

## Arthroskopische Möglichkeiten biorekonstruktiver Verfahren bei Knorpelschäden der Schulter

I. J. Banke, Stephan Vogt, S. Buchmann, A. B. Imhoff

### Angaben zur Veröffentlichung / Publication details:

Banke, I. J., Stephan Vogt, S. Buchmann, and A. B. Imhoff. 2011. "Arthroskopische Möglichkeiten biorekonstruktiver Verfahren bei Knorpelschäden der Schulter." *Der Orthopäde* 40 (1): 85–92. <https://doi.org/10.1007/s00132-010-1682-5>.



## Arthroskopische Möglichkeiten biorekonstruktiver Verfahren bei Knorpelschäden der Schulter

**Chondrale bzw. osteochondrale Läsionen des Schultergelenks insbesondere beim jungen, aktiven Patienten sind seltener beschrieben als in anderen Gelenken. Sie sind klinisch schwierig zu diagnostizieren und erfordern daher eine geeignete Bildgebung [11]. Gerade beim jungen Patienten besteht ein großes Interesse an der rekonstruktiven Therapie der symptomatischen Knorpelläsion, um Folgeschäden wie eine Früharthrose zu verhindern. Ein Konzept der stadiengerechten Knorpeltherapie wie im Kniegelenk [13, 37] gibt es bisher nicht. Jedoch kann dieser Algorithmus zur Abschätzung der geeigneten knorpelregenerativen Technik [13, 37] in das Glenohumeralgelenk transferiert werden.**

### Débridement

Das arthroskopische Débridement des Defekts umfasst die Entfernung instabiler Knorpelanteile und Schaffung stabiler Knorpelränder. Eine weiterführende Delamination mit möglicher mechanischer Irritation kann damit verhindert werden. Gerade bei kleineren Knorpeldefekten oder Arealen mit hoher mechanischer Belastung wie z. B. dem Glenoidrand lässt sich die Expansion des Schadens verlangsamen und eine weitergehende Therapie hinauszögern. Auch bei der Adressierung einer GLAD-Läsion (GLAD „glenolabral articular disruption“) im Rahmen einer Stabilisierung kann das Débridement nützlich sein. Der instabile Knorpelflake wird entfernt und das angrenzende kapsulolabrale Weichteilgewebe in den

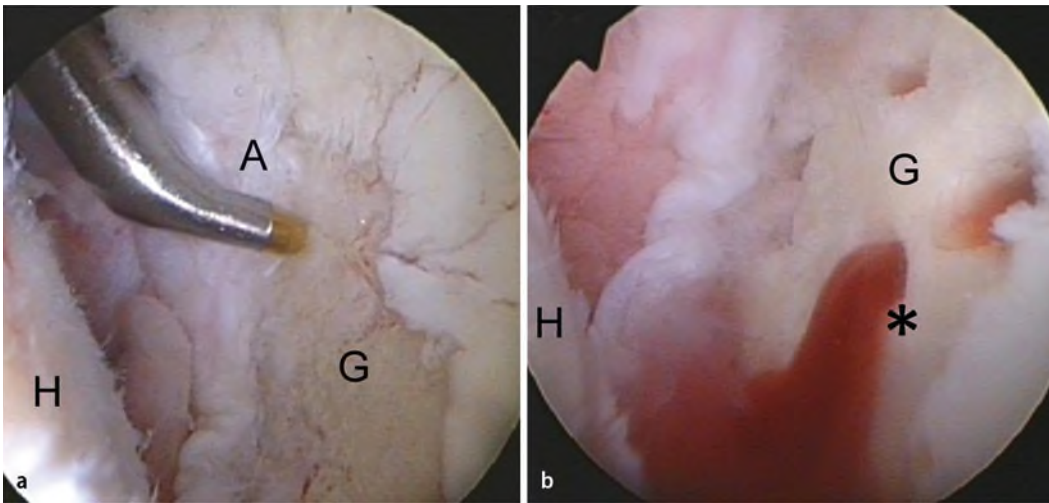
Defekt hineingezogen und fixiert. Durch eine weichteilige Defektdeckung wird der darunter liegende Knochen effektiv geschützt [13]. Bei größeren Knorpelläsionen ist die definitive Klassifikation eines Knorpelschadens im Hinblick auf Ausdehnung und Tiefe und damit die Festlegung der weiteren Therapie oft erst durch sparsames Débridement möglich.

Therapeutisch als sinnvoll anzusehen ist das arthroskopische Débridement fokaler Defekte meist nur zur Vorbereitung eines Defekts auf eine weiterführende Versorgung [37]. Insgesamt ist das Outcome nach arthroskopischem Débridement von der Defektgröße abhängig und zeigt bei glenohumeralen chondralen Defekten nur bei einer Defektgröße  $< 2 \text{ cm}^2$  zufriedenstellende Ergebnisse [10]. Bei diffusem Knorpelschaden als fortgeschrittene glenohumerale Arthrose lässt sich der endoprothetische Gelenkersatz ggf. durch Stabilisierung des Restknorpels und Eindämmung aktivierter Arthrose bei mechanischer Irritation und aggressiven Knorpelabbauprodukten kurzfristig hinauszögern. Das arthroskopische Vorgehen bei Früharthrose bietet zusätzlich die Möglichkeit, Pathologien der langen Bizepssehne zu adressieren, freie Gelenkkörper zu entfernen und eine selektive Arthrolyse durchzuführen. Jedoch ist die Therapie rein symptomatisch und die langfristigen Erfolgsaussichten sind beschränkt.

