

Persönliche PDF-Datei für

Stefan Fickert, Matthias Aurich, Dirk Albrecht, Peter Angele, Lorenz Büchler, Michael Dienst, Christoph Erggelet, Jürgen Fritz, Christoph Gebhart, Hans Gollwitzer, Moritz Kindler, Christoph Lampert, Henning Madry, Gregor Möckel, Phillip Niemeyer, Jörg Schröder, Christian Sobau, Gunter Spahn, Wolfgang Zinser, Stefan Landgraber

Mit den besten Grüßen vom Georg Thieme Verlag

www.thieme.de

Biologische Rekonstruktion lokalisiert vollschichtiger Knorpelschäden des Hüftgelenks: Empfehlungen der Arbeitsgemeinschaft „Klinische Geweberegeneration“ der DGOU und des Hüftkomitees der AGA

DOI 10.1055/s-0043-116218
Z Orthop Unfall

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

Verlag und Copyright:

© 2017 by
Georg Thieme Verlag KG
Rüdigerstraße 14
70469 Stuttgart
ISSN 1864-6697

Nachdruck nur
mit Genehmigung
des Verlags



Biologische Rekonstruktion lokalisiert vollschichtiger Knorpelschäden des Hüftgelenks: Empfehlungen der Arbeitsgemeinschaft „Klinische Geweberegeneration“ der DGOU und des Hüftkomitees der AGA

Biologic Reconstruction of Full Sized Cartilage Defects of the Hip: A Guideline from the DGOU Group “Clinical Tissue Regeneration” and the Hip Committee of the AGA

Autoren

Stefan Fickert¹, Matthias Aurich², Dirk Albrecht³, Peter Angele⁴, Lorenz Büchler⁵, Michael Dienst⁶, Christoph Ergelet⁷, Jürgen Fritz⁸, Christoph Gebhart⁹, Hans Gollwitzer¹⁰, Moritz Kindler¹¹, Christoph Lampert¹², Henning Madry¹³, Gregor Möckel¹⁴, Phillip Niemeyer^{15,16}, Jörg Schröder¹⁷, Christian Sobau¹⁸, Gunter Spahn^{19,20}, Wolfgang Zinser²¹, Stefan Landgraaber²²

Institute

- 1 Universitätsmedizin Mannheim, Medizinische Fakultät Mannheim, Universität Heidelberg, sporthopaedicum Straubing/Regensburg, Straubing
- 2 Zentrum für Orthopädie und Unfallchirurgie, Klinikum Ingolstadt GmbH
- 3 Chirurgie, Klinik im Kronprinzenbau, Reutlingen
- 4 Abteilung für Unfallchirurgie, Universitätsklinikum Regensburg
- 5 Orthopädische Klinik, Spitalzentrum Biel AG, Schweiz
- 6 Hüftchirurgie, OCM München
- 7 alphaclinic Zürich, Universität Freiburg, Zürich, Schweiz
- 8 Orthopädie und Unfallchirurgie, Orthopädisch Chirurgisches Centrum, Tübingen
- 9 Zentrum für minimal invasive Hüftchirurgie, Vienna International Health Center, Wien, Österreich
- 10 Praxis für Hüft- und Knieendoprothetik, gelenkerhaltende Hüftchirurgie, ATOS Klinik München
- 11 Klinik für arthroskopische Chirurgie, Sporttraumatologie und Sportmedizin, BG Klinikum Duisburg
- 12 Hüftchirurgie, Orthopädie am Rosenberg Heiden AG, Sankt Gallen, Schweiz
- 13 Zentrum für Experimentelle Orthopädie, Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar
- 14 Medizinisches Versorgungszentrum – Praxisklinik Berlin Kaulsdorf, Arthropädicum, Berlin
- 15 Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Universitätsklinikum Freiburg
- 16 Orthopädische Chirurgie München, OCM
- 17 Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie, Charité – Universitätsmedizin Berlin
- 18 Orthopädie, Arcus Kliniken Pforzheim

- 19 Unfallchirurgie und Orthopädie, Praxisklinik für Unfallchirurgie und Orthopädie, Eisenach
- 20 Klinik für Unfall-, Hand- und Wiederherstellungschirurgie, Universitätsklinikum Jena
- 21 Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, St. Vinzenz-Hospital Dinslaken
- 22 Klinik für Orthopädie und Unfallchirurgie, Universität Duisburg-Essen, Essen

Schlüsselwörter

Hüftgelenk, Knorpelschaden, Mikrofrakturierung, autologe Chondrozytentransplantation, autologe matrixinduzierte Chondrogenese

Key words

hip, chondral defects, microfracture, autologous matrix induced chondrogenesis, autologous chondrocyte transplantation

Bibliografie

DOI <https://doi.org/10.1055/s-0043-116218>
 Online-publiziert | Z Orthop Unfall © Georg Thieme
 Verlag KG Stuttgart · New York | ISSN 1864-6697

Korrespondenzadresse

PD Stefan Fickert
 sporthopaedicum Straubing/Regensburg, Universitätsmedizin Mannheim, Medizinische Fakultät Mannheim, Universität Heidelberg
 Bahnhofplatz 27, 94315 Straubing
 Tel.: 09421/995 70, Fax: 09421/995 71 99
fickert@sporthopaedicum.de

ZUSAMMENFASSUNG

Hintergrund Symptomatisch präarthrotische Deformitäten wie das femoroazetabuläre Impingement (FAI) oder die Hüftdysplasie führen häufig zu lokalisierten Knorpeldefekten und nachfolgend zur Entstehung einer Koxarthrose. In der vorliegenden Arbeit werden die derzeitigen Methoden und Erkenntnisse zur Diagnose und operativen Behandlung von Knorpelläsionen dargestellt, um hieraus geeignete Therapieempfehlungen für das Hüftgelenk abzuleiten.

Material und Methoden Übersichtsarbeit zur Ätiologie und Therapie von Knorpelschäden am Hüftgelenk unter Berücksichtigung der aktuellen Literatur mit Darstellung der Studienlage und der Diskussion von Vor- und Nachteilen verschiedener operativer Verfahren zum Gelenkerhalt.

Ergebnisse In den meisten der bisher publizierten Studien zur operativen Behandlung von Knorpelschäden des Hüftgelenks wurden Defekte behandelt, die am Azetabulum durch ein FAI vom Cam-Typ ausgelöst werden. Ihre Entstehung kann durch rechtzeitige Beseitigung der pathologisch relevanten Deformitäten verhindert werden. Für die Therapie bereits bestehender vollschichtiger Knorpelläsionen werden derzeit fast ausschließlich knochenmarkstimulierende Techniken und die matrixgekoppelte autologe Knorpelzelltransplantation (MACT) eingesetzt. Für die Hüfte existieren zu diesen Verfahren bisher nur Studien auf geringem Evidenzniveau, was vor allem in der noch jungen Historie der Knorpelchirurgie in diesem Gelenk begründet ist. Allerdings ist schon jetzt zu erkennen, dass sich einige Erfahrungen mit den genannten Methoden vom Knie auf die Hüfte übertragen lassen.

Schlussfolgerung Bei umschriebenen und vollschichtigen Knorpelschäden ab 1,5–2 cm² stellt die MACT das zu bevorzugende Therapieverfahren dar, sofern keine wesentliche Gelenkdegeneration besteht. Ähnlich wie im Knie kann keine gesicherte obere Altersgrenze für einen gelenkerhaltenden Eingriff oder eine MACT im Hüftgelenk festgelegt werden, da das numerische nicht zwangsläufig mit dem biologischen Patientenalter bzw. Gelenkzustand korreliert. Wie für andere Gelenke auch, sind Langzeitbeobachtungen und die Durchführung prospektiv randomisierter Studien anzuraten.

ABSTRACT

Background Symptomatic pre-arthritic deformities such as femoroacetabular impingement (FAI) or hip dysplasia often lead to localised cartilage defects and subsequently to osteoarthritis. The present review of the working group "Clinical Tissue Regeneration" of the German Society of Orthopaedics

and Trauma (DGOU) and the hip committee of the AGA (German speaking Society for Arthroscopy and Joint Surgery) provides an overview of current knowledge of the diagnosis and surgical treatment of cartilage defects, in order to infer appropriate therapy recommendations for the hip.

Methods Review of FAI and resultant cartilage damage in the hip as reported in published study findings in the literature and discussion of the advantages and disadvantages of different surgical procedures to preserve the joint.

Results Most published studies on the surgical treatment of cartilage damage in the hip report defects caused by cam-type FAI at the acetabulum. Development of these defects can be prevented by timely elimination of the relevant deformities. At present, current full-thickness cartilage defects are mostly treated with bone marrow-stimulating techniques such as microfracture (MFX), with or without a biomaterial, and matrix-assisted autologous chondrocyte transplantation (MACT). Osteochondral autologous transplantation (OAT) is not the treatment of choice for isolated full-thickness chondral defects at the hip, because of the unfavourable risk-benefit profile. Due to the relatively short history of cartilage repair surgery on the hip, the studies available on these procedures have low levels of evidence. However, it is already becoming obvious that the experience gained with the same procedures on the knee can be applied to the hip as well. For example, limited healing and regeneration of chondral defects after MFX can also be observed at the hip joint.

Conclusions The cartilage surface of the acetabulum, where FAI-related chondral lesions appear, is considerably smaller than the weight-bearing cartilage surface of the knee joint. However, as in the knee joint, MACT is the therapy of choice for full-thickness cartilage defects of more than 1.5–2 cm². Minimally invasive types of MACT (e.g. injectable chondrocyte implants) should be preferred in the hip joint. In cases where a single-stage procedure is indicated or there are other compelling reasons for not performing a MACT, a bone marrow-stimulating technique in combination with a biomaterial covering is preferable to standard MFX. For treatment of lesions smaller than 1.5–2 cm² the indication for a single-stage procedure is wider. As with defects in the knee, it is not possible to determine a definite upper age limit for joint-preserving surgery or MACT in the hip, as the chronological age of patients does not necessarily correlate with their biological age or the condition of their joints. Advanced osteoarthritis of the hip is a contraindication for any kind of hip-preserving surgery. Long-term observations and prospective randomised studies like those carried out for other joints are necessary.

Einleitung

Die „Arbeitsgemeinschaft (AG) für klinische Geweberegeneration“ der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie (DGOU) publizierte im Jahr 2004 ein erstes Positionspapier zur Indikation und Anwendung der autologen Chondrozytentransplantation (ACT) im Kniegelenk [1]. Während die Empfehlungen

von damals noch überwiegend auf den klinischen Erfahrungen der AG-Mitglieder basierten, wurden sie in den folgenden Jahren durch die Ergebnisse klinischer Studien im Grundsatz bestätigt, in 2016 letztmals der bestverfügbaren Evidenz angepasst [2] und in ähnlicher Form auch von anderen Autoren und Fachorganisationen übernommen [2–4]. Im Gegensatz zum Knie- oder auch Sprunggelenk [5] existieren von der AG und dem Hüftkomitee

der AGA (Gesellschaft für Arthroskopie und Gelenkchirurgie) für das Hüftgelenk noch keine derartigen Empfehlungen, was Gegenstand des vorliegenden Manuskripts ist.

