

Empfehlungen des Expertenkreis Gelenkserhalt und Knorpelregeneration Österreich zur Behandlung von Knorpelschäden am Kniegelenk

in Kooperation mit der ÖGOuT (Sektion Sport- und Gelenkserhaltende OT: Knie) und QKG (Gesellschaft für Knorpelregeneration und Gelenkerhalt)

W. Zinser, F. Obwegeser, C. Albrecht, S. Aldrian, C. Chiari, M. Eichinger, R. El Attal, S. F. Fischerauer, S. Marlovits, S. Nehrer, M. Schreiner, P.W. Winkler, A. Kleiner

Einleitung

Läsionen des Gelenkknorpels werden in 61-67% bei Kniegelenksarthroskopien diagnostiziert. Aufgrund des Defektgrades sollten etwa 5-11% dieser Fälle einer spezifischen, chirurgisch regenerativen Therapie zugeführt werden.^{4, 18, 78}

Da das Knorpelgewebe keine Blut-, Nerven- oder Lymphgefäße besitzt und seine Ernährung nur durch Diffusion sichergestellt ist, ist die Regenerationsfähigkeit von Läsionen stark eingeschränkt.⁶⁴

Durch inflammatorische Prozesse zeigen Knorpelläsionen eine kontinuierliche Größenprogredienz, die langfristig zur Entwicklung einer generalisierten Osteoarthritis führen kann.^{42, 74} In den westlichen Industriestaaten sind ca. 25% der Gesamtbevölkerung davon betroffen, was somit ein volkswirtschaftliches Problem darstellt.

Es konnte gezeigt werden, dass Patient: innen mit degenerativen, fokalen osteochondralen Defekten in der MRT-Untersuchung weniger Progression erfuhren, wenn eine operative Therapie erfolgte, im Vergleich zu unbehandelten Fällen.⁴³ Dies unterstreicht die Bedeutung einer rechtzeitigen und effektiven Knorpelregenerationstherapie zur Verzögerung oder Vermeidung der Arthroseprogression und zum Erhalt der Mobilität bis ins hohe Lebensalter.

Motivation zur Veröffentlichung der vorliegenden Empfehlung

Aufgrund der einzigartigen Eigenschaften des Gelenkknorpels erfordert die Therapie von Knorpelschäden besondere Aufmerksamkeit. Nachfolgend werden die Empfehlungen zur chirurgischen Behandlung von fokalen, lokalisierten, traumatischen und chronisch-symptomatischen Knorpeldefekten bei Erwachsenen (Patient: innen mit geschlossenen Epiphysenfugen) und Kindern (Patient: innen mit offenen Wachstumsfugen), zusammenfassend dargestellt. In einem abschließenden Statement wird auch auf die besonderen regulatorischen Hürden bei der Behandlung von Kindern mit europäisch zugelassenen mACT-Produkten eingegangen. Diese Empfehlungen gelten nicht für die Behandlung der generalisierten Arthrose.

Bisher lag in Österreich keine landesspezifische Empfehlung für die Therapie von lokalisierten Knorpelschäden vor. Österreich liegt, bezüglich der Rate an Implantationen von Knie-Totalendoprothesen pro Einwohner: innen, im Spitzenfeld Europas, wodurch gelenkserhaltende Therapien weniger im Fokus stehen.⁵⁰ Dadurch, dass der Gelenkersatz bei immer jüngeren Patient: innen angewendet wurde, kam es in den vergangenen Jahren zu einem Anstieg von endoprothetischen Revisionseingriffen mit den entsprechenden, teilweise drastischen Konsequenzen für die betroffenen Patient: innen.⁵⁰ Aus Sicht der Autor: innen wird und wurde dem

Gelenkerhalt von Seiten der Gesundheitspolitik, trotz vorliegender, ausgesprochen positiver wissenschaftlicher Daten, zu wenig Aufmerksamkeit gewidmet, was sich auch in der aktuellen zu geringen Vergütung dieser teilweise komplexen Verfahren über die in Österreich verwendeten Kostenerstattungssystematiken der gesetzlichen und Privatkassen (LKF-System, VVO-System, BVAEB, SVS, etc.) zeigt. Um Patient: innen bestmögliche und nach derzeitigem Wissensstand aktuelle Behandlungsmöglichkeiten, standardmäßig und adäquat über das LKF- und andere Behandlungskostenerstattungssysteme vergütet, anbieten zu können, ist aus Sicht der Autor: innen die Erstellung einer Therapieempfehlung notwendig.

Die Empfehlungen des „Expertenkreis Gelenkerhalt und Knorpelregeneration Österreich“ sollen zudem als Entscheidungshilfe für behandelnde Kolleg: innen bei der Einschätzung und Auswahl operativer Verfahren in der Therapie von Knorpelschäden dienen.

Klassifikation, Diagnostik und vorhergehende Überlegungen

Vorweg muss festgehalten werden, dass sich knorpelregenerative Eingriffe nicht nur auf traumatische Läsionen beschränken. ⁷⁵ In 60% der Fälle werden fokale, lokal begrenzte chronische Knorpelschäden gefunden. Auch für diese Läsionen ist, nach heutigem Wissensstand, unter gewissen Grundvoraussetzungen die gelenkerhaltende Therapie eine Option.

Klassifikation

Der „Expertenkreis Gelenkerhalt und Knorpelregeneration Österreich“ empfiehlt zur Klassifikation von chondralen bzw. osteochondralen Defekten die Einteilung der „International Cartilage Regeneration & Joint Preservation Society“ (ICRS) wie in Abb. 1 abgebildet.

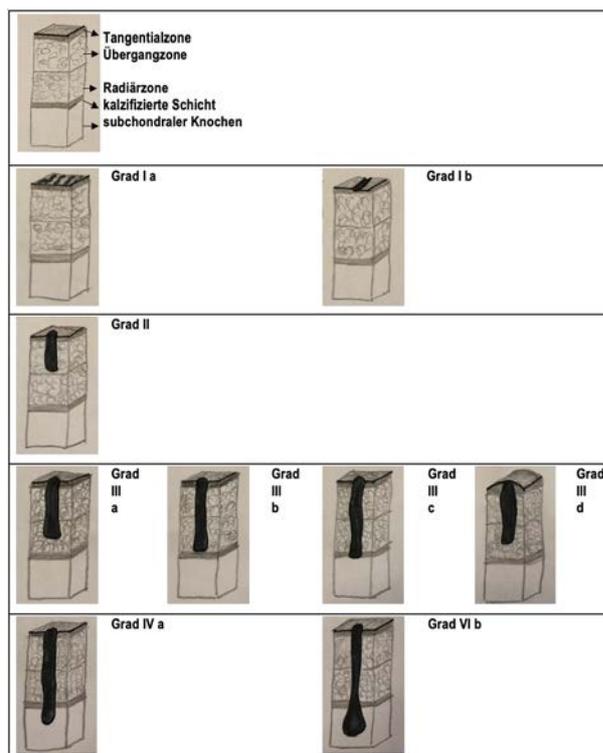


Abb. 1: Klassifikation nach ICRS

Diagnostik

Standardmäßig empfohlene radiologische Diagnostik

- Röntgenbilder des betroffenen Kniegelenks in a.p. und seitlich sowie eine tangentielle Aufnahme des Patellofemoralegelenkes
- Ganzbeinaufnahmen im Stehen zur Bestimmung der Beinachse und des belasteten Gelenkspalts
- Magnetresonanztomographie (MRT) Die MRT (insbesondere 3 Tesla, mindestens jedoch 1,5 Tesla mit Kniespule) bildet die Grundlage in der Diagnostik von Knorpelläsionen. Es zeigt sich eine hohe Spezifität bei relativer Sensitivität. ⁴⁴

Optional bei bestimmten Indikationen empfohlen

- Computertomographie (CT) Die CT wird zur Beurteilung des subchondralen Knochens hinzugezogen und dient der zusätzlichen Abklärung und Detektion bei Verdacht auf Begleitpathologien (z.B. Rotationsbestimmung des Femurs und Tibia bei patellofemorale Instabilität). Alternativ können zur Rotationsbestimmung auch spezielle MRT-Aufnahmen erfolgen.

Grundvoraussetzungen

- vorliegender Knorpeldefekt mit entsprechender Beschwerdesymptomatik
Anmerkung: Die Therapie von symptomlosen Zufallsbefunden im MRT wird vom Expertenkreis grundsätzlich nur sehr zurückhaltend empfohlen, liegt ein Zufallsbefund vor, wird eine engmaschige, klinische sowie MRT-Kontrolle min. 1x jährlich empfohlen.
- isolierte und vollschichtige Knorpelschäden im ICRS Stadium III und IV
- intakte korrespondierende (gegenüberliegende) Gelenkfläche (Schädigung bis maximal Grad II an der korrespondierenden Gelenkfläche)
- maximal 3 zu behandelnde vollschichtige unabhängige Defekte, welche nicht korrespondieren
- vorliegende ligamentäre Stabilität bzw. operative Stabilisierung im Rahmen des gleichen operativen Eingriffes (Seitenbänder/Kreuzbänder etc.)
- intakter Meniskus (Teilresektion bis maximal 1/3 des Gesamtvolumens möglich)
- gerade Beinachse (Abweichungen von der physiologischen Beinachse $< 5^\circ$)
Anmerkung: Achsabweichungen von mehr als 5° von der Physiologie gelten ohne Korrektur als Kontraindikation für knorpelregenerative Eingriffe und sollten bei geplanter Knorpeltherapie korrigiert werden. Neuere Arbeiten, die auf Registerdaten aus dem deutschsprachigen Knorpelregister DGOU basieren, zeigen zusätzlich Hinweise, dass auch darunterliegende Abweichungen von $2-3^\circ$ therapiert werden sollten und damit bessere Therapieergebnisse erzielt werden können. ^{11, 27}

- physiologisches Patellofemoralgelenk
Anmerkung: vor allem bei Knorpelschäden im Bereich des Patellofemoralgelenks muss primär eine vorliegende und in vielen Fällen auch ursächliche Pathologie ausgeschlossen bzw. diagnostiziert werden, um diese ggf. im Rahmen einer Operation mitzubehandeln (Bestimmung von TT-TG, TT-PCL, Caton-Deschamps-Index, etc.)
- anamnestische Erhebung von Voroperationen (z.B. eine vorausgehende Knochenmarkstimulation bei Behandlungen von Knorpelschäden gilt als negativer Prognosefaktor und muss in der Patientenaufklärung berücksichtigt werden)

Therapiemöglichkeiten chondraler Defekte

Es wird empfohlen das Therapieverfahren anhand der Defektgröße auszuwählen ⁵⁸

Knochenmarkstimulation (BMS= Bone Marrow Stimulation) ^{54, 60}

Indikation: Defekte bis 1,5 cm²

Bemerkung: abnehmende Bedeutung aufgrund schlechterer Langzeitergebnisse im Vergleich zu moderneren Verfahren

Die BMS ist immer noch das am häufigsten angewandte Verfahren zur Behandlung von Knorpelschäden. Nachdem jedoch inzwischen langfristig erfolgreichere Verfahren zur Verfügung stehen, ist die Anwendungshäufigkeit in den letzten Jahren deutlich zurückgegangen. Eine akzeptable Indikation für die reine Knochenmarkstimulation sind junge Patient: innen (< 40 Jahre) mit einem fokalen Knorpeldefekt bis zu 1,5 cm² und einem guten Containment des Umgebungsknorpels.

