

# Persönliche PDF-Datei für Niethammer T, Aurich M, Brucker P, Faber S, Diemer F, Pietschmann M, Schoch W, Zinser W, Müller P.

Mit den besten Grüßen von Thieme

[www.thieme.de](http://www.thieme.de)

Nachbehandlung nach Knorpeltherapie am Kniegelenk – eine Empfehlung der AG Klinische Geweberegeneration der DGOU

Zeitschrift für  
Orthopädie und  
Unfallchirurgie

2024

10.1055/a-2206-7242

Dieser elektronische Sonderdruck ist nur für die Nutzung zu nicht-kommerziellen, persönlichen Zwecken bestimmt (z. B. im Rahmen des fachlichen Austauschs mit einzelnen Kolleginnen und Kollegen oder zur Verwendung auf der privaten Homepage der Autorin/des Autors). Diese PDF-Datei ist nicht für die Einstellung in Repositorien vorgesehen, dies gilt auch für soziale und wissenschaftliche Netzwerke und Plattformen.

**Copyright & Ownership**  
© 2024. Thieme. All rights reserved.  
Die Zeitschrift *Zeitschrift für Orthopädie und Unfallchirurgie* ist Eigentum von Thieme.  
Georg Thieme Verlag KG,  
Rüdigerstraße 14,  
70469 Stuttgart, Germany  
ISSN 1864-6697

# Nachbehandlung nach Knorpeltherapie am Kniegelenk – eine Empfehlung der AG Klinische Geweberegeneration der DGOU

## Follow-up Treatment after Cartilage Therapy of the Knee Joint – a Recommendation of the DGOU Clinical Tissue Regeneration Working Group

### Autorinnen/Autoren

Thomas R. Niethammer<sup>1</sup>, Matthias Aurich<sup>2,3</sup>, Peter U. Brucker<sup>4,5</sup>, Svea Faber<sup>1</sup>, Frank Diemer<sup>6</sup>, Matthias F. Pietschmann<sup>1,7</sup>, Wolfgang Schoch<sup>8</sup>, Wolfgang Zinser<sup>9,10</sup>, Peter E. Müller<sup>1</sup>

### Institute

- 1 Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Muskuloskelettales Universitätszentrum München (MUM), Klinikum der Universität München, LMU München, Deutschland
- 2 Department für Orthopädie, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum Halle (Saale), Deutschland
- 3 Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie, BG Klinikum Bergmannstrost, Halle (Saale), Deutschland
- 4 ATOS Klinik München, Deutschland
- 5 Biomechanik im Sport, Fakultät für Sport- und Gesundheitswissenschaften, Technische Universität München, Deutschland
- 6 DIGOTOR GbR, Brackenheim, Deutschland
- 7 OrthoPraxis Oberhaching, Oberhaching, Deutschland
- 8 PULZ im Rieselfeld, Freiburg, Deutschland
- 9 Orthoexpert, Knittelfeld, Österreich
- 10 Metagil Physikalisches Ambulatorium, Knittelfeld, Österreich

### Schlüsselwörter

Nachbehandlung, Knorpeltherapie, Knie, Rehabilitation

### Key words

aftercare, cartilage therapy, knee, rehabilitation

eingereicht 24.2.2023

akzeptiert nach Revision 1.11.2023

### Bibliografie

Z Orthop Unfall

DOI 10.1055/a-2206-7242

ISSN 1864-6697

© 2023, Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14, 70469 Stuttgart, Germany

### Korrespondenzadresse

Prof. Dr. med. Thomas Niethammer  
Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Muskuloskelettales Universitätszentrum München (MUM), Klinikum der Universität München, LMU München  
Marchioninistraße 15  
81377 München, Deutschland  
thomas.niethammer@med.uni-muenchen.de

English version at: <https://doi.org/10.1055/a-2206-7242>.

### ZUSAMMENFASSUNG

Die erste Nachbehandlungsempfehlung der AG Klinische Geweberegeneration der DGOU stammt aus dem Jahr 2012. Neue wissenschaftliche Evidenz und veränderte Rahmenbedingungen machten eine Aktualisierung der Nachbehandlungsempfehlungen nach Knorpeltherapie erforderlich.

Im Rahmen einer mehrstufigen Mitgliederbefragung wurde ein Konsensus erzielt, der gemeinsam mit der wissenschaftlichen Evidenz die Basis für die vorliegende Nachbehandlungsempfehlung gibt.

Das maßgebliche Kriterium für die Nachbehandlung ist weiterhin die Defektlokalisierung. Dabei wird zwischen femorotibialen und patellofemorale Defekten unterschieden. Zudem werden nun auch weiterführende Kriterien bez. der Knorpeldefekte berücksichtigt (stabiler Knorpelrand, Lage außerhalb der Hauptbelastungszone) und auf die unterschiedlichen Verfahren der Knorpeltherapie (z. B. osteochondrale Transplantation, Minced Cartilage) eingegangen.

Die vorliegende aktualisierte Nachbehandlungsempfehlung beinhaltet unterschiedliche Aspekte der Nachbehandlung, beginnend vom frühen perioperativen Management bis zur Sportfreigabe und Wiederaufnahme von Kontaktsport nach erfolgter Knorpeltherapie.

### ABSTRACT

The first follow-up treatment recommendation from the DGOU's Clinical Tissue Regeneration working group dates back to 2012. New scientific evidence and changed frame-

work conditions made it necessary to update the follow-up treatment recommendations after cartilage therapy.

As part of a multi-stage member survey, a consensus was reached which, together with the scientific evidence, provides the basis for the present follow-up treatment recommendation.

The decisive criterion for follow-up treatment is still the defect localisation. A distinction is made between femorotibial and patellofemoral defects. In addition, further criteria regarding

cartilage defects are now also taken into account (stable cartilage edge, location outside the main stress zone) and the different methods of cartilage therapy (e.g. osteochondral transplantation, minced cartilage) are discussed.

The present updated recommendation includes different aspects of follow-up treatment, starting with early perioperative management through to sports clearance and resumption of contact sports after cartilage therapy has taken place.

## Einleitung

Die Behandlung von Knorpelschäden im Kniegelenk hat in den letzten Jahren große Fortschritte gemacht und bietet immer mehr Möglichkeiten zur Wiederherstellung der Gelenkfunktion und Linderung von Schmerzen. Eine wichtige Phase in diesem Prozess ist die Nachbehandlung nach einer Knorpeltherapie am Kniegelenk. Nachdem der Eingriff erfolgreich durchgeführt wurde, spielt die Nachbehandlung eine entscheidende Rolle, um optimale Ergebnisse zu erzielen und eine schnelle Genesung zu gewährleisten.

Die Nachbehandlung nach einer Knorpeltherapie am Kniegelenk umfasst verschiedene Maßnahmen und Verfahren, die darauf abzielen, den Heilungsprozess zu unterstützen, die Stabilität des Knorpels zu verbessern und die Belastbarkeit des Kniegelenkes wiederherzustellen. Sie spielt eine wichtige Rolle bei der Förderung der Regeneration des behandelten Knorpelgewebes und der Vermeidung von Komplikationen.

Die vorliegende Arbeit hat sich mit verschiedenen Aspekten der Nachbehandlung auseinandergesetzt, wie z. B. die Dauer der Teilbelastung nach einer Knorpeltherapie am Kniegelenk, die Verwendung von Hilfsmitteln oder die Ruhigstellung postoperativ. Zudem wurden die Einflussfaktoren auf die Nachbehandlung wie z. B. die Lokalisation der Knorpelschäden, die unterschiedlichen knorpeltherapeutischen Verfahren oder eine zeit- bzw. kriterienbasierte Nachbehandlung diskutiert, um abschließend eine konkrete Empfehlung zur Nachbehandlung geben zu können.

Die Arbeitsgemeinschaft (AG) klinische Geweberegeneration der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie (DGOU) hat bislang mehrere Empfehlungen zur Behandlung von Knorpeldefekten am Kniegelenk veröffentlicht [1, 2]. Zuletzt wurde die Empfehlung zur Indikationsstellung im Jahr 2022 aktualisiert [3]. Die bislang einzige Empfehlung zur Nachbehandlung stammt aus dem Jahr 2012 und beschränkte sich auf die Nachbehandlung nach Knorpelzelltransplantation [4].

Aufgrund der sich stets verändernden Rahmenbedingungen und aufgrund des zunehmenden wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns war eine Aktualisierung der Empfehlung der AG Klinische Geweberegeneration zur Nachbehandlung nach Knorpeltherapie am Kniegelenk erforderlich. Die nun vorliegende aktualisierte Nachbehandlungsempfehlung beinhaltet nun alle derzeit gängigen knorpeltherapeutischen Verfahren am Kniegelenk.

## Methoden

Die vorliegende Empfehlung basiert auf einer 3-stufigen Umfrage, die innerhalb der Mitglieder der AG Klinische Geweberegeneration durchgeführt wurde. Die Konsensusgruppe setzte sich zusammen aus insgesamt 34 Mitgliedern der AG Klinische Geweberegeneration, die sich seit vielen Jahren sowohl wissenschaftlich als auch klinisch mit der Knorpeltherapie am Kniegelenk beschäftigen. Darunter waren sowohl Chirurgen als auch Physiotherapeuten.

Im Sinne eines Konsensusverfahrens wurde eine mehrstufige Mitgliederbefragung durchgeführt, wie sie bereits in anderen Konsensusverfahren angewandt wurde [3, 5]. Im Rahmen der 1. Umfrage wurde zunächst eine Bestandsaufnahme bzw. eine Beschreibung des Istzustands erhoben. Zudem wurden dabei strittige thematische Aspekte identifiziert. In einer 2. Umfrage wurden daraus 14 Aussagen formuliert, die mit der Angabe der wissenschaftlichen Evidenz versehen wurden. Die Aussagen konnten mit 5 Antwortmöglichkeiten beantwortet werden, von der Zustimmung bis zur kompletten Ablehnung inkl. einer Kommentarfunktion.

Basierend auf den Ergebnissen und Kommentaren wurden in der 3. Umfrage 14 finale Aussagen formuliert und zur Abstimmung gestellt, wobei nur noch 2 Antwortmöglichkeiten (Zustimmung/Ablehnung) ohne Kommentarfunktion möglich waren. Konsensus bestand bei einer Zustimmungsrate von >75%. Bei >95% bestand ein hoher Konsensus.

## Ergebnisse

Folgend werden die Ergebnisse der Umfrage dargestellt. Die Rücklaufquote lag bei 91,2%. Thematisch wurden bei der aktuellen Empfehlung die folgenden Schwerpunkte gesetzt: „Grundprinzipien“, „frühe Nachbehandlung“ innerhalb der ersten 6 Wochen postoperativ und „späte Nachbehandlung“ nach 6 Wochen postoperativ (► **Tab. 1**).

## Grundprinzipien

Bei der Art der Nachbehandlung wurde diskutiert, ob eine standardisierte oder phasenbasierte Nachbehandlung erfolgen soll. Die phasenbasierte Nachbehandlung umfasst dabei unterschiedliche Phasen, die aufeinander aufbauen. Jede Phase konzentriert sich auf bestimmte Ziele und Aktivitäten, die den Heilungsprozess fördern und die Belastbarkeit des Gewebes schrittweise erhöhen sollen. Die Therapie wird dabei individuell an den Patienten angepasst und kann Übungen, manuelle Techniken, Gerätetraining und andere Rehabilitationsmethoden umfassen.

► **Tab. 1** Ergebnisse des Delphi-Verfahrens.

Anzahl	finale Aussagen Delphi-Verfahren	Zustimmung	Evidenz
1	Nach einer Knorpeltherapie am Kniegelenk wird eine standardisierte Nachbehandlung nach festen Zeitintervallen empfohlen (Bsp.: 6 Wochen, 3, 6, 12 Monate postoperativ).	83,9%	Case Series
2	Bei engmaschiger klinischer und radiologischer (MRT) Verlaufskontrolle kann die Nachbehandlung nach Knorpeltherapie individuell befundabhängig erfolgen.	83,9%	Expert Opinion
3	Die Nachbehandlung nach einer Knorpeltherapie sollte in Abhängigkeit zur Defektlokalisierung (femorotibial/patellofemoral) durchgeführt werden. Es wird femorotibial eine 6-wöchige Teilbelastung mit 15 kg und Abrollbewegung empfohlen. Eine Einschränkung der Beweglichkeit durch eine Orthese kann individuell erfolgen, abhängig vom Defektausmaß und der Defektlokalisierung. Bei Defekten außerhalb der Belastungszone, bei Contained Defekten sowie nach OCT-Plastik kann eine schnellere Aufbelastung mit 15 kg TB für 4 Wochen erfolgen.	96,8%	Expert Opinion
4	Für die Nachbehandlung nach Knorpeltherapie patellofemoral wird eine Bewegungslimitierung mittels Hartrahmenorthese und Flexionslimitation von 30°, dann 60° und anschließend 90° für je 2 Wochen empfohlen, die Vollbelastung in Streckstellung ist erlaubt. Bei Defekten außerhalb der Belastungszone, bei Contained Defekten sowie nach OCT-Plastik kann eine schnellere Aufbelastung erfolgen mit freier Beweglichkeit, Vollbelastung in der Ebene und Teilbelastung beim Treppengehen für 6 Wochen.	87,1%	Expert Opinion
5	Es wird postoperativ bei der Krankengymnastik ein geschlossenes System empfohlen.	93,5%	Expert Opinion
6	Es wird postoperativ eine passive CPM-Schiene für 6 Wochen empfohlen (insgesamt 3 h/Tag).	93,5%	Case Series
7	Nach einer Knorpelzelltransplantation ist eine Ruhigstellung des Kniegelenkes für 24–48 h in Streckstellung sinnvoll zum Schutz des Transplantates.	93,5%	Expert Opinion
8	Nach einer Knorpeltherapie ist eine MRT-Untersuchung nach 12 Monaten postoperativ sinnvoll zur Qualitätskontrolle bzw. bei Beschwerden auch eher.	80,6%	Case Series
9	Die intraartikuläre Gabe von PRP und Hyaluronsäure ist nach einer Knorpeltherapie optional möglich.	100%	Expert Opinion
10	Eine EMS-Behandlung nach Knorpeltherapie erscheint zur Prävention des Muskelabbaus sinnvoll.	77,4%	Expert Opinion
11	Eine intraartikuläre Drainage ist nach Knorpeltherapie nicht zwangsläufig notwendig, Drainagen mit Sog sollten vermieden werden.	100%	Case Series
12	Nach 3 Monaten nach einer Knorpeltherapie werden leichte knieschonenden Sportarten wie Fahrradfahren und Schwimmen erlaubt.	100%	Case Series
13	Nach 6 Monaten nach einer Knorpeltherapie werden Low-Impact-Sportarten erlaubt (Walken, Wandern, Fahrradfahren, Tanzen, Golf, Langlauf).	96,7%	Case Series
14	Nach 12 Monaten nach einer Knorpeltherapie werden High-Impact-Sportarten erlaubt (Squash, Fußball, Handball, Volleyball, Basketball, Ski alpin, Joggen).	93,5%	Case Series

