

J. Bernholt, J. Höher

Knorpelersatzgewebe durch Mikrofrakturierung

Cartilage repair using microfracture technique

Orthopädie und Sporttraumatologie in der Klinik am Ring, Köln

Zusammenfassung

Mit dem Begriff Mikrofrakturierung wird eine arthroskopische Operationstechnik zur Stimulation von Knorpelersatzgewebe bezeichnet, die auf einer Ausdifferenzierung von Knochenmarkstammzellen zu Chondrozyten und der nachfolgenden Bildung von Faserknorpel beruht. Die Technik ist bei 4. gradigen Knorpelschäden von begrenzter Größe indiziert. Die OP-Technik umfasst das sorgfältige Debridement des Defektes, die Schaffung stabiler Knorpelränder, die Abtragung der Sklerosezone am Defektgrund und die Perforation des subchondralen Knochens mit gebogenen Ahlen zur Stimulation der Knochenmarkzellen. Die postoperative Nachbehandlung mit konsequenter Entlastung für die Dauer von etwa 6 Wochen und passiven Bewegungsübungen ist Voraussetzung für den Erfolg der Behandlung. Klinische Studien zeigen gute Ergebnisse von bis zu 80% bezüglich Lysholm-Score und Schmerzskala, auch wenn histologisch nur ein geringer Anteil an Kollagentyp II im Regeneratknorpel entsteht. Vergleichsstudien mit konkurrierenden Verfahren kommen im Kurzzeitverlauf zu identischen Ergebnissen, Langzeitstudien stehen allerdings noch aus.

Schlüsselwörter: Knorpelschaden, Mikrofrakturierung, Arthrose, Arthroskopie

Theoretischer Hintergrund

Unter Mikrofrakturierung versteht man eine arthroskopische Operationstechnik zur Stimulation von Knorpelersatzgewebe. Die Technik beruht auf einer Ausdifferenzierung von Knochenmarkstammzellen zu Chondrozyten und der nachfolgenden Bildung von Faserknorpel (4).

Nach dem "Wolffschen Gesetz" können sich undifferenzierte Stammzellen aus dem Knochenmark (Fibroblasten) in Abhängigkeit von der mechanischen Beanspruchung zu Tenozyten (unter Zugbeanspruchung), Osteozyten (unter Druck) oder Chondrocyten (unter wechselnden Druck- und Zugkräften bzw. Scherkräften) ausdifferenzieren (3). Gelangen Fibroblasten mit einem Blutkoagel aus dem Knochenmark in einen Knorpeldefekt, so kann sich das Koagel unter günstigen mechanischen Bedingungen (Gelenkbewegungen ohne Belastung) zu Faserknorpel entwickeln und eine Defektauffüllung bewirken. Im angloamerikanischen Raum wurde der Begriff des "Superclot" eingeführt, mit dem das enorme Potential des Blutkoagels mit entwicklungsfähigen Zellen und reichlichen Cytokinen beschrieben wird (12). Das

Summary

Microfracturing is an arthroscopic technique to treat full thickness chondral defects. The technique is simple, inexpensive and includes debridement of the defect, assurance of good containment at the shoulder of the defect, removal of the sclerotic bone and perforation of the subchondral bone with picks. Subsequently, mesenchymal stem cells from the bone marrow fill out the defect and can differentiate to fibrous cartilage in response to a careful rehabilitation program. Histologically, the amount of type II collagen is limited and thus the regenerative cartilage may deteriorate over time. Clinical studies show significant pain reduction and improvement in Lysholm-Score values within 1 to 4 years postoperatively that are comparable to other techniques. Long term studies are still lacking to evaluate the long term success of this technique.

Key words: Arthroscopy, microfracture, full thickness chondral defect, osteoarthritis

Wirkprinzip der Mikrofrakturierung ist schematisch in Abbildung 1 dargestellt. Es ist zu betonen, dass der Regeneratknorpel nicht die Qualität des hyalinen Knorpels aufweist. Der Anteil an Kollagen Typ II liegt nach experimentellen Studien unter 50% (2, 4, 5).