### Knochenmarkstimulierende Verfahren

Zu den am häufigsten verwendeten Techniken zur Behandlung symptomatischer

glenohumeraler Knorpelschäden gehören neben der autologen Knochen-Knorpel-Transplantation (OATS) und der (matrixgekoppelten) autologen Chondrozytentransplantation [(M)ACT], die knochenmarkstimulierenden Verfahren. Sie zeichnen sich durch einfache Durchführbarkeit und niedrige Kosten aus. Allen gemeinsam ist die Markraumeröffnung im Knorpeldefektbett durch Perforation des subchondralen Knochens. Undifferenzierte Stammzellen aus dem Knochenmark (Fibroblasten) gelangen mit dem austretenden Blutkoagel in den Knorpeldefekt. Das Potenzial dieses Superclots beruht auf der Fülle an entwicklungsfähigen Zellen und stimulierenden Faktoren [34]. Trotz höherer Knochenmarkkonzentration in jüngerem Alter ist die Zahl der rekrutierten Stammzellen dabei interessanterweise relativ gering [8]. Unter günstiger mechanischer Beanspruchung (belastungsfreie Gelenkbewegung mit wechselnden Druck-, Zug- und Scherkräften) differenzieren diese zu Fibrochondrozyten aus. Durch den dabei entstehenden Faserknorpel, der einen unterschiedlichen Gehalt an Kollagen Typ I, II und III aufweist, kommt es schließlich zur Defektdeckung. Der Regeneratknorpel ist allerdings von geringerer biomechanischer Qualität und Standhaftigkeit als hyaliner Knorpel, wie aus tierexperimentellen Arbeiten bekannt ist. Knochenmarkstimulierende Verfahren sind am Kniegelenk bei kleineren umschriebenen Knorpeldefekten (bis maximal  $4 \text{ cm}^2$ ) mit intaktem subchondralem Knochen bei jungen, aktiven Patienten indiziert [8].



**Abb. 1** ◀ Arthroscopische Mikrofrakturierung eines Grad-4-Knorpelschaden des Glenoids (G). **a** Perforationslöcher mit Winkelahle (A) im Abstand von 3–4 mm. **b** Subchondraler Blutkoagelaustritt (Stern) aus den Perforationslöchern im Glenoid nach Stoppen der Spülflüssigkeit. H Humerus

## Technische Entwicklung

Pridie [26] beschrieb bereits 1959 eine *Anbohrung* von Knorpeldefekten im Knie in offener Technik. Dabei wird der subchondrale Knochen mit einem kleinen Bohrer (2,0 oder 2,5 mm Durchmesser) perforiert. Die Technik wurde später auch in der arthroscopischen Knorpeltherapie etabliert [30]. Sie unterliegt, insbesondere glenohumeral, der Einschränkung eines geraden und damit oft suboptimalen Bohrwinkels. Zudem kann es insbesondere im sklerotischen Knochen zur möglichen Entstehung von Hitzenekrosen durch Wärmeentwicklung kommen.

Als deutlich invasivere Technik ist die 1986 von Johnson [18] beschriebene *Abrasionsarthroplastik* zu nennen. Dabei wird das residuelle Knorpelgewebe mit einem Shaver arthroscopisch reseziert und der subchondrale Knochen angefräst. Ziel ist auch hier die Knochenmarkstimulation mit Bildung von Faserknorpel. Sowohl der Abrasionsarthroplastik als auch der Anbohrung in arthroscopischer Technik konnten in klinischen Arbeiten, v. a. in Knie und Sprunggelenk, teilweise zufriedenstellende Resultate nachgewiesen werden [17, 30]. Gerade bei höhergradigem Knorpelschaden ist ihr Nutzen jedoch fraglich [32]. Bei glenohumeralen Knorpelschäden oder beginnender Omarthrose scheinen Débridement, Anbohrung oder Abrasionsarthroplastik als ältere Techniken allenfalls einen geringen Nutzen bei jedoch schwacher Datenlage zu haben [5, 7].

Weitestgehend abgelöst wurden diese Techniken durch die einfache und kos-

tengünstige arthroscopische *Mikrofrakturierung*. Dieses von Steadman et al. [35] am Knie beschriebene einzeitige Verfahren ist eine Weiterentwicklung der vorher genannter Techniken und wird bei viertgradigen Knorpelschäden von begrenzter Größe (bis maximal 4 cm<sup>2</sup>) angewendet [34]. Vorbereitend ist ein Débridement des Defekts mit Abtragung der Sklerosezone bis zur Entstehung punktueller Blutungen und Schaffung stabiler Knorpelränder durchzuführen.

### — Nur ein stabiler Defektrand gewährleistet eine mechanisch geschützte Ausbildung eines Blutkoagels mit nachfolgender Bildung von Regeneratknorpel.

Danach wird von peripher beginnend der subchondrale Knochen mit gebogenen Ahlen bis zu einer Tiefe von 4–5 mm perforiert (*Farbmarkierung* in **Abb. 1a**). Bei fehlendem Austritt von Fettaggen ist die optimale Eindringtiefe noch nicht erreicht. Um eine Insuffizienz der Knochenbrücken zu verhindern, müssen die Löcher mindestens 3–4 mm auseinander liegen (**Abb. 1b**; [34]). Die Defektfüllung durch subchondralen Blutaustritt lässt sich nach Stoppen der Spülflüssigkeitszufuhr oder Öffnen der Blutsperrre überprüfen (**Abb. 1b**). Entgegen der Anbohrung lassen sich bei der Mikrofrakturierung fast alle glenohumeralen Knorpelflächen über die beiden Standardarthroskopieportale erreichen und der Knochen annähernd orthograd ohne Verursachung von Hitzenekrosen perforieren. Im Vergleich zur Abrasionsarthroplastik wird

der subchondrale Knochen deutlich weniger affiziert.

Die Mikrofrakturierung des Kniegelenks erweist sich in klinischen Studien bei 80% der Patienten den anderen knochenmarkstimulierenden Techniken überlegen bei signifikanter Verbesserung von Lysholm-Score und Schmerzskala [33, 34]. Der geringe Anteil von Kollagen Typ II im Reparaturknorpel ist jedoch vergleichbar. Auch bei umschriebenen glenohumeralen Knorpeldefekten lässt sich der Nutzen der Mikrofrakturierung mittels klinischer Studien belegen [5, 7, 13, 14, 22, 31]. Die besten Ergebnisse sind bei kleinen Defekten am Humerus, die schlechtesten bei bipolaren glenohumeralen Läsionen zu erwarten [22]. Gute klinische Ergebnisse mit signifikanter Schmerzreduktion und verbesserter Schulterfunktion (ASES-Score – ASES American Shoulder and Elbow Surgeons) bis mindestens 4 Jahre postoperativ wurden in etwa 80% der Fälle gefunden, jedoch handelte es sich um ein sehr heterogenes Patientenkontinuum mit häufigen Zusatzeingriffen (Stabilisierung, ASAD [arthroskopische subakromiale Dekompression]; [22]). In einer weiteren EBM-Level-4-Studie zeigten sich 2 Jahre postoperativ in annähernd 90% der Fälle eine signifikante Verbesserung der Schulterfunktion mit Steigerung von Simple-shoulder-test (SST-) und ASES-Score und eine signifikante Schmerzreduktion [14]. Die Kombination von glenohumeraler Mikrofrakturierung mit Periostklappen in offener Technik ergab in einer prospektiven Arbeit bei einem mittleren Follow-up von 2 Jahren eine signifikante Verbesserung des Cons-

tant-Scores [31]. Es gilt nun, diese Ergebnisse in Mittel- und Langzeitstudien zu überprüfen [13].

