

Wie verteilen sich elastische Komponenten in menschlichen Gelenkkapseln?

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung.....	1
1.1 Beschreibung der Ziele der Arbeit. Was wollen wir erreichen?.....	1
1.2 Gelenkaufbau am Beispiel des Kniegelenkes.....	2
1.2.1 Äußere Schicht.....	2
1.2.2 Innere Schicht.....	3
1.2.3 Fasergruppen (Seitenbänder).....	3
1.2.4 Bewegungen.....	4
1.3 Gelenkverschleiß.....	4
2. Beschreibung der Methoden.....	4
2.1 Die Erstellung der Gewebeschnitte.....	5
2.1.1 Fixierungsmittel.....	5
2.1.2 Einbettung.....	5
2.1.3 Schneiden.....	6
2.1.4 Färbung.....	6
2.2 Das Funktionsmodell.....	8
2.2.1 Beschreibung des Modells	8
3. Ergebnisse.....	9
3.1 Ergebnisse der Gewebeschnitte.....	9
3.2 Ergebnisse des Modellexperimentes.....	11
4. Diskussion der Ergebnisse.....	12
5. Quellenverzeichnis.....	17
Danksagung:.....	18

1. Einleitung

Die Gelenkkapsel ist ein Organ, dessen Funktion bei Erkrankungen und Verletzungen des Gelenkes im Gegensatz zu Bändern und Knochenköpfen weniger im Blick ist. Weit verbreitet ist die Auffassung, dass die Gelenkkapsel nicht viel mehr als die Verpackung aller wichtigen Gelenkbestandteile ist. Wir haben die Anregung von Prof. Filler – Universität Düsseldorf - aufgegriffen, uns doch mal näher mit der Gelenkkapsel zu beschäftigen. Ist sie mehr als nur Verpackung? Welchen funktionellen Anteil hat sie am Gelenk?

1.1 Beschreibung der Ziele der Arbeit. Was wollen wir erreichen?

Wir sind davon ausgegangen, dass die elastische Fasern in der Gelenkkapsel mechanischen Anteil an der Gelenkfunktion hat. Dies wollten wir belegen.

Mit zwei verschiedenen Experimentalreihen möchten wir Erkenntnisse über die Verteilung und Wirkung elastischer Teile der Gelenkkapsel sammeln.

- a) Wir hatten die Gelegenheit, am Anatomischen Institut der Universität Düsseldorf die elastischen Fasern in den Gelenkkapseln in Schnitten zu färben und deren Dichte abzuschätzen.
b) Deren Funktion haben wir an Modellexperimenten veranschaulicht.

Unsere Ausgangshypothese lautet, dass auch die Gelenkkapsel durch elastische Fasern Anteil an der Gelenkfunktion hat. Je nach Größe und Bedeutung des Gelenkes müsste die Anzahl der Fasern unterschiedlich ausfallen und am Modellexperiment müsste sich die Wirkung unterschiedlicher Mengen elastischer Fasern simulieren lassen.

1.2 Gelenkaufbau am Beispiel des Kniegelenkes

Das Kniegelenk wird von einer weiten Kniegelenkkapsel umhüllt. Diese ist bei voller Streckung stark angespannt. Mit zunehmender Beugung erschlafft sie.

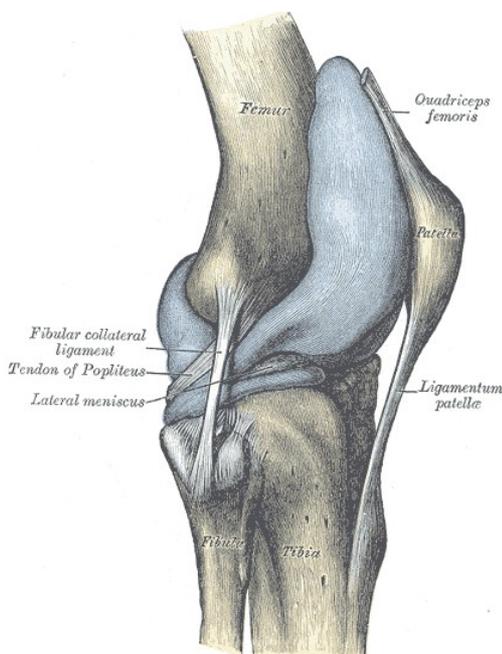


Abb.: 1 Seitenansicht des Kniegelenkes¹

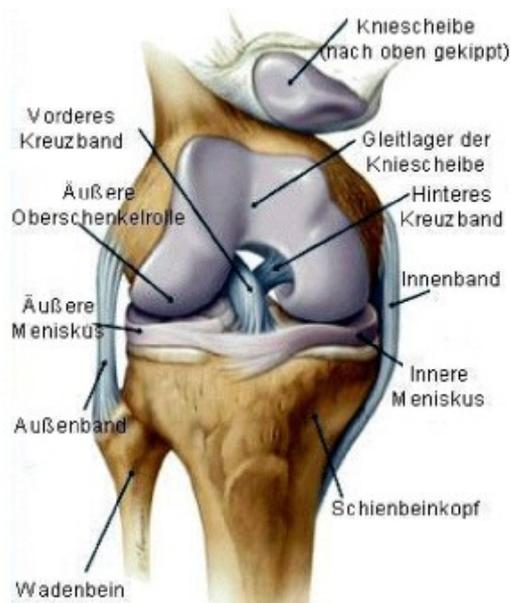


Abb.: 2 Frontalansicht des Kniegelenkes²

1.2.1 Äußere Schicht

Die äußere Schicht der Gelenkkapsel ist nur auf der Hinterseite stabil. Dort ist sie am gelenknahen Rand der Oberschenkelknochen angesetzt. Der Gelenkraum hat im Horizontalschnitt eine hufeisenförmige Gestalt. Diese Schicht ist fest mit den Menisken verwachsen. Sie erfüllt eine sehr wichtige Aufgabe: die sensible Versorgung des Knies.

