

Aus dem Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Die Folgen der isolierten Gracilissehnenentnahme am
unverletzten Knie auf die Kraft der Oberschenkelmuskulatur
und das funktionelle Outcome

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Anne Flies

aus Luxemburg, Luxemburg

Datum der Promotion: 03.12.2021

Inhaltsverzeichnis

1.	Abkürzungsverzeichnis	4
2.	Abstract	5
3.	Manteltext	7
4.	Eidesstattliche Versicherung und Anteilserklärung	25
5.	Auszug aus der Journal Summary List	27
6.	Druckexemplar der Publikation	28
7.	Lebenslauf	36
8.	Publikationsliste	39
9.	Danksagung	41

Die vorliegende Dissertationsschrift ist Teil einer Publikationspromotion und beruht auf folgender vorausgegangener Publikation der Autorin:

Flies A, Scheibel M, Kraus N, Kruppa P, Provencher MT, Becker R, Kopf S (2020) Isolated gracilis tendon harvesting is not associated with loss of strength and maintains good functional outcome. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 28:637-644. DOI: [10.1007/s00167-019-05790-y](https://doi.org/10.1007/s00167-019-05790-y)

Die in dieser Dissertationsschrift gewählte männliche Form bezieht sich immer zugleich auf weibliche und männliche Personen.

1. Abkürzungsverzeichnis

PROM	Patient reported outcome measures
IKDC – 2000	International Knee Documentation Committee – 2000
M./Mm.	Musculus/Musculi
N.	Nervus
LCA	Ligamentum cruciatum anterius
MPFL	Medial patellofemoral ligament
ACG	Akromioklavikulargelenk
LCP	Ligamentum cruciatum posterius
Bds	Beidseits
ST	Semitendinosus
G	Gracilis
BMI	Body Mass Index
SF – 36	Short Form Health – 36
95%-KI	95%-Konfidenzintervall
IQR	Interquartilenabstand
n.s.	nicht signifikant

2. Abstract

2.1. Abstract in englischer Sprache

Der nachfolgende Text entspricht dem Abstract der Arbeit :

Flies A, Scheibel M, Kraus N, Kruppa P, Provencher MT, Becker R, Kopf S (2020) Isolated gracilis tendon harvesting is not associated with loss of strength and maintains good functional outcome. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 28:637-644. DOI: [10.1007/s00167-019-05790-y](https://doi.org/10.1007/s00167-019-05790-y)

„Purpose: The gracilis tendon is a commonly used autologous graft. Most information on knee function and outcomes after its harvest is related to both semitendinosus and gracilis tendon harvest. Therefore, this study analyzed the effect of isolated gracilis tendon harvest from healthy, uninjured knees on thigh muscle strength and patient reported outcome measures (PROMs).

Methods: Stabilization of the acromioclavicular joint because of chronic instability was performed with autologous gracilis tendon in 12 patients. After a mean of 44 ± 25 months after surgery, isokinetic peak-torque measurements of specific functions of the gracilis muscle were performed: knee flexion in a sitting position (flexion angles 0° - 90°) and in prone position (flexion angles $> 70^\circ$), internal tibial rotation and hip adduction. The contralateral limb was control. Knee specific PROMs were collected including IKDC – 2000 subjective evaluation form, Lysholm score, the Marx Activity Rating Scale and SF – 36 health survey.

Results: No significant side-to-side differences were found regarding torque measurements. Excellent results were shown regarding the PROMs, which even in terms of IKDC – 2000 (97 vs. 82 points, $p = 0.001$) exceeded significantly the age- and gender-matched reference data.

Conclusion: Isolated gracilis tendon harvesting was not associated with loss of strength in knee flexion, internal tibial rotation and thigh adduction. Additionally, good functional outcome as well as excellent knee-specific subjective outcome was found.”

2.2. Abstract in deutscher Sprache

Der nachfolgende Text entspricht der Übersetzung des Abstracts der Arbeit:

Flies A, Scheibel M, Kraus N, Kruppa P, Provencher MT, Becker R, Kopf S (2020) Isolated gracilis tendon harvesting is not associated with loss of strength and maintains good functional outcome. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 28:637-644. DOI: [10.1007/s00167-019-05790-y](https://doi.org/10.1007/s00167-019-05790-y)

Zweck: Die Sehne des Musculus (M.) gracilis ist ein häufig verwendetes autologes Transplantat. Die meisten Informationen über die Kniefunktion und das funktionelle Outcome nach Entnahme der Gracilissehne sind lediglich nach der kombinierten Entnahme von Gracilis- und Semitendinosussehnen bekannt. Aus diesem Grund soll diese Studie den Effekt der isolierten Entnahme der Sehne des M. gracilis auf das ansonsten gesunde, unverletzte Knie hinsichtlich der Muskelkraft und des funktionellen Outcomes untersuchen.

Methodik: An zwölf Patienten wurde die Stabilisierung des Akromioklavikulargelenks bei chronischer Instabilität mittels autologer Sehne des M. gracilis durchgeführt. Nach durchschnittlich 44 ± 25 Monaten postoperativ wurden isokinetische Maximalkraftmessungen der Funktionen des M. gracilis durchgeführt: Kniebeugung in sitzender Position (Kniebeugewinkel 0° bis 90°) und in Bauchlage (Kniebeugewinkel $> 70^\circ$), tibiale Innenrotation und Oberschenkeladduktion. Das kontralaterale Bein diente als Kontrolle. Das funktionelle Outcome wurde mittels Patientenfragebögen inkl. IKDC – 2000 subjektiver Teil, Lysholm-Fragebogen, Marx-Aktivitätsfragebogen und SF – 36-Gesundheitsfragebogen erhoben.

Ergebnisse: Es wurde kein signifikanter Seitenunterschied hinsichtlich der Maximalkraftmessungen gefunden. Die klinischen Fragebögen zeigten ein exzellentes funktionelles Outcome, welches beim IKDC – 2000 subjektiver Teil (97 vs. 82 Punkte, $p = 0.001$) signifikant die alters- und geschlechtsgematchten Referenzdaten überschritt.

Fazit: Die isolierte Entnahme der Sehne des M. gracilis war nicht mit einem Kraftverlust der Knieflexion, tibialen Innenrotation und Oberschenkeladduktion verbunden. Zusätzlich wurde ein gutes funktionelles Outcome gefunden.“

(Übersetzt durch die Autorin)

3. Manteltext

3.1. Einleitung

Der *Musculus (M.) gracilis* entspringt am *Corpus und Ramus inferior ossis pubis*. Distal setzt er sehnig medial der *Tuberositas tibiae* an und ist Bestandteil des *Pes anserinus superficiale*, zusammen mit den Sehnen der *Mm. semitendinosus et sartorius* [41]. Der *M. gracilis* ist ein zweigelenkiger Muskel, der im Kniegelenk beugt und den Unterschenkel innenrotiert sowie im Hüftgelenk beugt und adduziert. Die Innervation erfolgt über den *Nervus (N.) obturatorius* [41]. Auf Grund seines nach posterior gerichteten Zuges am Tibiakopf wird er als Agonist des *Ligamentum cruciatum anterius (LCA)* bei der Kniestabilisation angesehen [10, 25]. Seit Jahrzehnten ist es gängige Praxis die Sehne des *M. gracilis* als autologes Transplantat in der orthopädischen Chirurgie zu verwenden, typischerweise für *LCA*-Plastiken zusammen mit der Sehne des *M. semitendinosus* [23]. Die Sehne des *M. gracilis* wird aber nicht nur aus dem bereits verletzten Kniegelenk entnommen, z.B. im Rahmen von *LCA*-Plastiken oder zur Rekonstruktion des *Retinaculum patellofemorale mediale (MPFL = engl. medial patellofemoral ligament)* bei rezidivierenden Patellaluxationen [32]. Die Entnahme erfolgt auch aus dem gesunden Kniegelenk beziehungsweise Oberschenkel, um als Transplantat anderweitig im Körper Verwendung zu finden, so zum Beispiel an der Schulter bei chronischen Instabilitäten des Akromioklavikulargelenks [31] oder am oberen Sprunggelenk bei lateralen Instabilitäten zur Rekonstruktion des *Ligamentum talofibulare anterius* und des *Ligamentum calcaneofibulare* [8]. Die Sehnenentnahme aus dem unverletzten Kniegelenk würde eine mögliche Spendermorbidity noch kritischer erscheinen lassen als aus dem bereits vorgeschädigten Knie.