## Autologe Knochen-Knorpel-Transplantation (OATS)

Wagner [38] beschrieb 1964 erstmals die Therapie chondraler bzw. osteochondraler Defekte durch eine offene autologe und homologe osteochondrale Transplantation am Kniegelenk. Nach Modifikation von Technik und Instrumentarium berichtete im Jahr 1996 Bobic [6] von einer arthroskopischen Anwendung dieses Verfahrens am Knie. Ursprünglich für die Behandlung lokaler Knorpeldefekte des Femurs entwickelt, wird diese Technik mittlerweile auch an der Patella, Tibia und an anderen Gelenken wie Ellbogen, Talus-schulter und auch an der Schulter eingesetzt [16]. Als Indikationen gelten:

- umschriebene osteochondrale Läsionen von 1–3 cm<sup>2</sup> in der Belastungszone,
- lokale Gelenkknorpelschäden (Grad II, III der International Cartilage Repair Society [ICRS],
- Grad III und IV nach Outerbridge, Bauer und Jackson [37],
- Osteochondrosis-dissecans-Herde Grad III und IV sowie
- lokal begrenzte Osteonekrosen.

Kontraindiziert ist dieses ausschließlich fokal einsetzbare Verfahren bei der generalisierten Osteoarthrose.

Die obere Altersgrenze von ca. 45 Jahren kann bei fehlender Arthrose im Einzelfall auch überschritten werden [16]. Ziel der *autologen Knochen-Knorpel-Transplantation (OATS)* ist die Entnahme von Knochen-Knorpel-Zylindern aus Knorpelzonen mit geringerer Belastung (im Kniegelenk vorwiegend proximaler anterolateraler Femurkondylus) für die Transplantation in osteochondrale Defekte der Hauptbelastungszonen.

Anders als beim Knie muss bei glenohumeralen Knorpeldefekten die Zweigelenk-Technik in der Regel mit der Zylinderentnahme am Femurkondylus angewendet werden, da die Schulter keine ausreichende Spenderzone aufweist. Die Entnahme des Spenderzylinders mittels Miniarthrotomie hat sich als praktikabel

I.J. Banke · S. Vogt · S. Buchmann · A.B. Imhoff

## Arthroskopische Möglichkeiten biorekonstruktiver Verfahren bei Knorpelschäden der Schulter

### Zusammenfassung

Chondrale bzw. osteochondrale Läsionen des Schultergelenks können aufgrund fehlender Regeneration des Gelenkknorpels zu vorzeitiger Omarthrose führen. Steigendes Gesundheitsbewusstsein, hoher Aktivitätsanspruch und technischer Fortschritt steigern daher das Interesse an knorpelregenerierenden minimalinvasiven Techniken zu einem glenohumeralen Gelenkerhalt oder der Verzögerung einer prothetischen Versorgung. Gegenüber der überzeugenden Datenlage biorekonstruktiver Verfahren bei Knorpelschäden des Kniegelenks mit meist guten mittelfristigen Ergebnissen sind Studien zur innovativen Therapie glenohumeraler Knorpelläsionen bisher rar. Gegenwärtige Techniken wie knorpelstimulierende Verfahren zur mesenchymalen Stammzellrekrutierung (z. B. Mikrofrakturierung), die (autologe) Knochen-

Knorpel-Transplantation, die (matrixgekoppelte) autologe Chondrozytentransplantation und der biologische Oberflächenersatz adressieren den glenohumeralen fokalen Knorpelschaden bis hin zum ausgedehnten osteochondralen Defekt. Durch zunehmende arthroskopische Einsetzbarkeit verstärken sie das Einsatzpotenzial des Schulterchirurgen bedeutsam. Künftige Studien zur evidenzbasierten Anwendbarkeit werden die Wahl des geeigneten Verfahrens standardisieren.

### Schlüsselwörter

Schulterarthroskopie · Gelenkknorpelläsion · Mikrofrakturierung · Autologe Knorpel-Knochen-Transplantation · (Matrixgekoppelte) autologe Chondrozytentransplantation

## Arthroscopic options for regenerative treatment of cartilage defects in the shoulder

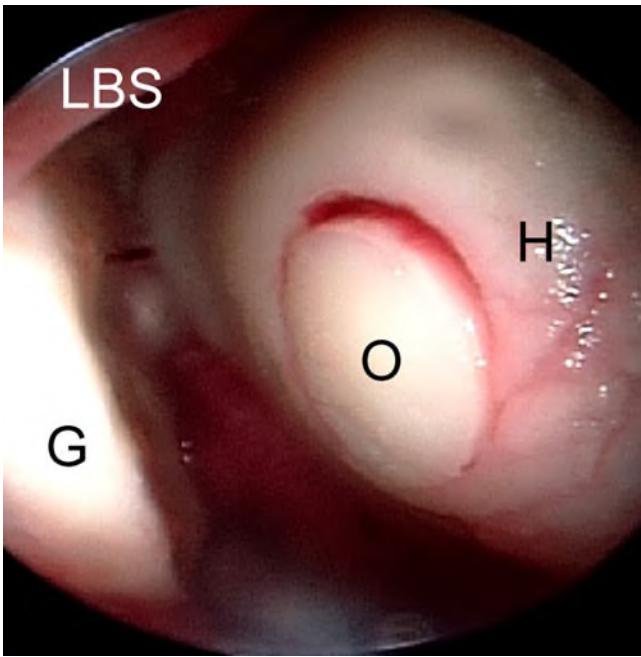
### Abstract

Chondral or osteochondral lesions of the shoulder may lead to premature osteoarthritis of the glenohumeral joint as regeneration of damaged articular cartilage is lacking. Rising health awareness, increasingly active populations and improvements in medical techniques have increased the application of cartilage regenerative minimally invasive approaches for glenohumeral joint preservation or delayed prosthetic replacement. In contrast to the conclusive and mostly convincing mid-term results of cartilage regenerative techniques known for the knee, clinical results of innovative therapeutic approaches with glenohumeral cartilage defects are more or less absent. Current techniques include procedures for mesenchymal stem cell recruitment, such as microfracturing, (autolo-

gous) osteochondral transplantation, (matrix-associated) autologous chondrocyte transplantation and biological resurfacing, addressing focal chondral defects up to massive structural osteochondral defects. With increasing arthroscopic applicability, they evolve to important tools in the armamentarium of the shoulder surgeon. Future clinical data will determine evidence-based applicability, enabling standardized treatment selection.