¹ http://de.wikipedia.org/wiki/Kniegelenk#Gelenkkapsel.2C_-fl.C3.BCsigkeit_und_-raum

² <http://www.schule-bw.de/unterricht/faecher/nwt/unterrichtseinheiten/einheiten/medizin/35bild2.jpg>

1.2.2 Innere Schicht

Die innere Schicht der Gelenkkapsel wird als Gelenkinnenhaut bezeichnet. Sie liegt der Vorderfläche des Oberschenkelknochens auf, folgt auf der Hinterseite der Knochengrenze und zieht dort über die Grube zwischen den Oberschenkelknochen.

Die Innenhaut bildet die für die Ernährung des Knorpels wichtige Gelenkflüssigkeit. Bewegungen des Kniegelenks durchmischen die Gelenkflüssigkeit und verbessern dadurch die Aufnahme von Nährstoffen durch die Knorpelzellen. Die richtige Menge und Zusammensetzung der Gelenkflüssigkeit ist außerdem für die Schmierung des Kniegelenkes von entscheidender Bedeutung. Durch sie wird die Reibung der korrespondierenden Knorpelflächen bei der Roll-Gleit-Bewegung minimiert.

Gelenkflüssigkeit

Die Gelenkflüssigkeit wird auch als Synovia bezeichnet. Sie ist eine klare, leicht gelbliche, visköse Flüssigkeit. Selbst in großen Gelenken, wie z.B. dem Kniegelenk, beträgt ihr Volumen lediglich 3-5 ml (in kleinen Gelenken unter 1 ml).

Fettkörper

Der Fettkörper befindet sich zwischen den beiden Schichten der Gelenkkapsel vor dem Gelenk. Bei Beugung wird dieser von dem unter Spannung gesetzten Band unter der Kniescheibe zusammengedrückt und wölbt sich hauptsächlich zur Seite heraus.

Schleimbeutel

Ein Schleimbeutel befindet sich hinten in der Gelenkhöhle unter der Ansatzsehne des Muskels. Zwei weitere liegen unter den Ursprungssehnen des zweiköpfigen Wadenmuskels. Zwei Schleimbeutel besitzen keine Verbindung zum Gelenkraum und sind somit in sich abgeschlossen. Der eine liegt unter der Haut vor der Kniescheibe, der andere zwischen dem Kniescheibenband und der äußeren Schicht der Gelenkkapsel.

Aussackungen

Vor der Kniescheibe bildet die Gelenkkapsel an der Vorderseite des Oberschenkelknochens eine Aussackung, die sich bei Beugung glättet bzw. entfaltet und so eine Bewegung der Kniescheibe von bis zu sieben Zentimetern ermöglicht.

1.2.3 Fasergruppen (Seitenbänder)

- Die vorderen langen Fasern ziehen vom Ansatz des inneren Oberschenkelknochens zur Innenseite des Schienbeines.
- Die hinteren oberen kurzen Fasern strahlen in den Innenmeniskus ein.
- Die hinteren unteren langen Fasern gelangen vom Innenmeniskus zum Schienbein.³

1.2.4 Bewegungen

- Beugung bis ca. 120-150°
- Streckung bis ca. 5-10°
- Einwärtsdrehung um 10° (bei 90° Beugung)
- Auswärtsdrehungen um 30-40° (bei 90° Beugung)³

1.3 Gelenkverschleiß

Eine sehr häufige Erkrankung des Kniegelenkes ist der Gelenkverschleiß (Arthrose). Am Knie nennt man ihn Gonarthrose. Er kann als Folge von Verletzungen, Fehlstellungen und Überlastungen, in zunehmendem Alter aber auch ohne erkennbare Ursache auftreten. Besonders häufig sind die Gonarthrosen als Folge von Abwicklungen in Form des O- und X-Beines. Gonarthrose wird mittels Röntgenaufnahmen diagnostiziert und ebenfalls meist in Form einer arthroskopischen Operation behandelt.³

2. Beschreibung der Methoden

05.10.2012:

In einem Gespräch in der Universität Düsseldorf über das Thema mit Herrn Filler und Herrn Osterwind wurden die verschiedenen Aspekte der Erarbeitung besprochen und für die folgenden Arbeitstage geplant. Besprochen wurde: die Ausgangshypothese, dass die Gelenkkapsel eventuell doch auch funktionellen Anteil hat, dass diese Hypothese mit Hilfe des Nachweises elastischer Fasern in verschiedenen Kapseln und einem Modellexperiment erhärtet werden kann.

19.10.2012:

Herr Filler stellte uns Präparate zur Verfügung. Diese wurden in der Vergangenheit aus menschlichem Gewebe gewonnen:

- Hüfte (1988)
- linke Schulter
- Handwurzel
- Gelbes Band der Wirbelsäule
- Sprunggelenk
- rechtes Knie, Innenseite
- Radius Ringband

³ Abb.: 3 http://de.wikipedia.org/wiki/Kniegelenk#Gelenkkapsel.2C_-fl.C3.BCsigkeit_und_-raum

2.1 Die Erstellung der Gewebeschnitte

Wir erhielten vom Anatomischen Institut des Universitätsklinikum Düsseldorf histologische Proben von Körperspendern. Das Gewebe muss erst in einen Paraffinblock eingebettet werden, um es zu schneiden.

