Meniskusersatz

Trotz des Fortschritts der arthroskopischen Chirurgie kann nicht jeder Meniskusriss Gewebe erhaltend versorgt werden. Besonders bei Kindern und jugendlichen, aktiven Patienten stellen die subtotale und/oder totale Meniskektomie eine präarthrotische Deformität dar, die innerhalb kurzer Zeit zu einer fortgeschrittenen Chondromalazie führt (■ **Abb. 1**).

Die ersten europäischen Therapieansätze zum Ersatz des Meniskusgewebes mit Fremdmiskus kamen in den 1980er Jahren aus Deutschland [68]. Die Erfahrungen nach Transplantation von allogenen Menisken waren ermutigend, wurden aber v. a. aufgrund der bestehenden Infektionsgefahr durch virale Erreger nur in wenigen Zentren in Europa weiterverfolgt. Einen anderen Verlauf nahm die Entwicklung in den letzten 10 Jahren in Nordamerika. Hier kam es, insbesondere durch die Einführung von besseren diagnostischen Testverfahren zur Detektion von Erregern im Fremdgewebe und von kommerziell geführten Gewebepanken, zu einer zunehmenden Popularität von Meniskustransplantationen.

Ziel des vorliegenden Beitrags ist es, den derzeitigen Stand der Möglichkeiten zum Meniskusersatz wiederzugeben. Spricht man von Meniskusersatz, muss man einerseits sowohl die *Meniskustransplantation*, andererseits aber auch den *Ersatz mit körpereigenem* (erprobt wurde Sehnen- und Fettgewebe) *oder künstlichem Meniskusgewebe*, wie Prothesen oder Kollagengerüsten, miteinbeziehen.

Indikationen

Der Meniskusersatz verfolgt im Wesentlichen 3 Ziele:

1. Schmerzlinderung beim meniskektomierten Patienten

2. Arthroseprävention
3. Wiederherstellung der Gelenkbiomechanik

Zielgruppe ist also der junge Patient mit einer *unikompartmentellen symptomatischen Früharthrose*, welche v. a. das laterale Kompartiment betrifft. Obwohl in den USA auch viele Meniskustransplantationen bei Früharthrosen im medialen Kompartiment durchgeführt werden, sind wir der Auffassung, dass bei dieser Indikation die valgusierende Tibiakopfumstellungsosteotomie ihren Nutzen bewiesen hat. Deshalb sollte sie zurzeit dem in unseren Augen noch experimentellen Meniskusersatz vorgezogen werden. Von einem prophylaktischen Meniskusersatz am symptomlosen Knie nach frühzeitigem Meniskusverlust ist u. E. derzeit ebenfalls noch abzuraten. Möglicherweise wird es in der Zukunft Verfahren geben, die eine Knorpeldegenerationen frühzeitig erkennen lassen (sei es über biologische Faktoren oder verbesserte Bildgebende Verfahren), sodass die Indikation zum Meniskusersatz früher zu stellen ist [52].

Unabhängig vom Zeitpunkt der Transplantation ist die Tatsache, dass ein Meniskusersatz nur in einem stabilen Kniegelenk ohne Achsabweichung Erfolg versprechend ist. Daher sollten ein instabiles Knie vor oder bei der Meniskusersatzoperation stabilisiert und eine Achsabweichung korrigiert werden [30].

Hochrechnungen zufolge dürfte die Inzidenz der Meniskustransplantation bei etwa 10/1.000.000 Einwohner/Jahr liegen [6].

Biomechanik

Wichtige Voraussetzung für einen erfolgreichen Meniskusersatz ist die Wiederherstellung der Gelenkmechanik. Bei stabiler

Bandführung beruht sie auf folgenden Punkten:

1. einem optimalen Kontakt zwischen dem Transplantat und dem Femur bzw. der Tibia [2, 3]
 Dies verdeutlicht die Bedeutung der exakten Größenbestimmung des Transplantats oder des Ersatzgewebes.
2. der stabilen und exakten Reinsertion des Vorder- und Hinterhorns
 Nur sie erlaubt es, die ringähnliche Form des Meniskus wiederherzustellen und ihm seine Funktion als dynamischer Puffer und „Bremsklotz“ wiederzugeben. Experimentelle Studien haben gezeigt, dass eine Desinsertion der knöchernen Fixationen von Vorder- und Hinterhorn die meniskofemorale Kontaktzone um etwa 50% verringert und die femorotibialen Druckspannungen im betroffenen Kompartiment um etwa 200–300% erhöht [50]. Voraussetzung für die Funktion des Meniskusersatzes ist eine möglichst anatomische Fixation des Vorder- und Hinterhorns. Lazovic et al. [37, 38] zeigten, dass bereits geringe Abweichungen vom ursprünglichen Insertionsareal ausreichend sind, um das Meniskustransplantat und den Gelenkknorpel entscheidend zu schädigen.
3. den mechanischen Eigenschaften des Gewebes
 Noch unklar ist, inwieweit die mechanischen Eigenschaften des Transplantats mit denen eines normalen Meniskus zu vergleichen sind. Ebenfalls ungeklärt ist die Frage der Mobilität der transplantierten Menisken.

Meniskustransplantationen

Sie wurden erstmals bereits zu Beginn der 1970er Jahre in Nordamerika durch-

geführt [69]. Ziel dieser Eingriffe war v. a. der Erhalt des Kniegelenks nach traumatischen Substanzverlusten bzw. osteolytischen Prozessen, sodass das Meniskusgewebe zusammen mit Anteilen des Tibiaplateaus transplantiert wurde. Die Technik der isolierten Meniskustransplantation wurde zuerst an der orthopädischen Klinik der Ludwig-Maximilians-Universität in München entwickelt, wo Prof. C.J. Wirth den ersten Eingriff dieser Art im Jahr 1984 durchführte.

Benutzt wurden bisher allogene und autologe Transplantate. Bei Allografts handelt es sich um Spendermenisken, die von einer Gewebekbank erworben werden können. Sie werden unterschiedlich aufbewahrt. So können bei -180°C tiefgefrorene, lyophilisierte, kältekonservierte (cryopreserved), tiefgefrorene und bestrahlte oder frische Implantate verwendet werden [64]. Von Vorteil ist, dass sie relativ einfach aufzubewahren und prinzipiell in großer Zahl verfügbar sind. Problematisch ist die potenzielle Infektionsgefährdung, die immunogene Potenz ist jedoch gering [53]. Vor der Implantation ist eine Größenbestimmung erforderlich, die meist anhand von Röntgen- oder magnetresonanztomographischen Aufnahmen von der Gewebekbank selbst durchgeführt wird [51, 54].

Sehnentransplantate wurden von Kohn et al. [31] untersucht. Im Vergleich zu den Allografts entfällt bei ihnen das Problem der Infektionsgefahr und der immunologischen Bedenken. Die im Tierversuch gezeigte Umwandlung der Sehne in ein meniskusähnliches Organ, den „Sehnenmeniskus“, findet im menschlichen Knie nur in viel geringerem Umfang statt. Die Methode wurde deshalb verlassen [27].

Der Hoffa-Kniefettkörper eignet sich nach experimentellen Resultaten entgegen früherer Angaben ebenfalls nicht als Meniskusersatz [32, 43, 44].

Tierexperimentelle Untersuchungen

Sie wurden an verschiedenen Arten (Mäuse, Kaninchen, Hunde, Schafe, Ziegen [1, 4, 5, 8, 10, 14, 16, 19, 25, 26, 31, 37, 38, 40, 46, 47, 48, 49, 60]) seit dem Beginn der 1980er Jahre durchgeführt. Es wurden jeweils verschiedene Transplantate und verschiedene Operationstechniken untersucht. Im

Trauma Berufskrankh 2006 · 8[Suppl 2]: S232–S236
DOI 10.1007/s10039-005-1026-6
© Springer Medizin Verlag 2005