Wie bei anderen Gelenken auch, können chondrale oder osteochondrale Läsionen des Hüftgelenks durch akute, chronische oder degenerative Einflüsse entstehen. Während die Inzidenz traumatisch bedingter Knorpelschäden in der Hüfte relativ niedrig ist, wurden in den letzten Jahren zunehmend evidente Daten dazu veröffentlicht, dass das FAI neben der residuellen Hüftdysplasie eine der häufigsten Ursachen für zunächst noch lokalisierte Knorpeldefekte des Hüftgelenks und die spätere Entstehung einer sekundären Koxarthrose ist [6].

Aus einer Metaanalyse [7] von 26 Studien mit 2114 radiologisch untersuchten, asymptomatischen Hüftgelenken (\bar{x} Patientenalter: 25,3 Jahre, 57,2% Männer und 42,8% Frauen) wurde für die evaluierte Gesamtpopulation eine Prävalenz von 23,1% für das Auftreten eines FAI vom Cam-Typ berichtet. Bei jungen Athleten war die Prävalenz noch deutlich höher. Ähnliche hohe Raten wurden für Verletzungen des Labrums oder ein FAI von Pincer-Typ beobachtet [7], wobei Knorpelschäden und sekundäre Arthrosen beim Pincer- meist später und weniger ausgeprägt auftreten als beim Cam-Typ [8].

In der überwiegenden Zahl der Studien zur Behandlung lokalisierter Knorpelläsionen des Hüftgelenks wurden daher auch solche Defekte untersucht, die durch das repetitive Anschlagen der knöchernen Überbauten des Kopf-Hals-Übergangs am Azetabulum beim Cam-Impingement verursacht werden. Auffällig war hierbei ein häufig längerer Zeitraum zwischen Beschwerdebeginn und Diagnosestellung mit teils mehrfachen Konsultationen, bis das Hüftgelenk als Schmerzsache erkannt wurde [9]. Eine Beschwerdedauer von 9,5 Monaten gilt dabei als positiver Prädiktor für das Auftreten lokalisierter Knorpelschäden, bei einer Dauer von mehr als 23,5 Monaten ist mit einem signifikant schlechteren klinischen Ergebnis nach Hüftarthroskopie zu rechnen [10]. Ähnlich wie für andere Gelenke [2] gilt also, dass sich die Prognose mit dem Defektausmaß und der Chronifizierung der Beschwerden verschlechtert [8, 10, 11].

In der vorliegenden Übersichtsarbeit werden die bestehenden Erkenntnisse zu Knorpelschäden des Hüftgelenks unter besonderer Berücksichtigung des FAI und der residuellen Hüftdysplasie, ihrer Diagnostik, zu operativ korrigierenden Maßnahmen mechanischer Präarthrosen und zu verschiedenen Verfahren der biologischen Knorpelrekonstruktion zusammengefasst, um vor dem Hintergrund der derzeit bestverfügbaren Evidenz dieser Methoden Behandlungsempfehlungen für das Hüftgelenk abzuleiten.

Anamnese und klinische Untersuchung

Bereits eine ausführliche Anamneseeerhebung kann auf die Ursache bestehender Hüftbeschwerden hinweisen. Oft treten die ersten Beschwerden beim FAI und der Hüftdysplasie zwischen dem 20. und 30. Lebensjahr auf, wobei sie dann meist schon von Strukturschäden im Gelenk begleitet sind. Labrumdefekte können einen einschließenden, stechenden Schmerz in der Leistengegend verursachen, der durch bestimmte Bewegungen provoziert werden kann. Auch Schnapp- oder Blockierungsphänomene oder Leistschmerzen bei Zwangshaltungen werden beklagt. Bei der

klinischen Untersuchung kann dies durch einen positiven Impingement-Test auffällig werden.

Vermutlich aufgrund der fehlenden Innervation des Knorpels ist das Leitsymptom Schmerz nach Knorpelschädigung eher heterogen und die diesbezügliche klinische Diagnostik, insbesondere in einer noch frühen Phase, hinsichtlich Sensitivität und Spezifität oft schwierig. Schmerzsache infolge eines Knorpelschadens ist dann meist eine reaktive Synovitis und/oder die konsekutive Überlastung des subchondralen Knochens mit Ödembildung. Während Beschwerden anfänglich nach vermehrter körperlicher Aktivität auftreten, werden später auch Ruhe- und Nachtschmerzen beklagt [12]. Keine der bisher zur Verfügung stehenden körperlichen Untersuchungstechniken ermöglicht jedoch die sichere Identifizierung eines FAI, einer Dysplasie oder eines Knorpelschadens [13, 14].

Bildgebung

Die Diagnosestellung mechanischer Präarthrosen und/oder einer ggf. bestehenden Knorpelläsion erfolgt nach Ergänzung der körperlichen Untersuchung durch eine adäquate bildgebende Diagnostik. Bei der indirekten Beurteilung von Knorpelschäden hat das native Röntgen auch bei der Hüfte eine zentrale Bedeutung, da hiermit das Ausmaß degenerativer Veränderungen eingeschätzt werden kann. Die mechanische Ätiologie und Pathologie eines Gelenkknorpelschadens kann im Röntgen erfasst und darauf aufbauend ein Therapiekonzept erstellt und die Prognose beurteilt werden. Um hierfür relevante Parameter des betroffenen Hüftgelenks identifizieren und mit bekannten Normwerten vergleichen zu können, ist eine standardisierte a.-p. Aufnahme des Beckens mit 2. Ebene erforderlich. Bei speziellen Fragestellungen können zusätzliche Spezialaufnahmen (z.B. Faux-Profil oder Rippstein 2) notwendig sein. Sofern möglich, sollte zur radiologischen Beurteilung der Rotation und Inklination des Beckens bei Frauen auf den Gonadenschutz verzichtet bzw. dieser bei Männern distal der Symphyse positioniert werden [15, 16].

Das MRT erlaubt die morphologische Darstellung eines Knorpelschadens und des chondrolabralen Komplexes, die Beurteilung der Defekttiefe und des Umgebungsknorpels, aber auch von Sekundärphänomenen an der Synovia und des angrenzenden Knochens. Es ist in der prä- wie auch postoperativen Diagnostik dazu geeignet, Veränderungen des Knorpels und anderer Gelenkstrukturen darzustellen. Für eine hohe Auflösung sind am Hüftgelenk Geräte mit einer Feldstärke von mindestens 1,5 T sowie knorpelsensitive MRT-Sequenzen, wie z.B. Protonendichte (PD) und PD/T2-gewichtete fettunterdrückte TSE-Sequenzen zu empfehlen [17].

Defektlokalisierung und -klassifizierung

Die Bestimmung von Lokalisation und Ausmaß des Knorpelschadens ist für die daraus folgenden Therapieentscheidungen und zur postoperativen Verlaufsbeurteilung erforderlich, wobei die Hüftarthroskopie als Goldstandard für die Defektanalyse gilt [18, 19]. Folgende Aspekte sollten dabei besonders berücksichtigt werden: Defektlokalisierung, -größe und -tiefe, Zustand des subchondralen Knochens, des Umgebungsknorpels, des chon-

► **Tab. 1** Morphologische Klassifikation der chondrolabralen Läsion nach Haddad [22].

Graduierung	Morphologie
0	intakter Knorpel
1	Knorpeldelaminierung von der subchondralen Grenzlamelle, sog. „wave sign“
2	Separation des chondrolabralen Übergangs ohne Knorpeldelaminierung
3	makroskopische Knorpeldelaminierung von der subchondralen Grenzlamelle
4	vollschichtiger Knorpeldefekt mit exponiertem Knochen

drolabralen Komplexes und der Synovialis. Die aufgezählten Punkte werden jedoch nicht alle von den bekannten arthroskopisch zu ermittelnden Klassifikationen erfasst.

Philippon et al. führten eine Klassifizierung der Defektlokalisierung ein, die den Defekt als Position der Uhrzeit auf das Azetabulum bzw. den Femurkopf projiziert [20]. Ilizaliturri et al. unterteilen das Azetabulum in 6 Zonen: eine antero-, zentral- und posteroinferiore und entsprechend hierzu 3 superiore Zonen [21]. Die ICRS-Klassifikation wurde für das Knie- jedoch nicht für das Hüftgelenk validiert. Die Graduierung in der Klassifizierung nach Beck ist durch Beschreibung der Defektmorphologie deskriptiv, dient aber nicht als Gradmesser der Schwere der Knorpelverletzung. Haddad [22] kombinierte die anatomische Defektzuordnung gemäß Ilizaliturri et al. mit einer morphologischen Einteilung der chondrolabralen Läsion. Die Klassifikation von Haddad weist die beste Interrater-Reliabilität auf, weshalb sie auch die derzeit zu empfehlende Klassifikation für die morphologische Beschreibung eines chondralen Defekts des Azetabulums ist (► **Tab. 1**). Für die Beschreibung der Defektlokalisierung wird von der AG Geweberegeneration und dem Hüftkomitee der AGA die modifizierte Klassifikation von Griffin empfohlen (► **Abb. 1**), da diese eine genauere Beschreibung der Defektsituation ermöglicht und durch die „Uhrzeigermethode“ von hoher praktischer Relevanz ist, was sich auch im Knorpelregister der DGOU gezeigt hat. Für die Beurteilung des Ergebnisses nach einem knorpelreparativen Verfahren an der Hüfte liegt noch keine arthroskopisch zu ermittelnde Klassifizierung vor. Kernspintomografisch wurden gute Erfahrungen mit dem MOCART-Score gemacht [17].

Korrigierende Eingriffe zur Beseitigung biomechanischer Probleme

Grundsätzlich ist die biologische Rekonstruktion eines Knorpelschadens, der durch eine biomechanische Pathologie des Gelenks entstanden ist, nur durch die Beseitigung des ursächlichen Problems möglich. Die konservative Behandlung oder alleinige Knorpeldefektsanierung ist ohne eine solche Vorgehensweise meist wenig erfolgreich [24, 25]. Bei entsprechender Diagnose und klinischer Symptomatik sollte der korrigierende Eingriff beim FAI, der die Beseitigung der Störungen am Kopf-Schenkelhals-Über-

gang und/oder am Pfannenrand zum Ziel hat, daher zeitnah zur eigentlichen Knorpeltherapie erfolgen.

Der korrigierende Eingriff kann entweder offen, mini-offen oder arthroskopisch erfolgen, wobei sich zwischen den verschiedenen Techniken kein Unterschied im langfristigen subjektiv patientenzentrierten Ergebnis zeigt [26]. Allerdings weist die offene Operation, insbesondere nach intraoperativer Luxation des Hüftkopfs aus der Pfanne, signifikant höhere Komplikations- und Reoperationsraten auf [27]. Eine residuelle Dysplasie kann ursächlich nur durch eine mehrdimensionale Achskorrektur behandelt werden [12].