Da Paraffin nicht mit Wasser mischbar ist, müssen die Präparate im Laufe der Woche anhand einer aufsteigenden Alkoholreihe entwässert werden. Weil wir nicht jeden Tag in der Universität anwesend sein können, wird diese Arbeit von Frau Berthold, einer Mitarbeiterin von Herrn Filler, übernommen.



Erklärungen:

Tierische, menschliche und pflanzliche Gewebe können histologisch (griech.: histos = Gewebe) untersucht werden. Diese Untersuchung dient einerseits dem Erkennen krankhafter Veränderungen (Untersuchung in der Pathologie (griech. pathos = Leiden; „Logie“ = Lehre von)), aber auch zur Darstellung normaler (nicht veränderter) Strukturen. Das entnommene Gewebe muss möglichst schnell verarbeitet werden, um Autolyse (griech. = Selbstauflösung) durch Enzyme (griechisches Kunstwort) oder Fäulnis zu vermeiden. Enzyme sind körpereigene Proteine (Eiweiß); Fäulnis wird durch Bakterien hervorgerufen. Zur Vermeidung von Autolyse und Fäulnis wird das Gewebe fixiert; das heißt ein eventueller Verwesungsprozess wird gestoppt, aber nicht verhindert.

2.1.1 Fixierungsmittel

Als Fixierungsmittel dient **Formalin** (Synonyme = Formol, oder Formaldehyd). Formalin ist eine wasserklare stechend riechende giftige Flüssigkeit. Es wird meist in einer Konzentration von 4-10% verwendet. Formalin ist das gebräuchlichste Fixierungsmittel. **Isopropyl-Alkohol-** (= sekundärer Alkohol) **Methylbenzoat** (= chemische Verbindung), die als Intermedium bei histologischen Einbettungsvorgängen dient. **Toluol** (= aromatischer Kohlenwasserstoff ist ein Lösungsmittel), **Paraffin** (= kerzenwachsähnliche Substanz mit einem Schmelzpunkt der hier gebrauchten Variante von 57-60°C)



Abb.: 5 Annika bei der Einbettung

2.1.2 Einbettung

Vorbereitung:

Zunächst wird das flüssige Paraffin aus dem Paraffinspender bereitgehalten und der Einbettisch eingeschaltet (linke Seite: kalt/rechte Seite: heiß). Ein Silikonwännchen (mit 8 quadratischen Vertiefungen) und eine Pinzette werden in dem Brutschrank bei 60°C vorgewärmt.

Durchführung:

Als Erstes wird das Silikonwännchen auf die heiße Seite des Einbetttisches gestellt und alle Vertiefungen mit flüssigem Paraffin aufgefüllt. Danach nehmen wir jeweils ein Probengefäß aus dem Brutschrank und stellen es auf die heiße Seite des Tisches. Mit der heißen Pinzette entnehmen wir die Probe und legen sie in eins der mit Paraffin gefüllten Fächer. Die Probe wird so ausgerichtet, dass die zu schneidende Fläche des Gewebes nach unten zeigt. Nun wird ein klebbares Etikett mit der Codierung (Name der Probe) bereitgehalten. Wenn alle Proben in die Fächer gelegt wurden, schieben wir das Silikonwännchen auf die Kühlplatte und warten solange bis das flüssige Paraffin eine Haut (ähnlich wie bei kochender Milch) gebildet hat. Mit einer Pinzette werden die Etiketten vorsichtig in der richtigen Reihenfolge auf die dünne Paraffinhaut aufgebracht (Paraffinhaut nicht zerstören!). Danach wird das Wännchen eine Stunde in kaltem Leitungswasser abgekühlt und anschließend werden die Paraffinblöckchen aus der Silikonform herausgedrückt.

2.1.3 Schneiden

Nach dem Abkühlen können die Paraffinblöckchen sofort auf einem Mikrotom geschnitten werden. Die Blöcke werden eingespannt und in eine waagerechte Position gebracht, damit die Schnitte gerade sind. Nun muss die übliche Schnittdicke eingestellt werden, die 5-7 Mikrometer ($1\mu = 0,001\text{mm}$) beträgt.