OCT: osteochondrale Transplantation; TB: Teilbelastung; CPM: Continuous Passive Motion; EMS: Elektromyostimulation; PRP: Platelet-rich Plasma

Bei der standardisierten Nachbehandlung handelt es sich hingegen um einen strukturierten Behandlungsansatz, der auf einem festgelegten Behandlungsprotokoll basiert. Dieses Protokoll definiert bestimmte Vorgaben für die Nachbehandlung, die bspw. in einem festen zeitlichen Rahmen erfolgen.

Die Mitgliederbefragung ergab einen Konsensus für eine standardisierte Nachbehandlung. Es wird eine Nachbehandlung nach festen Zeitintervallen empfohlen (83,9% Zustimmung, ► **Tab. 1**). Diese kann bspw. nach 6 Wochen, 3 Monaten, 6 Monaten und 12 Monaten postoperativ durchgeführt werden. Prinzipiell ist jedoch auch eine vom klinischen Befund abhängige individualisierte Nachbehandlung möglich. Diese sollte jedoch nur bei Sicherstellung einer engmaschigen klinischen und radiologischen Verlaufskontrolle mittels Magnetresonanztomografie (MRT) durchgeführt werden (83,9% Zustimmung, ► **Tab. 1**).

### Frühe Nachbehandlung < 6 Wochen postoperativ

Wie bereits in der bisherigen Nachbehandlungsempfehlung ist das wesentliche Kriterium für die Nachbehandlung die Lokalisation des behandelten Knorpeldefektes. Dabei wird zwischen femorotibialen und patellofemorale Defekten unterschieden. Es gab hierzu einen starken Konsensus mit einer Zustimmung von 96,8% (► **Tab. 1**).

Bei femorotibialen Knorpeldefekten wird eine 6-wöchige Teilbelastung mit 15–20 kg und Abrollbewegungen empfohlen. Eine Beweglichkeitseinschränkung durch eine Orthese kann individuell erfolgen, ist aber abhängig vom Defektausmaß und von der Defektlokalisierung (96,8% Zustimmung, ► **Tab. 1**).

Bei patellofemorale Knorpeldefekten wird eine Flexionslimitation von initial 30°, dann von 60°, abschließend 90° für jeweils 2 Wochen empfohlen mittels Hartrahmenorthese. Die Vollbelastung in Streckstellung ist erlaubt (87,1% Zustimmung, ► **Tab. 1**).

Prinzipiell besteht auch die Möglichkeit, die Nachbehandlung zu verkürzen. Dies sollte jedoch nur bei Knorpeldefekten außerhalb der Belastungszone, bei Contained Defekten mit einem stabilen Knorpelrand oder nach einer osteochondralen Transplantation erfolgen. Bei femorotibialen Knorpeldefekten erfolgt in diesem Fall eine Teilbelastung mit 15–20 kg für 4 Wochen. Eine schnellere Aufbelastung ist auch bei patellofemorale Defekten prinzipiell möglich mit einer freien Beweglichkeit, mit Vollbelastung in der Ebene und einer Teilbelastung beim Treppengehen für 6 Wochen.

Es zeigte sich eine 100%ige Zustimmung, dass intraartikuläre Drainagen nicht zwangsläufig notwendig sind und wenn möglich, vermieden werden sollten. Sollte eine Drainage in das Gelenk eingelegt werden, so sollte diese ohne Sog sein, um die Knorpeltherapie nicht zu gefährden (► **Tab. 1**).

Ebenso hat sich die AG Klinische Geweberegeneration zu 100% dafür ausgesprochen, dass intraartikuläre Injektionen nach einer Knorpeltherapie prinzipiell durchgeführt werden können; bspw. mit Platelet-rich Plasma (PRP) oder Hyaluronsäure (► **Tab. 1**).

Für alle knorpeltherapeutischen Verfahren wird eine CPM-Behandlung (CPM: Continuous Passive Motion) für 6 Wochen empfohlen. Diese sollte etwa 3 h pro Tag durchgeführt werden (93,5% Zustimmung, ► **Tab. 1**).

Zudem wird die Durchführung einer Kryotherapie sowie eine physiotherapeutische Behandlung im geschlossenen System empfohlen (93,5% Zustimmung, ► **Tab. 1**). Zusätzlich kann eine Elektrostimulationsbehandlung durchgeführt werden (77,4% Zustimmung, ► **Tab. 1**).

Lediglich nach einer Knorpelzelltransplantation wird eine Ruhigstellung für 24–48 h postoperativ in Streckstellung zum Schutz des Transplantates empfohlen (93,5% Zustimmung, ► **Tab. 1**).

### Späte Nachbehandlung > 6 Wochen postoperativ

Ein starker Konsensus konnte bei dem Zeitpunkt der Wiederaufnahme der sportlichen Betätigung erzielt werden. Die AG Klinische Geweberegeneration empfiehlt den Beginn mit knieschonenden Sportarten nach frühestens 3 Monaten postoperativ. Dazu werden explizit Fahrradfahren und Schwimmen empfohlen (100% Zustimmung, ► **Tab. 1**).

Low-Impact-Sportarten wie Walken, Wandern, Tanzen, Golf oder Langlauf sollten frühestens nach 6 Monaten nach einer Knorpeltherapie begonnen werden (96,7% Zustimmung, ► **Tab. 1**).

Zum Schutz des Knorpelregenerats wird empfohlen, mit High-Impact-Sportarten erst 12 Monate postoperativ nach einer Knorpeltherapie zu beginnen. Dazu werden bspw. gezählt: Squash, Fußball, Handball, Volleyball, Basketball, Ski alpin und Joggen (93,5% Zustimmung, ► **Tab. 1**). Bei der osteochondralen Transplantation ist eine Wiederaufnahme von High-Impact-Sportarten früher möglich, da hierbei kein Knorpelregenerat geschont werden muss. Diesbezüglich ist die osteochondrale Transplantation gerade für Profisportler mit kleinen osteochondralen Defekten geeignet, die idealerweise mit einem Zylinder versorgt werden können.

Eine MRT-Untersuchung nach einer Knorpeltherapie wird nach 12 Monaten postoperativ zur Qualitätskontrolle empfohlen (80,6% Zustimmung, ► **Tab. 1**).

## Diskussion

### Grundprinzipien

Die Nachbehandlung knorpelregenerativer Eingriffe, insbesondere nach autologer Chondrozytentransplantation (ACT), ist ein wissenschaftlich gut untersuchtes Thema. So existieren mehrere randomisiert-kontrollierte Studien mit einem Follow-up von bis zu 10 Jahren [6, 7, 8, 9, 10], die verschiedene Nachbehandlungsschemata verglichen. Darüber hinaus fokussierten sich einige kontrollierte Studien auf den Einfluss des Sportlevels und eines dementsprechend adaptierten Sportprogramms auf das Outcome und den Return to Sports [11, 12, 13].

Im Rahmen dieser Studie sprach man sich für eine standardisierte Nachbehandlung aus mit festen Zeitintervallen, d. h., dass man sich an der Wundheilung bzw. an der postoperativen Entwicklung des Knorpelregenerats orientiert. Des Weiteren erfordern manche trainingstherapeutischen Anpassungen (z. B. Vergrößerung der Muskelmasse) einen entsprechenden zeitlichen Rahmen. Hierbei gilt es jedoch zu beachten, dass eine exzessive Entzündungsreaktion das Knorpelregenerat und damit das Behandlungsergebnis gefährdet [14, 15, 16], was eine kriterienbasierte Nachbehandlung erfordert. Kriterienbasiert bedeutet, dass für die Progression innerhalb der Nachbehandlung bestimmte klinische (z. B. Reizzustand des Gelenks) oder funktionelle (z. B. regelrechtes, symmetrisches Gangbild) Meilensteine erreicht werden müssen.

Ein zeit- und kriterienbasiertes Arbeiten schließt sich nicht aus, sondern ergänzt sich und ermöglicht eine sichere Rückkehr zur Arbeit oder zum Sport. Sollte es der aktuelle Reizzustand des betroffenen Gelenks zulassen, so erfolgt weiter eine Anleitung zur Aktivierung und Kräftigung von Schlüssel Muskeln, um das postoperative Defizit so gering wie möglich zu halten.

Klinische Kriterien, die über die Progression der Nachbehandlung bestimmen:

- Schmerz: Zu Beginn sollte die Schmerzintensität im „grünen“ Bereich liegen (0–2/10). Des Weiteren sollten angeleitete Aktivitäten keine persistierenden Schmerzen auslösen. Spätestens am nächsten Morgen sollten sie auf das alte Niveau gesunken sein. Im weiteren Verlauf können höhere Schmerzintensitäten („gelb“) statthaft sein. Der „rote“ Bereich stellt keinen biopositiven Rahmen dar.
- Temperatur: Hyperthermien über dem betroffenen Gelenk können Anzeichen von exzessiven inflammatorischen Prozessen sein. Die Hauttemperatur sollte daher regelmäßig gemessen werden und sollte im Seitenvergleich nicht über 2° ansteigen [17]. Diese Temperaturmessung kann mittels Infrarotthermometer erfolgen.
- Schwellung: Eine Schwellungszunahme von mehr als 1 cm im Vergleich zum Ausgangszustand gilt als relevante Steigerung und sollte zu einer Modifikation der Belastungskonfiguration führen. Gemessen wird direkt vor der Trainingseinheit als Ausgangswert und direkt nach der Trainingseinheit als Vergleichswert. Die Messung sollte am liegenden Bein mit entspannter Quadrizepsmuskulatur oberhalb der Patella im Recessus suprapatellaris durchgeführt werden.

Funktionelle Kriterien, die über die Progression der Nachbehandlung bestimmen:

- Funktionelle Testverfahren: motorische Leistungen können einerseits durch qualitative (z. B. Beinachse bei der Landung) oder quantitative (z. B. Sprungweite) Kriterien/Tests überprüft und gesteuert werden. Häufig verwendete Testverfahren sind das Landing Errors Scoring System oder Sprungtests (Zweibein- oder Einbeinweitsprungtest)
- Kraft: Die Maximalkraft hat sowohl für die alltags- als auch die sportartspezifische Funktion eine übergeordnete Bedeutung. Werte können mit Fitnessgeräten (1 Wiederholungsmaximum), handgehaltenen Dynamometern oder auch Isokineten ermittelt werden.

### Frühe Nachbehandlung

Das Ausmaß der postoperativen Belastung des therapierten Beines spielt in der frühen Rehabilitation eine wichtige Rolle. Bereits in einer Übersichtsarbeit aus dem Jahr 2006, die Nachbehandlungsempfehlungen verschiedener Zentren untersuchte, wurde sichtbar, dass der Zeitpunkt der erlaubten Vollbelastung zwischen den verschiedenen Zentren stark variierte; bei patellofemorale Eingriffen zwischen 6 h und 12 Wochen [18].

Im Rahmen dieser Arbeit wurde festgehalten, dass die Nachbehandlung nach einer Knorpeltherapie in Abhängigkeit zur Defektlokalisierung (femorotibial/patellofemorale) durchgeführt werden sollte. Diese Empfehlung wird vor dem Hintergrund erstellt, dass die Patella in voller Streckung bis etwa 20° Beugung nicht und/oder nur in geringem Ausmaß mit der Trochlea artikuliert [19]. 2003 wurde im „Oscell-Protokoll“ eine direkte postoperative Vollbelastung bei einer erlaubten Range of Motion (ROM) von 0/0/30 empfohlen [20]. Diese Empfehlung wurde auch in einem Konsensus US-amerikanischer Orthopäden im Jahre 2020 ausgesprochen [21]. Diesbezüglich wird bei patellofemorale Knorpelschäden eine Flexionslimitation von 30°, dann 60° und anschließend 90° für je 2 Wochen empfohlen mit Vollbelastung in Streckstellung mittels Hartrahmenorthese. Eine wissenschaftliche Untersuchung im Sinne einer kontrollierten Studie oder einer gezielten klinischen und/oder radiologischen Aufarbeitung dieser frühen Vollbelastung hat bisher nicht stattgefunden.

