subluxationsstellung im Merchant-View im Seitenvergleich, Chondrale Flake-Fraktur, freier Gelenkkörper, rezidivierende Luxationen bzw. Rezidivinstabilität und das Versagen der konservativen Behandlung. Insbesondere das MPFL rupturiert häufig und ist bereits nach der Erstluxation in mehr als 90 % der Fälle betroffen.<sup>68</sup> Die Leitlinie empfiehlt gemäß den Studien von Dejour, Dickschass und Dines ein distales Realignment bei einem TT-TG von mindestens 15-20 mm.<sup>4,69,70</sup>

So sagt die Leitlinie: „Zur Therapieplanung ist das Verstehen der anatomisch-biomechanischen Pathologie (MPFL Ruptur, Trochleadysplasie, TT-TG Abstand, Patellahochstand, Knorpelverletzungen, Genu valgum, vermehrte Antetorsion des Femur, vermehrte Aussentorsion der Tibia, kontralaterale Instabilität, Hypermobilität der Gelenke) mit differenzierter kausaler Behandlungsstrategie entscheidend“ (Leitlinie Patellaluxation Seite 10).<sup>67</sup>

Auf der anderen Seite bestätigt unsere Studie die Bedeutung des TT-TG für die Entstehung von Patellarluxationen. Es besteht eine statistisch hochsignifikante Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen dem TT-TG und der Häufigkeit der Patellaluxation.



**Abbildung 27 - Box-Whisker-Plot der TT-TG-Abstände für die Kontrollgruppe, erstmalige Luxation, mindestens eine Luxation und mehr als zwei Luxationen**

Die Bedeutung für den Zusammenhang zwischen einem vergrößertem TT-TG und Patellarluxationen wird durch eine Vielzahl von Studien belegt. Dejour hatte in seiner Kontrollgruppe 3,3% der Patienten mit einem TT-TG größer 20 mm.<sup>4</sup> In der Studiengruppe waren es 56%. Dieser Sachverhalt hatte uns zur Wahl des Cut-Off von 20 mm im Rahmen der logistischen Regression von Tabelle 15 und 18 bewogen. Balcarec (2011) beobachtete in seiner Studie mit sehr jungen Sportlern ab einem Alter von 10 Jahren einen TT-TG von mehr als 20 mm bei nur 2,2% der Kontrollen aber bei 11% der Luxationspatienten.<sup>58</sup> In unserer Arbeit zeigte sich, dass der TT-TG ein statistisch hochsignifikanter Risikofaktor für die patellofemorale Luxation ist ( $p < 0,0001$ ).

#### **9.4 Diskussion TT-TG und Körpergröße**

Mit der Vermutung, daß sich in größeren Menschen vermehrt größere Knie mit entsprechend größeren TT-TG-Abständen vorfinden lassen untersuchten wir diesen Zusammenhang. Mit einem p-Wert von 0,981 ergab sich in unserer Studie kein Zusammenhang zwischen Körpergröße und TT-TG. Hingelbaum et al.<sup>60</sup> und Dornacher et al.<sup>59,71,72</sup> beschäftigten sich ebenfalls mit dieser Fragestellung. Auch im Rahmen derer Studien zeigte sich

keine Korrelation, weder zur individuellen Größe des Kniegelenks noch zur Körpergröße. Die Annahme, daß der absolute TT-TG bei einem kleinen Menschen eine andere Wertigkeit haben sollte als in einem grossen Menschen hatte sich also nicht bestätigt. Der TT-TG muss daher als sehr individueller, grössenunabhängiger Wert gesehen werden.

### **9.5 Diskussion TT-TG und Bandverletzung**

In der Annahme einer möglichen Dislokation, bedingt durch eine Ruptur des Bandapparates und damit verbundenen Veränderungen des TT-TGs untersuchten wir diesen Zusammenhang. Es fand sich kein Unterschied bei den TT-TG Werten in der Kontrollgruppe mit oder ohne Bandverletzungen. In der Literatur wurde dieser Zusammenhang nach unseren Recherchen bisher nicht untersucht.

### **9.6 Diskussion der Messung des TT-TG**

Schoettle et al. zeigten, daß zur Bestimmung des TT-TG-Abstands neben dem bis dato geltenden Goldstandard des CT-Scans ebenso gut der MRT-Scan verwendet werden kann.<sup>73</sup> Auffällig war jedoch die Feststellung, daß über den MRT-Scan der Abstand tendenziell unterschätzt wird. Sich ebenfalls an knöchernen Begrenzungen orientierend ergab sich ein durchschnittlicher TT-TG-Abstand von  $13,9 \pm 4,5$  mm, im CT-Scan  $14,4 \pm 5,4$  mm. Bei dieser Methode war der Scheitel der Tuberositas im distalsten Schnitt massgeblich. Unter Verwendung der knorpeligen Grenzen ergaben sich in Schöttles Arbeit ein durchschnittlicher TT-TG-Abstand von  $13,5 \pm 4,1$  mm, im CT-Scan  $15,3 \pm 4,6$  mm. Entsprechend unserer Messvorschrift bezeichnete Schoettle die Verwendung des Zentrums der Patellarsehne als Orientierungsmarke vorteilhaft im Gegensatz zum prominentesten Punkt der Tuberositas da es den wirkenden Kräften eher entspricht. Aus dem gleichen Grund empfiehlt er auch in den proximalen Schnitten die Orientierung an den knorpeligen Strukturen. Schoettle betont jedoch, daß sowohl die Verwendung knöcherner als auch knorpeliger Begrenzungen zu zuverlässigen Ergebnissen führen würden. Zwecks besserer präoperativer Beurteilbarkeit sei die Schichtbilddarstellung mittels MRT im Vorteil. Unsere Messvorschrift geht einen Mittelweg unter Verwendung der knöchernen Begrenzungen, im distalsten Schnitt jedoch die Bestimmung des Mittelpunkts der Patellarsehne. Der

