

Jürgen Fritz, Dirk Albrecht,  
Philipp Niemeyer (Hrsg.)

# Knorpeltherapie



Praxisleitfaden der AG  
Klinische Geweberegeneration der DGOU

**DE GRUYTER**

# Inhalt

**Vorwort der Herausgeber — V**

**Geleitworte — VII**

**Autorenverzeichnis — XIX**

**1 Anatomie und Biomechanik des Gelenkknorpels — 1**

Lars Goebel, Henning Madry

**1.1 Anatomie des Gelenkknorpels — 1**

**1.1.1 Konzept der osteochondralen Einheit — 1**

**1.1.2 Hyaliner Knorpel — 2**

**1.1.3 Subchondraler Knochen — 7**

**1.1.4 Knorpelhomöostase — 8**

Bernd Rolauffs

**1.2 Biochemie des Gelenkknorpels — 9**

**1.2.1 Biochemische Struktur — 9**

**1.2.2 Biochemische Komposition der extrazellulären Matrix (ECM) — 10**

**1.2.3 Biochemisch-hydrodynamisches Dämpfungssystem  
der extrazellulären Matrix — 10**

**1.2.4 An der Instandhaltung und Degradation des Knorpelgewebes  
beteiligte Signalwege — 11**

Gunter Spahn

**1.3 Biomechanik des Gelenkknorpels — 13**

**2 Risiko und Spontanverlauf von Gelenkknorpelschäden — 19**

Gunter Spahn, Gunther O. Hofmann

**2.1 Definition von Knorpelschäden und Arthrose — 19**

**2.2 Prävalenz von Knorpelschäden des Kniegelenks  
in Sektionsstudien — 22**

**2.3 Prävalenz von Knorpelschäden des Kniegelenks in MRT-Studien — 23**

**2.4 Prävalenz von Knorpelschäden des Kniegelenks  
in Arthroskopiestudien — 26**

**2.5 Verlauf bei Knorpelschäden des Kniegelenks — 28**

**2.6 Traumatischer Knorpelschaden des Kniegelenks — 29**

**2.7 Zusammenfassung — 30**

3 Diagnostik von Gelenkknorpelschäden — 33

Christoph Becher

- 3.1 Klinische Diagnostik — 33
- 3.1.1 Anamnese — 33
- 3.1.2 Klinische Untersuchung — 34

Jakob Fay

- 3.2 Konventionelle Röntgendiagnostik — 37
- 3.2.1 Allgemeines — 37
- 3.2.2 Kniegelenk — 38
- 3.2.3 Andere Gelenke — 41

Götz H. Welsch, Stefan Marlovits

- 3.3 Diagnostik mithilfe Magnetresonanztomographie — 43
- 3.3.1 Zusammenfassung — 43
- 3.3.2 Einleitung — 44
- 3.3.3 Morphologische Magnetresonanztomographie — 45
- 3.3.4 Biochemische Magnetresonanztomographie — 53

4 Klassifikation von Gelenkknorpelschäden — 61

Thomas Tischer

- 4.1 Einleitung — 61
- 4.2 Klassifikationen von Knorpelschäden — 62
- 4.2.1 Outerbridge-Klassifikation — 62
- 4.2.2 Klassifikation nach Bauer und Jackson — 63
- 4.2.3 Noyes-Klassifikation — 63
- 4.2.4 ICRS-Klassifikation — 63
- 4.3 Klassifikation von osteochondralen Schäden — 66
- 4.3.1 Klassifikation nach Berndt und Harty — 66
- 4.3.2 Bruns-Modifikation der Berndt-und-Harty-Klassifikation — 67
- 4.3.3 ICRS-Klassifikation osteochondraler Läsionen — 68
- 4.4 Besonderheiten anderer Gelenke — 68
- 4.5 Klassifikation von Knorpelregeneratgewebe — 68
- 4.6 Ausblick — 69

5 Technik etablierter Verfahren bei chondralen Defekten — 71

Peter Kreuz

- 5.1 Knochenmarkstimulierende Verfahren — 71
- 5.1.1 Einleitung — 71
- 5.1.2 Verschiedene Techniken der Knochenmarkstimulation — 71
- 5.1.3 Indikationen zur Knochenmarkstimulation — 75

