Die *Grenzschmierung* wird durch eine dünne Schicht von Glyko- bzw. Schmierungsproteinen, z. B. Lubricin, SZP (= superficial zone protein) und Proteoglykan 4 (PRG-4), gewährleistet (Schmidt et al. 2005). Die Proteine heften sich an die Oberfläche des Gelenkknorpels und verhindern damit einen direkten Kontakt zwischen den Knorpelflächen. Der Abstand zwischen den Gelenkknorpelflächen liegt infolgedessen zwischen 1 und 100 nm (Abb. 2.**47**).

Bei der *Schmierung mittels Flüssigkeitsfilm* unterscheidet man zwischen squeeze film lubrication (Quetschfilmschmierung) oder komprimierter Filmschmierung und hydrodynamischer Schmierung, die vor allem bei Rollbewegungen entsteht. Diese Form der Schmierung vermeidet ebenfalls einen direkten Kontakt zwischen den sich bewegenden Gelenkknorpelflächen. Zwischen den beiden, nicht völlig kongruenten Knorpelflächen werden während der Belastung kleine Wassermengen eingeklemmt und festgehalten. Diese winzigen Wasserbereiche können jetzt wie eine Art Kugellager funktionieren (Abb. 2.**48**).

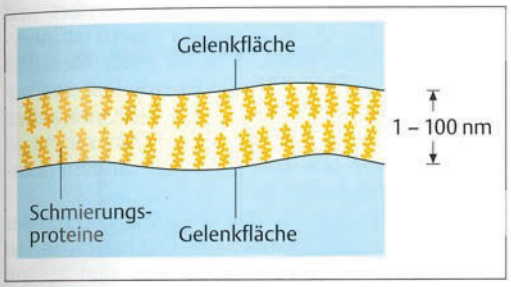


Abb. 2.47 Grenzschmierung.

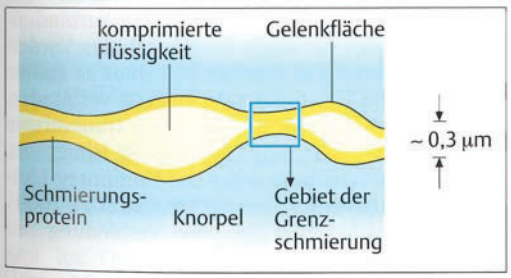


Abb. 2.48 Schmierung mittels Flüssigkeitsfilm.

Zusammenfassung: Gelenkschmierung

Die Gelenkschmierung reduziert die Reibungskräfte zwischen zwei sich miteinander oder gegeneinander bewegenden Gelenkflächen auf ein Minimum. Durch sie können die Gelenke ohne Verschleiß ein Leben lang funktionieren. Es gibt zwei verschiedene Formen der Gelenkschmierung:

- Grenzschmierung durch Glykoproteine, die sich an die Knorpelflächen festheften,
- Schmierung mittels Flüssigkeitsfilm, der durch das Einklemmen von kleinen Wassermengen zwischen den beiden nicht kongruenten Gelenkflächen entsteht.

2.3 Menisken

2.3.1 Äußere Erscheinung

Das einzige Gelenk in unserem Körper, in dem Menisken als *intraartikuläre Strukturen* erscheinen, ist das Kniegelenk. Pro Gelenk sind zwei große, ausgeprägte, knorpelige Strukturen vorhanden, die sich nur in ihrer Form unterscheiden. So hat der *laterale Meniskus* eine runde Form, während der *mediale Meniskus* eine mehr sichelähnliche Form aufweist. Beide sind weiße, glänzende, elastische und außerordentlich zugbelastbare Strukturen. Wie die meisten kollagenen Strukturen unseres Körpers kann sich ihre Farbe während des Alterungsprozesses mehr in Richtung gelblich bis gelbbraun verändern (Abb. 2.**49**).

2.3.2 Funktion

Die Aufgabe der Menisken besteht laut Literatur darin, die beträchtliche Gelenkinkongruenz zwischen Tibia und Femur auszugleichen. Dadurch wird die Stabilität des Gelenks vergrößert und gleichzeitig die Belastung auf die Knorpelflächen dieser Knochen verringert. Ohne die Menisken wäre die Belastung auf Tibia und Femur sehr hoch, was starke Verschleißerscheinungen und Schädigungen zur Folge haben könnte. Neben der wichtigen Aufgabe, für Stabilität zu sorgen, sind die Menisken – wie alle anderen knorpeligen Strukturen auch – dafür zuständig, den Körper zu tragen und Stöße zu absorbieren. Zusätzlich sind sie für die Schmierung des Gelenks mit verantwortlich.

Die genannten Aufgaben werden immer wieder in der Literatur beschrieben, folglich auch immer wieder weitervermittelt und unterrichtet. Wenn man die Menisken allerdings unter histologischen

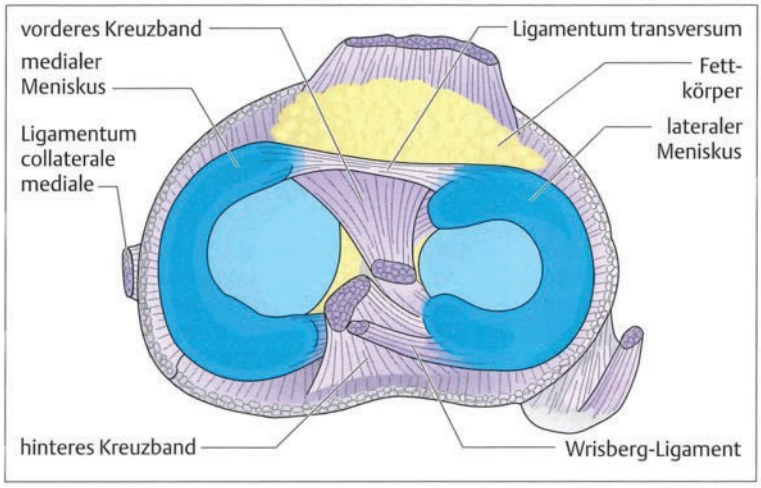


Abb. 2.**49** Kniegelenk mit Menisken. Das Wrisberg-Ligament ist das Lig. meniscofemorale.

Gesichtspunkten betrachtet, zeigt sich, dass sie fast ausschließlich aus Kollagen Typ I und nur zu einem geringen Teil aus Grundsubstanz bestehen. Dies deutet darauf hin, dass die Menisken primär Zugbelastungen ausgesetzt sind. Für die Absorption von Druckbelastungen ist dieser Aufbau dagegen ungeeignet.

Die Menisken spielen eine sehr wichtige Rolle in der Gelenkmechanik des Kniegelenks und haben vor allem bei Rotationen eine wichtige stabilisierende Aufgabe.