Eine Anbohrung von Knorpeldefekten in einer offenen Operationstechnik wurde bereits von *Pridie und Beck* in den 50er Jahren beschrieben (9). Hierbei wird mit einem kleinen Bohrer (z.B. 2.0 oder 2,5 mm Durchmesser) der subchondrale Knochen angebohrt. Die Technik ist mit einigen Einschränkungen auch arthroskopisch anwendbar. Eine arthroskopische Technik führte *L. Johnson* mit der Abrasionsarthroplastik ein, bei der mit einem arthroskopischen Shaver das Knorpelgewebe bis zum subchondralen Knochen abgetragen wird (6). Die Mikrofrakturierung ist eine Modifikation der vorgenannten Techniken und wurde von *Steadman* 1985 eingeführt (13, 14). Hierbei wird der subchondrale Knochen mit einer Ahle auf etwa 4-5 mm perforiert. Ein zuvor durchgeführtes, präzises Knorpeldebridement und ein Abtragen der osteochondralen Grenzschicht sind weitere wichtige Bestandteile der Operationstechnik.

In diesem Artikel wird die Technik der Mikrofrakturierung beschrieben, da sie unter den knochenmarkstimulierenden Techniken das bevorzugte Verfahren der Autoren darstellt.

Indikation

Die Indikation für eine Mikrofrakturierung kann beim Vorliegen eines 4. gradigen Knorpelschadens von limitierter Ausdehnung gestellt werden. Die maximale Defektgröße, bei der das Verfahren sinnvoll ist, wird mit 8 cm² angegeben (12).

Weitere Voraussetzungen für eine erfolgreiche Anwendung des Verfahrens sind eine möglichst erhaltene Integrität des Meniskus, ein stabiles Gelenk und der Ausschluss einer

Tabelle 1: Indikation zur Mikrofrakturierung:

- 4. gradiger Knorpeldefekt
- Stabile "Defektschulter" (Knorpelränder)
- Belastungsschmerzen
- Bereitschaft zur Entlastung der betroffenen Extremität für 4-6 Wochen

höhergradigen Achsfehlstellung (12). Die Erfolgsrate ist abhängig von der Lokalisation des Knorpelschadens. Defekte an der Femurkondyle haben eine bessere Prognose als die im Bereich der Patellarückfläche oder trochlear, am schlechtesten sind die Ergebnisse an der tibialen Gelenkfläche (11). Die Indikationen und Kontraindikationen sind in Tabelle 1 und 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Kontraindikationen

- Achsfehlstellung über 5°,
- Defektgröße über 8 cm²
- instabiles Gelenk (Kreuzbandriss),
- Z. n. subtotaler Meniskektomie,
- Unfähigkeit einer mehrwöchigen Entlastung des Beins
- fehlende Compliance für die Rehapphase
- Patientenalter über 60 Jahre (relativ).

OP-Technik

Die einzelnen Schritte der Technik der Mikrofrakturierung sind in Tabelle 3 zusammengefasst.

Zunächst wird im Rahmen einer diagnostischen Arthroskopie eine Evaluation des Knorpelschadens vorgenommen. Die Lokalisation und Ausdehnung des Defektes müssen inspektorisch und durch Tasthakenuntersuchung bestimmt werden. Eine Beurteilung möglicher Begleitverletzungen der

Tabelle 3: OP-Schritte der Mikrofrakturierung

- Evaluation des Knorpelschadens und der Begleitverletzungen
- Debridement des Knorpeldefektes mit Schaffung stabiler Defektschultern und Abtragen der Sklerosezone
- Anlage mehrerer Perforationslöcher mit der Aale im Abstand von 3-4 mm
- Kontrolle der Defektfüllung durch subchondralen Blutaustritt nach Öffnen der Blutsperr

