

Claudio Cerletti, Patrick Vienne

Orthopädische Universitätsklinik Balgrist, Zürich

Totalendoprothese des oberen Sprunggelenkes und Sport

Zusammenfassung

Die mässigen Langzeitergebnisse der Arthrodese des oberen Sprunggelenkes (OSG), mit vor allem konstanter Abnutzung der Nachbargelenke, haben zur Entwicklung von OSG-Totalendoprothesen geführt. Die dritte Generation dieser Prothesen hat Erfolg versprechende mittelfristige Resultate gezeigt. Aufgrund der konstanten Zunahme der posttraumatischen OSG-Arthrose wird die Indikation zur Implantation einer OSG-Totalprothese bei immer jüngeren Patienten gestellt. So genannte «low-impact» sportliche Tätigkeiten sind nach der Implantation einer OSG-Totalprothese möglich und empfohlen. Um das bestmögliche Resultat zu erreichen, ist eine enge Betreuung der Patienten wichtig. Eine optimale Zusammenarbeit zwischen Operateur, betreuendem Arzt, Physiotherapeut und Patient ist erforderlich. Progressive und regelmässige Steigerung sowie angepasste Belastungen sind die Bedingungen, um die Lebensdauer der Prothese trotz sportlicher Tätigkeit zu verlängern. Bei Lockerung bleibt auch bei sportlich aktiven Patienten der Prothesenwechsel oder die Arthrose eine Behandlungsalternative.

Abstract

The disappointing long term results of ankle joint fusion – particularly with increased degeneration of the adjacent joints – were one of the most important reasons for the development of total ankle prostheses. The third generation of these implants showed promising early and mid-term results. The frequency of post-traumatic ankle arthrosis is still increasing and the indication to total ankle arthroplasty concerns more and more younger patients. Low contact sports activities are possible and recommended after total ankle replacement. A strong support of the patients is very important to achieve the best possible results. A close collaboration between surgeon, physician, physiotherapist and patient is mandatory. Progressive and continuous increase of the sport activities is necessary to extend the durability of the arthroplasty. A constant overloading of the prosthesis should be avoided. In case of loosening, a revision with replacement arthroplasty or an arthrodesis are still possible, even in physically active patients.

Key words:

Ankle joint, replacement, ankle arthrosis, sport activities

Schweizerische Zeitschrift für «Sportmedizin und Sporttraumatologie» 54 (1), 22–26, 2006

Durch konstante Verbesserungen der Sicherheitsmassnahmen im Automobilverkehr (Sicherheitsgurten, Airbags) konnte die Zahl der tödlichen Unfälle deutlich vermindert werden. Diese Patienten überleben aber meistens mit schweren Verletzungen der unteren Extremitäten, vor allem auch des oberen Sprunggelenkes (OSG). Diese Tendenz hat einen deutlichen Einfluss auf die Zunahme der posttraumatischen OSG-Arthrosen im Alltag. Diese Arthrose ist meistens jahrelang sehr gut toleriert. Häufig kommt es aber mit der Zeit zu einer Dekompensation, welche eine chirurgische Behandlung erfordert. Diese Behandlung ist heute noch kontrovers diskutiert. Bei schmerzhafter und stark invalidisierender OSG-Arthrose ist die Versteifung des oberen Sprunggelenkes eine wirksame Behandlungsmöglichkeit, welche noch sehr verbreitet ist. Diese Operation hat aber erhebliche Nachteile und wird heutzutage nicht mehr als absoluter Goldstandard gesehen. Wie die Langzeitergebnisse der OSG-Arthrodese zeigen, werden vor allem die Nachbargelenke im Bereich des Fusses über- und fehlbelastet [2, 3, 5, 10, 11, 27, 30, 37, 40]. Dies führt mit der Zeit zur schmerzhaften Arthrose in diesen Gelenken, welche weitere Arthrosen notwendig macht. Diese zusätzlichen Versteifungen enden meist in unbefriedigenden funktionellen und biomechanischen Resultaten [8, 16, 39], welche häufig mit anhaltenden Restbeschwerden verbunden sind.