Bisherige Studien analysierten lediglich die Spendermorbidity der isolierten Semitendinosus- beziehungsweise kombinierten Gracilis- und Semitendinosussehnenentnahme nach *LCA*-Ruptur, anschließender Plastik und Rehabilitation. Alle drei Ereignisse – Ruptur, Plastik und Rehabilitation – sind jedoch Faktoren, welche das Outcome beeinflussen, so dass eine isolierte Betrachtung des Effekts der Entnahme der Sehne des *M. gracilis* auf das gesunde Kniegelenk, unseres Wissens nach, bisher nicht stattfand.

Trotz der oben genannten Funktionen der Sehne des *M. gracilis* wird die Spendermorbidity, nach Entnahme der Sehne, insgesamt als gering bewertet [1, 35]. Allerdings sind die Ergebnisse insgesamt kontrovers. Beispielsweise konnten Segawa et

al. und Yasuda *et al.* 12 Monate nach LCA-Plastik mittels Semitendinosus- und Gracilissehnenentnahme kein Kraftdefizit bei der maximalen isokinetischen Knieflexionskraft im Vergleich zur Gegenseite nachweisen [33, 43]. Allerdings konnte auch gezeigt werden, dass die zusätzliche Entnahme der Gracilissehne im Vergleich zur isolierten Semitendinosussehnenentnahme bei Patienten mit LCA-Plastik zu größeren Kraftverlusten bei der isokinetischen Flexion im Kniegelenk bei größeren Winkelgraden ($> 70^\circ$) und niedrigeren Winkelgeschwindigkeiten ($60^\circ / \text{s}$) [27, 38] sowie der Innenrotation des Unterschenkels führte [33, 40]. MRT (Magnetresonanztomographie) - Untersuchungen zeigten, dass es bei fast allen Patienten zwar zu einer Regeneration der Semitendinosus- und Gracilissehnen kam, allerdings in einem unterschiedlichen Ausmaß [9, 20, 42]. Hier zeigte sich in den meisten Fällen eine weiter proximal gelegene Insertionsstelle der Sehnen sowie eine Retraktion der Muskelbäuche der *Mm. gracilis et semitendinosus* [9, 20, 35]. Die hierdurch veränderte Biomechanik könnte eine Ursache für einen möglichen Kraftverlust nach Entnahme der Gracilissehne sein.

Neben der Kraft ist auch das funktionelle Outcome zur Beurteilung des Effekts der Entnahme des *M. gracilis* wichtig und insbesondere um die klinische Relevanz der Ergebnisse einzuordnen. Bei Patienten nach LCA-Plastik konnten in bisherigen Studien postoperativ keine Unterschiede zwischen Patienten mit isolierter Semitendinosussehnenentnahme oder kombinierter Entnahme der Sehnen der *Mm. gracilis et semitendinosus* beim subjektiven Teil des International Knee Documentation Committee (IKDC) – 2000 und Lysholm-Fragebogen festgestellt werden [4, 5, 22].

Die bisherigen Studien an Patienten mit LCA-Ruptur, Plastik und nachfolgender Rehabilitation geben einen Hinweis auf den möglichen Einfluss der Entnahme der Sehne des *M. gracilis* mit verminderter Beuge- und Innenrotationskraft im Kniegelenk. Deshalb wurden in dieser Arbeit zwei Ziele adressiert: Der Effekt der isolierten Entnahme der Sehne des *M. gracilis* am ansonsten unverletzten Kniegelenk auf (1) die Kraft der Oberschenkelmuskulatur und (2) das subjektive Outcome. Die Ergebnisse sollen eine Einschätzung erleichtern, ob die Sehnenentnahme des *M. gracilis* am gesunden Kniegelenk gerechtfertigt ist.

Es wurde als **Hauptthese** postuliert, dass die isolierte Gracilissehnenentnahme am unverletzten Kniegelenk zu einem Kraftdefizit bei der Knieflexion bei größeren Winkelgraden, im Vergleich zur unverletzten Gegenseite, führt. Als **Nebenthese**

wurde formuliert, dass (1) die isolierte Entnahme der Gracilissehne am unverletzten Kniegelenk zu einem Kraftdefizit bei der Innenrotation des Unterschenkels und der Adduktion des Hüftgelenks im Vergleich zur kontralateralen Seite führt. Sowie (2), dass es zu einem schlechteren Abschneiden in den Fragebögen zur Erhebung des funktionellen Outcomes, im Vergleich zur Allgemeinbevölkerung kommt.

3.2. Methodik

Bei der hier dargestellten Studie handelt es sich um eine unverblindete Pilotstudie, die den Einfluss der isolierten Entnahme der Sehne des *M. gracilis* am unverletzten Kniegelenk auf die Kraft der Oberschenkelmuskulatur und das subjektive Outcome untersuchte [12]. Es erfolgten ergänzend Untersuchungen der *in vivo* Kniegelenkskinematik mittels Ganganalyse sowie der Kniegelenksdegeneration und Entwicklung eines Sehnenregenerats mittels MRT, welche aber nicht Bestandteil dieser Arbeit sind [11].

Die hier eingeschlossenen Patienten wurden zwischen 2007 und 2014 am Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie der Charité - Universitätsmedizin Berlin bei chronischer Instabilität des Akromioklavikulargelenks (ACG) mit Augmentation durch die Sehne des *M. gracilis* operativ versorgt [31]. Insgesamt wurden in diesem Zeitraum 34 Patienten mit der oben genannten Methode operiert, wovon nach Anwendung der Ein- und Ausschlusskriterien sechzehn Patienten in diese Studie eingeschlossen wurden (Tabelle 1).

Tabelle 1: Ein- und Ausschlusskriterien der Studie

ACG= Akromioklavikulargelenk, LCA = *Ligamentum cruciatum anterius*, LCP = *Ligamentum cruciatum posterius*, bds = beidseits

Einschlusskriterien	Ausschlusskriterien
<ul style="list-style-type: none"> • Stabilisierung des ACG mittels Gracilissehne • Operation zwischen 2007 und 2014 • Zeitraum zwischen Operation und Follow-up \geq 12 Monate 	<ul style="list-style-type: none"> • Alter < 18 Jahre, > 60 Jahre • Operationen, Knieverletzungen bds <ul style="list-style-type: none"> ○ Kollateralbandinsuffizienz zum Studienzeitpunkt ○ LCA- und LCP-Verletzungen ○ Symptomatische III^o- oder IV^o-Meniskus- oder Knorpelverletzungen ○ Tibia- oder Femurfrakturen • Unfähigkeit die Kraftmessungen durchzuführen

Nachträglich mussten vier weitere Personen ausgeschlossen werden, da sich bei diesen bei der Auswertung der MRT-Untersuchungen zeigte, dass die Semitendinosus- anstatt der Gracilissehne entnommen worden war (Abbildung 1). Eine weitere Person war bei den Muskelkraftmessungen ausgeschlossen worden, da sie aufgrund einer Depression nicht in der Lage war die Maximalkraftmessungen durchzuführen.

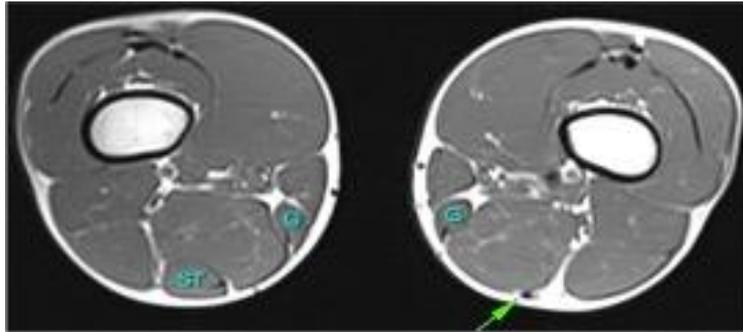


Abbildung 1: Transversalebene einer MRT-Untersuchung von beiden Oberschenkeln. Patient mit akzidenteller Semitendinosussehnentnahme am linken Kniegelenk (grüner Pfeil). ST = Semitendinosusmuskel, G = Gracilismuskel.

Die Patienten waren telefonisch und / oder per Post kontaktiert worden und hatten ihr schriftliches Einverständnis zur Teilnahme an der Studie gegeben. Die Studie war durch die Ethikkommission der Charité - Universitätsmedizin Berlin bewilligt worden (Nr. EA2/104/12). Des Weiteren wurde sie ins deutsche Register für klinische Studien eingetragen (Nr. DRKS00007100).

