

Stadiengerechte operative Knorpeltherapie

Stephan Vogt, S. Braun, A. B. Imhoff

Angaben zur Veröffentlichung / Publication details:

Vogt, Stephan, S. Braun, and A. B. Imhoff. 2007. "Stadiengerechte operative Knorpeltherapie." Zeitschrift für Rheumatologie 66 (6): 493-504.
<https://doi.org/10.1007/s00393-007-0213-1>.

Nutzungsbedingungen / Terms of use:

licgercopyright

Dieses Dokument wird unter folgenden Bedingungen zur Verfügung gestellt: / This document is made available under these conditions:

Deutsches Urheberrecht

Weitere Informationen finden Sie unter: / For more information see:

<https://www.uni-augsburg.de/de/organisation/bibliothek/publizieren-zitieren-archivieren/publiz/>



S. Vogt¹ · S. Braun² · A.B. Imhoff³

¹ Klinik für Orthopädie am Klinikum rechts der Isar, Technische Universität München

² Steadman Hawkins Research Foundation, Vail, USA

³ Abt. für Sportorthopädie am Klinikum rechts der Isar, Technische Universität München

Redaktion

U. Müller-Ladner, Bad Nauheim (Leitung)

E. Genth, Aachen

G. Schett, Erlangen

H. Stürz, Giessen

J. Wollenhaupt, Hamburg

Stadiengerechte operative Knorpeltherapie

Aktueller Stand

Zusammenfassung

Chondrale bzw. osteochondrale Läsionen von Gelenken sind typische Schädigungsmuster in der Orthopädie und Traumatologie. Aufgrund der in der Regel fehlenden Regeneration des verletzten Gelenkknorpels kann die initiale Läsion zur vorzeitigen Arthrose führen. Daher besteht ein großes Interesse an einer adäquaten Therapie dieser Schäden. Klinisch gebräuchliche Methoden der Knorpeltherapie sind derzeit Verfahren zur mesenchymalen Stammzellrekrutierung (autologe Knorpel-Knochen-Transplantation, autologe Chondrozytentransplantation). Die autologe Knorpel-Knochen-Transplantation ist aktuell das einzige Verfahren, das den Defekt mit hyalinem Knorpel ersetzt; problematisch sind allerdings die Entnahmemorbidität und die begrenzte Verfügbarkeit. Stammzellrekrutierende Verfahren und die autologe Knorpelzelltransplantation führen in der Regel zu einem faserknorpeligen Gewebe, das als Funktionsgewebe häufig mittelfristig gute klinische Ergebnisse liefert. Jedes dieser Therapieprinzipien hat bestimmte Indikationsschwerpunkte. Um eine adäquate Therapie zu wählen, bedarf es daher zunächst der Klassifikation des chondralen bzw. osteochondralen Schadens. Unter einer Vielzahl von Klassifikationssystemen sind besonders die Systeme der ICRS von klinischer Relevanz.

Schlüsselwörter

Gelenkknorpel/Läsion · Mikrofrakturierung · Knorpel-Knochen-Transplantation · Autologe Knorpelzelltransplantation

Stage oriented surgical cartilage therapy · Current situation

Abstract

Chondral or osteochondral lesions are typical injuries in orthopaedics and traumatology. Since there is no regeneration of damaged articular cartilage, these lesions can lead to premature osteoarthritis. Therefore, an adequate therapy for these injuries is an important goal. Nowadays, common methods in cartilage therapy are procedures for the recruitment of mesenchymal stem cells: autologous osteochondral transplantation and autologous chondrocyte transplantation. Currently, autologous osteochondral transplantation is the only procedure that allows the replacement of the defect with hyaline cartilage. However, this procedure has the problem of donor-site morbidity and limited availability of transplants. Stem cell recruiting procedures and autologous chondrocyte transplantation normally achieve a regeneration of the defect with only fibrocartilage tissue, but both can achieve good medium-term clinical results. Each of these therapeutic principles has certain major indications. In order to select an adequate therapy, the classification of chondral or osteochondral lesion is needed. From a multiplicity of classification systems, those of the ICRS are of particular clinical relevance.

Keywords

Articular cartilage/lesion · Microfracturing · Osteochondral transplantation · Autologous chondrocyte transplantation

Die beiden Autoren S. Vogt und S. Braun haben zu gleichen Teilen zu dieser Arbeit beigetragen. Dieser Beitrag erschien ursprünglich in Der Orthopäde 6/2007

Der Beitrag soll einen Überblick über operative Behandlungsmethoden und -möglichkeiten von umschriebenen Knorpelschädigungen bei Patienten ohne arthrotische Veränderungen geben. Vor einer Therapieentscheidung steht zunächst die genaue Diagnostik und Klassifizierung des chondralen oder osteochondralen Schadens. Hierzu werden je 2 Klassifikationssysteme vorgeschlagen, anhand derer sich auch eine stadiengerechte Behandlung planen lässt. Nach derzeitigem Stand der Wissenschaft stehen 3 Therapieprinzipien zur Verfügung. Stammzellrekrutierende Verfahren induzieren die Bildung von Faserknorpelgewebe. Techniken des Knorpel-Knochen-Transfers ersetzen derzeit als einzige den Defekt mit hyalinem Knorpel und ersetzen zudem auch den subchondralen Knochen. Als jüngste Technik stehen verschiedene Methoden der Knorpelzelltransplantation zur Verfügung. Prinzipiell werden dabei zuvor entnommene autologe Chondrozyten unter Zellkulturbedingungen proliferiert und anschließend retransplantiert. Nach derzeitiger Studienlage ist bisher keines der genannten Verfahren signifikant den anderen überlegen. Es muss jedoch berücksichtigt werden, dass insbesondere Unterschiede bezüglich der Indikation bestehen. Dies soll im Folgenden besonders erläutert werden, um eine differenzierte Anwendung zu ermöglichen.

Chondrale bzw. osteochondrale Läsionen der Gelenke sind typische Verletzungsmuster in der Orthopädie und Unfallchirurgie [1]. Hyaliner Gelenkknorpel enthält weder Blutgefäße noch eine nervale Versorgung. Die Knorpelzellen werden über Diffusion aus der Synovia und vor allem vor Wachs-tumsende aus dem subchondralen Knochen ernährt. Die extrazelluläre Matrix, die die Knorpelzellen umscheidet, ist dabei eine natürliche Grenzschicht. Aus diesen Gründen regeneriert insbesondere adulter Gelenkknorpel nach Verletzungen meist nur unvollständig. Diese partielle Regenerati-on erfolgt durch Bindegewebe- bzw. Faserknorpelbildung mit vorwiegender Produktion von Typ-I-Kollagenfasern. Nur bei sehr kleinen Verletzungen der Matrixkomponenten ohne Schädigung der Grundstruktur des Knorpels sind die Chondrozyten in der Lage, über eine ► **Proteoglykanneusynthese** den Knorpeldefekt vollständig zu ersetzen. In der Reparation des größeren Knorpeldefektes spielt der subchondrale Knochen eine wichtige Rolle. Diese Reparation wird typischerweise durch das Einwandern von mesenchymalen Stammzellen des Blutes oder Knochenmarks in den Defektbereich eingeleitet. Das so entstandene Reparaturssgewebe ist jedoch histologisch im besten Fall faserknorpelartiges Gewebe, häufig aber auch nur Bindegewebe. Diese Gewebetypen neigen auf-grund mechanischer Minderwertigkeit unter der hohen Belastung im Gelenk zur schnellen Dege-neration [2]. Grundsätzlich gibt es konservative und operative Therapiemöglichkeiten für Knorpel-schädigungen. Bei frühen Stadien können über die konservative Therapie durchaus Verbesserungen der individuellen Beschwerdesymptomatik erreicht werden. Liegt jedoch ein höhergradiger Scha-den vor, müssen zusätzlich operative Behandlungen in Erwägung gezogen werden. Vor jedem Ein-griff zur Behandlung von Knorpelschäden sollte eine genaue Diagnostik bezüglich der Gelenksta-bilität und der achsgerechten Stellung erfolgen, um diesbezügliche Pathologien oder Abweichungen korrigieren zu können.

