



Revision nach Knorpelchirurgie

Trotz signifikanter Weiterentwicklungen der Behandlung von Knorpelschäden scheitern einige Eingriffe daran, langfristig stabile Ergebnisse zu liefern, was die Notwendigkeit von Revisionsoperationen hervorhebt.

Die Herausforderung einer Revisionsoperation erfordert ein tiefgehendes Verständnis der pathophysiologischen Mechanismen, patientenspezifischen Risikofaktoren und biomechanischen Aspekte.

Daten aus dem deutschen Knorpelregister

Eine detaillierte Analyse von 2659 Datensätzen aus dem deutschen Knorpelregister (KnorpelRegister DGOU) liefert essenzielle Einsichten in die Ergebnisse nach knorpelchirurgischen Eingriffen. Innerhalb von 12 Monaten nach der initialen Operation benötigten 88 Patienten (3,3%) eine Revision. Die häufigsten Ursachen für Revisionseingriffe waren Arthrofibrose (n=27) und postoperative Infektionen (n=10). Auffällig war, dass Frauen signifikant höhere Komplikationsraten zeigten (4,5%) als Männer (2,6%; $p=0,0071$), was auf geschlechtsspezifische Unterschiede in der Knorpelheilung und Immunantwort hinweisen könnte.

Die meisten Knorpelschäden lokalisierten sich am medialen Femurcondylus (40,2%), mit einer durchschnittlichen Defektgröße von $3,5 \pm 2,1 \text{ cm}^2$. Weder die Defektgröße noch die Lokalisation wiesen jedoch einen signifikanten Zusammenhang mit dem Revisionsrisiko auf. Im Gegensatz dazu zeigten Chi-Quadrat-Analysen eine signifikante Korrelation zwischen der Anzahl vorheriger Gelenkoperationen und der Notwendigkeit einer Revision ($p=0,0203$). Dies unterstreicht die Bedeutung der intraoperativen Traumatisierung und der kumulativen Belastung des Gelenks.

Revisionsraten nach chirurgischen Verfahren:

- Osteochondrale Transplantationen: 5,2%
- Autologe Chondrozytenimplantation (ACI): 4,6%
- Mikrofrakturierung: 3,0%

Interessanterweise hatten Begleiteingriffe wie Achskorrekturen oder ligamentäre Rekonstruktionen keinen signifikanten

Einfluss auf die Revisionsrate. Patienten mit vorangegangenen Knieoperationen wiesen jedoch ein deutlich erhöhtes Risiko auf ($p=0,0373$).

Diagnostik bei Revisionsfällen

Die Diagnostik bei Revisionsfällen erfordert einen multidisziplinären Ansatz, der klinische, bildgebende und invasive Methoden kombiniert. Zunächst erfolgt eine detaillierte klinische Untersuchung, um die Schmerzursache, Beweglichkeit und Gelenkstabilität zu beurteilen. Spezifische Tests können verwendet werden, um Begleitverletzungen wie Meniskus- oder Bandläsionen auszuschließen.

Bildgebende Verfahren

- Röntgen: dient der Beurteilung von Gelenkspaltverschmälerung, Osteophytenbildung und Achsfehlstellungen
- MRT: ist der Goldstandard zur Beurteilung des Knorpelstatus, der subchondralen Platte sowie entzündlicher Prozesse. Fortschrittliche Sequenzen wie T2-Mapping und dGEMRIC ermöglichen eine quantitative Analyse des Knorpelgewebes.
- CT: liefert hochauflösende Bilder bei komplexen Deformitäten und eignet

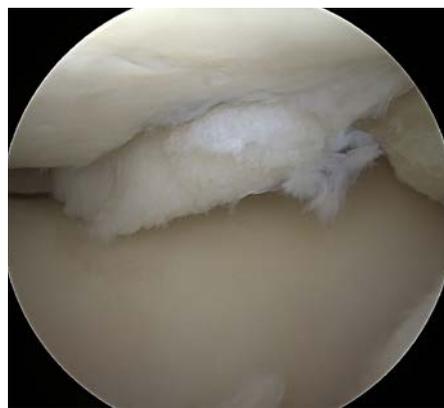


Abb. 2: Das arthroskopische Korrelat des MRT-Bildes zeigt ein instabiles Knorpelregenerat mit fehlender Integration und beginnender Delamination

sich zur Planung von osteochondralen Eingriffen

In unklaren Fällen kann eine diagnostische Arthroskopie erforderlich sein, um den Knorpelstatus direkt zu beurteilen. Dabei können auch Gewebeproben zur mikrobiologischen oder histopathologischen Analyse entnommen werden, insbesondere bei Verdacht auf Infektionen oder seltene inflammatorische Erkrankungen.