Bei femorotibiale Knorpelschäden sollte hingegen eine 6-wöchige Teilbelastung mit 15 kg und Abrollbewegung durchgeführt werden um die Regeneratbildung nicht zu gefährden durch eine frühzeitige Belastung. 2008 haben Ebert et al. das Outcome nach 8 vs. 11 Wochen Teilbelastung anhand einer randomisiert-kontrollierten Studie untersucht, wobei eine kontinuierliche Steigerung der Belastung um 10–20% pro Woche ab Woche 2 möglich war [22]. Bei einem Follow-up von 3 Monaten kamen sie zu dem Ergebnis, dass es durch die zügigere Aufbelastung zum einen nicht zu Schäden am Transplantat gekommen ist und zum anderen die Patienten in der 8-Wochen-Gruppe weniger Schmerzen hatten und eine höhere Aktivität aufwiesen. Auch im 10-Jahres-Follow-up zeigten sich keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des funktionellen Outcomes oder der Versagensrate [7].

Wondrasch et al. untersuchten unter einem ebenfalls randomisiert-kontrollierten Studiendesign eine 6-wöchige vs. eine 8-wö-

chige Teilbelastung mit einem Follow-up von 2 Jahren und stellten hier keine Unterschiede im MR-morphologischen und funktionellen Outcome fest [10]. Diese 6- vs. 8-wöchige Teilbelastung, auch hier wieder mit kontinuierlicher Aufbelastung um 10–20% wöchentlich, publizierten Ebert et al. 2020 mit einem 5-Jahres-Follow-up und kamen auch hier zu dem Ergebnis, dass die schnellere Aufbelastung nicht mit erhöhten Risiken für das Transplantat verbunden ist [7].

In diesem Zusammenhang sei erwähnt, dass ein Konsensus bestand, dass die Dauer der Nachbehandlung bei der osteochondrale Transplantation und bei Defekten außerhalb der Belastungszone bzw. bei Contained Defekten auf 4 Wochen verkürzt werden kann, da das Transplantat weniger gefährdet ist.

Des Weiteren sprach man sich für eine unmittelbare postoperative Ruhigstellung der Kniegelenke für 24–48 h in Streckstellung zum Schutz des Transplantates aus. Eine postoperative Bettruhe, wie sie in der vorangegangenen Empfehlung zur Knorpelzelltransplantation empfohlen wurde, ist nach Meinung der Experten nicht mehr erforderlich.

### Continuous Passive Motion

Bezüglich der Behandlung mittels CPM-Schiene entschied man sich für eine 6-wöchige Therapie postoperativ. Der Einsatz von CPM-Schienen findet sich in einer Vielzahl von Studienprotokollen und Nachbehandlungsempfehlungen verschiedener Gesellschaften nach knorpelregenerativen Eingriffen wieder [7, 10, 20, 21]. Zu ihrem Einsatz nach knorpelregenerativen Therapien existieren jedoch keine randomisiert-kontrollierten Studien. In einzelnen Studien konnten jedoch sowohl funktionelle Vorteile als auch subjektive und histologische Vorteile anhand von Knorpelbiopsien hinsichtlich der hyalinen Knorpelqualität gezeigt werden [23]. Hierbei wurde die CPM-Schiene bis zu 8 h täglich eingesetzt [24, 25].

Bezüglich der Behandlung mithilfe intraartikulärer Medikamente besteht derzeit ein erheblicher Mangel an Studien, die die Wirksamkeit nach einer Knorpeltherapie belegen. Diesbezüglich wurde die Empfehlung zurückhaltend formuliert mit einer 100%igen Zustimmung, dass die intraartikuläre Gabe von PRP und Hyaluronsäure ist nach einer Knorpeltherapie optional möglich ist.

Hingegen sollte auf eine Drainage mit Sog nach einer Knorpeltherapie verzichtet werden. Generell wird das Einlegen einer Drainage als nicht zwangsläufig notwendig erachtet, da keine Studien vorliegen, die den Nutzen belegen.

### Späte Nachbehandlung

**Physiotherapeutische Aspekte** Es wird empfohlen, dass die postoperative physiotherapeutische Behandlung im geschlossenen System erfolgen soll. Übungen im geschlossenen System (fest fixierter Fuß) erhielten mit 93,5% ebenfalls eine hohe Zustimmung im Gegensatz zum offenen System (frei beweglicher Fuß). Der Hintergrund hierfür sind vermutlich historisch fest verankerte Ängste vor übermäßigen Scherkräften bei Übungen in der offenen kinetischen Kette. Vom biomechanischen Gesichtspunkt ist die Generierung von Scher- und Kompressionskräften nicht von einem bestimmten System abhängig, sondern von der Übungsausführung im jeweiligen System [26, 27]. Betrachtet man darüber hinaus das persistierende Quadrizepsdefizit von operativ versorgten

Knorpelpatienten [28], den funktionellen Nutzen von isolierten Übungen im offenen System auf einzelne Muskeln [29], die unterschiedlichen Aktivierungsmuster von verschiedenen Trainingsübungen [30] und auch die bessere Toleranz isolierter Übungen bei Patienten mit einem hohen BMI [31], so sollte in der Zukunft für Übungen in beiden Systemen eine Empfehlung ausgesprochen werden.

Die elektrische Muskelstimulation (EMS) nach Knorpeltherapie erhält mit 77,4% im Vergleich eine eher geringe Zustimmung. Daher wurde die folgende Empfehlung zur EMS-Therapie eher zurückhaltend formuliert. Eine EMS-Behandlung nach Knorpeltherapie erscheint zur Prävention des Muskelabbaus sinnvoll. Die Literatur zeigt, dass präoperativ deutliche Kraftdefizite der wichtigsten Gelenkstabilisatoren vorhanden sind [32, 33] und diese auch Jahre nach der Operation persistieren können [28, 34]. Die daraus resultierenden funktionellen Defizite führen zu schlechteren Werten der subjektiv angegebenen Leistungsfähigkeit, geringeren Return-to-Sports-Raten und früherer Degeneration [35, 36, 37]. Dabei scheint die arthrogene Muskelinhibition nach Operation eine entscheidende Rolle zu spielen [38, 39, 40]. Trotz guter Evidenz, die EMS als begleitende Maßnahme zur willkürlichen Aktivierung, Muskelkräftigung und funktionellen Wiederherstellung einzusetzen [41, 42, 43], zeigt sich, dass der klinische Wert dieser Methode nicht allgemein anerkannt ist. Spector et al. beschreiben in ihrer Übersichtsarbeit, wie ein Best-Practice-Modell für den Einsatz in der postoperativen Nachsorge aussehen kann [44]. Die EMS sollte als begleitende Maßnahme zur Verbesserung der Aktivierung wichtiger Gelenkstabilisatoren empfohlen werden.

**Sportliche Belastung** Für eine erfolgreiche Nachbehandlung scheint jedoch auch die präoperative sportliche Aktivität eine Rolle zu spielen: So wiesen Patienten, die sich vor Symptombeginn 1–3-mal wöchentlich sportlich betätigt haben, ein besseres funktionelles Ergebnis auf, als Patienten, die sich lediglich 1–3-mal pro Monat sportlich betätigten [12].

In den von Ebert et al. publizierten Studienprotokollen waren propriozeptive Übungen, Radfahren, Gehen und Übungen in geschlossener kinematischer Kette ab der 7. Woche erlaubt; die Nutzung des Ruderergometers, eines Cross-Trainers sowie anspruchsvollere Übungen in offener und geschlossener Kette ab dem 3. Monat zugelassen [6]. Ab dem 6. Monat konnte mit dem Joggen auf dem Laufband begonnen werden und die Schwierigkeit der propriozeptiven und maximalkrafttrainierenden Übungen gesteigert werden, sodass ein Wiedereinstieg in Vollkontaktsportarten ab dem 12. Monat ermöglicht werden sollte. Ähnliche Meilensteine in der Rehabilitation des 1. Jahres nach knorpelregenerativen Therapien werden auch von anderen Gruppen auf Basis biomechanischer Untersuchungen in evidenzbasierten Rehabilitations- oder Studienprotokollen vorgeschlagen [11, 45, 46, 47]. Diesbezüglich bestand Konsensus, dass mit knieschonenden Sportarten nach 3 Monaten und mit Low-Impact-Sportarten nach 6 Monaten begonnen werden kann.

Die Sportfreigabe ist auch davon abhängig, welche Sportart durchgeführt wird. Wir wissen aus klinischen Studien, dass der Beginn von High-Impact-Sportarten innerhalb der ersten 12 Monate nach einer Knorpelzelltransplantation zu schlechteren klinischen Ergebnissen führt [13]. Diesbezüglich sprach man sich im Rahmen

dieser Empfehlung für eine Wiederaufnahme von High-Impact-Sportarten erst nach 12 Monaten postoperativ aus.

Die Rückkehr zum Sport bzw. zum Wettkampf (Return to Sports/Competition) ist eine wichtige Messgröße bei Gelenkverletzungen, da Sportler besonders daran interessiert sind, möglichst schnell zum Aktivitätsniveau wie vor der Verletzung (Pre-Injury Level) zurückzukehren. Obwohl bei jedem chirurgischen Eingriff viele Ergebnisvariablen berücksichtigt werden, konzentriert sich die Variable „Rückkehr zum Sport“ auf eine aktive Population und kann auf die sportspezifischen Ziele des Patienten zugeschnitten werden [48].

Trotz insgesamt zufriedenstellender Ergebnisse nach Knorpelreparatur scheint es je nach verwendeter Operationstechnik Unterschiede in den Ergebnissen zu geben [49]. In einer anderen Metaanalyse von Hurley et al. [50] wurde auch festgestellt, dass OCT (osteochoдрale Transplantation) die höchste Rückkehrrate zum Sport aufweist (88,2%), während osteochoдрale Allograft-Transplantation (OCT) die niedrigste Quote (77,1%) aufweist. Die Rückkehr zum Spielniveau vor der Verletzung war am höchsten bei OCT (79,3 %) und am niedrigsten bei ACT (57,3 %). Der Zeitpunkt der Rückkehr zum Spiel war in dieser Studie ähnlich wie in der vorherigen Überprüfung, wobei OCT die kürzeste Zeit bis zur Rückkehr (4,9 Monate) und ACT die längste Zeit bis zur Rückkehr (11,6 Monate) zeigte.

In einer systematischen Literaturrecherche von Campbell et al. [51] zur Knorpelreparatur in Kniegelenken von Athleten wurden 20 Level-I- bis -IV-Studien mit insgesamt 1117 Patienten ausgewertet. Dabei zeigte sich, dass OCT und ACT im Vergleich zu BMS (bone marrow stimulation) statistisch signifikant höhere Rückkehr Raten zum Sport hatten (89% und 84% im Vergleich zu 75%).

Hierbei muss berücksichtigt werden, dass auch unterschiedliche Nachbehandlungsschemata die Rückkehrrate sowie den Zeitpunkt bis zur Rückkehr zum Sport beeinflussen kann. Es besteht eine große Heterogenität bez. der Richtlinien für das „Return to Play“ nach Knorpelrekonstruktion des Sportlerkniees. Obwohl in der Literatur viele verschiedene Kriterien verwendet werden, sind die meisten zeitbasiert. Obwohl zeitbasierte Kriterien einfach und leicht zu befolgen sind, erfüllen sie nicht die individuellen Bedürfnisse jedes Athleten. Objektive und subjektive Patientenwerte wie Schmerz, Schwellung, Bewegungsumfang und Kraft sollten berücksichtigt werden, wenn eine Rückkehr zum Sport in Erwägung gezogen wird. Return-to-Play-Richtlinien wurden in der Literatur zur vorderen Kreuzbandruptur ausführlicher untersucht [52].

Bildgebungsbasierte Kriterien wurden als Mittel zur Bewertung der Gewebeheilung an der Stelle der Knorpelreparatur bez. der Frage ausgewertet, ob sie ausreichend sind, um physiologische sportliche Belastungen zu berücksichtigen. Fortschritte in der morphologischen und biochemischen MRT haben zu einer besseren Visualisierung und Bewertung der Qualität von Knorpelreparaturgewebe geführt und können offenbar bei der chirurgischen Nachsorge und der Freigabe für die Rückkehr zum Sport nützlich sein [53]. Dabei ist insbesondere auf die Integrität und die Signalintensität des Knorpelreparaturgewebes zu achten. Des Weiteren kann ein defektbezogenes Knochenmarködem ein Hinweis sein, dass eine übermäßige Belastung des Knorpelreparaturgewebes vorliegt.

Die Durchführung eines umfassenden postoperativen Rehabilitationsprogramms mithilfe eines multidisziplinären Teams ist ebenfalls entscheidend für eine sichere und rechtzeitige Rückkehr zum Sport. Dabei sollte für jeden Athleten ein individueller Ansatz verwendet werden, der die Verletzungscharakteristik, die verwendete Operationstechnik, die Symptome und den psychologischen Status des Athleten, wie auch sport spezifische Anforderungen berücksichtigt. Ein schrittweises Programm, das sich auf die Erfüllung klar definierter Leistungskriterien statt auf feste Zeitpunkte stützt, bietet Spitzensportlern den effektivsten Weg, um zum Sport zurückzukehren [54].

### Magnetresonanztomografie

Im Rahmen dieser Empfehlung sprach man sich mit 80,6% Zustimmung dafür aus, eine MRT-Untersuchung nach 12 Monaten postoperativ durchzuführen, unabhängig von der oben beschriebenen engmaschigen klinischen und radiologischen Nachkontrolle mit individueller Nachbehandlung. Die MRT-Untersuchung nach 12 Monaten sollte als Qualitätskontrolle für die Knorpeltherapie durchgeführt werden. Sollten Beschwerden im 1. Jahr nach einer Knorpeltherapie auftreten, wird eine frühere MRT-Untersuchung empfohlen.