Einige operative Ansätze bedienen sich der vom Organismus selbst bereitgestellten Mechanismen zur Reparation und versuchen, diese zu aktivieren. Andere Techniken zielen darauf, die limitierten Möglichkeiten der Reparation zu umgehen und Defektareale direkt zu decken (Knorpel-Knochen Transplantation). Die ► **autologe Chondrozytentransplantation** wiederum ist ein Verfahren des Tissue-Engineerings und nutzt In-vitro-Techniken aber auch physiologische Mechanismen des Or-ganismus zur Schadenreparation. Traumatische und durch aseptische Knochennekrosen bedingte fo-kal begrenzte Schäden sind einer operativen Therapie besonders gut zugänglich. Verschiedene Tech-niken der operativen Behandlung konkurrieren in gewisser Weise untereinander; ein Konsens, wel-ches Verfahren zu favorisieren ist, konnte auch durch intensive wissenschaftliche Auseinanderset-zung mit dem Thema bisher nicht gefunden werden.

Dennoch kann man den derzeit am häufigsten angewandten Verfahren der operativen Therapie (stammzellrekrutierende Verfahren, autologe Knorpel-Knochen-Transplantation, autologe Knorpelzelltransplantation) in ihren verschiedenen Techniken ► **Indikationsschwerpunkte** zuschreiben. Diese machen somit differenzierte Überlegungen zur Wahl des im Einzelfall geeigneten Verfah-rens sinnvoll.

Knorpelzellen werden über Diffusion aus der Synovia und aus dem subchondralen Knochen ernährt

► **Proteoglykanneusynthese**

Grundsätzlich gibt es konservative und operative Therapiemöglichkeiten für Knorpelschädigungen

► **Autologe Chondrozytentransplantation**

Traumatische und durch aseptische Knochennekrosen bedingte fo-kal begrenzte Schäden sind einer operativen Therapie besonders gut zugänglich

► **Indikationsschwerpunkte**

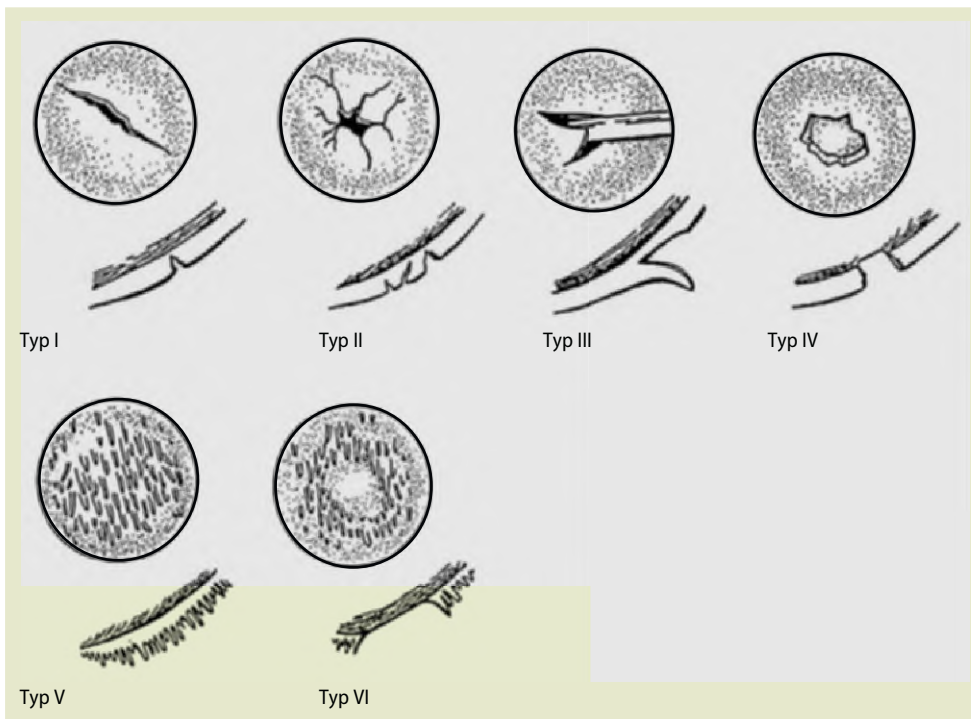


Abb. 1 ▲ Klassifikation von Knorpelschäden. (Nach [3])

Klassifikation von Knorpelschäden

Die im klinischen Alltag gebräuchlichen Stadieneinteilungen orientieren sich am arthroskopischen Befund des Schadens. Eine gemeinhin anerkannte, auf standardisierten Kernspinuntersuchungen basierende Klassifikation von chondralen Schäden existiert bis heute noch nicht. Die meisten MRT-Einteilungen basieren auf der einfach anzuwendenden arthroskopischen ► **Outerbridge-Klassifikation**, können jedoch gerade in den Anfangsstadien I und II wie auch bezogen auf die Defekttiefe und Ausdehnung bei Grad III keine letztendlich verlässlichen Angaben machen. Dennoch ist das MRT in standardisierter Technik ein wichtiges Hilfsmittel zur prinzipiellen Therapieplanung.

Bauer und Jackson

Von Bauer und Jackson wurde anhand von arthroskopisch beurteilten Knorpeldefekten in Kniegelenken eine weithin gebräuchliche Einteilung vorgenommen [3]:

- Typ I: linienförmiger Knorpelaufbruch (traumatisch),
- Typ II: sternförmige Läsion (traumatisch),
- Typ III: lappenförmiger Riss (traumatisch),
- Typ IV: Kratertyp (traumatisch),
- Typ V: Fibrillationstyp (degenerativ),
- Typ VI: Degenerationstyp (degenerativ).

Die Klassifikation nach Bauer und Jackson (■ **Abb. 1**) ist vor allem eine deskriptive Einteilung, die zwischen degenerativen und traumatischen Knorpelschäden unterscheidet und die arthroskopische Morphologie des Schadens beschreibt. Für die Einschätzung der therapeutischen Konsequenzen ist die Einteilung der International Cartilage Research Society (ICRS) besser geeignet.