Voraussetzungen:

- kleine Läsionen (max. 1,5 cm²)
- Patient: innen unter 40 Jahren ⁴⁷
- scharf begrenzte Läsionen mit intaktem Umgebungsknorpel
- Verwendung dünner Ahlen/ Bohrer 1.0 oder 1.2mm ²⁴
- osteochondrale Defekte stellen eine Kontraindikation dar ⁵⁷

Durchführung:

Zunächst wird die Knorpelläsion debridiert und die kalzifizierende Schicht abgetragen. Es werden stabile Schultern geschaffen. Anschließend wird der subchondrale Knochen mit einer dünnen Ahle, einem Bohrer oder Instrument, mit denen ein definierter Durchmesser und Tiefe erzielt werden kann in Abständen von etwa 3 mm durchbrochen. Hierbei sollte ein Zusammenlaufen der Löcher bzw. ein Einbrechen der Knochenbrücken vermieden werden.

Ergebnisse:

Das Verfahren wurde in den 1990er Jahren eingeführt. In den letzten Jahren zeigt sich ein Stellenwertverlust der BMS, der auf neuen Studienerkenntnissen und Verfügbarkeit besserer Verfahren beruht.

Gründe für die abnehmende Bedeutung der BMS:

- unterlegene Regeneratqualität:
Nach der Knochenmarkstimulation bildet sich ein faserknorpeliges Regeneratgewebe. Faserknorpel kann nicht vollwertig die Funktion des hyalinen Knorpels übernehmen, da Faserknorpel für Zugbelastungen ausgelegt ist während hyaliner Knorpel Druckbelastungen standhalten soll. ⁴⁸
- limitierte Haltbarkeit des Regeneratgewebes:
Nach zwei Jahren kommt es zu einer Verschlechterung des Outcomes. ⁴⁸
- Komplikationen nach Durchbrechung der subchondralen Lamelle:
Nach BMS können sich subchondrale Zysten und Osteophyten in der Gelenksfläche bilden. ^{24, 33, 54}
- negativer Prognosefaktor:
Bei Versagen der Knochenmarkstimulation zeigen sich im Revisionsfall schlechtere Ergebnisse für weitere knorpelregenerative Methoden. ⁵²
- retropatellar schlechte Ergebnisse

Osteochondrale Autologe Transplantation (OAT) ⁶³

Indikation: chondrale/ osteochondrale Defekte bis 1,5 cm²

Bemerkung: hohe technische Anforderungen und begrenzte Entnahmestellen limitieren die Anwendung, retropatellar nicht empfohlen

Auch das OAT-Verfahren erlebte in den letzten Jahren einen Bedeutungsverlust. Laut aktuellen Empfehlungen wird es bei rein chondralen jedoch vor allem osteochondralen Defekten bis 1,5cm² angewandt. Wegen der Entnahmemorbidität werden nur max. 1-2 Knochen-Knorpel Zylinder empfohlen. Multiple Zylinder führen zu sehr schlechten Ergebnissen. ⁷ Auch darf die Komplexität des Verfahrens bezüglich der richtigen Wiederherstellung, sowohl der knöchernen Lamelle als auch der chondralen Oberfläche mit exakter Ebene, Höhe und Dicke des umgebenden Knorpels nicht unterschätzt werden. ^{8, 39} Ein Vorteil des Verfahrens ist die frühe Belastungsfähigkeit des Transplantates. Retropatellar scheint die OAT-Technik eine hohe Versagerrate zu haben. ⁷ Dies erklärt sich u.a. dadurch, dass es im Kniegelenk keine Entnahmestelle außer der Patella selbst gibt, welche die Dicke des retropatellaren Knorpels wieder rekonstruieren kann. Regelmäßig kommt es dadurch zu relevant über die subchondrale Lamelle überstehenden Knochenstrukturen mit resultierenden unphysiologischen Druck- und Scherbelastungen. Eine retropatellare OATS-Technik wird deshalb nicht empfohlen.

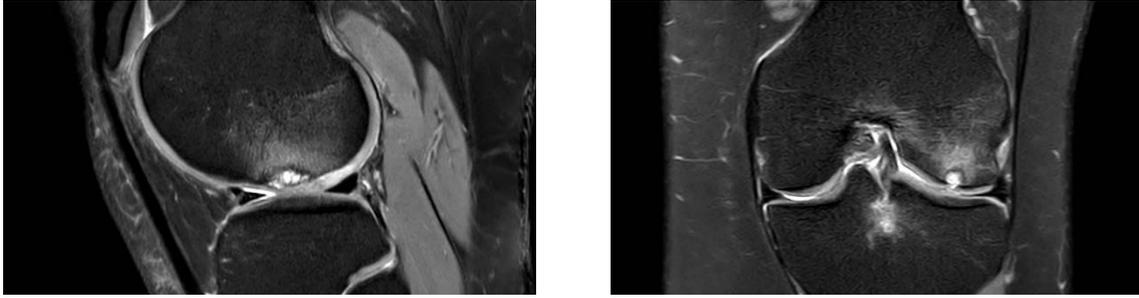


Abb. 2: 33a, männlich, Defekt ca. 1 cm² ICRS Grad IV im Bereich des LFC
Therapie: OAT mit einem Zylinder (10 mm DM)

Matrixaugmentierte Knochenmarkstimulation (mBMS = matrix induced Bone Marrow Stimulation)

Indikation: Defekte bis 3,5 cm²

Bemerkung: die Kombination der BMS mit einer Membran führt zu verbesserten Resultaten, Schutz der Knochenlamelle im Defekt durch Knochenmarkstimulation in der Notch kommt zunehmend zur Anwendung

Bei der mBMS wird ursprünglich die oben beschriebene BMS mit einer Membran zur Stabilisierung des „Blutclots“ im Defekt kombiniert. Das bekannteste Verfahren wird als „autologe matrixinduzierte Chondrogenese“ (AMIC®) bezeichnet.⁶ Mittlerweile ist der Name AMIC® markenrechtlich von der Firma Geistlich, bei Verwendung einer „Chondrogide“ Kollagen-Membran geschützt. Daneben existiert eine Vielzahl an Membranen zur Durchführung der mBMS mit unterschiedlichsten Eigenschaften.⁶² Auch die subchondrale Lamelle muss nicht mehr zwingend im Defekt durchbrochen werden, sondern es kann alternativ eine Knochenmarkstimulation in der Notch erfolgen. Eine hohe Evidenz besteht derzeit nur für die „Chondrogide“ Membran (Fa. Geistlich). Hier konnten mehrere Studien eine Überlegenheit des Verfahrens im Vergleich zur BMS zeigen.^{46, 51, 77} Ebenfalls liegt eine prospektiv randomisiert kontrollierte Studie vor, die bei 41 Patient: innen das AMIC® Verfahren und eine Matrix assoziierten autologen Chondrozytentransplantation vergleicht.³⁰ Zumindest nach zwei Jahren ergaben sich hierbei keine Unterschiede, bezüglich den Parametern Schmerz und Funktionsverbesserung.

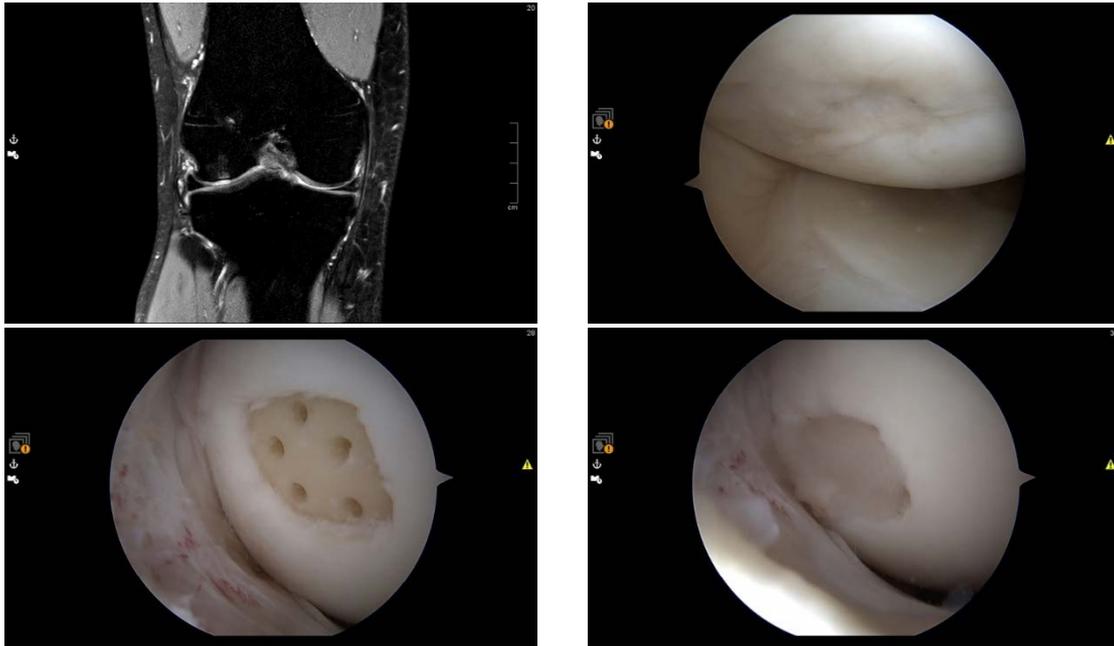


Abb. 3: 32a, männlich, Defekt ca. 1cm² ICRS Grad III im Bereich des LFC
Therapie: mBMS mit Hyaluronsäure-Membran nach Knochenmarkstimulation

Bone Marrow Aspirate Concentrate (BMAC)/ mBMS Plus ¹⁷

Indikation: Verfahren mit Potenzial, aber begrenzter Evidenz

Bemerkung: keine Standardmethode; produktabhängige Ergebnisse

Das mBMS-Verfahren wurde wiederum weiterentwickelt. Die eingebrachte Membran kann mit Stammzellen aus dem Knochenmark getränkt werden, was eine zusätzliche Durchbrechung der Knochenlamelle nicht mehr notwendig macht. Bone Marrow Aspirate Concentrate (BMAC) beinhaltet mesenchymale Stammzellen und Knochenmarkbestandteilen sowie Wachstumsfaktoren. Die Entnahme und Herstellung von BMAC ist jedoch sehr heterogen. Dieses kann z.B. aus dem Knochenmark des Beckenkamms oder der Tibia gewonnen und zentrifugiert oder nicht zentrifugiert werden. ⁶⁸

Ergebnisse:

Es liegen einige klinische Studien vor, die ein besseres Ergebnis bezüglich Funktion und Schmerz nach Augmentation einer eingebrachten Membran mit BMAC, bei der Behandlung von auch großen Knorpelschäden (4-12cm²), beschreiben. ^{25, 26, 34-38, 72, 73} Außerdem existieren auch Studien mit MRT-Daten, die von einer Defektfüllung in 80% der Fälle berichten sowie histologische Studien, bei denen ein hyalinartiger Knorpel bestätigt werden konnte.