Zusammenfassung:
Äußere Erscheinung und Funktion der Menisken

Der laterale Meniskus hat eine runde Form, der mediale ist dagegen mehr sichelförmig. Die Funktion der Menisken laut Literatur ist:

- Absorption von Druckbelastungen
- Vergrößerung der Kongruenz der Gelenkflächen
- Vergrößerung der Stabilität
- Unterstützung der Gelenkschmierung

Ob die Menisken wirklich die Aufgabe haben, Druckbelastungen zu absorbieren, ist aufgrund ihres histologischen Aufbaus fraglich. Vielmehr scheinen sie vor allem Zugbelastungen aufzufangen.

2.3.3 Aufbau

Die Menisken unterscheiden sich in ihrem Aufbau nur geringfügig voneinander. Der laterale Meniskus ist eine nahezu runde Struktur, die im äußeren Bereich am dicksten ist und Richtung Zentrum immer dünner wird. Der mediale Meniskus ist ebenfalls im äußeren, posterioren Bereich am dicksten, aber mehr halbmond- oder sichelförmig. In diesem Teil befinden sich die meisten Zellen. Er ist hier außerdem am stärksten innerviert und durchblutet. Die Orientierung der Fasern ist innerhalb der verschiedenen Bereiche eines Meniskus sehr unterschiedlich: Man findet zirkuläre und horizontale Fasern, aber auch Fasern, die von außen nach innen verlaufen (Abb. 2.**50**). Man spricht in diesem Fall von einem ungeformten straffen faserreichen Bindegewebe.

Die äußeren Bereiche der Menisken sind mit der Kapsel verwachsen, wobei die Verbindungen auf der medialen Seite deutlich stabiler sind als auf der lateralen. Demzufolge besitzt der laterale Meniskus mehr Mobilität als der mediale (Abb. 2.**51** u. Abb. 2.**52**). Die Menisken sind über die meniskotibialen Bänder (auch „coronary ligaments" genannt) mit der Tibia verbunden. Diese Verbindungen findet man vor allem im Bereich des Vorder- und Hinterhorns. Der mediale Meniskus ist zudem noch mit dem Lig. collaterale mediale verbunden. An der Vorderseite verbindet das Lig. transversum die Menisken miteinander. Das laterale Hinterhorn hat über das Wristberg- oder das Humphrey-Ligament mit dem Femur Kontakt (Bhagia et al. 2009). Die Popliteus-Sehne weist eine Verbindung mit dem lateralen Meniskus (Hinterhorn) auf und zieht ihn bei Flexion nach hinten. Der M. semimembranosus hat die gleiche Aufgabe in Bezug auf den medialen Meniskus. Bei Extension werden die Menisken vom M. quadriceps über die beiden Retinaculae nach vorne gezogen.

Abb. 2.**49** Kniegelenk mit Menisken. Das Wrisberg-Ligament ist das Lig. meniscofemorale.

Der mediale Meniskus ist
, posterioren Bereich am
lbmond- oder sichelförmig.
n sich die meisten Zellen. Er
n stärksten innerviert und
tierung der Fasern ist inner-
n Bereiche eines Meniskus
Man findet zirkuläre und ho-
auch Fasern, die von außen
(Abb. 2.**50**). Man spricht in
ungeformten straffen faser-

e der Menisken sind mit der
obei die Verbindungen auf
eutlich stabiler sind als auf
olge besitzt der laterale Me-
als der mediale (Abb. 2.**51** u.
en sind über die meniskoti-
„coronary ligaments" ge-
erbunden. Diese Verbindun-
lem im Bereich des Vorder-
mediale Meniskus ist zudem
laterale mediale verbunden.
rbindet das Lig. transversum
der. Das laterale Hinterhorn
g- oder das Humphrey-Liga-
Kontakt (Bhagia et al. 2009).
weist eine Verbindung mit
kus (Hinterhorn) auf und
nach hinten. Der M. semi-
gleiche Aufgabe in Bezug
iskus. Bei Extension werden
quadriceps über die beiden
e gezogen.

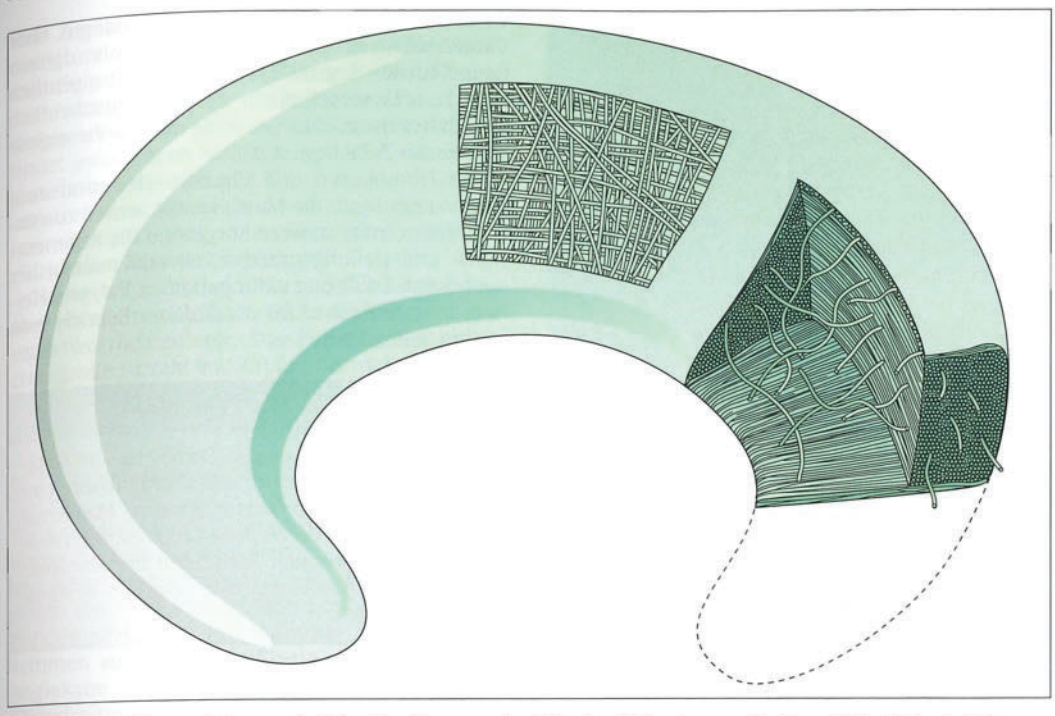


Abb. 2.**50** Aufbau und Faserverlauf des Meniskus, verdeutlicht durch Fensterausschnitt und Schnitt in drei Ebenen.

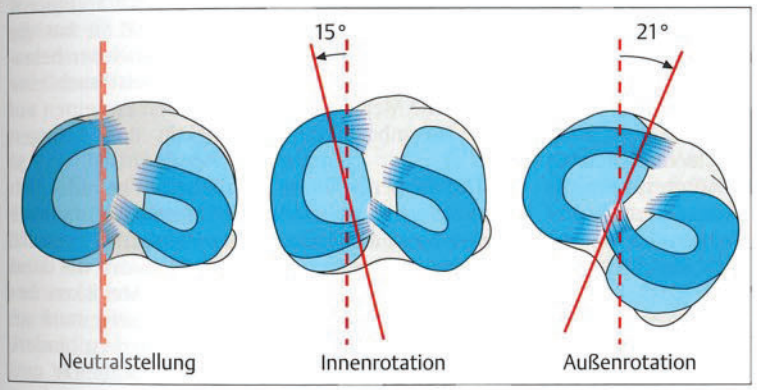


Abb. 2.**51** Bei Rotationsbewegungen im Kniegelenk verlagert sich der Meniskus.