D. Pape · R. Seil · D. Kohn

Meniskusersatz

Zusammenfassung

Nicht jeder Meniskusriss kann Gewebe erhaltend versorgt werden. Der Meniskusersatz ist daher eine interessante therapeutische Option. Er kann sowohl durch Meniskustransplantation als auch durch Ersatz mit körpereigenem oder künstlichem Meniskusgewebe, wie Prothesen oder Kollagengerüsten, erfolgen. Im vorliegenden Beitrag wird der derzeitige Stand der Möglichkeiten zum Meniskusersatz wiedergegeben. Indiziert ist er beim jungen Patienten mit einer unikompartmentellen symptomatischen Früharthrose. Er ist nur in einem stabilen Kniegelenk ohne Achsabweichung Erfolg versprechend. Wichtige Voraussetzung für einen erfolgreichen Meniskusersatz ist die Wiederherstellung der Gelenkmechanik. Für Meniskustransplantationen eignen sich neben autologen Transplantaten Allografts. Ihr Vorteil ist, dass sie relativ einfach aufzubewahren und prinzipiell in großer

Zahl verfügbar sind. Problematisch ist die potenzielle Infektionsgefährdung. Sehnentransplantate und Hoffa-Kniefettkörper sind zur Meniskustransplantation nicht geeignet. Erst klinische Erfahrungen zeigen eine Einheilung nach 4–6 Wochen und ein Einwachsen von Empfängerzellen in das Transplantat sowie postoperativ eine deutliche Schmerzreduktion. Ein Meniskusersatzgewebe, das klinisch erprobt wurde, ist das Kollagenmeniskusimplantat (CMI). Alle Techniken zum Meniskusersatz befinden sich noch im experimentellen Stadium.

Schlüsselwörter

Meniskusersatz · Meniskustransplantation · Wiederherstellung der Gelenkmechanik · Allografts · Kollagenmeniskusimplantat (CMI)

Meniscus replacement

Abstract

Not every meniscus tear can be repaired while still preserving the tissue. Thus, meniscus replacement is an interesting therapeutic option. It can be performed both by meniscus transplantation as well as replacement with autologous tissue or synthetic material such as a prosthesis or collagen scaffold. This contribution presents the current status of possible treatment modalities for meniscus replacement. It is indicated in young patients with symptomatic unicompartamental early arthrosis. It is only promising in a stable knee joint without axial deviation. An important prerequisite for successful replacement of the meniscus is restoration of joint mechanics. In addition to autologous transplants, allografts are also suitable for meniscus transplantation. Their advantage is that they are relatively easy to store

and in principle are available in large numbers. Problematic is the potential risk of infection. Tendon transplants and Hoffa's fat pads are not appropriate for meniscus transplantation. Initial clinical experience has shown engraftment after 4–6 weeks and ingrowth of receptor cells in the transplants as well as distinct pain reduction. One tissue substitute material for the meniscus that has been clinically tested is the collagen meniscus implant. All techniques for meniscus replacement are, however, still in the experimental stage.

Keywords

Meniscus replacement · Meniscus transplantation · Restoration of joint mechanics · Allografts · Collagen meniscus implant

Abb. 1 ◀ a p.-p., b seitliches MRT einer 18-jährigen Patientin mit subtotalem Verlust des Außenmeniskus im Alter von 14 Jahren, c ausgeprägte Knorpelschäden im lateralen Gelenkkompartiment (Pfeil)

Abb. 2a, b ◀ Kniegelenk während einer offenen Außenmeniskustransplantation. a Resektion der peripheren Meniskusrandleiste, b Übersicht vor Einzug des Transplantats

hindern kann – zumindest in Kurzzeitstudien [1, 14, 46, 47, 60]. Langzeitergebnisse liegen bislang nicht vor.