### Keywords

Shoulder arthroscopy · Articular cartilage lesion · Microfracturing · Osteochondral transplantation · Autologous chondrocyte transplantation, matrix-associated



**Abb. 2** ◀ Arthroskopisches Einbringen eines 10-mm-Knorpel-Knochen-Zylinders (O) in einen fokalen osteochondralen Defekt am Humeruskopf (H). G Glenoid, LBS lange Bizepssehne

und sicher erwiesen. Spezielle Rundmeißel ermöglichen die Entnahme zylindrischer Autografts zwischen 5 und 15 mm. Um den Spenderzylinder in Press-fit-Technik implantieren zu können, muss dieser im Durchmesser 1 mm größer als der des Empfängertunnels sein. Die Defektausdehnung ist präoperativ mittels CT- oder MRT-Bildgebung abzuschätzen, da bei größeren Defekten mit Notwendigkeit einer Implantation von mehr als 2 Zylindern eine primär offene Vorgehensweise anzustreben ist. Bei geeigneter Lokalisation und Größe des Defekts und Gewährleistung einer annähernd orthograden Implantation auf Niveau zum umliegenden Empfängerknorpel kann dies auch in arthroskopischer Technik erfolgen (▣ **Abb. 2**). In der Praxis ist jedoch, gerade unter Berücksichtigung der Oberflächenkontur des umgebenden Empfängerknorpels, meist eine Arthrotomie der Schulter erforderlich [16].

Als mögliche Komplikationen sind unzureichend orthograde Zylinderlage, sekundäre Sinterung oder fehlende Integration der Spenderzylinder sowie die „donor-site morbidity“ am Knie zu nennen [23]. Ein weiterer Kritikpunkt dieser Methode ist die fehlende kartilaginäre Integration des Spenderzylinders mit dem Empfängerknorpel [21]. Der OATS konnten gute bis exzellente Ergebnisse in klinischen Studien im Knie [15] und anderen Gelenken, wie z. B. dem Ellenbogen [1],

nachgewiesen werden. Im Hinblick auf die Therapie glenohumeraler Knorpelläsionen verfolgten Scheibel et al. [29] und Kircher et al. [19] prospektiv eine Fallserie von 7 bzw. 8 Schultern mit offener OATS-Therapie bei Grad-4-Knorpelschäden von durchschnittlich 150 mm<sup>2</sup> an Humerus und Glenoid. Nach einem mittleren Follow-up von 32,6 Monaten [29] bzw. 8,75 Jahren [19] zeigte sich gegenüber der präoperativen Situation eine signifikante Verbesserung des Constant-Scores. Jedoch ließ sich weder kurz- noch mittelfristig die Entstehung oder Progression einer Omarthrose verhindern. Der im Verlauf unverändert hohe Lysholm-Score wies auch mittelfristig auf eine allenfalls geringe „donor-site morbidity“ am Knie, ein Kritikpunkt dieses Verfahrens, hin [19].

Von der glenohumeralen *allogenen Knochen-Knorpel-Transplantation* sind Einzelfälle im angloamerikanischen Raum mit einem guten Einjahresergebnis beschrieben [20]. Hier erfolgte eine Defektauffüllung einer großen einhakenden Hill-Sachs-Läsion bei persistierender glenohumeraler Instabilität. Bisherige Studien spiegeln die niedrige Frequenz der OATS-Therapie bei umschriebenen glenohumeralen osteochondralen Läsionen wider, geben aber dennoch einen Ausblick auf ihre Möglichkeiten. Ob die hervorragenden Ergebnisse von anderen Gelenken auf das Schultergelenk übertrag-

bar sind, werden müssen künftige Studien zeigen.