Das Alter der Patienten betrug im Durchschnitt 43 ± 13 Jahre (Spanne 20 bis 56) und der Zeitraum zwischen operativer Versorgung und Nachuntersuchung 44 ± 25 Monate (Spanne 20 bis 93). Der *Body Mass Index* (BMI) betrug im Schnitt $26,5 \pm 4,5$ kg / m² (Spanne 19,9 bis 33,6).

Sehnenentnahme

Die Sehne des *M. gracilis* wurde über einen vertikalen Zugang im Bereich des *Pes anserinus*, an der anteromedialen proximalen Tibia, entnommen. Aufgrund des sich anschließenden Eingriffs am Schultergelenk wurde der Patient in Beach-Chair-Position gelagert. Die Entnahme erfolgte in Blutleere und vollständiger muskulärer Relaxierung. Nach Abwaschen und sterilem Abdecken erfolgte eine ca. 2,5 cm lange vertikale Inzision über dem *Pes anserinus*. Anschließend wurde die Sartoriusfaszie identifiziert und in Verlaufsrichtung der Sehne des *M. gracilis* gespalten. Es wurden die Ansätze der darunter liegenden Semitendinosus- und Gracilissehnen sichtbar. Schließlich wurde die kranial gelegene Gracilissehne mittels Sehnenstripper am muskulotendinösen Übergang abgesetzt [31, 37].

Kraftmessungen

Die Kraftmessungen wurden am Julius-Wolff-Institut für Biomechanik und Muskuloskeletale Regeneration der Charité - Universitätsmedizin Berlin durchgeführt. Die Messungen wurden an einem standardisierten Muskelkraftmessgerät (Dynamometer) (System 4, Biodex, New York, NY, U.S.A.) im isokinetisch

konzentrischen Modus durchgeführt. Die Patienten wärmten sich zehn Minuten auf einem Fahrradergometer bei selbstgewählter Geschwindigkeit auf. Anschließend wurde die Maximalkraft der Knieflexion sowohl in sitzender Position (0° bis 90°), wie auch in Bauchlage ($> 70^\circ$) bestimmt. Der Grund hierfür ist, dass der *M. gracilis* erst zur Krafterzeugung bei größeren Flexionswinkeln aktiviert wird [28]. In sitzender Position wurde ebenfalls die Extensionskraft bestimmt um anschließend das Verhältnis der maximalen Kraft der Knieflektoren und -extensoren (H/Q-Ratio) zu bestimmen. Anschließend erfolgten die Messungen der Innenrotationskraft im Kniegelenk und Adduktionskraft im Hüftgelenk. Für alle Übungen wurden die Patienten am Rumpf mit Klettbindern am Stuhl stabilisiert, um Ausweichbewegungen zu verhindern. Ein Festhalten an den Handgriffen des Stuhls war nicht erlaubt.

Der Testaufbau für die Kraftmessungen der einzelnen Übungen sah wie folgt aus:

(1) Zur Messung der Knieflexion und -extension in sitzender Position (0° bis 90°) nahmen die Patienten auf dem Stuhl des Dynamometers Platz mit der Rückenlehne im 90° -Winkel zur Sitzfläche (Abbildung 2a).

(2) Die Testung der Knieflexionskraft bei Flexionswinkeln $> 70^\circ$ (bis zur individuell maximal möglichen aktiven Beugung) erfolgte in Bauchlage. Grund hierfür ist, wie bereits oben beschrieben, dass der *M. gracilis* vor allem bei größeren Flexionswinkeln aktiviert wird [28]. Für den Testaufbau in Bauchlage wurde die Rückenlehne horizontal zur Sitzfläche heruntergeklappt und der Patient mit dem proximalen Anteil der Patella distal der Unterlage positioniert (Abbildung 2b).

Bei beiden Einstellungen – in sitzender Position und in Bauchlage – wurde der verstellbare Knieadapter proximal des *Malleolus lateralis* fixiert. Die Rotationsachse des Dynamometers verlief dabei sagittal auf Höhe des *Epicondylus femoris lateralis*. Das kontralaterale Bein wurde in beiden Testszenarien auf der Fußstütze abgestellt und die Testgeschwindigkeit betrug $60^\circ / \text{s}$.

(3) Die Innenrotationskraft am Kniegelenk wurde in Rückenlage getestet. Der Patient wurde mit dem Kniegelenk in 90° Flexion und dem Hüftgelenk in 60° Flexion positioniert, die Rückenlehne wurde hierfür im 25° -Winkel zur Sitzfläche eingestellt [14]. Um Rotationsbewegungen im unteren Sprunggelenk zu verhindern, erfolgte eine Fixierung von diesem in einer Sprunggelenksorthese (VACOped, Oped, Valley/Oberlaindern, Deutschland) in Neutralstellung, welche an der Fußplatte des Dynamometers mit einem maßgefertigten Verbindungsstück fixiert wurde. Die Rotationsachse verlief dabei longitudinal und parallel zum Unterschenkel. Der Oberschenkel wurde proximal des

Kniegelenkes auf dem Extremitätenstützpolster mit Klettband fixiert, um Rotationen im Hüftgelenk zu vermeiden. Das kontralaterale Bein wurde auf der Fußstütze abgestellt. Die Testgeschwindigkeit betrug $30^\circ / \text{s}$ (Abbildung 2c).

(4) Die Hüftadduktionskraft wurde in Seitenlage getestet. Die Rückenlehne wurde hierfür wieder horizontal zur Sitzfläche heruntergeklappt. Das zu untersuchende Bein wurde dabei in maximaler Extension mit dem Oberschenkel, proximal der *Fossa poplitea*, am Hüftadapter mittels Klettbandern befestigt. Die kontralaterale Extremität ruhte unter dem zu testenden Bein auf der Liege. Die Rotationsachse befand sich kranial und medial des *Trochanter major*. Die Testgeschwindigkeit betrug $45^\circ / \text{s}$ (Abbildung 2d).

Durch die Computersoftware des Biodex S4 Dynamometers erfolgten Schwerkraftkorrekturen. Zu Beginn jeder Übung führten die Patienten einen Probedurchlauf mit fünf submaximalen Wiederholungen durch, um sich auf die Testgeschwindigkeit und Testsituation einzustellen. Dadurch sollte verhindert werden, dass während der eigentlichen Testung eine Lernkurve auftritt. Die anschließenden Messungen bestanden aus drei Durchgängen mit fünf Wiederholungen und jeweils 30 s Pause zwischen den einzelnen Durchgängen. Bei jedem Patienten wurde zunächst die gesunde kontralaterale Extremität getestet. Die Patienten wurden während der gesamten Kraftmessungen lautstark motiviert, da dies einen entscheidenden Einfluss auf die Leistung der Probanden hat [13, 16]. Auf visuelles Feedback während der Tests (Blickkontakt zum Monitor) wurde verzichtet, um das Testergebnis aufgrund einer veränderten Wahrnehmung nicht zu beeinflussen. Aus den maximalen Drehmomenten, die in jedem Durchgang erzielt wurden, wurden die beiden höchsten Werte ausgewählt und hieraus der Mittelwert gebildet.