in unserer MRT-basierten Studie ermittelte Wert von  $14,3 \pm 4,2$  mm (Luxationsgruppe beider Geschlechter) kommt Schöttles Werten sehr nahe. Die ausgesprochen hohe Fallzahl unserer Studie sehen wir als Untermauerung der eben diskutierten Werte.<sup>13</sup>

## 9.7 Schwächen und Stärken der Studie

Die vorliegende Arbeit ist eine retrospektive Fall-Kontroll-Studie. Fall-Kontrollstudien sind mit folgenden grundlegenden Fehlerquellen behaftet:

- die zeitliche Abfolge von Exposition und Erkrankung ist unklar
- die Exposition kann retrospektiv oft schwer gemessen werden
- Die Auswahl der Kontrollgruppe ist oft problematisch

Die Problematik der zeitlichen Abfolge von Exposition und Erkrankung ist beim TT-TG nicht relevant. Der TT-TG wird durch patellofemorale Luxationen nicht beeinflusst.

Der problematische Punkt „Auswahl der Kontrollgruppe“ trifft jedoch auch auf unsere Studie zu. Der Goldstandard zur Messung des Einflusses des TT-TG auf die Patellaluxation wäre eine Kohortenstudie. Da die Prävalenz einer akuten Patelladislokation jedoch vergleichsweise selten ist (ca. 6-77 Fälle / 100.000 Bevölkerung)<sup>21</sup> müssten mehrere tausend gesunde Probanden frühzeitig ein MRT bekommen und anschließend über Jahre beobachtet bzw. befragt werden. Eine solche Studie wäre schwer finanzierbar und ethisch höchst fragwürdig. Daher bedienen sich alle uns bekannten Studien, die den Zusammenhang zwischen TT-TG und Patellarluxation untersuchen, des Fall-Kontroll-Designs. Das Problem dabei ist, dass man auf Daten zurückgreifen muss, die vorhanden sind. Ein MRT des Knies wird in der Regel nur bei vorhandenen Beschwerden im Bereich des Kniegelenks durchgeführt. Insofern wird es sich immer um eine selektionierte Patientengruppe handeln, die in die Kontrollgruppe eingeschlossen wird. Manche Autoren haben versucht, das Fall-Kontroll-Design dahingehen aufzuwerten, als sie die Stichprobe nach Alter und Geschlecht gematcht haben.<sup>14,63</sup> Da jedoch weder Alter noch Geschlecht einen Einfluss auf den TT-TG haben ist dieser Ansatz aus unserer Sicht nicht zwingend notwendig.

Ein grundsätzliches Problem der Vergleichbarkeit von Studien liegt in der Festlegung der jeweiligen Ein- bzw. Ausschlusskriterien. Die Aussagekraft hätte durch eine Angleichung an die verwendeten Studien geschärft werden können. Unser angewandtes Kriterienprofil war uns wichtig, sodass die exaktere Vergleichbarkeit somit auch in unserer Studie nicht immer gewährleistet werden konnte.

In dieser Studie wurden alle Messungen der MRT-Bilder von einem eingehend geschulten Doktoranden ausgeführt. In der Studie von Hinckel et al. wurde Reliabilität bei einem Untersucher und einer zweiten Messung (Intrarater Reliabilität) und zwischen zwei Untersuchern (Interrater Reliabilität) gemessen. Der Intraclass Correlation Koeffizient war über 95%.<sup>64</sup> Somit gehen wir davon aus, dass ein zweiter verblindeter Untersucher nicht notwendig ist. Die Tatsache, dass nur ein Untersucher sämtliche MRT-Bilder analysiert hat, ist jedoch auch eine Stärke der Studie. So kann als sichergestellt gelten, dass die Messungen immer weitgehend identisch durchgeführt wurden.

Auf der anderen Seite wurden alle Messungen sehr zeitaufwändig manuell ausgemessen. Hier wäre zukünftig eine Softwarelösung wünschenswert, auch um noch reliablere Werte zu generieren.

Eine weitere Stärke dieser Studie ist die große Fallzahl. Lediglich ein Autor (Balcarec et al.) untersuchte eine ähnlich große Gruppe.<sup>14</sup> Damit gehört die vorliegende Studie zu den beiden größten Studien, die im Zusammenhang mit der TT-TG-Messung durchgeführt wurden.