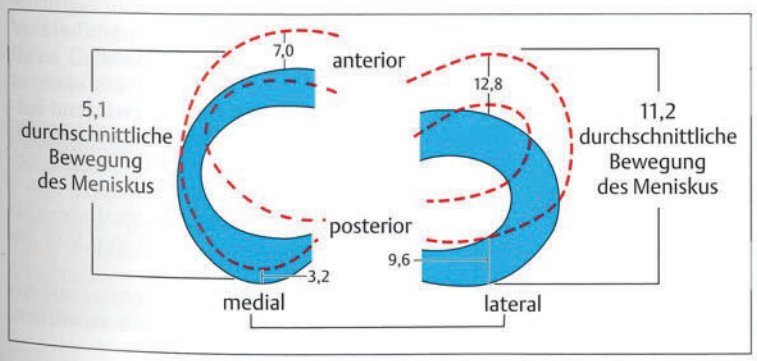


Abb. 2.**52** Durchschnittliche Bewegungen der Menisken gegenüber dem Tibiaplateau bei Rotationen des Kniegelenks in mm.

Zusammenfassung: Aufbau der Menisken

Der laterale Meniskus ist am Rand am dicksten und wird zur Mitte hin immer dünner. Der mediale Meniskus ist im hinteren äußeren Bereich am dicksten. Beide Menisken sind mit der Kapsel verwachsen, wobei die Verbindungen zwischen dem medialen Meniskus und der Kapsel stabiler sind als die zum lateralen.

2.3.4 Komponenten

Die Komponenten oder Bestandteile der Menisken sind wie bei allen bindegewebigen Strukturen auch Zellen und Matrix. Die Matrix in den Menisken ist aus kollagenen Fasern, der Grundsubstanz, bestehend aus Proteoglykanen und Glykosaminglykanen, und dem daran gebundenen Wasser sowie aus nichtkollagenen Proteinen aufgebaut.

Die Menisken bestehen zu ca. 70% aus Wasser. Das Trockengewicht der Matrix besteht zu ca. 75% aus kollagenen Fasern (vor allem Kollagen Typ I) und zu 0,06% aus elastischen Fasern. Die nichtkollagenen Proteine machen ca. 8 – 13% aus. Proteo- und Glykosaminoglykane (Grundsubstanz) nehmen dagegen nur ca. 1% ein. Der Anteil der Zellen liegt bei ca. 11 – 16%. Diese sind primär in den dickeren Bereichen der Menisken anzutreffen (Brindle et al. 2001).

Zellen

Die Zellen der Menisken werden in der Literatur unterschiedlich benannt. Einige Autoren bezeichnen sie als Fibroblasten im äußeren Bereich und als Chondroblasten bzw. Chondrozyten im inneren Bereich. Da der äußere Bereich der Menisken durchblutet wird, ist zu erwarten, dass die dort vorhandenen Zellen sich tatsächlich eher als Fibroblasten oder als fibroblastähnliche Zellen präsentieren, während im inneren Bereich, wo keine Durchblutung mehr vorhanden ist, eher Chrondroblasten bzw. Chrondrozyten vorzufinden sind. Immer öfter taucht aber in der neueren Literatur der Begriff Fibrochondrozyten bzw. Fibrochondroblasten auf.

Das Problem ist, dass früher aufgrund histologischer Untersuchungen drei verschiedene Bindegewebszellen festgelegt wurden. Da sich die Untersuchungsmöglichkeiten ständig verbessern – z. B. leistungsfähigere Mikroskope – kann man immer mehr Matrixkomponenten eines Gewebes ausmachen und diese auch detaillierter beschreiben. So stellte man fest, dass manche Gewebe z. B. verschiedene Kollagen-Typen aufweisen, die zum einen eher Fibroblasten, und zum anderen eher Chondroblasten zuzuordnen sind. Aus diesem Grund ist den Begriff Fibrochondroblast eigentlich logisch und verständlich. Es ist wahrscheinlich grundsätzlich so, dass jedes Gewebe seine eigene spezifische Zelle besitzt.

Die Fibroblasten und Chondrozyten sind zum einen in der Lage, alle Matrixkomponenten zu synthetisieren, zum anderen sorgen sie für Regenerations- und Heilungsprozesse, obwohl man bisher noch keine Erklärung dafür gefunden hat, wie Heilung bzw. Reparatur im avaskulären Bereich vonstatten gehen kann.

Zusammenfassung: Zellen der Menisken

Die Zellen der Menisken sind Fibroblasten im äußeren, durchbluteten Bereich und Chondroblasten im inneren, nicht durchbluteten Bereich. Manchmal werden die Zellen der Menisken auch einfach Fibrochondrozyten genannt. Alle Zellen der Menisken können die notwendigen extrazellulären Bestandteile produzieren.

Matrix

Um eine Zelle herum findet man eine große Menge von *perizellulärer Matrix*, die sehr reich an Proteoglykanen und kollagenen Fibrillen ist. Sie hat die Aufgabe, die Zelle vor großer mechanischer Belastung zu schützen. Dieser Bereich weist auch eine sehr hohe Menge an nichtkollagenen Proteinen auf wie Thrombospindin, Fibronektin und Kollagen Typ VI.

Um die perizelluläre Matrix herum befindet sich eine Schicht von *territorialer Matrix*, die mehrere Zellen umschließt. Der größte Teil der Matrix wird von der *interterritorialen Matrix* gebildet, die dann auch das eigentliche Volumen der Menisken bestimmt. Die Matrix ist in der Lage, sehr stark an Wasser, an Kollagen und an die Zellen zu binden, wodurch die Menisken ihre große Stabilität und damit Widerstand gegen Verformungen erreichen.

Kollagene und elastische Fasern

Die Fasern in den Menisken sind überwiegend kollagene Fasern. Zusätzlich findet man in geringen Mengen auch elastische Fasern (0,6%). Die kollagenen Fasern sind hauptsächlich Kollagen Typ I (90%). Der restliche Anteil von 10% wird von Kollagen Typ II (1 bis 2%), Typ III (< 1%), Typ V (1 bis 2%) und Typ VI (1%) gebildet.

Die Fasern verlaufen zirkulär, horizontal und radial. Die Kräfte, die auf die Menisken einwirken,

sind Zug- und Kompressionskräfte. Da die Verformung und damit die Zugbelastung auf die Menisken die größten Belastungsfaktoren darstellen, ist auch verständlich, dass die kollagenen Fasern vom Kollagen Typ I den größten Anteil ausmachen. Man findet jedoch auch Kollagen Typ V vor, das immer gemeinsam mit Kollagen Typ I in einem Gewebe anzutreffen ist. Diese beiden Kollagentypen können sich gut miteinander verbinden und damit ein stabiles Netzwerk bilden.