Philipp Niemeyer, Dirk Albrecht, Jürgen Fritz

- 5.2 Autologe Chondrozytentransplantation — 78
- 5.2.1 Hintergrund und Historie — 78

- 5.2.2 Indikationen zur autologen Knorpelzelltransplantation — 79
- 5.2.3 Regulation autologer Knorpelzellprodukte — 80
- 5.2.4 Operationstechnik und Zellprodukte — 81

## 6 Zellfreie Verfahren — 90

Christoph Erggelet

- 6.1 Prinzip — 90
- 6.2 Die wesentlichen Bestandteile des „tissue engineering“ — 91
  - 6.2.1 Zellen — 91
  - 6.2.2 Matrix — 91
- 6.3 Fixation — 92
  - 6.3.1 Adhäsion — 93
  - 6.3.2 Fibrinklebung — 93
  - 6.3.3 Naht — 93
  - 6.3.4 Ossäre Fixation — 93
- 6.4 Chondrale Defekte — 94
- 6.5 Osteochondrale Defekte — 97

## 7 Therapie bei tiefen osteochondralen Läsionen — 101

Peter U. Brucker

- 7.1 Osteochondrale Transferverfahren — 101
  - 7.1.1 Osteochondrale autologe Zylindertransplantation — 104
  - 7.1.2 Mosaikplastik — 106
  - 7.1.3 Mega-Osteochondrales-autologes-Transplantationssystem (Mega-OATS) — 107
  - 7.1.4 Osteochondrale Allografts — 109
  - 7.1.5 Zusammenfassung — 112

Johannes Zellner, Peter Angele

- 7.2 Autologe Chondrozytentransplantation in Sandwichtechnik — 113
  - 7.2.1 Definition — 113
  - 7.2.2 Indikationen — 113
  - 7.2.3 Techniken — 114

## 8 Knorpelschäden im Patellofemoralgelenk — 121

Matthias F. Pietschmann, Thomas R. Niethammer, Peter E. Müller

- 8.1 Anatomie und Funktion — 121
- 8.2 Epidemiologie — 121
  - 8.2.1 Patellofemorales Schmerzsyndrom — 121
  - 8.2.2 Knorpelschäden des Patellofemoralgelenks — 122
  - 8.2.3 Patellaluxation – Patellainstabilität — 122
- 8.3 Klinische Symptome — 123
- 8.4 Entstehung — 124

- 8.4.1 Patellaerstluxation — **124**
- 8.4.2 Chronische Instabilität — **124**
- 8.4.3 Osteochondrosis dissecans — **126**
- 8.4.4 Hyperkompression — **126**
- 8.5 Therapie — **128**
- 8.5.1 Refixation von osteochondralen Fragmenten — **128**
- 8.5.2 Knorpeltherapie — **128**
- 8.5.3 Begleiteingriffe — **132**
- 8.6 Nachbehandlung — **135**
- 8.7 Ergebnisse — **136**
  
- 9 *Ergebnisse einzelner Verfahren und Differentialindikation* — 142
- Peter Kreuz
- 9.1 Einleitung — **142**
- 9.2 Evidenz und Differenzialindikation von knochenmarkstimulierenden Techniken — **142**
- 9.3 Evidenz und Differenzialindikation der osteochondralen Transplantation — **144**
- 9.4 Evidenz und Differenzialindikation der autologen Knorpelzelltransplantation — **145**
  
- 10 *Nachbehandlung knorpelrekonstruktiver Verfahren (Stellenwert der Physiotherapie)* — 150
- Barbara Wondrasch
- 10.1 Einleitung — **150**
- 10.2 Ziele der Rehabilitation — **151**
- 10.3 Der Rehabilitationsprozess — **151**
- 10.3.1 Heilungsphasen von Knorpelgewebe — **152**
- 10.3.2 Biomechanik — **153**
- 10.3.3 Weitere Faktoren, die den Rehabilitationsprozess beeinflussen — **155**
- 10.4 Phasen und Inhalte der Rehabilitation — **155**
- 10.4.1 Phase 1 – Schutzphase — **156**
- 10.4.2 Phase 2 – Progressive Belastungs- und funktionelle Wiederherstellungsphase — **161**
- 10.4.3 Phase 3 – Aktivitätsphase — **164**