Patientenspezifische Faktoren

Patientenspezifische Faktoren spielen eine wesentliche Rolle bei der Erfolgswahrscheinlichkeit von knorpelchirurgischen Eingriffen und der Notwendigkeit von Revisionen. Zu den wichtigsten Faktoren gehören:

- Alter: Jüngere Patienten weisen in der Regel eine bessere regenerative Kapazität auf, während ältere Patienten häufig von degenerativen Begleiterkrankungen betroffen sind.
- Geschlecht: Frauen haben aufgrund hormoneller Unterschiede und einer höheren Prädisposition für Osteoporose ein erhöhtes Risiko für Komplikationen.
- Körpergewicht: Übergewicht belastet die Gelenke mechanisch und begünstigt Entzündungsprozesse, was die Heilung negativ beeinflussen kann.

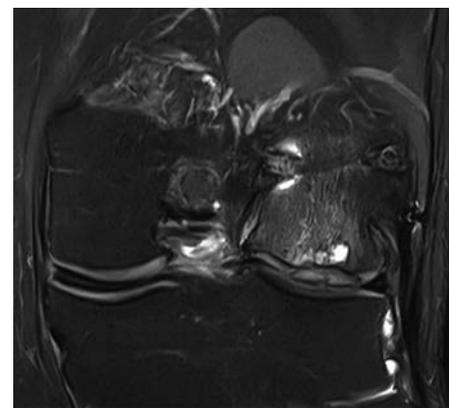


Abb. 1: Hypertrophie des Knorpelregeneratgewebes am lateralen Femurcondylus nach MACT (matrixgekoppelte autologe Knorpeltransplantation) mit subchondraler Zystenbildung

- Begleiterkrankungen: Systemische Erkrankungen wie Diabetes mellitus oder rheumatoide Arthritis können die Heilungsfähigkeit beeinträchtigen.
- Rauchen: Nikotin vermindert die Durchblutung und die Zellregeneration, was die Heilung von Knorpeldefekten erheblich behindern kann.
- Aktivitätsniveau: Patienten mit einem hohen sportlichen oder beruflichen Belastungsniveau haben ein erhöhtes Risiko für mechanischen Verschleiß und Komplikationen.
- Verlauf vorangegangener Operationen: Mehrfache Eingriffe erhöhen das Risiko von Gewebeschäden, Narbenbildung und chronischen Entzündungen.

Eine individualisierte Therapieplanung, die diese Faktoren berücksichtigt, ist entscheidend, um die langfristigen Ergebnisse zu verbessern.

Therapeutische Optionen

Die Therapieauswahl bei Revisionsfällen erfordert eine individualisierte Herangehensweise unter Berücksichtigung des biologischen und mechanischen Milieus.

Konservative Therapieansätze bilden oft den ersten Behandlungsansatz

- Physiotherapie: Ziele sind die Wiederherstellung der Gelenkstabilität, die Reduktion von Schmerzen und die Verbesserung der Funktion. Neuere Ansätze wie sensorisches Feedback-Training und neuromuskuläre Elektrostimulation zeigen vielversprechende Ergebnisse.
- Injektionstherapien: Hyaluronsäure und Platelet-Rich Plasma (PRP) sind etablierte Optionen. Aktuelle Studien untersuchen die Wirksamkeit von Nanopartikeln und biologischen Wachstumsfaktoren, die auf molekularer Ebene regenerative Prozesse stimulieren.
- Medikamentöse Ansätze: NSAR und selektive COX-2-Inhibitoren können in Kombination mit physikalischen Therapien wie Ultraschall oder Magnetfeldtherapie eingesetzt werden.