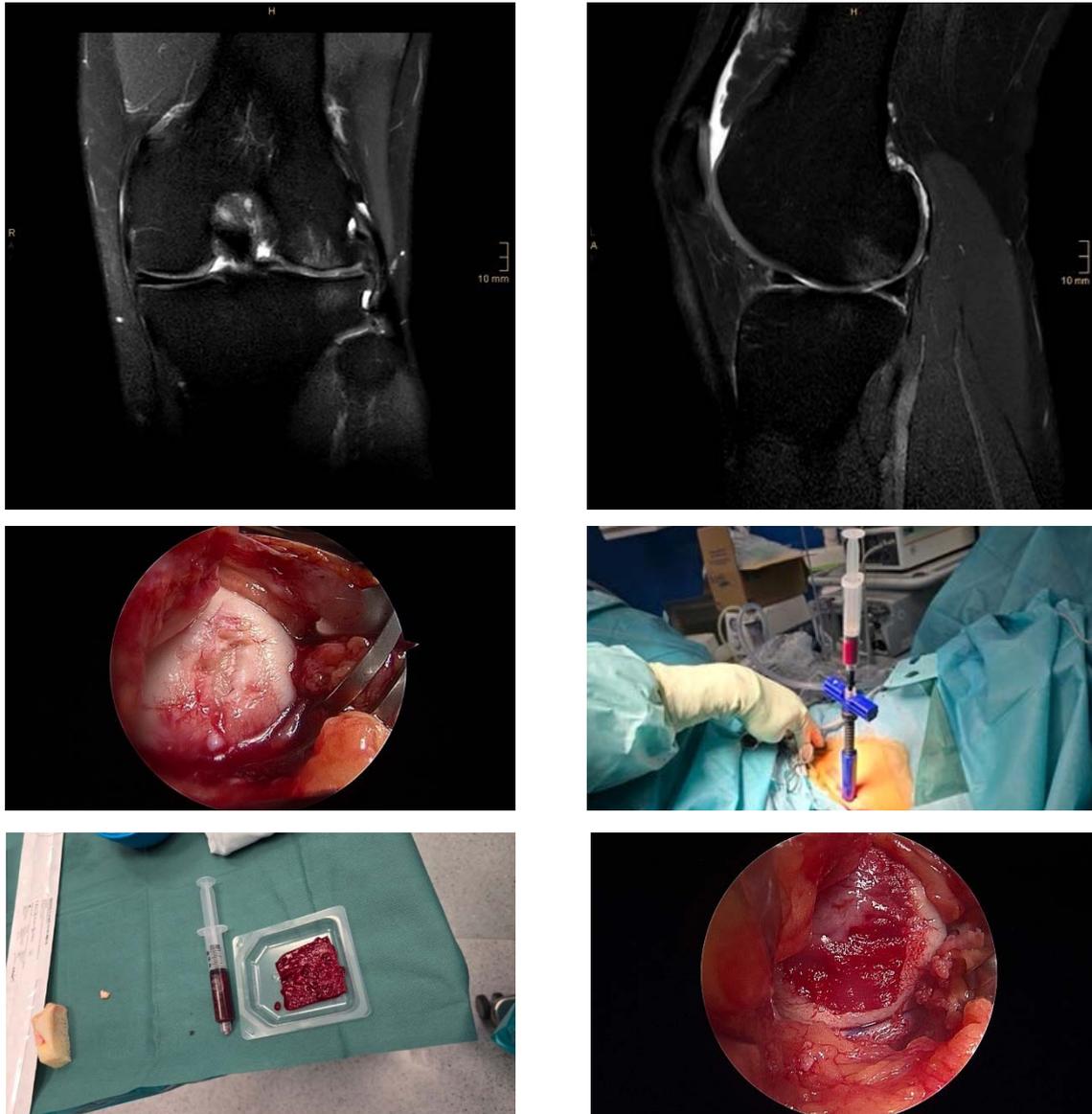


Abb. 4: 42a, männlich, Defekt ca. 5cm² ICRS Grad III im Bereich des LFC;
Therapie: ACT geplant jedoch Versagen der Zell-Kultivierung, als Alternative BMAC-Verfahren

Minced Cartilage ³¹

Indikation: Verfahren mit Potenzial, aber begrenzter Evidenz

Bemerkung: einzeitig; Zerkleinerung und Reimplantation autologen Knorpels

Durchführung:

Im Rahmen des minced Cartilage Verfahrens wird in einem einzeitigen Eingriff Knorpel aus den Rändern der Defektzone bzw. aus der Nichtbelastungszone entnommen, zerkleinert und nach der Defektpräparation wieder in den Knorpeldefekt eingebracht. ^{31, 55} Das Verfahren, Knorpel in kleine Stücke zu zerteilen und direkt wieder in den Knorpeldefekt einzubringen, wurde bereits 1983 von Albrecht et al. am Tiermodell beschrieben. ¹ Mittlerweile wurde die Technik weiterentwickelt und wird offen oder arthroskopisch durchgeführt. Ihre Anwendung variiert in Bezug auf das Verfahren der Zerkleinerung des Knorpels, mit Skalpell

oder Instrumenten (z.B. Shaver), dem Beimengen von autologen Blutprodukten (z.B. PRP) und dem Decken des zerkleinerten Knorpels mit oder ohne Membranen sowie der Befestigung im Defekt (z.B. Fibrinkleber).

Ergebnisse:

Bezüglich klinischer Ergebnisse liegen bisher nur wenige Studien vor, welche klinische Scores (KOOS, IKDC) ein und zwei Jahre nach minced Cartilage-Therapie evaluieren. Zu diesen postoperativen Zeitpunkten sind die Ergebnisse mit denen anderer etablierter Knorpeltherapien vergleichbar.^{28, 31} Seit 2023 liegen 5-Jahresergebnisse einer Level III Studie vor, wobei der IKDC hier ebenso mit den Ergebnissen von mACT, OAT und AMIC® 5 Jahre postoperativ, vergleichbar beschrieben wird.⁶⁷ Insgesamt zeigt die Therapiemöglichkeit somit zumindest für kleinere Knorpeldefekte und im kurzfristigen Intervall bis 24 Monate postoperativ vielversprechende Ergebnisse.³¹ Die Inhomogenität der Durchführung des Verfahrens macht die Vergleichbarkeit der publizierten Ergebnisse und damit das Aussprechen einer klaren Empfehlung, jedoch schwierig. Es sind standardisierte, experimentelle und prospektiv randomisierte klinische Studien zur Beurteilung der Methode an sich und den, von der Industrie angebotenen Instrumenten und Abläufen notwendig.⁵⁵ Außerdem besteht ein Mangel an Langzeit-Ergebnissen und randomisiert kontrollierten Studien, welche die Methode mit anderen Knorpeltherapien vergleichen^{31, 69}, weshalb die Therapie mit minced Cartilage derzeit als Potenzialmethode eingestuft wird.

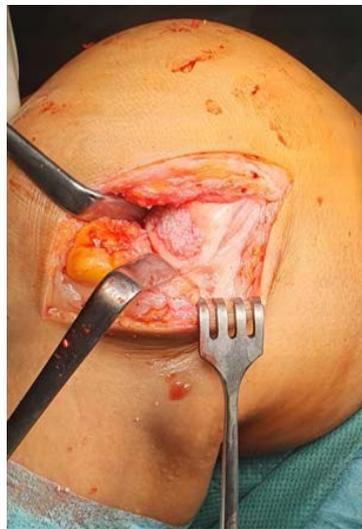


Abb. 5.: 35a, weiblich, Defekt ca. 2 cm² ICRS Grad III im Bereich des LFC bei Z.n. VKB-Plastik; Therapie: minced Cartilage

Matrix assoziierte autologe Chondrozyten Transplantation (mACT)

Indikation: Goldstandard ab 2 cm², alternativloser Goldstandard ab 4 cm²

Bemerkung: zweizeitig; Erfolgsraten 85-92%, langfristige Wirksamkeit belegt

Eingeführt in den 1990er Jahren durch Brittberg,¹³ ist diese Behandlungsmethode im Bereich der Orthopädie und Traumatologie eine Therapie mit der höchsten Evidenz.^{3, 19} Es zeigen sich Erfolgsraten zwischen 85 und 92% mit Langzeitergebnissen bis zu 20 Jahren sowie im MRT nachgewiesene gute Defektfüllungen und histologisch bestätigtem hyalinartigen Knorpel als Regenerat. Außerdem zeigt sich eine Überlegenheit gegenüber der Knochenmarkstimulation in klinischen Scores bereits nach 24 Monaten.³² Diese Faktoren machen das Verfahren zum Goldstandard in der Therapie von Knorpelläsionen ab 2 cm².^{9, 15, 20, 21, 53, 59, 61, 65, 70} Bei einer flächendeckenden rechtzeitigen Anwendung der mACT bei lokalisierten Knorpelschäden könnten nach heutiger wissenschaftlicher Erkenntnis bis zu 21% aller primären Knieendoprothesen vermieden werden.⁷⁶

Durchführung:

Zweizeitiges Vorgehen:

- **1. Operation:** Arthroskopisch wird aus einer nicht belasteten Zone Knorpel entnommen. Empfohlen wird die Entnahme aus der Notch. Die Zellen werden in einem Zelllabor enzymatisch isoliert, proliferiert und in Zellkulturen expandiert.
- **2. Operation:** Der Defekt wird bis ins gesunde Knorpelgewebe sorgfältig präpariert. Dabei können „uncontained“ (Defektboden ist nicht von einem stabilen Knorpelrand des Defektes geschützt) und „contained“ (Defektboden ist von einem stabilen Knorpelrand des Defektes geschützt) Defekte entstehen. Die kalzifizierende Zone sollte größtenteils entfernt, die subchondrale Lamelle aber nicht verletzt werden, um die Bildung von Osteophyten zu vermeiden. Die Zellen werden anschließend in einer auf die Defektgröße zugeschnittene Matrix oder direkt, z.B. in Form von Chondrosphären, gemäß Herstellerangabe in den Defekt eingebracht.

In Österreich stehen mit Stand August 2025 zwei Produkte zur Verfügung:

- Igo® (Fa. Leomed), Wels, Österreich:
 - mACT 3. Generation
 - nationale Zulassung
 - bovine Kollagenmembran
 - proliferierte Zellen werden nach ca. 4 Wochen angeliefertein Zellfibringemisch wird in die Kollagenmembran eingebracht, der Defekt mit Thrombin benetzt, die Membran wird in den Defekt eingebracht und die Ränder werden mit Thrombinlösung versiegelt. Optional kann die Membran vernäht werden.

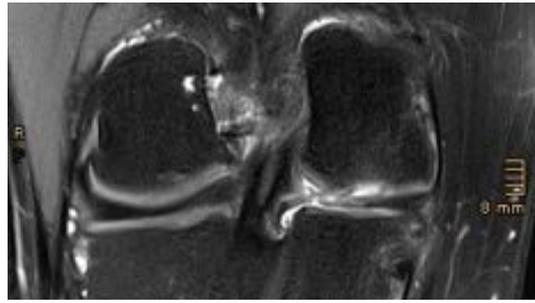
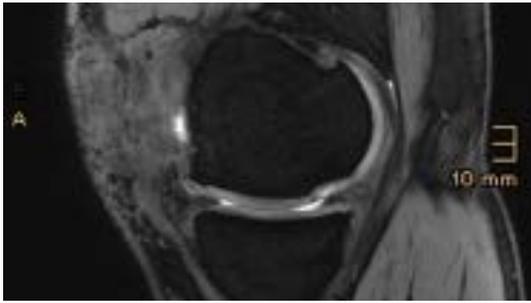


Abb. 6: 25a, männlich, Defekt ca. 3 cm² ICRS Grad III im Bereich des LFC
Therapie: mACT mit „Igo®“- Verfahren

- Spherox® (Fa. Co.don AG) Berlin, Deutschland
 - mACT 4. Generation
 - europäische Arzneimittelzulassung (ATMP)
 - keine Membran, autologe Matrix wird im Kultivierungsverfahren gebildet
 - proliferierte Zellen in autologer Matrix werden nach ca. 6 Wochen in Form von Sphäroiden angeliefert
 - Zellen bilden Sphäroide mit bereits exprimierter, extrazellulärer Matrix; diese werden in einem Applikator mit NaCl Lösung in den Defekt eingebracht und sind selbsthaftend, was eine rein arthroskopische Anwendung ermöglicht