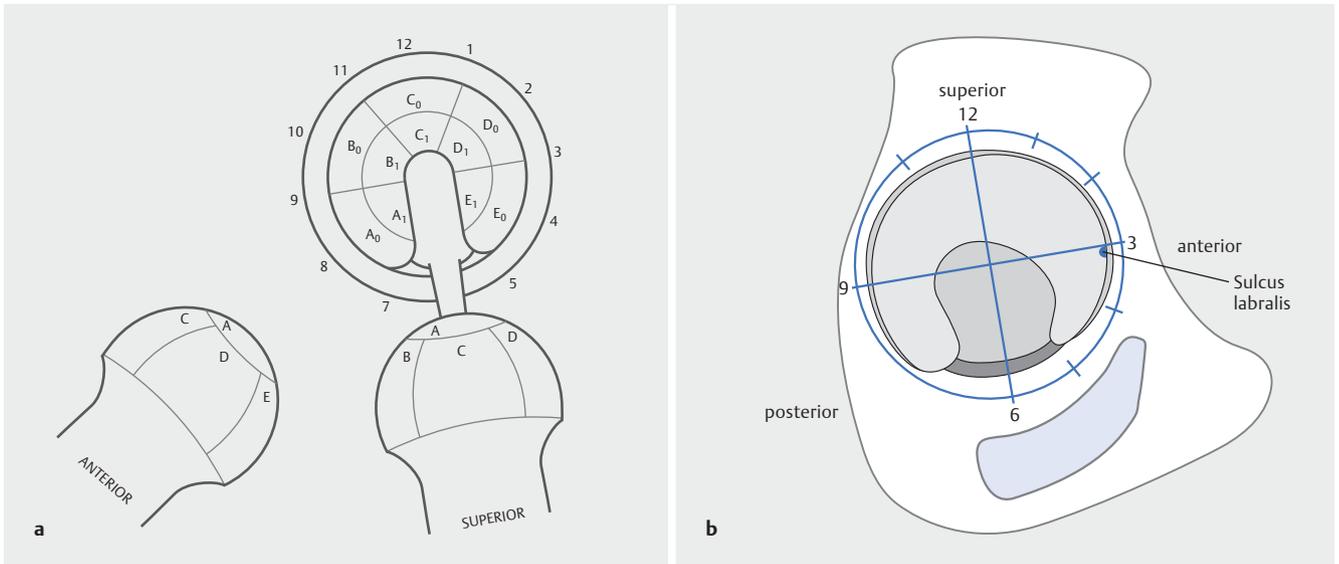
Neben den knöchernen Pathologien sind auch entstandene Labrumdefekte zu behandeln, da sie selbst zur Schädigung des Gelenkknorpels beitragen. Das Labrum kann entweder reseziert oder refixiert werden. Die Entscheidung zur jeweiligen Vorgehensweise ist im Wesentlichen von der noch bestehenden Gewebequalität speziell des Labrums abhängig. In Studien war der Erhalt des Labrums durch Refixierung der Resektion überlegen [28, 29].

Bei meist koexistierenden Knorpelschäden scheint das klinische Ergebnis jedoch im Wesentlichen von der Therapie des Knorpelschadens und nicht von der Labrumläsion abhängig zu sein [30]. Therapierelevante Knorpelschäden finden sich i. d. R. am Azetabulum, vor allem anterolateral. Knorpelläsionen am Femurkopf sind selten. Ihre Ätiologie ist meist vaskulärer, iatrogen oder traumatischer Genese. Ähnlich wie im Knie [2] stellen fortgeschrittene degenerative Veränderungen des Hüftgelenks keine geeignete Indikation für eine biologisch-rekonstruktive Intervention mehr dar [31, 32].

Besondere anatomische und operative Bedingungen bei der Anwendung biologisch-rekonstruktiver Verfahren im Hüftgelenk

Im Vergleich zum Kniegelenk ist die klinische Evidenzlage zu unterschiedlichen Verfahren der biologischen Knorpelrekonstruktion im Hüftgelenk bisher weniger gut untersucht. Ein wesentlicher Grund hierfür ist, dass sich im Hüftgelenk manche Methoden, wie z. B. der osteochondrale Transfer (Mosaikplastik, OATS), aus anatomischen Gründen entweder gar nicht (z. B. Hüftpfanne) oder nur unter Entstehung einer erheblichen chirurgischen Komorbidität anwenden lassen. Bei autologer Vorgehensweise werden die Knorpel-Knochen-Zylinder für eine Mosaikplastik am lateralen Kopf-Hals-Übergang des Femurs oder aus dem Kniegelenk entnommen. Die längere Rekonvaleszenz und die höheren Komplikationsraten des offenen Eingriffs [27, 33] und ggf. die zusätzlich entstehende Komorbidität bei Entnahme der Spenderzylinder im Knie führt dann häufig zu einem ungünstigen Nutzen-Risiko-Verhältnis. Verfahren wie der osteochondrale Transfer werden im Hüftgelenk daher fast ausschließlich bei osteochondralen Defekten des Hüftkopfs, aber nicht bei rein chondralen Defekten des Azetabulums oder Femurkopfs eingesetzt [19].

Aber auch die rein arthroskopische Intervention zur Korrektur und Sanierung bestehender Deformitäten und Gewebedefekte stellt für den Operateur einen komplexen Eingriff im Hüftgelenk



► **Abb. 1** Azetabuläre Zonen modifiziert nach Griffin für (a) die rechte Hüfte mit der 3.30-Uhr-Position anterior (https://www.researchgate.net/publication/278658914_Normal_and_Pathological_Arthroscopic_View_in_Hip_Arthroscopy) [rerif]. Darstellung der anatomisch-arthroskopischen Landmarken (b) für das Azetabulum der rechten Hüfte. Der anteriore Sulcus labralis dient als zuverlässige Landmarke für die 3.30-Uhr-Position wegen dessen universaler Präsenz und guter arthroscopischer Darstellbarkeit. Die 3.30-Uhr-Position des Azetabulums ist am rechten und linken Hüftgelenk als anterior definiert [23]. Am Femurkopf ist der laterale Rand der Plica synovialis medialis in 10° Innenrotation als 3.30-Position definiert, da die Plica gegenüber der Psoassehne liegt.

dar. Hierbei sollten möglichst viele Operationsschritte, wie Cam-Resektion oder Labrumpräparation, ohne Traktion durchgeführt werden, um zugbedingte Irritationen oder Schäden verschiedener Strukturen, wie z. B. Äste des N. pudendus zu vermeiden. Bei zweizeitiger Vorgehensweise, z. B. im Rahmen einer autologen Chondrozytentransplantation (ACT), ist es sinnvoll, möglichst viele Korrekturen bereits im 1. Eingriff durchzuführen, da den Operateur im Folgeeingriff eine erhöhte Vulnerabilität des Gewebes durch die vorausgegangene Operation erwartet.

Bei der Hüftarthroskopie sind selbst einfachere Knorpelmaßnahmen, wie z. B. eine Abrasionsarthroplastik, Mikro- (MFx) oder Nanofrakturierung (NFx), nicht immer leicht durchführbar. So ist aufgrund der anatomischen Besonderheiten eine vertikal zur Knochenlamelle ausgerichtete MFx oder NFx oft schwierig, was besonders bei einer harten Subchondralschicht eher zu einem Kratzen (scratching) der Instrumente auf ihr statt zu einer kontrollierten Perforation der Knochenlamelle führen kann. Auch machen die Orientierung des Azetabulums sowie die häufig anterolateral lokalisierten Knorpelschäden ein Kopfüberarbeiten senkrecht zur Hautoberfläche notwendig. Je nach Labrumstärke kann es zu einer weiteren Verringerung der zur Verfügung stehenden Arbeitsfläche kommen. Um das Labrum nicht zu schädigen, hilft in diesen Fällen ein weiterer Zugang oder das Weghalten des Labrums [12].

Die arthroscopische oder ggf. offen durchgeführte chirurgische Behandlung eines FAI sollte von einem hierfür erfahrenen Operateur durchgeführt werden. Unter diesen Bedingungen werden über geringe Komplikationsraten besonders der arthroscopischen Eingriffe berichtet. Eine offene Vorgehensweise kann bei manchen Indikationen erforderlich werden, ist jedoch mit den bereits beschriebenen Nachteilen verbunden [33, 34].

Voraussetzungen und unterschiedliche Verfahren für die biologische Knorpelrekonstruktion

Obwohl selbst asymptomatische Knorpelschäden häufig zur Progredienz neigen, besteht noch immer allgemeiner Konsens darüber, dass i. d. R. nur klinisch symptomatische und vollschichtige Knorpelschäden behandelt werden sollten [2]. Wie oben begründet gilt dabei, dass unabhängig vom geplanten Verfahren der biologischen Knorpelrekonstruktion neben einem Knorpelschaden bestehende, funktionell relevante biomechanische Fehler beseitigt werden müssen, um so den Erfolg der Knorpeltherapie nicht zu gefährden. Auch sollten tiefere ossäre Defekte, wie z. B. bei einer Osteochondrosis dissecans (OD) des Femurkopfs, vor der Knorpeltherapie entweder knöchern rekonstruiert oder mit einem osteochondralen Implantat versorgt werden [19].

Lässt sich bei einer OD ein noch vitaler und nicht fragmentierter Knorpel-Knochen-Sequester oder bei einer sog. Teppichläsion im Rahmen eines FAI der Knorpel-Labrum-Komplex mit Aussicht auf Erfolg refixieren (z. B. mittels Subchondral Cartilage Regeneration Therapy [SCART], Anbohrung und Fibrinkleber), ist dies eine Therapieoption, die aber einer weiteren wissenschaftlichen Evaluation bedarf [35,36]. Wegen geringer Erfolgsaussicht ist bei vollständiger Ablösung des Knorpels, also auch bei chondrolabraler Separation oder bei avitalen Sequestern, eher Abstand davon zu nehmen.

Wie bei anderen Gelenken können die derzeit für das Hüftgelenk zur Verfügung stehenden operativen Knorpeltherapien im Wesentlichen in knochenmarkstimulierende Techniken und

Transplantationsverfahren unterteilt werden. Aufgrund einer ähnlichen Wirkungsweise zählen zu den zuerst genannten Methoden die Abrasion, anbohrende Verfahren oder die arthroskopische MFX/NFx ohne oder mit zusätzlicher Verwendung eines Biomaterials. Zu den Transplantationstechniken gehören der osteochondrale Transfer und die ACT [2]. Lavage und Débridement, z. B. bei ein- oder zweitgradigen Defekten nach der ICRS-Klassifizierung, mit dem Ziel, zerfaserte oder einklemmende Knorpelbestandteile zu entfernen, zählen nicht zu den knorpelreparativen Methoden, weshalb sie nachfolgend auch keine gesonderte Erwähnung finden.

Knochenmarkstimulierende Techniken

Voraussetzung aller knochenmarkstimulierenden Techniken ist das Débridement des geschädigten Knorpels bis zur subchondralen Grenzlamelle mit Herstellung einer möglichst stabilen Randleiste zum intakten Knorpel. Für die Durchführung der MFX nach Débridement werden Ahlen mit unterschiedlichen Krümmungen der Spitze angeboten, um eine möglichst senkrechte Perforation des subchondralen Knochens an allen Stellen des Azetabulums zu erzielen. Empfohlen wird ein Lochabstand von 3–4 mm bei einer Eindringtiefe von 4–5 mm, wobei eine tiefere Perforation bei vermehrter Sklerosierung des Knochens erforderlich werden kann. Ein Einbrechen der Knochenlamelle ist jedoch unbedingt zu vermeiden.

Im Vergleich zum Kniegelenk ist der Knochen am Azetabulum durch seine hohe Belastung pro Fläche häufig sklerotischer, insbesondere bei größeren Knorpeldefekten. Daher kann es bei Abrasion mithilfe eines Shavers oder einer Kürette technisch schwierig sein, eine einheitliche Resektionstiefe über die konkave Fläche der Pfanne zu erreichen. Ferner neigen Ahlen für die MFX, besonders unter diesen Bedingungen, zu einem vermehrten Abgleiten und statt den gewünschten Perforationen entstehen nur Riefen im Knochen. Auch deshalb sollte vor Beendigung der knochenmarkstimulierenden Maßnahmen die suffiziente Einblutung durch Reduktion des Spüldrucks geprüft werden [12].