ICRS

In Erweiterung der 4-stufigen Outerbridge-Klassifikation von 1961 wurde 2003 durch die International Cartilage Research Society das „ICRS Hyaline Cartilage Lesion Classification System“ veröffentlicht, das als internationale Standardklassifikation angesehen werden kann [4]. Die Einteilung wird

Eine gemeinhin anerkannte, auf standardisierten Kernspinuntersuchungen basierende Klassifikation von chondralen Schäden existiert noch nicht

► Outerbridge-Klassifikation

Die Klassifikation nach Bauer und Jackson ist vor allem eine deskriptive Einteilung

Das ICRS-Klassifikationssystem kann als internationale Standardklassifikation angesehen werden










Outerbridge	ICRS Grad	ICRS Beschreibung	
	0	keine erkennbaren Defekte	
I	1 a	intakte Oberfläche, fibrillationen und/oder leichte Erweichung	
	1 b	zusätzl. oberflächliche Risse/ Fissuren	
II	2	Läsionstiefe <50% der Knorpeldicke (abnormaler Knorpel)	
III	3 a	>50% Tiefe der Knorpeldicke, nicht bis zur kalzifizierten Schicht (schwer abnormer Knorpel)	
	3 b	>50% Tiefe der Knorpeldicke, bis zur kalzifizierten Schicht	
	3 c	>50% Tiefe der Knorpeldicke, bis zur subchondralen Platte	
	3 d	>50% Tiefe der Knorpeldicke, mit Blasenbildung	
IV	4 a/ b	vollständige Knorpelläsion mit Durchbruch der subchondralen Platte	 a b

Abb. 2 ◀ ICRS-Klassifikation von Knorpelschäden. (Nach [4], mit freundlicher Genehmigung der ICRS)

basierend auf der arthroskopischen Einschätzung der bereits debridierten Läsion mit Beachtung von Tiefe und Ausdehnung vorgenommen (■ **Abb. 2**). Nur nach Entfernung von instabilen Knorpelanteilen, Fragmenten und ausgefransten Randbereichen kann ein Defektareal in der Ausdehnung realistisch abgemessen werden.

Klassifikation von osteochondralen Schäden

ICRS-OCD-Klassifikation der Osteochondrosis dissecans

Durch eine konventionelle Röntgenbildgebung kann zunächst die Diagnose einer Osteochondrosis dissecans gestellt werden. Zudem erhält man dadurch erste Informationen über die Ausdehnung und Tiefe der knöchernen Läsion. Arthroskopisch wird dann eine exaktere Beurteilung der Knorpeloberfläche und eine Tasthakenprüfung der Stabilität des Dissekats vorgenommen, die zur folgenden Einteilung führen kann (■ **Abb. 3**):

- ICRS OCD I: stabile Läsionen mit intaktem, erweichtem Knorpel;
- ICRS OCD II: stabile Läsionen mit partieller Knorpeldiskontinuität;
- ICRS OCD III: komplettes Dissekat, noch nicht disloziert;
- ICRS OCD IV A: abgelöstes oder freies Dissekat;
- ICRS OCD IV B: Defekt >10 mm Tiefe.

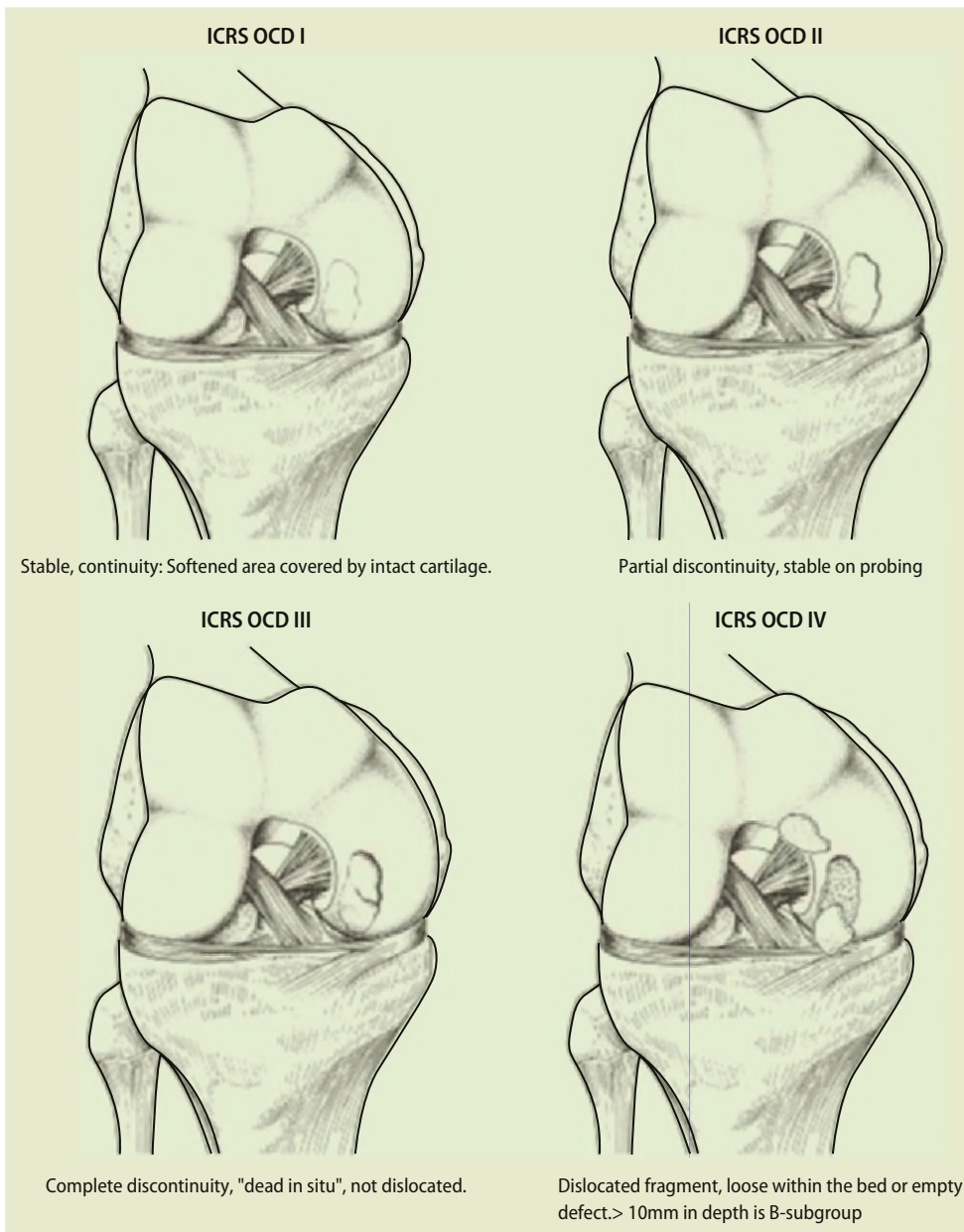


Abb. 3 ▲ ICRS-Klassifikation der Osteochondritis dissecans (ICRS OCD; nach [4], mit freundlicher Genehmigung der ICRS)