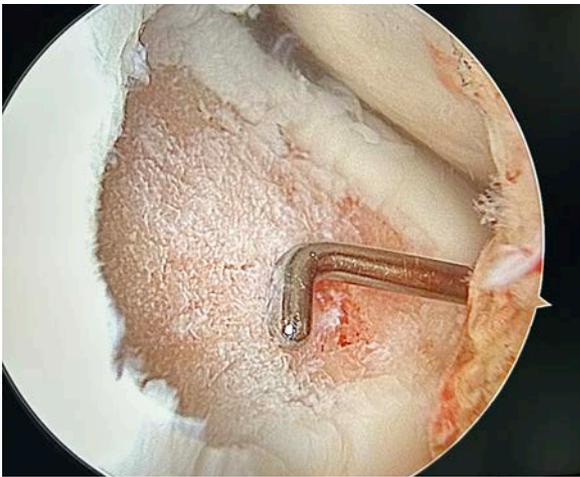
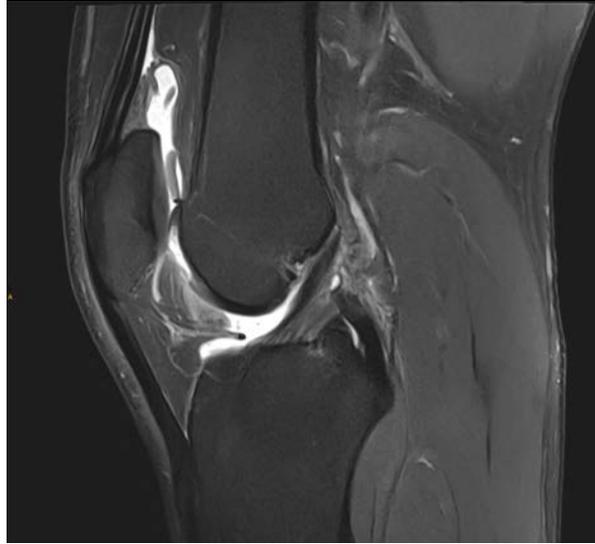
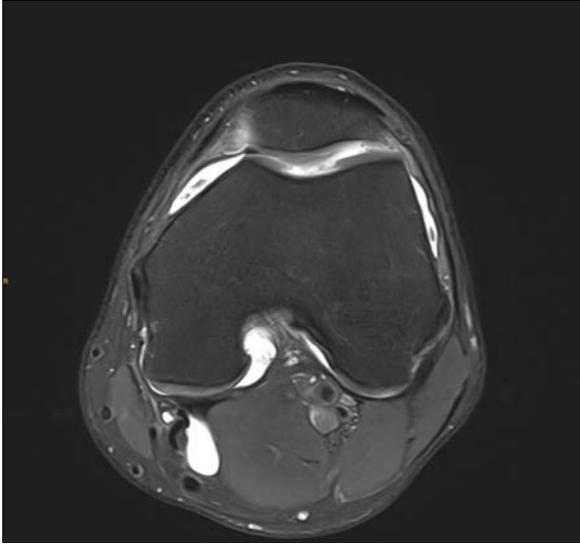


Abb. 7: 46a, männlich, Defekt ca. 3 cm² ICRS Grad III in der Trochlea femoris;
Therapie: ACT mit „Spherex®“-Verfahren arthroskopisch

Therapiemöglichkeiten osteochondraler Defekte

Refixation von frischen traumatischen osteochondralen Defekten („Flake Fracture“) ^{23, 49}

Indikation: akute traumatische osteochondrale Defekte

Bemerkung: Vorgehen: arthroskopische Bergung, Mini-Arthrotomie, Refixation mit resorbierbaren oder nicht-resorbierbaren Implantaten

Unter „Flake Fracture“ versteht man ein im Rahmen eines akuten Traumas, abgeschertes osteochondrales Fragment. Sehr häufig treten diese Verletzungen nach Patellaluxationen oder Rupturen des vorderen Kreuzbandes auf.

Eine Refixation wird für intakte osteochondrale Fragmente, mit intakten Knorpelschultern und am Flake anhaftendem Knochenanteil im Bereich des Defektareals empfohlen. Für den Fall, dass das osteochondrale Fragment auf Grund von Aufquellen nicht in den Defekt passt, kann dieses mittels Skalpells zurechtgeschnitten werden. Auch wenn diesbezüglich keine eindeutige Literatur vorliegt, wird die Refixation so zeitnah wie möglich nach dem Trauma empfohlen, um ein Aufquellen mit konsekutiv, schlechterer Defektpassform zu vermeiden. Bei Erwachsenen wird die Refixation vom „Expertenkreis Gelenkserhalt und Knorpelregeneration Österreich“ innerhalb von 7 Tagen posttraumatisch empfohlen, bei noch offenen Wachstumsfugen kann dies auch noch nach längerem Zeitraum versucht werden.

Nach arthroskopischem Bergen des osteochondralen Fragments, Evaluierung dessen Beschaffenheit und Stellen der Indikation für die Refixation, erfolgt diese selbst im Rahmen einer Mini-Arthrotomie meist mittels Mini-Schrauben (z.B. Doppelgewindeschrauben) oder bioresorbierbarer Implantate. Bei Verwendung von nicht resorbierbaren Fixationstechniken sollte eine Metallentfernung 6-12 Wochen nach Refixation erfolgen.

Rein knorpelige Flakes zeigen, in Abhängigkeit vom Patient: innenalter, bei Refixationsversuch deutlich schlechtere Einheilungsergebnisse, weshalb hier sowie bei nicht intakten osteochondralen Fragmenten oder Defektarealen, in denen keine intakten Knorpelschultern vorliegen, die Entfernung des freien Gelenkskörpers und Durchführen eines der genannten Knorpelregenerationsverfahren, indikationsspezifisch, empfohlen wird.

Nachdem „Flake Fractures“ häufig bei Patient: innen mit stattgehabten Patellaluxationen auftreten, müssen begleitend Patella-Alignment und Verletzungen des Patellalhalteapparates sowie auch andere im Rahmen des Traumas aufgetretene Begleitpathologien zeitnah abgeklärt und adressiert werden.

Insgesamt muss darauf hingewiesen werden, dass wenig Literatur und keine randomisiert kontrollierten Studien zur Refixation von „Flake Fractures“ vorliegen.

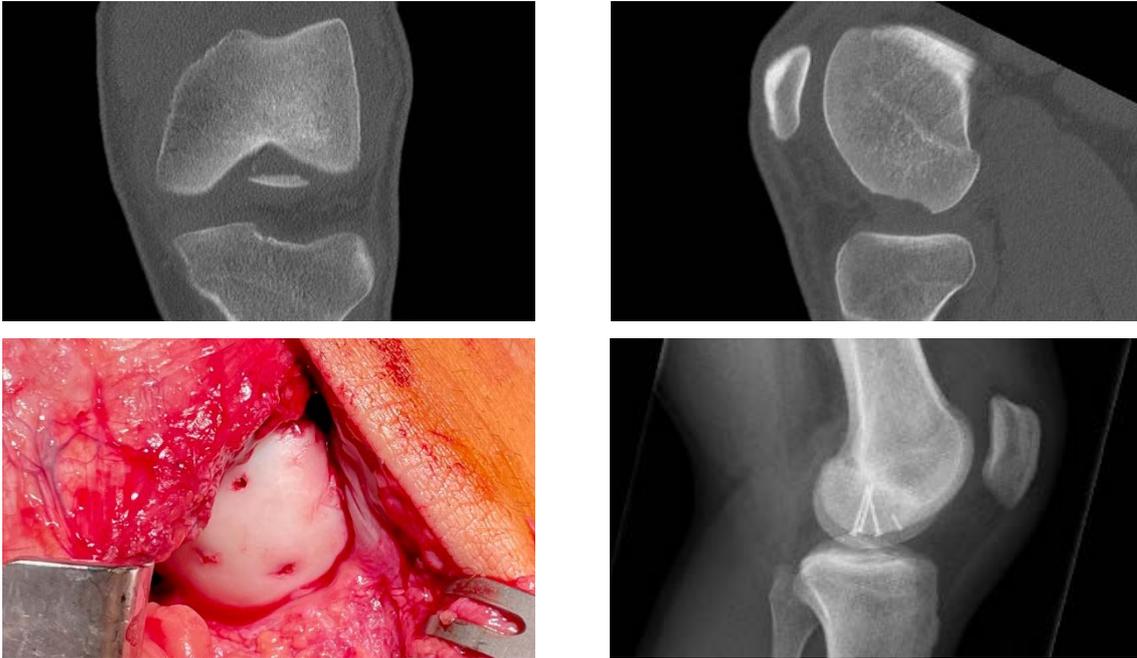


Abb. 8: 19a, männlich, Z.n. Patellaluxation mit 4 cm² messendem osteochondralen Fragment
Therapie: Refixation mittels Mini-Schrauben und MPFL-Quad Rekonstruktion am Folgetag

Osteochondrale Allografts (OCA) ¹⁶

Indikation: ausgedehnte osteochondrale Defekte (z.B. Osteochondrosis dissecans)

Bemerkung: Limitierung besteht in der, in Österreich, eingeschränkten Verfügbarkeit

Voraussetzungen:

- Verfügbarkeit eines entsprechenden Spenderkniegelenks
- die Spenderlokalisierung im Knie soll der Defektlokalisierung entsprechen

Indikationen:

- junge, aktive Patient: innen
- posttraumatische osteochondrale Defekte
- Osteochondrosis dissecans
- Knorpeldefekte $\geq 2 \text{ cm}^2$
- Z.n. vorhergegangener Knorpeltherapie mit Therapieversagen
- osteochondrale Defekte im Bereich des Patellofemoralgelenks

Durchführung:

Nach einer diagnostischen Arthroskopie zur Diagnosesicherung erfolgt die Implantation im Rahmen einer Arthrotomie in Abhängigkeit der Defektlokalisierung. Zuerst wird ein Bohrdrat in die Mitte des Defektes eingebracht und anschließend dieser unter konsequenter Spülung, mittels Hohlfräse ausgefräst. Wenn möglich sollte eine Tiefe von 8 mm nicht überschritten werden. Die Resektion ist

ausreichend, wenn blutender spongiöser Knochen sichtbar wird bzw. können bei Bedarf noch Bohrdraht Bohrungen angebracht werden. Anschließend wird ein Zylinder der gleichen Größe aus dem Allograft von der gleichen Lokalisation entnommen und „press fit“ in den Defekt eingebracht. Eine zusätzliche Fixierung sollte nicht notwendig sein.

Vorteile:

Die Therapie kommt für große Knorpelläsionen mit fehlenden intakten Knorpelschultern und/oder Beteiligung des subchondralen Knochens in Frage. Das Therapieergebnis wird nicht durch vorhergehende Knochenmarkstimulation oder andere Beeinflussung des subchondralen Knochens beeinflusst. Vor allem für Athlet: innen besteht der vorwiegende Vorteil in einer schnelleren Rückkehr zum Sport.

Nachteile:

In Österreich sind vor allem die limitierte Verfügbarkeit von osteochondralen Allografts und die dafür anfallenden Kosten ohne Abrechenbarkeit in den verfügbaren Kostenerstattungssystemen der größte Nachteil. Außerdem nennt die Literatur eine flache operative Lernkurve sowie limitierte Revisionsoptionen bei Therapieversagen. Ebenso wird eine hohe Reoperationsrate auf Grund von Arthrosen und Therapieversagen in 18% beschrieben. Diesbezüglich ist anzumerken, dass die Ergebnisse dieser Therapiemethode auch von der Behandlung des Allografts mit z.B. Chemikalien abhängen und im allgemeinen frische Allografts, ohne chemische Aufarbeitung verwendet werden sollten.