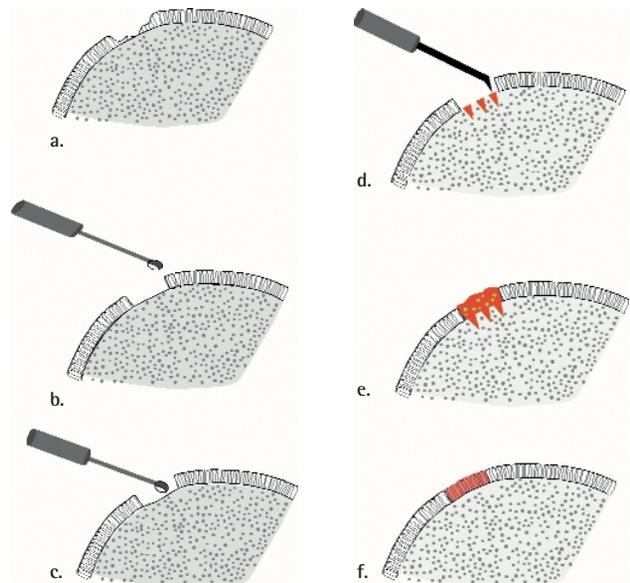


Abbildung 1 a-f: Schematische Darstellung der Mikrofrakturierung
a. 4. gradiger Knorpeldefekt
b. Debridement der Knorpelränder und Schaffung stabiler Schultern am Defektrand
c. Abtragen der Sklerosezone und Exposition des subchondralen Knochens
d. Multiple Perforation des subchondralen Knochens mit gebogenen Aalen
e. Auffüllen des Defektes mit einem "super clot" (=koagulierter Blutkuchen mit Cytokinen und Zellen aus dem Knochenmark)
f. allmähliche "Reifung" / Umbau des Gewebes zu Faserknorpel und Schließung des Defekts

Menisken und der Kreuzbänder ist obligat. Im Rahmen der Operation können Meniskusverletzungen versorgt bzw. ein Kreuzbandersatz durchgeführt werden.

Nach Überprüfen der Indikation wird zunächst ein sorgfältiges Debridement durchgeführt. Degeneratives Knorpelgewebe muss radikal und vollständig bis in die Randbereiche des Defektes entfernt werden. Entscheidend für den Erfolg der Technik ist die Schaffung einer stabilen Schulter am Defektrand (containment). Nur dadurch wird ein mechanisch geschützter Hohlraum geschaffen, in dem die Organisation eines Blutkoagels stattfinden kann. Zur Präparation dieses Bettes eignen sich am besten kleine offene Ringküretten oder ein scharfer Löffel (Abb. 2).

Hiermit können sowohl die Knorpelränder als auch der Defektgrund abgetragen werden. Im Bereich



Abbildung 2:
oben: Instrumentarium (Kürette/scharfer Löffel, Winkelahle, Hammer)
Mitte: scharfer Löffel (Nahansicht)
unten: Winkelahle (Nahansicht)

des Defektgrundes muss die osteochondrale Grenzschicht (Sklerosezone, entspricht der histologischen "tide mark") abgetragen und der subchondrale Knochen exponiert werden.

Für die eigentliche Mikrofrakturierung stehen gebogene Ahlen mit verschiedenen Winkelgraden zur Verfügung. Die meisten Ahlen haben eine Farbmarkierung, die die Penetration von ca. 5 mm anzeigt. Durch die verschieden gebogenen Ahlen können fast alle Knorpelflächen des Gelenks über die beiden Standard-Arthroskopieportale erreicht werden und gestatten eine annähernd orthograde Penetration des Knochens in allen Positionen (Abb. 2c)

Der subchondrale Knochen wird nun peripher beginnend mit einer Tiefe von 4-5 mm perforiert. Die Löcher sollten mindestens 3-4 mm auseinander liegen um einen Kollaps der Knochenbrücken zu verhindern (12). Die richtige Tiefe ist erreicht, wenn Fettagungen austreten (12). Die arthroskopischen OP-Schritte sind in der Abbildung 3 zusammengefasst.

Vorteile der Technik der Mikrofrakturierung sind, dass im Gegensatz zur Pridie-Bohrung die gebogenen Ahlen keine Hitzeekrose verursachen können und durch unterschiedliche Krümmungen fast alle Regionen über die Standardportale erreichbar sind (12). Im Gegensatz zur Abrasion wird der subchondrale Knochen weniger geschädigt. Die Technik ist vergleichsweise einfach und kostengünstig (11).

Nachbehandlung

Der Patient sollte das behandelte Knie für 6 Wochen entlasten, damit das Hämatom sich umbauen und ausdifferenzieren kann. Eine krankengymnastische Übungsbehandlung sollte bei freiem Bewegungsausmaß durchgeführt werden. Eine Nachbehandlung mit einer aktiven Bewegungsschiene oder passiven Motorschiene scheint Vorteile gegenüber einer konventionellen Krankengymnastik zu bieten und das klinische Ergebnis zu verbessern (10).

