

Arthrodesese des unteren Sprunggelenks

Indikation, Technik und Ergebnisse

Indikation

Die Gelenke des unteren Sprunggelenks können einzeln oder gemeinsam aufgrund verschiedener Ursachen destruiert oder schmerzhaft sein. Neben primären Arthrosen sind diese Ursachen sekundärarthrotische Veränderungen nach Frakturen v. a. des Talus und/oder Kalkaneus, als Endzustand verschiedener inflammatorischer Arthritiden wie rheumatoïder Arthritis, seronegativer Spondylarthritis, Kollagenosen usw., aufgrund muskulärer und/oder tenoligamentärer Instabilitäten wie Tibialis-posterior-Sehnen-Ruptur, Poliomyelitis, Charcot-Marie-Tooth-Erkrankung, spastischer und schlaffer Paresen des Unterschenkels und Fußes sowie neuropathischer Veränderungen mit gestörter Tiefensensibilität wie der Charcot-Fuß bei z. B. Diabetes mellitus. Die genannten Erkrankungen führen zu typischen Achsdeformitäten des Rückfußes, die den arthrotischen Destruktionsprozess beschleunigen. So zeigen Kalkaneusfrakturen in der Regel eine Verkürzung und Varisierung des Rückfußes mit Alteration des Längsgewölbes, während die rheumatische Destruktion klassisch zu einem Pes planovalgus mit Valgusstellung des Kalkaneus und medial betonter Abflachung des Längsgewölbes führt. Die letztgenannte Fußfehlstellung kann durch mehrere, auch gemeinsam auftretende, Ursachen bedingt sein. So führen synovitisch bedingte Destruktionen der Fußwurzelbänder, Knorpelverlust der Rückfußgelenke, Erosionen des Talonavikular- und Subtalargelenks sowie

synovitisch bedingte Insuffizienz der Tibialis-posterior-Sehne zu einem Pes planovalgus. Aber auch Erosionen des Talus im oberen Sprunggelenk und ligamentäre Instabilitäten dieses Gelenks können eine solche Fußfehlform verursachen, die manchmal schwer von einer durch die unteren Sprunggelenke verursachten Deformität zu unterscheiden ist.

Präoperative Diagnostik

Unter anderem wegen der verschiedenen möglichen Ursachen der Fußdeformitäten sind immer Röntgenaufnahmen des Fußes und des Sprunggelenks in 2 Ebenen im Stand zu fordern. Schrägaufnahmen des Fußes geben zusätzlich Informationen über den Schweregrad und die Ausbreitung der Arthrose der unteren Sprunggelenke und Chopart- und Lisfranc-Gelenkreihen. Bei Verdacht auf ligamentäre Instabilität des oberen Sprunggelenks sind gehaltene Röntgenaufnahmen indiziert.

Eine Magnetresonanztomographie des Fußes ist bei Verdacht auf Osteonekrosen (meist des Talus), einer Osteitis oder einer Sehnenruptur hilfreich, wobei bei Letztgenannter auch die Sonographie geeignet ist.

Technik

Prinzipielle Bemerkungen

Für die Arthrodesen des unteren Sprunggelenks werden zahlreiche Techniken propagiert. Bezüglich der operativen Zugangswe-

ge zu den einzelnen Gelenken sei auf die einschlägigen Operationslehren verwiesen.

Prinzipiell sind nur die Gelenke zu fusionieren, die dem Patienten Beschwerden verursachen. Bei Unsicherheit kann eine Infiltration mit Lokalanästhetika (ggf. unter Bildwandlerkontrolle) diagnostisch hilfreich sein.

Bei der Auswahl der Arthrodesentechnik muss häufig die zugrunde liegende Erkrankung berücksichtigt werden. So zeigen die Arthrodesen bei Patienten mit rheumatoïder Arthritis generell bei stabiler Fixation eine gute und schnelle Durchbauung [21]. Das Problem liegt in diesen Fällen aber nicht selten in einer stabilen Fixation der zu fusionierenden Knochen. Diese lässt sich u. a. auf einen gesteigerten Turn over des rheumatischen Knochens mit gesteigerter Osteoklastenaktivität und -zahl mit Erhöhung der Resorptionsflächen und des Osteoidanteils zurückführen [2, 37, 40]. Dies hat zur Folge, dass das trabekuläre Knochenvolumen und die mechanische Härte des Knochens reduziert sind [5, 14, 18, 22, 39, 45]. Der Knochen ist, vereinfacht ausgedrückt, weicher und daher das eingebrachte Osteosyntheseimplantat weniger stabil.