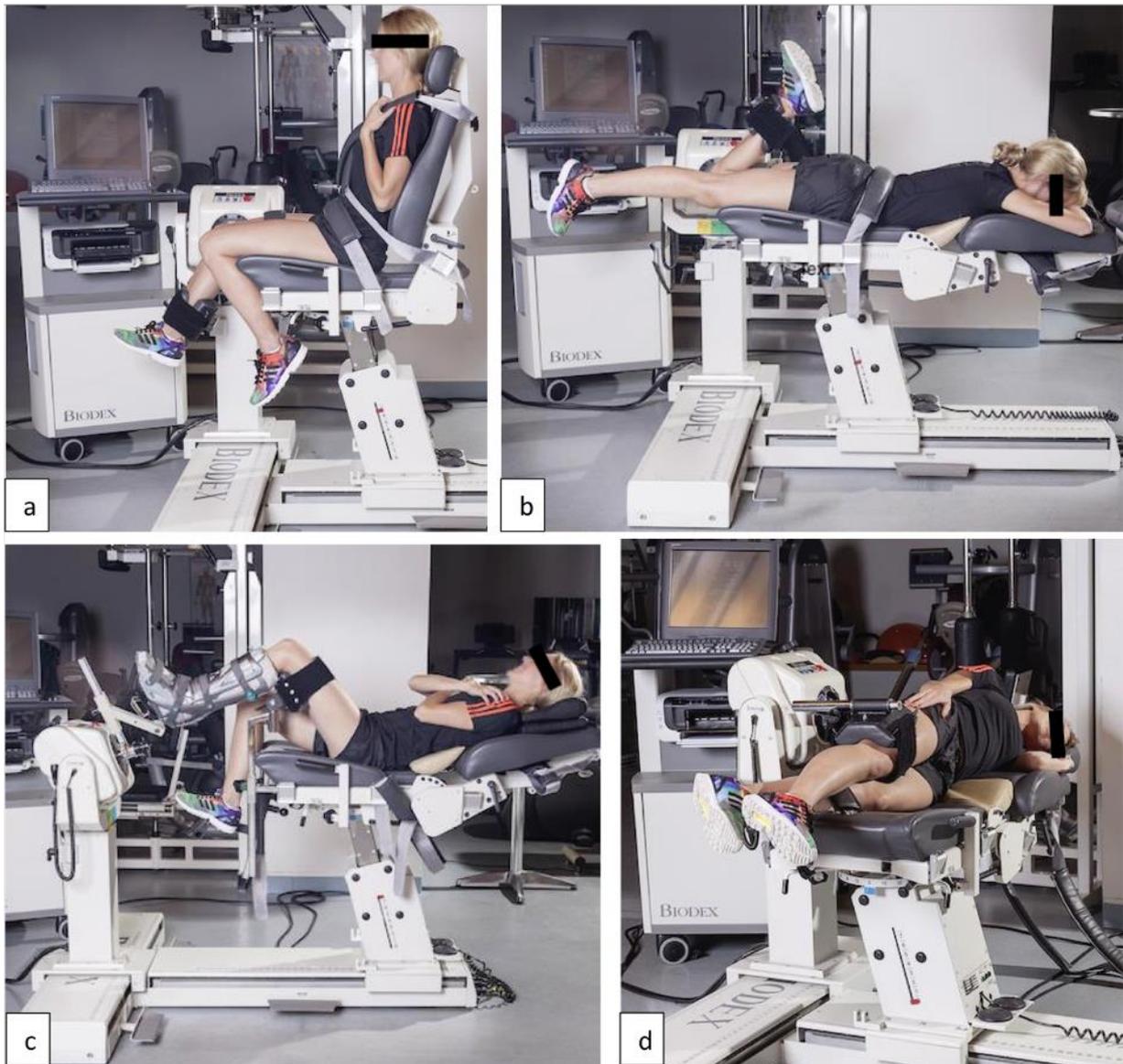


Abbildung 2: Testaufbau für die Kraftmessungen: a) Knieflexion sitzend, b) Knieflexion in Bauchlage, c) Innenrotation des Unterschenkels und d) Hüftadduktion

Funktionelles Outcome

Das funktionelle Outcome wurde mittels kniespezifischer Patientenfragebögen: dem subjektiven Teil des IKDC – 2000 [18] und dem Lysholm-Fragebogen [39] erhoben. Das Aktivitätslevel der Patienten wurde mittels Marx-Aktivitätsfragebogen evaluiert [24]. Mit dem Short Form Health (SF) – 36-Gesundheitsfragebogen wurde die allgemeine, körperliche und psychische, Gesundheit der Patienten erhoben [6]. Des Weiteren erfolgte eine Knieuntersuchung der Patienten basierend auf dem IKDC – 2000-Knieuntersuchungsbogen.

Statistik

Da die Anzahl der Patienten, die sich bisher dieser Operation unterzogen hatten gering war, wurde keine *a priori* Poweranalyse durchgeführt. Es wurden alle in Frage

kommenden Patienten unserer Klinik eingeschlossen. Die statistische Auswertung erfolgte mit GraphPad Prism 6 (GraphPad Software, San Diego, CA, U.S.A.).

Mit dem D'Agostino & Pearson-Test wurden die erhobenen Daten auf Normalverteilung getestet. Um auf Seitenunterschiede zu testen wurde bei normalverteilten Daten der abhängige t-Test benutzt, anderenfalls der Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test. Für die Korrelationsanalysen zwischen dem funktionellen Outcome und den Muskelkraftwerten wurde bei Normalverteilung der Pearson-Test und bei nicht-normalverteilten Daten der Spearman-Test benutzt. Das Bestimmtheitsmaß wurde mittels r^2 angegeben. Ein p-Wert $\alpha < 0,05$ wurde als statistisch signifikant interpretiert. Parametrische Daten wurden als Mittelwert mit Standardabweichung oder 95 %-Konfidenzintervall (95 %-KI) angegeben, während nicht-parametrische Daten als Median mit Interquartilenabstand (IQR) angegeben wurden. Wenn relevant, wurde zusätzlich die Spannweite angegeben (z.B. Alter, Nachuntersuchungszeitpunkt) [29].

3.3. Ergebnisse

Das Hauptergebnis der hier beschriebenen Studie ist, dass nach isolierter Gracilissehnenentnahme am unverletzten Kniegelenk kein signifikanter Seitenunterschied hinsichtlich der Maximalkraft bei der Knieflexion bis 90° sowie bei größeren Knieflexionswinkeln (> 70°), tibialen Innenrotation und Hüftadduktion gefunden wurde [12] (Abbildungen 3 und 4).

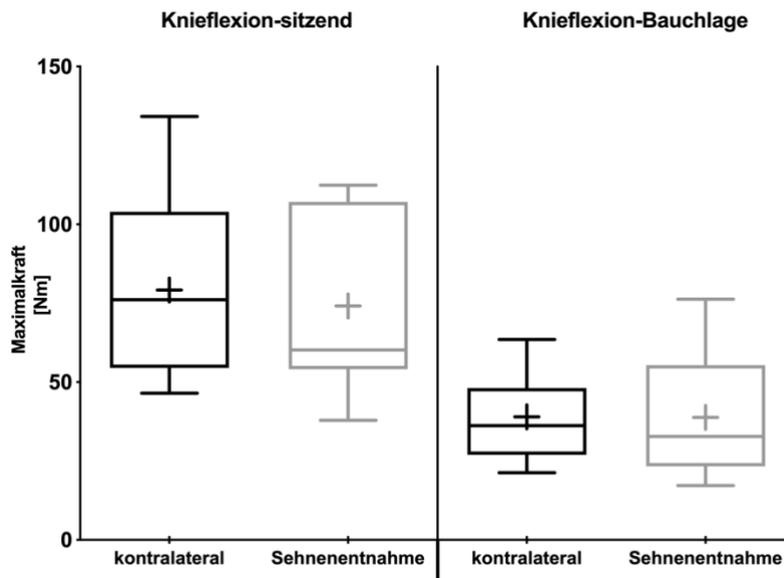


Abbildung 4: Darstellung der Ergebnisse der Maximalkraftmessungen der Knieflexion in sitzender Position (bis 90°) und in Bauchlage für größere Knieflexionswinkel (>70°) nach Gracilissehnenentnahme (=Sehnenentnahme) im Vergleich zum kontralateralen Bein (=kontralateral).

Daten mit Normalverteilung. □ 25-75% mit Median, + Mittelwert, ⊥ 95%-Konfidenzintervall

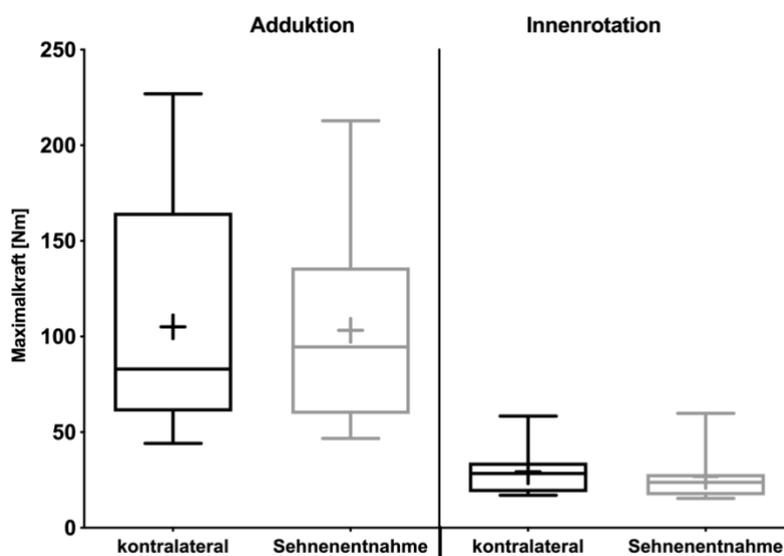


Abbildung 3: Darstellung der Ergebnisse der Maximalkraftmessungen der Hüftgelenksadduktion und Innenrotation des Unterschenkels nach Gracilissehnenentnahme (=Sehnenentnahme) im Vergleich zum kontralateralen Bein (=kontralateral).