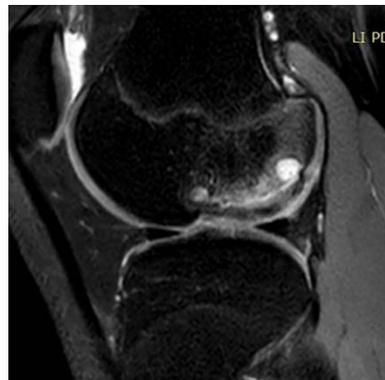


Abb. 9: 18a, männlich, großflächige osteochondrale Läsion im Bereich des LFC bei OCD
Therapie: osteochondrale Allograftimplantation

Die additive Behandlung des subchondralen Knochens (Ödem, Zysten) bei Knorpelschäden

Der subchondrale Knochen spielt eine wesentliche Rolle für den Erfolg der durchgeführten Knorpeltherapie und muss je nach vorliegendem Befund ggf. mitadressiert werden. Die Wiederherstellung der, an das angrenzende Gewebe und die anatomische Form angepasste, Knorpel-Knochen-Einheit stellt hier die größte Herausforderung dar.

Der Expertenkreis empfiehlt eine Behandlung des subchondralen Knochens ab einer Defekttiefe von 3 mm bei Osteochondrosis dissecans, Zysten, abgetragener Sklerose oder Trauma.

Zum Aufbau des knöchernen Defektes empfiehlt der Expertenkreis autologen Knochen aus dem Beckenkamm oder dem Tibiakopf in Form von kortikospongiösen Zylindern oder kompaktierter Spongiosa.

Die Therapie des Knorpels sollte nach adäquatem Knochenaufbau in Abhängigkeit von der Defektgröße erfolgen, die Literatur zeigt gute Ergebnisse für die mACT nach knöchernem Aufbau mittels kortikospongiösen Zylindern.

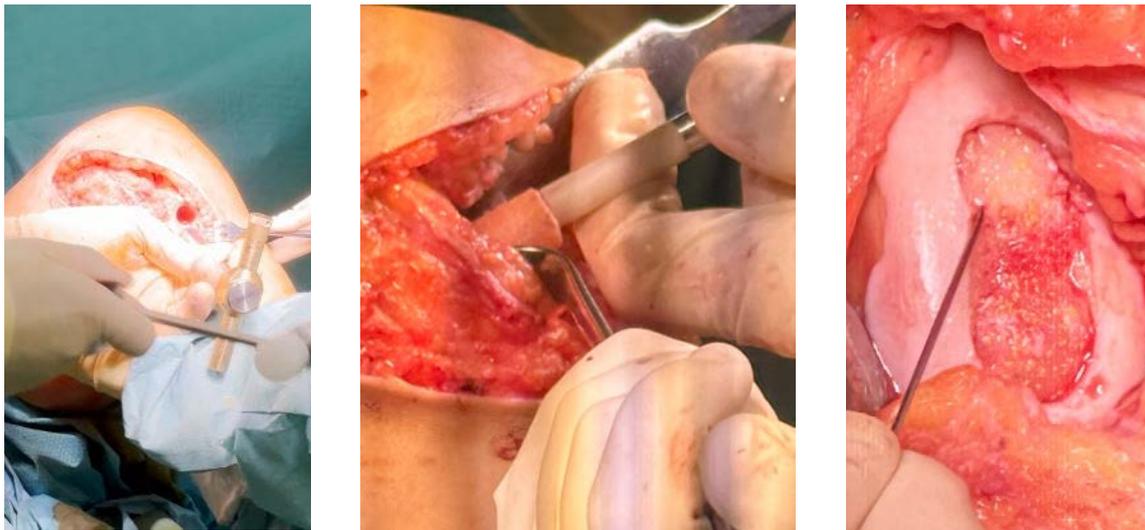
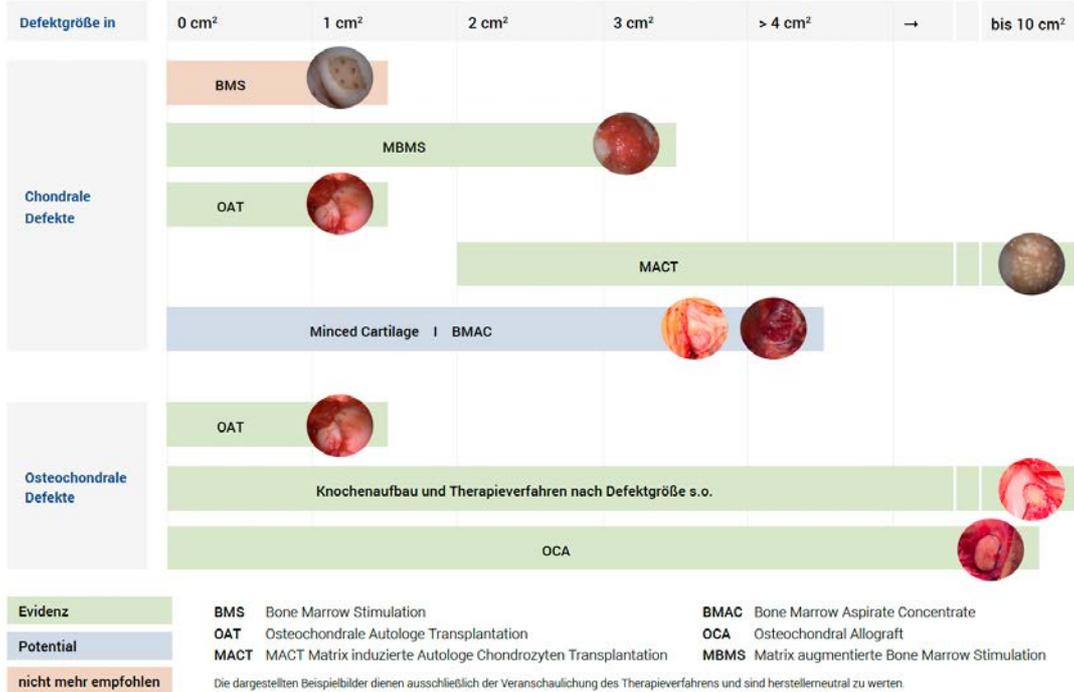


Abb. 10: 35a, weiblich, Z.n. OCD mit Defekt ca. 4 cm² ICRS Grad IV
Therapie: ACT nach Knochenaufbau mit kortikospongiösen Zylinder

Therapeutische Verfahren für Knorpeldefekte am Kniegelenk

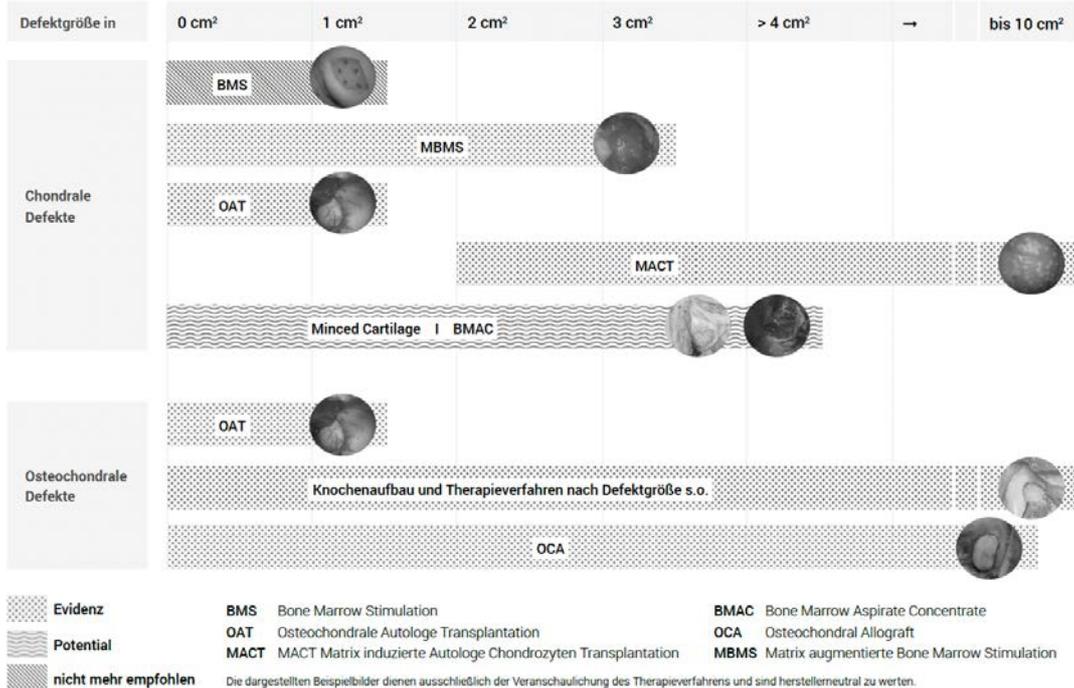
Empfehlung des Expertenkreis Gelenkerhalt und Knorpelregeneration Österreich in Korrelation zur Defektgröße



schwarz-weiß Version

Therapeutische Verfahren für Knorpeldefekte am Kniegelenk

Empfehlung des Expertenkreis Gelenkerhalt und Knorpelregeneration Österreich in Korrelation zur Defektgröße



Expertenumfrage im Expertenkreis Gelenkserhalt und Knorpelregeneration Österreich zu speziellen Fragestellungen zu den Knorpeltherapieverfahren in Österreich

Medizin, so auch Knorpeltherapie befindet sich ständig im Wandel, neben der verfügbaren wissenschaftlichen Literatur haben sich in der Vergangenheit insbesondere in der Therapie von Knorpeldefekten Expertenmeinungen als hilfreich und richtungsweisend erwiesen. So basierten die ersten Empfehlungen zur Behandlung von Knorpeldefekten am Kniegelenk der AG Klinische Geweberegeneration DGOU publiziert 2004⁵ in erster Linie auf Expertenmeinungen, welche sich dann in der Folgepublikation 2016⁵⁶ aufgrund von dann verfügbaren hochwertigen Studien fast identisch bestätigt haben. Dies unterstreicht die Bedeutung der Kenntnisse und Erfahrungen von ausgewiesenen Expert:innen in einem Gebiet, wenn noch keine klaren wissenschaftlichen Daten vorliegen, oder aber neuere Behandlungen zur Anwendung kommen. Im Folgenden haben wir zu speziellen derzeit in der Diskussion befindlichen Fragen zur Knorpeltherapie am Kniegelenk in einer Umfrage im Expertenkreis Gelenkserhalt und Knorpelregeneration Österreich Stellung genommen. Dabei wurde zwar nicht das formale Delphi-Verfahren angewendet, allerdings erfolgte eine starke Anlehnung daran. Die folgende Tabelle soll als Ergänzung zu den beschriebenen Verfahren und Literaturdaten dienen.