Bezüglich der Bildgebung wird im Folgenden die Empfehlung basierend auf der Literatur gegeben. Das Kniegelenk sollte immer in 3 Ebenen untersucht werden. Die Standard-MRT-Diagnostik des Kniegelenkes erfolgt nativ zur Beurteilung von Knochen, Sehnen/Bändern, Menisken und Knorpel. Kontrastmittel kommt nur bei bestimmten Fragestellungen zum Einsatz.

Für eine adäquate MRT-Diagnostik am Kniegelenk wird ein Field of View (FOV) von 160 mm empfohlen, die Schichtdicke sollte  $\leq 3$  mm betragen bei einer In-Plane-Ortsauflösung von mindestens  $0,6 \times 0,6$ , besser aber  $\leq 0,4 \times 0,4$  mm.

Die Basis der Kniegelenk-MRT-Diagnostik ist die Anwendung von wassersensitiven Sequenzen mit Elimination des Fettsignals. Die häufigsten angewandten Verfahren sind die relaxationszeitabhängige (STIR) und frequenzselektive (FS = fatsat, SPIR) Fettsignalunterdrückung.

Die Sensitivität für frische Verletzungen an Bändern, Sehnen und Muskeln, für Knochenmarkveränderungen und die Knorpelbeurteilung wird durch Fettsättigungstechniken verbessert. Daher sollten mindestens 2 Ebenen mit Fettsättigung gemessen werden.

Gradientenechosequenzen, wie z.B. die True-FISP-Sequenz (True Fast Imaging with Steady Precession) mit Water Excitation, können für die Knorpelbeurteilung hilfreich sein.

Die STIR-Sequenz (Short Tau Inversion Recovery) ist die Sequenz mit der höchsten Wassersensitivität und daher exzellent zur Detektion von Knochenmarködemen geeignet. Allerdings weist sie ein vergleichsweise schlechtes Signal-zu-Rausch-Verhältnis, eine schlechtere Auflösung und eine erhöhte Schichtdicke auf. Daher erfordert die STIR i. d. R. als zusätzliche Anwendung eine anatomisch höher auflösende Sequenz.

Wenigstens eine native T1-gewichtete (T)SE-Sequenz sollte angefertigt werden, um ggf. Zufallsbefunde des Knochenmarks besser differenzieren zu können.

Die intravenöse Gabe von Kontrastmittel in der Kniegelenk-MRT ist speziellen Fragestellungen zur additiven Tumor-, Entzündungs-

und Infektdiagnostik vorbehalten. Die Angaben basieren auf Empfehlungen der AG Bildgebende Verfahren des Bewegungsapparates (AG BVB) der Deutschen Röntgengesellschaft (DRG) [55].

### Limitationen

Diese Empfehlung stützt sich auf die vorliegende Literatur zu den einzelnen Themen sowie auf die Meinung von Experten der Knorpeltherapie am Kniegelenk. Diesbezüglich ist die Aussagefähigkeit der vorliegenden Empfehlung durch den Mangel an randomisierten kontrollierten Studien limitiert. Der Evidenzgrad mehrerer Aussagen beruht somit auf der Meinung von Experten und kann nicht durch klinische Studien belegt werden.

Im Rahmen dieser Empfehlung wurde eine mehrstufige Umfrage zur Schwerpunktsetzung und Erstellung der finalen Aussagen durchgeführt. Diese Art der Konsensusbildung wurde in der Vergangenheit auch in anderen Studien genutzt und erscheint für ein problemorientiertes Vorgehen mehrerer Teilnehmer geeignet [3, 5].

### Zusammenfassung und Fazit für die Praxis

- Nach einer Knorpeltherapie am Kniegelenk wird eine standardisierte Nachbehandlung nach festen Zeitintervallen empfohlen (Bsp.: 6 Wochen, 3, 6, 12 Monate postoperativ).
- Bei engmaschiger klinischer und radiologischer (MRT) Verlaufskontrolle kann die Nachbehandlung nach Knorpeltherapie individuell befundabhängig erfolgen.
- Die Nachbehandlung nach einer Knorpeltherapie sollte in Abhängigkeit zur Defektlokalisierung (femorotibial/patellofemorale) durchgeführt werden.
- Es wird femorotibial eine 6-wöchige Teilbelastung mit 15 kg und Abrollbewegung empfohlen. Eine Einschränkung der Beweglichkeit durch eine Orthese kann individuell erfolgen abhängig vom Defektausmaß und der Defektlokalisierung.
- Bei Defekten außerhalb der Belastungszone, bei Contained Defekten sowie nach OCT-Plastik kann eine schnellere Aufbelastung mit 15 kg TB für 4 Wochen erfolgen.
- Für die Nachbehandlung nach Knorpeltherapie patellofemorale wird eine Bewegungslimitierung mittels Hartrahmenorthese und Flexionslimitation von 30°, dann 60° und anschließend 90° für je 2 Wochen empfohlen, die Vollbelastung in Streckstellung ist erlaubt.
- Bei Defekten außerhalb der Belastungszone, bei Contained Defekten sowie nach OCT-Plastik kann eine schnellere Aufbelastung erfolgen mit freier Beweglichkeit, Vollbelastung in der Ebene und Teilbelastung beim Treppengehen für 6 Wochen.
- Es wird postoperativ bei der Krankengymnastik ein geschlossenes System empfohlen.
- Es wird postoperativ eine passive CPM-Schiene für 6 Wochen empfohlen (insgesamt 3 h/Tag).
- Nach einer Knorpelzelltransplantation ist eine Ruhigstellung des Kniegelenkes für 24–48 h in Streckstellung sinnvoll zum Schutz des Transplantates.
- Nach einer Knorpeltherapie ist eine MRT-Untersuchung nach 12 Monaten postoperativ sinnvoll zur Qualitätskontrolle bzw. bei Beschwerden auch eher.



- Die intraartikuläre Gabe von PRP und Hyaluronsäure ist nach einer Knorpeltherapie optional möglich.
- Eine EMS-Behandlung nach Knorpeltherapie erscheint zur Prävention des Muskelabbaus sinnvoll.
- Eine intraartikuläre Drainage ist nach Knorpeltherapie nicht zwangsläufig notwendig, Drainagen mit Sog sollten vermieden werden.
- Nach 3 Monaten nach einer Knorpeltherapie werden leichte knieschonende Sportarten wie Fahrradfahren/Schwimmen erlaubt.
- Nach 6 Monaten nach einer Knorpeltherapie werden Low-Impact-Sportarten erlaubt (Walken, Wandern, Fahrradfahren, Tanzen, Golf, Langlauf).
- Nach 12 Monaten nach einer Knorpeltherapie werden High-Impact-Sportarten erlaubt (Squash, Fußball, Handball, Volleyball, Basketball, Ski alpin, Joggen).

### Interessenkonflikt

Die Autorinnen/Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

### Literatur

- [1] 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: 529–539. doi:10.1055/s-2004-832353
- [2] 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: 38–47. doi:10.1055/s-0032-1328207
- [3] Niemeyer P, Albrecht D, Aurich M et al. Empfehlungen der AG Klinische Geweberegeneration zur Behandlung von Knorpelschaden am Kniegelenk. *Z Orthop Unfall* 2023; 161: 57–64. doi:10.1055/a-1663-6807
- [4] Pietschmann MF, Horng A, Glaser C et al. [Post-treatment rehabilitation after autologous chondrocyte implantation: State of the art and recommendations of the Clinical Tissue Regeneration Study Group of the German Society for Accident Surgery and the German Society for Orthopedics and Orthopedic Surgery]. *Unfallchirurg* 2014; 117: 235–241. doi:10.1007/s00113-012-2293-x
- [5] Guenther D, Pfeiffer T, Petersen W et al. Treatment of Combined Injuries to the ACL and the MCL Complex: A Consensus Statement of the Ligament Injury Committee of the German Knee Society (DKG). *Orthop J Sports Med* 2021; 9: 23259671211050929. doi:10.1177/23259671211050929
- [6] Ebert JR, Edwards PK, Fallon M et al. Two-Year Outcomes of a Randomized Trial Investigating a 6-Week Return to Full Weightbearing After Matrix-Induced Autologous Chondrocyte Implantation. *Am J Sports Med* 2017; 45: 838–848. doi:10.1177/0363546516673837
- [7] Ebert JR, Fallon M, Ackland TR et al. Minimum 10-Year Clinical and Radiological Outcomes of a Randomized Controlled Trial Evaluating 2 Different Approaches to Full Weightbearing After Matrix-Induced Autologous Chondrocyte Implantation. *Am J Sports Med* 2020; 48: 133–142. doi:10.1177/0363546519886548
- [8] Ebert JR, Fallon M, Wood DJ et al. An accelerated 6-week return to full weight bearing after matrix-induced autologous chondrocyte implantation results in good clinical outcomes to 5 years post-surgery. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2021; 29: 3825–3833. doi:10.1007/s00167-020-06422-6
- [9] Ebert JR, Fallon M, Zheng MH et al. A randomized trial comparing accelerated and traditional approaches to postoperative weightbearing rehabilitation after matrix-induced autologous chondrocyte implantation: findings at 5 years. *Am J Sports Med* 2012; 40: 1527–1537. doi:10.1177/0363546512445167
- [10] Wondrasch B, Risberg MA, Zak L et al. Effect of accelerated weightbearing after matrix-associated autologous chondrocyte implantation on the femoral condyle: a prospective, randomized controlled study presenting MRI-based and clinical outcomes after 5 years. *Am J Sports Med* 2015; 43: 146–153. doi:10.1177/0363546514554910
- [11] Della Villa S, Kon E, Filardo G et al. Does intensive rehabilitation permit early return to sport without compromising the clinical outcome after arthroscopic autologous chondrocyte implantation in highly competitive athletes? *Am J Sports Med* 2010; 38: 68–77. doi:10.1177/0363546509348490
- [12] Kreuz PC, Steinwachs M, Erggelet C et al. Importance of sports in cartilage regeneration after autologous chondrocyte implantation: a prospective study with a 3-year follow-up. *Am J Sports Med* 2007; 35: 1261–1268. doi:10.1177/0363546507300693
- [13] Niethammer TR, Müller PE, Safi E et al. Early resumption of physical activities leads to inferior clinical outcomes after matrix-based autologous chondrocyte implantation in the knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2014; 22: 1345–1352. doi:10.1007/s00167-013-2583-z
- [14] Li M, Yin H, Yan Z et al. The immune microenvironment in cartilage injury and repair. *Acta Biomater* 2022; 140: 23–42. doi:10.1016/j.actbio.2021.12.006
- [15] Khella CM, Horvath JM, Asgarian R et al. Anti-Inflammatory Therapeutic Approaches to Prevent or Delay Post-Traumatic Osteoarthritis (PTOA) of the Knee Joint with a Focus on Sustained Delivery Approaches. *Int J Mol Sci* 2021; 22: 8005. doi:10.3390/ijms22158005
- [16] Scotti C, Gobbi A, Karnatzikos G et al. Cartilage Repair in the Inflamed Joint: Considerations for Biological Augmentation Toward Tissue Regeneration. *Tissue Eng Part B Rev* 2016; 22: 149–159. doi:10.1089/ten.TEB.2015.0297
- [17] Diemer F. Temperaturmessung. *Sportphysio* 2021; 09: 92–97. doi:10.1055/a-1338-7538
- [18] Hambly K, Bobic V, Wondrasch B et al. Autologous chondrocyte implantation postoperative care and rehabilitation: science and practice. *Am J Sports Med* 2006; 34: 1020–1038. doi:10.1177/0363546505281918
- [19] McGinty G, Irrgang JJ, Pezullo D. Biomechanical considerations for rehabilitation of the knee. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2000; 15: 160–166. doi:10.1016/s0268-0033(99)00061-3
- [20] Bailey A, Goodstone N, Roberts S et al. Rehabilitation After Oswestry Autologous-Chondrocyte Implantation: The OsCell Protocol. *J Sport Rehabil* 2003; 12: 104–118. doi:10.1123/jsr.12.2.104
- [21] Flanigan DC, Sherman SL, Chilelli B et al. Consensus on Rehabilitation Guidelines among Orthopedic Surgeons in the United States following Use of Third-Generation Articular Cartilage Repair (MACI) for Treatment of Knee Cartilage Lesions. *Cartilage* 2021; 13: 1782S–1790S. doi:10.1177/1947603520968876
- [22] Ebert JR, Robertson WB, Lloyd DG et al. Traditional vs accelerated approaches to post-operative rehabilitation following matrix-induced autologous chondrocyte implantation (MACI): comparison of clinical, biomechanical and radiographic outcomes. *Osteoarthritis Cartilage* 2008; 16: 1131–1140. doi:10.1016/j.joca.2008.03.010
- [23] Rogan S, Taeymans J, Hirschmüller A et al. [Effect of continuous passive motion for cartilage regenerative surgery – a systematic literature review]. *Z Orthop Unfall* 2013; 151: 468–474. doi:10.1055/s-0033-1350707