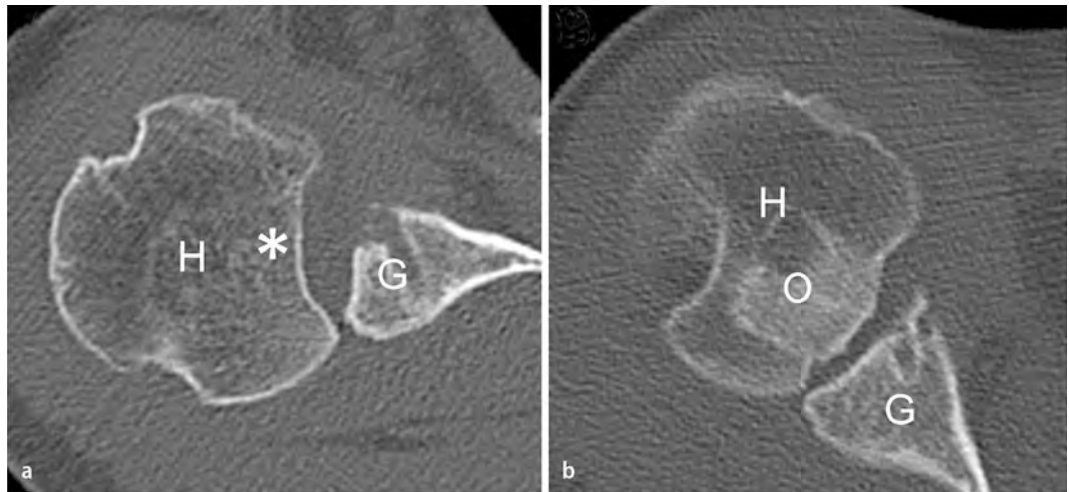
## Autologe Spongiosaplastik

Die alleinige *Spongiosaplastik* im Sinne einer Salvagetherapie kann bei partieller Humeruskopfnekrose oder bei älteren Patienten mit großer osteochondraler Läsion und schlechtem periläsionalem Umgebungsknorpel angewendet und ggf. mit einer Kollagenmatrix kombiniert werden [36]. Aktuelle Entwicklungen des individuellen prothetischen Oberflächenersatzes schränken jedoch die Indikation zunehmend ein. Insbesondere bei peripher liegenden Läsionen (z. B. Hill-Sachs-Läsion) kann die Spongiosaplastik zur Anwendung kommen (▣ **Abb. 3a**). Als Beispiel dient ein anteroinferiorer osteochondraler Humeruskopfdefekt als Folge von Schraubenosteosynthese und Korakoidtransfer bei Spanbruch nach mehreren Schulterstabilisierungsversuchen mit einer permanenten vorderen Schulterluxation und beginnender glenohumeraler Destruktion. Hier war eine Defektdeckung mit mehreren Beckenkammzylindern als Salvageoption indiziert (▣ **Abb. 3b**). Falls ein arthroskopisches Vorgehen möglich ist, lässt sich die Spongiosaplastik am einfachsten mit der OATS-Technik durchführen. Nach Vorbereitung des Defektbetts mit dem Entnahmemeißel werden die Spongiosazylinder mit dem OATS-Hohlmeißel aus z. B. dem Beckenkamm entnommen. Mittels spezieller Führungshülsen lassen sich diese dann in den Defekt einbringen und anschließend impaktieren. Die Spongiosaplastik als Vorbereitung auf eine zweizeitige (matrixgekoppelte) autologe Chondrozytentransplantation resultiert in spongioser Defektauffüllung und Generierung des späteren Transplantatbetts.

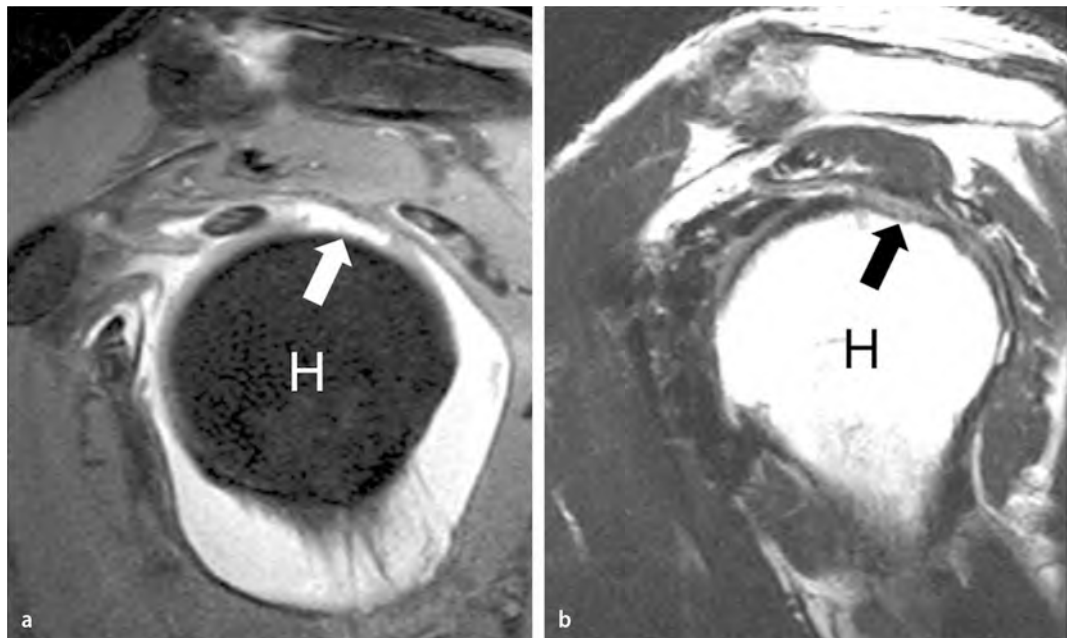
## (Matrixgekoppelte) autologe Chondrozytentransplantation [(M)ACT]

Brittberg et al. [9] beschrieben erstmalig 1994 die *autologe Chondrozytentransplantation (ACT)* zur Therapie des Gelenkknorpelschadens am Kniegelenk. Dort ist sie bei Knorpelschäden der Stadien III und IV nach der ICRS-Klassifikation (ggf.

**Abb. 3** ▶ CT-Diagnostik (axial). **a** Präoperativ – ausgedehnter anteroinferiorer osteochondraler Humeruskopf- (*H*)defekt (*Stern*) bei chronischer vorderer Schulterinstabilität und mehreren Voroperationen. **b** Postoperativ – Defektauffüllung des Humeruskopfs (*H*) in Press-fit-Technik mittels autologer Spongiosatransplantation aus dem Beckenkamm (2-mal 10 mm-Zylinder, *O*). *G* Glenoid