Verfahren		Umfrageergebnisse		
		Zustimmung	Ablehnung	Expert: innen Empfehlung
Knorpeltherapie allgemein	Die primär operative Behandlung von „symptomlosen“ Knorpelschäden ohne Begleitverletzung, welche als „Zufallsbefund“ in der MRT auffallen, wird nicht empfohlen, jedoch die engmaschige Verlaufskontrolle mindestens jährlich.	100,00%		ja
Knorpeltherapie allgemein (subchondraler Knochen)	Bei einem osteochondralen Defekt am Kniegelenk wird ab einer Defekttiefe von ≥ 3 mm eine begleitende Behandlung mittels Knochenaufbau (z.B. Spongiosaplastik) zusätzlich zur Knorpeltherapie empfohlen.	100,00%		ja
Knochenmarkstimulation (BMS)	Die Knochenmarkstimulation sollte trotz verfügbarer Alternativen weiterhin als Behandlungsmethode kleiner chondraler Defekte am Kniegelenk angewendet werden.	66,67%	33,33%	
Knochenmarkstimulation (BMS)	Die Knochenmarkstimulation stellt bis zu einer Defektgröße von max. 1,5 cm ² eine geeignete Therapiemöglichkeit für vollschichtige rein chondrale Defekte dar.	66,67%	33,33%	
Bone Marrow Aspirate Concentrate (BMAC)	Das BMAC-Verfahren für chondrale Defekte am Kniegelenk stellt eine etablierte Therapiemethode mit genügend wissenschaftlicher Evidenz dar.	50,00%	50,00%	
Minced Cartilage	Das minced Cartilage-Verfahren für chondrale Defekte am Kniegelenk stellt eine etablierte Therapiemethode mit genügend wissenschaftlicher Evidenz dar		100,00%	nein
Matrix assoziierte autologe Chondrozyten Transplantation (mACT)	Die mACT stellt bei einer Defektgröße ab 4 cm ² nach heutigem wissenschaftlichem Stand alternativlos den Goldstandard der verfügbaren knorpelregenerativen Therapiemethoden am Kniegelenk dar.	100,00%		ja
osteochondrale Refixation	Die Refixation eines osteochondralen Fragments, nach stattgehabtem Trauma ist das bevorzugte Therapieverfahren und sollte so früh als möglich, möglichst binnen 7 Tagen posttraumatisch erfolgen. Bei offenen Wachstumsfugen sind auch nach längeren Verzögerungen Einheilungen möglich.	100,00%		ja
osteochondrale autologe Transplantation (OAT)	Bei der OAT wird die Transplantation von nicht mehr als 1-2 Zylindern empfohlen.	100,00%		ja
osteochondrale Allografts	Die Transplantation von osteochondralen Allografts für große chondrale und osteochondrale Defekte, stellt eine etablierte Therapiemethode mit genügend wissenschaftlicher Evidenz dar.	91,67%	8,33%	ja

Tabelle 1: Expertenumfrage im Expertenkreis Gelenkserhalt und Knorpelregeneration Österreich zu speziellen Fragestellungen zu den Knorpeltherapieverfahren in Österreich

Osteochondrale Defekte auf Grund von Osteochondrosis dissecans (OD)

Eine weitere gesondert zu beachtende Entität von osteochondralen Läsionen stellt die Osteochondrosis dissecans dar. Es handelt sich um eine multifaktorielle Erkrankung, bei der eine juvenile und adulte Form unterschieden wird. Im klinischen Alltag unterscheiden sich die Formen vor allem dadurch, dass die konservative Therapie bei der juvenilen Form, durch die erhöhte Regenerationsfähigkeit auch in fortgeschrittenen Stadien zur Anwendung kommen kann.⁴⁰

Die Stadien-Einteilung erfolgt aus einer Kombination von Röntgen und MRT-Bildern.⁴¹

Stadium	Röntgen	MRT	Knorpel	Therapie
Stadium I	unauffällig	Knochenmarksödem	intakt	konservativ
Stadium II	Sklerosezone subchondral	Knochenmarksödem	intakt bis aufgeraut	konservativ / operativ (Anbohrung)
Stadium III	klar abgrenzbare Läsion	Umspülung des Dissekats	aufgeraut	operativ
Stadium IV	ausgebrochene Läsion	freier Gelenkskörper leeres Dissekat Bett	osteochondrales Fragment	operativ

Tabelle 2: Einteilung der OCD-Stadien des Expertenkreis Gelenkserhalt und Knorpelregeneration Österreich adaptiert nach Dipaola et al.²²

Konservative Therapie:

Bei allen Patient: innen sollte der Vitamin D Spiegel untersucht werden und großzügig mit einer Substitution begonnen werden.¹² Bei ungewöhnlichen Verläufen und persistierenden Knochenödemen auch nach erfolgter Therapie einer osteochondralen Läsion muss eine differenzierte osteologische interdisziplinäre Diagnostik in Erwägung gezogen werden. Undiagnostizierte osteologische Erkrankungen führen häufig zu Knorpel-Knochenläsionen und haben unbehandelt einen negativen Einfluss auf deren Therapieergebnisse.

Auf die konservative Therapie soll hier nicht näher eingegangen werden. Grundlage bildet jedoch die Teilbelastung des entsprechenden Beines. Für eine additive intravenöse Therapie mittels Prostazyklin, die im klinischen Alltag immer wieder zur Anwendung kommt, besteht wenig Evidenz. Eine Alternative mit steigender Evidenz stellt die Therapie mittels Bisphosphonaten dar. Beide Medikamente fallen für die Diagnose der Osteochondrosis dissecans unter „Off-Label-Use“, wobei die Evidenz für die Therapie mit Bisphosphonaten höher ist.^{2, 66}

Operative Therapien:

Die operative Therapie der OD richtet sich nach den Stadien der Erkrankung. Ab dem Stadium III und IV ist es essenziell, den knöchernen Defekt mitzubehandeln und zu rekonstruieren.

- **Retrograde Anbohrung:**

Bei Stadium I und II bei Beschwerdepersistenz von 6 Monaten nach erfolgter konservativer Therapie. Insbesondere bei jungen Patient: innen mit offenen Wachstumsfugen zeigen sich hier gute Ergebnisse.⁴⁵

- **Refixation des OD-Fragmentes:**

Die Refixation des osteochondralen Fragmentes sollte laut Literatur vor allem bei jugendlichen Patient: innen die primäre Therapieoption darstellen. Dies gilt unter der Voraussetzung, dass dadurch bei guter Knochenqualität des Fragments mit weitgehend intakter hyaliner Knorpelschicht, die Gelenksoberfläche rekonstruiert werden kann. Dabei ist darauf zu achten die Sklerosezone anzufrischen bzw. zu durchbrechen. Zur Refixation stehen metallische sowie resorbierbare Implantate und auch Schrauben aus kortikalen Knochenallografts zur Verfügung, wobei Metallimplantate einen Revisionseingriff zur Entfernung notwendig machen. Ist das Fragment vollständig nekrotisch bzw. sklerotisch und die Knorpelschicht zerstört, sollte auf Grund der beschriebenen schlechten Ergebnisse ein anderes Therapieverfahren gewählt werden.²⁹

- **BMS:**

Eine alleinige Knochenmarkstimulation einer OD-Läsion wird nicht empfohlen und führt nicht zu einer Ausheilung. Die Methode kommt ergänzend zu anderen Verfahren zum Einsatz, wenn eine sklerosierte knöchernen Lamelle angefrischt/ durchbrochen werden muss und dann ein Knochenaufbau z.B. mit Spongiosa durchgeführt wird.

- **OAT:**

Bei kleinen Defekten bis 1,5 cm² kann sich der Transfer eines osteochondralen Zylinders anbieten. Es ist besonders darauf zu achten, dass die Kontinuität der knöchernen Lamelle wieder hergestellt wird und eine Kongruenz zum umliegenden Knorpel erhalten bleibt (siehe oben).³⁹

- **mBMS/BMAC mit Knochenaufbau:**

Bei osteochondralen Defekten bis max. 3,5 cm² kommt eine mBMS zum Einsatz. Der geschädigte Knochen wird zunächst angefrischt, die Sklerosezone mittels Knochenmarkstimulation durchbrochen und vollständig debridiert und mittels autologer Spongiosa oder kortikospingösen Zylindern aus Beckenkamm oder proximaler Tibia ersetzt. Das Nekroseareal sollte dabei möglichst komplett entfernt und mit frischem, autologem Knochen rekonstruiert werden. Nach Wiederherstellung der knöchernen Lamelle wird der Defekt mittels Membran abgedeckt (mBMS), die ggf. zusätzlich mit BMAC augmentiert wird.

- **mACT mit Knochenaufbau:**

Vor allem bei größeren Knorpel-Knochendefekten ab 2 cm², wird eine mACT mit Knochenaufbau empfohlen. Der geschädigte Knochen wird zunächst angefrischt, die Sklerosezone mittels Knochenmarkstimulation durchbrochen und vollständig debridiert und mittels autologer Spongiosa oder kortikospingösen Zylindern aus Beckenkamm oder proximaler Tibia ersetzt. Das Nekroseareal sollte dabei möglichst komplett entfernt und mit frischem

autologem Knochen rekonstruiert werden. Ist dies erfolgt, erfolgt über diesem Konstrukt dann die mACT.

- **Meniskopexie:**

Aktuelle Studien haben als Ursache für osteochondrale Läsionen an den Femurkondylen von jugendlichen Patient: innen eine Instabilität im Meniskusvorderhorn beschrieben.^{10, 14} Hier konnte gezeigt werden, dass durch eine Stabilisierung des Meniskusvorderhornes (Meniskopexie) die Läsionen vollständig zur Ausheilung gebracht werden konnten. Es wird deshalb eine genaue Analyse und Behandlung dieser möglichen Begleitpathologie empfohlen.

Stellungnahme zur Therapie von chondralen und osteochondralen Defekten bei Kindern und Jugendlichen mit offenen Wachstumsfugen

Bemerkung: Der regulatorische Ausschluss der mACT ist nach aktuellem Wissensstand weder medizinisch noch ethisch gerechtfertigt.

Symptomatische Knorpeldefekte bei Kindern und Jugendlichen (Prävalenz: bis zu 41 %) sind häufig⁶¹ und führen zu Schmerzen, Funktionseinschränkungen und einem erhöhten Risiko für frühzeitige Arthroseentwicklung.⁷⁹

Auch wenn konservative Behandlungen bei Kindern oft erfolgreich sind, bestehen bei großen traumatischen Defekten, Osteochondrosis dissecans¹⁶ oder patellofemoraler Instabilität mit einhergehenden Knorpelläsionen oft auch Indikationen zur operativen Therapie.

Diesbezüglich stehen bei Kindern und Jugendlichen mit offenen Wachstumsfugen, in Abhängigkeit der Defektgröße und Tiefe die meisten der oben genannten Therapiemöglichkeiten zur Verfügung. Nachdem es sich bei BMS, OAT und minced Cartilage um einzeitige Verfahren ohne Einbringen von Fremdmaterial oder biologisch behandelte autologe Zellen handelt, besteht hier keine Kontraindikation zur Therapie von Patient: innen mit noch offenen Wachstumsfugen. Auch für jene Therapien, bei denen eine Membran eingebracht wird (mBMS, BMAC), ist den Autor: innen nach Berücksichtigungen der Herstellerinformationen, der in Österreich erhältlichen Membranen und Produkte Stand 8/2025, keine Kontraindikation zur Verwendung im genannten Patient: innenkollektiv bekannt. Es wird jedoch darauf hingewiesen etwaige Zulassungen vor Indikationsstellung und Verwendung zu prüfen. In Bezug auf die mACT, muss darauf hingewiesen werden, dass in Österreich derzeit nur für das Produkt Igo® keine Anwendungsbeschränkung bei offenen Wachstumsfugen besteht. Die europäisch als ATMP zugelassenen mACT-Produkte sind aus regulatorischen Gründen erst bei Patient: innen mit geschlossenen Wachstumsfugen zugelassen. Dies ist insofern nicht nachvollziehbar, da in der verfügbaren Literatur keine schlechteren, sondern oft bessere Ergebnisse bei Kindern mit offenen Wachstumsfugen bei der Anwendung der mACT beschrieben sind.^{12, 19, 42, 60, 62, 82}

Der häufig als Ausschlusskriterium genutzte Epiphysenstatus scheint medizinisch nicht entscheidend für das Knorpelregenerationspotenzial und das Risiko für wachstumsbedingte Komplikationen bei mACT wird als minimal beschrieben.⁷¹ Wenn insbesondere bei großen Defekten die konservative Behandlung versagt, ist somit nach aktueller medizinischer Evidenz ein regulatorischer Ausschluss der mACT weder medizinisch noch ethisch gerechtfertigt.

postoperative Nachbehandlung nach durchgeführter Knorpelchirurgie

Diesbezüglich verweist der „Expertenkreis Gelenkerhalt und Knorpelregeneration Österreich“ auf die erschienen Publikationen der AGA/QKG/AG Klinische Geweberegeneration DGOU/DKG, welche unter den angeführten Links abzurufen sind.