## 11 Komplikationen und Revisionsstrategien nach knorpelregenerativen Eingriffen — 168

Philipp Niemeyer, Matthias Steinwachs, Henning Madry

- 11.1 Einleitung — **168**
- 11.2 Hintergrund — **168**
- 11.3 Chondrale Komplikationen — **169**
- 11.4 Osteochondrale Komplikationen — **172**
- 11.5 Subchondrale Komplikationen — **174**

## 12 Ursachen und Begleitmorbiditäten — 177

Florian Dirisamer, Christian Patsch

- 12.1 Meniskusläsionen — **177**
  - 12.1.1 Chondroprotektion durch Tibiaplateaubedeckung — **177**
  - 12.1.2 Wieviel Meniskusfunktion braucht der Knorpel? — **178**
  - 12.1.3 Meniskus-Repair — **179**
  - 12.1.4 Meniskusersatz/-implantate — **180**

Bernhard Schewe

- 12.2 Bandinsuffizienz — **184**
  - 12.2.1 Biomechanik — **184**
  - 12.2.2 Diagnostik — **186**
  - 12.2.3 Therapie — **191**

Matthias J. Feucht, Gerrit Bode

- 12.3 Achsfehler — **195**
  - 12.3.1 Die Rolle von Achsfehlern bei der Entstehung und Progression von Knorpelschäden — **196**
  - 12.3.2 Die Rolle von Achsfehler und deren Korrektur bei der Behandlung von Knorpelschäden — **197**
  - 12.3.3 Klinische Evidenz zur Kombination von Achskorrektur und Knorpeltherapie — **199**
  - 12.3.4 Praktisches Vorgehen — **202**
  - 12.3.5 Fallbeispiel — **204**

## 13 Biomaterialien für die autologe Knorpelzelltransplantation — 215

Johannes Zellner, Peter Angele

- 13.1 Biomaterialien für einen zweizeitigen Therapieansatz — **218**
  - 13.1.1 Trägersubstanzen natürlicher Herkunft — **218**
  - 13.1.2 Synthetische Trägersubstanzen — **224**
- 13.2 Biomaterialien für einen einzeitigen Therapieansatz — **225**
  - 13.2.1 Biomaterialkombinationen — **226**

14 Rechtliche Grundlagen zellbasierter Verfahren — 232

Jochen Hecky, Christoph Gaissmaier

- 14.1 Entnahmegenehmigung — **232**
  - 14.1.1 Einleitung — **232**
  - 14.1.2 Europäischer Rechtsrahmen für humane Gewebe und Zellen — **232**
  - 14.1.3 Der Arzneimittelbegriff nach Arzneimittelgesetz — **234**
  - 14.1.4 Erlaubnispflichtige Tätigkeiten nach Arzneimittelgesetz und Ausnahmeregelungen — **234**
  - 14.1.5 Voraussetzungen für die Erlaubniserteilung zur Gewinnung von menschlichem Gewebe und Pflichten nach Erteilung der Erlaubnis — **236**
- 14.2 Die gute fachliche Praxis — **238**

15 Knorpeltherapie in anderen Gelenken — 242

Jörn Kircher

- 15.1 Schultergelenk — **242**
  - 15.1.1 Anatomie, Pathophysiologie, Bedeutung — **242**
  - 15.1.2 Diagnostik — **242**
  - 15.1.3 Therapie – konservativ versus operativ — **244**
  - 15.1.4 Operative Techniken – technische Aspekte — **244**
  - 15.1.5 Nachbehandlung — **245**
  - 15.1.6 Ergebnisse – Komplikationen — **246**

Jörg Nowotny, Philip Kasten

- 15.2 Ellenbogengelenk — **248**
  - 15.2.1 Einleitung — **248**
  - 15.2.2 Ursache — **248**
  - 15.2.3 Klinische Symptome — **249**
  - 15.2.4 Bildgebung — **249**
  - 15.2.5 Behandlung — **251**