Um diese Langzeitprobleme der Arthrodese zu lösen, wurden seit den siebziger Jahren Totalprothesen des oberen Sprung-

gelenkes entwickelt. Die Resultate der ersten Generationen waren sehr enttäuschend [4, 12, 19, 21, 23, 32, 33, 38]. Es handelte sich dabei um verblockte Systeme, welche bei Belastung grosse Scher-, Kompressions- und Rotationskräfte auf die relativ kleinen Kontaktflächen zwischen Knochen und Implantat übertrugen [31, 34]. Hohe Lockerungsraten und Wundheilungsstörungen waren die Folgen [21]. Durch die weitere Entwicklung von so genannten «Semi-constrained»-Systemen und durch die Verbesserung der Operationstechniken konnten diese Komplikationen deutlich reduziert werden. Die kurz- und mittelfristigen (z.T. langfristigen) Resultate der aktuellen Generation von OSG-Totalendoprothesen sind Erfolg versprechend und bieten eine gute Alternative zur Versteifung [6, 15, 17, 22, 24, 25, 34].

Die Ansprüche der Patienten an den totalen Gelenkersatz sind in den letzten Jahren ständig gestiegen und werden auch in Zukunft weiter zunehmen. Das «American College of Sports Medicine» konnte zeigen, dass eine aerobe Aktivität von 20 Minuten dreimal die Woche mit einem gesteigerten psychologischen und physiologischen Wohlbefinden assoziiert ist [1]. Eine Gelenkersatzoperation ermöglicht dem Patienten seine Aktivität und damit auch sein Wohlbefinden zu steigern. Macnicol et al. [26] zeigten, dass nach Implantation einer Totalendoprothese der Hüfte die maximale Gehgeschwindigkeit, Schrittlänge und auch der Sauerstoffverbrauch signifikant zunehmen. Leider gibt es in der Literatur

keine publizierten Richtlinien betreffend der erlaubten Aktivität nach Implantation einer OSG-Totalendoprothese, insbesondere nicht für sportliche Aktivitäten. Für andere Gelenke bestehende Richtlinien raten von starken sportlichen Belastungen ab [1, 9]. Verschiedene Studien zeigten, dass sportliche Aktivitäten das Gelenk stärker belasten und deshalb zu erhöhten Lockerungs-raten führen [7, 13, 14, 18, 36]. Dennoch besteht bei vielen von unseren Patienten der Wunsch, auch mit einer OSG-Totalendoprothese sportlich aktiv zu sein. Aus diesem Grund ermuntern wir unsere Patienten, diejenigen Aktivitäten, die für sie wichtig sind, wieder aufzunehmen. Wichtig ist dabei, die Patienten über die Risiken, aber auch über die Vorteile einer sportlichen Aktivität zu informieren.

Die Agility-OSG-Totalendoprothese

Diese Totalendoprothese der dritten Generation wird seit 1999 bei schmerzhafter Arthrose des oberen Sprunggelenkes in unserer Klinik implantiert. Es handelt sich um eine nicht zementierte, «Semi-constrained»-Prothese, die von der Firma DePuy in Zusammenarbeit mit Dr. Frank Alvine (Sioux Falls, USA) entwickelt wurde. Die erste Implantation wurde 1986 durchgeführt. Die Prothese besteht aus 3 Teilen und ist in 6 verschiedenen Grössen erhältlich. Die Tibiakomponente ist aus einer Titanlegierung gefertigt und beinhaltet ein Polyethyleninlay, welches aus «ultra high density PE» besteht. Die Taluskomponente besteht aus einer Chrom-Kobalt-Legierung. Die Basis und Kontaktflächen der beiden Komponenten sind mit einer porösen Titanlegierung beschichtet (Abb. 1). Beide Komponenten werden zementfrei mit einem «Press-Fit-System» eingebaut. Eine tibiofibuläre Arthrodese ist bei der Implantation notwendig, was eine ideale Abstützung für die Tibiakomponente ermöglicht und damit auch eine Kraftübertragung über die Fibula erlaubt. Die Bewegungsamplitude für die Dorsal-/Plantarflexion beträgt 60°. Die Taluskomponente ist im Durchschnitt 2 mm schmaler als die Breite des Polyethyleninlays, was eine gewisse Innen- und Aussenrotation und Inversion und Eversion erlaubt. Je nach Grösse der Prothese ist eine Knochenresektion von 17–23 mm nötig. Die Agility-Totalendoprothese ist die einzige ihrer Generation, welche einen vollständigen Ersatz aller Gelenkflächen des oberen Sprunggelenkes ermöglicht.