Kollagen Typ VI scheint ebenfalls für die Stabilität, aber vor allem auch für die Dicke des Kollagens Typ I verantwortlich zu sein. Das Kollagen Typ I bildet eine große Anzahl von Crosslinks und weist Ähnlichkeiten mit dem Kollagen der Bandscheibe auf.

Grundsubstanz

Die Grundsubstanz stimmt mit der des Knorpels in vielen Punkten überein. Sie wird von einer zentralen Kette Hyaluronsäure (6%) gebildet, an die durch ein Verbindungsprotein Proteoglykane gebunden sind. Diese Proteoglykane setzen sich zusammen aus einer Eiweißkette, an die Glykoaminoglykane sowie Chondroitin-6-Sulfat (60%), Chondroitin-4-Sulfat (25%) und Dermatansulfat (5%) gebunden sind. Einen ähnlichen Aufbau besitzt insbesondere die Grundsubstanz von jungem Knorpel. Zusätzlich aber binden die Glykosaminoglykane an Na^+- und Ca^{2+}-Ionen, wodurch ein starker osmotischer Schwellungsdruck entsteht, der als *Donnan osmotischer Druck* bezeichnet wird.

Nichtkollagene Proteine

Die nichtkollagenen Proteine in den Menisken sind Thrombospindin, Fibronektin und das 116-kD-Protein. Sie stellen Verbindungen zwischen den einzelnen Bindegewebsanteilen der Menisken her. Sie binden die Zellen aneinander oder an kollagene Fasern bzw. an die Grundsubstanz. Auch Kollagen Typ VI hat offensichtlich die gleichen Möglichkeiten wie die nichtkollagenen Proteine. Ein weiteres wichtiges nichtkollagenes Protein ist das Link- oder Verbindungsprotein, das die Eiweißketten mit ihren Glykosaminoglykanen an die zentrale Hyaluronsäurekette bindet.

Zusammenfassung: Matrix der Menisken

Man unterscheidet in den Menisken zwischen perizellulärer, territorialer und interterritorialer Matrix. Die perizelluläre Matrix umschließt eine Zelle, die territoriale mehrere Zellen. Die interterritoriale Matrix macht den größten Teil der Matrix aus und bildet das eigentliche Volumen der Menisken. Durch die Matrix und deren Verbindung mit Wasser, kollagenen Fasern und Zellen bekommen die Menisken ihre große Stabilität. Die kollagenen Fasern der Menisken sind überwiegend vom Typ I (90%). Die restlichen 10% sind Kollagene der Typen II, III, V und VI. Zudem findet man in den Menisken eine geringe Menge an elastischen Fasern (0,6%). Der Faserverlauf variiert von zirkulär zu horizontal und radial. Die Grundsubstanz der Menisken ist aufgebaut aus Proteoglykanaggregaten, die aus einer zentralen Hyaluronsäurekette und daran gebundenen Proteoglykanen bestehen. Die Glykosaminoglykane sind Chondroitin-4- und -6-Sulfat sowie Dermatansulfat. Die nichtkollagenen Proteine sind die Vernetzungsproteine Thrombospindin und Fibronektin sowie das Verbindungsprotein der Proteoglykanaggregate.

2.3.5 Durchblutung und Innervation

Durchblutung

Der Meniskus ist nur in den äußeren Bereichen durchblutet. Die Penetrationstiefe der Gefäße im medialen Meniskus liegt dabei zwischen 10 und 30%, im lateralen Meniskus zwischen 10 und 25% (Day et al 1985).

Die Durchblutung der Menisken ist am stärksten im Bereich des Vorder- und Hinterhorns.

Die Gefäße stammen von der Art. articularis genu medialis, lateralis und intermedia, die wiederum der Art. poplitea entspringen (Abb. 2.**53**) (Brindle et al. 2001).

Bei der Geburt werden beide Menisken vollständig durchblutet. Diese Gefäßversorgung nimmt dann in Laufe der Jahren ab, mit der Folge, dass die Menisken in der 2. Dekade nur noch im Bereich des äußeren Drittels durchblutet sind. Nach dem 50. Lebensjahr sind sie nur noch im äußeren Viertel durchblutet (Petersen und Tillmann 1995). Etwa um das 40. Lebensjahr herum hat die Durchblutung um ca. 20% abgenommen (Bhagia et al. 2001).

Innervation

Der Meniskus wird im äußeren Bereich innerviert. Hier findet man viele Rezeptoren wie die *Ruffini-Rezeptoren*, die zu den sog. Typ-I-Rezeptoren gehören und statische Mechanorezeptoren sind, die *Pacini-Rezeptoren*, die zu den Typ-II-Rezeptoren zählen und dynamische Mechanorezeptoren darstellen. Diese Rezeptoren dienen der Propriozeption und informieren das Gelenk über intraartikuläre

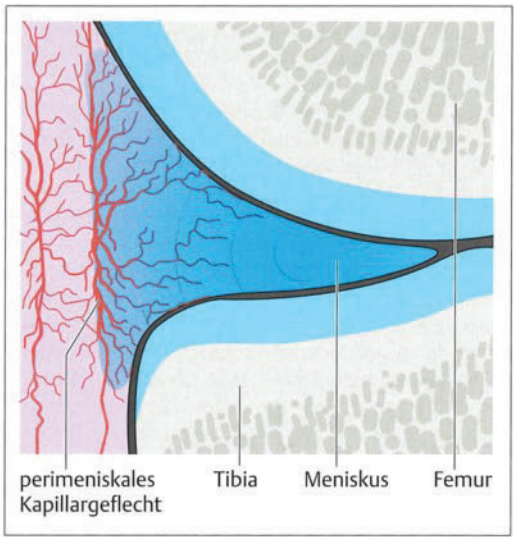


Abb. 2.**53** Durchblutung des Meniskus: Kapillare sprossen von lateral aus der Kapsel in den Meniskus ein.

Belastungen. Sie steuern auf diese Weise auch die Muskelaktivität um das Kniegelenk.

Des Weiteren besitzen die Menisken *Golgi-Rezeptoren*, die bei Stimulation die Muskelaktivität im Bereich des Kniegelenks inhibieren. Sie dienen auch als Schutz vor Verletzungen der Menisken (Brindle et al. 2001). Golgi-Rezeptoren findet man vor allem im Bereich des Vorder- und Hinterhorns. Im äußeren Bereich der Menisken kommen vorwiegend dickere afferente Nervenfasern vor, die propriozeptive Informationen nach zentral leiten (Mine et al. 2000). Im inneren Bereich sind eher dünnere afferente Nervenfasern vorhanden, die Informationen von den freien Nervenendigungen (Schmerz) nach zentral leiten. Diese dünneren afferenten Nervenfasern trifft man laut Zimmy und Assimakopoulos (Zimmy 1988, Assimakopoulos et al. 1992) auch im mittleren Drittel an. Damit stellt sich natürlich die Frage, ob nicht auch Gefäße im mittleren Drittel der Menisken existieren, denn erfahrungsgemäß gibt es überall dort, wo Nerven sind, auch Gefäße.