Spezifische Arthrodesen

Talonavikulararthrodesese

Sie ist indiziert, wenn das Talonavikulargelenk das einzig destruierte bzw. symptomatische ist (■ Abb. 1). Dies kann bei primären Arthrosen, posttraumatisch nach Talusfrakturen oder bei inflammatorischen Arthritiden der Fall sein. Hierbei



Abb. 1 ▲ Isolierte Arthrose des Talonavikulargelenks

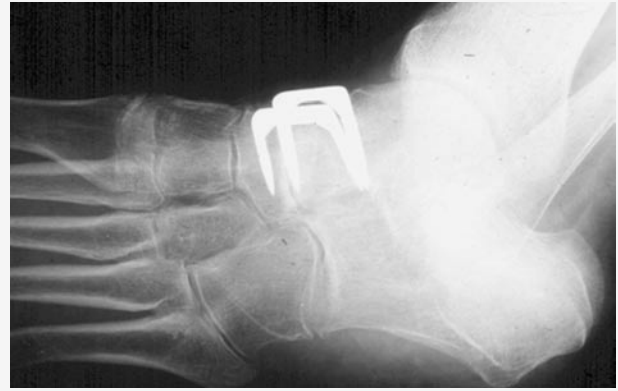


Abb. 2 ▲ Arthrodesese des Talonavikulargelenks mit 2 Blount-Klammern



Abb. 3a–c ▲ Triple-Arthrodesese mit 3 Spongiosaschrauben, a Röntgen OSG a.-p., b Röntgen Fuß seitlich, c Röntgen Fuß a.-p.

bedarf es eines flexiblen oder in Neutralstellung fixierten Rückfußes. Im Umkehrschluss ist eine Talonavikulararthrodesese nicht indiziert, wenn der Rückfuß fixiert in einer Valgus- oder Varusposition steht und somit einer Korrektur bedarf.

In der Regel wird die Arthrodesese nach Entknorpelung und Auffüllung des Substanzdefekts mit autologer Beckenkamm-spongiosa mittels 1 oder 2 Spongiosaschrauben mit distalem Gewinde und Unterlegscheibe durchgeführt. Diese haben generell höhere Fusionsraten gezeigt als die Alternativmethoden mit Stapels oder Klammern (■ Abb. 2). Es können aber auch beide Osteosyntheseverfahren miteinander kombiniert werden.

Postoperativ sind in der Regel eine 6-wöchige Teilbelastung von 10–20 kg in einer Orthese oder im Unterschenkelgips und der schrittweise Belastungsaufbau nach Röntgenkontrolle möglich. Bei intraoperativ schlechterer Primärstabilität des Osteosynthesematerials können eine 6-wöchige Liegegips- und anschließende 6-wöchige Gehgipsbehandlung indiziert sein.

Die Pseudarthrosenrate liegt generell zwischen 3 und 7%, bei Patienten mit rheumatoider Arthritis zwischen 3 und 5% [10, 16, 20, 23].

Subtalararthrodesese

Die isolierte Subtalararthrodesese ist indiziert, wenn es sich um das einzige sympto-

matische Gelenk handelt. Dies ist bei Patienten mit inflammatorischen Arthritiden nur sehr selten der Fall. Weitere Indikationen sind:

- primäre isolierte Arthrose dieses Gelenks,
- posttraumatische Arthrosen nach Talus- und/oder Kalkaneusfrakturen,
- sekundäre Arthrosen bei Osteonekrosen des Taluskorpus (häufig posttraumatisch) und nach muskulärer Insuffizienz (paralytische Deformitäten, Tibialis-posterior-Ruptur).

Darüber hinaus können Residuen kongenitaler Deformitäten (talokalkaneare, talo-

navikulare und kalkaneokuboidale Koalitionen sowie überkorrigierte Klumpfüße) durch eine Subtalararthrodese behandelt werden [9, 19, 25, 27, 32, 34, 47].

Der Vorteil einer isolierten Subtalararthrodese im Vergleich mit der weiter unten aufgeführten Tripelarthrodese liegt in der erhaltenen Beweglichkeit der Chopart-Gelenke, dem hierdurch bedingten geringeren Risiko von Anschlussarthrosen, dem geringeren Operationstrauma und der Vermeidung der Möglichkeit von Pseudarthrosen der Transversalgelenkarthrosen [9, 12, 26, 27].