Operative Technik

Der Eingriff findet in Rückenlage meistens unter Spinalanästhesie statt. Eine pneumatische Blutsperre wird am Oberschenkel installiert, um die Operation unter Blutleere durchführen zu können.



Abbildung 1: OSG-Totalendoprothese Agility.

Die Neutralstellung des oberen Sprunggelenkes wird mit einem Fixateur externe gehalten. Das OSG wird durch einen ventralen Zugang dargestellt. Nach Entfernung der ventralen Osteophyten wird die Gelenklinie dargestellt. Durch einen separaten lateralen Zugang entlang der anterioren Fläche der Fibula wird die vordere Syndesmose dargestellt und debridiert. Die Schnitte werden gemäss präoperativer Planung mit Hilfe eines extramedullären Schnittführers durchgeführt (Abb. 2). Im Prinzip wird die kleinstmögliche Prothese gewählt, um später ein Prothesenwechseln zu ermöglichen. Die Schnittebene liegt senkrecht zur Längsachse der Tibia. Der mediale Schnitt soll in der Verlängerung der medialen Tibiacorticalis und der laterale Schnitt in der Verlängerung der medialen Fibulacorticalis liegen. Nach Prüfung der eigenen Stabilität mit den Probekomponenten wird die definitive Prothese in einer «Press-Fit»-Technik implantiert. Die aus den Resektaten entnommene Spongiosa wird im Bereich der Syndesmose angelegt und diese mit zwei 3,5-mm-Zugschrauben stabilisiert (Abb. 3). Der Fixateur externe wird entfernt und die intraoperative Beweglichkeit geprüft. Eine dorsale Extension von 10° muss intraoperativ erreicht werden. Ist dies nicht der Fall, sollen zusätzliche Massnahmen, wie Achillessehnen-, Gastrocnemiusverlängerung und

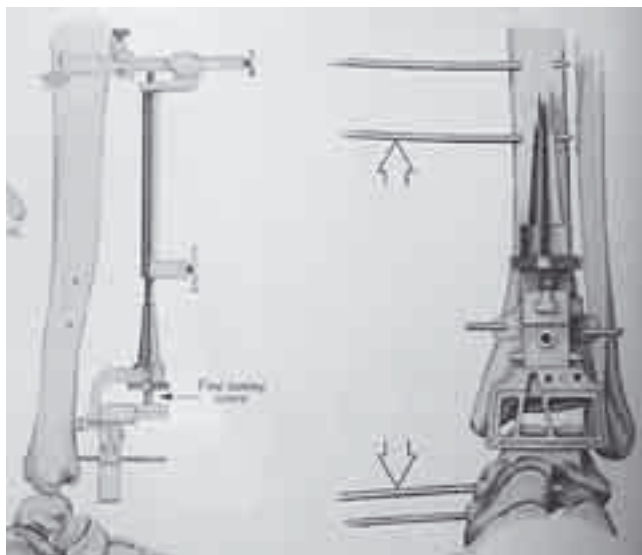


Abbildung 2: Extramedullärer Schnittführer zur Knochenresektion.



Abbildung 3: Die Tibiakomponente stützt sowohl auf die Tibia wie auf die Fibula ab. Alle Gelenksflächen sind ersetzt. Die Syndesmose ist mit zwei 3,5-mm-Zugschrauben stabilisiert.

dorsaler Kapselrelease durchgeführt werden. Anschliessend werden die Wunden verschlossen und ein gespaltener Unterschenkel-Liegegips in Neutralstellung angelegt.