Abb.: 6 Am Schneidetisch

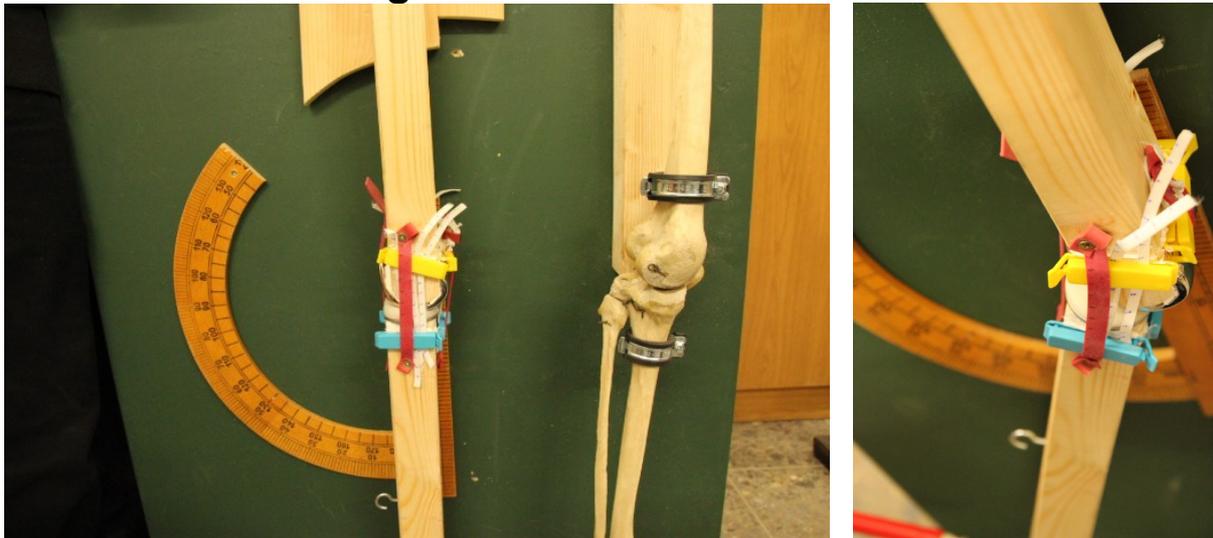
2.1.4 Färbung

Die geschnittenen Präparate wurden nach „van Gieson“ (eine Übersichtsfärbung) gefärbt und mit Resorcin-Fuchsin zur Darstellung der elastischen Fasern gegengefärbt. Elastin stellt sich auf diese Weise violett oder dunkelblau dar. Die Van Gieson Methode färbt Kollagen rot, so dass das Verhältnis beider Faserarten und ihre Zuordnung und Verteilung erkennbar wird. Das Gelingen der Färbung (sichere Detektion des Elastins) zeigt sich in dem gelben Band (Lig. flavum) der Wirbelsäule. Dieses Band ist laut Literatur rein elastisch, ist entsprechend komplett blau-violett angefärbt und kann als Standard verwendet werden. Alle Bilder wurden an einem Leica-

Forschungsmikroskop bei einer Auflösung von 2048 * 1536 Bildpunkten (Pixel) fotografiert. Ein Größenmaßstab ist eingeblendet. Es wurden Objektiv Vergrößerungen von 5x, 10x, 20x, 40x und 63x verwendet.

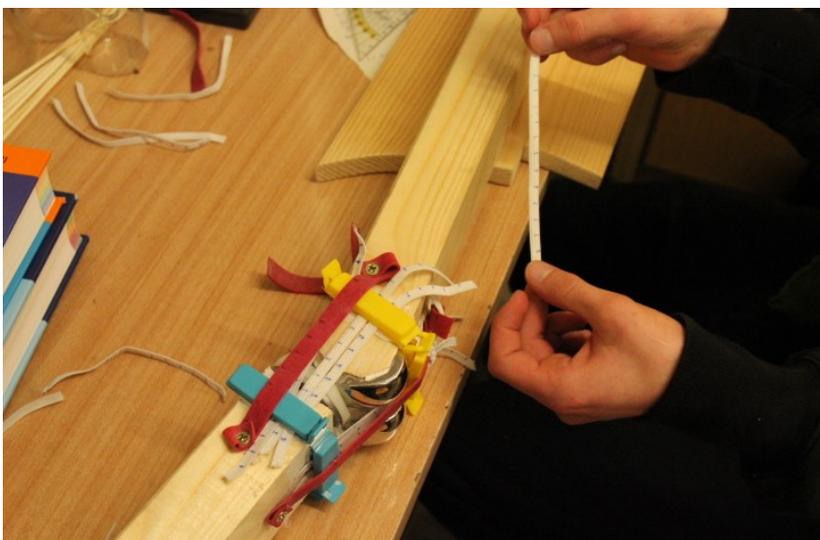
2.2 Das Funktionsmodell

2.2.1 Beschreibung des Modells



In den Abbildungen 7 (links) und 8 (rechts) sieht man den Vergleich zwischen einem echten Kniegelenk und unserem Modell. Von Dr. Simone Gehrke von der Orthopädie und Unfallchirurgie am Marienhospital Aachen (Leitung Dr. Borggreffe) konnten wir künstliche Knie- und Hüftgelenke bekommen. Die Rekonstruktion eines Hüftgelenkes erschien uns wegen der komplizierten Bandstruktur schwer nachvollziehbar, daher konzentrierten wir uns auf das Kniegelenk. Bei der praktischen Realisierung des Modells half uns unser betreuender Lehrer. Die rötlichen Gummibänder, mit einer Breite von 13 mm, stellen die Seitenbänder dar, welche eine Drehbewegung in Streckstellung verhindern. Sie sind mit Schrauben an den massiven Holzblöcken befestigt. Die zusätzlichen elastischen Fasern in der Gelenkkapsel simulieren wir mit den weißen Gummibändern, die wiederum eine Breite von 7 mm haben.

Als erstes wurden an dem Modell Messungen ohne „zusätzliche“ (gemeint ist: zusätzlich zu den starken Seitenbändern) elastische Fasern vorgenommen, um zu sehen, ob sich der Kraftaufwand bei



der Beugung des Knies mit weiteren Fasern verändert. Gemessen wurde mit einer Federwaage, die die Ergebnisse in Pond angibt. Diese Zahlen mussten später in Newton umgerechnet werden. Als nächstes spannten wir an jeder Seite, außer der hinteren, jeweils ein oder mehrere weiße Gummibänder in die farbigen Klemmen (s. Abb. 9) ein und maßen die Rückstellkraft in Zehn-Grad-Schritten bis 100° ab. Das wiederholten wir mit je zwei und drei Fasern in den Klemmen

(Ergebnisse: s. Tabelle 1 unten).

3. Ergebnisse

3.1 Ergebnisse der Gewebeschnitte

Färbungen: elastische Fasern (violett), Kollagen (rot)

Um einen Anteil ermitteln zu können, wurden mit einem Messwerkzeug alle Bildpunkte (Pixel) mit dem Farbeindruck von Elastica ausgewählt und in Relation zur gesamten Fläche gesetzt. Da alle verwendeten Bilder flächenfüllend markiert waren, ergibt sich so aus dem Verhältnis der markierten Pixel zur Gesamtzahl der Pixel in einer Näherung der prozentuale Anteil elastischen Materials.