Daten ohne Normalverteilung. □ 25-75% mit Median, + Mittelwert, ⊥ 95%-Konfidenzintervall

In den allgemeinen und kniespezifischen Fragebögen zeigten die Patienten sehr gute Ergebnisse. Der subjektive Teil des IKDC – 2000 und der Lysholm Fragebogen werden auf einer normierten Skala von 0 bis 100 Punkte dargestellt, wobei 100 Punkte der bestmögliche Wert darstellt. Hier wurden im subjektive Teil des IKDC – 2000 im Median 97 (IQR 90-100) Punkte und im Lysholm-Fragbogen 100 (IQR 100-100) Punkte erzielt. Der Marx-Aktivitätsfragebogen reicht von 0-16 Punkte und je höher die Punktzahl umso höher die körperliche Aktivität. Die Patienten erreichten hier im Mittelwert 4 (95%-KI 1-7) Punkte. Ein Ergebnis im SF – 36 > 50 bedeutet eine bessere körperliche, beziehungsweise psychische Gesundheit im Vergleich zur Referenzpopulation. Während ein Wert < 50 eine schlechteres Abschneiden im Vergleich zur Referenzpopulation bedeutet. Hier handelt es sich um eine genormte deutsche Referenzpopulation. Die Patienten dieser Studie erreichten in der körperlichen Summenskala ein Mittelwert von 53 (95%-KI 50-57) und in der psychischen Summenskala ein Median von 54 (IQR 39-57). Im subjektiven Teil des IKDC – 2000 waren die Ergebnisse vergleichbar zu alters- und geschlechtsgematchten Referenzwerten von Personen ohne vorangegangene Knieverletzungen [Kohorte dieser Studie: 97 Punkte (IQR 90-100) vs. Referenzpopulation: 92 Punkte (IQR 88-94); n.s.] [3, 12, 19]. Im Vergleich zu populationsbezogenen alters- und geschlechtsgematchten Referenzwerten zeigten die Patienten dieser Studie sogar statistisch signifikant bessere Ergebnisse [Kohorte dieser Studie: 97 Punkte (IQR 90-100) vs. Referenzpopulation: 82 Punkte (IQR 77-88); p=0,001] [3, 12, 19]. In der aufsummierten körperlichen Komponente des SF – 36 konnte nach Gracilissehnenentnahme ein signifikant besseres Ergebnis im Vergleich zu einer alters- und geschlechtsgematchten Referenzpopulation für Deutschland nachgewiesen werden (Kohorte dieser Studie: 53 ± 5 vs. Referenzpopulation: 49 ± 3 ; p=0,0049), während es keinen Unterschied bei der aufsummierten psychischen Komponente des SF – 36 gab [Kohorte dieser Studie: 54 (39–57) vs. Referenzpopulation: 52 (50–52); n.s.] [12, 26]. In der Knieuntersuchung entsprechend des IKDC – 2000-Fragebogens erreichten alle Patienten Grad A und B (normal und fast normal) [12]. Bei den Korrelationsanalysen zeigte sich eine positive Korrelation zwischen dem Ergebnis des subjektiven Teils des IKDC – 2000 und der Maximalkraft beider Beine für Knieflexion sitzend (Gracilissehnenentnahme: $r=0,906$, $r^2=0,821$, $p=0,0003$. Kontralateral: $r=0,851$, $r^2=0,724$, $p=0,0018$) und in Bauchlage (Gracilissehnenentnahme: $r=0,677$, $r^2=0,458$, $p=0,0277$. Kontralateral: $r=0,753$, $r^2=0,567$, $p=0,0111$), Hüftadduktion (Gracilissehnenentnahme: $r=0,915$, $r^2=0,837$, $p=0,0003$. Kontralateral: $r=0,839$, $r^2=0,704$, $p=0,0025$) und

Knieextension (Gracilissehnenentnahme: $r=0,801$, $r^2=0,642$, $p=0,0054$. Kontralateral: $r=0,782$, $r^2=0,612$, $p=0,0073$) (Abbildung 5). Es bestand keine Korrelation zur Maximalkraft bei Innenrotation [12].

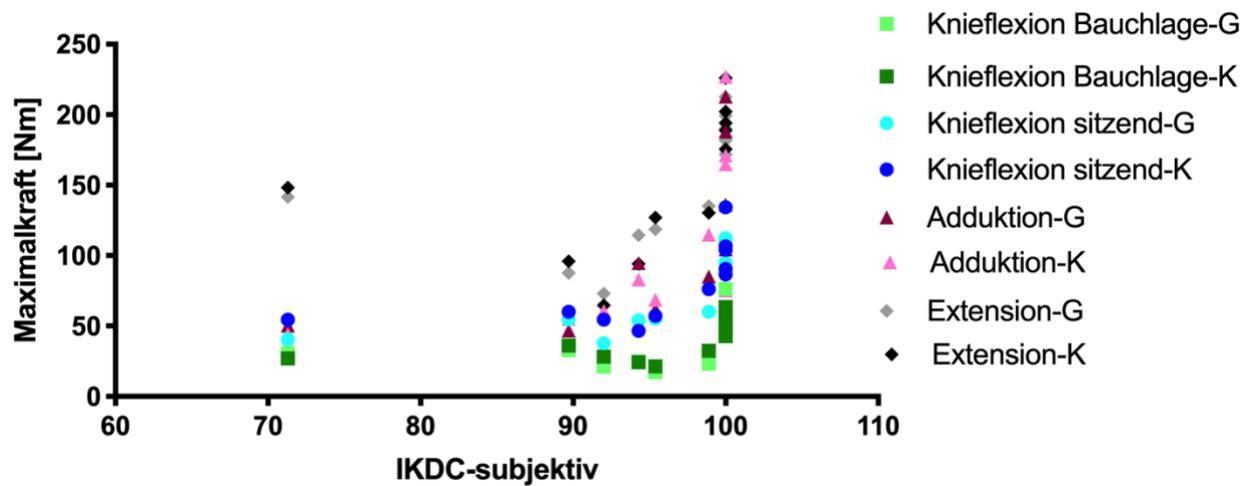


Abbildung 5: Darstellung der Ergebnisse der Korrelationsanalysen zwischen dem subjektiven Teil des IKDC-2000 und der Maximalkraft beider Beine
G=Bein mit Gracilissehnenentnahme, K=kontralaterales Bein.

3.4. Diskussion

Das Hauptergebnis dieser Studie ist, dass es nach isolierter Gracilissehnenentnahme aus dem unverletzten Knie zu keinem Kraftverlust bei den hier untersuchten Funktionen im Vergleich zur Gegenseite kam [12] und womit sowohl die Haupthypothese wie auch die (1) Nebenhypothese abgelehnt sind.