Nachbehandlung

Die Patienten werden für 2 Wochen in einem Unterschenkelgips (Scotch Cast®) ohne Belastung an Stöcken mobilisiert. Ab der dritten Woche beginnt eine gipsfreie Teilbelastung mit etwa 15 kg. Zusätzlich wird eine passive und aktiv-assistierte Mobilisation des OSG in Flexion-Extension unter physiotherapeutischer Begleitung durchgeführt. Die erste klinische und radiologische Verlaufskontrolle erfolgt 6 Wochen postoperativ. Bei vollständigem Durchbau der vorderen Syndesmose wird auf Vollbelastung übergegangen. Die Physiotherapie zur allgemeinen Kräftigung, Gehschule, Verbesserung der Beweglichkeit und der Propriozeption wird weitergeführt.

Diskussion

Pyeovich und Alvine [34] haben ihre ersten Resultate mit der Agility-OSG-Totalendoprothese 1998 publiziert. In einer Serie von 82 Patienten mit einem Durchschnittsfollow-up von 4,8 Jahren (2,8–12,3 Jahren) waren 92% der Patienten zufrieden oder sehr zufrieden. 5 Patienten (6%) mussten revidiert werden. Für alle Patienten wurde ein «Score» der «American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS)» [20] erhoben. Der durchschnittliche Wert betrug 85 von 100 möglichen Punkten. Die gleiche Patientengruppe wurde von Knecht und Saltzman [22] erneut nachkontrolliert. Sie publizierten 2004 einen durchschnittlichen Follow-up von 9 Jahren (7–16 Jahren). In dieser Zeitspanne nahm die Revisionsrate um 5% auf insgesamt 11% zu. 7 Prothesen mussten gewechselt werden und 7 Patienten erhielten eine Arthrorese. Dennoch waren weiterhin über 90% der Patienten mit dem Operationsresultat zufrieden. In verschiedenen Studien konnte gezeigt werden, dass postoperativ eine ausgeprägte Schmerzbefreiung besteht. Gemäss Pyeovich et al. [34] waren 55% der Patienten vollkommen schmerzfrei und 28% gaben noch leichte Restbeschwerden an. Bei 98% der Patienten bestand eine Schmerzreduktion. In einer Studie von Hintermann et al. [17] mit einem anderen Prothesentyp waren 68% der Patienten vollkommen schmerzfrei. 30% der Patienten gaben noch Restbeschwerden mit einem durchschnittlichen VAS Score von 2,6 Punkten an (Bereich 0–10 Punkte). Lediglich 2% der Patienten hatten einen VAS Score über 6. OSG und Rückfuss-Funktionsscores wie der AOFAS [20] (American Orthopaedic Foot and Ankle Society) verbesserten sich von präoperativ 40 auf postoperativ 85 Punkte bei Hintermann. Auch bei Pyeovich lag der durchschnittliche Wert bei 85 Punkten bei einem durchschnittlichem Follow-up von 4,8 Jahren. Der radiologisch gemessene durchschnittliche Bewegungsumfang bei der Studie von Pyeovich betrug 18°. Wir haben unsere Patienten nach einem Follow-up von 2 bis 5 Jahren klinisch und radiologisch nachkontrolliert. In unserem Kollektiv (41 Patienten mit einem Durchschnittsalter von 56,6 Jahren) konnte der AOFAS Score von 40 Punkten präoperativ auf 75 Punkte postoperativ verbessert werden. 76% waren mit dem Resultat sehr zufrieden oder zufrieden. Der durchschnittliche Bewegungsumfang in unsere Serie betrug radiologisch 25° (Abb. 4/5). Aufgrund der zwar verminderten, aber dennoch vorhandenen Beweglichkeit im OSG erhoffte man sich im Langzeitverlauf eine deutlich geringere Zunahme der Arthrose in den Nachbargelenken. 8 Jahre nach einer OSG-Arthrorese zeigen >50% der Patienten eine schmerzhafte Arthrose in den Nachbargelenken [28, 29, 35]. Nach 20 Jahren steigt die Prävalenz auf annähernd 100%. Verglichen mit diesen Zahlen kann die konsekutive Arthroserate mit einer OSG-Totalendoprothese deutlich gesenkt werden. In der Untersuchung von Knecht und Saltzman [22] zeigten weniger als 25% in 7,2 Jahren eine Zunahme der Arthrose in den Nachbargelenken. Aus diesem Grund ist die Implantation einer OSG-Totalendoprothese auch bei jüngeren Patienten indiziert. Wir gehen davon aus, dass dadurch