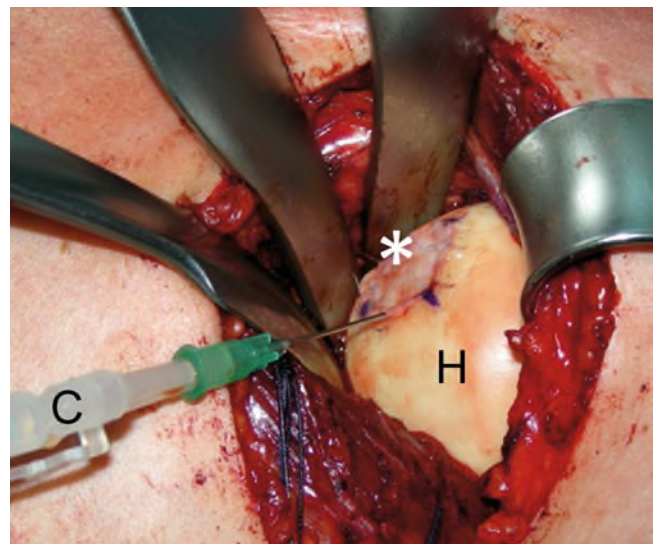


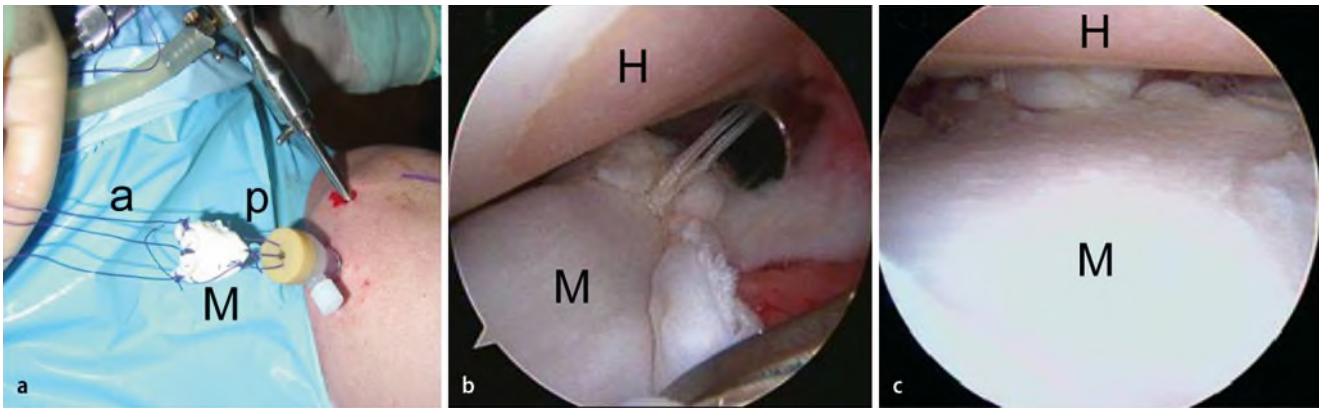
**Abb. 4** ▶ MRT-Diagnostik parasagittal. **a** Präoperativ – fokaler zentraler Knorpelschaden (ICRS 3b, *Pfeil*) des Humeruskopfs (*H*) bei intaktem subchondralem Knochen (ArthromRT). **b** Elf Monate postoperativ – MACT-Defektddeckung (*Pfeil*) mit moderater Hyperintensität des Regeneratgewebes und guter Randintegration. ICRS Cartilage Repair Society, MACT matrixgekoppelte autologe Chondrozytentransplantation



in Kombination mit einer Spongiosaplastik) indiziert [37] und zeigt je nach Studienlage die besten Ergebnisse an den Femurkondylen. Bezüglich der Größe des Defekts eignen sich im Knie besonders umschriebene Defekte von 2–9 cm<sup>2</sup>, wenn diese nicht mehr adäquat durch eine Mikrofrakturierung oder Knorpel-Knochen-Transplantation zu decken sind. Nach Entnahme von Knorpelbiopsien werden Chondrozyten durch enzymatischen Verdau isoliert und in der Zellkultur vermehrt. Im Gegensatz zu den meisten bisher genannten Verfahren benötigt diese Technik einen intakten subchondralen Knochen (■ **Abb. 4a**). Ist dieser mit betroffen, muss zuerst der subchondrale Knochen in Kenntnis einer deutlich schlechteren Prognose durch Kürettage und Spongiosaplastik ersetzt werden.

**Abb. 5** ▶ MACT bei ausgedehntem Grad-4-Knorpelschaden am Humeruskopf (*H*). Nach Einbringen der mit Chondrozyten be-träufelten Kollagenmembran (*Stern*) und zirkumferentieller wasser-dichten Fixation mittels PDS-Fäden und Fibrinkleber Unterspritzen der Membran mit verbliebener Knorpelzellsuspension (*C*).





**Abb. 6** ▲ Biologischer glenoidaler Oberflächenersatz mittels azellulärem Hautallograft (*M*, freundlicherweise zur Verfügung gestellt von Dr. Joe F. De Beer, Kapstadt, Südafrika). **a** Arthroskopisches Einziehen der Membran durch das posteriore Standardportal auf die präparierte Glenoidoberfläche entlang der posterior (*p*) und anterior (*a*) am Glenoidrand positionierten Ankerfäden. **b** Fixierung der glenoidalen Membran am ventralen und dorsalen Kapsel-Labrum-Komplex mittels Fadenknöten. **c** Abschlussbild nach glenoidüberspannender Membranfixierung. *H* Humerus

Ursprünglich beschrieben ist die Injektion von Chondrozyten unter einen im Knorpeldefektbett fixierten Periostlappen (ACT [9]). Die Weiterentwicklung von Zellkultivierung und Trägermaterialien ermöglichte die Chondrozytenimplantation auf oder sogar in resorbierbare dreidimensionale Trägermaterialien in Form der *matrixgekoppelten Chondrozytentransplantation*, MACT (■ **Abb. 4b**). Gegenüber der ACT zeichnet sich diese durch gleichmäßige Zellverteilung im Defektbett und vereinfachtes operatives Handling aus [2]. Um eine initiale biomechanische Stabilität bei Scherbelastung zu gewährleisten, empfiehlt sich v. a. glenohumeral die Anheftung der Matrix mit Fibrinkleber und ggf. Fadenfixierung am periläsionalen gesunden Knorpel (■ **Abb. 5**). In Einzelfällen kann eine transösäre Verankerung bei randständigen Defekten erforderlich sein. Prinzipiell erlauben die biomechanisch stabilen Matrices die technisch herausfordernde arthroskopische Implantation in das möglichst nicht blutende Defektbett [39]. In der Praxis erfolgt allerdings in der Regel die offene Implantation zur vollständigen Defektdeckung und ubiquitär guten Matrixadaptation.

Die sich auflösende Matrix wird durch gleichzeitig entstehendes Regenerationsgewebe mit einem hohen Prozentsatz an hyalinähnlichem Knorpel mit guten bis exzellenten Ergebnissen beim Knie nach 6 Monaten ersetzt [40]. Klinische Ergebnisse im Knie zeigen dabei eine Überlegenheit der MACT gegenüber der Mi-

krofrakturierung im 2-Jahres-Follow-up im Lysholm-, Tegner- und ICRS-Score [3]. Ebenso konnten im Knie in einer prospektiven randomisierten Studie mit einem mittleren Follow-up von 19 Monaten signifikant bessere Resultate mit der ACT gegenüber der osteochondralen Mosaikplastik erzielt werden [4].