- [24] Marder RA, Hopkins G, jr, Timmerman LA. Arthroscopic microfracture of chondral defects of the knee: a comparison of two postoperative treatments. *Arthroscopy* 2005; 21: 152–158. doi:10.1016/j.arthro.2004.10.009
- [25] Minas T, Gomoll AH, Solhpour S et al. Autologous chondrocyte implantation for joint preservation in patients with early osteoarthritis. *Clin Orthop Relat Res* 2010; 468: 147–157. doi:10.1007/s11999-009-0998-0
- [26] Smidt GL. Biomechanical analysis of knee flexion and extension. *J Biomech* 1973; 6: 79–92. doi:10.1016/0021-9290(73)90040-7
- [27] Kulas AS, Hortobagyi T, DeVita P. Trunk position modulates anterior cruciate ligament forces and strains during a single-leg squat. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2012; 27: 16–21. doi:10.1016/j.clinbiomech.2011.07.009
- [28] Schmitt LC, Quatman CE, Paterno MV et al. Functional outcomes after surgical management of articular cartilage lesions in the knee: a systematic literature review to guide postoperative rehabilitation. *J Orthop Sports Phys Ther* 2014; 44: 565–578. doi:10.2519/jospt.2014.4844
- [29] Buckthorpe M, La Rosa G, Villa FD. Restoring Knee Extensor Strength after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Clinical Commentary. *Int J Sports Phys Ther* 2019; 14: 159–172
- [30] Stien N, Saeterbakken AH, Andersen V. Electromyographic Comparison of Five Lower-Limb Muscles between Single- and Multi-Joint Exercises among Trained Men. *J Sports Sci Med* 2021; 20: 56–61. doi:10.52082/jssm.2021.56
- [31] Bennell KL, Dobson F, Roos EM et al. Influence of Biomechanical Characteristics on Pain and Function Outcomes From Exercise in Medial Knee Osteoarthritis and Varus Malalignment: Exploratory Analyses From a Randomized Controlled Trial. *Arthritis Care Res (Hoboken)* 2015; 67: 1281–1288. doi:10.1002/acr.22558
- [32] Hirschmüller A, Andres T, Schoch W et al. Quadriceps Strength in Patients With Isolated Cartilage Defects of the Knee: Results of Isokinetic Strength Measurements and Their Correlation With Clinical and Functional Results. *Orthop J Sports Med* 2017; 5: 2325967117703726. doi:10.1177/2325967117703726
- [33] Mosler AB, Kemp J, King M et al. Standardised measurement of physical capacity in young and middle-aged active adults with hip-related pain: recommendations from the first International Hip-related Pain Research Network (IHiPRN) meeting, Zurich, 2018. *Br J Sports Med* 2020; 54: 702–710. doi:10.1136/bjsports-2019-101457
- [34] Kierkegaard S, Mechlenburg I, Lund B et al. Is hip muscle strength normalised in patients with femoroacetabular impingement syndrome one year after surgery?: Results from the HAFAL cohort. *J Sci Med Sport* 2019; 22: 413–419. doi:10.1016/j.jsams.2018.10.004
- [35] Pietrosimone B, Lepley AS, Harkey MS et al. Quadriceps Strength Predicts Self-reported Function Post-ACL Reconstruction. *Med Sci Sports Exerc* 2016; 48: 1671–1677. doi:10.1249/MSS.0000000000000946
- [36] Pietrosimone B, Pfeiffer SJ, Harkey MS et al. Quadriceps weakness associates with greater T1rho relaxation time in the medial femoral articular cartilage 6 months following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2019; 27: 2632–2642. doi:10.1007/s00167-018-5290-y
- [37] Nawasreh Z, Logerstedt D, Cummer K et al. Functional performance 6 months after ACL reconstruction can predict return to participation in the same preinjury activity level 12 and 24 months after surgery. *Br J Sports Med* 2018; 52: 375. doi:10.1136/bjsports-2016-097095
- [38] Lepley AS, Lepley LK. Mechanisms of Arthrogenic Muscle Inhibition. *J Sport Rehabil* 2022; 31: 707–716. doi:10.1123/jsr.2020-0479
- [39] Rice DA, McNair PJ, Lewis GN et al. Quadriceps arthrogenic muscle inhibition: the effects of experimental knee joint effusion on motor cortex excitability. *Arthritis Res Ther* 2014; 16: 502. doi:10.1186/s13075-014-0502-4
- [40] Hart JM, Pietrosimone B, Hertel J et al. Quadriceps activation following knee injuries: a systematic review. *J Athl Train* 2010; 45: 87–97. doi:10.4085/1062-6050-45.1.87
- [41] Norte G, Rush J, Sherman D. Arthrogenic Muscle Inhibition: Best Evidence, Mechanisms, and Theory for Treating the Unseen in Clinical Rehabilitation. *J Sport Rehabil* 2022; 31: 717–735. doi:10.1123/jsr.2021-0139
- [42] Logerstedt DS, Scalzitti DA, Bennell KL et al. Knee Pain and Mobility Impairments: Meniscal and Articular Cartilage Lesions Revision 2018. *J Orthop Sports Phys Ther* 2018; 48: A1–A50. doi:10.2519/jospt.2018.0301
- [43] Hasegawa S, Kobayashi M, Arai R et al. Effect of early implementation of electrical muscle stimulation to prevent muscle atrophy and weakness in patients after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Electromyogr Kinesiol* 2011; 21: 622–630. doi:10.1016/j.jelekin.2011.01.005
- [44] Spector P, Laufer Y, Elboim Gabyzon M et al. Neuromuscular Electrical Stimulation Therapy to Restore Quadriceps Muscle Function in Patients After Orthopaedic Surgery: A Novel Structured Approach. *J Bone Joint Surg Am* 2016; 98: 2017–2024. doi:10.2106/JBJS.16.00192
- [45] Edwards PK, Ackland T, Ebert JR. Clinical rehabilitation guidelines for matrix-induced autologous chondrocyte implantation on the tibiofemoral joint. *J Orthop Sports Phys Ther* 2014; 44: 102–119. doi:10.2519/jospt.2014.5055
- [46] Edwards PK, Ackland TR, Ebert JR. Accelerated weightbearing rehabilitation after matrix-induced autologous chondrocyte implantation in the tibiofemoral joint: early clinical and radiological outcomes. *Am J Sports Med* 2013; 41: 2314–2324. doi:10.1177/0363546513495637
- [47] Hirschmüller A, Baur H, Braun S et al. Rehabilitation after autologous chondrocyte implantation for isolated cartilage defects of the knee. *Am J Sports Med* 2011; 39: 2686–2696. doi:10.1177/0363546511404204
- [48] Skelley NW, Kurtenbach C, Kimber K et al. Return-to-Sport Review for Current Cartilage Treatments. *J Knee Surg* 2021; 34: 39–46. doi:10.1055/s-0040-1721669
- [49] Krych AJ, Pareek A, King AH et al. Return to sport after the surgical management of articular cartilage lesions in the knee: a meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2017; 25: 3186–3196. doi:10.1007/s00167-016-4262-3
- [50] Hurley ET, Davey MS, Jamal MS et al. Return-to-Play and Rehabilitation Protocols following Cartilage Restoration Procedures of the Knee: A Systematic Review. *Cartilage* 2021; 13: 9075–9145. doi:10.1177/1947603519894733
- [51] Campbell AB, Pineda M, Harris JD et al. Return to Sport After Articular Cartilage Repair in Athletes' Knees: A Systematic Review. *Arthroscopy* 2016; 32: 651–668.e1. doi:10.1016/j.arthro.2015.08.028
- [52] Davies GJ, McCarty E, Provencher M et al. ACL Return to Sport Guidelines and Criteria. *Curr Rev Musculoskelet Med* 2017; 10: 307–314. doi:10.1007/s12178-017-9420-9
- [53] Trattnig S, Winalski CS, Marlovits S et al. Magnetic Resonance Imaging of Cartilage Repair: A Review. *Cartilage* 2011; 2: 5–26. doi:10.1177/1947603509360209
- [54] Mithoefer K, Hambly K, Logerstedt D et al. Current concepts for rehabilitation and return to sport after knee articular cartilage repair in the athlete. *J Orthop Sports Phys Ther* 2012; 42: 254–273. doi:10.2519/jospt.2012.3665
- [55] Anonymous. Protokollempfehlungen der AG Bildgebende Verfahren des Bewegungsapparates (AG BVB) der Deutschen Röntgengesellschaft (DRG) zu Messesequenzen für die Gelenk-MRT. *Rofo* 2018; 190: 186–190. doi:10.1055/s-0043-125412

# Follow-up Treatment after Cartilage Therapy of the Knee Joint – a Recommendation of the DGOU Clinical Tissue Regeneration Working Group

## Nachbehandlung nach Knorpeltherapie am Kniegelenk – eine Empfehlung der AG Klinische Geweberegeneration der DGOU

### Authors

Thomas R. Niethammer<sup>1</sup>, Matthias Aurich<sup>2,3</sup>, Peter U. Brucker<sup>4,5</sup>, Svea Faber<sup>1</sup>, Frank Diemer<sup>6</sup>, Matthias F. Pietschmann<sup>1,7</sup>, Wolfgang Schoch<sup>8</sup>, Wolfgang Zinser<sup>9,10</sup>, Peter E. Müller<sup>1</sup>

### Affiliations

- 1 Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Muskuloskelettales Universitätszentrum München (MUM), Klinikum der Universität München, LMU München, Deutschland
- 2 Department für Orthopädie, Unfall- und Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum Halle (Saale), Deutschland
- 3 Klinik für Unfall- und Wiederherstellungschirurgie, BG Klinikum Bergmannstrost, Halle (Saale), Deutschland
- 4 ATOS Klinik München, Deutschland
- 5 Biomechanik im Sport, Fakultät für Sport- und Gesundheitswissenschaften, Technische Universität München, Deutschland
- 6 DIGOTOR GbR, Brackenheim, Deutschland
- 7 OrthoPraxis Oberhaching, Oberhaching, Deutschland
- 8 PULZ im Rieselfeld, Freiburg, Deutschland
- 9 Orthoexpert, Knittelfeld, Österreich
- 10 Metagil Physikalisches Ambulatorium, Knittelfeld, Österreich

### Key words

aftercare, cartilage therapy, knee, rehabilitation

### Schlüsselwörter

Nachbehandlung, Knorpeltherapie, Knie, Rehabilitation

received 24.2.2023

accepted after revision 1.11.2023

### Bibliography

Z Orthop Unfall

DOI 10.1055/a-2206-7242

ISSN 1864-6697

© 2023, Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14, 70469 Stuttgart, Germany

### Correspondence

Prof. Dr. med. Thomas Niethammer  
Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Muskuloskelettales Universitätszentrum München (MUM), Klinikum der Universität München, LMU München  
Marchioninistraße 15  
81377 München, Deutschland  
thomas.niethammer@med.uni-muenchen.de

Deutsche Version unter: <https://doi.org/10.1055/a-2206-7242>.

### ABSTRACT

The first follow-up treatment recommendation from the DGOU's Clinical Tissue Regeneration working group dates back to 2012. New scientific evidence and changed framework conditions made it necessary to update the follow-up treatment recommendations after cartilage therapy.

As part of a multi-stage member survey, a consensus was reached which, together with the scientific evidence, provides the basis for the present follow-up treatment recommendation.

The decisive criterion for follow-up treatment is still the defect localisation. A distinction is made between femorotibial and patellofemoral defects. In addition, further criteria regarding cartilage defects are now also taken into account (stable cartilage edge, location outside the main stress zone) and the different methods of cartilage therapy (e.g. osteochondral transplantation, minced cartilage) are discussed.

The present updated recommendation includes different aspects of follow-up treatment, starting with early perioperative management through to sports clearance and resumption of contact sports after cartilage therapy has taken place.

### ZUSAMMENFASSUNG

Die erste Nachbehandlungsempfehlung der AG Klinische Geweberegeneration der DGOU stammt aus dem Jahr 2012. Neue wissenschaftliche Evidenz und veränderte Rahmenbedingungen machten eine Aktualisierung der Nachbehandlungsempfehlungen nach Knorpeltherapie erforderlich.

Im Rahmen einer mehrstufigen Mitgliederbefragung wurde ein Konsensus erzielt, der gemeinsam mit der wissenschaftlichen Evidenz die Basis für die vorliegende Nachbehandlungsempfehlung gibt.

Das maßgebliche Kriterium für die Nachbehandlung ist weiterhin die Defektlokalisierung. Dabei wird zwischen femorotibialen und patellofemorale Defekten unterschieden. Zudem werden nun auch weiterführende Kriterien bez. der Knorpeldefekte berücksichtigt (stabiler Knorpelrand, Lage außerhalb der

Hauptbelastungszone) und auf die unterschiedlichen Verfahren der Knorpeltherapie (z. B. osteochondrale Transplantation, Mincing Cartilage) eingegangen.

Die vorliegende aktualisierte Nachbehandlungsempfehlung beinhaltet unterschiedliche Aspekte der Nachbehandlung, beginnend vom frühen perioperativen Management bis zur Sportfreigabe und Wiederaufnahme von Kontaktsport nach erfolgter Knorpeltherapie.

## Introduction

The treatment of cartilage damage in the knee joint has made great progress in recent years and offers more and more options for restoring joint function and relieving pain. An important phase in this process is the follow-up treatment after cartilage therapy on the knee joint. Once the procedure has been successfully performed, follow-up treatment plays a crucial role in achieving optimal results and ensuring a speedy recovery.

Follow-up treatment after cartilage therapy on the knee joint includes various measures and procedures aimed at supporting the healing process, improving the stability of the cartilage and restoring the load-bearing capacity of the knee joint. It plays an important role in promoting the regeneration of the treated cartilage tissue and preventing complications.