Ein besonderer Punkt unserer Studie ist, dass wir Daten über die Häufigkeit der Luxationen zur Verfügung hatten. Dies ist unseres Erachtens das erste Mal, dass ein Zusammenhang zwischen TT-TG und Anzahl der Luxationen untersucht wurde. Aus unserer Sicht ein wichtiger und zusätzlicher Hinweis, dass der TT-TG ein wichtiger Parameter bei der Beurteilung von MRT-Untersuchungen mit der Fragestellung nach Luxationen ist

## 10 Zusammenfassung

---

Die akute Patellaluxation ist die Verlagerung der Patella aus ihrer knöchernen Gleitrinne, der Trochlea femoris, meist nach lateral heraus. Sie gehört zum Formenkreis der patellofemoralen Instabilitäten. Betroffen sind vorwiegend jüngere Patienten, hierunter vermehrt das weibliche Geschlecht.

Vor allem bei rezidivierenden Ereignissen stellt sich aufgrund des Leidensdrucks der betroffenen Patienten die Frage nach der optimalen Therapie. Schliesslich bringt die Patellaluxation häufig Begleitverletzungen wie chondrale/osteochondrale Abscherläsionen und fast immer Rupturen des stärksten medialen Stabilisators, dem mediopatellaren Ligament (MPFL) mit sich. Bis heute gibt es kontroverse Diskussionen bezüglich der Therapiewahl. Ein physiotherapeutisches Gesamtkonzept steht unterschiedlichsten chirurgischen Techniken gegenüber. Erwähnenswert sind der Tuberositastransfer nach medial, der sog. "Lateral Release" sowie die heutzutage zumeist angewendete Straffung des medialen Kapsel-Bandapparats bzw. die MPFL-Ersatzplastik. Diese Techniken haben gemeinsam, der lateralisierenden Wirkung des Quadrizepszugs auf die Patella entgegenzuwirken. Neuere biomechanische Studien haben zum besseren Verständnis der patellofemoralen Stabilität beigetragen.

Auf dem Boden dieser Tatsache lassen sich die bereits häufig in der Literatur diskutierten Risikofaktoren, welche eine Patellaluxation begünstigen, besser verstehen. Zu erwähnen sind u.a. Genu valgum, Patella alta, Trochleadysplasie, Quadrizepsdysplasie, Rotationsfehlstellungen von Tibia oder Femur, allgemeine Bandlaxizität, Adipositas und die Lateralisierung der Tuberositas tibiae. Letztere führt zu einer Zunahme des von uns untersuchten Parameters TT-TG-Abstand (englisch: Tibial Tuberosity – Trochlear Groove Distance). Dieser sehr individuelle Parameter beschreibt die anatomische Lagebeziehung zwischen Trochlea femoris und Tuberositas tibiae und erscheint zuverlässiger als der bis dato verwendete Q-Winkel zur Abschätzung des lateralisierenden Kraftmoments des Quadrizepszugs auf die Patella.

Erstmals wurde diese Lagebeziehung durch Goutallier 1978 publiziert. Die ersten Untersuchungen erfolgten anhand von konventionellen Röntgenbildern, abgelöst durch genauere Messungen an CT-Bildern. Inzwischen ist der Goldstandard die Untersuchung anhand von MRT-Schnitten.

Schöttle hatte als Normwert 13 mm genannt. Andere Autoren nannten als pathologischen Grenzwert 20 mm, wobei bislang nur unzufriedenstellend zwischen Männern und Frauen unterschieden wurde. Eines unserer Ziele war es daher, Normwerte und pathologische Grenzwerte nach Geschlechtern getrennt zu untersuchen. Darüberhinaus schien uns von Interesse zu überprüfen, inwieweit die Körpergrösse und Bandverletzungen am Knie Einfluss auf den TT-TG haben.

Grundlage dieser Arbeit sind MRT-Untersuchungen, die zwischen 02/2003 und 08/2013 aufgrund einer Kniegelenksverletzung in der Chirurgischen Klinik und Poliklinik Innenstadt der Ludwig-Maximilians-Universität in Zusammenarbeit mit dem Radiologischen Institut Innenstadt durchgeführt wurden.

Metrische Parameter wie beispielsweise der TT-TG wurden händisch nach Messvorschrift in ausgedruckten MRT-Transversalschnitten gemessen. Diese vier Schnitte wurden zuvor nach genau definierten anatomischen Orientierungspunkten bestimmt. Zusammen mit weiteren relevanten Parametern wie z.B. Patientenalter, Geschlecht, Körpergrösse, Anzahl der Luxationen und stattgehabten Rupturen von Bandstrukturen des Knies übertrugen wir die gemessenen Parameter anonymisiert in eine Exceltabelle. Diese stellte die eigentliche Grundlage unserer Studie dar.

Eine Stärke dieser Studie ist die Größe der von uns untersuchten Population. Nach Festlegung von Ausschlusskriterien konnten von 439 Patienten noch 255 in die eigentliche Studie aufgenommen werden. Es konnten 152 der Kontrollgruppe und 103 der Luxationsgruppe zugeordnet werden. Weitere Untersuchungen erfolgten auf der Basis auf folgender Subgruppen: Kontrollgruppe, Gruppe Erstluxation, Gruppe mit mind. einer Luxation und Gruppe mit mind. zwei Luxationen.