Klinische Erfahrungen

Weltweit wurden bisher einige tausend Meniskustransplantationen – überwiegend in den USA – durchgeführt [9, 11, 17, 18, 20, 21, 36, 42, 43, 44, 45, 55, 62, 63, 65, 66, 67, 68]. Meist wurden dabei kältekonservierte Allografts verwendet. Die gewonnenen Erkenntnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

1. Es kommt in der Regel nach 4–6 Wochen zur Einheilung und zum Einwachsen von Empfängerzellen in das Transplantat. In einer neueren Studie konnten Debeer et al. [15] zeigen, dass nach 1 Jahr eine fast vollständige Repopulation mit Empfängerzellen stattgefunden hat.
2. Bei der Mehrzahl der Patienten kam es postoperativ zu einer deutlichen Schmerzreduktion [17, 18, 20, 21, 53, 55, 68]. Auch in Langzeitergebnissen nach über 14 Jahren konnte dieser Effekt – wenn auch geringer ausgeprägt – beobachtet werden [68]. Die Prognose hängt entscheidend mit dem Ausmaß der initialen Knorpelschäden zusammen.
3. Es gibt auch beim Menschen beginnende Hinweise dafür, dass die Meniskustransplantation das Arthroseisiko reduziert oder das Ausmaß einer Knorpelschädigung verringert [68].
4. Magnetresonanztomographisch zeigte sich, dass kältekonservierte und v. a. lyophilisierte Meniskustransplantate schrumpfen können [53, 55, 68]. Es wurde auch über anormale Signale im Sinn einer Grad-II-Meniskusläsion im Hinterhornbereich berichtet.
5. Die biomechanischen Eigenschaften von bestrahlten Transplantaten sind schlechter als die von tiefgefrorenen oder kältekonservierten Menisken. Die klinischen Ergebnisse von tiefgefrorenen Menisken sind denen von lyophilisierten Transplantaten überlegen [68].
6. Die immunologische Reaktion gegen das Fremdgewebe ist in der Regel sehr gering [53]. Bisher wurde nur über einen Fall einer Abstoßungsreaktion berichtet [22].

Wesentlichen kam es bisher zu folgenden Erkenntnissen:

1. Das Transplantat wächst in der Regel innerhalb von 4–6 Wochen an der Gelenkkapsel fest, und es finden eine Revaskularisierung sowie ein Einwachsen von Empfängerzellen statt.
2. Die biomechanischen Eigenschaften des Transplantats sind denen des normalen Gewebes unterlegen.
3. Bezüglich der erhofften Knorpel schützenden Funktion gibt es erste Hinweise dafür, dass ein Meniskustransplantat im Vergleich zu einer kompletten Meniskektomie Knorpelschäden ver-

Operationstechnik

Es stehen offene (■ Abb. 2) und arthroskopisch assistierte Techniken (■ Abb. 3) zur Verfügung. Die arthroskopisch assistierte Meniskustransplantation ist technisch sehr anspruchsvoll. Insbesondere die genaue arthroskopische Lokalisation der ehemaligen Insertionsareale des Vorder- und Hinterhorns ist schwierig [61]. Die wesentlichen Operationsschritte dieses Verfahrens bestehen im Débridement der verbleibenden peripheren Randleiste und in der Präparation der knöchernen Fixation – sei es über Bohrkanäle, die mit Hilfe eines Zielgeräts gebohrt werden, oder über das Fräsen einer knöchernen Nut zum Einbringen von Knochenblöckchen. Um das Transplantat in das Gelenkkompartiment zu bringen, muss eine Arthrotomie von etwa 5 cm erfolgen. Einige Autoren empfehlen, eine Nut am Außenrand des Tibiaplateaus zu fräsen um eine knöcherne Fixation des Transplantats zu ermöglichen [7]. Die Fixation an der peripheren Kapsel kann teilweise über eine offene Refixation und teilweise über eine arthroskopischen Innen-außen-Naht-Technik erfolgen [39].

Die offene Technik beinhaltet im Wesentlichen die gleichen Schritte, macht allerdings einen größeren Zugang und insbesondere eine Ablösung sowie eine spätere Refixation der Kollaterallbänder erforderlich, um eine optimale Sicht in das Gelenk zu ermöglichen.

Der Fixation von Vorder- und Hinterhorn sollte eine große Bedeutung beigemessen werden. Hierfür stehen verschiedene Techniken zur Auswahl [13]. Im Falle eines Allotransplantats wird der Meniskus mit einem durchgehenden Knochenblock zwischen Insertionsstelle des Vorder- und Hinterhorns von der Gewebebank geliefert (■ Abb. 4). Um eine gute knöcherne Fixation zu erlangen, kann das Blöckchen unterschiedlich geformt werden.