### ◀ Beim Knie sind die klinischen Ergebnisse der MACT der Mikrofrakturierung überlegen

Entgegen den guten bis sehr guten Langzeitergebnissen der (M)ACT bei vollschichtigen Knorpeldefekten beim Knie [25] ist Literatur bzgl. der Chondrozytentransplantation bei den wesentlich selteneren glenohumeralen Knorpelläsionen praktisch nicht vorhanden. Einzig ist ein Einzelfallbericht eines jungen Athleten mit autologer Chondrozytenimplantation (ACI) am proximalen Humerus bei vollschichtigem Knorpelschaden aus dem Jahr 2002 bekannt [27]. Eine Überlegenheit von MACT gegenüber ACT aufgrund höherer biomechanischer Stabilität zur Therapie glenohumeraler Knorpelschäden wird vermutet (■ **Abb. 5**).

### Biologischer Oberflächenersatz

Von einigen wenigen Autoren wird in limitierten Studien die Möglichkeit des vollständig arthroskopisch durchführbaren „biological resurfacings“ bei stark schmerzhafter fortgeschrittener glenohumeraler Osteoarthrose (Kellgren-Law-

rence Grad III–IV) beschrieben. Im Fokus stehen dabei Patienten, bei denen aufgrund jüngeren Alter und/oder hohem funktionellen Anspruch ein prothetischer Gelenkflächenersatz als kritisch anzusehen ist [12, 28].

Nach vollständigem arthroskopischem glenohumeralem Débridement mit Osteophytenresektion, Synovektomie und ggf. Korrektur einer Glenoidbikonkavität erfolgt das Einziehen eines auf das Glenoid zugeschnittenen oberflächenersetzenden ein- oder zweischichtigen Gewebes wie z. B. eines azellulären matrixbasierten Hautallografts entlang von periglenoidal fixierten Fäden (■ **Abb. 6a**). Das Graft wird arthroskopisch am Kapsel-Labrum-Komplex am hinteren und vorderen Glenoidrand in Knotentechnik fixiert (■ **Abb. 6b**) und überspannt das débridierte Glenoid vollständig (■ **Abb. 6c**). Nach einem Mindest-Follow-up von 2 Jahren erreichten de Beer et al. [12] mit dieser Methode bei 32 Patienten mit fortgeschrittener glenohumeraler Osteoarthrose eine signifikante Verbesserung des Constant-Scores von 40 auf 64,5 Punkte mit Reduktion von Schmerzen trotz spezifischer Nebenwirkungen wie z. B. Fremdkörperreaktionen. Bei 12 Patienten wurde ein glenoidaler Knorpelüberzug unterschiedlicher Dicke im MRT (ohne Knorpelprotokoll) vermutet. In der stichprobenartigen Histologie wurde eine Einwanderung von Chondrozyten in das Scaffold nachgewiesen. Bei 10 Patienten fehlte ein Knorpelüberzug jedoch gänzlich [12].

Savoie et al. [28] beschrieben in einer EBM-Level-IV-Studie mit 32 Patienten (Durchschnittsalter 32 Jahre) und einem Follow-up von 3–6 Jahren mit einem weiteren biologischen Scaffold eine signifikante Verbesserung der glenohumeralen Funktion bei fortgeschrittener Osteoarthrose. Die Wahl der beschriebenen Scaffolds reicht bis hin zum Meniskusallgraft als glenoidaler Oberflächenersatz mit positiven Kurzzeitergebnissen [24]. Ob eine routinemäßige Anwendung dieser vollständig arthroskopisch durchführbaren und dadurch prinzipiell attraktiven Technik bei fortgeschrittener glenohumeraler Osteoarthrose wirklich einen prothetischen Gelenkersatz hinauszuzögern vermag, müssen weiterführende prospektive Studien zeigen. Ebenso gilt es nachzuweisen, ob ohne bedeutende implantat-spezifische Nebenwirkungen ein relevanter Umbau der implantierten Matrix in höherwertiges knorpelähnliches Gewebe stattfindet.

## Fazit für die Praxis

- Der symptomatische glenohumerale Knorpelschaden stellt eine Herausforderung für den behandelnden Schulterchirurgen dar. In wieweit jedoch die aktuellen Therapiekonzepte eine Osteoarthrose verzögern oder sogar verhindern können, ist noch unklar. Eine rein prophylaktische glenohumerale Knorpeltherapie ist daher zum jetzigen Kenntnisstand nicht indiziert.
- Viel versprechende Hinweise gibt die Mikrofrakturierung mit der größten Evidenz bei kleinen fokalen glenohumeralen Knorpelläsionen. Ihre Kosteneffizienz und die einfache arthroskopische Durchführbarkeit auch im ambulanten Bereich machen sie weiterhin zum führenden Verfahren der knorpelregenerativen Schulterchirurgie.
- Ob OATS oder (M)ACT durch ihren Vorteil hyaliner oder hyalinähnlicher Defektdeckung bessere klinische Ergebnisse aufweisen, bedarf weiterer klinischer Studien.
- Die breite, insbesondere arthroskopische Anwendung wird voraussichtlich vor allem von Kosten und Prakti-

**kabilität reguliert werden. Ebenso gilt es zu untersuchen ob der Therapiealgorithmus des Kniegelenks mit guten klinischen Ergebnissen als Basis für die glenohumerale Therapie dienen kann.**

## Korrespondenzadresse

Dr. I.J. Banke



Abteilung und Poliklinik für Sportorthopädie, Klinikum rechts der Isar, Technische Universität München  
Connollystraße 32,  
80809 München  
ingo.banke@gmx.net