Wie bereits andere Studien zeigten, waren Luxationspatienten signifikant jünger ( $p < 0,0001$ ) und signifikant öfter weiblichem Geschlechts ( $p = 0,021$ ). Ebenso verhielt es sich mit dem TT-TG-Abstand. Statistisch hochsignifikant ( $p < 0,001$ ) bestätigte sich seine Rolle als Risikofaktor für eine Patellaluxation. Es zeigt sich ein Zusammenhang zwischen TT-TG-Abstand und Anzahl der Luxationsereignisse. Keine weitere Studie untersuchte bisher diesen Zusammenhang.

Der mittlere TT-TG aller Untersuchungen war  $12,1 \pm 4,2$  mm. Der Mittelwert der Luxationsgruppe lag mit  $14,3 \pm 4,2$  mm signifikant über dem der Kontrollgruppe ( $10,6 \pm 3,4$  mm). Die Werte stimmen weitgehend mit der Literatur überein.

Für beide Geschlechter zusammen ergab sich ein Normbereich von 3,94 bis 17,26 mm und somit ein pathologischer Grenzwert von 17,26 mm. Da es jedoch aus statistischer Sicht keine signifikanten Unterschiede der TT-TG-Abstände zwischen den Geschlechtern zeigte, machte es unserer Meinung nach keinen Sinn, Normbereiche bzw. pathologische Grenzwerte für Männer und Frauen getrennt zu berechnen. Der geschlechtsneutrale Grenzwert konnte mit 17,26 mm angegeben werden und deckt sich weitgehend mit der verwendeten Literatur. Weiterhin kann ein TT-TG von 15 – 20 mm als grenzwertig gesehen werden und nur in der Zusammenschau mit weiteren anatomischen Gegebenheiten und Krankenvorgeschichte zur richtigen Therapie führen. Der TT-TG alleine reicht zur Entscheidungsfindung nicht aus.

Darüberhinaus zeigte sich weder ein Zusammenhang zwischen TT-TG und Bandläsion ( $p = 0,762$ ) noch zwischen TT-TG und Körpergröße ( $p = 0,981$ ). Die Hypothese grösserer TT-TG-Abstände in größeren Menschen wurde also widerlegt.

## 11 Literaturverzeichnis

---

- 1 Lars Blønd. Trochlear Dysplasia. <http://www.larsblond.com/trochlear-dysplasia/> (accessed Oct 24, 2016).
- 2 Mäenpää H, Latvala K, Lehto MU. Isokinetic thigh muscle performance after long-term recovery from patellar dislocation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2000; **8**: 109–12. doi:10.1007/s001670050196.
- 3 Sallay PI, Poggi J, Speer KP, Garrett WE. Acute dislocation of the patella. A correlative pathoanatomic study. *Am J Sports Med* 1996; **24**: 52–60.
- 4 Dejour H, Walch G, Nove-Josserand L, Guier C. Factors of patellar instability: an anatomic radiographic study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1994; **2**: 19–26.
- 5 Diks, M. J. F., Wymenga AB, Anderson PG. Patients with lateral tracking patella have better pain relief following CT-guided tuberosity transfer than patients with unstable patella. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy* 2003; **11**: 384–88. doi:10.1007/s00167-003-0415-2.
- 6 Hinton RY, Sharma KM. Acute and recurrent patellar instability in the young athlete. *Orthop. Clin. North Am.* 2003; **34**: 385–96.
- 7 Dejour H, Walch G, Neyret P, Adeleine P. La dysplasie de la trochlée fémorale. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 1990; **76**: 45–54.
- 8 Uwe Gille. knee\_diagramm. [https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Knee\\_diagramm-de.svg](https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Knee_diagramm-de.svg).
- 9 Amis AA, Firer P, Mountney J, Senavongse W, Thomas NP. Anatomy and biomechanics of the medial patellofemoral ligament. *The Knee* 2003; **10**: 215–20. doi:10.1016/S0968-0160(03)00006-1.
- 10 Ahmad CS, Brown GD, Stein BS. The Docking Technique for Medial Patellofemoral Ligament Reconstruction: Surgical Technique and Clinical Outcome. *The American Journal of Sports Medicine* 2009; **37**: 2021–27. doi:10.1177/0363546509336261.
- 11 Siebold R. Die Instabilität der Patella. *Fachbeitrag Atos Klinik*.
- 12 Goutallier D, Bernageau J, Lecudonnet B. Mesure de l'écart tubérosité tibiale antérieure - gorge de la trochlée (T.A.-G.T.). Technique. Résultats. Intérêt. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 1978; **64**: 423–28.
- 13 Schoettle PB, Zanetti M, Seifert B, Pfirrmann, Christian W. A., Fucentese SF, Romero J. The tibial tuberosity–trochlear groove distance; a comparative study between CT and MRI scanning. *The Knee* 2006; **13**: 26–31. doi:10.1016/j.knee.2005.06.003.
- 14 Balcarek P, Jung K, Ammon J, et al. 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* 2010; **38**: 2320–27. doi:10.1177/0363546510373887.