Klassifikation osteochondraler Läsionen unter Einbeziehung des MRT

Eine Einbeziehung der Vitalität des Fragmentes kann zudem bei der Entscheidung über das therapeutische Vorgehen hilfreich sein. Von Imhoff wurde entsprechend unter zusätzlicher Berücksichtigung der MRT-Diagnostik eine Einteilung vorgenommen, die sich auf osteochondrale Läsionen im Allgemeinen bezieht [5]:

- Stadium I A: Knochenkontusion;
- Stadium I B: Knorpelerweichung;
- Stadium II A: intakter Knorpel, Demarkation ohne Sklerose;
- Stadium II B: intakter Knorpel, Demarkation mit Sklerose;
- Stadium III A: Knorpel intakt, partielle Ablösung bei vitalem Fragment, ohne Sklerose;
- Stadium III B: partielle Ablösung bei avitalem Fragment oder malazischer Knorpel, mit Sklerose;
- Stadium IV A: vitales freies Fragment, ohne Sklerose;
- Stadium IV B: avitales freies Fragment mit deutlicher Sklerose;

Eine Einbeziehung der Vitalität des Fragmentes kann bei der Entscheidung über das therapeutische Vorgehen hilfreich sein

- Stadium V A: Zystenbildung ohne Sklerose;
- Stadium V B: Zystenbildung mit Sklerose.

Bedeutung der MRT-Diagnostik

Da in der Regel vor einem operativen Eingriff eine MRT-Diagnostik des betroffenen Gelenks durchgeführt wird, ist eine Einschätzung des Schadens zur Planung und Aufklärung des Patienten sehr hilfreich. Derzeit sind besonders protonendichte (PD), T2-gewichtete, Fast-Spin-Echo (FSE)- und 3D-spoiled-Gradienten-Echo (SPGR)- oder Fast-low-angle-shot (FLASH)-Sequenzen zur Knorpeldarstellung sinnvoll. Zusätzliche ► **fettsupprimierte Aufnahmen** in diesen Sequenzen sind zur Darstellung insbesondere von Knorpelarthropathologien geeignet [6]. Bezogen auf das ICRS-Klassifikationssystem können aber die Stadien 0, I A, I B und II nicht sicher differenziert werden. Eine Unterscheidung in Grad II (<50% der Knorpelschicht) und Grad III (>50% der Knorpelschicht) ist in der Regel möglich, dennoch wird im MRT die Größe des Schadens häufig deutlich unterschätzt (besonders bei instabilen Rändern oder V-förmig in die Tiefe verlaufenden Schäden). Die Grade III A bis C sind meist in der Bildgebung nicht zu unterscheiden. Besonders geeignet hingegen sind MRT-Bilder zur Beurteilung des subchondralen Knochens, dessen Schädigung rein arthroskopisch nicht bestimmt werden kann. Eine Signalanhebung in diesem Bereich spricht, sofern nicht nach einem frischen Trauma ein reiner ► **„bone-bruise“** vorliegt, für einen darüber liegenden Knorpelschaden Grad III oder IV nach ICRS, auch wenn dieser selbst im MRT nicht erkennbar ist.

Bei der Klassifikation der OCL ist die MRT-Diagnostik besonders bei der präoperativen Beurteilung der Demarkierung und Sklerosierung sowie zur Abschätzung der Stabilität oder Ablösung des Dissekats weit gehend verlässlich. Die Aussagekraft lässt sich durch eine MR-Arthrographie gegebenenfalls noch steigern.

Übersicht über therapeutische Verfahren

Rekrutierung mesenchymaler Stammzellen

Gerade die Reparatoren über einwandernde mesenchymale Stammzellen des Blutes/Knochenmarks machen sich viele operative Verfahren in der Behandlung des Knorpelschadens zu Nutze. Hierzu gehören die ► **Pridie-Bohrung** [7], die ► **Abrasionsarthroplastik** und die ► **Mikrofrakturierung** des subchondralen Knochens [8]. Die einwandernden Zellen sollen über Differenzierung, Proliferation und Matrixsynthese das Reparatorgewebe bilden. Das dabei entstehende Gewebe ist Binde- oder faserknorpelartiges Gewebe und daher funktionell im Gelenk gegenüber echtem hyalinem Knorpel als minderwertig zu betrachten. Klinisch kann durch diese Techniken die Funktion und Schmerzsymptomatik über einen limitierten Zeitraum verbessert werden, jedoch sind Langzeitergebnisse in aller Regel ernüchternd. Diese Verfahren dienen daher heute hauptsächlich dem Zeitgewinn vor Implantation eines prothetischen Ersatzes.

Transplantate vom Periost oder Perichondrium können ebenfalls als Lieferant von mesenchymalen Stammzellen benutzt werden. Diese mesenchymalen Zellen sind auch hier in der Lage, ein minderwertiges Ersatzgewebe zu induzieren. Klinische Studien lassen auch bei dieser Technik den Schluss zu, dass diese Verfahren für eine kurze Zeit die klinische Symptomatik bessern. Die Langzeitergebnisse sind jedoch aufgrund früher Degeneration des Reparatorgewebes schlecht [2]. Außerdem sind ► **Periosthypertrophien** beschrieben worden, die das Ergebnis deutlich verschlechtern und einen Revisionseingriff notwendig machen.

Tissue-Engineering des Gelenkknorpels/autologe Chondrozytentransplantation

Die autologe Chondrozytentransplantation wurde Mitte des letzten Jahrzehnts in die Therapie des Gelenkknorpelschadens eingeführt [9]. Diese Technik benutzt aus einer Knorpelbiopsie durch enzymatischen Verdau gewonnene Chondrozyten und lässt sie unter Zellkulturbedingungen proliferieren. Dieses Verfahren benötigt einen intakten subchondralen Knochen. Ist der subchondrale Knochen mitbetroffen, muss dieser Defekt zunächst über eine ► **Curettage** und ► **Spongiosaplastik** ersetzt werden. Diese Situation ist aber prognostisch deutlich ungünstiger.

Zurzeit gibt es 3 konkurrierende therapeutische Ansätze:

► Fettsupprimierte Aufnahmen

Besonders geeignet sind MRT-Bilder zur Beurteilung des subchondralen Knochens

► „Bone-bruise“

Die Aussagekraft der MRT-Diagnostik lässt sich durch eine MR-Arthrographie noch steigern

► Pridie-Bohrung

► Abrasionsarthroplastik

► Mikrofrakturierung

► Periosthypertrophie

► Curettage

► Spongiosaplastik

- Transplantation von ex-vivo kultivierten Chondrozyten in Suspension (z. B. ACT/ACI),
- matrixgekoppelte autologe Chondrozytentransplantation (z. B. MACT/MACI),
- matrixgekoppelte Mikrofrakturierung.

In der Originaltechnik der autologen Chondrozytentransplantation (ACT) von Brittberg et al. [9] werden die Zellen unter einen am gesunden Umgebungsknorpel fixierten Periostlappen injiziert. Hierbei handelt es sich um die klassische nicht matrixgekoppelte Chondrozytentransplantation.