Abbildung 4: Radiologisch gemessene maximale Dorsalextension (21°).



Abbildung 5: Radiologisch gemessene maximale Plantarflexion (22°).

die Nachbargelenke geschont werden. Sollte dann später z.B. aufgrund einer Lockerung der Prothese trotzdem eine Arthrorese notwendig werden, sind diese Gelenke in einem deutlich besseren Zustand als wenn primär eine Arthrorese durchgeführt worden wäre.

OSG-Totalendoprothese und sportliche Tätigkeiten

Bezüglich der Sportfähigkeit nach Implantation einer OSG-Totalendoprothese findet man in der Literatur nur wenige Angaben. Valderrabano et al. zeigten in einer kürzlich erschienenen Studie, dass in ihrer Patientenkohorte die Anzahl der sportlich aktiven Patienten von präoperativ 36% auf postoperativ 56% zugenommen hat. Zudem bestand in der sportlich aktiven Gruppe ein signifikant höherer AOFAS Score (88 Punkte) im Vergleich zur sportlich nicht aktiven Gruppe (79 Punkte) [41]. Da sich in der Literatur keine weiteren Angaben betreffend OSG-Totalendoprothese und Sport finden, stellen wir im Folgenden unsere eigenen Erfahrungen und Überlegungen dar. Die grösste Gefahr bei sportlichen Aktivitäten ist eine Überbelastung der Prothese und damit eine Lockerung der Komponenten. Im Falle der Agility-Prothese besteht dieses Problem vor allem bei der Taluskomponente. Die Tibiakomponente zeigt eine höhere Primärstabilität. Bei gut durchgebauter Syndesmose konnte keine Tendenz zur Migration festgestellt werden [22]. Um einer Migration der Taluskomponente vorzubeugen ist es wichtig, vor allem repetitive Überbelastungen der Prothese zu vermeiden. Dabei sollten Übergewicht und wiederholte erhöhte Belastungen des oberen Sprunggelenks vermieden werden. Als Grundregel sind wir der Meinung, dass wiederholte axiale Belastungen das einfache Körpergewicht nicht überschreiten sollten. Beim Joggen z.B. steigt die Belastung auf das 2- bis 3-fache des Körpergewichts. Aus diesem Grund sind Laufsportarten nach der Implantation einer OSG-Totalendoprothese nicht empfohlen. Ebenso sollten grosse Rotations- und Scherrkräfte vermieden werden. So genannte «Stop and Go»-Sportarten wie Fussball, Basketball, Handball oder Schlagsportarten wie Squash, Badminton und Tennis setzen die Prothese solchen Kräften aus. Tennis im Doppel ist bei lockerer Spielweise jedoch durchaus möglich. Zu empfehlen sind hingegen so genannte «Low impact»-Sportarten wie Schwimmen, Aqua Jogging oder Fahrrad fahren. Wenn auf Sprünge und allzu harte Schläge verzichtet wird, sind Mountainbiken, Windsurfen, Reiten oder auch Skifahren möglich. Empfehlenswerte Aktivitäten sind Wandern, Nordic Walking (Abb. 6), Langlauf und Golf. In unserer Klinik haben wir seit 1999 105 OSG-Totalendoprothesen implantiert. Die Verteilung der sportlichen Aktivitäten der ersten 66 Patienten ist in Tabelle 1 dargestellt.



Abbildung 6: Zu empfehlende Sportart: Nordic Walking.