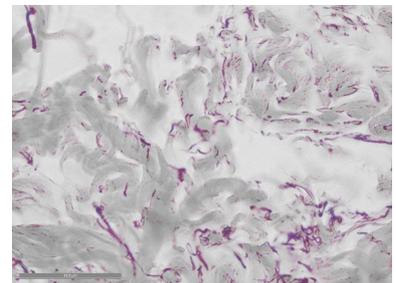
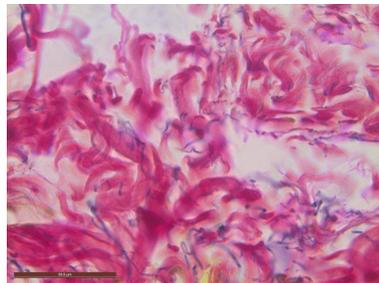
Handwurzel:

Abb.: 10 und 11

elastische Fasern: 1.275.480

Anteil: 40,5%

Man erkennt eine nur teilweise regelmäßige Ausrichtung in der 63fachen Vergrößerung. Die elastischen Fasern sind nicht streng parallel zu den kollagenen Komponenten ausgerichtet.



Zur leichteren Identifizierung der elastischen Fasern ist der Rest des rechten Bildes ausgeraut.

Abb.: 12 Hüfte:

elastische Fasern: 659.391

Anteil: 21,0%

Man erkennt derbe große Kollagenbündel und nur sehr geringe Anteile elastischer Komponenten, die das Kollagen umrahmen. Das Präparat ist praktisch gefäßfrei und weist auch keine Regionen lockeren Bindegewebes auf.

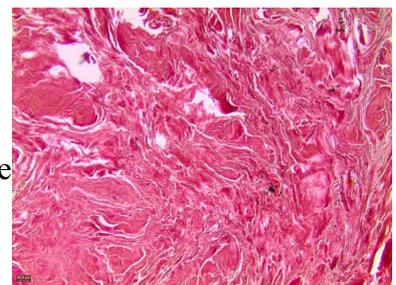


Abb.: 13 Knie innen:

straffes Bindegewebe

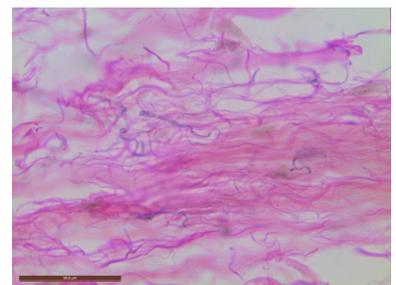
elastische Fasern: 181.522

Anteil: 5,8%

lockeres Bindegewebe

elastische Fasern: 981.252

Anteil: 31,2%



Auf der Abbildung bei 63facher Vergrößerung aus einem Bereich mit lockeren kollagenen Bindegewebe erkennt man parallelisierte elastische Fasern. Bereiche mit straffem kollagenen

Bindegewebe enthalten diese in nur sehr geringer Zahl. Die Dicke der Fasern in der Abbildung ist etwa gleich und etwas höher als vergleichsweise im Handgelenk

Abb.: 14 Das gelbe Band:

elastische Fasern: 1.972.608

Anteil: 62,7%

Das gelbe Band (=Ligamentum flavum, abgekürzt Lig. flavum) der Wirbelsäule besteht fast nur aus elastischen Fasern. Daher stammt die Farbe beim Lebenden (gelb). In einer 63x Vergrößerung zeigt sich dies, wobei einzeln zu identifizierende Faserzüge eine erhebliche Dicke aufweisen.

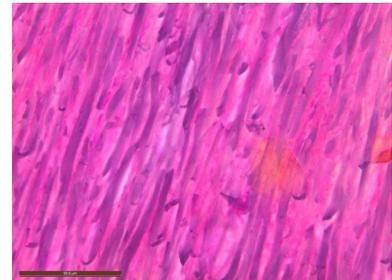
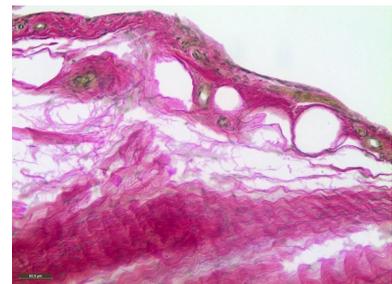


Abb.: 15 Sprunggelenk:

elastische Fasern: 1.787.436

Anteil: 56,8%

Bei der 20x Vergrößerung des verwendeten Sprunggelenkbandes sind die gewellten kollagenen Fasern in der unteren Bildhälfte gut zu erkennen, die durch die zusammengeschnürten elastischen Fasern diese Form einnehmen und damit eine Reservelänge erhalten, bevor sie Zugspannung aufnehmen können. Im oberen Teil des Bildes erkennt man die



Gelenkinnenhaut (einschichtige Zelllage) auf einige Fettzellen (leere Kreise) und Blutgefäßen (gelb gefärbte rote Blutkörperchen unter der Oberfläche).

Diese Analyse ist nur semiquantitativ und dient lediglich dazu eine orientierende Größenordnung zu bestimmen.

Hier der Gesamtüberblick:

<u>Kapsel</u>	<u>elastisch</u>	<u>Gesamt</u>	<u>Anteil in %</u>
Schulter straffes BG	14497	3145728	0,5%
Schulter lockeres BG	1207815	3145728	38,4%
Hüftgelenk	659391	3145728	21,0%
Radius Ringband straffes BG	54735	3145728	1,7%
Radius Ringband lockeres BG	1225739	3145728	39,0%
Kniegelenk straffes BG	181522	3145728	5,8%
Kniegelenk lockeres BG	981252	3145728	31,2%

Wie man der Übersicht entnehmen kann, ist der Anteil von elastischen Fasern bei lockerem Bindegewebe um ein vielfaches größer als bei straffem und in jedem Gelenktyp anders.