Nach Durchführung der MFX kann das Defektareal mit einer Membran abgedeckt werden, um das entstehende Blutkoagel und die darin enthaltenen mesenchymalen Stroma- oder Stammzellen (MSC) besser vor Abscherung aus dem Defektbett zu schützen und um ein permissiveres Milieu für die Knorpelreparatur zu schaffen. Zu diesem Zweck stehen verschiedene Biomaterialien zur Verfügung, die z. B. aus Kollagen, Hyaluronsäure oder einem synthetischen Polymer bestehen. Mithilfe eines Defektabdrucks als Schablone kann das abdeckende Biomaterial passgerecht zugeschnitten werden. Hierbei muss beachtet werden, dass die Fläche bestimmter Kollagenmembranen nach ihrer Befeuchtung durch Quellen bis zu 15% an Größe zunimmt. Auch bestehen zwischen verschiedenen zur Verfügung stehenden Biomaterialien teils erhebliche Unterschiede in ihren strukturellen und biologischen Eigenschaften [2].

Bei arthroskopischer Vorgehensweise wird im Anschluss zur Defektpräparation die Spülflüssigkeit abgesaugt und insbesondere das Defektareal, z. B. mithilfe einer Fasszange und kleinen Tupfern, getrocknet. Die abdeckende Membran wird dann eingewickelt und über ein Portal in den Defekt eingelegt.

Die initiale Adhäsion der Membran wird durch den Blutaustritt nach Abrasion oder MFX vermittelt, die abschließende Fixierung kann teilweise mit Fadenankern oder Fibrinkleber erfolgen, der auf das Biomaterial aufgebracht wird. Das häufig auch als AMIC® bezeichnete Verfahren (autologe matrixinduzierte Chondrogenese), erfordert bei Anwendung im Hüftgelenk eine hohe operative Geschicklichkeit, speziell für die korrekte Größenkonfektionierung und arthroskopische Fixierung des Biomaterials. Außerdem besteht am Hüftkopf die relevante Gefahr einer Implantatabsicherung [37]. Weitere technische Durchführungsempfehlungen sind im aktuellen Praxisleitfaden der AG Geweberegeneration der DGOU im entsprechenden Kapitel zum Hüftgelenk beschrieben [12].

Bisherige klinische Ergebnisse nach MFX und AMIC

Knochenmarkstimulierende Techniken, und hierunter vor allem die arthroskopische MFX, sind nach wie vor die am häufigsten verwendeten Methoden zur operativen Behandlung von Knorpelschäden größerer Gelenke, so auch der Hüfte.

Für das Kniegelenk wurde in mehreren klinischen Studien und großen Metaanalysen innerhalb von 2–3 Jahren nach MFX wieder eine Verschlechterung der anfänglichen Befundverbesserung beschrieben, nach 5 Jahren auch unabhängig von der behandelten Defektgröße und meist begleitet von arthrotischen Veränderungen [38–40]. Ferner wurden für das Sprunggelenk signifikant schlechtere klinische Ergebnisse nach Mosaikplastik [41] und höhere Versagensraten (Faktor 3–6) nach ACT im Kniegelenk berichtet, wenn diese nicht als primäres Verfahren, sondern als Reservetherapie nach fehlgeschlagener MFX eingesetzt wurden [2, 42, 43]. Aufgrund der kürzeren Anwendungshistorie der MFX in der Hüfte existieren für dieses Gelenk bisher nur wenige Studien mit meist noch kurzen Verläufen.

In einem systematischen Review [44] auf niedrigstem Evidenzniveau (Level 4) zur MFX nach arthroskopischer Behandlung bei Knorpelschäden des Hüftgelenks als Folge eines FAI wurden vornehmlich positive Ergebnisse bei geringen Komplikations- und Revisionsraten beschrieben. Ausgewertet wurden 12 Studien mit insgesamt 267 Patienten und einem durchschnittlichen Follow-up von 29,5 Monaten (4–60 Monate). Als weitere limitierende Faktoren der 12 Studien müssen die überwiegend kurzen Verlaufszeiten, fehlenden Kontrollgruppen, meist geringen Fallzahlen und die häufig höheren Lost-to-Follow-up-Raten bezeichnet werden [45].

Philippou et al. [46] berichteten von 9 Patienten mit MFX bei azetabulären Knorpeldefekten (\emptyset Defektgröße: 1,6 cm²), bei denen aus verschiedenen Gründen nach knapp 20 Monaten Verlaufszeit eine arthroskopische Revision durchgeführt wurde. Zu diesem Zeitpunkt wurde eine durchschnittliche Defektauffüllung von 91% gefunden. Ähnliche Befunde nach 19 Monaten bei 17 untersuchten Patienten wurden aus einer anderen Fallserie berichtet [47].

In einer Matched-Pair-Analyse bei überwiegend FAI-bedingten Knorpelläsionen wurden die Ergebnisse von Patienten, deren vollschichtige Knorpelschäden (Outerbridge Grad IV) mit MFX behandelt wurden (n = 49), mit solchen verglichen, bei denen niedrig-

gradigere Läsionen (Outerbridge \leq III) vorlagen und die nicht zuzätzlich mit MFX ($n = 158$) behandelt wurden [48]. Beide Gruppen zeigten im Follow-up von etwas mehr als 2 Jahren eine statistisch signifikante Verbesserung in den 4 untersuchten PRO-Scores (PRO: Patient reported Outcome) im Vergleich zum Ausgangswert, wobei keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen festgestellt wurden. Bezüglich Schmerz und Patientenzufriedenheit wurden auf einer visuellen Analogskala jedoch signifikant bessere Ergebnisse für die Gruppe ohne MFX berichtet.

In einer anderen Studie [49] mit 70 Patienten (\emptyset Defektgröße: $1,43 \text{ cm}^2$, \emptyset Alter: 41 Jahre [16–62 Jahre]) wiesen nach 24 Monaten 61 % der Patienten gute und 39 % schlechte Ergebnisse im Harris-Hip-Score (HHS) auf. Signifikant altersabhängige Ergebnisunterschiede wurden nicht beobachtet. In 17 Fällen musste eine Revision durchgeführt werden, wobei 12 dieser Patienten mit einer Prothese versorgt wurden. Bei fortgeschrittenen degenerativen Veränderungen wurden noch höhere Konversionsraten zur Prothesenversorgung innerhalb von 3 Jahren nach OP und MFX beschrieben [31]. Die Autoren dieser Studie zogen aufgrund ihrer Ergebnisse u. a. den Schluss, dass Patienten mit drittgradigen Arthrosen nach Tönnies nicht mehr für eine biologische Rekonstruktion des Hüftgelenks geeignet sind.

In einer monozentrischen, retrospektiven und nicht randomisierten Studie mit 147 Patienten wurden die Ergebnisse der MFX ($n = 77$, \emptyset Defektgröße: $3,7 \text{ cm}^2$) mit denen des AMIC-Verfahrens ($n = 70$, \emptyset Defektgröße: $3,5 \text{ cm}^2$) verglichen [50]. Nach Korrektur entsprechender Begleitpathologien wurden überwiegend azetabuläre Knorpelschäden, Grad III–IV nach Outerbridge, als Folge eines Cam- oder Pincer-Impingements oder von Mischformen behandelt. Die Auswertung erfolgte mithilfe einer modifizierten Form des Harris-Hip-Scores (mHHS). Der präoperative Score der AMIC-Patienten war signifikant niedriger und die Zusammensetzung der Patienten der MFX-Gruppe inhomogener. Nach 2 bis 5 Jahren waren die Ergebnisse der AMIC-Patienten signifikant besser. Dies insbesondere auch deshalb, da die Ergebnisse der MFX nach dem 1. Jahr wieder kontinuierlich schlechter wurden, vor allem bei Defekten $\geq 4 \text{ cm}^2$. Sieben dieser Patienten mussten im Beobachtungszeitraum mit einer Hüftprothese versorgt werden. Als wichtigster limitierender Faktor der Studie wurde die fehlende Randomisierung und eingeschränkte Eignung des mHHS, insbesondere bei jüngeren und sportlich aktiven Patienten, genannt, da der Score überwiegend basale Alltagstätigkeiten abfragt und Aktivitäten mit größerer Belastung wenig Beachtung finden [50]. Histologische Untersuchungen wurden nicht durchgeführt. Die arthroskopische Nachuntersuchung eines Patienten mit AMIC zeigte ein Regenerat mit fibröser Erscheinung. In einer kleineren prospektiven Fallserie mit 16 Patienten und FAI mussten im Verlauf von 3 Jahren 2 Patienten nach AMIC und 3 Patienten nach MFX mit einer Prothese versorgt werden [52].

Autologe Chondrozytentransplantation (ACT)

Das Prinzip der ACT besteht darin, dass aus einem wenig belasteten Gelenkbereich (bei der Hüfte z. B. dem Kopf-Schenkelhals-Übergang) eine definierte Menge Knorpel entnommen wird, um

nach Anzucht der hieraus isolierten Knorpelzellen diese in einem Zweiteingriff in den Knorpeldefekt zu implantieren.

Verfahren der 1. und 2. Generation, bei denen die präparierte Defektkammer für die Injektion einer Chondrozytensuspension zuvor mit einem Periostlappen oder einer Kollagenmembran wasserdicht übernäht werden musste, haben sich aufgrund ihres invasiven Charakters, insbesondere auch am Hüftgelenk, nicht durchsetzen können [19].

In den letzten Jahren wurden diese Methoden mithilfe verschiedener Biomaterialien als Träger für die Chondrozyten (3. Generation oder matrixgekoppelte ACT [MACT]) ersetzt, wodurch einige Verbesserungen erzielt werden konnten [2]. Darunter eine bessere Redifferenzierung, Verteilung und Protektion der Zellen im Defekt, eine deutlich geringere Invasivität und Komorbidität des Eingriffs, verbunden mit einer teils erheblichen Reduktion unerwünschter Nebenwirkungen, wie z. B. einer klinisch relevanten Implantathypertrophie [53, 54]. Auch konnten so die histologischen Ergebnisse der klassischen Periost-ACT verbessert und in Metaanalysen eine signifikant bessere klinische Wirksamkeit geeigneter MACT-Verfahren festgestellt werden [53, 55].

Trotzdem ist die Verwendung eines primär soliden Biomaterials (z. B. einer Kollagenmembran) zur MACT an der Hüfte bei rein chondralen Defekten als nicht ideal zu bezeichnen, insbesondere auch dann, wenn eine arthroskopische Applikation erfolgen soll. Zu diesem Zweck muss das zellbesiedelte Biomaterial, ähnlich wie bei dem AMIC-Verfahren, eingerollt und über ein Portal in den Defekt eingebracht werden [56]. Hierbei können jedoch erhebliche biomechanische Belastungen auftreten, von denen bekannt ist, dass sie zur Zellschädigung mit dem Absterben der Chondrozyten im Biomaterial [57] und als Konsequenz hiervon auch zu signifikant schlechteren klinischen Ergebnissen führen [58].