Ergebnisse

Kleine Defekte an der Femurkondyle haben die besten Ergebnisse nach Mikrofrakturierung. Gute klinische Ergebnisse bis zu einer Dauer von etwa 4 Jahren sind in über 80% der Fälle bei richtiger Indikation und Nachbehandlung zu erwarten (8, 11, 12). Auch bei Sportlern zeigt die Mikrofrakturierung gute Ergebnisse (1). Kontrovers wird der Langzeitverlauf nach Mikrofrakturierung in der Literatur beurteilt. Einige Autoren weisen auf die Degeneration des letztlich minderwertigen Knorpels im Verlauf mehrerer Jahre hin (2). Randomisierte Vergleichsstudien mit konkurrierenden Verfahren gibt es kaum. Eine randomisierte Studie (Norwegische Multicenterstudie, n=80) zum Vergleich Mikrofrakturierung vs. Chondrocytentransplantation zeigte nach einem Jahr tendenziell bessere Ergebnisse bei der Mikrofrakturierung. Beide Methoden führten zu einer signifikanten Verbesserung des Lysholm-Scores und eines Schmerzscore (visuelle Analog-Skala VAS). Die Reoperationsrate war bei der Mikrofrakturierung jedoch geringer (4 gegenüber 10 Fällen) (7). Für die Zukunft sind Langzeituntersuchungen erforderlich, die die Qualität des Ersatzknorpels im zeitlichen Verlauf beurteilen.

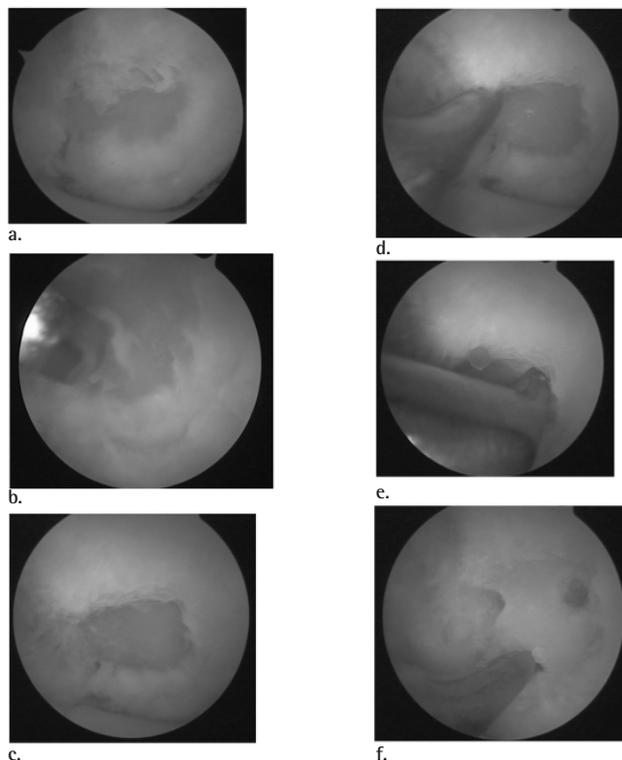


Abbildung 3 a-f: Op-Schritte im arthroskopischen Bild:
a. 4. gradiger Knorpeldefekt mediale Femurkondyle
b. Debridement mit der Kürette
c. Stabile Defektränder
d. Mikrofrakturierung mit Ahle
e. Austritt von Fettagungen
f. OP-Situs vor Öffnen der Blutsperrung

Komplikationen und Pitfalls

Allgemeinere OP-Komplikationen (z.B. Infektion, Nachblutung) sind nicht erhöht gegenüber einem arthroskopischen Eingriff mit Meniskusresektion. Insbesondere kommt es nach unserer Erfahrung zu keinen vermehrten punktionsbedürftigen intraartikulären Blutungen. Bei der Anlage der Löcher in den subchondralen Knochen ist auf einen ausreichenden Abstand zwischen den Löchern von etwa 3-4 mm zu achten. Kommt es beim Einschlagen der Ahle zu einem Abrutschen mit Verringerung des Abstandes zu einem anderen Loch, kann es zum Kollaps der Knochenbrücke mit Entstehung eines großen Knochendefekts kommen. Falls das Verfahren zu keinem Erfolg beim Patienten führt, ist zu berücksichtigen, dass eine autologe Chondrocytentransplantation erst nach dem Ablauf von 6 Monaten empfohlen wird, da sich der subchondrale Knochen mit einer Grenzlamelle erst über diesen Zeitraum neu bilden kann.