Diagnostische Methode	Zweck	Besonderheiten
Klinische Untersuchung	Beurteilung von Schmerz, Beweglichkeit und Stabilität	einfache, nichtinvasive Erstdiagnostik
Röntgen	Erkennung von Gelenkspaltverschmälerung, Osteophytenbildung und Achsfehlstellungen	Standardbildgebung zur Beurteilung knöcherner Strukturen
MRT	detaillierte Analyse des Knorpelstatus, der subchondralen Platte und von entzündlichen Prozessen	Goldstandard für die Beurteilung von Weichgewebe; fortschrittliche Techniken wie T2-Mapping verfügbar
CT	hochauflösende Bilder bei komplexen Deformitäten und Planung von osteochondralen Eingriffen	ergänzende Diagnostik bei komplexen Fällen, präzise Visualisierung der Gelenkarchitektur
Diagnostische Arthroskopie	direkte Beurteilung des Knorpels, Entnahme von Gewebeproben zur mikrobiologischen und histopathologischen Analyse	invasiv; ermöglicht direkte Sicht und Gewebeanalysen bei Verdacht auf Infektionen oder Entzündungen

Tab. 1: Diagnostische Methoden bei der Revision nach Knorpelchirurgie

Operative Therapien kommen bei fortgeschrittenen Schäden zum Einsatz

- Debridement und Lavage: Entfernen degenerativer Gewebe zur mechanischen Entlastung
- Knorpelrekonstruktion: Mikrofrakturierung und matrixinduzierte Techniken (AMIC) sind für kleinere bis mittelgroße Defekte geeignet. Autologe Chondrozytenimplantation (ACI) hat sich als Standard bei großen Defekten etabliert. Fortschritte in der Matrixunterstützung und Zellkulturtechnologie haben die Ergebnisse erheblich verbessert.
- Knorpeltransplantation: Osteochondraler Transfer (OATS) und allogene Transplantate können bei tiefen osteochondralen Defekten eingesetzt werden.
- Stammzelltherapie: Die intraartikuläre Anwendung mesenchymaler Stammzellen zeigt in aktuellen Studien vielversprechende regenerative Effekte, insbesondere bei kombinierten Knorpel- und Knochenläsionen.
- Endoprothetik: Bei ausgeprägter Arthrose bleibt der Gelenkersatz eine be-

währte Option, insbesondere bei Versagen rekonstruktiver Verfahren.

Ein strukturierter Rehabilitationsplan ist entscheidend, um die Integration des Knorpeltransplantats zu sichern und die Funktion wiederherzustellen. Fortschritte in der personalisierten Physiotherapie, darunter KI-gestützte Bewegungsanalyse und robotergestützte Trainingstools, könnten zukünftig die Ergebnisse weiter verbessern.

Zukunftsperspektiven und Fazit

Die Knorpelchirurgie entwickelt sich durch den Einsatz innovativer Technologien rasant weiter. Neue Biomaterialien wie bioprintbare Hydrogele und synthetische Gerüste könnten zukünftig die Knorpelregeneration revolutionieren. Personalisiertes Tissue Engineering in Kombination mit genetischer Modifikation könnte die Behandlungsoptionen erheblich erweitern. Darüber hinaus hat die Integration von KI-gestützter Diagnostik und Therapieplanung das Potenzial, die Erfolgsraten zu steigern und gleichzeitig die Patienten-

selektion zu optimieren.

Revisionsoperationen nach knorpelregenerativen Eingriffen sind selten, jedoch entscheidend, um langfristig die Funktion des Gelenks zu erhalten. Eine multidisziplinäre Diagnostik, individualisierte Therapien und fortschrittliche Rehabilitationsansätze bilden die Grundlage für den Behandlungserfolg. Die kontinuierliche Forschung und Implementierung neuer Technologien wird die Möglichkeiten der Knorpelchirurgie weiter erweitern und die Lebensqualität der Patienten nachhaltig verbessern. ■

Autor: Univ.-Prof. Dr. **Stefan Marlovits**
Zentrum für Knorpelregeneration,
Orthobiologie und Gelenkserhalt, Wien
E-Mail: ordination@marlovits.at
www.knorpel.at
www.marlovits.at

■04