Somit bestätigt diese Arbeit die Ergebnisse vorangegangener Studien an Patienten nach LCA-Plastik. Es konnte bereits gezeigt werden, dass es zwölf Monate nach Plastik des LCA mittels Gracilis- und Semitendinosussehnentransplantat zu keinem Unterschied zum kontralateralen Bein bei der maximalen Flexionskraft im Sitzen kam [33]. In EMG-Untersuchungen, welche die Kraftentwicklung in Abhängigkeit des Flexionswinkels untersuchten, konnte gezeigt werden, dass die maximale Flexionskraft im Kniegelenk zwischen 15° und 30° Flexion erzeugt wird. Der *M. biceps femoris* ist hier der primäre Knieflexor. Der *M. gracilis* und auch der *M. semitendinosus* werden erst zur Krafterzeugung bei größeren Flexionswinkeln aktiviert und tragen daher nicht wesentlich zur Erzeugung der Maximalkraft bei [28]. Bei diesen Winkelgraden, sowie bei der Innenrotationskraft hatten sich in vorherigen Studien Kraftdefizite nach kombinierter Gracilis- und Semitendinosussehnentnahme zur LCA-Plastik bis zu zwei Jahre postoperativ gezeigt. Nach isolierter Semitendinosussehnentnahme war dies zu diesem Zeitpunkt nicht mehr der Fall [33, 38, 44]. Vergleichbar zeigte sich in der hier beschriebenen Arbeit ebenso wenig ein Kraftdefizit bei der Hüftadduktion [12]. Über die Folgen der Gracilis- und Semitendinosussehnentnahme zur LCA-Plastik auf die Adduktionskraft gibt es bisher wenig Daten. Ein Defizit der isometrischen Adduktionskraft ein Jahr nach LCA-Plastik mit Semitendinosus- und Gracilissehnentransplantat wurde berichtet [15]. Das Fehlen eines Kraftdefizites in den hier untersuchten Funktionen mag darauf zurückzuführen sein, dass isoliert die Gracilissehne entnommen wurde und insbesondere die Sehne des *M. semitendinosus*, welcher ähnliche Funktionen hat, erhalten blieb. Dadurch konnte eine Kompensation durch diesen und andere Muskeln der Adduktorengruppe und ischiokruralen Muskulatur erfolgen [7, 17, 21]. Magnetresonanztomographisch und sonografisch konnte gezeigt werden, dass es bei fast allen Patienten zu einer Regeneration der Semitendinosus- und Gracilissehnen kam, wenn auch in einem unterschiedlichen Ausmaß [2, 9, 20, 42]. Schließlich war der Nachuntersuchungszeitraum in dieser Studie auch deutlich länger (durchschnittlich 44

Monaten) im Vergleich zu den meisten vorausgegangenen Publikationen, wie beispielsweise ein Jahr bei der oben beschriebenen Untersuchung der Adduktionskraft [15].

Hervorragende Ergebnisse wurden in den kniespezifischen Fragebögen und dem SF – 36 erzielt und womit ebenso die (2) Nebenhypothese abgelehnt ist. Das hängt vermutlich damit zusammen, dass die hier untersuchten Patienten bis auf die Sehnenentnahme kniegesund waren. Dies wird durch das gute Abschneiden bei der Knieuntersuchung entsprechend des IKDC – 2000 unterstrichen. Im Vergleich zu populationsbezogenen Referenzwerten schnitten die Patienten dieser Studie signifikant besser im subjektiven Teil des IKDC – 2000 ab, während sich kein besseres Abschneiden im Vergleich zu einer explizit kniegesunden Referenzpopulation zeigte. Tatsächlich können die insgesamt guten subjektiven Ergebnisse auch dadurch begründet sein, dass die Hauptfunktion des *M. gracilis* darin besteht, kraftvolle Kontraktionen bei größeren Knieflexionswinkeln durchzuführen, wie sie bei verschiedenen Sportarten (z.B. Judo oder Kunstturnen) auftreten [28, 38] und daher eher selten bei Aktivitäten des täglichen Lebens. Wobei die Ergebnisse des Marx-Aktivitätsfragebogens die geringen sportlichen Ambitionen und den damit eher geringeren Funktionsanspruch an das Knie der eingeschlossenen Patienten unterstreichen. Die positiven Korrelationen zwischen den Ergebnissen des subjektiven Teils des IKDC – 2000 und den maximalen Kraftwerten beider Extremitäten für Flexion in sitzender Position sowie in Bauchlage, Extension und Adduktion unterstreichen, dass gute Kraftwerte der Oberschenkelmuskulatur mit einem guten kniespezifischen funktionellen Outcome vergesellschaftet sind. Lediglich zwischen der Innenrotationskraft des Unterschenkels und dem subjektiven Teil des IKDC – 2000 konnte keine Korrelation gefunden werden. Dies ist möglicherweise darauf zurückzuführen, dass die Innenrotationskraft am Unterschenkel wenig benötigt wird bei Aktivitäten des täglichen Lebens.

Diese Studie hat natürlich auch einige Limitationen. Die Fallzahl ist gering. Dadurch besteht die Gefahr eines Fehlers 2. Art. Zum Beispiel könnte ein Kraftdefizit nach Entnahme der Gracilissehne statistisch nicht signifikant gewesen sein. Aufgrund des guten funktionellen Outcomes können ausgeprägte Kraftdefizite mit klinischer Relevanz in dieser Kohorte aber ausgeschlossen werden. Die Studie wurde als Pilotstudie konzipiert um zunächst die Methodik zu etablieren und eine Grundlage für eine Fallzahlberechnung für Folgestudien zu schaffen. Auch könnte man auf der Grundlage

dieser Studie mit ihrer Methodik und den vorliegenden Daten eine prospektive, verblindete Längsschnittstudie planen. Des Weiteren wurde nicht berücksichtigt, dass jeder Patient ein dominantes Bein hat und dies somit gegebenenfalls einen Einfluss auf den Vergleich mit der Gegenseite hatte. Deswegen wäre auch hier eine Folgestudie mit einem prä- und postoperativen Vergleich der gleichen Extremität sinnvoll.

Auf der Grundlage der in dieser Studie gewonnenen Daten kann die Entnahme der Sehne des *M. gracilis* als autologes Sehnentransplantat aus dem gesunden Kniegelenk beziehungsweise Oberschenkel unterstützt werden. Unseres Wissens nach ist dies die erste Studie, welche die Konsequenzen der isolierten Entnahme der Sehne des *M. gracilis* am unverletzten Kniegelenk untersuchte. Es zeigten sich keine Kraftdefizite nach der Sehnenentnahme und auch subjektiv zeigten die Patienten ein exzellentes Ergebnis. Allerdings könnten Profisportler oder Patienten mit hohen sportlichen Ambitionen eine Limitation bei der Verwendung der Gracilissehne als autologes Sehnentransplantat darstellen. Denn wie bereits oben beschrieben hatten die Patienten dieser Studie insgesamt geringe sportliche Ambitionen und daher auch geringere funktionelle Ansprüche an ihr Knie, wie sie bei verschiedenen Sportarten (z.B. Judo, Kunstturnen) auftreten.

3.5. Literatur

1. Ahlen M, Liden M, Bovaller A, Sernert N, Kartus J (2012) Bilateral magnetic resonance imaging and functional assessment of the semitendinosus and gracilis tendons a minimum of 6 years after ipsilateral harvest for anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med* 40:1735-1741
2. Albertoni LJB, Debieux P, Franciozi CEDS, Novaretti JV, Granata GSM, Luzo MVM (2018) Assessment of the regeneration capacity of semitendinosus and gracilis tendons. *Acta Ortop Bras* 26:379-383
3. Anderson AF, Irrgang JJ, Kocher MS, Mann BJ, Harrast JJ, International Knee Documentation Committee (2006) The International Knee Documentation Committee Subjective Knee Evaluation Form: normative data. *Am J Sports Med* 34:128-135
4. Ardern CL, Webster KE, Taylor NF, Feller JA (2010) Hamstring strength recovery after hamstring tendon harvest for anterior cruciate ligament reconstruction: a comparison between graft types. *Arthroscopy* 26:462-469
5. Barenius B, Webster WK, McClelland J, Feller J (2013) Hamstring tendon anterior cruciate ligament reconstruction: does gracilis tendon harvest matter? *Int Orthop* 37:207-212
6. Bullinger M (1996) [Assessment of health related quality of life with the SF-36 Health Survey]. *Rehabilitation (Stuttg)* 35:XVII-XXVII
7. Carofino B, Fulkerson J (2005) Medial hamstring tendon regeneration following harvest for anterior cruciate ligament reconstruction: fact, myth, and clinical implication. *Arthroscopy* 21:1257-1265
8. Coughlin MJ, Matt V, Schenck RC, Jr. (2002) Augmented lateral ankle reconstruction using a free gracilis graft. *Orthopedics* 25:31-35
9. Cross MJ, Roger G, Kujawa P, Anderson IF (1992) Regeneration of the semitendinosus and gracilis tendons following their transection for repair of the anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med* 20:221-223
10. Draganich LF, Jaeger RJ, Kralj AR (1989) Coactivation of the hamstrings and quadriceps during extension of the knee. *J Bone Joint Surg Am* 71:1075-1081
11. Flies A, Denecke T, Kraus N, Kruppa P, Provencher MT, Becker R, Kopf S (2020) Tendon regeneration and muscle hypotrophy after isolated Gracilis tendon harvesting - a pilot study. *J Exp Orthop* 7:19
12. Flies A, Scheibel M, Kraus N, Kruppa P, Provencher MT, Becker R, Kopf S (2020) Isolated gracilis tendon harvesting is not associated with loss of strength and maintains good functional outcome. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 28:637-644
13. Gandevia SC (2001) Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiol Rev* 81:1725-1789
14. Hester JI, Falkel JE (1984) Isokinetic Evaluation of Tibial Rotation: Assessment of a Stabilization Technique*. *J Orthop Sports Phys Ther* 6:46-51
15. Hiemstra LA, Gofton WT, Kriellaars DJ (2005) Hip strength following hamstring tendon anterior cruciate ligament reconstruction. *Clin J Sport Med* 15:180-182
16. Ikai M, Steinhaus AH (1961) Some factors modifying the expression of human strength. *J Appl Physiol* 16:157-163
17. Irie K, Tomatsu T (2002) Atrophy of semitendinosus and gracilis and flexor mechanism function after hamstring tendon harvest for anterior cruciate ligament reconstruction. *Orthopedics* 25:491-495