Neue Techniken der Zellkultivierung und moderne Materialien erlauben heute die Implantation der Chondrozyten in oder auf ► **resorbierbaren dreidimensionalen Trägermaterialien** [10]. Diese bilden die große Gruppe der matrixgekoppelten Chondrozytentransplantationen. Die Verwendung solcher Matrizes ermöglicht die gleichmäßige Verteilung der Zellen im Defekt und vereinfacht die operative Handhabung. Eine Naht durch intakten Knorpel zur Verankerung ist nicht mehr unbedingt notwendig. Die Matrizes lösen sich nach einer definierten Zeit auf und lassen Raum für die korrespondierend verlaufende Synthese von Regenerationsgewebe.

Verschiedene resorbierbare Stoffgruppen sind in unterschiedlichen Zubereitungsformen derzeit in der klinischen Anwendung:

- Kollagene tierischen Ursprungs (Kollagen I und III) als Vlies, Gel, Membran;
- Hyaluronan und bestimmte Polymere (z. B. PLA, PGLA) als Vlies.

Die Fixierung erfolgt entsprechend der biomechanischen Eigenschaften des Implantats und der Größe bzw. Lokalisation des Defekts. Gele oder bestimmte Membranen können in einen Defekt eingelegt und dort allein durch Adhäsionskräfte fixiert werden. Alternativ bietet sich die flächige oder punktuelle Anheftung mit Fibrinkleber an oder die Fadenfixierung am benachbarten Knorpel. Das höchste Maß an initialer biomechanischer Stabilität bei einem randständigen Defekt mit großen Scherbelastungen wird durch eine ► **transossäre Verankerung** erreicht. Die Verwendung biomechanisch stabiler Matrizes ermöglicht die arthroskopische Implantation in den Defekt.

Bei der matrixgekoppelten Chondrozytentransplantation gibt es nun nicht nur verschiedene Matrizes, sondern auch unterschiedliche Grundprinzipien der Chondrozytenapplikation. Die Zellen können unter eine zuvor aufgebrachte Matrix analog zur klassischen Periosttechnik injiziert werden, sie können kurz vor der Implantation auf die Matrix gegeben werden und sich absiedeln oder sie kommen vom Hersteller fertig integriert innerhalb oder auf der Matrix.

Eine Sonderform, und keine Chondrozytentransplantation im eigentlichen Sinne, ist die ► **matrixgekoppelte Mikrofrakturierung** [11], bei der das Verfahren der Mikrofrakturierung mit einer Kollagenmatrix kombiniert wird. Dabei sollen mesenchymale Stammzellen in den Defektbereich gelangen und mit Hilfe der Matrix zu Chondrozyten differenzieren. Der Vorteil dieses Verfahrens ist die Kostenreduktion und der einzeitige Eingriff.

Nach derzeitiger Studienlage lässt sich aus dieser Gruppe kein Verfahren favorisieren. Obwohl es bisher keinen histologischen Nachweis auf eine Defektheilung mit hyalinem Knorpel gibt, sind die klinischen Ergebnisse zum Teil ermutigend [10].

Autologe Knorpel-Knochen-Transplantation

Bei Beteiligung des subchondralen Knochens bei Knorpelschäden und bei osteochondralen Schäden wie z. B. einer Osteochondrosis dissecans stehen heutzutage operative Transfermethoden von Knorpel und Knochen im Mittelpunkt der Therapie. Einzig durch die autologe Transplantation von Knorpel-Knochen-Zylindern kann derzeit eine Deckung der Defektzone mit hyalinem Knorpel erreicht werden. Die Technik der autologen osteochondralen Transplantation wurde erstmals unabhängig voneinander von Müller und Wagner 1964 vorgestellt [12]. Hangody [13] und Bobic verbesserten die Technik des Knorpel-Knochen-Transfers so, dass auch ein arthroskopisches Vorgehen möglich wurde. Eine Erweiterung der Indikation auf wesentlich größere Defekte konnte durch den Transfer der posterioren Femurkondyle als sogenannte Mega-OATS erreicht werden [14].

Vorteile des Transfers von osteochondralen Autografts sind die direkte Verfügbarkeit ohne das Risiko der Übertragung von Infektionen, die Defektdeckung mit echtem hyalinem Knorpel sowie der Ersatz von geschädigtem subchondralen Knochen und die geringen Kosten für den einzeitigen Eingriff. Die Anwendung wird allerdings durch die begrenzte Möglichkeit zur Entnahme und eine ► **potenzielle Morbidität** im Spenderbereich limitiert.

► Resorbierbare dreidimensionale Trägermaterialien

► Transossäre Verankerung

Die Verwendung biomechanisch stabiler Matrizes ermöglicht die arthroskopische Implantation in den Defekt

► Matrixgekoppelte Mikrofrakturierung

Nur durch die autologe Transplantation von Knorpel-Knochen-Zylindern kann eine Defektdeckung mit hyalinem Knorpel erreicht werden

► Potenzielle Morbidität

Der Bereich der proximalen lateralen und medialen Trochlea eignet sich besonders zum Transfer in die Belastungszone der Femurkondylen

- ▶ **Mosaikplastik**
- ▶ **OATS-Technik**

- ▶ **Press-fit-Verankerung**

Die Versorgung von Knorpelschäden und osteochondralen Läsionen ist prinzipiell an vielen Gelenken technisch möglich

- ▶ **Retropatellare Defekte**

- ▶ **Mega-OATS-Technik**

- ▶ **Transferzylinder**

- ▶ **Domförmige Osteotomie**

- ▶ **Femurkopfnekrosen**

Ein stabiles und achsgerecht geführtes Gelenk ist die Grundlage einer erfolgreichen operativen Knorpeltherapie

Die technische Grundlage für die Deckung von oben beschriebenen Defekten in Belastungszonen von Knie, oberem Sprunggelenk, Schulter, Ellenbogen oder auch Hüfte ist der Transfer von osteochondralen Zylindern aus gering belasteten Zonen des Kniegelenkes. Dies sind insbesondere die proximale anterolaterale oder anteromediale Trochlea. Untersuchungen von Garretson et al. [15] zeigten in den vorgenannten Bereichen eine geringe bis fehlende Druckbelastung im femoropatellaren Gleitlager. Durch Berücksichtigung und Analyse des Oberflächenreliefs von Spender- und Empfängerbereich können die Spenderzylinder den Bedürfnissen des Defektareals entsprechend gewonnen werden und ermöglichen so eine kongruente Einpassung. Der Bereich der proximalen lateralen und medialen Trochlea eignet sich so besonders zum Transfer in die Belastungszone der Femurkondylen.