Stefan Fickert

- 15.3 Hüftgelenk — **255**
  - 15.3.1 Besonderheiten des Knorpels am Hüftgelenk — **255**
  - 15.3.2 Demographie und Pathogenese des Knorpeldefekts — **256**
  - 15.3.3 Klinik — **259**
  - 15.3.4 Knorpeltherapieverfahren und Ergebnisse — **260**
  - 15.3.5 Nachbehandlung und patientenzentrierte Bewertungssysteme — **264**
  - 15.3.6 Risiken und Komplikationen am Hüftgelenk — **265**

Matthias Aurich

- 15.4 Sprunggelenk — **266**
  - 15.4.1 Einleitung — **266**
  - 15.4.2 Definition — **267**
  - 15.4.3 Ätiologie — **267**

- 15.4.4 Klassifikationen — **268**
- 15.4.5 Diagnostik — **269**
- 15.4.6 Nichtoperative Behandlung — **271**
- 15.4.7 Operative Behandlung — **271**
  
- 16 Konservative Therapie von Knorpelschäden — 287  
Jörg Jerosch
  - 16.1 Einleitung — **287**
  - 16.2 Basisbehandlung — **287**
  - 16.3 Konservative Arthrosetherapie zusätzliche zum Basistraining — **288**
    - 16.3.1 Stufe 1: Hintergrundbehandlung — **288**
    - 16.3.2 Stufe 1a: Nichtpharmakologische Hintergrundbehandlung — **288**
    - 16.3.3 Stufe 1b: Pharmakologische Hintergrundbehandlung — **289**
    - 16.3.4 Stufe 2: Fortgeschrittenes medikamentöses Management bei persistierend symptomatischen Patienten — **292**
    - 16.3.5 Stufe 3: Letzte pharmakologische Versuche vor der Operation — **299**
    - 16.3.6 Stufe 4: End-stage-Erkrankungsmanagement und Operation — **300**
  
- 17 Dokumentation und Codierung von Eingriffen am Gelenkknorpel — 312  
Jürgen Fritz
  - 17.1 Dokumentation — **312**
  
- 18 Das KnorpelRegister der Deutschen Gesellschaft für Orthopädie und Unfallchirurgie — 316  
Philipp Niemeyer
  - 18.1 Hintergrund — **316**
  - 18.2 Technische Umsetzung und Aufbau KnorpelRegister DGOU — **317**
  - 18.3 Grundsätze des Umgangs mit Daten aus dem KnorpelRegister DGOU — **318**
  
- 19 Zukünftige Entwicklungen in der Knorpeltherapie — 320  
Karin Benz, Christoph Gaissmaier
  - 19.1 Smart Biomaterials — **320**
    - 19.1.1 Hydrogele — **320**
    - 19.1.2 Bioaktive Materialien — **321**
    - 19.1.3 Biomimetische Ansätze — **321**
    - 19.1.4 Bioresponsive Ansätze — **323**
    - 19.1.5 Materialien, die einem entzündlich-katabolen Milieu entgegenwirken — **324**

Jennifer Fischer, Solvig Diederichs, Wiltrud Richter

- 19.2 Stammzellen für die Knorpelregeneration: Trophische Funktion versus Stammzellaktivität — **325**
- 19.2.1 Stimulation endogener Stammzellen zur Regeneration von Knorpeldefekten — **326**
- 19.2.2 Implantation von mesenchymalen Stromazellen zur Regeneration von Knorpeldefekten – eine Alternative zur autologen Chondrozytenimplantation? — **328**
- 19.2.3 Mesenchymale Stammzellen in der klinischen Anwendung — **330**

Bernd Rolauffs

- 19.3 Neue Wege — **334**
- 19.3.1 Was haben wir erreicht? — **334**
- 19.3.2 Die nächste große Herausforderung — **335**
- 19.3.3 Das Problem — **335**
- 19.3.4 Der Weg zur Lösung? — **336**
- 19.3.5 Zusammenfassung — **339**

**Stichwortverzeichnis — 347**