Die Arthrodesese wird in der Regel nach Entknorpelung der Gelenkflächen und Auffüllung des Sinus tarsi mit autologer Beckenkammspongiosa mit Hilfe von Spongiosaschrauben erzielt, die entweder vom Talushals in den Kalkaneus oder vom Kalkaneus in den Taluskorpus gesetzt werden. Wichtig ist hierbei, dass auf eine korrekte Positionierung des Rückfußes mit 5–10° Valguspositionierung des Kalkaneus geachtet wird. Bei posttraumatischen Fehlstellungen des Kalkaneus nach Kalkaneusfrakturen ist bei Sanders-II- und -III-Frakturen eine aufrichtende, reorientierende Arthrodesese mit trikortikalem Beckenkammspan von dorsal indiziert [7, 41]. Bei einer Sanders-IV-Fraktur mit Translation des Tuberfragments ist in der Regel eine Korrekturosteotomie durch die ehemalige Frakturlinie des Kalkaneus notwendig; eine Sanders-V-Fraktur mit Taluskipfung erfordert eine Korrekturosteotomie des Kalkaneus [31, 46]. Die postoperative Nachbehandlung entspricht der bei Talonavikulararthrosen erwähnten und richtet sich nach der Primärstabilität der Osteosynthese und den notwendigen Korrekturosteotomien.

Im Mittel- und Langzeitverlauf werden für die isolierte Subtalararthrodese in dem modifizierten Score der American Orthopaedic Foot and Ankle Society (maximal 94 Punkte) zwischen 70 und 77 Punkte angegeben [4, 6, 9, 15, 25]. Im Langzeitverlauf fanden Mann et al. [27] in 36% Anschlussarthrosen des oberen Sprunggelenks und in 41% der Transversalgelenke, dagegen Easley et al. [9] nur Anschlussarthrosen in 14% der Fälle, wobei in ihrem Patientengut bereits 34% präoperativ Arthrosen in den Nachbargelenken hatten. Pseudarthrosen werden mit einer Häufig-

Trauma Berufskrankh 2005 · 7[Suppl 1]:S85–S89
DOI 10.1007/s10039-004-0898-1
© Springer-Verlag 2004

B. Fink

Arthrodesese des unteren Sprunggelenks. Indikation, Technik und Ergebnisse

Zusammenfassung

Die Gelenke des unteren Sprunggelenks können einzeln oder gemeinsam aufgrund verschiedener Ursachen destruiert oder schmerzhaft sein. Neben primären Arthrosen sind diese sekundär-arthrotische Veränderungen nach Frakturen v. a. des Talus und/oder Kalkaneus; nach muskulären und/oder tenoligamentären Instabilitäten – wie Tibialis-posterior-Sehnen-Ruptur, Poliomyelitis, Charcot-Marie-Tooth-Erkrankung –; nach spastischen und schlaffen Paresen des Unterschenkels und Fußes; Endzustände verschiedener inflammatorischer Arthritiden, wie rheumatoider Arthritis, seronegativer Spondylarthritis, Kollagenosen usw., sowie neuropathische Veränderungen mit gestörter Tiefensensibilität wie der

Charcot-Fuß bei z. B. Diabetes mellitus. Prinzipiell sind nur die Gelenke zu fusionieren, die dem Patienten Beschwerden verursachen, deutlich arthrotisch oder Bestandteil einer fixierten Fußdeformität sind, da ein möglichst guter Erhalt der Restbeweglichkeit des Fußes Anschlussarthrosen verringern lässt. Unter den Arthrodesetechniken scheinen die Schraubenosteosynthesen gegenüber der Verwendung von Staples oder Klammern den Vorteil zu haben, dass die Pseudarthrosenraten aufgrund der Kompression geringer sind.