The present study has addressed various aspects of follow-up treatment, such as the duration of partial weight-bearing after cartilage therapy on the knee joint, the use of aids or immobilisation postoperatively. In addition, the factors influencing follow-up treatment, such as the localisation of the cartilage damage, the different cartilage therapy procedures or a time- or criteria-based follow-up treatment, were discussed in order to be able to make a concrete recommendation for follow-up treatment.

The Clinical Tissue Regeneration Working Group (WG) of the German Society for Orthopaedics and Trauma Surgery (DGOU) has so far published several recommendations for the treatment of cartilage defects in the knee joint [1, 2]. The recommendation on indications was last updated in 2022 [3]. To date, the only recommendation on follow-up treatment dates back to 2012 and was limited to follow-up treatment after cartilage cell transplantation [4].

Due to the constantly changing framework conditions and ever-expanding scientific knowledge, it was necessary to update the recommendation of the Clinical Tissue Regeneration Working Group on follow-up treatment after cartilage therapy of the knee joint. This updated post-treatment recommendation now includes all currently common cartilage therapy procedures for the knee joint.

## Methods

This recommendation is based on a 3-stage survey conducted among the members of the Clinical Tissue Regeneration Working Group. The consensus group was made up of a total of 34 mem-

bers of the Clinical Tissue Regeneration Working Group, who have been working on cartilage therapy in the knee joint for many years, both scientifically and clinically. These included both surgeons and physiotherapists.

As part of a consensus procedure, a multi-stage member survey was conducted, as has already been used in other consensus procedures [3, 5]. As part of the first survey, an appraisal and a description of the current situation were first collected. Controversial thematic aspects were also identified. In a second survey, 14 statements were formulated from this, and the scientific evidence for the statements was stated. There were 5 possible responses to the statements, from agreement to complete rejection, including a comment function.

Based on the results and comments, 14 final statements were formulated in the third survey and put to the vote, with only 2 possible responses (agree, disagree) and with no comment function. There was consensus at an agreement rate of > 75%. There was a high consensus at > 95%.

## Results

The results of the survey are presented below. The return rate was 91.2%. The current recommendation focuses on the following topics: “Basic principles”, “early follow-up treatment” within the first 6 weeks postoperatively and “late follow-up treatment” after 6 weeks postoperatively (► **Table 1**).

### Basic principles

With regard to the type of follow-up treatment, it was discussed whether standardised or phase-based follow-up treatment should be used. Phase-based follow-up treatment comprises different phases that build on each other. Each phase focuses on specific goals and activities designed to promote the healing process and gradually increase the resilience of the tissue. The therapy is customised to the individual patient and can include exercises, manual techniques, equipment training and other rehabilitation methods.

Standardised follow-up treatment, on the other hand, is a structured treatment approach based on a defined treatment protocol. This protocol defines certain requirements for the follow-up treatment that must be met, for example, within a fixed time frame.

► **Table 1** Results of the Delphi process.

Number	Final statements using the Delphi process	Agreement	Evidence
1	After cartilage therapy on the knee joint, standardised follow-up treatment at fixed intervals is recommended (e.g: 6 weeks, 3, 6 and 12 months postoperatively).	83.9%	Case series
2	With close clinical and radiological (MRI) monitoring, follow-up treatment after cartilage therapy can be carried out individually depending on the findings.	83.9%	Expert opinion
3	Follow-up treatment after cartilage therapy should be carried out according to the defect localisation (femorotibial/patellofemoral). Femorotibial partial weight-bearing with 15 kg and rolling movement for 6 weeks is recommended. An orthosis can restrict mobility on an individual basis, depending on the extent and localisation of the defect. In the case of defects outside the weight-bearing zone, contained defects and after OCT plastic surgery, more rapidly increasing weight-bearing with 15 kg PWB can be applied for 4 weeks.	96.8%	Expert opinion
4	For follow-up treatment after patellofemoral cartilage therapy, it is recommended that a hard frame orthosis is used to limit movement and flexion to 30°, then 60° and then 90° for 2 weeks respectively; full weight-bearing in the extended position is permitted. In the case of defects outside the weight-bearing zone, in the case of contained defects and after OCT plastic surgery, more rapidly increasing weight-bearing can be achieved with free mobility, full weight-bearing on level surfaces and partial weight-bearing when walking up and down stairs for 6 weeks.	87.1%	Expert opinion
5	A closed system is recommended for postoperative physiotherapy.	93.5%	Expert opinion
6	A passive CPM splint is recommended for 6 weeks postoperatively (3 h/day in total).	93.5%	Case series
7	After a cartilage cell transplant, it is advisable to immobilise the knee joint for 24–48 hours in an extended position to protect the transplant.	93.5%	Expert opinion
8	After cartilage therapy, an MRI examination is useful after 12 months postoperatively for quality control or sooner if complaints occur.	80.6%	Case series
9	The intra-articular administration of PRP and hyaluronic acid is optional after cartilage therapy.	100%	Expert opinion
10	EMS treatment after cartilage therapy appears to be useful for prevention of muscle loss.	77.4%	Expert opinion
11	Intra-articular drainage is not necessarily required after cartilage therapy; drains with suction should be avoided.	100%	Case series
12	After 3 months following cartilage therapy, light knee-friendly sports such as cycling and swimming are permitted.	100%	Case series
13	After 6 months following cartilage therapy, low-impact sports are permitted (walking, hiking, cycling, dancing, golf, cross-country skiing).	96.7%	Case series
14	After 12 months following cartilage therapy, high-impact sports are permitted (squash, football, handball, volleyball, basketball, alpine skiing, jogging).	93.5%	Case series

OCT: osteochondral transplantation; PWB: partial weight-bearing; CPM: continuous passive motion; EMS: electromyostimulation; PRP: platelet-rich plasma

The member survey resulted in a consensus in favour of standardised follow-up treatment. Follow-up treatment at fixed intervals is recommended (83.9% agreement, ► **Table 1**). This can be carried out, for example, after 6 weeks, 3 months, 6 months and 12 months postoperatively. In principle, however, individualised follow-up treatment is also possible depending on the clinical findings. However, this should only be carried out if close clinical and radiological monitoring using magnetic resonance imaging (MRI) is ensured (83.9% agreement, ► **Table 1**).

### Early follow-up treatment < 6 weeks postoperatively

As in the previous post-treatment recommendation, the main criterion for follow-up treatment is the localisation of the treated cartilage defect. A distinction is made between femorotibial and pa-

tellofemoral defects. There was a strong consensus on this with 96.8% in favour (► **Table 1**).

In the case of femorotibial cartilage defects, 6 weeks of partial weight-bearing with 15–20 kg and rolling movements is recommended. Mobility can be restricted by an orthosis on an individual basis, but this depends on the extent of the defect and the localisation of the defect (96.8% agreement, ► **Table 1**).

In the case of patellofemoral cartilage defects, it is recommended that a hard frame orthosis is used to limit flexion to 30° initially, then 60° and finally 90° for 2 weeks respectively. Full weight-bearing in the extended position is permitted (87.1% agreement, ► **Table 1**).

In principle, it is also possible to shorten the follow-up treatment. However, this should only be done for cartilage defects outside the weight-bearing zone, for contained defects with a stable

cartilage rim or after osteochondral transplantation. In the case of femorotibial cartilage defects, partial weight-bearing with 15–20 kg is performed for 4 weeks. In principle, more rapidly increasing weight-bearing is also possible with patellofemoral defects with free mobility, full weight-bearing on level surfaces and partial weight-bearing when walking up and down stairs for 6 weeks.

There was 100% agreement that intra-articular drains are not absolutely necessary and should be avoided if possible. If a drain is inserted into the joint, it should be without suction so as not to jeopardise the cartilage therapy (► **Table 1**).

The Clinical Tissue Regeneration Working Group has also come out 100% in favour of intra-articular injections being carried out after cartilage therapy, e.g. with platelet-rich plasma (PRP) or hyaluronic acid (► **Table 1**).

CPM treatment (CPM: continuous passive motion) for 6 weeks is recommended for all cartilage therapy procedures. This should be carried out for about 3 hours per day (93.5% agreement, ► **Table 1**).

In addition, cryotherapy and physiotherapy treatment in a closed system are recommended (93.5% agreement, ► **Table 1**). Additionally, electrostimulation treatment can be performed (77.4% agreement, ► **Table 1**).

Only after cartilage cell transplantation is immobilisation for 24–48 h postoperatively in the extended position recommended to protect the transplant (93.5% agreement, ► **Table 1**).

### Late follow-up treatment > 6 weeks postoperatively

A strong consensus was reached on the timing of the resumption of sports activity. The Clinical Tissue Regeneration Working Group recommends starting knee-friendly sports at the earliest 3 months after surgery. Cycling and swimming are explicitly recommended (100% agreement, ► **Table 1**).

Low-impact sports such as walking, hiking, dancing, golf or cross-country skiing should be started at the earliest 6 months after cartilage therapy (96.7% agreement, ► **Table 1**).

To protect the regenerated cartilage, it is recommended not to start high-impact sports until 12 months postoperatively after cartilage therapy. These include, for example: squash, football, handball, volleyball, basketball, alpine skiing and jogging (93.5% agreement, ► **Table 1**). With osteochondral transplantation, it is possible to resume high-impact sports earlier, as no regenerated cartilage needs to be protected. In this respect, osteochondral transplantation is particularly suitable for professional athletes with small osteochondral defects that can ideally be treated with a cylinder.

An MRI examination after cartilage therapy is recommended after 12 months postoperatively for quality control (80.6% agreement, ► **Table 1**).

## Discussion

### Basic principles

The follow-up treatment of cartilage regeneration procedures, especially after autologous chondrocyte transplantation (ACT), is a scientifically well-studied topic. There are several randomised controlled studies with a follow-up of up to 10 years [6, 7, 8, 9, 10] comparing different post-treatment regimens. In addition, some

controlled studies focused on the influence of the level of sport and an appropriately adapted sports programme on the outcome and return to sport [11, 12, 13].

This study advocated standardised follow-up treatment with fixed time intervals, i.e. based on wound healing and the post-operative development of the regenerated cartilage. Furthermore, some training therapy adjustments (e.g. increasing muscle mass) require an appropriate time frame. However, it should be noted that an excessive inflammatory response compromises the regenerated cartilage and thus the post-treatment result [14, 15, 16], which requires criteria-based follow-up treatment. Criteria-based means that certain clinical (e.g. state of irritation of the joint) or functional (e.g. regular, symmetrical gait pattern) milestones must be reached for progression within the follow-up treatment.

Time-based and criteria-based ways of working are not mutually exclusive, but complement each other and enable a safe return to work or sports. If the current state of irritation of the affected joint allows, further instructions are given to activate and strengthen key muscles in order to minimise the post-operative deficit.

Clinical criteria that determine the progression of follow-up treatment:

- Pain: At the beginning, the pain intensity should be in the “green” range (0–2/10). Furthermore, guided activities should not trigger persistent pain. By the next morning at the latest, they should have dropped to the old level. In the further course, higher pain intensity (“yellow”) may be permitted. The “red” area does not represent a biopositive range.
- Temperature: Hyperthermia over the affected joint can be a sign of excessive inflammatory processes. The skin temperature should therefore be measured regularly and should not rise above 2° in a side-by-side comparison [17]. This temperature measurement can be performed using an infrared thermometer.
- Swelling: An increase in swelling of more than 1 cm compared to baseline is considered a relevant increase and should lead to a modification of the weight-bearing configuration. Measurements are taken directly before the training session as a baseline value and directly after the training session as a comparison value. The measurement should be carried out on the supine leg with relaxed quadriceps muscles above the patella in the suprapatellar recess.

Functional criteria that determine the progression of follow-up treatment:

- Functional test procedures: Motor performance can be checked and controlled using qualitative (e.g. leg axis on landing) or quantitative (e.g. jumping distance) criteria/tests. Frequently used test procedures are the Landing Errors Scoring System or jump tests (double- or single-leg long jump test)
- Strength: Maximum strength is of paramount importance for both everyday and sport-specific functioning. Values can be determined using fitness equipment (1 repetition maximum), hand-held dynamometers or isokinetics.

## Early follow-up treatment

The extent of postoperative stress on the treated leg plays an important role in early rehabilitation. A review from 2006, which examined the post-treatment recommendations of various centres, already showed that the time at which full weight-bearing was permitted varied greatly between the different centres; in the case of patellofemoral surgery between 6 h and 12 weeks [18].

In the context of this study, it was determined that follow-up treatment after cartilage therapy should be carried out depending on the defect localisation (femorotibial/patellofemoral). This recommendation is made against the background that the patella does not articulate with the trochlea in full extension up to about 20° of flexion and/or only to a small extent [19]. In 2003, the “Oscell Protocol” recommended direct postoperative full weight-bearing with a permitted range of motion (ROM) of 0/0/30 [20]. This recommendation was also made in a consensus of US orthopaedic surgeons in 2020 [21]. For patellofemoral cartilage damage, it is recommended that a hard frame orthosis is used to limit flexion to 30°, then 60° and then 90° for 2 weeks respectively with full weight-bearing in the extended position. A scientific examination in the sense of a controlled study or a targeted clinical and/or radiological evaluation of this early full weight-bearing has not yet taken place.

In the case of femorotibial cartilage damage, however, 6-week partial weight-bearing with 15 kg and rolling movement should be carried out so that premature weight-bearing does not compromise regeneration. In 2008, Ebert et al. analysed the outcome after 8 vs. 11 weeks of partial weight-bearing in a randomised controlled trial, whereby a continuous increase in weight-bearing of 10–20% per week was possible from week 2 onwards [22]. At a follow-up of 3 months, they came to the conclusion that the more rapid increase in weight-bearing did not result in damage to the graft and the patients in the 8-week group also had less pain and were more active. The 10-year follow-up also showed no significant differences in terms of functional outcome or failure rate [7].