Sportart	%
Wandern	68%
Schwimmen	68%
Fahrrad	50%
Langlauf	23%
Alpin-Ski	15%
Andere	15%

Tabelle 1: Verteilung der sportlichen Aktivitäten der ersten 66 Patienten..

Nicht nur die Wahl der sportlichen Aktivität ist nach Implantation einer OSG-Totalendoprothese wichtig, sondern auch die vorsichtige Steigerung der Intensität in der Nachbehandlungsphase. Hier ist eine sorgfältige Betreuung der sportlichen Patienten notwendig. Regelmässige klinische und radiologische Verlaufskontrollen sind vor allem im ersten Jahr nach der Implantation wichtig. Man wird auf einen vollständigen Durchbau der Syndesmose achten und auf eine Stabilisierung der Prothesenkomponenten. Besonders wichtig ist auch die Beurteilung der Weichteile. Oft bleiben diese um das obere Sprunggelenk bis zu einem Jahr nach der Implantation der Prothese sehr empfindlich. Durch die Verbesserung der Beweglichkeit im oberen Sprunggelenk wird die Belastung auf die Achilles- und Peronealsehnen oft gesteigert, weshalb Entzündungen in diesem Bereich nicht selten sind. Hier sind vorsichtige und progressive Steigerungen der Belastungen angesagt. Beim Krafttraining wird man am Anfang auf eine isometrische Belastung achten. Um die protektive Funktion der Unterschenkelmuskulatur zu stimulieren, werden gleichzeitig propriozeptive Übungen durchgeführt. Parallel dazu werden lokal antiphlogistische Massnahmen empfohlen, um die «Reaktion» der Weichteile zu lindern. Erst nach dieser ersten Phase der Rehabilitation, welche in der Regel 6 Monaten dauern sollte, wird mit Ausdauertraining und isotonischen Kraftübungen begonnen. Hier sind Schwimmen und Velofahren besonders indiziert. Aquajogging und Nordic Walking sind in dieser Phase ebenfalls empfohlen.

Durch Regelmässigkeit im Training und stetige Progression der Belastungen können nach der Implantation einer OSG-Totalendoprothese erneut diverse sportliche Tätigkeiten durchgeführt werden. Um das bestmögliche Resultat zu erreichen, ist eine enge Zusammenarbeit zwischen Arzt, Physiotherapeut und Patient erforderlich. Im ersten Jahr nach der Implantation machen die Patienten konstant Fortschritte. Um die Lebensdauer der Prothese zu verlängern, ist auch ab dem 2. Jahr eine kontinuierliche optimale Betreuung des sportlichen Patienten durch den Sport-/Hausarzt erforderlich. Wichtig ist es, den Patienten auf eine regelmässige und angepasste sportliche Tätigkeit aufmerksam zu machen. Um die Stellung der Komponenten und den Knochenzustand zu beurteilen, werden in der Regel beim Operateur jährliche klinische und radiologische Verlaufskontrollen durchgeführt. Bei Verdacht auf Lockerung einer Komponente sollten die Kontrollen in engeren

Abständen erfolgen. Bei bestätigter Lockerung muss ein Prothesenwechsel besprochen werden. Wenn dies aufgrund mangelnder Knochenqualität nicht mehr möglich ist, kann immer noch eine Arthrodesis durchgeführt werden.

Korrespondenzadresse:

Dr. med. Patrick Vienne, Leiter Fuss-/Sprunggelenkschirurgie, Orthopädische Universitätsklinik Balgrist, Forchstrasse 340, CH-8008 Zürich, Tel. 01 386 12 77, Fax 01 386 12 79
E-Mail: patrick.vienne@balgrist.ch