18. Irrgang JJ, Anderson AF, Boland AL, Harner CD, Kurosaka M, Neyret P, Richmond JC, Shelborne KD (2001) Development and validation of the international knee documentation committee subjective knee form. *Am J Sports Med* 29:600-613
19. Irrgang JJ, Anderson AF, Boland AL, Harner CD, Neyret P, Richmond JC, Shelbourne KD (2006) Responsiveness of the International Knee Documentation Committee Subjective Knee Form. *Am J Sports Med* 34:1567-1573
20. Janssen RP, van der Velden MJ, Pasmans HL, Sala HA (2013) Regeneration of hamstring tendons after anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 21:898-905
21. Konrath JM, Vertullo CJ, Kennedy BA, Bush HS, Barrett RS, Lloyd DG (2016) Morphologic Characteristics and Strength of the Hamstring Muscles Remain Altered at 2 Years After Use of a Hamstring Tendon Graft in Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *Am J Sports Med* 44:2589-2598
22. Lee DW, Shim JC, Yang SJ, Cho SI, Kim JG (2019) Functional Effects of Single Semitendinosus Tendon Harvesting in Anatomic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: Comparison of Single versus Dual Hamstring Harvesting. *Clin Orthop Surg* 11:60-72
23. Lipscomb AB, Johnston RK, Snyder RB, Warburton MJ, Gilbert PP (1982) Evaluation of hamstring strength following use of semitendinosus and gracilis tendons to reconstruct the anterior cruciate ligament. *Am J Sports Med* 10:340-342
24. Marx RG, Stump TJ, Jones EC, Wickiewicz TL, Warren RF (2001) Development and evaluation of an activity rating scale for disorders of the knee. *Am J Sports Med* 29:213-218
25. More RC, Karras BT, Neiman R, Fritschi D, Woo SL, Daniel DM (1993) Hamstrings--an anterior cruciate ligament protagonist. An in vitro study. *Am J Sports Med* 21:231-237
26. Morfeld M, Bullinger M, Nantke J, Braehler E (2005) [The version 2.0 of the SF-36 Health Survey: results of a population-representative study]. *Soz Präventivmed* 50:292-300
27. Nakamura N, Horibe S, Sasaki S, Kitaguchi T, Tagami M, Mitsuoka T, Toritsuka Y, Hamada M, Shino K (2002) Evaluation of active knee flexion and hamstring strength after anterior cruciate ligament reconstruction using hamstring tendons. *Arthroscopy* 18:598-602
28. Onishi H, Yagi R, Oyama M, Akasaka K, Ihashi K, Handa Y (2002) EMG-angle relationship of the hamstring muscles during maximum knee flexion. *J Electromyogr Kinesiol* 12:399-406
29. Petrie A (2006) Statistics in orthopaedic papers. *J Bone Joint Surg Am* 88-B:1121-1136
30. Risberg MA, Holm I, Tjomsland O, Ljunggren E, Ekeland A (1999) Prospective study of changes in impairments and disabilities after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Orthop Sports Phys Ther* 29:400-412
31. Scheibel M, Ifesanya A, Pauly S, Haas NP (2008) Arthroscopically assisted coracoclavicular ligament reconstruction for chronic acromioclavicular joint instability. *Arch Orthop Trauma Surg* 128:1327-1333
32. Schottle PB, Romero J, Schmeling A, Weiler A (2008) Technical note: anatomical reconstruction of the medial patellofemoral ligament using a free gracilis autograft. *Arch Orthop Trauma Surg* 128:479-484

33. Segawa H, Omori G, Koga Y, Kameo T, Iida S, Tanaka M (2002) Rotational muscle strength of the limb after anterior cruciate ligament reconstruction using semitendinosus and gracilis tendon. *Arthroscopy* 18:177-182
34. Shaw T, Williams MT, Chipchase LS (2005) Do early quadriceps exercises affect the outcome of ACL reconstruction? A randomised controlled trial. *Aust J Physiother* 51:9-17
35. Simonian PT, Harrison SD, Cooley VJ, Escabedo EM, Deneka DA, Larson RV (1997) Assessment of morbidity of semitendinosus and gracilis tendon harvest for ACL reconstruction. *Am J Knee Surg* 10:54-59
36. Snyder-Mackler L, Delitto A, Bailey SL, Stralka SW (1995) Strength of the quadriceps femoris muscle and functional recovery after reconstruction of the anterior cruciate ligament. A prospective, randomized clinical trial of electrical stimulation. *J Bone Joint Surg Am* 77:1166-1173
37. Strobel MJ, Schulz MS (2002) [Anterior cruciate ligament reconstruction with the semitendinosus-gracilis tendon transplant]. *Orthopäde* 31:758-769
38. Tashiro T, Kurosawa H, Kawakami A, Hikita A, Fukui N (2003) Influence of medial hamstring tendon harvest on knee flexor strength after anterior cruciate ligament reconstruction. A detailed evaluation with comparison of single- and double-tendon harvest. *Am J Sports Med* 31:522-529
39. Tegner Y, Lysholm J (1985) Rating systems in the evaluation of knee ligament injuries. *Clin Orthop Relat Res* 198:43-49
40. Viola RW, Sterett WI, Newfield D, Steadman JR, Torry MR (2000) Internal and external tibial rotation strength after anterior cruciate ligament reconstruction using ipsilateral semitendinosus and gracilis tendon autografts. *Am J Sports Med* 28:552-555
41. Waldeyer A, Fanghänel J. *Anatomie des Menschen*. 13 ed. Berlin: Walter de Gruyter; 2003.
42. Williams GN, Snyder-Mackler L, Barrance PJ, Axe MJ, Buchanan TS (2004) Muscle and tendon morphology after reconstruction of the anterior cruciate ligament with autologous semitendinosus-gracilis graft. *J Bone Joint Surg Am* 86-A:1936-1946
43. Yasuda K, Tsujino J, Ohkoshi Y, Tanabe Y, Kaneda K (1995) Graft site morbidity with autogenous semitendinosus and gracilis tendons. *Am J Sports Med* 23:706-714
44. Zaccherotti G, Olmastroni M (2015) Muscle strength recovery versus semitendinosus and gracilis tendon regeneration after harvesting for anterior cruciate ligament reconstruction. *J Sports Sci* 33:1-8

4. Eidesstattliche Versicherung und Anteilserklärung

„Ich, Anne Flies, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema:

„Die Folgen der isolierten Gracilissehnenentnahme am unverletzten Knie auf die Kraft der Oberschenkelmuskulatur und das funktionelle Outcome“

selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren/innen beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an der ausgewählten Publikation zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung, angegeben sind. Für sämtliche im Rahmen der Dissertation entstandenen Publikationen wurden die Richtlinien des ICMJE (International Committee of Medical Journal Editors; www.icmje.org) zur Autorenschaft eingehalten. Ich erkläre ferner, dass ich mich zur Einhaltung der Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis verpflichte.

Weiterhin versichere ich, dass ich diese Dissertation weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits an einer anderen Fakultät eingereicht habe.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§§156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift

Ausführliche Anteilserklärung an der erfolgten Publikation

Publikation:

Flies A, Scheibel M, Kraus N, Kruppa P, Provencher MT, Becker R, Kopf S (2020)
Isolated gracilis tendon harvesting is not associated with loss of strength and maintains good functional outcome. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc 28:637-644.