3.2 Ergebnisse des Modellexperimentes

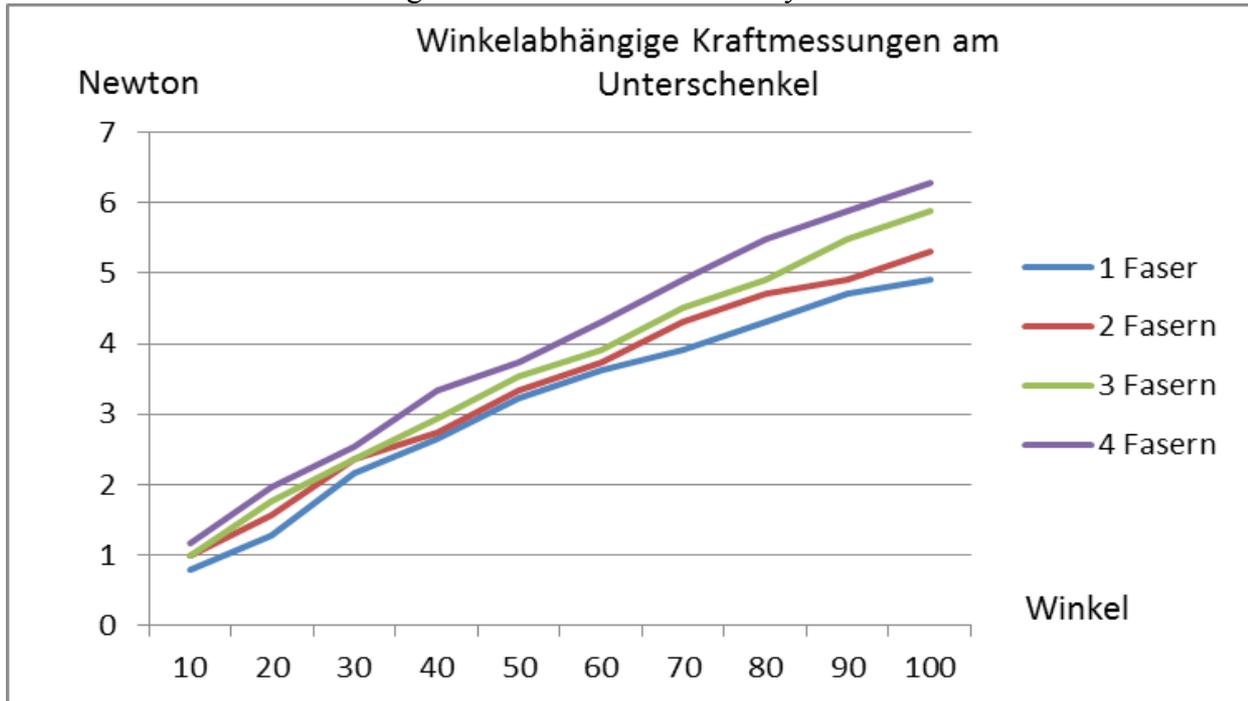


Abb. 16
 Winkelabhängige
 Kraftmessung

Tabelle 1: Winkelabhängiger Kraftaufwand bei der Beugung des „Modellknies“ in Newton

Winkel	1 Faser in jeder Klemme	2 Fasern in jeder Klemme	3 Fasern in jeder Klemme	4 Fasern in jeder Klemme
10°	0,79	0,98	0,98	1,18
20°	1,28	1,57	1,77	1,96
30°	2,16	2,35	2,35	2,55
40°	2,65	2,75	2,94	3,33
50°	3,24	3,33	3,53	3,73
60°	3,63	3,73	3,92	4,32
70°	3,92	4,32	4,51	4,90
80°	4,32	4,71	4,90	5,49
90°	4,71	4,90	5,49	5,88
100°	4,90	5,30	5,88	6,28

Abb.: 17: Kraft/Winkel Kurve bei unterschiedlichem Anteil elastischer Fasern im Modellexperiment „Knie“