Wondrasch et al. investigated 6-week vs 8-week partial weight-bearing with a follow-up of 2 years using a randomised controlled study design and found no differences in the MR morphological and functional outcome [10]. Ebert et al. published this 6- vs 8-week partial weight-bearing, again with a continuous increase in weight-bearing of 10–20% per week, in 2020 with a 5-year follow-up and also came to the conclusion that the faster increase in weight-bearing was not associated with increased risks for the graft [7].

In this context, it should be mentioned that there was a consensus that the duration of follow-up treatment for osteochondral transplantation and for defects outside the weight-bearing zone or for contained defects can be reduced to 4 weeks, as the graft is less at risk.

Furthermore, immediate post-operative immobilisation of the knee joints for 24–48 hours in the extended position was advocated to protect the graft. According to the experts, post-operative bed rest, as recommended in the previous recommendation for cartilage cell transplantation, is no longer necessary.

## Continuous passive motion

With regard to treatment using a CPM splint, the decision was made in favour of a 6-week postoperative therapy. The use of CPM splints can be found in a large number of study protocols and post-treatment recommendations from various organisations following cartilage regeneration surgery [7, 10, 20, 21]. However, there are no randomised controlled studies on their use after cartilage regenerative therapies. However, individual studies have shown functional advantages as well as subjective and histological advantages based on cartilage biopsies with regard to hyaline cartilage quality [23]. The CPM splint was used for up to 8 hours a day [24, 25].

With regard to treatment with intra-articular medication, there is currently a considerable lack of studies that prove its effectiveness following cartilage therapy. In this respect, the recommendation was formulated cautiously with 100% agreement that the intra-articular administration of PRP and hyaluronic acid is optional after cartilage therapy.

Whereas, drainage with suction should be avoided after cartilage therapy. In general, the insertion of a drain is not considered absolutely necessary, as there are no studies that prove its benefit.

## Late follow-up treatment

**Physiotherapeutic aspects** It is recommended that postoperative physiotherapy treatment should be carried out in a closed system. Exercises in the closed system (firmly fixed foot) also received a high agreement rating of 93.5% in contrast to the open system (freely movable foot). The background to this is presumably firmly rooted historical fears of excessive shear forces during exercises in the open kinetic chain. From a biomechanical point of view, the generation of shear and compression forces is not dependent on a specific system, but on the execution of the exercise in the respective system [26, 27]. If one also considers the persistent quadriceps deficit in surgically treated cartilage patients [28], the functional benefit of isolated exercises in the open system on individual muscles [29], the different activation patterns of different training exercises [30] and also the better tolerance of isolated exercises in patients with a high BMI [31], then a recommendation should be made for exercises in both systems in the future.

At 77.4%, electrical muscle stimulation (EMS) after cartilage therapy received a rather low agreement rating in comparison. The following recommendation on EMS therapy was therefore formulated rather cautiously. EMS treatment after cartilage therapy appears to be useful for prevention of muscle loss. The literature shows that significant strength deficits of the most important joint stabilisers are [32, 33] present preoperatively and that these can persist for years after the operation [28, 34]. The resulting functional deficits lead to poorer subjectively reported performance, lower return-to-sport rates and earlier degeneration [35, 36, 37]. Arthrogenic muscle inhibition after an operation appears to play a decisive role here [38, 39, 40]. Despite good evidence for the use of EMS as an adjunctive measure for random activation, muscle strengthening and functional recovery [41, 42, 43], the clinical value of this method is not generally recognised. In their review, Spector et al. describe what a best practice model for use in post-operative follow-up care might look like [44]. EMS should be rec-

ommended as an accompanying measure to improve the activation of important joint stabilisers.

**Sports activity** However, preoperative sporting activity also appears to play a role in successful follow-up treatment: Patients who exercised 1–3 times a week before the onset of symptoms showed a better functional outcome than patients who only exercised 1–3 times a month [12].

In the study protocols published by Ebert et al, proprioceptive exercises, cycling, walking and closed kinematic chain exercises were permitted from week 7; the use of the rowing ergometer, a cross-trainer and more demanding open and closed chain exercises were permitted from the third month onwards [6]. From the sixth month, jogging on the treadmill could be started and the difficulty of the proprioceptive and maximum strength training exercises increased, so that a return to full contact sports should be possible from the twelfth month. Similar rehabilitation milestones in the first year after cartilage regenerative therapies are also proposed by other groups based on biomechanical examinations in evidence-based rehabilitation or study protocols [11, 45, 46, 47]. There was a consensus that knee-friendly sports could be started after 3 months and low-impact sports after 6 months.

The clearance to play sports also depends on which sport is being played. We know from clinical studies that starting high-impact sports within the first 12 months after a cartilage cell transplant leads to poorer clinical results [13]. In this regard, the recommendation was in favour of resuming high-impact sports only after 12 months postoperatively.

Return to sports/competition is an important measure with joint injuries, as athletes are particularly interested in returning to their pre-injury level of activity as quickly as possible. Although many outcome variables are considered in any surgical procedure, the “return to sports” variable focuses on an active population and can be tailored to the patient’s sport-specific goals [48].

Despite generally satisfactory results after cartilage repair, there appear to be differences in the results depending on the surgical technique used [49]. In another meta-analysis by Hurley et al. [50], it was also found that OCT (osteochondral transplantation) had the highest rate of return to sports (88.2%), while osteochondral allograft transplantation (OCT) had the lowest rate (77.1%). The return to pre-injury level of play was highest for OCT (79.3%) and lowest for ACT (57.3%). The time to return to play in this study was similar to the previous review, with OCT showing the shortest time to return (4.9 months) and ACT showing the longest time to return (11.6 months).

In a systematic literature review by Campbell et al. [51] on cartilage repair in knee joints of athletes, 20 level I to IV studies with a total of 1117 patients were analysed. This showed that OCT and ACT had statistically significantly higher rates of return to sports compared to BMS (bone marrow stimulation) (89% and 84% compared to 75%).

It must be taken into account that different post-treatment regimens can also influence the return rate and the time to return to sports. There is great heterogeneity with regard to the guidelines for “return to play” after cartilage reconstruction of the athlete’s knee. Although many different criteria are used in the literature, most are time-based. Although time-based criteria are simple and easy to follow, they do not fulfil the individual needs of every ath-

lete. Objective and subjective patient values such as pain, swelling, range of motion and strength should be taken into account when considering a return to sports. Return-to-play guidelines have been analysed in more detail in the literature on anterior cruciate ligament rupture [52].

Imaging-based criteria were evaluated as a means of assessing tissue healing at the site of cartilage repair in terms of whether they were sufficient for a consideration of physiological sports stress. Advances in morphological and biochemical MRI have led to better visualisation and assessment of the quality of cartilage repair tissue and can clearly be useful in surgical follow-up care and clearance for return to sports [53]. Particular attention must be paid to the integrity and signal intensity of the cartilage repair tissue. Furthermore, defect-related bone marrow oedema can be an indication that the cartilage repair tissue is under excessive stress.

The implementation of a comprehensive post-operative rehabilitation programme with the help of a multidisciplinary team is also crucial for a safe and timely return to sports. An individualised approach should be used for each athlete, taking into account the injury characteristics, the surgical technique used, the symptoms and the psychological status of the athlete, as well as sport-specific requirements. A step-by-step programme based on meeting clearly defined performance criteria rather than fixed points in time offers elite athletes the most effective way to return to sports [54].

## Magnetic resonance imaging

In the context of this recommendation, 80.6% of the respondents were in favour of performing an MRI examination at 12 months postoperatively, irrespective of the close clinical and radiological monitoring described above with individual follow-up treatment. The MRI examination after 12 months should be carried out as a quality control for cartilage therapy. If symptoms occur in the first year after cartilage therapy, an earlier MRI examination is recommended.

With regard to imaging, the following recommendation is given based on the literature. The knee joint should always be examined in 3 planes. Standard MRI diagnostics of the knee joint are performed natively to assess bones, tendons/ligaments, menisci and cartilage. Contrast media is only used for certain diagnostic tasks.

For adequate MRI diagnostics of the knee joint, a field of view (FOV) of 160 mm is recommended; the slice thickness should be  $\leq 3$  mm with an in-plane spatial resolution of at least  $0.6 \times 0.6$ , but preferably  $\leq 0.4 \times 0.4$  mm.

The basis of knee joint MRI diagnostics is the use of water-sensitive sequences with elimination of the fat signal. The most commonly used methods are relaxation time dependent (STIR) and frequency selective (FS = fatsat, SPIR) fat signal suppression.

The sensitivity for fresh injury to ligaments, tendons and muscles, for bone marrow changes and cartilage assessment is improved by fat saturation techniques. Therefore, at least 2 planes should be measured with fat saturation.



Gradient echo sequences, such as the True-FISP sequence (True Fast Imaging with Steady Precession) with water excitation, can be helpful for cartilage assessment.

The STIR sequence (Short Tau Inversion Recovery) is the sequence with the highest water sensitivity and is therefore excellently suited for the detection of bone marrow oedema. However, it has a comparatively poor signal-to-noise ratio, poorer resolution and increased slice thickness. Therefore, STIR usually requires an anatomically higher resolution sequence as an additional application.

At least one native T1-weighted TSE/SE sequence should be prepared in order to better differentiate any incidental findings in the bone marrow.

The intravenous administration of contrast media in knee joint MRI is reserved for special cases of additive tumour, inflammation and infection diagnostics. This information is based on the recommendations of the German Radiological Society's (DRG) Working Group on Imaging of the Musculoskeletal System (AG BVB) [55].

### Limitations

This recommendation is based on the available literature on the individual topics and on the opinion of experts in cartilage therapy of the knee joint. In this respect, the validity of the present recommendation is limited by the lack of randomised controlled trials. The level of evidence for several statements is therefore based on the opinion of experts and cannot be substantiated by clinical studies.

As part of this recommendation, a multi-stage survey was conducted to prioritise and prepare the final statements. This type of consensus formation has also been used in other studies in the past and appears suitable for a problem-orientated approach involving several participants [3, 5].

### Summary and Conclusion for Practice

- After cartilage therapy on the knee joint, standardised follow-up treatment at fixed intervals is recommended (e.g: 6 weeks, 3, 6 and 12 months postoperatively).
- With close clinical and radiological (MRI) monitoring, follow-up treatment after cartilage therapy can be carried out individually depending on the findings.
- Follow-up treatment after cartilage therapy should be carried out according to the defect localisation (femorotibial/patellofemoral).
- Femorotibial partial weight-bearing with 15 kg and rolling movement for 6 weeks is recommended. An orthosis can be used to restrict mobility on an individual basis depending on the extent and localisation of the defect.
- In the case of defects outside the weight-bearing zone, contained defects and after OCT plastic surgery, more rapidly increasing weight-bearing with 15 kg PWB can be applied for 4 weeks.
- For follow-up treatment after patellofemoral cartilage therapy, it is recommended that a hard frame orthosis is used to limit movement and flexion to 30°, then 60° and then 90° for 2 weeks respectively; full weight-bearing in the extended position is permitted.

- In the case of defects outside the weight-bearing zone, in the case of contained defects and after OCT plastic surgery, more rapidly increasing weight-bearing can take place with free mobility, full weight-bearing on level surfaces and partial weight-bearing when walking up and down stairs for 6 weeks.
- A closed system is recommended for postoperative physiotherapy.
- A passive CPM splint is recommended for 6 weeks postoperatively (3 h/day in total).
- After a cartilage cell transplant, it is advisable to immobilise the knee joint for 24–48 hours in an extended position to protect the transplant.
- After cartilage therapy, an MRI examination is useful after 12 months postoperatively for quality control or sooner if complaints occur.
- The intra-articular administration of PRP and hyaluronic acid is optional after cartilage therapy.
- EMS treatment after cartilage therapy appears to be useful for prevention of muscle loss.
- Intra-articular drainage is not necessarily required after cartilage therapy; drains with suction should be avoided.
- After 3 months following cartilage therapy, light knee-friendly sports such as cycling/swimming are permitted.
- After 6 months following cartilage therapy, low-impact sports are permitted (walking, hiking, cycling, dancing, golf, cross-country skiing).
- After 12 months following cartilage therapy, high impact sports are permitted (squash, football, handball, volleyball, basketball, alpine skiing, jogging).