**Interessenkonflikt.** Der korrespondierende Autor gibt an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

## Literatur

1. Ansh P, Vogt S, Bartl C et al (2007) Osteochondral transplantation to treat osteochondral lesions in the elbow. *J Bone Joint Surg [Am]* 89:2188–2194
2. Bartlett W, Skinner JA, Gooding CR et al (2005) Autologous chondrocyte implantation versus matrix-induced autologous chondrocyte implantation for osteochondral defects of the knee: a prospective, randomised study. *J Bone Joint Surg [Br]* 87:640–645
3. Basad E, Ishaque B, Bachmann G et al (2010) Matrix-induced autologous chondrocyte implantation versus microfracture in the treatment of cartilage defects of the knee: a 2-year randomised study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 18:519–527
4. Bentley G, Biant LC, Carrington RW et al (2003) A prospective, randomised comparison of autologous chondrocyte implantation versus mosaicplasty for osteochondral defects in the knee. *J Bone Joint Surg [Br]* 85:223–230
5. Bishop JY, Flatow EL (2003) Management of glenohumeral arthritis: a role for arthroscopy? *Orthop Clin North Am* 34:559–566
6. Bobic V (1996) Arthroscopic osteochondral autograft transplantation in anterior cruciate ligament reconstruction: a preliminary clinical study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 3:262–264
7. Boselli KJ, Ahmad CS, Levine WN (2010) Treatment of glenohumeral arthrosis. *Am J Sports Med* [Epub ahead of print]
8. Brittberg M (1997) A critical analysis of cartilage repair. *Acta Orthop Scand* 68:186–191
9. Brittberg M, Lindahl A, Nilsson A et al (1994) Treatment of deep cartilage defects in the knee with autologous chondrocyte transplantation. *N Engl J Med* 331:889–895
10. Cameron ML, Kocher MS, Briggs KK et al (2003) The prevalence of glenohumeral osteoarthritis in unstable shoulders. *Am J Sports Med* 31:53–55
11. Carroll KW, Helms CA, Speer KP (2001) Focal articular cartilage lesions of the superior humeral head: MR imaging findings in seven patients. *Am J Roentgenol* 176:393–397
12. De Beer JF, Bhatia DN, Rooyen KS van et al (2010) Arthroscopic debridement and biological resurfacing of the glenoid in glenohumeral arthritis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* [Epub ahead of print]
13. Elser F, Braun S, Dewing CB et al (2010) Glenohumeral joint preservation: current options for managing articular cartilage lesions in young, active patients. *Arthroscopy* 26:685–696
14. Frank RM, van Thiel GS, Slabaugh MA et al (2010) Clinical outcomes after microfracture of the glenohumeral joint. *Am J Sports Med* 38:772–781
15. Hangödy L, Füles P (2003) Autologous osteochondral mosaicplasty for the treatment of full-thickness defects of weight-bearing joints: ten years of experimental and clinical experience. *J Bone Joint Surg [Am]* 85:25–32
16. Imhoff AB, Ottl GM, Burkart A (1999) Autologous osteochondral transplantation on various joints. *Orthopäde* 28:33–44
17. Johnson LL (2001) Arthroscopic abrasion arthroplasty: a review. *Clin Orthop Relat Res* 391:306–317
18. Johnson LL (1986) Arthroscopic abrasion arthroplasty historical and pathologic perspective: present status. *Arthroscopy* 2:54–69
19. Kircher J, Patzer T, Magosch P et al (2009) Osteochondral autologous transplantation for the treatment of full-thickness cartilage defects of the shoulder: results at nine years. *J Bone Joint Surg [Br]* 91:499–503
20. Kropf EJ, Sekiya JK (2007) Osteoarticular allograft transplantation for large humeral head defects in glenohumeral instability. *Arthroscopy* 23:322:e1–e5
21. Makino T, Fujioka H, Kurosaka M (2001) Histologic analysis of the implanted cartilage in an exact-fit osteochondral transplantation model. *Arthroscopy* 17:747–751
22. Millet PJ, Huffard BH, Horan MP et al (2009) Outcomes of full-thickness articular cartilage injuries of the shoulder treated with microfracture. *Arthroscopy* 25:856–863
23. Paul J, Sagstetter A, Kriner M et al (2009) Donor-site morbidity after osteochondral autologous transplantation for lesions of the talus. *J Bone Joint Surg [Am]* 91:1683–1688
24. Pennington WT, Bartz BA (2005) Arthroscopic glenoid resurfacing with meniscal allograft: a minimally invasive alternative for treating glenohumeral arthritis. *Arthroscopy* 21:1517–1520
25. Peterson L, Brittberg M, Kiviranta I et al (2002) Autologous chondrocyte transplantation. Biomechanics and long-term durability. *Am J Sports Med* 30:2–12
26. Pridie KH (1959) A method of resurfacing osteoarthritic knee joints. *J Bone Joint Surg [Br]* 41:618–619
27. Romeo AA, Cole BJ, Mazzocca AD et al (2002) Autologous chondrocyte repair of an articular defect in the humeral head. *Arthroscopy* 18:925–929
28. Savoie FH 3rd, Brislin KJ, Argo D (2009) Arthroscopic glenoid resurfacing as a surgical treatment for glenohumeral arthritis in the young patient: mid-term results. *Arthroscopy* 25:864–871
29. Scheibel M, Bartl C, Magosch P et al (2004) Osteochondral autologous transplantation for the treatment of full-thickness articular cartilage defects of the shoulder. *J Bone Joint Surg [Br]* 86:991–997
30. Schmidt H, Hasse E (1989) Arthroscopic surgical treatment of circumscribed cartilage damage with spongiosization or Pridie drilling. *Beitr Orthop Traumatol* 36:35–37
31. Siebold R, Lichtenberg S, Habermeyer P (2003) Combination of microfracture and periosteal-flap for the treatment of focal full thickness articular cartilage lesions of the shoulder: a prospective study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 11:183–189

32. Siparsky P, Ryzewicz M, Peterson B et al (2007) Arthroscopic treatment of osteoarthritis of the knee: are there any evidence-based indications? *Clin Orthop Relat Res* 455:107–112
33. Steadman JR, Briggs KK, Rodrigo JJ et al (2003) Outcomes of microfracture for traumatic chondral defects of the knee: average 11-year follow-up. *Arthroscopy* 19:477–484
34. Steadman JR, Rodkey WG, Briggs KK (2002) Microfracture to treat full-thickness chondral defects: surgical technique, rehabilitation and outcomes. *J Knee Surg* 15:170–176
35. Steadman JR, Rodkey WG, Singleton SB et al (1997) Microfracture technique for full-thickness chondral defects: technique and clinical results. *Oper Tech Orthop* 7:300–304
36. Steinwachs MR, Kreuz PC (2003) Combinations of different cartilage resurfacing techniques. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 141:625–628
37. Vogt S, Braun S, Imhoff AB (2007) Stadiengerechte operative Knorpeltherapie. *Z Rheumatol* 66:493–504
38. Wagner H (1964) Operative Behandlung der Osteochondrosis dissecans des Kniegelenkes. *Z Orthop* 62–64
39. Zantop T, Petersen W (2009) Arthroscopic implantation of a matrix to cover large chondral defect during microfracture. *Arthroscopy* 25:1354–1360
40. Zheng MH, Willers C, Kirilak L et al (2007) Matrix-induced autologous chondrocyte implantation (MACI): biological and histological assessment. *Tissue Eng* 13:737–746