Erst aktuelle Weiterentwicklungen mit injizierbaren und in situ polymerisierenden Hydrogelen als Träger oder mit kultivierten Chondrozyten in Form von 3-dimensionalen Sphäroiden (Zell-Matrix-Kügelchen) haben eine zellschonende arthroskopische Anwendung der MACT bei den meist schwierigen Platzverhältnissen im Hüftgelenk ermöglicht und auch technisch die Anwendung von Verfahren zur biologischen Knorpelrekonstruktion in der Hüfte oder anderen schwierigen Defektlokalisationen vereinfacht [59, 60].

Bisherige klinische Ergebnisse nach ACT

Zur ACT und anderen Methoden der biologischen Knorpelrekonstruktion im Kniegelenk existieren zahlreiche Studien, darunter solche mit prospektiv randomisiertem Design, Metaanalysen und systematische Reviews sowie Langzeitbeobachtungen bei Erwachsenen und Adoleszenten [2, 61–66]. Vor dem Hintergrund der hierzu bestehenden Datenlage, d. h. auch der bestverfügbaren Evidenz, gilt die ACT im Knie, insbesondere matrixgekoppelt, bei Beachtung bestimmter Ein- und Ausschlusskriterien als das derzeit zuverlässigste Verfahren im Langzeitverlauf zur operativen Sanierung klinisch symptomatischer und lokalisiert vollschichtiger Knorpelschäden über $2\text{--}4 \text{ cm}^2$ Defektfläche [2, 3, 67]. Auch scheinen die Ergebnisse der ACT weniger altersabhängig zu sein als die der MFX [2].

Wie bereits begründet, existieren für das Hüftgelenk bisher nur wenig vergleichende Studien, so auch zur ACT mit anderen Methoden. In einer retrospektiven Studie wurden Patienten mit vollschichtigen, überwiegend posttraumatisch bedingten Knorpeldefekten (Grad III–IV nach Outerbridge) des Hüftgelenks entweder mit einer MACT (unter Verwendung eines soliden Trägermaterials) oder mit einfachem Débridement versorgt [68].

Ausgewertet wurde der HHS von jeweils 15 Patienten mit längeren Verlaufszeiten. Patienten mit einer Arthrose größer Grad 2 nach Tönnis wurden ausgeschlossen. Bei vergleichbarem Patientenalter betrug die durchschnittliche Defektgröße in beiden Gruppen $2,6 \text{ cm}^2$. Beim letzten Follow-up (nach ≈ 5 Jahren) wurden für die Patienten mit MACT signifikant und klinisch relevant bessere Ergebnisse im HHS festgestellt ($p < 0,001$). Die schlechtesten Ergebnisse wurden für Patienten mit Knorpelschäden $> 3 \text{ cm}^2$ nach Débridement gefunden.

In einer nicht randomisierten, retrospektiven Studie mit 57 Patienten wurden die Ergebnisse einer matrixgekoppelten Form der ACT ($n = 26$) mit denen des AMIC-Verfahrens ($n = 31$) nach Behandlung von kleineren bis mittleren azetabulären Knorpeldefekten als Folge eines FAI verglichen [56]. Bei vergleichbarem Patientenalter (≈ 36 Jahre) betrug die durchschnittliche Defektgröße in der MACT-Gruppe $2,8 \text{ cm}^2 (\pm 0,7 \text{ cm}^2)$ und in der AMIC-Gruppe $2,9 \text{ cm}^2 (\pm 0,8 \text{ cm}^2)$. Als einziger Score wurde der mHHS verwendet. Im 5-Jahres-Verlauf wurde in beiden Gruppen eine signifikante Verbesserung im Vergleich zu Baseline festgestellt, die Unterschiede waren nicht signifikant. Bei Defekten über 3 cm^2 lag die durchschnittlich erreichte Punktzahl nach 5 Jahren im mHHS in der MACT-Gruppe bei 85,2 und in der AMIC-Gruppe bei 83,2. Drei Patienten der AMIC-Gruppe erschienen im 4. postoperativen Jahr nicht mehr zur Nachuntersuchung. Als weitere limitierende Faktoren der Studie wurden die fehlende Randomisierung und die bereits erwähnte eingeschränkte Eignung des mHHS als einzelner Score für die klinische Ergebnisauswertung genannt. Auch wurden keine histologischen oder kernspintomografischen Nachuntersuchungen durchgeführt.

In letzter Zeit wurden für das Hüftgelenk die ersten Ergebnisse injizierbarer ACT-Verfahren publiziert. In einer Machbarkeitsstudie [59] wurden 6 Patienten mit vollschichtigen azetabulären Knorpelschäden nach Korrektur eines Cam-Impingements arthroskopisch mit einer MACT versorgt. Im 1-Jahres-Verlauf wurden signifikante Verbesserungen in den verwendeten Scores (mHHS, NAHS [Non-Arthritic Hip Score] und SF-36 [Short-Form-Gesundheitsfragebogen]) im Vergleich zu Baseline festgestellt.

In einer prospektiven Studie mit 16 Patienten und ähnlichen Defekten (\approx Größe: $4,52 \text{ cm}^2$, $3\text{--}6 \text{ cm}^2$) wurden der NAHS und Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC) ausgewertet [69]. In beiden Scores wurde im Verlauf und beim letzten Follow-up ($\approx 16,9$ Monate) eine signifikante Verbesserung im Vergleich zu Baseline ($p < 0,001$) gefunden. In 2 Fällen musste eine Rearthroskopie zur Lösung von Adhäsionen durchgeführt werden, wobei sich eine quantitativ und qualitativ gute Defektauffüllung zeigte. Aus einer weiteren Studie mit 20 konsekutiven Patienten bei vergleichbaren Indikationen und Knorpeldefekten (\approx Größe: $5,05 \text{ cm}^2$, $2\text{--}6 \text{ cm}^2$) wurden ähnlich gute und statistisch signifikante Ergebnisse in den verwendeten Scores (mHHS, iHOT [international Hip Outcome Tool] und SHV [Sub-

jective Hip Value]) 6–24 Monate nach injizierbarer ACT berichtet [70]. Es wurden keine altersabhängigen Ergebnisunterschiede gefunden.

In einer anderen noch nicht veröffentlichten Studie [71] mit einem in situ polymerisierenden Biomaterial für die MACT bei 21 Patienten mit azetabulären Defekten nach FAI trat bei einem Patienten im 1-Jahres-Verlauf eine revisionsbedürftige Adhäsion auf, andere Komplikationen wurden nicht beobachtet.

Insgesamt sind den geeigneten injizierbaren ACT-Formen bisher die geringen Komplikationsraten und überwiegend guten klinischen Ergebnisse gemeinsam. Als limitierend müssen die noch kurzen Verlaufszeiten, geringen Fallzahlen und fehlenden Kontrollgruppen in den Studien angesehen werden. Aus ethischen Gründen wurden bisher für die Hüfte keine histologischen Untersuchungen beim Menschen durchgeführt.

In einer prospektiven Studie wurden 37 Patienten mit azetabulären Knorpeldefekten als Folge eines FAI nach Ursachenkorrektur entweder mit einer MFX ($n = 16$) oder einer injizierbaren MACT ($n = 21$) behandelt [72]. Während nach 6 und 12 Monaten in beiden Gruppen eine Verbesserung der klinischen Scores beobachtet wurde, konnten im kernspintomografisch ermittelten MOCART-Score nach 1 Jahr signifikant bessere Ergebnisse ($p \leq 0,001$) für die Patienten nach MACT festgestellt werden. Dies weist darauf hin, dass die für das Kniegelenk bekannten biologischen Defizite der MFX auch im Hüftgelenk bestehen. Ähnlich wie in der prospektiven Studie werden im Knie zunächst oft gleichwertige klinische Ergebnisse nach MFX oder MACT beobachtet, die sich erst im weiteren Verlauf signifikant zugunsten der MACT verändern [62, 64]. Auch war die Streuung der klinischen Ergebnisse nach MFX nach 1 Jahr in der prospektiven Hüftstudie deutlich größer als die nach MACT [72], was wie in Studien zum Kniegelenk [73] auf eine schlechtere Responderrate nach MFX hindeutet.

Biologische Erkenntnisse und allgemeine Aspekte zu verschiedenen knorpelrekonstruktiven Verfahren

Nach Anwendung markraumöffnender Verfahren entsteht durch die in den Defekt mit dem Blut eintretenden MSC überwiegend Faserknorpel, wobei dies auch für das Hüftgelenk gilt [45, 47]. Faserknorpel weist jedoch nicht die hohe biomechanische Belastbarkeit des gesunden hyalinen Gelenkknorpels auf, weshalb er insbesondere bei größeren Defekten und nach längeren Verlaufszeiten degeneriert [38–40]. Auch induziert die Perforation der Knochenlamelle durch MFX oft erhebliche Pathologien des subchondralen Knochens, der im intakten Zustand mit dem gesunden Knorpel eine funktionelle Einheit bildet [2]. Zu diesen Veränderungen gehören die Bildung subchondraler Knochenzysten, eine reaktive Elevation, Sklerose und Degeneration der Knochenlamelle mit Ausdünnung des darüber gelegenen Knorpelgewebes [45, 74, 75].

Daneben wird regelmäßig das Auftreten intraläsionaler Osteophyten beobachtet. In einer prospektiven Studie zur MFX im Kniegelenk bestand dieses Problem bei über 90% der Patienten mit Therapieversagen. Auch wurde bei diesen Patienten im Vergleich

zu solchen ohne vermehrte Knochenbildung ein 10-fach höheres Versagensrisiko ($p < 0,01$) beobachtet [76]. Die zusätzliche Verwendung einer abdeckenden Kollagenmembran nach MFx hat bisher weder im Tierversuch noch beim Menschen die überwiegende Entstehung von Faserknorpel oder auch die Bildung intraläsionaler Osteophyten verhindern können [45, 77, 78].

Mit als wesentlicher Grund hierfür wird die intrinsisch bestehende Neigung von MSC zur hypertrophen Differenzierung mit enchondraler Knochenbildung gesehen, was in dieser Form selbst bei expandierten Chondrozyten i. d. R. nicht beobachtet wird [2, 79, 80]. In einer Matched-Pair-Analyse in vitro mit MSC unterschiedlicher Gewebeherkunft vs. artikulären Chondrozyten wurden signifikant bessere Ergebnisse im Vergleich zur quantitativen und qualitativen Chondrogenese unabhängig vom Zellspender für die artikulären Chondrozyten gefunden [81]. Ähnliche Resultate wurden von anderen Arbeitsgruppen publiziert [82].

Dass die Regeneration eines qualitativ hochwertigen Gewebes, d. h. von Knorpel mit hyalinen statt fibrösen Eigenschaften, auch unabhängig vom behandelten Gelenk von Bedeutung ist, lassen die Ergebnisse einiger kürzlich veröffentlichter Studien vermuten. In einer Metaanalyse zu klinischen Studien im Kniegelenk, in denen Verfahren wie der autologe osteochondrale Transfer, die ACT und die MFx angewendet wurden, konnte eine signifikante Korrelation zwischen guten klinischen und histologischen Befunden festgestellt werden, wobei nach MFx die schlechtesten histologischen Ergebnisse gefunden wurden. Für andere untersuchte Einflussgrößen, wie bestimmte makroskopische Aspekte der Knorpelbildung, konnte ein solcher Zusammenhang nicht festgestellt werden [83].