- 15 Atkin DM, Fithian DC, Marangi KS, Stone ML, Dobson BE, Mendelsohn C. Characteristics of patients with primary acute lateral patellar dislocation and their recovery within the first 6 months of injury. *Am J Sports Med* 2000; **28**: 472–79.
- 16 Nietosvaara Y. Acute Patellar Dislocation in Children and Adolescents<sbt aid="1419855">Surgical Technique</sbt>. *J Bone Joint Surg Am Surgical Techniques* 2009; **91**: 139. doi:10.2106/JBJS.H.01289.
- 17 Neubert M, Steinbrück K. Die Patellaerstluxation beim Sportler. Arthroskopische Diagnostik und Therapie. *Unfallchirurg* 1991; **94**: 73–76.
- 18 Harilainen A, Sandelin J. Prospective long-term results of operative treatment in primary dislocation of the patella. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1993; **1**: 100–03.
- 19 Stefancin JJ, Parker RD. First-time Traumatic Patellar Dislocation. *Clinical Orthopaedics and Related Research* 2007; **455**: 93–101. doi:10.1097/BLO.0b013e31802eb40a.
- 20 Cofield RH, Bryan RS. Acute dislocation of the patella: results of conservative treatment. *J Trauma* 1977; **17**: 526–31.
- 21 Fithian DC, Paxton EW, Stone ML, et al. Epidemiology and natural history of acute patellar dislocation. *Am J Sports Med* 2004; **32**: 1114–21. doi:10.1177/0363546503260788.
- 22 Hawkins RJ, Bell RH, Anisette G. Acute patellar dislocations. The natural history. *Am J Sports Med* 1986; **14**: 117–20.
- 23 Arendt EA, Fithian DC, Cohen E. Current concepts of lateral patella dislocation. *Clin Sports Med* 2002; **21**: 499–519.
- 24 Strobl W, Grill F. Die Patellaluxation. *Orthopade* 1998; **27**: 197–205.
- 25 Garron E, Jouve J-L, Tardieu C, Panuel M, Dutour O, Bollini G. Etude anatomique du creusement de la trochlée fémorale chez le fœtus. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 2003; **89**: 407–12.
- 26 Tardieu C, Dupont JY. Origine des dysplasies de la trochlée fémorale: anatomie comparée, évolution et croissance de l'articulation fémoro-patellaire. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 2001; **87**: 373–83.
- 27 Amis AA, Firer P, Mountney J, Senavongse W, Thomas NP. Anatomy and biomechanics of the medial patellofemoral ligament. *Knee* 2003; **10**: 215–20.
- 28 Warren LA, Marshall JL, Girgis F. The prime static stabilizer of the medial side of the knee. *J Bone Joint Surg Am* 1974; **56**: 665–74.
- 29 Hautamaa PV, Fithian DC, Kaufman KR, Daniel DM, Pohlmeier AM. Medial soft tissue restraints in lateral patellar instability and repair. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 1998: 174–82.
- 30 Senavongse W. The effects of articular, retinacular, or muscular deficiencies on patellofemoral joint stability: A BIOMECHANICAL STUDY IN VITRO. *Journal of Bone and Joint Surgery - British Volume* 2005; **87-B**: 577–82. doi:10.1302/0301-620X.87B4.14768.

- 31 Senavongse W, Farahmand F, Jones J, Andersen H, Bull, A. M. J., Amis AA. Quantitative measurement of patellofemoral joint stability: Force–displacement behavior of the human patella in vitro. *J. Orthop. Res.* 2003; **21**: 780–86. doi:10.1016/S0736-0266(03)00061-5.
- 32 Desio SM, Burks RT, Bachus KN. Soft tissue restraints to lateral patellar translation in the human knee. *Am J Sports Med* 1998; **26**: 59–65.
- 33 Burks RT, Desio SM, Bachus KN, Tyson L, Springer K. Biomechanical evaluation of lateral patellar dislocations. *Am J Knee Surg* 1998; **11**: 24–31.
- 34 Nomura E, Inoue M, Osada N. Anatomical analysis of the medial patellofemoral ligament of the knee, especially the femoral attachment. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2005; **13**: 510–15. doi:10.1007/s00167-004-0607-4.
- 35 Muneta T, Sekiya I, Tsuchiya M, Shinomiya K. A technique for reconstruction of the medial patellofemoral ligament. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 1999: 151–55.
- 36 Schöttle PB, Weiler A, Romero J. Rekonstruktion des Lig. patellofemorale mediale bei patellofemorale Instabilität. *Arthroscopie* 2005; **18**: 293–300. doi:10.1007/s00142-005-0306-2.
- 37 Fithian DC, Mishra DK, Balen PF, Stone ML, Daniel DM. Instrumented measurement of patellar mobility. *Am J Sports Med* 1995; **23**: 607–15.
- 38 Universitätsklinikum Münster. Erkrankungen oder Verletzungen der Kniescheibe (Patella). <http://klinikum.uni-muenster.de/index.php?id=6062> (accessed Oct 16, 2016).
- 39 Vainionpää S, Laasonen E, Päätiälä H, Rusanen M, Rokkannen P. Acute dislocation of the patella. Clinical, radiographic and operative findings in 64 consecutive cases. *Acta Orthop Scand* 1986; **57**: 331–33.
- 40 Cash JD, Hughston JC. Treatment of acute patellar dislocation. *Am J Sports Med* 1988; **16**: 244–49.
- 41 Mäenpää H. The dislocating patella. Predisposing factors and a clinical, radiological and functional follow-up study of patients treated primarily nonoperatively. *Ann Chir Gynaecol* 1998; **87**: 248–49.
- 42 Mäenpää H, Lehto MU. Surgery in acute patellar dislocation--evaluation of the effect of injury mechanism and family occurrence on the outcome of treatment. *Br J Sports Med* 1995; **29**: 239–41.
- 43 Sanders TG, Medynski MA, Feller JF, Lawhorn KW. Bone contusion patterns of the knee at MR imaging: footprint of the mechanism of injury. *Radiographics* 2000; **20 Spec No**: S135-51. doi:10.1148/radiographics.20.suppl\_1.g00oc19s135.
- 44 Elias DA, White LM, Fithian DC. Acute Lateral Patellar Dislocation at MR Imaging: Injury Patterns of Medial Patellar Soft-Tissue Restraints and Osteochondral Injuries of the Inferomedial Patella. *RY* 2002; **225**: 736–43. doi:10.1148/radiol.2253011578.
- 45 Ahmed AM, Duncan NA. Correlation of patellar tracking pattern with trochlear and retropatellar surface topographies. *J Biomech Eng* 2000; **122**: 652–60.