In der *Schlüssellochtechnik* wird es so präpariert, dass es in ein korrespondierendes „Schlüsselloch“ im Tibiakopf eingeführt werden kann. Alternativ kann auch eine *knöcherne Nut* zwischen den Insertionsarealen der Hörner gefräst werden. In anderen Techniken kommen *tibiale Bohrtunnel* zur Anwendung. Sie werden mit Hilfe von Zielgeräten an den Insertionsstellen der Hörner ausgeleitet. Diese kön-

Abb. 3a, b ▲ Kniegelenk: a arthroskopisch assistierte Außenmeniskustransplantation, b Detailaufnahme vor Einzug des Transplantats

nen dann mit oder ohne knöchernen Zylinder in die Tunnels eingezogen werden. Es ist noch unklar, ob die Fixation von Vorder- und Hinterhorn rein weichteilig über eine Fadenfixation und Bohrkanäle oder knöchern über eine Knochenbrücke bzw. Knochenblöckchen zu bevorzugen ist.

Meniskusersatz

Bisher wurden Prothesen (Dacron, Polyethylen) und gezüchtetes Gewebe experimentell erforscht [8, 19, 34, 24, 40, 59]. Ein Meniskusersatzgewebe, das klinisch erprobt wurde, ist das *Kollagenmeniskusimplantat* (CMI). Dabei handelt es sich um ein Gerüst aus Kollagenfasern, das über ein komplexes Aufbereitungsverfahren aus der Achillessehne vom Rind hergestellt wird. Die ersten tierexperimentellen Untersuchungen mit diesem Implantat wurden bereits vor fast 10 Jahren von Stone [56] und Stone et al. [57, 58] veröffentlicht. Sie zeigten,

Abb. 4 ▲ a Kältekonserviertes Fremdgewebetransplantat im Zustand der Lieferung durch die Gewebebank, b gleiches Transplantat bei der Präparation, c mit peripheren Haltefäden versehenes Transplantat

- dass das Implantat nicht toxisch ist,
- dass Zellen in das Netzwerk einwachsen und
- dass es die Formation einer Kollagenmatrix unterstützt.

Erste klinische Studien zeigten, dass es durch ein meniskusähnliches Gewebe ersetzt wird. Ob dieses in der Lage ist, eine biomechanische, Knorpel schützende Funktion zu übernehmen, bleibt fraglich.

Besondere Komplikationen und Gefahren

Die Verwendung von Fremdgewebe birgt immer die Gefahr einer Infektion mit viralen und/oder bakteriellen Erregern. Das Center for Disease Control in Atlanta berichtete über Clostridieninfektionen, die durch Allografts übertragen wurden. Allerdings war die Zahl der Infektionen bei

650.000 im Jahr 1999 in den USA implantierten Fremdgewebetransplantaten verschwindend gering und stellt nach Güterabwägung keine relevante Kontraindikation zur Transplantation dar.

Fazit

Die seit knapp 2 Jahrzehnten angewandten Techniken zum Meniskusersatz befinden sich sämtlich im experimentellen Stadium. Trotzdem findet die Meniskustransplantation mit tiefgefrorenen oder kälte-konservierten Allografts – überwiegend in spezialisierten Zentren in Nordamerika, aber auch in einigen europäischen Zentren – bereits breite Anwendung. Der definitive Nutzen hinsichtlich ihrer Knorpel schützenden Funktion ist wissenschaftlich noch nicht gesichert. Jedoch zeigten klinische Studien eine Beschwerdeverbesserung vieler Patienten. Es verbleibt allerdings noch ein großer Bedarf an experimentellen und kontrollierten klinischen Studien, um den Nutzen der Meniskustransplantation abzusichern. Unbewiesen ist die Sinnhaftigkeit des klinischen Einsatzes von artifiziellem Meniskusersatzgewebe, wie dem Kollagenmeniskus.