### Conflict of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest.

### Literatur

- [1] 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: 529–539. doi:10.1055/s-2004-832353
- [2] 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: 38–47. doi:10.1055/s-0032-1328207
- [3] Niemeyer P, Albrecht D, Aurich M et al. Empfehlungen der AG Klinische Geweberegeneration zur Behandlung von Knorpelschaden am Kniegelenk. *Z Orthop Unfall* 2023; 161: 57–64. doi:10.1055/a-1663-6807
- [4] Pietschmann MF, Horng A, Glaser C et al. [Post-treatment rehabilitation after autologous chondrocyte implantation: State of the art and recommendations of the Clinical Tissue Regeneration Study Group of the German Society for Accident Surgery and the German Society for Orthopedics and Orthopedic Surgery]. *Unfallchirurg* 2014; 117: 235–241. doi:10.1007/s00113-012-2293-x
- [5] Guenther D, Pfeiffer T, Petersen W et al. Treatment of Combined Injuries to the ACL and the MCL Complex: A Consensus Statement of the Liga-

- ment Injury Committee of the German Knee Society (DKG). *Orthop J Sports Med* 2021; 9: 23259671211050929. doi:10.1177/23259671211050929
- [6] Ebert JR, Edwards PK, Fallon M et al. Two-Year Outcomes of a Randomized Trial Investigating a 6-Week Return to Full Weightbearing After Matrix-Induced Autologous Chondrocyte Implantation. *Am J Sports Med* 2017; 45: 838–848. doi:10.1177/0363546516673837
- [7] Ebert JR, Fallon M, Ackland TR et al. Minimum 10-Year Clinical and Radiological Outcomes of a Randomized Controlled Trial Evaluating 2 Different Approaches to Full Weightbearing After Matrix-Induced Autologous Chondrocyte Implantation. *Am J Sports Med* 2020; 48: 133–142. doi:10.1177/0363546519886548
- [8] Ebert JR, Fallon M, Wood DJ et al. An accelerated 6-week return to full weight bearing after matrix-induced autologous chondrocyte implantation results in good clinical outcomes to 5 years post-surgery. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2021; 29: 3825–3833. doi:10.1007/s00167-020-06422-6
- [9] Ebert JR, Fallon M, Zheng MH et al. A randomized trial comparing accelerated and traditional approaches to postoperative weightbearing rehabilitation after matrix-induced autologous chondrocyte implantation: findings at 5 years. *Am J Sports Med* 2012; 40: 1527–1537. doi:10.1177/0363546512445167
- [10] Wondrasch B, Risberg MA, Zak L et al. Effect of accelerated weightbearing after matrix-associated autologous chondrocyte implantation on the femoral condyle: a prospective, randomized controlled study presenting MRI-based and clinical outcomes after 5 years. *Am J Sports Med* 2015; 43: 146–153. doi:10.1177/0363546514554910
- [11] Della Villa S, Kon E, Filardo G et al. Does intensive rehabilitation permit early return to sport without compromising the clinical outcome after arthroscopic autologous chondrocyte implantation in highly competitive athletes? *Am J Sports Med* 2010; 38: 68–77. doi:10.1177/0363546509348490
- [12] Kreuz PC, Steinwachs M, Ergelet C et al. Importance of sports in cartilage regeneration after autologous chondrocyte implantation: a prospective study with a 3-year follow-up. *Am J Sports Med* 2007; 35: 1261–1268. doi:10.1177/0363546507300693
- [13] Niethammer TR, Müller PE, Safi E et al. Early resumption of physical activities leads to inferior clinical outcomes after matrix-based autologous chondrocyte implantation in the knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2014; 22: 1345–1352. doi:10.1007/s00167-013-2583-z
- [14] Li M, Yin H, Yan Z et al. The immune microenvironment in cartilage injury and repair. *Acta Biomater* 2022; 140: 23–42. doi:10.1016/j.actbio.2021.12.006
- [15] Khella CM, Horvath JM, Asgarian R et al. Anti-Inflammatory Therapeutic Approaches to Prevent or Delay Post-Traumatic Osteoarthritis (PTOA) of the Knee Joint with a Focus on Sustained Delivery Approaches. *Int J Mol Sci* 2021; 22: 8005. doi:10.3390/ijms22158005
- [16] Scotti C, Gobbi A, Karnatzikos G et al. Cartilage Repair in the Inflamed Joint: Considerations for Biological Augmentation Toward Tissue Regeneration. *Tissue Eng Part B Rev* 2016; 22: 149–159. doi:10.1089/ten.TEB.2015.0297
- [17] Diemer F. *Temperaturmessung*. *Sportphysio* 2021; 09: 92–97. doi:10.1055/a-1338-7538
- [18] Hambly K, Bobic V, Wondrasch B et al. Autologous chondrocyte implantation postoperative care and rehabilitation: science and practice. *Am J Sports Med* 2006; 34: 1020–1038. doi:10.1177/0363546505281918
- [19] McGinty G, Irrgang JJ, Pezzullo D. Biomechanical considerations for rehabilitation of the knee. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2000; 15: 160–166. doi:10.1016/s0268-0033(99)00061-3
- [20] Bailey A, Goodstone N, Roberts S et al. Rehabilitation After Oswestry Autologous-Chondrocyte Implantation: The OsCell Protocol. *J Sport Rehabil* 2003; 12: 104–118. doi:10.1123/jsr.12.2.104
- [21] Flanigan DC, Sherman SL, Chillelli B et al. Consensus on Rehabilitation Guidelines among Orthopedic Surgeons in the United States following Use of Third-Generation Articular Cartilage Repair (MACI) for Treatment of Knee Cartilage Lesions. *Cartilage* 2021; 13: 1782S–1790S. doi:10.1177/1947603520968876
- [22] Ebert JR, Robertson WB, Lloyd DG et al. Traditional vs accelerated approaches to post-operative rehabilitation following matrix-induced autologous chondrocyte implantation (MACI): comparison of clinical, biomechanical and radiographic outcomes. *Osteoarthritis Cartilage* 2008; 16: 1131–1140. doi:10.1016/j.joca.2008.03.010
- [23] Rogan S, Taeymans J, Hirschi Müller A et al. [Effect of continuous passive motion for cartilage regenerative surgery – a systematic literature review]. *Z Orthop Unfall* 2013; 151: 468–474. doi:10.1055/s-0033-1350707
- [24] Marder RA, Hopkins G, jr, Timmerman LA. Arthroscopic microfracture of chondral defects of the knee: a comparison of two postoperative treatments. *Arthroscopy* 2005; 21: 152–158. doi:10.1016/j.arthro.2004.10.009
- [25] Minas T, Gomoll AH, Solhpour S et al. Autologous chondrocyte implantation for joint preservation in patients with early osteoarthritis. *Clin Orthop Relat Res* 2010; 468: 147–157. doi:10.1007/s11999-009-0998-0
- [26] Smidt GL. Biomechanical analysis of knee flexion and extension. *J Biomech* 1973; 6: 79–92. doi:10.1016/0021-9290(73)90040-7
- [27] Kulas AS, Hortobagyi T, DeVita P. Trunk position modulates anterior cruciate ligament forces and strains during a single-leg squat. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2012; 27: 16–21. doi:10.1016/j.clinbiomech.2011.07.009
- [28] Schmitt LC, Quatman CE, Paterno MV et al. Functional outcomes after surgical management of articular cartilage lesions in the knee: a systematic literature review to guide postoperative rehabilitation. *J Orthop Sports Phys Ther* 2014; 44: 565–578. doi:10.2519/jospt.2014.4844
- [29] Buckthorpe M, La Rosa G, Villa FD. Restoring Knee Extensor Strength after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction: A Clinical Commentary. *Int J Sports Phys Ther* 2019; 14: 159–172
- [30] Stien N, Saeterbakken AH, Andersen V. Electromyographic Comparison of Five Lower-Limb Muscles between Single- and Multi-Joint Exercises among Trained Men. *J Sports Sci Med* 2021; 20: 56–61. doi:10.52082/jssm.2021.56
- [31] Bennell KL, Dobson F, Roos EM et al. Influence of Biomechanical Characteristics on Pain and Function Outcomes From Exercise in Medial Knee Osteoarthritis and Varus Malalignment: Exploratory Analyses From a Randomized Controlled Trial. *Arthritis Care Res (Hoboken)* 2015; 67: 1281–1288. doi:10.1002/acr.22558
- [32] Hirschi Müller A, Andres T, Schoch W et al. Quadriceps Strength in Patients With Isolated Cartilage Defects of the Knee: Results of Isokinetic Strength Measurements and Their Correlation With Clinical and Functional Results. *Orthop J Sports Med* 2017; 5: 2325967117703726. doi:10.1177/2325967117703726
- [33] Mosler AB, Kemp J, King M et al. Standardised measurement of physical capacity in young and middle-aged active adults with hip-related pain: recommendations from the first International Hip-related Pain Research Network (HiPRN) meeting, Zurich, 2018. *Br J Sports Med* 2020; 54: 702–710. doi:10.1136/bjsports-2019-101457
- [34] Kierkegaard S, Mechlenburg I, Lund B et al. Is hip muscle strength normalised in patients with femoroacetabular impingement syndrome one year after surgery?: Results from the HAFAL cohort. *J Sci Med Sport* 2019; 22: 413–419. doi:10.1016/j.jsams.2018.10.004
- [35] Pietrosimone B, Lepley AS, Harkey MS et al. Quadriceps Strength Predicts Self-reported Function Post-ACL Reconstruction. *Med Sci Sports Exerc* 2016; 48: 1671–1677. doi:10.1249/MSS.0000000000000946
- [36] Pietrosimone B, Pfeiffer SJ, Harkey MS et al. Quadriceps weakness associates with greater T1rho relaxation time in the medial femoral articular cartilage 6 months following anterior cruciate ligament reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2019; 27: 2632–2642. doi:10.1007/s00167-018-5290-y

- [37] Nawasreh Z, Logerstedt D, Cummer K et al. Functional performance 6 months after ACL reconstruction can predict return to participation in the same preinjury activity level 12 and 24 months after surgery. *Br J Sports Med* 2018; 52: 375. doi:10.1136/bjsports-2016-097095
- [38] Lepley AS, Lepley LK. Mechanisms of Arthrogenic Muscle Inhibition. *J Sport Rehabil* 2022; 31: 707–716. doi:10.1123/jsr.2020-0479
- [39] Rice DA, McNair PJ, Lewis GN et al. Quadriceps arthrogenic muscle inhibition: the effects of experimental knee joint effusion on motor cortex excitability. *Arthritis Res Ther* 2014; 16: 502. doi:10.1186/s13075-014-0502-4
- [40] Hart JM, Pietrosimone B, Hertel J et al. Quadriceps activation following knee injuries: a systematic review. *J Athl Train* 2010; 45: 87–97. doi:10.4085/1062-6050-45.1.87
- [41] Norte G, Rush J, Sherman D. Arthrogenic Muscle Inhibition: Best Evidence, Mechanisms, and Theory for Treating the Unseen in Clinical Rehabilitation. *J Sport Rehabil* 2022; 31: 717–735. doi:10.1123/jsr.2021-0139
- [42] Logerstedt DS, Scalzitti DA, Bennell KL et al. Knee Pain and Mobility Impairments: Meniscal and Articular Cartilage Lesions Revision 2018. *J Orthop Sports Phys Ther* 2018; 48: A1–A50. doi:10.2519/jospt.2018.0301
- [43] Hasegawa S, Kobayashi M, Arai R et al. Effect of early implementation of electrical muscle stimulation to prevent muscle atrophy and weakness in patients after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Electromyogr Kinesiol* 2011; 21: 622–630. doi:10.1016/j.jelekin.2011.01.005
- [44] Spector P, Laufer Y, Elboim Gabyzon M et al. Neuromuscular Electrical Stimulation Therapy to Restore Quadriceps Muscle Function in Patients After Orthopaedic Surgery: A Novel Structured Approach. *J Bone Joint Surg Am* 2016; 98: 2017–2024. doi:10.2106/JBJS.16.00192
- [45] Edwards PK, Ackland T, Ebert JR. Clinical rehabilitation guidelines for matrix-induced autologous chondrocyte implantation on the tibiofemoral joint. *J Orthop Sports Phys Ther* 2014; 44: 102–119. doi:10.2519/jospt.2014.5055
- [46] Edwards PK, Ackland TR, Ebert JR. Accelerated weightbearing rehabilitation after matrix-induced autologous chondrocyte implantation in the tibiofemoral joint: early clinical and radiological outcomes. *Am J Sports Med* 2013; 41: 2314–2324. doi:10.1177/0363546513495637
- [47] Hirschmüller A, Baur H, Braun S et al. Rehabilitation after autologous chondrocyte implantation for isolated cartilage defects of the knee. *Am J Sports Med* 2011; 39: 2686–2696. doi:10.1177/0363546511404204
- [48] Skelley NW, Kurtenbach C, Kimber K et al. Return-to-Sport Review for Current Cartilage Treatments. *J Knee Surg* 2021; 34: 39–46. doi:10.1055/s-0040-1721669
- [49] Krych AJ, Pareek A, King AH et al. Return to sport after the surgical management of articular cartilage lesions in the knee: a meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2017; 25: 3186–3196. doi:10.1007/s00167-016-4262-3
- [50] Hurley ET, Davey MS, Jamal MS et al. Return-to-Play and Rehabilitation Protocols following Cartilage Restoration Procedures of the Knee: A Systematic Review. *Cartilage* 2021; 13: 9075–9145. doi:10.1177/1947603519894733
- [51] Campbell AB, Pineda M, Harris JD et al. Return to Sport After Articular Cartilage Repair in Athletes' Knees: A Systematic Review. *Arthroscopy* 2016; 32: 651–668.e1. doi:10.1016/j.arthro.2015.08.028
- [52] Davies GJ, McCarty E, Provencher M et al. ACL Return to Sport Guidelines and Criteria. *Curr Rev Musculoskelet Med* 2017; 10: 307–314. doi:10.1007/s12178-017-9420-9
- [53] Trattinig S, Winalski CS, Marlovits S et al. Magnetic Resonance Imaging of Cartilage Repair: A Review. *Cartilage* 2011; 2: 5–26. doi:10.1177/1947603509360209
- [54] Mithoefer K, Hambly K, Logerstedt D et al. Current concepts for rehabilitation and return to sport after knee articular cartilage repair in the athlete. *J Orthop Sports Phys Ther* 2012; 42: 254–273. doi:10.2519/jospt.2012.3665
- [55] Anonymous. Protokollempfehlungen der AG Bildgebende Verfahren des Bewegungsapparates (AG BVB) der Deutschen Röntgengesellschaft (DRG) zu Messsequenzen für die Gelenk-MRT. *Rofo* 2018; 190: 186–190. doi:10.1055/s-0043-125412