- 46 Davies AP, Costa ML, Shepstone L, Glasgow MM, Donell S, Donnell ST. The sulcus angle and malalignment of the extensor mechanism of the knee. *J Bone Joint Surg Br* 2000; **82**: 1162–66.
- 47 Farahmand F, Senavongse W, Amis AA. Quantitative study of the quadriceps muscles and trochlear groove geometry related to instability of the patellofemoral joint. *J Orthop Res*. 1998; **16**: 136–43. doi:10.1002/jor.1100160123.
- 48 Pfirrmann CW, Zanetti M, Romero J, Hodler J. Femoral trochlear dysplasia: MR findings. *Radiology* 2000; **216**: 858–64. doi:10.1148/radiology.216.3.r00se38858.
- 49 Amis AA. Current concepts on anatomy and biomechanics of patellar stability. *Sports Med Arthrosc* 2007; **15**: 48–56. doi:10.1097/JSA.0b013e318053eb74.
- 50 Bollier M, Fulkerson JP. The role of trochlear dysplasia in patellofemoral instability. *J Am Acad Orthop Surg* 2011; **19**: 8–16.
- 51 Caton J. Méthode de mesure de la hauteur de la rotule. *Acta Orthop Belg* 1989; **55**: 385–86.
- 52 Feller JA, Amis AA, Andrish JT, Arendt EA, Erasmus PJ, Powers CM. Surgical Biomechanics of the Patellofemoral Joint. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 2007; **23**: 542–53. doi:10.1016/j.arthro.2007.03.006.
- 53 Nomura E. Classification of lesions of the medial patello-femoral ligament in patellar dislocation. *Int Orthop* 1999; **23**: 260–63.
- 54 Farahmand F, Tahmasbi MN, Amis AA. Lateral force-displacement behaviour of the human patella and its variation with knee flexion--a biomechanical study in vitro. *J Biomech* 1998; **31**: 1147–52.
- 55 Fulkerson JP, Shea KP. Disorders of patellofemoral alignment. *J Bone Joint Surg Am* 1990; **72**: 1424–29.
- 56 Koeter S, Diks, M. J. F., Anderson PG, Wymenga AB. A modified tibial tubercle osteotomy for patellar maltracking: RESULTS AT TWO YEARS. *Journal of Bone and Joint Surgery - British Volume* 2007; **89-B**: 180–85. doi:10.1302/0301-620X.89B2.18358.
- 57 Balcarek P, Ammon J, Frosch S, et al. 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* 2010; **26**: 926–35. doi:10.1016/j.arthro.2009.11.004.
- 58 Balcarek P, Jung K, Frosch K-H, Sturmer MK. Value of the Tibial Tuberosity-Trochlear Groove Distance in Patellar Instability in the Young Athlete. *The American Journal of Sports Medicine* 2011; **39**: 1756–61. doi:10.1177/0363546511404883.
- 59 Dornacher D, Reichel H, Lippacher S. Measurement of tibial tuberosity-trochlear groove distance: evaluation of inter- and intraobserver correlation dependent on the severity of trochlear dysplasia. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2014; **22**: 2382–87. doi:10.1007/s00167-014-3083-5.