Um im Empfängerbereich kongruente Oberflächen durch die Transplantation zu schaffen, sind verschiedene Konzepte beschrieben. Die sogenannte ▶ **Mosaikplastik** modelliert mit vielen kleinen nebeneinander eingebrachten Zylindern die Oberfläche. Bei der ▶ **OATS-Technik** erfolgt die Verwendung von wenigen, ggf. sich leicht überschneidend eingebrachten osteochondralen Zylindern in ▶ **Press-fit-Verankerung**. Ziel ist dabei, die Randflächen zum umliegenden Knorpel und zu benachbarten Transferzylindern so gering wie möglich zu halten und durch die Überlappung die Primärstabilität der Zylinder durch gegenseitige Abstützung zu erhöhen. Dadurch kann eine große kongruente Fläche hyalinen Knorpels ohne größere Unterbrechungen erreicht werden, wodurch auch das Einheilen der Zylinder begünstigt wird. Die Versorgung von Knorpelschäden und osteochondralen Läsionen ist prinzipiell an vielen Gelenken technisch möglich. Am Kniegelenk sind die Erfolge in den Belastungszonen der Femurkondylen am besten, jedoch ist auch an der Retropatellarfläche und im Bereich der Trochlea eine Knorpel-Knochen Transplantation möglich.

▶ **Retropatellare Defekte** werden aufgrund der Härte des subchondralen Knochens mit einem Kronenbohrer über einen Draht bis zur gewünschten Tiefe ausgebohrt. Im Bereich der Entnahmestelle an der Trochlea ist die Knorpelschicht einige Millimeter dünner als an der Patella, was bei der planen Implantation und bei der postoperativen Röntgenkontrolle entsprechend zu berücksichtigen ist.

Die so beschriebene Technik des Knorpel-Knochen Transfers zur Versorgung von Defekten an den Femurkondylen zeigte nach 10 Jahren in 92% der Fälle gute oder hervorragende Ergebnisse. Bei Schäden an der tibialen Gelenkfläche konnten gute Ergebnisse in 87% und an der Patella in 79% der Fälle erzielt werden.

Im Falle von ausgedehnten osteochondralen Schäden, die wegen der limitierten Spenderbereiche des Kniegelenkes nicht durch eine konventionelle OATS gedeckt werden können, ist eine Ersatzoperation in der ▶ **Mega-OATS-Technik** möglich, bei der in maximaler Flexion mit einem Klingenmeißel die mediale posteriore Femurkondyle entnommen wird. Aus dieser wird dann in einer speziellen Workstation ein passender ▶ **Transferzylinder** gefräst (Durchmesser 20, 25, 30, 35 mm) und in das zuvor ausgefräste Empfängerbett in Press-fit-Technik eingepasst [14].

Zur Versorgung der häufigen Osteochondrosis dissecans am Talus kann eine ▶ **domförmige Osteotomie** des medialen Malleolus oder eine Fibulaosteotomie mit anschließender Schrauben- oder Plattenosteosynthese notwendig werden, um eine gute Exposition des Schadens zu erreichen. Der Empfängerbereich wird so ausgestanzt, dass eine Rekonstruktion der Talusschulter über eine entsprechende Entnahme des Spenderzylinders über eine Miniarthrotomie kranial lateral der Patella am Knie möglich wird. Gerade bei der Osteochondrosis dissecans des Talus konnten sehr gute Ergebnisse publiziert werden. Das Outcome der Patienten war besser als nach markraumstimulierenden Verfahren wie zum Beispiel der Mikrofrakturierung.

Osteochondrosis-dissecans-Herde am Capitulum humeri können durch die Knorpel-Knochen-Transplantation mit gutem Erfolg behandelt werden. Im Bereich des Hüftkopfes können Knorpelschäden und osteochondrale Läsionen ebenso mit Knorpel-Knochen-Zylindern erfolgreich ersetzt werden. Einschränkungen gibt es im Fall von ▶ **Femurkopfnekrosen**, deren Behandlung mit der Knorpel-Knochen-Transplantation keine befriedigenden Ergebnisse erbrachte.

Stadium, Lokalisation, Defektgröße und daraus resultierende Therapie

Wie bereits einführend erwähnt ist ein stabiles und achsgerecht geführtes Gelenk die Grundlage einer erfolgreichen operativen Knorpeltherapie. Somit ist eine genaue klinische und bildgebende Evaluation und ggf. eine entsprechende Bandstabilisierung oder Achskorrektur notwendig. Dies kann, wenn nötig, zweizeitig vor, oder zusammen mit dem Eingriff am Gelenkknorpel einzeitig erfolgen.

Debridement

Im Falle von Läsionen Grad II, III, V und im Randbereich von Grad VI nach Bauer und Jackson, sowie bei Grad-II-ICRS-Schäden sollte arthroskopisch debridiert werden, um damit einen stabilen Rand zu schaffen. So kann bei kleinen Defekten eine Vergrößerung verlangsamt und damit eine weiter gehende Therapie hinausgezögert werden. Bei größeren Arealen ist andererseits eine eindeutige Klassifikation mit Einbeziehung von Tiefe und Größe erst nach dem Entfernen instabiler Knorpelanteile möglich. Das Debridement ist in erster Linie zur Vorbereitung des Defektes auf eine weitergehende Versorgung sinnvoll.

Nachbehandlung

Eine Ent- bzw. Teilbelastung des Gelenkes ist je nach Ausdehnung und Lokalisation des Debridements für 1 bis 2 Wochen zu empfehlen. Unmittelbar postoperativ sollte das Bewegungsausmaß freigegeben werden und ggf. mit einer ► **Motorbewegungsschiene** (CPM) geübt werden.

Mikrofrakturierung

Die Mikrofrakturierung als das derzeit in Deutschland am häufigsten angewandte Verfahren zur Behandlung von Knorpelschäden ist die Therapie der Wahl bei kleineren, etwa 1 bis 3 cm² messenden Grad-II-, -III- und -IV-Defekten nach Bauer und Jackson sowie Grad-III-ICRS-Defekten, insbesondere wenn die Läsion scharf begrenzt ist und sich im Umfeld intakter Knorpel befindet.

Nachbehandlung

Bei freier Beweglichkeit des Gelenks sollte eine Entlastung für 6 Wochen eingehalten werden. Eine Nachbehandlung mit einer Motorbewegungsschiene (CPM) ist sinnvoll.

Antero-/retrograde Anbohrung bei OCL

Bei osteochondralen Läsionen ist eine Anbohrung in frühen Stadien in einigen Fällen indiziert. Bei den Stadien II A und B nach Imhoff, sowie Grad II ICRS OCD, kann durch eine retrograde Anbohrung die Demarkierung eines Herdes durchbrochen werden und dadurch über eine Entlastung und ► **Kapillareinsprossung** der Prozess im Idealfall aufgehalten werden. Wenn die Demarkierung schon weiter fortgeschritten ist (Stadium III A nach Imhoff, Grad III ICRS OCD), hat das noch vitale und nicht dislozierte Dissekat über eine antero-grade Anbohrung des Läsionsbetts eine Chance, wieder einzuheilen.

Nachbehandlung

Bei freier Beweglichkeit des Gelenks sollte eine Entlastung für 6 Wochen eingehalten werden. Eine Nachbehandlung mit einer Motorbewegungsschiene (CPM) ist sinnvoll.