Literaturverzeichnis

- 1 American College of Sports Medicine position stand. The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc*, 22(2): 265–274, 1990.
- 2 Bauer G., Kinzl L.: [Arthrodesis of the ankle joint]. *Orthopade*, 25(2): 158–165, 1996.
- 3 Bertrand M., Charissoux J.L., Mabit C., Arnaud J.P.: [Tibio-talar arthrodesis: long term influence on the foot]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*, 87(7): 677–684, 2001.
- 4 Bolton-Maggs B.G., Sudlow R.A., Freeman M.A.: Total ankle arthroplasty. A long-term review of the London Hospital experience. *J Bone Joint Surg Br*, 67(5): 785–790, 1985.
- 5 Buchner M., Sabo D.: Ankle fusion attributable to posttraumatic arthrosis: a long-term followup of 48 patients. *Clin Orthop Relat Res*, (406): 155–164, 2003.
- 6 Buechel F.F., Sr. Buechel F.F., Jr., Pappas M.J.: Ten-year evaluation of cementless Buechel-Pappas meniscal bearing total ankle replacement. *Foot Ankle Int*, 24(6): 462–472, 2003.
- 7 Chandler H.P., Reineck F.T., Wixson R.L., McCarthy J.C.: Total hip replacement in patients younger than thirty years old. A five-year follow-up study. *J Bone Joint Surg Am*, 63(9): 1426–1434, 1981.
- 8 Chou L.B., Mann R.A., Yaszay B., Graves S.C., McPeake W.T., 3rd Dreeben S.M., Horton G.A., Katcherian D.A., Clanton T.O., Miller R.A., Van Manen J.W.: Tibiotalocalcaneal arthrodesis. *Foot Ankle Int*, 21(10): 804–808, 2000.
- 9 Cirincione R.J.: Sports after total joint replacement. *Md Med J*, 45(8): 644–647, 1996.
- 10 Coester L.M., Saltzman C.L., Leupold J., Pontarelli W.: Long-term results following ankle arthrodesis for post-traumatic arthritis. *J Bone Joint Surg Am*, 83-A(2): 219–228, 2001.
- 11 Coetzee J.C., Castro M.D.: Accurate measurement of ankle range of motion after total ankle arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*, (424): 27–31, 2004.
- 12 Dini A.A., Bassett F.H., 3rd: Evaluation of the early result of Smith total ankle replacement. *Clin Orthop Relat Res*, (146): 228–230, 1980.
- 13 Dorr L.D., Luckett M., Conaty J.P.: Total hip arthroplasties in patients younger than 45 years. A nine- to ten-year follow-up study. *Clin Orthop Relat Res*, (260): 215–219, 1990.
- 14 Dorr L.D., Wan Z., Gruen T.: Functional results in total hip replacement in patients 65 years and older. *Clin Orthop Relat Res*, (336): 143–151, 1997.
- 15 Hintermann B.: [Short- and mid-term results with the STAR total ankle prosthesis]. *Orthopade*, 28(9): 792–803, 1999.
- 16 Hintermann B., Nigg B.M.: Influence of arthrodeses on kinematics of the axially loaded ankle complex during dorsiflexion/plantarflexion. *Foot Ankle Int*, 16(10): 633–636, 1995.
- 17 Hintermann B., Valderrabano V., Dereymaeker G., Dick W.: The HINTEGRA ankle: rationale and short-term results of 122 consecutive ankles. *Clin Orthop Relat Res*, (424): 57–68, 2004.
- 18 Kilgus D.J., Dorey F.J., Finerman G.A., Amstutz H.C.: Patient activity, sports participation, and impact loading on the durability of cemented total hip replacements. *Clin Orthop Relat Res*, (269): 25–31, 1991.
- 19 Kirkup J.: Richard Smith ankle arthroplasty. *J R Soc Med*, 78(4): 301–304, 1985.
- 20 Kitaoka H.B., Alexander I.J., Adelaar R.S., Nunley J.A., Myerson M.S., Sanders M.: Clinical rating systems for the ankle-hindfoot, midfoot, hallux, and lesser toes. *Foot Ankle Int*, 15(7): 349–353, 1994.
- 21 Kitaoka H.B., Patzer G.L.: Clinical results of the Mayo total ankle arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am*, 78(11): 1658–1664, 1996.