- 60 Hingelbaum S, Mauch F, Wagner D, Bauer G, Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie | Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und orthopädische Chirurgie | Berufsverband der Fachärzte für Orthopädie, eds. Bestimmung und Validierung des TT-TG Index bei Patienten mit chronischer Patellainstabilität. German Medical Science GMS Publishing House, 2012.
- 61 Hingelbaum S, Best R, Huth J, Wagner D, Bauer G, Mauch F. The TT-TG Index: a new knee size adjusted measure method to determine the TT-TG distance. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2014; **22**: 2388–95. doi:10.1007/s00167-014-3204-1.
- 62 Lustig S, Servien E, Aït Si Selmi, T., Neyret P. Facteurs d'erreur de la mesure per et postopératoire de la médialisation de la tubérosité tibiale antérieure. *Revue de Chirurgie Orthopédique et Réparatrice de l'Appareil Moteur* 2006; **92**: 429–36. doi:10.1016/S0035-1040(06)75829-9.
- 63 Alemparte J, Ekdahl M, Burnier L, et al. Patellofemoral Evaluation With Radiographs and Computed Tomography Scans in 60 Knees of Asymptomatic Subjects. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery* 2007; **23**: 170–77. doi:10.1016/j.arthro.2006.08.022.
- 64 Hinckel BB, Gobbi RG, Kihara Filho EN, Demange MK, Pecora JR, Camanho GL. Patellar Tendon-Trochlear Groove Angle Measurement: A New Method for Patellofemoral Rotational Analyses. *Orthopaedic journal of sports medicine* 2015; **3**: 2325967115601031. doi:10.1177/2325967115601031.
- 65 Camp CL, Stuart MJ, Krych AJ, et al. CT and MRI Measurements of Tibial Tubercle-Trochlear Groove Distances Are Not Equivalent in Patients With Patellar Instability. *The American Journal of Sports Medicine* 2013; **41**: 1835–40. doi:10.1177/0363546513484895.
- 66 Diederichs G, Issever AS, Scheffler S. MR Imaging of Patellar Instability: Injury Patterns and Assessment of Risk Factors 1. *RG* 2010; **30**: 961–81. doi:10.1148/rg.304095755.
- 67 Jagodzinski M, Niemeyer P, Zeichen J, Balcarek P. S1-Leitlinie 012/024: Patellaluxation.
- 68 Nomura E, Horiuchi Y, Inoue M. Correlation of MR imaging findings and open exploration of medial patellofemoral ligament injuries in acute patellar dislocations. *The Knee* 2002; **9**: 139–43.
- 69 Dickschas J, Harrer J, Pfefferkorn R et al. Operative treatment of patellofemoral mal-tracking with torsional osteotomy. *Archives of orthopaedic and trauma surgery* 2012: 289–98.
- 70 Dines JS, Fealy S, Potter HG et al. Outcomes of osteochondral lesions of the knee repaired with a bioabsorbable device. *Arthroscopy* 2008: 62–68.
- 71 Dornacher D, Lippacher S, Reichel H, Kappe T, Deutsche Gesellschaft für Unfallchirurgie | Deutsche Gesellschaft für Orthopädie und orthopädische Chirurgie | Berufsverband der Fachärzte für Orthopädie, eds. Korreliert der TT-TG mit der individuellen Größe des Kniegelenkes? Eine Untersuchung an MR-Scans von Kniegelenken mit und ohne Trochleadysplasie. German Medical Science GMS Publishing House, 2014.

- 72 Dornacher D, Reichel H, Kappe T. Does tibial tuberosity-trochlear groove distance (TT-TG) correlate with knee size or body height? *Knee surgery, sports traumatology, arthroscopy : official journal of the ESSKA* 2016; **24**: 2861–67. doi:10.1007/s00167-015-3526-7.
- 73 Schöttle PB, Fucentese SF, Pfirrmann C, Bereiter H, Romero J. Trochleaplasty for patellar instability due to trochlear dysplasia. *Acta Orthop* 2005; **76**: 693–98. doi:10.1080/17453670510041781.

## 12 Abbildungsverzeichnis

---

Abbildung 1 – Schematische Darstellung des TT-TG <sup>1</sup> .....	1
Abbildung 2 - Anatomie des Kniegelenks <sup>8</sup> .....	2
Abbildung 3 - Mechanismus der lateralen Patellaluxation <sup>11</sup> .....	3
Abbildung 4 - MRT: Schematische Darstellung zur Bestimmung des TT-TG <sup>14</sup> .....	4
Abbildung 5 - Anatomische Lagebeziehung des MPFL zu umgebenden Strukturen <sup>27</sup> .....	7
Abbildung 6 - Schematische Darstellung des TT-TG Abstands <sup>36</sup> .....	8
Abbildung 7 - Patellaluxation links in vivo und im konventionellen Röntgenbild <sup>38</sup> .....	9
Abbildung 8 - Einteilung des Trochleadsplasiegrade nach Dejour et al. <sup>4</sup> .....	13
Abbildung 9 - Anatomie des MPFL <sup>9</sup> .....	14
Abbildung 10 - Stabilisoren der Patella nach Flexionsgrad <sup>30</sup> .....	15
Abbildung 11 - Übersicht der ausgeschlossenen Patienten .....	21
Abbildung 12 - Verteilung der Patienten nach Anwendung der Ausschlusskriterien.....	22
Abbildung 14 - Die Ebene mit dem grössten Abstand der Epikondylen .....	25
Abbildung 15 - Die Ebene in welcher die Kondylen am weitesten nach dorsal reichen.....	26
Abbildung 16 - Die Ebene in welcher die Prominenz der Tuberositas tibiae und die dort inserierende Patellarsehne eindeutig zu sehen sind .....	27
Abbildung 17 - Schnitt 1 (weisse Eichstrecke) und Schnitt 4 einer MRT-Untersuchung des linken Knies der Chirurgischen Klinik und Poliklinik Innenstadt der LMU.....	28
Abbildung 18 - Beispiel des Datenblattes mit den wesentlichen Parametern .....	30
Abbildung 19 - Boxplot der TT-TG-Abstände nach Geschlecht getrennt (Gesamtpopulation).....	38
Abbildung 20 - Boxplot der TT-TG in der Kontroll- und Luxationsgruppe (Gesamtpopulation) .....	39
Abbildung 21 - Box-Whisker-Plot der TT-TG-Abstände für die Kontrollgruppe mit und ohne Bandverletzungen, erstmalige Luxation, mehr als zwei Luxationen, mindestens eine Luxation ....	41
Abbildung 22 - TT-TG in der Kontroll- und Luxationsgruppe nach Geschlecht getrennt als Box-Whisker-Plot dargestellt.....	42
Abbildung 23 - TT-TG in der Kontroll- und Luxationsgruppe nach Geschlecht getrennt sowie zusammengefasst als Box-Whisker-Plot.....	43
Abbildung 24 - Box-Plot der TT-TG Abstände in der Kontrollgruppe mit und ohne Bandrupturen.	45
Abbildung 25 - Punktwolke mit Darstellung von TT-TG und Körpergröße .....	46
Abbildung 26 - Streudiagramm für TT-TG und Körpergröße getrennt für Männer und Frauen.....	47
Abbildung 27 - Box-Whisker-Plot der TT-TG-Abstände für die Kontrollgruppe, erstmalige Luxation, mindestens eine Luxation und mehr als zwei Luxationen.....	55