In einer Studie zur matrixgekoppelten Transplantation von autologen Chondrozyten oder von Knochenmarkkonzentrat im Sprunggelenk wurden ähnliche Beobachtungen gemacht [84]. Nach Anwendung von Knochenmark wurden signifikant häufiger fibrotische und hypertrophe Veränderungen im Regenerat gefunden, was vermutlich durch die oben beschriebenen Erkenntnisse zu den MSC verursacht ist. Ferner findet sich bei einem Therapieversagen oder erneut auftretenden Beschwerden meist fibröser Knorpel, was ein weiterer Hinweis darauf ist, dass eine hohe Regeneratqualität neben einer weitgehend intakten subchondralen Knochenlamelle für anhaltend gute Ergebnisse von besonderer Bedeutung ist [45, 85–89].

Aus klinischen Level-1- und Matched-Pair-Studien, einer Netzwerkmetaanalyse auf höchstem Evidenzniveau und einem systematischen Review prospektiv randomisierter und kontrollierter Studien wurden für ACT-Verfahren der 2. oder 3. Generation im Vergleich zur MFx oder auch Mosaikplastik nach 10 Jahren Verlaufszeit signifikant geringere Reoperations- und Versagensraten und bessere klinische Ergebnisse für das Kniegelenk berichtet (vor allem bei größeren Defekten) [61, 63, 64, 66].

Auch wurden nach ACT oder MFx signifikante Ergebnisunterschiede im MRT für das Knie- oder Hüftgelenk berichtet [72, 74, 90]. Diese Befunde stehen im Einklang mit den Ergebnissen histologischer Untersuchungen. Während sich die histologische Regeneratqualität in den kommenden Monaten nach ACT typischerweise verbessert, ist dies nach Anwendung knochenmarkstimulierender Techniken i. d. R. nicht der Fall [45, 83, 91], wobei die Inzidenz des Auftretens intraläsionaler Osteophyten nach MFx mit der

Zeit sogar zunimmt [76]. Zwar kann dieses Problem in deutlich selteneren Fällen auch nach ACT beobachtet werden [2], jedoch vor allem dann, wenn ihr eine Schädigung der subchondralen Knochenlamelle vorausging (z. B. nach OD oder MFx) [92] oder wenn nach fehlgeschlagener MFx zur Revision mit ACT ein Periostlappen statt einem Biomaterial zur Defektabdeckung verwendet wurde [93].

In einem größeren Review [45] zu den allgemeinen präklinischen und klinischen Ergebnissen der MFx und dem Hüftgelenk wird im Fazit von den Autoren das Aussetzen der Anwendung von Verfahren empfohlen, die zu einer iatrogenen Schädigung der subchondralen Knochenlamelle führen, bis in kontrollierten klinischen Studien mit längeren Verlaufszeiten geklärt ist, ob sie tatsächlich einen therapeutischen Stellenwert besitzen oder nicht sogar schädlich sind. In Anbetracht der Datenlage und insbesondere auch aus ethischen Gründen [45, 75], muss jedoch die Frage gestellt werden, ob eine MFx überhaupt noch als Kontroll- bzw. Vergleichsgruppe in neu zu konzipierenden prospektiv randomisierten Studien zu empfehlen ist. Im Gegensatz zur ACT gilt sie immer weniger als evidenzbasiertes Verfahren [94, 95].

Auch wenn weiterführende Untersuchungen zur Hüfte noch ausstehen, deuten die hier beschriebenen Erkenntnisse und Ergebnisse darauf hin, dass knochenmarkstimulierende Verfahren verschiedene biologische Defizite aufweisen, die auch im Hüftgelenk beobachtet werden können und die als problematisch gelten [45, 72, 96, 97]. Unabhängig vom Gelenk sollte das Ziel einer biologischen Knorpelrekonstruktion die Wiederherstellung eines Knorpelgewebes sein, das in seiner Zusammensetzung, Struktur und Funktion dem gesunden hyalinen Knorpel möglichst nahekommt [64, 98].

Indikation und Empfehlungen zur biologischen Knorpelrekonstruktion

Geeignete Indikationen zur biologischen Knorpelrekonstruktion sind nicht nur aus medizinischen, sondern zunehmend auch aus wirtschaftlichen Gründen relevant. Das heißt auch, dass unabhängig vom verwendeten Verfahren die Indikationsstellung zur biologischen Knorpelrekonstruktion bei fortgeschrittenen degenerativen Veränderungen der Hüfte (\geq Grad 2 nach Tönnis) derzeit noch kritisch gesehen werden muss, da biologisch geeignete Voraussetzungen für eine anhaltend erfolgreiche Defektsanierung unter diesen Bedingungen meist nicht mehr gegeben sind [31, 32]. In solchen Fällen stellt die endoprothetische Versorgung nach Ausschöpfung der konservativen Therapiemöglichkeiten noch immer das Verfahren der Wahl dar.

Sollte ein Patient bei entsprechender klinischer Symptomatik und gegebener Indikation jedoch für einen gelenkerhaltenden Hüfteingriff geeignet sein, sollte dieser möglichst zeitnah erfolgen, um das Fortschreiten degenerativer Veränderungen und die Entstehung destruktiver Arthrosen zu verhindern [10, 99]. Dies gilt umso mehr für junge Patienten, da eine hieraus resultierende endoprothetische Versorgung nach einer mittleren Standzeit von 15 bis 25 Jahren bei den meisten Implantaten in einer aseptischen Lockerung oder einer Revision aus anderen Gründen resultiert.

Damit verbunden ist die Gefahr multipler Revisionseingriffe, steigender Komplikationen und auch Behandlungskosten [2, 100].

Während am Kniegelenk der Einfluss der Größe eines noch lokalisierten Knorpelschadens und anderer Begleitpathologien (wie z. B. Achsfehlstellung) auf den Spontanverlauf und die mittel- bis langfristigen Ergebnisse verschiedener knorpelrekonstruktiver Verfahren mittlerweile recht gut untersucht ist [2], ist die entsprechende Studienlage für das Hüftgelenk bisher noch deutlich schlechter.

Wie oben dargestellt, bestehen aus der Datenlage zu den verschiedenen operativen Knorpeltherapien in unterschiedlichen Gelenken jedoch zunehmend Hinweise darauf, dass eine qualitativ hochwertige Knorpelregeneration vor allem nach längeren Verlaufszeiten und bei größeren Knorpeldefekten mit signifikant besseren klinischen Ergebnissen und geringeren Versagens- und Reoperationsraten verbunden ist. Die Regeneration eines Knorpelgewebes mit überwiegend hyalinen statt fibrösen Eigenschaften gilt als prognostisch günstig für den weiteren klinischen Verlauf [99].

Auch weisen die verschiedenen Methoden einige verfahrenstypische Merkmale auf, die weitgehend gelenkunabhängig sind und die, wie bereits erwähnt, auch bei der Hüfte beobachtet werden. Hierzu gehören neben den Problemen des osteochondralen Transfers die limitiert knorpelregenerativen Eigenschaften der knochenmarkstimulierenden Techniken [19, 45].

Im Unterschied zur Knorpelfläche im Knie, die in Abhängigkeit von der individuellen Gelenkgröße zwischen 60 und 130 cm² misst, ist die des Azetabulums, als Prädilektionsort eines FAI- oder dysplasieassoziierten Knorpelschadens der Hüfte, deutlich geringer. Sie beträgt durchschnittlich ca. 29 cm², wobei die funktionell bedeutsame lastübertragende Knorpelfläche von Femurkopf und Azetabulum zwischen 14 und 16 cm² liegt [12]. Im Vergleich zum Knie- muss also im Hüftgelenk trotz besserer Gelenkkongruenz weniger Knorpelfläche mehr Last bei der Gelenkartikulation aufnehmen.

In Anbetracht der oben beschriebenen wissenschaftlichen und klinischen Datenlage sollten diese anatomisch-funktionellen Aspekte bei der Indikationsstellung berücksichtigt werden. Ähnlich wie im Knie, für das die ACT bei jungen und sportlich aktiven Patienten und kleineren Gelenken ab 2 bis 2,5 cm² empfohlen wird [2, 3], liegt ihre Indikationsempfehlung im Hüftgelenk aufgrund seiner geringeren lasttragenden Fläche bei Knorpeldefekten ab 1,5 bis 2 cm².

Fazit

In klinischen Studien konnte gezeigt werden, dass zur Verhinderung zunächst lokalisierter Knorpelschäden und einer späteren Koxarthrose die frühzeitige Beseitigung präarthrotischer Deformitäten und relevanter Begleitpathologien entscheidend ist. Bestehen beim FAI und der Dysplasie bereits Knorpelläsionen, sind sie meist am Azetabulum zu finden, wobei die Datenlage zu den knorpelrekonstruktiven Verfahren im Hüftgelenk noch unbefriedigend ist.

Einige Studienergebnisse deuten jedoch darauf hin, dass wesentliche Erfahrungen zu den knochenmarkstimulierenden Techniken und der MACT vom Knie auf die Hüfte übertragen werden

können. Bei noch umschriebenen und vollschichtigen Knorpelschäden stellt die MACT spätestens bei Defekten ab 2 cm² daher das zu bevorzugende Therapieverfahren dar, sofern keine wesentliche Gelenkdegeneration besteht. Wie im Knie [2, 102] kann keine gesicherte obere Altersgrenze für einen gelenkerhaltenden Eingriff oder eine MACT festgelegt werden, da das numerische nicht zwangsläufig mit dem biologischen Patientenalter bzw. Gelenkzustand korreliert.

Aufgrund ihrer geringen Komorbidität sind solche MACT-Verfahren zu bevorzugen, die sich minimalinvasiv applizieren lassen (z. B. injizierbare Formen), ohne dass es dabei zu einer mechanischen Schädigung der Zellen kommt. Sollte der Patient ein einzeitiges Vorgehen wünschen oder andere Gründe gegen eine MACT sprechen, so sind knochenmarkstimulierende Techniken mit Membrandeckung der einfachen MFx vorzuziehen. Bei Defekten unter 1,5 bis 2 cm² kann die Indikation zu einzeitigen Verfahren großzügiger gestellt werden. Ob in solchen Fällen eine Abrasion ausreichend oder auch keine zusätzliche Knorpeltherapie erforderlich ist, sollte in weiteren Studien geprüft werden. Grundsätzlich und unabhängig vom geplanten operativen Vorgehen muss eine sorgfältige Nutzen-Risiko-Abwägung mit entsprechender Aufklärung des Patienten über Vor- und Nachteile der jeweiligen Methode erfolgen.

Für eine weitere Verbesserung der Datenlage zum Hüftgelenk werden von den Autoren prospektiv randomisierte Studien und Langzeitbeobachtungen empfohlen (z. B. basierend auf den Daten des Knorpelregisters der DGOU [www.knorpelregister-dgou.de]). Ähnlich wie infolge des ersten Positionspapiers der AG zum Kniegelenk werden die Ergebnisse dieser Studien dann dazu verwendet, um auch die Empfehlungen zum Hüftgelenk der jeweils bestverfügbaren Evidenz anzupassen.