<https://www.qkg-ev.de/fachinformationen/fuer-aerzte/nachbehandlung-nach-knorpelregenerativen-eingriffen/>



https://www.agaonline.ch/fileadmin/user_upload/Komitee_Inhalte/AGA_Therapie_von_Knorpelschaeden_akt_web.pdf



<https://www.stop-x.de/trainingsplan/knorpeltherapie-fruehphase-1-ab-der-1-postoperativen-woche/>



Prim. Priv.-Doz. DDr. Christian Albrecht, MBA
Vorstand der I. Orthopädischen Abteilung
Orthopädisches Spital Speising GmbH
Speisinger Straße 109
1130 Wien

Assoc. Prof. Priv.-Doz. Dr. Silke Aldrian
stellvertretende Leiterin der Klinischen Abteilung
für Unfallchirurgie
Universitätsklinik für Orthopädie und
Unfallchirurgie Wien
Währinger Gürtel 18-20
1090 Wien

Prim.ao. Univ. Prof. Dr. Catharina Chiari, MSc
Leiterin der Abteilung für Kinderorthopädie und
Fußchirurgie
Orthopädisches Spital Speising GmbH
Speisinger Straße 109
1130 Wien

Priv.-Doz. Dr. Martin Eichinger, PhD
A.ö. Bezirkskrankenhaus St. Johann in Tirol
Bahnhofstraße 14
6380 St. Johann in Tirol

Primarius Priv.Doiz.Dr.med. René El Attal
Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie
Landeskrankenhaus Feldkirch
Akademisches Lehrkrankenhaus
Carinagasse 47
6800 Feldkirch

Priv.-Doz. Mag. DDr. Stefan F. Fischerauer
Sektionsleiter Sport-, Knorpel- und
Gelenkchirurgie
Universitätsklinik f. Orthopädie und
Traumatologie Graz
Auenbruggerplatz 5
8036 Graz

Dr. Anne Kleiner
Ärztin in Ausbildung
Universitätsklinik für Orthopädie und
Unfallchirurgie Wien
Währinger Gürtel 18-20
1090 Wien

Univ.-Prof. Dr. Stefan Marlovits
Leiter des Arbeitskreises Knorpel der ÖGU
Zentrum für Knorpelregeneration, Orthobiologie
und Gelenkerhalt Wien
Heiligenstädter Str. 46-48
1190 Wien

Univ.-Prof. Dr. Stefan Nehrer, MSc
Dekan-Fakultät für Gesundheit und Medizin
Universität für Weiterbildung Krems
Dr.-Karl-Dorrek-Straße 30
3500 Krems

Dr. Florian Obwegeser, MSc
geschäftsführender Oberarzt
Stadtkrankenhaus Dornbirn
Lustenauer Str. 4
6850 Dornbirn

Dr. Markus Schreiner
Facharzt für Orthopädie und Traumatologie
Universitätsklinik für Orthopädie und
Unfallchirurgie Wien
Währinger Gürtel 18-20
1090 Wien

PD DDr. med. Philipp W. Winkler
Universitätsklinik für Orthopädie und
Traumatologie,
Kepler Universitätsklinikum, Johannes-Kepler-
Universität Linz,
Krankenhausstraße 9,
4020 Linz

Dr. Wolfgang Zinser Prim a.D. (DE)
Facharzt für Orthopädie und Traumatologie
Orthoexpert/EMCO Privat Klinik Bad
Dürrenberg/Privatklinik Graz Ragnitz
Gaalerstraße 69
8720 Knittelfeld

Literatur

1. Albrecht FH. [Closure of joint cartilage defects using cartilage fragments and fibrin glue]. *Fortschr Med.* 1983;101(37):1650–1652.
2. Andriolo L, Candrian C, Papio T, Cavicchioli A, Perdisa F, Filardo G. Osteochondritis Dissecans of the Knee - Conservative Treatment Strategies: A Systematic Review. *Cartilage.* 2019;10(3):267–277.
3. Armoiry X, Cummins E, Connock M, et al. Autologous Chondrocyte Implantation with Chondrosphere for Treating Articular Cartilage Defects in the Knee: An Evidence Review Group Perspective of a NICE Single Technology Appraisal. *Pharmacoeconomics.* 2019;37(7):879–886.
4. Arøen A, Løken S, Heir S, et al. Articular cartilage lesions in 993 consecutive knee arthroscopies. *Am J Sports Med.* 2004;32(1):211–215.
5. Behrens P, Bosch U, Bruns J, et al. [Indications and implementation of recommendations of the working group "Tissue Regeneration and Tissue Substitutes" for autologous chondrocyte transplantation (ACT)]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb.* 2004;142(5):529–539.
6. Behrens P, Ehlers EM, Köchermann KU, Rohwedel J, Russlies M, Plötz W. [New therapy procedure for localized cartilage defects. Encouraging results with autologous chondrocyte implantation]. *MMW Fortschr Med.* 1999;141(45):49–51.
7. Bentley G, Biant LC, Carrington RW, et al. A prospective, randomised comparison of autologous chondrocyte implantation versus mosaicplasty for osteochondral defects in the knee. *J Bone Joint Surg Br.* 2003;85(2):223–230.
8. Bentley G, Biant LC, Vijayan S, Macmull S, Skinner JA, Carrington RW. Minimum ten-year results of a prospective randomised study of autologous chondrocyte implantation versus mosaicplasty for symptomatic articular cartilage lesions of the knee. *J Bone Joint Surg Br.* 2012;94(4):504–509.
9. Berruto M, Ferrua P, Pasqualotto S, et al. Long-term follow-up evaluation of autologous chondrocyte implantation for symptomatic cartilage lesions of the knee: A single-centre prospective study. *Injury.* 2017;48(10):2230–2234.
10. Blanke F, Feitenhansl A, Haenle M, Vogt S. Arthroscopic Meniscectomy for the Treatment of Nontraumatic Osteochondritis Dissecans in the Knee Joint of Adult Patients. *Cartilage.* 2020;11(4):441–446.
11. Bode G, Schmal H, Pestka JM, Ogon P, Südkamp NP, Niemeyer P. A non-randomized controlled clinical trial on autologous chondrocyte implantation (ACI) in cartilage defects of the medial femoral condyle with or without high tibial osteotomy in patients with varus deformity of less than 5°. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2013;133(1):43–49.
12. Brittberg M. Knee osteochondritis dissecans-treatment technical aspects. *J Orthop.* 2022;34:104–110.
13. Brittberg M, Lindahl A, Nilsson A, Ohlsson C, Isaksson O, Peterson L. Treatment of deep cartilage defects in the knee with autologous chondrocyte transplantation. *N Engl J Med.* 1994;331(14):889–895.
14. Brownlow HC, O'Connor-Read LM, Perko M. Arthroscopic treatment of osteochondritis dissecans of the capitellum. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006;14(2):198–202.
15. Brun P, Dickinson SC, Zavan B, Cortivo R, Hollander AP, Abatangelo G. Characteristics of repair tissue in second-look and third-look biopsies from patients treated with engineered cartilage: relationship to symptomatology and time after implantation. *Arthritis Res Ther.* 2008;10(6):R132.
16. Cavendish PA, Everhart JS, Peters NJ, Sommerfeldt MF, Flanigan DC. Osteochondral Allograft Transplantation for Knee Cartilage and Osteochondral Defects: A Review of Indications, Technique, Rehabilitation, and Outcomes. *JBJS Rev.* 2019;7(6):e7.
17. Cotter EJ, Wang KC, Yanke AB, Chubinskaya S. Bone Marrow Aspirate Concentrate for Cartilage Defects of the Knee: From Bench to Bedside Evidence. *Cartilage.* 2018;9(2):161–170.

18. Curl WW, Krome J, Gordon ES, Rushing J, Smith BP, Poehling GG. Cartilage injuries: a review of 31,516 knee arthroscopies. *Arthroscopy*. 1997;13(4):456–460.
19. Dekker TJ, Aman ZS, DePhillipo NN, Dickens JF, Anz AW, LaPrade RF. Chondral Lesions of the Knee: An Evidence-Based Approach. *J Bone Joint Surg Am*. 2021;103(7):629–645.
20. Dhillon J, Decilveo AP, Kraeutler MJ, Belk JW, McCulloch PC, Scillia AJ. Third-Generation Autologous Chondrocyte Implantation (Cells Cultured Within Collagen Membrane) Is Superior to Microfracture for Focal Chondral Defects of the Knee Joint: Systematic Review and Meta-analysis. *Arthroscopy*. 2022;38(8):2579–2586.
21. DiBartola AC, Wright BM, Magnussen RA, Flanigan DC. Clinical Outcomes After Autologous Chondrocyte Implantation in Adolescents' Knees: A Systematic Review. *Arthroscopy*. 2016;32(9):1905–1916.
22. Dipaola JD, Nelson DW, Colville MR. Characterizing osteochondral lesions by magnetic resonance imaging. *Arthroscopy*. 1991;7(1):101–104.
23. Ehmann YJ, Zuche L, Schmitt A, et al. Excellent clinical and radiological outcomes after both open flake refixation and autologous chondrocyte implantation following acute patella dislocation and concomitant flake fractures. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2022;30(10):3334–3342.
24. Eldracher M, Orth P, Cucchiari M, Pape D, Madry H. Small subchondral drill holes improve marrow stimulation of articular cartilage defects. *Am J Sports Med*. 2014;42(11):2741–2750.
25. Enea D, Cecconi S, Calcagno S, Busilacchi A, Manzotti S, Gigante A. One-step cartilage repair in the knee: collagen-covered microfracture and autologous bone marrow concentrate. A pilot study. *Knee*. 2015;22(1):30–35.
26. Enea D, Cecconi S, Calcagno S, et al. Single-stage cartilage repair in the knee with microfracture covered with a resorbable polymer-based matrix and autologous bone marrow concentrate. *Knee*. 2013;20(6):562–569.
27. Faber S, Angele P, Zellner J, Bode G, Hochrein A, Niemeyer P. Comparison of Clinical Outcome following Cartilage Repair for Patients with Underlying Varus Deformity with or without Additional High Tibial Osteotomy: A Propensity Score-Matched Study Based on the German Cartilage Registry (KnorpelRegister DGOU). *Cartilage*. 2021;13(1_suppl):1206s–1216s.
28. Farr J, Tabet SK, Margerrison E, Cole BJ. Clinical, Radiographic, and Histological Outcomes After Cartilage Repair With Particulated Juvenile Articular Cartilage: A 2-Year Prospective Study. *Am J Sports Med*. 2014;42(6):1417–1425.
29. Filardo G, Andriolo L, Soler F, et al. Treatment of unstable knee osteochondritis dissecans in the young adult: results and limitations of surgical strategies-The advantages of allografts to address an osteochondral challenge. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2019;27(6):1726–1738.
30. Fossum V, Hansen AK, Wilsgaard T, Knutsen G. Collagen-Covered Autologous Chondrocyte Implantation Versus Autologous Matrix-Induced Chondrogenesis: A Randomized Trial Comparing 2 Methods for Repair of Cartilage Defects of the Knee. *Orthop J Sports Med*. 2019;7(9):2325967119868212.
31. Frodl A, Siegel M, Fuchs A, et al. Minced Cartilage Is a One-Step Cartilage Repair Procedure for Small Defects in the Knee-A Systematic-Review and Meta-Analysis. *J Pers Med*. 2022;12(11).
32. Gaissmaier C, Angele P, Spiro RC, Köhler A, Kirner A, Niemeyer P. Hydrogel-Based Matrix-Associated Autologous Chondrocyte Implantation Shows Greater Substantial Clinical Benefit at 24 Months Follow-Up than Microfracture: A Propensity Score Matched-Pair Analysis. *Cartilage*. 2024:19476035241235928.
33. Gao L, Goebel LKH, Orth P, Cucchiari M, Madry H. Subchondral drilling for articular cartilage repair: a systematic review of translational research. *Dis Model Mech*. 2018;11(6).
34. Gigante A, Cecconi S, Calcagno S, Busilacchi A, Enea D. Arthroscopic knee cartilage repair with covered microfracture and bone marrow concentrate. *Arthrosc Tech*. 2012;1(2):e175–180.