## 13 Tabellenverzeichnis

---

Tabelle 1 - Geschlechterverteilung der Studienpopulation .....	32
Tabelle 2 - Übersicht über Alter, Körpergröße und Körpergewicht.....	32
Tabelle 3 - Übersicht Luxations- und Kontrollgruppe .....	32
Tabelle 4 - Übersicht Aufteilung der Untergruppen .....	33
Tabelle 5 - Kreuztabelle Kontrollgruppe und Luxationsgruppe nach Geschlecht.....	33
Tabelle 6 - Wesentliche Charakteristika von Kontrollgruppe und Luxationsgruppe .....	34
Tabelle 7 - Wesentliche Charakteristika in der Kontrollgruppe mit und ohne Bandläsionen, sowie erstmaliger Luxation, mindestens eine Luxation und mindestens zwei Luxationen .....	35
Tabelle 8 - Post Hoc Test zur Ermittlung der Signifikanzlevel in den verschiedenen Gruppen .....	36
Tabelle 9 - Übersicht TT-TG Abstände - Gesamtpopulation .....	37
Tabelle 10 - Übersicht TT-TG nach Geschlechtern getrennt.....	37
Tabelle 11 - Übersicht der TT-TG Maßzahlen nach Gruppen .....	38
Tabelle 12 - Berechnete Mittelwerte des TT-TG für Männer und Frauen in der Kontroll- und Luxationsgruppe .....	40
Tabelle 13 - TT-TG Abstände in der Kontrollgruppe, und den Luxationssubgruppen (Erstmalige Luxation, mindestens eine Luxation, mindestens 2 Luxationen).....	40
Tabelle 14 - Post Hoc Test zum Vergleich aller Luxationsgruppen .....	41
Tabelle 15 - Logistische Regression für den TT-TG Abstand (>20mm) und die Variablen Alter und Geschlecht .....	43
Tabelle 16 – TT-TG bei Kontrollpatienten mit und ohne Bandläsion.....	44
Tabelle 17 - Lineares Regressionsmodell für den TT-TG in Abhängigkeit von der Körpergröße .....	47
Tabelle 18 - Logistische Regression für den TT-TG Abstand (>20mm) und die Variablen Alter und Geschlecht und Körpergröße.....	48
Tabelle 19 - Logistische Regression Luxation (ja/nein) und den Einflussfaktoren Alter, Geschlecht und TT-TG Abstand .....	48
Tabelle 20 – Übersicht über TT-TG Studien mit Kontrollgruppe .....	51
Tabelle 21 – Übersicht über TT-TG Studien ohne Kontrollgruppe.....	52

## 14 Abkürzungsverzeichnis

---

Abb.	Abbildung
a.p.	anterior-posterior
bzw.	beziehungsweise
CT	Computertomographie
et al.	et alii
etc.	et cetera
evtl.	eventuell
Lig.	Ligamentum
KG	Kontrollgruppe
M.	Musculus
MPFL	mediales patellofemorales Ligament
MRT	Magnetresonanztomographie
MW	Mittelwert
N	Newton
o.g.	oben genannt
OP	Operation
OR	Odds ratio
p	Signifikanzwert (p-Wert)
PFI	patellofemorale Instabilität
SD	Standardabweichung
TD	Trochleadysplasie
TT-TG	Tuberositas-Tibiae-Trochlea-Groove-Abstand
t-Wert	Testprüfgröße des t-Tests
usw.	und so weiter
VMO	Musculus vastus medialis obliquus
vs.	versus

# Eidesstattliche Versicherung

Wellenhofer Michael

---

Name, Vorname

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

## **Der TT-TG-Abstand als Risikofaktor für die 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.

16.06.2019

---

Ort, Datum

(Wellenhofer)

---

Unterschrift Doktorandin/Doktorand