Zusammenfassung: Durchblutung und Innervation der Menisken

Die Menisken werden nur in den äußeren, dickeren Bereichen durchblutet, wobei die Gefäße ungefähr im äußeren Drittel penetrieren. Innerviert werden die Menisken im äußeren Drittel durch dicke, afferente Nervenfasern, im mittleren Drittel dagegen durch dünne afferente Nervenfasern.

2.3.6 Physiologie: Transportmechanismen

Da der Meniskus nur in den Randbereichen durchblutet wird, erhält er seine Nährstoffe auch nur dort ohne Verzögerung. Seine Abfallprodukte kann er ebenfalls nur in den Randbereichen auf direktem Weg abgeben. Die avaskulären Bereiche des Meniskus bekommen dagegen ihre Nährstoffe nur über Diffusion und Osmose.

Um die physiologischen Funktionen des Meniskus zu gewährleisten, laufen sowohl Prozesse ab, die von einer physiologischen Be- und Entlastung abhängig sind, als auch solche, die unabhängig davon stattfinden. Die *viskoelastische Eigenschaft* einer Struktur, also die Eigenschaft, sich unter Einfluss externer Kräfte zu verformen und nach der Belastung die Ursprungsform wieder anzunehmen, ist daher druckabhängig. Aufgrund der viskoelastischen Eigenschaft entstehen die Phänomene *Stress-Relaxation* und *Creep*. Außerdem wird durch die Verformung des Gewebes eine *piezoelektrische Aktivität* ausgelöst. Druckunabhängig ist dagegen die *intrinsische Viskoelastizität*.

Viskoelastizität

Wie auch der Gelenkknorpel ist der Meniskus eine *viskoelastische Struktur*. Das bedeutet, dass sich bei Belastung des Gewebes innerhalb des Meniskus Wasser von Stellen mit hohem Druck zu Stellen mit geringerem Druck bewegt, aber auch zur Synovialflüssigkeit. Man unterscheidet zwischen einem Transport von Flüssigkeit durch den Meniskus und dem Transport aus dem Meniskus heraus und zurück. Beide Transportwege sind von Druckunterschieden abhängig und werden durch Be- und Entlastung verursacht. Die Menge an Wasser, die den Meniskus verlassen kann, ist jedoch begrenzt. Sie wird bestimmt durch das Gleichgewicht (Equilibrium) zwischen der Kompressions-, Verformungs- und Bindungskraft des Wassers an die Matrix (Abb. 2.**54** u. Abb. 2.**55**).

Stress-Relaxation und Creep

Die mechanischen Belastungen, die auf den Meniskus als viskoelastische Struktur einwirken, verursachen folgende Phänomene:

- Biphasic stress-relaxation behavior (biphasisches Stressentlastungsverhalten), auch kurz *Stress-Relaxation* (Stress und Entlastung) genannt
- Biphasic creep behavior (biphasisches Kriechverhalten), auch kurz *Creep* (Kriechen) genannt

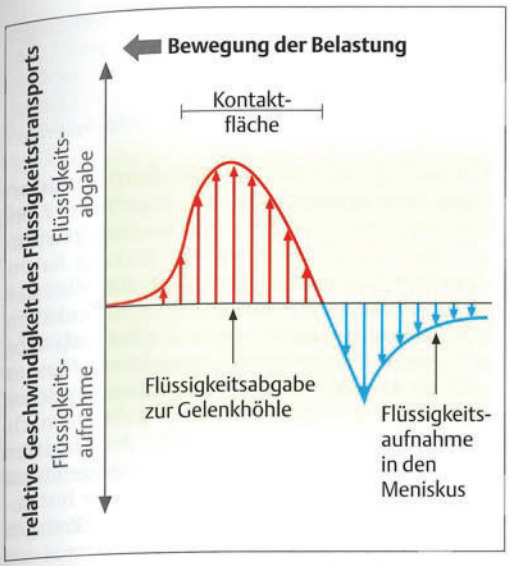


Abb. 2.54 Austausch von Synovialflüssigkeit zum Meniskus und zurück.

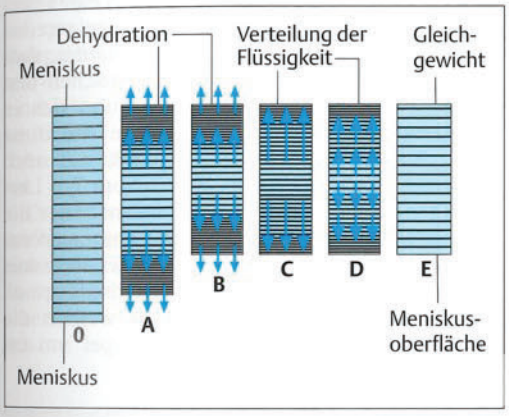


Abb. 2.55 Wassertransport von und zum Meniskus.

Stress-Relaxation (Stress-Entlastung) bedeutet, dass sich bei Belastung Wasser vom Meniskus zur Synovialflüssigkeit, aber auch durch den Meniskus hindurch bewegt, und zwar so lange, bis sich überall der gleiche Druck aufgebaut hat und ein Gleichgewicht erreicht ist. Durch die mechanische Belastung wird Wasser aus dem Gewebe heraustransportiert und das Gewebe verformt sich. Nach der Belastung nimmt das Gewebe seine Ursprungsform wieder an. Die Flüssigkeit, die bei Belastung aus dem Meniskus gepresst wird, ist für die Schmierung des Gelenks mit verantwortlich.

Creep (Kriechen) entsteht durch die Verformung des Gewebes und die anschließende Verformung des kollagenen Netzwerks bzw. der kollagenen Fasern. Diese Verformung ist direkt abhängig von der Wassermenge, die den Meniskus verlassen kann. Ein Austreten von Wasser ist nur so lange möglich, bis ein Gleichgewicht zwischen folgenden Kräften erreicht ist: der Verformungs- bzw. Kompressionskraft, der Bindungskraft des Wassers an die Matrix und der Abstoßungskraft der Sulfatgruppen, wenn sie aufeinandergepresst werden. Eine solche Gleichgewichtssituation kommt äußerst selten vor, da sie beim Menschen normalerweise erst nach ca. 16 Stunden Belastung erreicht wird (Abb. 2.**56**).

Die Verformbarkeit der kollagenen Fasern, die vor allem bei Scherkräften entsteht, ist begrenzt. Wenn die Grenze der Belastbarkeit überschritten wird, werden die kollagenen Fasern zerstört (Abb. 2.**57**).