Interessenkonflikt

Die Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- [1] Behrens P, Bosch U, Bruns J et al. [Indications and implementation of recommendation of the working group "Tissue Regeneration and Tissue Substitution" for autologous chondrocyte transplantation]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 2004; 142: 529–539
- [2] Niemeyer P, Albrecht D, Andereya S et al. Autologous chondrocyte implantation (ACI) for cartilage defects of the knee: a guideline by the working group "Clinical Tissue Regeneration" of the German Society of Orthopaedics and Trauma (DGOU). *Knee* 2016; 23: 426–435
- [3] Biant LC, McNicholas MJ, Sprowson AP et al. The surgical management of symptomatic articular cartilage defects of the knee: consensus statements from United Kingdom knee surgeons. *Knee* 2015; 22: 446–449
- [4] Van der Linden MH, Saris D, Bulstra SK et al. [Treatment of cartilaginous defects in the knee: recommendations from the Dutch Orthopaedic Association]. *Ned Tijdschr Geneesk* 2013; 157: A5719
- [5] Aurich M, Albrecht D, Angele P et al. [Treatment of osteochondral lesions in the ankle: a guideline from the group „Clinical Tissue Regeneration“ of the German Society of Orthopaedics and Traumatology (DGOU)]. *Z Orthop Unfall* 2017; 155: 92–99
- [6] Murphy NJ, Eyles JP, Hunter DJ. Hip osteoarthritis: Etiopathogenesis and implications for management. *Adv Ther* 2016; 33: 1921–1946

- [7] Frank JM, Harris JD, Erickson BJ et al. Prevalence of femoroacetabular impingement imaging findings in asymptomatic volunteers: a systematic review. *Arthroscopy* 2015; 31: 1199–1204
- [8] Kuhns BD, Weber AE, Levy DM et al. The natural history of femoroacetabular impingement. *Front Surg* 2015; 2: 58
- [9] Clohisy JC, Knaus ER, Hunt DM et al. Clinical presentation of patients with symptomatic anterior hip impingement. *Clin Orthop Relat Res* 2009; 467: 638–644
- [10] Claßen T, Körsmeier K, Kammenga M et al. Is early treatment of cam-type femoroacetabular impingement the key to avoiding associated full thickness isolated chondral defects? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2016; 24: 2332–2337
- [11] Klennert BJ, Ellis BJ, Maak TG et al. The mechanics of focal chondral defects in the hip. *J Biomech* 2017; 52: 31–37
- [12] Fickert S. Hüftgelenk. In: Fritz J, Albrecht D, Niemeyer P, Hrsg. *Knorpeltherapie. Praxisleitfaden der AG Klinische Geweberegeneration der DGOU*. Berlin/Boston: De Gruyter; 2016: 255–266
- [13] Crawford K, Philippon MJ, Sekiya JK et al. Microfracture of the hip in athletes. *Clin Sports Med* 2006; 25: 327–335
- [14] Pacheco-Carrillo A, Medina-Portueros I. Physical examination tests for the diagnosis of femoroacetabular impingement. A systematic review. *Phys Ther Sport* 2016; 21: 87–93
- [15] Tannast M, Siebenrock KA, Anderson SE. Femoroacetabular impingement: radiographic diagnosis—what the radiologist should know. *AJR Am J Roentgenol* 2007; 188: 1540–1552
- [16] Tannast M, Hanke MS, Zheng G et al. What are the radiographic reference values for acetabular under- and overcoverage? *Clin Orthop Relat Res* 2015; 473: 1234–1246
- [17] Lazik A, Körsmeier K, Claßen T et al. 3 Tesla high-resolution and delayed gadolinium enhanced MR imaging of cartilage (dGEMRIC) after autologous chondrocyte transplantation in the hip. *J Magn Reson Imaging* 2015; 42: 624–633
- [18] Keeney JA, Peelle MW, Jackson J et al. Magnetic resonance arthrography versus arthroscopy in the evaluation of articular hip pathology. *Clin Orthop Relat Res* 2004; 429: 163–169
- [19] Jordan MA, Van Thiel GS, Chahal J et al. Operative treatment of chondral defects in the hip joint: a systematic review. *Curr Rev Musculoskelet Med* 2012; 5: 244–253
- [20] Philippon MJ, Stubbs AJ, Schenker ML et al. Arthroscopic management of femoroacetabular impingement: osteoplasty technique and literature review. *Am J Sports Med* 2007; 35: 1571–1580
- [21] Ilizaliturri VM jr., Byrd JW, Sampson TG et al. A geographic zone method to describe intra-articular pathology in hip arthroscopy: cadaveric study and preliminary report. *Arthroscopy* 2008; 24: 534–539
- [22] Konan S, Rayan F, Meermans G et al. Validation of the classification system for acetabular chondral lesions identified at arthroscopy in patients with femoroacetabular impingement. *J Bone Joint Surg Br* 2011; 93: 332–336
- [23] Philippon MJ, Michalski MP, Campbell KJ et al. An anatomical study of the acetabulum with clinical applications to hip arthroscopy. *J Bone Joint Surg Am* 2014; 96: 1673–1682
- [24] Moran CJ, Pascual-Garrido C, Chubinskaya S et al. Restoration of articular cartilage. *J Bone Joint Surg Am* 2014; 96: 336–344
- [25] McCarthy J, Mc Millan S. Arthroscopy of the hip: factors affecting outcome. *Orthop Clin North Am* 2013; 44: 489–498
- [26] Byrd JW, Jones KS. Microfracture for grade IV chondral lesions of the hip. *Arthroscopy* 2004; 20: e41
- [27] Harris JD, Erickson BJ, Bush-Joseph CA. Treatment of femoroacetabular impingement: a systematic review. *Curr Rev Musculoskelet Med* 2013; 6: 207–218
- [28] Schilders E, Dimitrakopoulou A, Bismil Q et al. Arthroscopic treatment of labral tears in femoroacetabular impingement: a comparative study of refixation and resection with a minimum two-year follow-up. *J Bone Joint Surg Br* 2011; 93: 1027–1032
- [29] Larson CM, Giveans MR, Stone RM. Arthroscopic debridement versus refixation of the acetabular labrum associated with femoroacetabular impingement: mean 3.5-year follow-up. *Am J Sports Med* 2012; 40: 1015–1021
- [30] Byrd JW, Jones KS. Prospective analysis of hip arthroscopy with 10-year followup. *Clin Orthop Relat Res* 2010; 468: 741–746
- [31] Horisberger M, Brunner A, Herzog RF. Arthroscopic treatment of femoral acetabular impingement in patients with preoperative generalized degenerative changes. *Arthroscopy* 2010; 26: 623–629
- [32] Comba F, Yacuzzi C, Ali PJ et al. Joint preservation after hip arthroscopy in patients with FAI. Prospective analysis with a minimum follow-up of seven years. *Muscles Ligaments Tendons J* 2016; 6: 317–323
- [33] Zhang D, Chen L, Wang G. Hip arthroscopy versus open surgical dislocation for femoroacetabular impingement: a systematic review and meta-analysis. *Medicine (Baltimore)* 2016; 95: e5122
- [34] Dienst M, Kohn D. Arthroscopische Behandlung des femoroacetabulären Impingements. *Technik und Ergebnisse*. *Orthopäde* 2009; 38: 429–443
- [35] Matsuda DK, Safran MR. Arthroscopic internal fixation of osteochondritis dissecans of the femoral head. *Orthopedics* 2013; 36: e683–e686
- [36] Stafford GH, Bunn JR, Villar RN. Arthroscopic repair of delaminated acetabular articular cartilage using fibrin adhesive. Results at one to three years. *Hip Int* 2011; 21: 744–750
- [37] Thorey F, Budde S, Ezechieli M et al. Feasibility of arthroscopic placement of autologous matrix-induced chondrogenesis grafts in the cadaver hip joint. *Orthop Rev (Pavia)* 2013; 5: e26
- [38] Mithoefer K, McAdams T, Williams RJ et al. Clinical efficacy of the microfracture technique for articular cartilage repair in the knee: an evidence-based systematic analysis. *Am J Sports Med* 2009; 37: 2053–2063
- [39] Von Keudell A, Atzwanger J, Forstner R et al. Radiological evaluation of cartilage after microfracture treatment: a long-term follow-up study. *Eur J Radiol* 2012; 81: 1618–1624
- [40] Goyal D, Keyhani S, Lee EH, Hui JH. Evidence-based status of microfracture technique: a systematic review of level I and II studies. *Arthroscopy* 2013; 29: 1579–1588
- [41] Ross AW, Murawski CD, Fraser EJ. Autologous osteochondral transplantation for osteochondral lesions of the talus: does previous bone marrow stimulation negatively affect clinical outcome? *Arthroscopy* 2016; 32: 1377–1383
- [42] Minas T, Von Keudell A, Bryant T et al. The John Insall Award: A minimum 10-year outcome study of autologous chondrocyte implantation. *Clin Orthop Relat Res* 2014; 472: 41–51
- [43] Biant LC, Bentley G, Vijayan S et al. Long-term results of autologous chondrocyte implantation in the knee for chronic chondral and osteochondral defects. *Am J Sports Med* 2014; 42: 2178–2183
- [44] MacDonald AE, Bedi A, Horner NS et al. Indications and outcomes for microfracture as an adjunct to hip arthroscopy for treatment of chondral defects in patients with femoroacetabular impingement: a systematic review. *Arthroscopy* 2016; 32: 190–200.e2
- [45] Green CJ, Beck A, Wood D et al. The biology and clinical evidence of microfracture in hip preservation surgery. *J Hip Preserv Surg* 2016; 3: 108–123
- [46] Philippon MJ, Schenker ML, Briggs KK. Can microfracture produce repair tissue in acetabular chondral defects? *Arthroscopy* 2008; 24: 46–50
- [47] Karthikeyan S, Roberts S, Griffin D. Microfracture for acetabular chondral defects in patients with femoroacetabular impingement: results at second-look arthroscopic surgery. *Am J Sports Med* 2012; 40: 2725–2730
- [48] Domb BG, Gupta A, Dunne KF. Microfracture in the hip: results of a matched-cohort controlled study with 2-year follow-up. *Am J Sports Med* 2015; 43: 1865–1874