4. Diskussion der Ergebnisse

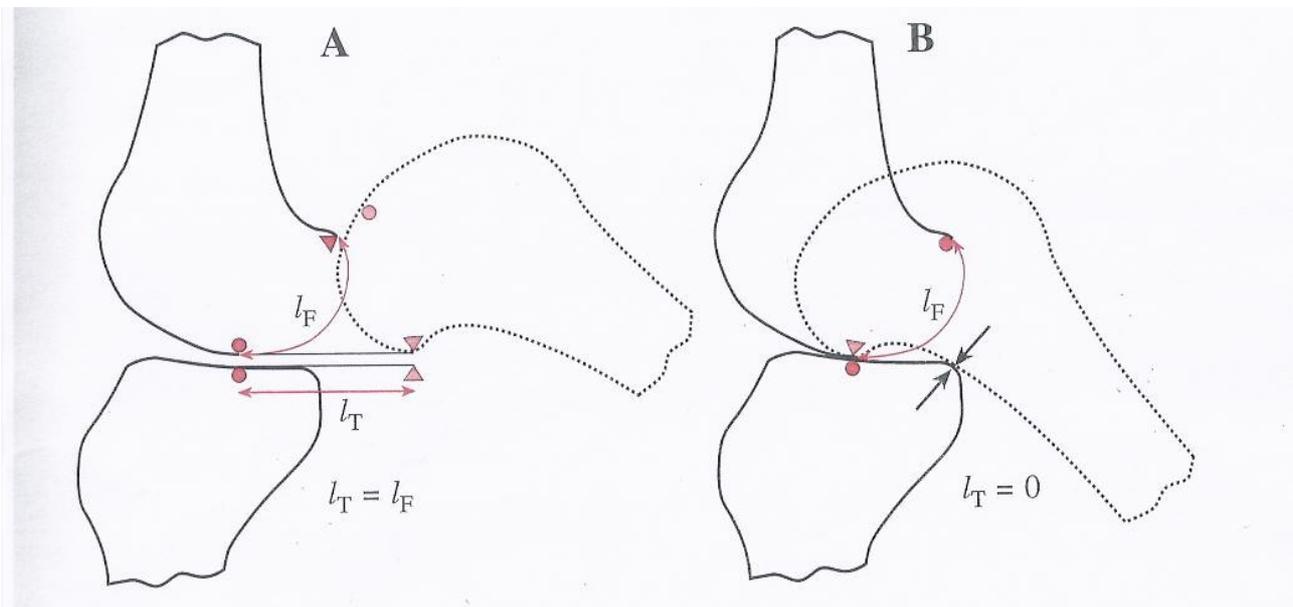


Abb. IV.1

Darstellung der zwei Extremfälle des reinen Röllens (A) und des reinen Gleitens (B) im femerotibialen Gelenk. Die erste Variante würde zu einer klaren Luxation führen, im zweiten Fall wäre die Beweglichkeit in Richtung Flexion deutlich eingeschränkt. Die Symbole zeigen die Kontaktpunkte in der Anfangs- und Endposition.

Bei reinem Röllens sind die Abrollstrecken an beiden Gelenkflächen gleich ($l_T = l_F$). Bei reinem Gleiten kommt es auf der tibialen Gelenkfläche zu keiner Verlagerung des Kontaktpunktes ($l_T = 0$).

Aus: Klein, P, Sommerfeld, P: Biomechanik der menschlichen Gelenke 2004 S. 239
 Trotzdem es sich bei dem Kniegelenk um die Kombination eines Gleit-/Drehgelenk (siehe Abbildung oben) handelt, konnten wir die Folgen der Achsverschiebung in diesem Experiment nicht feststellen. Es scheint

sich um eine nahezu lineare und je nach Faseranteil parallele Entwicklung des notwendigen Kraftaufwandes in Relation zum Beugungswinkel zu handeln. Man kann erkennen, dass im Verlauf der Grafik die Abstände zwischen den gemessenen Graphen zunehmen und sich wie ein „Trichter“ ausbreiten, das heißt der Unterschied unterschiedlicher Faseranteile nimmt mit dem Winkel zu.

Die Rückstellwirkung der elastischen Fasern der Gelenkkapsel ist scheinbar unabhängig von der Besonderheit des Gelenktyps. Es könnte aber ein Messfehler insofern vorliegen, als der Druck auf das Kniegelenk in unserem Modellexperiment nur der Bruchteil des realen Druckes entsprach. Das könnte zur Folge gehabt haben, dass unser Gelenk gar nicht „gerollt“ ist, wie es unter natürlichen Bedingungen der Fall ist und daher die Hebel sich gar nicht verändert haben. So wäre die lineare Struktur unserer Grafik zu erklären.

Eine wünschenswerte Verbesserung wäre auch, die relative Verteilung Bänder/Kapsel im Modell nachzubauen. Dazu fehlen uns noch die genaueren Angaben der Federkonstanten im realen Gelenk der Bänder und der Kapsel.

Eine gewisse Wirkung der Kapsel auf die Rückstellung des Gelenkes in die Ruhestellung ist also winkelabhängig durchaus rekonstruierbar.

Diskussion der Ergebnisse der Kapselschnitte:

Unsere Ausgangshypothese lautete, dass auch die Gelenkkapsel eine mechanisch nicht zu vernachlässigende Wirkung für die Rückstellung und Ruhestellung des Gelenkes hat.

Tabelle 2 zeigt:

A) Der Anteil elastischer Fasern im Gelenk variiert.

B) Tabelle 2 ist extrem vergrößernd zu entnehmen: je kleiner das Gelenk, umso höher der Anteil elastischer Fasern.

Das Oberflächen/Volumenverhältnis ist bei den großen Gelenken ungünstiger: Je größer das Gelenk ist, umso weniger Oberfläche steht pro Volumen zur Verfügung. Müssen daher die großen Gelenke also mehr mit Bändern - quasi als Konzentration der elastischen Fasern der Kapsel – arbeiten, um diesen Effekt zu kompensieren?

C) Wir diskutieren auch eine andere Funktion der elastischen Fasern in der Gelenkkapsel: Könnte es sein, dass bei einem Stoß auf den Gelenkspalt (z.B. bei einem Sprung von einer Mauer) die Synovia (Gelenkschmiere) etwas aus dem Spalt gepresst wird, und die elastischen Fasern der Kapsel diese dann wieder zurückpressen müssen?

→ Tabelle 2 scheint diese Annahme eher zu widerlegen.

D) Je weiter vom Rumpf entfernt, umso höher ist der Anteil elastischer Fasern. Warum dies so ist, können wir uns aber nicht erklären.