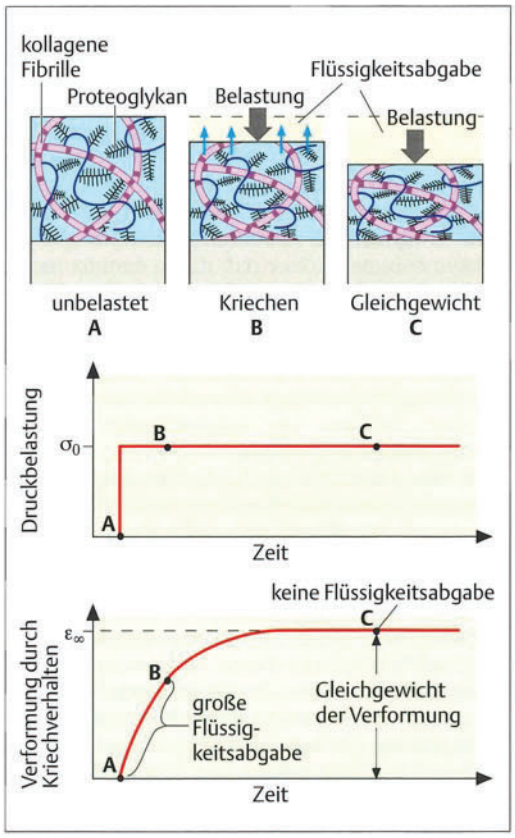


Abb. 2.56 Wassertransport von und zum Meniskus.

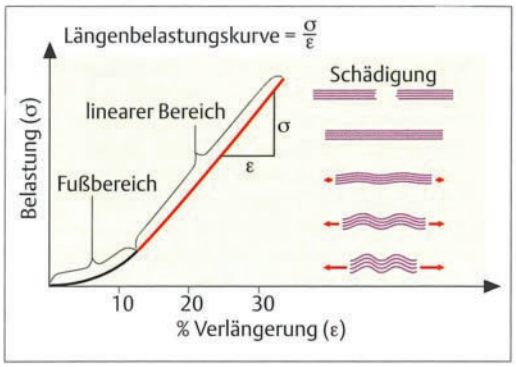


Abb. 2.57 Längenbelastungskurve für das Meniskusgewebe.

Piezoelektrische Aktivität

Die unterschiedlichen Belastungen führen auch zu einer ständigen Änderung der elektrischen Ladung des Gewebes. Dieser Ladungswechsel erzeugt die sogenannte *piezoelektrische Aktivität*. Diese, aber auch die mechanische Verformung der Zellen sind Reize, die die Fibrochrondrozyten zur Synthese anregen. Folglich wirken sich sowohl eine fortwährende Kompression als auch eine andauernde Entlastung negativ auf die Funktion des Meniskus aus.

Intrinsische viskoelastische Eigenschaft

Neben der allgemeinen viskoelastischen Eigenschaft besitzt der Meniskus auch eine *intrinsische viskoelastische Eigenschaft* (flow-independent viscoelastic behavior), die durch die Bewegung der Makromoleküle verursacht wird. Sie ist nicht von externen Faktoren wie Belastungsunterschieden auf den Meniskus abhängig.

Für den Austausch von Stoffen benötigt der Meniskus ein gewisses Maß an Permeabilität. Dadurch können Sauerstoff und Nährstoffe in die Zelle gelangen, weiterverarbeitet und später als Abfallprodukte wieder ausgeschieden werden. Die Nährstoffe und den Sauerstoff brauchen die Zellen, um Grundsubstanz und Fasern zu synthetisieren. Druckwechsel fördern diesen Austausch.

Verantwortlich für die Qualität und Quantität der den Menisken angebotenen Nährstoffe ist die Durchblutung der Gelenkkapsel. Vor allem die qualitative Zusammensetzung der Synovialflüssigkeit hat einen großen Einfluss auf die adäquate Versorgung mit Nährstoffen und damit auf die Regenerationsmöglichkeiten des avaskulären Teils des Meniskus. Negative Einflüsse auf den Meniskus haben chronische Entzündungen der Gelenkkapsel, Blut im Gelenk, bestimmte Medikamente, aber auch gewisse Nahrungsmittel, da diese bei Belastungswechsel in den Meniskus gelangen können.

Mechanische Aufgaben der Menisken

Im Abschnitt „Funktion der Menisken" wurde erwähnt, dass in der Literatur immer wieder beschrieben wird, dass die Menisken eine gewichttragende und stoßabsorbierende Wirkung haben. Früher hat man angenommen, dass die Menisken bei Druckbelastung genauso wie der Gelenkknorpel zusammengedrückt werden und bei Entlastung ihre normale Form wieder annehmen. Dies ist aber, wie bereits erwähnt, wegen ihres typischen histologischen Aufbaus eher unwahrscheinlich. Wäre dies der Fall, dann müssten die Menisken ebenso wie der Gelenkknorpel überwiegend aus Grundsubstanz bestehen und nicht – wie histologisch nachgewiesen – vornehmlich aus Kollagen Typ I.

Trotzdem haben die Menisken tatsächlich auch eine wichtige stoßabsorbierende Aufgabe, die aber auf einem ganz anderen Mechanismus beruht, als früher angenommen. Während einer Extension und axialen Belastung im Kniegelenk in extendierter Position, werden die Menisken in eine anterioposteriore Richtung verformt. Das bedeutet, dass die Menisken mehr oder weniger zwischen den Gelenkflächen weggedrückt werden und sich in anteroposteriore Richtung verformen. Auf diese Weise werden die Menisken gedehnt, was auch die große Menge kollagener Fasern vom Typ I erklärt. Durch die elastischen Fasern nehmen die Menisken bei einer Entlastung ihre Ursprungsform wieder an. Bei Flexion verformt sich der Meniskus mehr in mediolaterale Richtung (Brindle et al. 2001, Bhagia et al. 2009). Dadurch werden die Stoßbelastungen auf den Gelenkknorpel um ca. 40% reduziert.

Zusammenfassung: Physiologie der Menisken

Die Physiologie eines Meniskus ist mit der von Gelenkknorpel vergleichbar. Der Meniskus benötigt für den Erhalt seiner Struktur und Funktion einen regelmäßigen Wechsel zwischen Be- und Entlastung. Durch diesen Belastungswechsel wird zum einen der Transport eines Teils der Nährstoffe und Abfallprodukte gewährleistet, zum anderen wird dadurch eine piezoelektrische Aktivität erzeugt, die den Zellen als Stimulus dient, zur Synthese überzugehen. Der Flüssigkeitstransport, der im Meniskus und von dort zur Synovialflüssigkeit stattfindet, ist abhängig vom Gleichgewicht zwischen dem Druck, der auf den Meniskus einwirkt, und der Bindungskraft zwischen Wasser und Matrix.

Die Menisken besitzen, da sie sich verformen und dehnen lassen, einen wichtigen stoßabsorbierenden Effekt.

2.3.7 Pathophysiologie: Degeneration und Traumen

Pathophysiologische Veränderungen des Meniskus sind zum einen die Degeneration, die altersbedingt oder durch Immobilisation auftreten kann. Zum anderen können pathophysiologische Veränderungen vor allem nach Traumen beobachtet werden.