Korrespondierender Autor

Dr. D. Pape

Orthopädische Universitätsklinik,
Universitätskliniken des Saarlandes,
66421 Homburg, Saar
E-Mail: dietrichpape@yahoo.de

Interessenkonflikt: Der korrespondierende Autor versichert, dass keine Verbindungen mit einer Firma, deren Produkt in dem Artikel genannt ist, oder einer Firma, die ein Konkurrenzprodukt vertreibt, bestehen.

Literatur

1. Aagaard H, Jorgensen U, Bojsen-Moller F (1999) Reduced degenerative articular cartilage changes after meniscal allograft transplantation in sheep. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 7: 184–191
2. Alhalki MM, Howell SM, Hull ML (1999) How three methods for fixing a medial meniscal autograft affect tibial contact mechanics. *Am J Sports Med* 27: 320–328
3. Alhalki MM, Hull ML, Howell SM (2000) Contact mechanics of the medial tibial plateau after implantation of a medial meniscal allograft. A human cadaveric study. *Am J Sports Med* 28: 370–376
4. Arnoczky SP, Warren RF, McDewitt CA (1990) Meniscal replacement using a cryopreserved allograft. An experimental study in the dog. *Clin Orthop* 252: 121–128
5. Arnoczky SP, DiCarlo EF, O'Brien SJ et al. (1992) Cellular repopulation of deep-frozen meniscal autografts: an experimental study in the dog. *Arthroscopy* 8: 428–436
6. Backer M, Buhl A, Jakobsen BW et al. (1999) Meniscus transplantation – consensus declaration. *Scand J Med Sci Sports* 9: 131–133