Knorpel-Knochen-Transplantation (OATS)

Knorpelschäden Grad III, IV ICRS und chondrale Schäden Grad II, II und IV nach Bauer und Jackson, Herde einer osteochondralen Läsion Grad III und IV nach Imhoff und ICRS OCD, insbesondere mit avitalem Fragment, sowie fokale begrenzte Osteonekrosen sind zur Versorgung mit einem osteochondralen Transfer, besonders an der Talus- und der Femurkondylen sowie in der Belastungszone der Patella, gut geeignet. Aufgrund der begrenzten Möglichkeit, Spenderzylinder zu entnehmen, sollte die Größe der zu deckenden Läsion etwa 2,0×2,0 cm nicht überschreiten. Ist ein osteochondraler Schaden größer, so können Defekte bis zu einer maximalen Fläche von gut 9 cm² mit der Mega-OATS-Technik versorgt werden.

Nachbehandlung

Bei freier Beweglichkeit des Gelenkes sollte eine Entlastung für 6 Wochen eingehalten werden. Eine Nachbehandlung mit einer Motorbewegungsschiene (CPM) ist sinnvoll.

Das Debridement ist in erster Linie zur Vorbereitung des Defektes auf eine weitergehende Versorgung sinnvoll

► Motorbewegungsschiene

Die Mikrofrakturierung ist das derzeit in Deutschland am häufigsten angewandte Verfahren

► Kapillareinsprossung

Aufgrund der begrenzten Möglichkeit, Spenderzylinder zu entnehmen, sollte die Größe der zu deckenden Läsion etwa 2,0×2,0 cm nicht überschreiten

Tab. 1 Therapie entsprechend der ICRS-Einteilung von Knorpelschäden						
Schaden ICRS	Konservativ	Debridement	Mikrofrakturierung	OATS	Mega-OATS	MACI/ACT
I	+	-	-	-	-	-
II	+	(+)	-	-	-	-
III	-	(+)	+++	++	++	+++
IV	-	(+)	-	+++	+++	++ (+ Spongiosa)

Tab. 2 Differenzierung der Wahl des Verfahrens nach Entscheidung zur Operativen Therapie bei Knorpelschäden				
	Mikrofrakturierung	OATS	Mega-OATS	MACI/ACT
Läsionsgröße				
<1 cm ²	+++	+++	-	-
1–3 cm ²	++	+++	-	++
>3 cm ²	+	+	+++	+++
Begleitschäden				
Randst. Knorpel beschädigt	++	+	+	-
Korrespond. Knorpelschaden	+	+	+	(+)
Arthrose	-	-	-	-
Alter				
<50	+++	+++	+++	+++
>50	+	+	-	-
Kosten	+++	++	++	-

Tab. 3 Stadiengerechte Therapieempfehlungen bei osteochondralen Schäden		
ICRS OCD	Imhoff	Therapie
I	I A	Entlastung, MRT-Verlaufskontrolle
	I B	Entlastung, bei Persistenz arthrosk. Knorpelglättung
II	II A	Retrograde Anbohrung
	II B	Retrograde Anbohrung, bei großem Defekt retrograde Spongiosaplastik
III	III A	Anterograde Anbohrung/Spongiosaplastik und Dissekatrefixierung
	III B	Knorpelglättung; Knochen-Knorpel-Transplantation
IV	IV A	1. Dissekatrefixierung nach Anbohrung oder Spongiosaplastik 2. Knochen-Knorpel-Transplantation
	IV B	Dissekatentfernung; Knochen-Knorpel-Transplantation
	V A	Entlastung, bei Persistenz retrograde Anbohrung
	V B	Retrograde Anbohrung, bei großer Zyste retrograde Spongiosaplastik

ACT/MACT

Die autologe Chondrozytentransplantation ist insbesondere bei intaktem subchondralen Knochen als Methode zur Knorpelregeneration geeignet. Dies betrifft insbesondere die Stadien II bis IV (Bauer und Jackson) und die Stadien III B bis D nach ICRS-Klassifikation. Dabei sind nach Studienlage die Ergebnisse an den Femurkondylen besonders gut. Die Anwendung dieses Verfahrens an anderen Gelenken ist beschrieben, hat sich bisher aber nicht in der breiten Anwendung durchgesetzt. Bezüglich der Größe des Defektes eignen sich besonders umschriebene Defekte einer Größe von 2 bis 9 cm², die nicht mehr sinnvoll durch eine Mikrofrakturierung oder Knorpel-Knochen-Transplantation zu decken sind. Die Abgrenzung zum Mega-OATS-Verfahren, das ähnlich große Knorpeldefekte decken kann, ist der Zustand des subchondralen Knochens. Dabei ist zu berücksichtigen, dass besonders bei der Anwendung am Knie ein stabiles Gelenk und eine gerade Beinachse vorliegen müssen, da es sonst zu erhöhten Belastungen im Defektbereich kommen kann, die einerseits die initiale Reparatur behindern und andererseits eine beschleunigte Degeneration des Ersatzgewebes herbeiführen können.

Die Ergebnisse der autologen Chondrozytentransplantation sind an den Femurkondylen besonders gut

Nachbehandlung

Bei freier Beweglichkeit des Gelenks sollte eine Entlastung für 6 Wochen eingehalten werden. Eine Nachbehandlung mit einer Motorbewegungsschiene (CPM) ist sinnvoll.

Übersicht zur Erleichterung der Therapieentscheidung

Knorpelschaden

Das folgende tabellarische Schema (■ **Tab. 1**) kann bei der Entscheidung zur Wahl des operativen Verfahrens eine Hilfestellung geben. Aus nahe liegenden Gründen ist die Entscheidung gerade in Grenzfällen unbedingt individuell zu treffen.

Zur genaueren Differenzierung der Methode unter Einbeziehung der Läsionsgröße, der Begleitschäden und des Alters des Patienten kann ■ **Tab. 2** herangezogen werden. In die Überlegungen dürfen zu Recht auch Kostenfaktoren mit einbezogen werden.

Die Therapieentscheidung muss gerade in Grenzfällen unbedingt individuell getroffen werden

Osteochondrale Läsion

Entsprechend der von Imhoff 2003 publizierten Stadieneinteilung der osteochondralen Läsionen lässt sich folgendes Therapieschema vorschlagen. Zur Übersicht wurden die in etwa in Bezug auf die Osteochondrosis dissecans korrelierenden ICRS-OCD-Stadien mit angeführt (■ **Tab. 3**).