- [49] Trask DJ, Keene JS. Analysis of the current indications for microfracture of chondral lesions in the hip joint. *Am J Sports Med* 2016; 44: 3070–3076
- [50] Fontana A, de Girolamo L. Sustained five-year benefit of autologous matrix-induced chondrogenesis for femoral acetabular impingement-induced chondral lesions compared with microfracture treatment. *Bone Joint J* 2015; 97-B: 628–635
- [51] Aprato A, Jayasekera N, Villar RN. Does the modified Harris hip score reflect patient satisfaction after hip arthroscopy? *Am J Sports Med* 2012; 40: 2557–2560
- [52] Somers JFA, Goeminne S. Arthroscopic treatment of acetabular cartilage lesions in CAM-type hip impingement with AMIC vs. microfracturing. Abstracts of the 13th World Congress of the International Cartilage Repair Society. Naples, Italy, 24–27 September, 2016
- [53] Deng Z, Jin J, Zhao J et al. Cartilage defect treatments: with or without cells? Mesenchymal stem cells or chondrocytes? Traditional or matrix-assisted? A systematic review and meta-analyses. *Stem Cells Int* 2016; 2016: 9201492
- [54] Pietschmann MF, Niethammer TR, Horng A et al. The incidence and clinical relevance of graft hypertrophy after matrix-based autologous chondrocyte implantation. *Am J Sports Med* 2012; 40: 68–74
- [55] Zhang C, Cai YZ, Lin XJ. Autologous chondrocyte implantation: Is it likely to become a saviour of large-sized and full-thickness cartilage defect in young adult knee? *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2016; 24: 1643–1650
- [56] Mancini D, Fontana A. Five-year results of arthroscopic techniques for the treatment of acetabular chondral lesions in femoroacetabular impingement. *Int Orthop* 2014; 38: 2057–2064
- [57] Biant LC, Simons M, Gillespie T et al. Cell viability in arthroscopic versus open autologous chondrocyte implantation. *Am J Sports Med* 2017; 45: 77–81
- [58] Pietschmann MF, Horng A, Niethammer T et al. Cell quality affects clinical outcome after MACI procedure for cartilage injury of the knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2009; 17: 1305–1311
- [59] Fickert S, Schattenberg T, Niks M et al. Feasibility of arthroscopic 3-dimensional, purely autologous chondrocyte transplantation for chondral defects of the hip: a case series. *Arch Orthop Trauma Surg* 2014; 134: 971–978
- [60] Medved F, Gonser P, Lotter O et al. Severe posttraumatic radiocarpal cartilage damage: first report of autologous chondrocyte implantation. *Arch Orthop Trauma Surg* 2013; 133: 1469–1475
- [61] Bentley G, Biant LC, Vijayan S et al. Minimum ten-year results of a prospective randomised study of autologous chondrocyte implantation versus mosaicplasty for symptomatic articular cartilage lesions of the knee. *J Bone Joint Surg Br* 2012; 94: 504–509
- [62] Wylie JD, Hartley MK, Kapron AL et al. What is the effect of matrices on cartilage repair? A systematic review. *Clin Orthop Relat Res* 2015; 473: 1673–1682
- [63] Perdisa F, Filardo G, De Caro F et al. Matrix-assisted autologous chondrocyte transplantation versus mosaicplasty: a long-term comparison. Abstracts of the 13th World Congress of the International Cartilage Repair Society. Naples, Italy, 24–27 September, 2016
- [64] Riboh JC, Cvetanovich GL, Cole BJ et al. Comparative efficacy of cartilage repair procedures in the knee: a network meta-analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2016 Sep 7 [Epub ahead of print]
- [65] Ogura T, Bryant T, Minas T. Long-term outcomes of autologous chondrocyte implantation in adolescent patients. *Am J Sports Med* 2017; 45: 1066–1074
- [66] Devitt BM, Bell SW, Webster KE et al. Surgical treatments of cartilage defects of the knee: systematic review of randomised controlled trials. *Knee* 2017; 24: 508–517
- [67] Welch T, Mandelbaum B, Tom M. Autologous chondrocyte implantation: past, present, and future. *Sports Med Arthrosc* 2016; 24: 85–91
- [68] Fontana A, Bistolfi A, Crova M et al. Arthroscopic treatment of hip chondral defects: autologous chondrocyte transplantation versus simple debridement – a pilot study. *Arthroscopy* 2012; 28: 322–329
- [69] Körsmeier K, Claßen T, Kammaing M et al. Arthroscopic three-dimensional autologous chondrocyte transplantation using spheroids for the treatment of full-thickness cartilage defects of the hip joint. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2016; 24: 2032–2037
- [70] Schroeder JH, Hufeland M, Schütz M et al. Injectable autologous chondrocyte transplantation for full thickness acetabular cartilage defects: early clinical results. *Arch Orthop Trauma Surg* 2016; 136: 1445–1451
- [71] Guenther KP, Landgraeber S, Fickert S et al. Observational study with Novocart Inject in the reconstruction of hip joint with full thickness cartilage defects (HIP ACTION) Im Internet: <https://clinicaltrials.gov/ct2/show/NCT02179346?term=NCT02179346;Stand:27.06.2014>
- [72] Landgraeber S, Körsmeier K, Lazik-Palm A et al. Arthroscopische Behandlung von lokalisierten Knorpelschäden an der Hüfte mittels autologer Knorpelzelltransplantation vs. Mikrofrakturierung. Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie (DGOU), 25.–28. Oktober 2016, Berlin
- [73] Crawford DC, DeBerardino TM, Williams RJ 3rd. NeoCart, an autologous cartilage tissue implant, compared with microfracture for treatment of distal femoral cartilage lesions: an FDA phase-II prospective, randomized clinical trial after two years. *J Bone Joint Surg Am* 2012; 94: 979–989
- [74] Brown WE, Potter HG, Marx RG et al. Magnetic resonance imaging appearance of cartilage repair in the knee. *Clin Orthop Relat Res* 2004; 422: 214–223
- [75] Bert JM. Abandoning microfracture of the knee: has the time come? *Arthroscopy* 2015; 31: 501–505
- [76] Mithoefer K, Venugopal V, Manaqibwala M. Incidence, degree, and clinical effect of subchondral bone overgrowth after microfracture in the knee. *Am J Sports Med* 2016; 44: 2057–2063
- [77] Beck A, Murphy DJ, Carey-Smith R et al. Treatment of articular cartilage defects with microfracture and autologous matrix-induced chondrogenesis leads to extensive subchondral bone cyst formation in a sheep model. *Am J Sports Med* 2016; 44: 2629–2643
- [78] Dhollander A, Moens K, Van der Maas J et al. Treatment of patellofemoral cartilage defects in the knee by autologous matrix-induced chondrogenesis (AMIC). *Acta Orthop Belg* 2014; 80: 251–259
- [79] Somoza RA, Welter JF, Correa D et al. Chondrogenic differentiation of mesenchymal stem cells: challenges and unfulfilled expectations. *Tissue Eng Part B Rev* 2014; 20: 596–608
- [80] Li S, Sengers BG, Oreffo RO et al. Chondrogenic potential of human articular chondrocytes and skeletal stem cells: a comparative study. *J Biomater Appl* 2015; 29: 824–836
- [81] Garcia J, Mennan C, McCarthy HS et al. Chondrogenic potency analyses of donor-matched chondrocytes and mesenchymal stem cells derived from bone marrow, infrapatellar fat pad, and subcutaneous fat. *Stem Cells Int* 2016; 2016: 6969726
- [82] Oda T, Sakai T, Hiraiwa H et al. Osteoarthritis-derived chondrocytes are a potential source of multipotent progenitor cells for cartilage tissue engineering. *Biochem Biophys Res Commun* 2016; 479: 469–475
- [83] DiBartola AC, Everhart JS, Magnussen RA et al. Correlation between histological outcome and surgical cartilage repair technique in the knee: a meta-analysis. *Knee* 2016; 23: 344–349
- [84] Desando G, Bartolotti I, Vannini F et al. Repair potential of matrix-induced bone marrow aspirate concentrate and matrix-induced autologous chondrocyte implantation for talar osteochondral repair: patterns of some catabolic, inflammatory, and pain mediators. *Cartilage* 2017; 8: 50–60
- [85] Nehrer S, Spector M, Minas T. Histologic analysis of tissue after failed cartilage repair procedures. *Clin Orthop Relat Res* 1999; 365: 149–162
- [86] Henderson I, Lavigne P, Valenzuela H et al. Autologous chondrocyte implantation: superior biologic properties of hyaline cartilage repairs. *Clin Orthop Relat Res* 2007; 455: 253–261

- [87] LaPrade RF, Bursch LS, Olson EJ et al. Histologic and immunohistochemical characteristics of failed articular cartilage resurfacing procedures for osteochondritis of the knee: a case series. *Am J Sports Med* 2008; 36: 360–368
- [88] Brun P, Dickinson SC, Zavan B et al. Characteristics of repair tissue in second-look and third-look biopsies from patients treated with engineered cartilage: relationship to symptomatology and time after implantation. *Arthritis Res Ther* 2008; 10: R132
- [89] Kaul G, Cucchiari M, Remberger K et al. Failed cartilage repair for early osteoarthritis defects: a biochemical, histological and immunohistochemical analysis of the repair tissue after treatment with marrow-stimulation techniques. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2012; 20: 2315–2324
- [90] Olivos Meza A, Arredondo-Valdés R, Cortes S et al. Matrix encapsulated chondrocyte implantation versus microfracture technique: Five years follow-up with T2-mapping-MRI. Abstracts of the 13th World Congress of the International Cartilage Repair Society. Naples, Italy, 24–27 September, 2016
- [91] Gikas PD, Morris T, Carrington R et al. A correlation between the timing of biopsy after autologous chondrocyte implantation and the histological appearance. *J Bone Joint Surg Br* 2009; 91: 1172–1177
- [92] Vasiliadis HS, Danielson B, Ljungberg M et al. Autologous chondrocyte implantation in cartilage lesions of the knee: long-term evaluation with magnetic resonance imaging and delayed gadolinium-enhanced magnetic resonance imaging technique. *Am J Sports Med* 2010; 38: 943–949
- [93] Demange MK, Minas T, von Keudell A et al. Intralesional osteophyte re-growth following autologous chondrocyte implantation after previous treatment with marrow stimulation technique. *Cartilage* 2017; 8: 131–138
- [94] Mistry H, Connock M, Pink J et al. Autologous chondrocyte implantation in the knee: systematic review and economic evaluation. *Health Technol Assess* 2017; 21: 1–294
- [95] Frehner F, Benthien JP. Microfracture: State of the art in cartilage surgery? *Cartilage* 2017; 1947603517700956 [Epub ahead of print]. doi: 10.1177/1947603517700956
- [96] Røtterud JH, Sivertsen EA, Forssblad M et al. Effect on patient-reported outcomes of debridement or microfracture of concomitant full-thickness cartilage lesions in anterior cruciate ligament-reconstructed knees: a nationwide cohort study from Norway and Sweden of 357 patients with 2-year follow-up. *Am J Sports Med* 2016; 44: 337–344
- [97] Lubowitz JH. Editorial commentary: microfracture for focal cartilage defects: is the hip like the knee? *Arthroscopy* 2016; 32: 201–202
- [98] Feldman MD. Editorial commentary: “all that glitters is not gold”. *Arthroscopy* 2016; 32: 348–349
- [99] Hufeland M, Krüger D, Haas NP et al. Arthroscopic treatment of femoroacetabular impingement shows persistent clinical improvement in the mid-term. *Arch Orthop Trauma Surg* 2016; 136: 687–691
- [100] Wainwright C, Theis JC, Garneti N et al. Age at hip or knee joint replacement surgery predicts likelihood of revision surgery. *J Bone Joint Surg Br* 2011; 93: 1411–1415
- [101] Hoemann C, Kandel R, Roberts S et al. International Cartilage Repair Society (ICRS) recommended guidelines for histological endpoints for cartilage repair studies in animal models and clinical trials. *Cartilage* 2011; 2: 153–172
- [102] Filardo G, Andriolo L, Sessa A et al. Age is not a contraindication for cartilage surgery: a critical analysis of standardized outcomes at long-term follow-up. *Am J Sports Med* 2017; 45: 1822–1828

Minizusammenfassung

Zur Verhinderung von zunächst lokalisierten Knorpelschäden, die langfristig zur Koxarthrose führen, ist die frühzeitige Beseitigung präarthrotischer Deformitäten, wie z. B. das FAI und die residuelle Dysplasie, sowie konsekutiver relevanter Begleitpathologien entscheidend. Vorliegende Studienergebnisse am Hüftgelenk mit noch geringem Evidenzniveau deuten darauf hin, dass wesentliche Erfahrungen zu den knochenmarkstimulierenden Techniken und der MACT vom Knie auf das Hüftgelenk übertragen werden können, weshalb bei vollschichtigen Knorpeldefekten spätestens ab 2 cm² minimalinvasiv applizierbare MACT-Verfahren zu bevorzugen sind.