7. Boss A, Klimkiewicz J, Fu FH (2000) Technical innovation: creation of a peripheral vascularized trough to enhance healing in cryopreserved meniscal allograft reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 8: 159–162
8. Bruns J, Kahrs J, Kampen J et al. (1998) Autologous perichondral tissue for meniscal replacement. *J Bone Joint Surg Br* 80: 918–923
9. Cameron JC, Saha S (1997) Meniscal allograft transplantation for unicompartmental arthritis of the knee. *Clin Orthop* 337: 164–171
10. Canham W, Stanish W (1986) A study of the biological behavior of the meniscus as a transplant in the medial compartment of a dog's knee. *Am J Sports Med* 14: 376–379
11. Carter TR (1999) Meniscal allograft transplantation. *Sports Med Arthrosc Rev* 7: 51–62
12. Center for Disease Control (CDC) (2002) Update: allograft-associated bacterial infections – United States, 2002. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 51: 207–210
13. Chen MI, Branch TP, Hutton WC (1996) Is it important to secure the horns during lateral meniscal transplantation? A cadaveric study. *Arthroscopy* 12: 174–181
14. Cummins JF, Mansour JN, Howe Z et al. (1997) Meniscal transplantation and degenerative articular change: an experimental study in the rabbit. *Arthroscopy* 13: 485–491
15. Debeer P, Decorte R, Delvaux S et al. (2000) DNA analysis of a transplanted cryopreserved meniscal allograft. *Arthroscopy* 16: 71–75
16. Fabbriani C, Lucania L, Milano G et al. (1997) Meniscal allografts: cryopreservation vs deep-frozen technique. An experimental study in goats. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 5: 124–134
17. Garrett JC (1993) Meniscal transplantation: a review of 43 cases with 2 to 7 year follow up. *Sports Med Arthrosc Rev* 2: 164–167
18. Garrett JC, Steensen RN, Stevens RN (1991) Meniscal transplantation in the human knee: a preliminary report. *Arthroscopy* 7: 57–62
19. Gastel JA, Muirhead WR, Liffart JT et al. (2001) Meniscal tissue regeneration using a collagenous biomaterial derived from porcine small intestine submucosa. *Arthroscopy* 17: 151–159
20. Goble EM, Kohn D, Verdonk R et al. (1999) Meniscal substitutes – human experience. *Scand J Med Sci Sports* 9: 146–157
21. Goble EM, Verdonk R, Kohn D (1999) Arthroscopic and open surgical techniques for meniscus replacement – meniscal allograft transplantation and tendon autograft transplantation. *Scand J Med Sci Sports* 9: 168–176
22. Hamlet W, Liu SH, Yang R (1997) Destruction of a cryopreserved meniscal allograft: a case for acute rejection. *Arthroscopy* 13: 517–521
23. Ibarra C, Jannetta C, Vacanti CA et al. (1997) Tissue engineered meniscus: a potential new alternative to allogeneic meniscus transplantation. *Transplant Proc* 29: 986–988
24. Ibarra C, Koski JA, Warren RF (2000) Tissue engineering meniscus: cells and matrix. *Orthop Clin North Am* 31: 411–418
25. Jackson DW, McDewitt CA, Simon TM et al. (1992) Meniscal transplantation using fresh and cryopreserved allografts. An experimental study in goats. *Am J Sports Med* 20: 644–656
26. Jackson DW, Whelan J, Simon TM (1993) Cell survival after transplantation of fresh meniscal allografts. DNA probe analysis in a goat model. *Am J Sports Med* 21: 540–550
27. Johnson LL, Feagin JA Jr (2000) Autogenous tendon graft substitution for absent knee joint meniscus: a pilot study. *Arthroscopy* 16: 191–196
28. Kohn D (1993) Autograft meniscus replacement: experimental and clinical results. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 1: 123–125
29. Kohn D (1994) Meniskusersatz. *Orthopade* 23: 164–170
30. Kohn D (1999) Meniscus transplantation should not be combined with correction of instability/deformity/cartilage defects. A personal view. *Scand J Med Sci Sports* 9: 185
31. Kohn D, Wirth CJ, Reiss G et al. (1992) Medial meniscus replacement by a tendon autograft. Experiments in sheep. *J Bone Joint Surg Br* 74: 910–917
32. Kohn D, Rudert M, Wirth CJ et al. (1997) Medial meniscus replacement by a fat pad autograft. An experimental study in sheep. *Int Orthop* 21: 232–238
33. Kohn D, Aagaard H, Verdonk R et al. (1999) Postoperative follow-up and rehabilitation after meniscus replacement. *Scand J Med Sci Sports* 9: 177–180
34. Kohn D, Verdonk R, Aagaard H et al. (1999) Meniscal substitutes – animal experience. *Scand J Med Sci Sports* 9: 141–145
35. Krogsgaard M (1999) Meniscus replacement – is it really necessary? *Scand J Med Sci Sports* 9: 129–130
36. Kuhn JE, Wojtyla EM (1996) Allograft meniscus transplantation. *Clin Sports Med* 15: 537–536
37. Lazovic D, Wirth CJ, Knosel T et al. (1997) Meniscus replacement using incongruent transplants – an experimental study. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 135: 131–137