Korrespondenzadresse

Dr. S. Vogt

Klinik und Poliklinik für Orthopädie und Sportorthopädie am Klinikum rechts der Isar, TU München, Ismaninger Str. 22, 81675 München
stephan-vogt@web.de

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

Literatur

1. Curl WW, Krome J, Gordon ES et al. (1997) Cartilage injuries: a review of 31,516 knee arthroscopies. *Arthroscopy* 13: 456–460
2. O'Driscoll SW (1998) The healing and regeneration of articular cartilage. *J Bone Joint Surg Am* 80: 1795–1812
3. Bauer M, Jackson RW (1988) Chondral lesions of the femoral condyles: a system of arthroscopic classification. *Arthroscopy* 4: 97–102
4. Brittberg M, Winalski CS (2003) Evaluation of cartilage injuries and repair. *J Bone Joint Surg Am* 85-A (Suppl 2): 58–69
5. Imhoff AB, Koenig U (2003) Arthroscopie – qualifizierte Stadieneinteilung der osteochondralen Läsion (OCL) am Knie. *Arthroscopie* 16: 23–28
6. Link TM, Stahl R, Woertler K (2007) Cartilage imaging: motivation, techniques, current and future significance. *Eur Radiol* 17: 1135–1146
7. Pridie K (1959) A method of resurfacing osteoarthritic knee joints. *J Bone Joint Surg Br* 41: 618–619
8. Steadman JR, Rodkey WG, Briggs KK et al. (1999) [The microfracture technique in the management of complete cartilage defects in the knee joint]. *Orthopäde* 28: 26–32
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. 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
11. Behrens P (2005) Matrix gekoppelte Mikrofrakturierung. Ein neues Konzept zur Knorpeldefektbehandlung. *Arthroscopie* 18: 193–197
12. Wagner H (1964) Surgical treatment of osteochondritis dissecans, a cause of arthritis deformans of the knee. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 50: 335–352
13. Hangody L, Kish G, Karpati Z et al. (1997) Arthroscopic autogenous osteochondral mosaicplasty for the treatment of femoral condylar articular defects. A preliminary report. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 5: 262–267
14. Imhoff AB, Ottl GM et al. (1999) Autologous osteochondral transplantation on various joints. *Orthopäde* 28: 33–44
15. Garretson RB 3rd, Katolik LI, Verma N et al. (2044) Contact pressure at osteochondral donor sites in the patellofemoral joint. *Am J Sports Med* 32: 967–974

CME-Fragebogen

Bitte beachten Sie:

- Antwortmöglichkeit nur online unter: **CME.springer.de**
- Die Frage-Antwort-Kombinationen werden online individuell zusammengestellt.
- Es ist immer nur eine Antwort möglich.

Der operativen Knorpeltherapie sind besonders Defekte mit der folgenden Ätiologie gut zugänglich:

- Generalisierte Knorpelschädigung nach Gelenksinfektion.
- Fokal begrenzter traumatischer Knorpelschaden.
- Ausgedehnte Arthrose eines Gelenkkompartimentes.
- Knorpelschädigung durch Chondrokalzinose.
- Posttraumatische Femoropatellararthrose.

Warum ist die ICRS-Klassifikation des Knorpelschadens besonders gut geeignet, um eine Therapieentscheidung zu treffen?

- Sie beruht auf einer MRT-Analyse.
- Es werden traumatische von degenerativen Schäden unterschieden.
- Die Tiefe des Defektes und die Schädigung der subchondralen Platte werden beschrieben.
- Es gibt 6 Stadien des Knorpelschadens.
- Eine arthroskopische Diagnostik ist nicht notwendig.

Welche Aussage zur Therapie der Osteochondritis dissecans (OCD) trifft nicht zu?

- Die Refixation eines avitalen Fragmentes nach Anbohrung ist erfolgversprechend.
- Eine konservative Therapie ist im Stadium I (Imhoff-Klassifikation) gerechtfertigt.

- Eine autologe Chondrozytentransplantation sollte mit einer Spongiosaplastik kombiniert werden.
- Sie ist insbesondere an der medialen Talusschulter einer Knorpel-Knochen-Transplantation gut zugänglich.
- Bei sehr großen Defekten am Femurkondylus kann eine Mega-OATS-Implantation durchgeführt werden.

Welche Aussage zur Bedeutung des MRT in der Diagnostik des Knorpelschadens ist richtig?

- Frühe Stadien eines Knorpelschadens können mittels MRT nicht dargestellt werden.
- Eine Differenzierung der ICRS-Stadien in den einzelnen Untergruppen ist sicher möglich.
- Das MRT stellt den Zustand des subchondralen Knochens gut dar.
- Eine MRT-Arthrographie liefert keine Zusatzinformation.
- Auf das MRT kann in der präoperativen Diagnostik verzichtet werden.

Welche Aussage zu den stammzellrekrutierenden Verfahren trifft zu?

- Es bildet sich nach 6 Wochen hyaliner Knorpel.
- Eine Vollbelastung ist direkt postoperativ erlaubt.
- Die ideale Indikation für diese Verfahren ist der Grad-IV-Knorpelschaden nach ICRS.
- Die Mikrofrakturierung ist bei umschriebenen Knorpelschäden weniger gut geeignet.

Hinweis für Leser aus Österreich

Gemäß dem Diplom-Fortbildungs-Programm (DFP) der Österreichischen Ärztekammer werden die auf CME.springer.de erworbenen CME-Punkte hierfür 1:1 als fachspezifische Fortbildung anerkannt.

- Die Mikrofrakturierung ist ein kostengünstiges Verfahren mit mittelfristig guten Ergebnissen.

Eine ideale Indikation für eine autologe Knorpel-Knochen-Transplantation ist:

- Die Osteochondrosis dissecans im Stadium IV (Imhoff).
- Ein generalisierter Knorpelschaden.
- Korrespondierende Defekte („kissing lesions“).
- Ein kleiner Knorpelschaden (<1 cm²) außerhalb der Belastungszone.
- Einsatz der Methode bei Femurkopfnekrose.

Welche der folgenden Aussagen zur autologen Knorpelzelltransplantation trifft zu?

- Es handelt sich um ein experimentelles Verfahren ohne größeren klinischen Einsatz.
- Die ACT ist der MACT überlegen.
- Periosthypertrophien bei der ACT kommen nicht vor.
- Der subchondrale Knochen sollte bei Anwendung dieser Verfahren intakt sein.
- Für das MACT-Verfahren wird überwiegend eine Kollagen-X-Matrix benutzt.

Das Therapieverfahren der ersten Wahl bei einem ICRS-Knorpelschaden Grad III mit einer Größe von 1 bis 3 cm² ist...

- Das Debridement.
- Das Mega-OATS Verfahren.
- Die konservative Therapie.
- Die ACT mit Spongiosaplastik.

- Die ACT ohne Spongiosaplastik.

Welche Aussage trifft nicht zu?

- Der Spenderzylinder beim Mega-OATS-Verfahren wird aus der Trochlea gewonnen.
- Zur Entnahme eines OATS-Zylinders bietet sich die mediale, laterale und zentrale Trochlea an.
- Die Knorpel-Knochen-Transplantation ist nicht auf das Knie beschränkt.
- Die Implantation des Knorpel-Knochen-Zylinders sollte orthograd erfolgen.
- Die Implantation des Knorpel-Knochen-Zylinders erfolgt in Press-fit-Technik.

Für die matrixgekoppelte Mikrofrakturierung trifft zu:

- Sie ist ein zweizeitiges Verfahren.
- Es werden autologe Chondrozyten transplantiert.
- Es werden allogene Chondrozyten transplantiert.
- Das Verfahren kombiniert die Rekrutierung von Stammzellen mit Implantation z. B. einer Kollagen-II-Membran.
- Sie ist der autologen Chondrozytentransplantation bei Langzeitergebnissen überlegen.