Degeneration

Während eines Degenerationsprozesses im Meniskus kommt es zu einem Verlust von Proteo- und Glykosaminoglykanen. Bei beginnender Arthrose verliert der Meniskus ca. 30% Chondroitinsulfat und 50% Dermatansulfat. Im fortgeschrittenen Verlauf kann dieser Verlust sogar über 70% betragen. Eine Degeneration des Meniskus stellt man bereits bei geringen arthrotischen Veränderungen im Kniegelenk fest, die, je weiter die Arthrose fortschreitet, entsprechend größer werden. Während eines Degenerationsprozesses nimmt die Menge an nichtkollagenen Proteinen zu, was einen negativen Einfluss auf die Belastbarkeit des Meniskus hat.

Es gibt auch eine klare pathologische Wechselwirkung zwischen Menisken und Gelenkknorpel: Eine Verletzung der Menisken kann den Gelenkknorpel schädigen, aber auch umgekehrt kann eine Gelenkknorpelarthrose die Menisken schädigen.

Immobilisation

Immobilisation hat einen pathophysiologischen Einfluss auf den Meniskus: Es treten sehr schnell degenerative Veränderungen ein. Die Immobilisation führt zu Wasser- und Grundsubstanzverlust, aber auch zu einem Verlust an Kollagen, mit der Folge, dass der Meniskus weniger belastbar ist. Am meisten beeinträchtigt dabei der Verlust an Grundsubstanz die Belastbarkeit, da dann automatisch der Wassergehalt des Meniskus abnimmt. Genau wie beim Knorpel steht das kollagene Netzwerk nicht mehr unter Spannung, wodurch die Verformbarkeit des Meniskus und dementsprechend die Belastung auf die kollagenen Fasern zunimmt.

Als weiterer negativer Faktor gelten Fettverklebungen zwischen den Menisken und den Gelenk- bzw. Knorpelflächen, durch die die Mobilität der Menisken gegenüber den Gelenkflächen drastisch eingeschränkt wird. Diese Hypomobilität hat zur Folge, dass die Menisken bei Bewegungen des Kniegelenks eingeklemmt werden können und infolgedessen einem erhöhten Druck ausgesetzt sind. Geht dies mit einer bereits verringerten Belastbarkeit einher, erklärt sich die große Gefahr, die sich für die Menisken nach Ruhigstellung während des Rehabilitationsprozesses ergibt, wie auch die hierbei immer wieder auftretenden Komplikationen.

Traumen

Menisken sind dafür bekannt, dass sie sehr häufig verletzt werden. Grundsätzlich können alle Bewegungen im Kniegelenk mit genügender Amplitude und/oder Geschwindigkeit eine Verletzung eines oder beider Menisken hervorrufen. Es dominieren jedoch Traumen, die durch eine Flexions-, Valgisierungs- und Außenrotationsbewegung zustande kommen. Die durch ein Trauma verursachten Risse können in verschiedenen Bereichen des Meniskus entstehen. Man unterscheidet zwischen

- radialen Rissen,
- Längsrissen und
- vertikalen oder horizontalen Rissen.

Radiale Risse verlaufen von außen nach innen und haben eine relativ gute Prognose, da hier die Verletzung im vaskulären Bereich liegt. *Längsrisse* hingegen können durch den vaskulären, den avaskulären und/oder durch beide Bereiche laufen. Risse im vaskulären Bereich weisen im Hinblick auf eine Heilung eine deutlich bessere Prognose auf als die anderen. Jedoch können auch Risse im avaskulären Bereich heilen. Wie dies geschieht, ist jedoch bis jetzt noch ungeklärt.

Neben den radialen und längsverlaufenden Rissen kommen auch *vertikale* und *horizontale Risse* vor. Vor allem letztere treten als Folge von degenerativen Veränderungen der Menisken auf, meistens in Kombination mit degenerativen Veränderungen im Gelenkknorpel. Auch bei diesen Rissen ist die Heilungschance davon abhängig, ob der Riss durch den vaskularisierten Bereich des Meniskus verläuft oder nicht.

Meniskusverletzungen sind bei Kindern unter 10 Jahren eine absolute Seltenheit. Am häufigsten sieht man sie bei jungen Männern, meistens sportbedingt, und bei Personen über 55 Jahre (Bhagia et al. 2009). Zudem wurde nachgewiesen, dass bei Personen, die während ihrer Berufs- und/oder Sportaktivitäten öfter und vor allem länger Kniebeugen ausführen, gehäuft Meniskusverletzungen auftreten (Bhagia et al. 2009).

Zusammenfassung:
Degeneration und Traumen der Menisken

Während einer Immobilisation degenerieren die Menisken und die Belastbarkeit der Menisken nimmt ab. Gleichzeitig verringert sich die Mobilität der Menisken gegenüber der Knorpelfläche. Durch diese Hypomobilität kann die Belastung auf die Menisken während Bewegungen extrem zunehmen, wodurch ein erhöhtes Risiko für Verletzungen entsteht. Pathologische Veränderungen im Meniskus sieht man vor allem auch nach Traumen. Dabei ist der mediale Meniskus häufiger betroffen als der laterale. Risse im vaskularisierten Bereich zeigen eine deutlich bessere Prognose als die im nicht vaskularisierten Bereich. Auch Risse, die nur partiell im durchbluteten Teil verlaufen, haben noch immer gute Heilungschancen.

2.3.8 Regeneration und Wundheilung

Bei Verletzungen im vaskularisierten Bereich des Meniskus laufen die gleichen Wundheilungsprozesse ab wie sonst in unserem Körper auch. Bei der Verletzung kommt es zu einer Blutung mit einer daran anschließenden Gerinnung und Hämatombildung. Die aus dem Gefäßsystem freigesetzten Zellen wie Leukozyten, Monozyten und Makrophagen setzen Schmerz- und Entzündungsmediatoren frei und leiten damit die erste Phase der Wundheilung ein. Diese Entzündungsphase dauert ca. 4 bis 5 Tage.

In der nachfolgenden Proliferationsphase beginnen die Zellen mit einer erhöhten Synthese, vor allem von Kollagen Typ III, mit dem die Wunde geschlossen und aufgefüllt wird. Dieser Vorgang ist nach ca. 10 Wochen beendet. Danach folgt die Umbauphase, in der das ursprünglich angelegte Kollagen Typ III in das eigentliche Kollagen des Meniskus umgebaut wird: vor allem in Kollagen Typ I. Oft dauert es mehrere Monate, bis das gesamte Verletzungsgebiet des Meniskus wieder funktionell umgebaut ist. Während der Wundheilung ist auch ein erneutes Einsprossen von Gefäßen in das Verletzungsgebiet und damit eine Revaskularisierung zu sehen (Abb. 2.**58**).

Untersuchungen von Webber haben gezeigt, dass auch Verletzungen im avaskulären Bereich heilen können (Webber et al. 1985). Wie dieser Heilungsvorgang abläuft, ist jedoch noch nicht genau geklärt. Man geht jedoch davon aus, dass die Reparaturprozesse hier vor allem durch die Gelenkkapsel initiiert werden und dann weiter über die Synovialflüssigkeit verlaufen. Die Zellen, die im Meniskus in der direkten Umgebung des Verletzungsgebiets liegen, entwickeln eine erhöhte Aktivität und beginnen, vermehrt Kollagen und andere Matrixkomponenten zu synthetisieren. Die für die Heilung notwendigen Nährstoffe und Sauerstoff erreichen die Zellen über die Synovialflüssigkeit.