38. Lazovic D, Wirth CJ, Sieg A et al. (1997) Effect of surgical technique on meniscus transplants. A histological, animal experiment study. *Unfallchirurg* 100: 541–546
39. Menetrey J, Jones DG, Erlund LS et al. (1999) Posterior peripheral sutures in meniscal allograft replacement. *Arthroscopy* 15: 663–668
40. Messner K (1994) Meniscal substitution with a Teflon-periosteal composite graft: a rabbit experiment. *Biomaterials* 15: 223–230
41. Milachowski KA, Weismeier K, Erhardt W et al. (1987) Meniscus transplantation – animal experiment study. *Sportverletz Sportschaden* 1: 20–24
42. Milachowski KA, Weismeier K, Wirth CJ (1989) Homologous meniscus transplantation. Experimental and clinical results. *Int Orthop* 13: 1–11
43. Milachowski KA, Kohn D, Wirth CJ (1990) Meniscus replacement using Hoffa's infrapatellar fat bodies – initial clinical results. *Unfallchirurgie* 16: 190–195
44. Milachowski KA, Weismeier K, Wirth CJ et al. (1990) Meniscus transplantation and anterior cruciate ligament replacement – results 2–4 years postoperative. *Sportverletz Sportschaden* 4: 73–78
45. Milachowski KA, Kohn D, Wirth CJ (1994) [Transplantation of allogeneic meniscus]. *Orthopade* 23: 160–163
46. Mikic ZD, Brankov MZ, Tubic MV et al. (1993) Allograft meniscus transplantation in the dog. *Acta Orthop Scand* 64: 329–332
47. Mikic ZD, Brankov MZ, Tubic MV et al. (1997) Transplantation of fresh-frozen menisci: an experimental study in dogs. *Arthroscopy* 13: 579–583
48. Ochi M, Ikuta Y, Ishida O et al. (1993) Cellular and humoral immune responses after fresh meniscal allografts in mice. A preliminary report. *Arch Orthop Trauma Surg* 112: 163–166
49. Ochi M, Ishida O, Daisaku H et al. (1995) Immune response to fresh meniscal allografts in mice. *J Surg Res* 58: 478–484
50. Paletta GA, Manning T, Snell E (1997) The effects of allograft meniscal replacement on intraarticular contact area and pressures in the human knee: a biomechanical study. *Am J Sports Med* 25: 692–698
51. Pollard ME, Kang Q, Berg EE (1995) Radiographic sizing for meniscal transplantation. *Arthroscopy* 11: 684–687
52. Rodeo SA (2001) Meniscal allografts – where do we stand? *Am J Sports Med* 29: 246–261
53. Rodeo SA, Seneviratne A, Suzuki K et al. (2000) Histological analysis of human meniscal allografts. A preliminary report. *J Bone Joint Surg Am* 82-A: 1071–1082
54. Shaffer B, Kennedy S, Klimkiewicz J et al. (2000) Preoperative sizing of meniscal allografts in meniscus transplantation. *Am J Sports Med* 28: 524–533
55. Stollsteimer GT, Shelton WR, Dukes A et al. (2000) Meniscal allograft transplantation: a 1- to 5-year follow-up of 22 patients. *Arthroscopy* 16: 343–347
56. Stone KR (1996) Meniscus replacement. *Clin Sports Med* 15: 557–571
57. Stone KR, Rodkey WG, Webber R et al. (1992) Meniscal regeneration with copolymeric collagen scaffolds. In vitro and in vivo studies evaluated clinically, histologically, and biochemically. *Am J Sports Med* 20: 104–111
58. Stone KR, Steadman JR, Rodkey WG et al. (1997) Regeneration of meniscal cartilage with use of a collagen scaffold. *J Bone Joint Surg Am* 79-A: 1770–1777
59. Sweigart MA, Athanasiosu KA (2001) Toward tissue engineering of the knee meniscus. *Tissue Eng* 7: 111–129
60. Szomor ZL, Martin TE, Bonar F et al. (2000) The protective effects of meniscal transplantation on cartilage. An experimental study in sheep. *J Bone Joint Surg Am* 82: 80–88
61. Urban WP Jr, Nyland J, Caborn DN et al. (1999) The radiographic position of medial and lateral meniscal horns as a basis for meniscal reconstruction. *Arthroscopy* 15: 147–154
62. Van Arkel ER, De Boer HH (1995) Human meniscal transplantation. Preliminary results at 2 to 5 year follow-up. *J Bone Joint Surg Br* 77-B: 589–595
63. Verdonk R (1994) Alternative treatment for meniscal injuries. *J Bone Joint Surg Br* 76B: 866–873
64. Verdonk R, Kohn D (1999) Harvest and conservation of meniscal allografts. *Scand J Med Sci Sports* 9: 158–159
65. Wilcox RJ, Goble EM, Doucette SA (1996) Goble technique of meniscus transplantation. *Am J Knee Surg* 9: 37–42
66. Wirth CJ, Milachowski KA, Weismeier K (1986) Meniscus transplantation in animal experiments and initial clinical results. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 124: 508–512
67. Wirth CJ, Milachowski KA, Weismeier K (1987) Meniscus re-fixation and transplantation. *Langenbecks Arch Chir* 372: 269–271
68. Wirth CJ, Peters G, Milachowski KA et al. (2002) Long-term results of meniscal allograft transplantation. *Am J Sports Med* 30: 174–181
69. Zukor DJ, Cameron JC, Brooks PJ et al. (1990) The fate of human meniscal allografts. In: Ewing JW (ed) *Articular cartilage and knee joint function: basic science and arthroscopy*. Raven Press, New York, pp 147–152