E) Nebenhypothese: Unser betreuende Lehrer wies uns darauf hin, dass die Krankheit Morbus Bechterew die Gelenke eines Menschen etwa in der Reihenfolge beeinträchtigt, wie sie sich von hoher zu niedriger Konzentration der elastischen Fasern ergibt. Es handelt sich bei Morbus Bechterew um eine Autoimmunkrankheit. Antikörper des Menschen greifen fälschlicherweise körpereigene Strukturen (elastische Fasern?) an, was zu Entzündungen der Gelenke und deren Versteifung durch Verknöcherung führt. Könnte man diesen Menschen durch eine Desensibilisierung gegen elastische Fasern helfen?

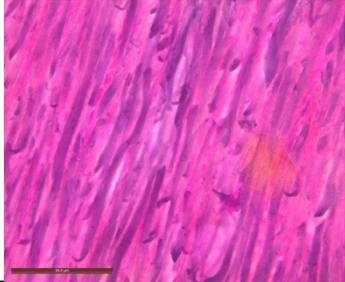
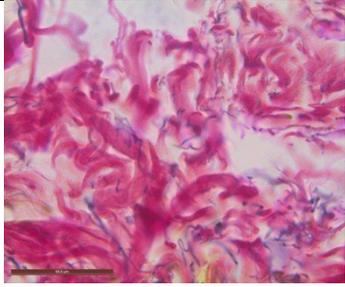
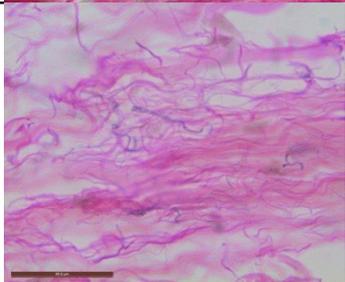
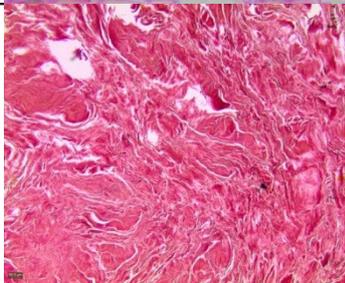
	Probe	Gelenk	Typ	elastische Fasern	Präparat
1	Wirbelbogenband (gelbes Band)	Wirbelsäule (Zwischenwirbelgelenk)	Gleitgelenk	62,7%	
3	Handwurzel I	Handwurzel	Eigelenk	40,5%	
5	Sprunggelenk	Sprunggelenk	Scharniergelenk	56,8%	
6	Innenseitenband	Kniegelenk	Scharniergelenk	31,2%	
4	Kapsel 1988	Hüfte	Nussgelenk	21,0%	

Tabelle 2: Übersicht der untersuchten Gelenkkapseln

5. Quellenverzeichnis

Allgemeininformationen über die Gelenkkapsel:

<http://de.wikipedia.org/wiki/Gelenkkapsel> (05.09.12)

<http://www.medizinfo.de/rheuma/anatomie/gelenke.htm#kapsel> (05.09.12)

http://de.wikipedia.org/wiki/Kniegelenk#Gelenkkapsel.2C_-fl.C3.BCsigkeit_und_-raum (12.09.12, 19.09.12)

<http://www.schule-bw.de/unterricht/faecher/nwt/unterrichtseinheiten/einheiten/medizin/35bild2.jpg> (05.09.12)

Entwässern und Einbetten von Präparaten:

Böck, P.: Romeis Mikroskopische Technik; München, Wien, Baltimore; 17. Jg.; S. 71 → 73; S. 144 → 118 (12.09.12)

Formalin/Formaldehyd: <http://de.wikipedia.org/wiki/Formaldehyd>

Isopropyl-Alkohol: <http://de.wikipedia.org/wiki/2-Propanol>

Methylbenzoat: <http://de.wikipedia.org/wiki/Benzoesauremethylester>

Toluol: <http://de.wikipedia.org/wiki/Toluol>

Paraffin: <http://de.wikipedia.org/wiki/Paraffin>

Rotationsmikrotom:

[http://de.wikipedia.org/w/index.php?](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Ultramicrotome_2265_EM_GD_MB.jpg&filetimestamp=20091031084515)

[title=Datei:Ultramicrotome_2265_EM_GD_MB.jpg&filetimestamp=20091031084515](http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Datei:Ultramicrotome_2265_EM_GD_MB.jpg&filetimestamp=20091031084515) (12.09.12)

<http://de.wikipedia.org/wiki/Mikrotom#Rotationsmikrotom> (12.09.12)

Umrechnung von Pond in Newton:

<http://www.me-systeme.de/calculate/index.html>

Literaturverzeichnis:

Böck, P.: Romeis Mikroskopische Technik; München, Wien, Baltimore; 17. Jg.; S. 155 → 160 (12.09.12)

Klein, P., Sommerfeld, P.: Biomechanik der menschlichen Gelenke und Biomechanik der Wirbelsäule. München, 2004.

Rohen, J.W. et al: Anatomie des Menschen. Fotografischer atlas der systematischen und topografischen Anatomie. 6. Auflage. Stuttgart, 2006.

Wappelhorst, U., et al: Lehr und Arbeitsbuch Funktionelle Anatomie. München, 2006.

Schünke, M. et al: Prometheus. LernAtlas der Anatomie. 2. Auflage. Stuttgart, 2009.

Raimar Filler (14), Annika Neuwinger (14)
AG Detegimus Naturam Helmholtz-Gymnasium Hilden

Danksagung:

Wir danken besonders den MTAs Frau Berthold und Frau Kondel für ihre Unterstützung bei der Arbeit in der Universität Düsseldorf.

Wir danken Dr. Simone Gehrke von der Orthopädie und Unfallchirurgie am Marienhospital Aachen (Leitung Dr. Borggreffe) für die Überlassung künstlicher Knie- und Hüftgelenke.

Wir danken Frau Mieruch von der Firma 3M für den Druck der Poster.