- 22 Knecht S.I., Estin M., Callaghan J.J., Zimmerman M.B., Alliman K.J., Alvine F.G., Saltzman C.L.: The Agility total ankle arthroplasty. Seven to sixteen-year follow-up. *J Bone Joint Surg Am*, 86-A(6): 1161–1171, 2004.
- 23 Kofoed H.: Cylindrical cemented ankle arthroplasty: a prospective series with long-term follow-up. *Foot Ankle Int*, 16(8): 474–479, 1995.
- 24 Kofoed H., Lundberg-Jensen A.: Ankle arthroplasty in patients younger and older than 50 years: a prospective series with long-term follow-up. *Foot Ankle Int*, 20(8): 501–506, 1999.
- 25 Kofoed H., Sorensen T.S.: Ankle arthroplasty for rheumatoid arthritis and osteoarthritis: prospective long-term study of cemented replacements. *J Bone Joint Surg Br*, 80(2): 328–332, 1998.
- 26 Macnicol M.F., McHardy R., Chalmers J.: Exercise testing before and after hip arthroplasty. *J Bone Joint Surg Br*, 62(3): 326–331, 1980.
- 27 Mann R.A., Rongstad K.M.: Arthrodesis of the ankle: a critical analysis. *Foot Ankle Int*, 19(1): 3–9, 1998.
- 28 Mazur J.M., Schwartz E., Simon S.R.: Ankle arthrodesis. Long-term follow-up with gait analysis. *J Bone Joint Surg Am*, 61(7): 964–975, 1979.
- 29 Morrey B.F., Wiedeman G.P. Jr.: Complications and long-term results of ankle arthrodeses following trauma. *J Bone Joint Surg Am*, 62(5): 777–784, 1980.
- 30 Muir D.C., Amendola A., Saltzman C.L.: Long-term outcome of ankle arthrodesis. *Foot Ankle Clin*, 7(4): 703–708, 2002.
- 31 Neufeld S.K., Lee T.H.: Total ankle arthroplasty: indications, results, and biomechanical rationale. *Am J Orthop*, 29(8): 593–602, 2000.
- 32 Newton S.E.: An artificial ankle joint. *Clin Orthop Relat Res*, (142): 141–145, 1979.
- 33 Pappas M., Buechel F.F., DePalma A.F.: Cylindrical total ankle joint replacement: surgical and biomechanical rationale. *Clin Orthop Relat Res*, (118): 82–92, 1976.
- 34 Pyevich M.T., Saltzman C.L., Callaghan J.J., Alvine F.G.: Total ankle arthroplasty: a unique design. Two to twelve-year follow-up. *J Bone Joint Surg Am*, 80(10): 1410–1420, 1998.
- 35 Said E., Hunka L., Siller T.N.: Where ankle fusion stands today. *J Bone Joint Surg Br*, 60-B(2): 211–214, 1978.
- 36 Schmalzried T.P., Shepherd E.F., Dorey F.J., Jackson W.O., dela Rosa M., Fa'vae F., McKellop H.A., McClung C.D., Martell J., Moreland J.R., Amstutz H.C.: The John Charnley Award. Wear is a function of use, not time. *Clin Orthop Relat Res*, (381): 36–46, 2000.
- 37 Takakura Y., Tanaka Y., Sugimoto K., Akiyama K., Tamai S.: Long-term results of arthrodesis for osteoarthritis of the ankle. *Clin Orthop Relat Res*, (361): 178–185, 1999.
- 38 Waugh T.: Ankle replacement arthroplasty. *Ona J*, 6(1): 15–18, 1979.
- 39 Wu W.L., Su F.C., Cheng Y.M., Huang P.J., Chou Y.L., Chou C.K.: Gait analysis after ankle arthrodesis. *Gait Posture*, 11(1): 54–61, 2000.
- 40 Wulker N., Flamme C.H., Muller A., Wirth C.J.: [10 years follow-up of arthrodeses of the hindfoot joints and upper ankle joint]. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*, 135(6): 509–515, 1997.
- 41 Valderrabano V., Pagenstert G., Horisberger M., Knupp M., Hintermann B.: Sports and Recreation Activity of Ankle Arthritis Patients Before and After Total Ankle Replacement. *Am J Sports Med*, 2006.