Zusammenfassend stellt die Mikrofrakturierung eine einfache und kostengünstige Methode zur Behandlung von viertgradigen Knorpelschäden von limitierter Größe dar. Weitere vergleichende Studien sind erforderlich, um die Effektivität und Ökonomie im Vergleich zu konkurrierenden Verfahren zu bestimmen.

Literatur

1. *Blevins FT, Steadman JR, Rodrigo JJ, Silliman J*: Treatment of articular cartilage defects in athletes: an analysis of functional outcome and lesion appearance. *Orthopaedics* 21 (1998) 761-767.
2. *Browne JE, Branch TP*: Surgical alternatives for treatment of articular cartilage lesions. *J Am Acad Orthop Surg* 8 (2000) 180-189.
3. *Buckwalter J, Mankin HJ*: Articular cartilage: part II. Degeneration and osteoarthritis, repair, regeneration and transplantation. *J Bone Joint Surg Am* 79 (1997) 612-632.
4. *Frisbie DD, Trotter GW, Powers BE, Rodkey WG, Steadman JR, Howard RD, Park RD, Mellraith*: Arthroscopic subchondral bone plate microfracture technique augments healing of large chondral defects in the radial carpal bone and medial femoral condyle of horses. *Vet Surg* 28 (1999) 242-255.
5. *Gillogly SD, Voight M, Blackburn T*: Treatment of articular cartilage defects of the knee with autologous chondrocyte implantation. *J Orthop Sports Phys Ther* 28 (1998) 241-251.
6. *Johnson LL*: The sclerotic lesion: pathology and the clinical response to arthroscopic abrasion arthroplasty, in *Articular cartilage and knee joint function : basic science and arthroscopy*, J.W. Ewing, Editor. 1990, Raven Press: New York. p. 319-333.
7. *Knutson G, Engebretsen L, Ludvigsen TC, Drogset JO, Grontvedt T, Solheim E, Strand T, Isaksen V, Johansen O*: Autologous chondrocyte implantation versus microfracture - a prospective randomised Norwegian multicenter-trial. *Norwegian Sports Medicine Convention*. 2001. Oslo.
8. *Pässler HH*: Mikrofrakturierung zur Behandlung von Knorpelschäden. *Zentralb Chir* 125 (2000) 500-504.
9. *Pridie KH*: A method of resurfacing osteoarthritic knee joints. *J Bone Joint Surg Br* 41 (1959) 618-619.
10. *Rodrigo JJ, Steadman JR, Silliman J, Fulstone HA*: Improvement of full-thickness Chondral defect healing in the human knee after debridement and microfracture using continuous passive motion. *Am J Knee Surg* 7 (1994) 109-116.
11. *Sledge SL*: Microfracture technique in the treatment of osteochondral injuries. *Clin Sports Med* 20 (2001) 365-377.
12. *Steadman JR, Rodkey WG, Briggs KK*: Microfracture to treat full-thickness chondral defects: surgical technique, rehabilitation and outcomes. *J Knee Surg* 15 (2002) 170-176.
13. *Steadman JR, Rodkey WG, Briggs KK, Rodrigo JJ*: Die Technik der Mikrofrakturierung zur Behandlung von kompletten Knorpeldefekten im Kniegelenk. *Orthopaede* 28 (1999) 26-32.
14. *Steadman JR, Rodkey WG, Singleton SB, Briggs KK*: Microfracture technique for full-thickness chondral defects: Technique and clinical results. *Oper Tech Orthop* 7 (1997) 300-304.

Korrespondenzadresse:

PD Dr. med. J. Höher
Leitender Arzt der Belegabteilung
Orthopädie und Sporttraumatologie
Klinik am Ring, Köln
Hohenstaufenring 28, 50674 Köln
Fax: 0221-92424-270
E-mail: dr.hoehler@klinik-am-ring.de