Man unterteilt die Meniskusverletzungen häufig in

- Verletzungen im roten Bereich, was dem äußeren durchbluteten Bereich entspricht,
- Verletzungen im rot-weißen Bereich, was dem mittleren Drittel entspricht und
- Verletzungen im weiß-weißen Bereich, was dann dem inneren Drittel entspricht.

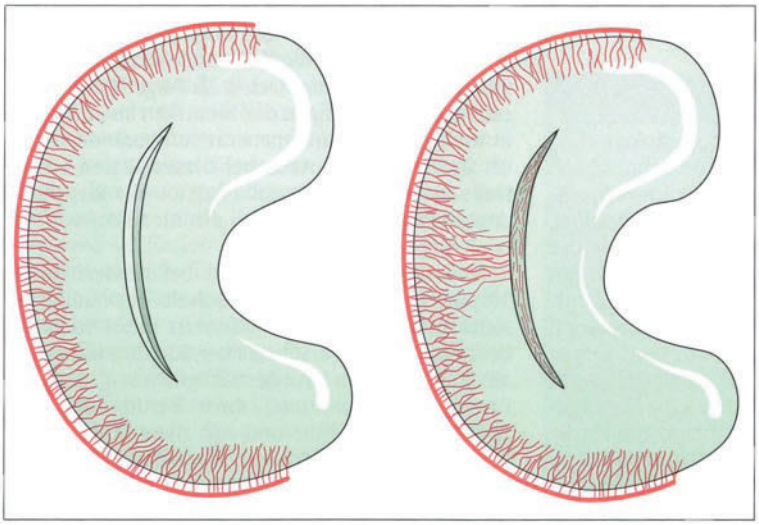


Abb. 2.**58** Längsriss eines Meniskus: Während der Wundheilung sprossen in das avaskuläre Gewebe des Verletzungsgebiets Gefäße ein.

Die Verletzung, die Webber in seiner Untersuchung anspricht, ist also eine Verletzung im rot-weißen Bereich. Verletzungen in diesem Bereich haben tatsächlich eine relativ gute Heilungstendenz.

Dagegen zeigen Verletzungen im weiß-weißen Bereich keine Heilungsaktivität. Diese Teile werden meistens bei einer Operation entfernt.

Für die Wundheilung ist es wichtig, das heilende Gewebe regelmäßig physiologischen Belastungen auszusetzen. Patienten sollten das Kniegelenk in reduzierter Form bewegen und belasten. Ohne physiologische Reize dieser Art kann kein funktionsfähiges und belastungsstabiles Gewebe aufgebaut werden. Unterbleiben die physiologischen Belastungsreize, entsteht ein minderwertiges Ersatz- bzw. Narbengewebe. Eine optimale Belastung der Menisken erreicht man durch eine axiale Belastung, aber vor allem durch Rotationsbewegungen im rotierten Kniegelenk. Selbstverständlich muss man, wie immer, wenn die Wundheilung noch nicht abgeschlossen ist, auf die Belastungsintensität achten und sich an den Phasen der Wundheilung orientieren.

Zusammenfassung: Regeneration und Wundheilung der Menisken

Die Wundheilung des Meniskus findet vor allem im vaskulären Gebiet des Meniskus statt und durchläuft alle Phasen der Wundheilung. Sie wird mit der Entzündungsphase eingeleitet. Während der darauf folgenden Proliferationsphase wird die Wunde mit Hilfe eines Netzwerks aus dünnen Kollagenfasern vom Typ III geschlossen. In der anschließenden Umbauphase wird dieses Gewebe durch das belastungsstabile Kollagen des Typs I ersetzt. Obwohl im avaskulären Bereich des Meniskus keine Wundheilung stattfinden kann, kann man auch hier eine Regeneration des verletzten Gewebes feststellen. Dies sieht man in den sog. rot-weißen (mittleren) Bereichen. Verletzungen im inneren (weiß-weißen) Bereich zeigen dagegen keine Heilungsaktivität.

2.4 Intraartikuläre Disken

Ein Diskus oder *Discus articularis* ist eine intraartikuläre Struktur, zu der sich in der Literatur leider nur relativ wenige Angaben finden lassen. Der einzige Diskus, der etwas ausführlicher beschrieben wird, ist der Discus interarticularis des Kiefergelenks. Vereinzelt wird auch der Diskus im Handgelenk erwähnt. Im nachfolgenden Kapitel wird der Discus interarticularis am Beispiel des Diskus im Kiefergelenk besprochen.

2.4.1 Äußere Erscheinung

Der Discus interarticularis ist eine zumeist kleine, weiß glänzende, knorpelähnliche Struktur, die in ihrer Form von rund zu ellipsoid bis länglich variieren kann. Man findet diese Struktur nur in wenigen Gelenken, jedoch auch dort nicht immer. Im Kiefer- und im Handgelenk ist normalerweise ein Diskus vorhanden, im Akromioklavikular- und Sternoklavikulargelenk häufig, jedoch ebenfalls nicht immer.

2.4.2 Funktion

Der Discus interarticularis vergrößert die Kontaktflächen zwischen zwei artikulierenden Knochen und hält damit die Belastung pro Quadratzentimeter so gering wie möglich. Er gleicht vorhandene Gelenkinkongruenzen aus und vergrößert dadurch die Gelenkstabilität. Eine weitere Aufgabe besteht darin, Stöße zu dämpfen. Außerdem hat der Diskus sehr wahrscheinlich auch eine propriozeptive Funktion. Man vermutet außerdem, dass der Diskus im Kiefergelenk zusätzlich das Wachstum der Kondylen reguliert.

Auch die Aufgaben des Diskus werden wie die des Meniskus im Knie (Kap. 2.3) traditionell immer mit der Absorption von Druckbelastungen in Verbindung gebracht – eine naheliegende und plausible Erklärung für die Anwesenheit dieser Strukturen im Gelenk. Neuere histologische Untersuchungsmethoden zeigten jedoch, dass der Discus interarticularis genauso wie der Meniskus im Knie primär aus kollagenen Fasern aufgebaut ist, also eher eine zugabsorbierende Aufgabe besitzt.

Zusammenfassung: Äußere Erscheinung und Funktion der intraartikulären Disken

Der intraartikuläre Diskus ist eine weiße, meistens längliche bis ellipsoide Struktur, die man in einigen Gelenken unseres Körpers vorfinden kann. Ihre Funktion ist:

- Vergrößerung der Kongruenz der Gelenkflächen
- Vergrößerung der Stabilität
- Absorption von Kompressionskräften – aufgrund des histologischen Aufbaus der Disken allerdings eher fragwürdig
- Absorption von Zugkräften