35. Gobbi A, Chaurasia S, Karnatzikos G, Nakamura N. Matrix-Induced Autologous Chondrocyte Implantation versus Multipotent Stem Cells for the Treatment of Large Patellofemoral Chondral Lesions: A Nonrandomized Prospective Trial. *Cartilage*. 2015;6(2):82–97.
36. Gobbi A, Karnatzikos G, Sankineani SR. One-step surgery with multipotent stem cells for the treatment of large full-thickness chondral defects of the knee. *Am J Sports Med*. 2014;42(3):648–657.
37. Gobbi A, Karnatzikos G, Scotti C, Mahajan V, Mazzucco L, Grigolo B. One-Step Cartilage Repair with Bone Marrow Aspirate Concentrated Cells and Collagen Matrix in Full-Thickness Knee Cartilage Lesions: Results at 2-Year Follow-up. *Cartilage*. 2011;2(3):286–299.
38. Gobbi A, Scotti C, Karnatzikos G, Mudhigere A, Castro M, Peretti GM. One-step surgery with multipotent stem cells and Hyaluronan-based scaffold for the treatment of full-thickness chondral defects of the knee in patients older than 45 years. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2017;25(8):2494–2501.
39. Hangody L, Füles P. Autologous osteochondral mosaicplasty for the treatment of full-thickness defects of weight-bearing joints: ten years of experimental and clinical experience. *J Bone Joint Surg Am*. 2003;85-A Suppl 2:25–32.
40. Hefti F, Beguiristain J, Krauspe R, et al. Osteochondritis dissecans: a multicenter study of the European Pediatric Orthopedic Society. *J Pediatr Orthop B*. 1999;8(4):231–245.
41. Hoemann C, Kandel R, Roberts S, et al. International Cartilage Repair Society (ICRS) Recommended Guidelines for Histological Endpoints for Cartilage Repair Studies in Animal Models and Clinical Trials. *Cartilage*. 2011;2(2):153–172.
42. Hussain N, Johal H, Bhandari M. An evidence-based evaluation on the use of platelet rich plasma in orthopedics - a review of the literature. *Sicot j*. 2017;3:57.
43. Jungmann PM, Gersing AS, Baumann F, et al. Cartilage repair surgery prevents progression of knee degeneration. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2019;27(9):3001–3013.
44. Jungmann PM, Welsch GH, Brittberg M, et al. Magnetic Resonance Imaging Score and Classification System (AMADEUS) for Assessment of Preoperative Cartilage Defect Severity. *Cartilage*. 2017;8(3):272–282.
45. Kocher MS, Micheli LJ, Yaniv M, Zurakowski D, Ames A, Adrignolo AA. Functional and radiographic outcome of juvenile osteochondritis dissecans of the knee treated with transarticular arthroscopic drilling. *Am J Sports Med*. 2001;29(5):562–566.
46. Kon E, Filardo G, Brittberg M, et al. A multilayer biomaterial for osteochondral regeneration shows superiority vs microfractures for the treatment of osteochondral lesions in a multicentre randomized trial at 2 years. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2018;26(9):2704–2715.
47. Kreuz PC, Erggelet C, Steinwachs MR, et al. Is microfracture of chondral defects in the knee associated with different results in patients aged 40 years or younger? *Arthroscopy*. 2006;22(11):1180–1186.
48. Kreuz PC, Steinwachs MR, Erggelet C, et al. Results after microfracture of full-thickness chondral defects in different compartments in the knee. *Osteoarthritis Cartilage*. 2006;14(11):1119–1125.
49. Kühle J, Angele P, Balcarek P, et al. Treatment of osteochondral fractures of the knee: a meta-analysis of available scientific evidence. *Int Orthop*. 2013;37(12):2385–2394.
50. Leitner L, Türk S, Heidinger M, et al. Trends and Economic Impact of Hip and Knee Arthroplasty in Central Europe: Findings from the Austrian National Database. *Sci Rep*. 2018;8(1):4707.
51. Méthot S, Changoor A, Tran-Khanh N, et al. Osteochondral Biopsy Analysis Demonstrates That BST-CarGel Treatment Improves Structural and Cellular Characteristics of Cartilage Repair Tissue Compared With Microfracture. *Cartilage*. 2016;7(1):16–28.
52. Minas T, Gomoll AH, Rosenberger R, Royce RO, Bryant T. Increased failure rate of autologous chondrocyte implantation after previous treatment with marrow stimulation techniques. *Am J Sports Med*. 2009;37(5):902–908.

53. Mistry H, Connock M, Pink J, et al. Autologous chondrocyte implantation in the knee: systematic review and economic evaluation. *Health Technol Assess.* 2017;21(6):1–294.
54. Mithoefer K, McAdams T, Williams RJ, Kreuz PC, Mandelbaum BR. Clinical efficacy of the microfracture technique for articular cartilage repair in the knee: an evidence-based systematic analysis. *Am J Sports Med.* 2009;37(10):2053–2063.
55. Moser LB, Bauer C, Otahal A, et al. Mincing bovine articular cartilage with commercially available shavers reduces the viability of chondrocytes compared to scalpel mincing. *J Exp Orthop.* 2023;10(1):97.
56. Niemeyer P, Albrecht D, Andereya S, et al. Autologous chondrocyte implantation (ACI) for cartilage defects of the knee: A guideline by the working group "Clinical Tissue Regeneration" of the German Society of Orthopaedics and Trauma (DGOU). *Knee.* 2016;23(3):426–435.
57. Niemeyer P, Albrecht D, Aurich M, et al. Empfehlungen der AG Klinische Geweberegeneration zur Behandlung von Knorpelschäden am Kniegelenk. *Z Orthop Unfall.* 2023;161(1):57–64.
58. Niemeyer P, Andereya S, Angele P, et al. [Autologous chondrocyte implantation (ACI) for cartilage defects of the knee: a guideline by the working group "Tissue Regeneration" of the German Society of Orthopaedic Surgery and Traumatology (DGOU)]. *Z Orthop Unfall.* 2013;151(1):38–47.
59. Niemeyer P, Porichis S, Steinwachs M, et al. Long-term outcomes after first-generation autologous chondrocyte implantation for cartilage defects of the knee. *Am J Sports Med.* 2014;42(1):150–157.
60. Orth P, Gao L, Madry H. Microfracture for cartilage repair in the knee: a systematic review of the contemporary literature. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2020;28(3):670–706.
61. Peterson L, Vasiliadis HS, Brittberg M, Lindahl A. Autologous chondrocyte implantation: a long-term follow-up. *Am J Sports Med.* 2010;38(6):1117–1124.
62. Rauch A, Rembeck E, Kohn L. [Operative treatment of cartilage lesions]. *Orthopade.* 2018;47(11):965–978.
63. Redondo ML, Beer AJ, Yanke AB. Cartilage Restoration: Microfracture and Osteochondral Autograft Transplantation. *J Knee Surg.* 2018;31(3):231–238.
64. Richter W. Mesenchymal stem cells and cartilage in situ regeneration. *J Intern Med.* 2009;266(4):390–405.
65. Riedl M, Vadalà G, Papalia R, Denaro V. Three-dimensional, Scaffold-Free, Autologous Chondrocyte Transplantation: A Systematic Review. *Orthop J Sports Med.* 2020;8(9):2325967120951152.
66. Roth A, Maus U. [Drug treatment of osteonecrosis]. *Orthopadie (Heidelb).* 2022;51(10):783–791.
67. Runer A, Ossendorff R, Öttl F, et al. Autologous minced cartilage repair for chondral and osteochondral lesions of the knee joint demonstrates good postoperative outcomes and low reoperation rates at minimum five-year follow-up. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2023;31(11):4977–4987.
68. Saltzman BM, Kuhns BD, Weber AE, Yanke A, Nho SJ. Stem Cells in Orthopedics: A Comprehensive Guide for the General Orthopedist. *Am J Orthop (Belle Mead NJ).* 2016;45(5):280–326.
69. Salzmänn GM, Ossendorff R, Gilat R, Cole BJ. Autologous Minced Cartilage Implantation for Treatment of Chondral and Osteochondral Lesions in the Knee Joint: An Overview. *Cartilage.* 2021;13(1_suppl):1124s–1136s.
70. Saris DB, Vanlauwe J, Victor J, et al. Characterized chondrocyte implantation results in better structural repair when treating symptomatic cartilage defects of the knee in a randomized controlled trial versus microfracture. *Am J Sports Med.* 2008;36(2):235–246.
71. Schmal H, Pestka JM, Salzmänn G, Strohm PC, Südkamp NP, Niemeyer P. Autologous chondrocyte implantation in children and adolescents. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21(3):671–677.

72. Skowroński J, Rutka M. Osteochondral lesions of the knee reconstructed with mesenchymal stem cells - results. *Ortop Traumatol Rehabil.* 2013;15(3):195–204.
73. Skowroński J, Skowroński R, Rutka M. Large cartilage lesions of the knee treated with bone marrow concentrate and collagen membrane--results. *Ortop Traumatol Rehabil.* 2013;15(1):69–76.
74. Sophia Fox AJ, Bedi A, Rodeo SA. The basic science of articular cartilage: structure, composition, and function. *Sports Health.* 2009;1(6):461–468.
75. Spahn G, Fritz J, Albrecht D, Hofmann GO, Niemeyer P. Characteristics and associated factors of knee cartilage lesions: preliminary baseline-data of more than 1000 patients from the German cartilage registry (KnorpelRegister DGOU). *Arch Orthop Trauma Surg.* 2016;136(6):805–810.
76. Vogelmann T, Roessler PP, Buhs M, et al. Long-term cost-effectiveness of matrix-associated chondrocyte implantation in the German health care system: a discrete event simulation. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2023;143(3):1417–1427.
77. Volz M, Schaumburger J, Frick H, Grifka J, Anders S. A randomized controlled trial demonstrating sustained benefit of Autologous Matrix-Induced Chondrogenesis over microfracture at five years. *Int Orthop.* 2017;41(4):797–804.
78. Widuchowski W, Widuchowski J, Trzaska T. Articular cartilage defects: study of 25,124 knee arthroscopies. *Knee.* 2007;14(3):177–182.