Beitrag im Einzelnen:

- Planung der Studie, Akquirierung von Forschungsgeldern, Etablierung der Methodik gemeinsam mit Herrn Prof. Dr. med. Sebastian Kopf
- Rekrutierung der Patienten gemeinsam mit Herrn Prof. Dr. med. Markus Scheibel und Frau Dr. med. Natascha Kraus
- Eigenständige Datenerhebung
- Eigenständige Auswertung und Aufarbeitung der Daten, inklusive statistischer Auswertung, Identifikation der relevanten Aussagen und Limitationen mit fachlicher Unterstützung durch Herrn Prof. Dr. med. Sebastian Kopf
- Selbstständige grafische Darstellung der Ergebnisse in Abbildungen und Tabellen (Eigenanteil Abbildung 1 und 2, Tabelle 1, 2 und 3: 100%)
- Erarbeiten des zur Publikation führenden Manuskripts inklusive Durchführens des Review Prozesses mit fachlicher Unterstützung durch die Co-Autoren

Unterschrift des Doktoranden/der Doktorandin

5. Auszug aus der Journal Summary List

Journal Data Filtered By: **Selected JCR Year: 2017** Selected Editions: SCIE,SSCI
 Selected Categories: **"ORTHOPEDECS"** Selected Category Scheme: WoS
Gesamtanzahl: 77 Journale

Rank	Full Journal Title	Total Cites	Journal Impact Factor	Eigenfactor Score
1	AMERICAN JOURNAL OF SPORTS MEDICINE	32,251	6.057	0.041740
2	OSTEOARTHRITIS AND CARTILAGE	15,911	5.454	0.026630
3	JOURNAL OF BONE AND JOINT SURGERY-AMERICAN VOLUME	46,966	4.583	0.044930
4	Journal of Physiotherapy	839	4.542	0.002390
5	ARTHROSCOPY-THE JOURNAL OF ARTHROSCOPIC AND RELATED SURGERY	15,568	4.330	0.020760
6	CLINICAL ORTHOPAEDICS AND RELATED RESEARCH	40,313	4.091	0.037880
7	Bone & Joint Journal	4,676	3.581	0.019010
8	JOURNAL OF ORTHOPAEDIC RESEARCH	14,800	3.414	0.016570
9	JOURNAL OF ARTHROPLASTY	16,901	3.338	0.029760
10	KNEE SURGERY SPORTS TRAUMATOLOGY ARTHROSCOPY	14,017	3.210	0.026090
11	Spine Journal	8,564	3.119	0.019380
12	JOURNAL OF ORTHOPAEDIC & SPORTS PHYSICAL THERAPY	6,612	3.090	0.006800
13	Acta Orthopaedica	8,583	3.076	0.008670
14	JOURNAL OF SHOULDER AND ELBOW SURGERY	12,263	2.849	0.017730
15	SPINE	46,984	2.792	0.035050
16	ORTHOPEDEIC CLINICS OF NORTH AMERICA	3,140	2.672	0.003050
17	FOOT & ANKLE INTERNATIONAL	8,682	2.653	0.008190
18	Journal of Hand Surgery-European Volume	4,234	2.648	0.004220
19	JOURNAL OF THE AMERICAN ACADEMY OF ORTHOPAEDIC SURGEONS	5,082	2.638	0.007810
20	EUROPEAN SPINE JOURNAL	15,242	2.634	0.023050

6. Druckexemplar der Publikation

Flies, A., Scheibel, M., Kraus, N. *et al.* Isolated gracilis tendon harvesting is not associated with loss of strength and maintains good functional outcome. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* **28**, 637–644 (2020).

<https://doi.org/10.1007/s00167-019-05790-y>

7. Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

8. Publikationsliste

8.1. Publikationen

- **Flies A**, Scheibel M, Kraus N, Kruppa P, Provencher MT, Becker R, Kopf S (2020) Isolated gracilis tendon harvesting is not associated with loss of strength and maintains good functional outcome. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 28:637-644.
- **Flies A**, Becker R, Kopf S. Loading Conditions in Lower Limb Disorders – a Biomechanical Understanding of the Osteoarthritic Knee Joint. *J Surg Transplant Sci* 5(2): 1053 (2017).
- **Flies A**, Denecke T, Kraus N, Kruppa P, Provencher MT, Becker R, Kopf S (2020) Tendon regeneration and muscle hypotrophy after isolated Gracilis tendon harvesting - a pilot study. *J Exp Orthop* 7:19
- **Kruppa P**, Flies A, Wulsten D, Collette R, Duda GN, Schaser KD, Becker R, Kopf S (2020) Significant Loss of ACL Graft Force With Tibial-Sided Soft Tissue Interference Screw Fixation Over 24 Hours: A Biomechanical Study. *Orthop J Sports Med.* 8: 2325967120916437

8.2. Poster und Kongressbeiträge

- Vortrag: **Flies A**, Boeth H, Kraus N, Gwinner C, Scheibel M, Schütz M, Kopf S. MRT Veränderungen im Knie nach isolierter Gracilissehnenentnahme, AGA Kongress, München 2017.
- Vortrag: **Flies A**, Agres A, Kraus N, Scheibel M, Schütz M, Kopf S. Die Folgen der isolierten Gracilissehnenentnahme auf die *in vivo* Kniegelenkskinematik, DKG Kongress, Köln 2017.
- Poster: Kopf S, Boeth H, Kraus N, **Flies A**. Effects of Gracilis Tendon Harvest on Thigh Muscle Strength, ISAKOS Congress, Shanghai, China 2017.
- Vortrag: **Flies A**, Heide B, Kraus N, Gwinner C, Scheibel M, Perka C, Kopf S. Die Folgen der Gracilissehnenentnahme auf die Kraft der Oberschenkelmuskulatur und ihr subjektives Outcome, GOTS Kongress, München 2016.
- Vortrag: **Flies A**, Heide B, Kraus N, Gwinner C, Scheibel M, Perka C, Haas N, Kopf S. Die Folgen der Gracilissehnenentnahme auf die Kraft der Oberschenkelmuskulatur und ihr subjektives Outcome, NOUV Kongress, Hamburg 2016.

- Poster: Kopf S, Boeth H, Kraus N, Scheibel M, Perka C, **Flies A**. Effects Of Gracilis Tendon Harvest On Thigh Muscle Strength, ESSKA Kongress, Barcelona, Spanien, 2016.
- Poster: Kopf S, Boeth H, Kraus N, Scheibel M, Perka C, **Flies A**. Effects Of Gracilis Tendon Harvest On Thigh Muscle Strength, ORS Kongress, Orlando, Florida, USA 2016.
- Vortrag: **Flies A**, Jung T, Kraus N, Scheibel M, Perka C, Gwinner C, Haas N, Kopf S. Die Folgen der Gracilissehnenentnahme auf die Kraft der Oberschenkelmuskulatur, DKOU, Berlin 2015.
- Poster: Kopf S, Boeth H, Kraus N, Scheibel M, Perka C, **Flies A**. Die Folgen der Gracilissehnenentnahme auf die Kraft der Oberschenkelmuskulatur, AGA Kongress, Dresden 2015.

9. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. Sebastian Kopf für die Überlassung des Themas dieser Arbeit und für die Freiheit in der Gestaltung der Arbeit. Des Weiteren danke ich ihm für seine exzellente Betreuung, unermüdliche Motivation und Unterstützung, welche für die Fertigstellung meiner Promotion unerlässlich waren. Herr Prof. Dr. med. Sebastian Kopf ist mir ein Mentor über die Promotion hinaus geworden.

Ein weiterer Dank gilt Herrn Tino Ücker für die Maßanfertigung des Adapters für die Messung der Innenrotationskraft sowie den Ingenieuren des Julius-Wolff-Institutes, welche mir bei der Etablierung der Methodik mit fachlichem Rat zur Seite standen. Dies gilt insbesondere für Frau Dr. - Ing. Heide Boeth und Frau Dr. - Ing. Alison Agres.

Daneben möchte ich meinen Kommilitonen und Freunden danken, die sich zur Etablierung der Methodik als Testprobanden zur Verfügung stellten und Frau Karen Steinebronn für das Fotografieren des Testaufbaus.

Ich danke der AGA-Gesellschaft für Arthroskopie und Gelenkchirurgie für die finanzielle Förderung des Forschungsprojektes.

Mein persönlicher Dank gilt meinen Eltern und meinen Geschwistern, die mir mein Studium und meine Promotion ermöglicht haben, sowie mich stets bestärkt und liebevoll unterstützt haben.