Schlüsselwörter

Arthrodesese · Unteres Sprunggelenk · Talonavikular · Subtalar · Triple

Arthrodesis of the hindfoot. Indications, techniques and results

Abstract

Pain in or symptomatic destruction of any number of the joints of the hindfoot can have several causes. As well as primary osteoarthritis, these include secondary arthrotic changes following fractures (especially of the talus and/or calcaneus), muscular and/or tenoligamentous instability (e.g., rupture of the posterior tibialis tendon, poliomyelitis, Charcot-Marie-Tooth disease), spastic and flaccid paresis of the lower leg and foot, late stages of various inflammatory arthritides (rheumatoid arthritis, seronegative spondylarthritis, collagenoses), and neuropathic diseases with impaired depth perception (Charcot disease of the foot in diabetes mel-

litis, for example). As a general policy, only joints that are causing symptoms, are clearly arthrotic, or are involved in a fixed foot deformity should be fused, so that as much of the residual hindfoot motion as possible is preserved. This helps to restrict future osteoarthritis in adjacent joints. The use of screws rather than staples seems to increase the fusion rates because this technique allows compression on the fusion.

Keywords

Arthrodesis · Hindfoot · Talonavicular · Subtalar · Triple

keit zwischen 0 und 29% und im Durchschnitt um die 4% angegeben, wobei sie bei Patienten mit rheumatoider Arthritis selten sind [9, 30, 32, 36]. Als Einflussfaktoren werden Nikotinabusus, Rearthrodesen sowie arthrodesenseitige avaskuläre Knochenareale von mehr als 2 mm Dicke diskutiert [9].

Eine der Hauptursachen für Komplikationen sind das inkorrekte Aligment des Fußes, das durch eine übersehene, präoperativ bereits existierende OSG-Fehlstellung oder operationstechnisch durch eine un- oder überkorrigierte Kalkaneusfehlstellung in Varusposition bedingt sein kann [34]. Die früher verwendete Grice-Arthrodesese mit ausschließlicher Verblockung des Subtalgelenks mit trikortikalem Beckenkammspan ist aufgrund der höheren Pseudarthrosenraten, v. a. bei Platzierung der Späne vor der Belastungslinie des Fußes, wieder verlassen worden [34, 35].

Triple-Arthrodesese

Bei ihr handelt es sich um die gleichzeitige Arthrodesese des Talonavikular-, des Talokalkaneal- und des Kalkaneokuboidalgelenks. Sie ist bei arthrotischen Destruktionen mehrerer, meist aller 3 Rückfußgelenke und zur Korrektur fixierter Rückfußdeformitäten indiziert. Diese kommen meist als Pes planovalgus, Pes equinovarus adductus supinatus excavatus (Klumpfuß), Pes planus und Pes cavus vor und sind meist durch inflammatorische, angeborene, paralytische oder neuromuskuläre Erkrankungen begründet.

Für die Arthrodesese sind in der Regel ein anterolateraler Zugang für das Subtalar- und Kalkaneokuboidalgelenk und ein dorsomedialer Zugang für das Talonavikulargelenk sowie eine dorsale Stichinzision für die Platzierung einer von dorsal kommenden Schraube für das Subtalgelenk notwendig. Bezüglich der detaillierten Operationstechniken sei auf die gängigen Operationslehren verwiesen. Bei der Einstellung der Arthrodesese ist auf die korrekte Positionierung des Kalkaneus in 5–10° Valguspositionierung sowie auf eine Stellung der Transversalgelenke mit Positionierung des Vorfußes in etwa 3° Valguspositionierung zu achten.

Als Arthrodesentechniken kommen in der Regel die Schraubenarthrodesese mit

Verwendung von 3 Spongiosaschrauben (vom Talus in den Kalkaneus, vom Navikulare in den Talus und vom Kuboid in den Kalkaneus, **Abb. 3**), die Verwendung von Staples bzw. Klammern und die Kombination beider Techniken zum Einsatz. Der Vorteil bei der Verwendung von Schrauben im Vergleich zu Klammern liegt darin, dass hiermit eine Kompression auf den Arthrodesenspalt erzielt werden kann, weswegen mittlerweile viele Operateure diese Technik bevorzugen.

Bei der Lambrinudi-Arthrodesese werden Osteotomien zur Korrektur fixierter Fußfehlstellung (meist fixierte Klumpfußdeformitäten) durchgeführt. Es erfolgen eine Osteotomie des inferioren Talus senkrecht zur Tibiaachse, des superioren Kalkaneus parallel zur Fußsohle sowie des distalen Kalkaneus und proximalen Kuboids senkrecht zur Längsachse des Fußes. Nach Schaffung einer Rinne in den inferior-proximalen Bereich des Navikulare erfolgt die Osteosynthese der Arthrodesen bzw. Osteotomieflächen.

Postoperativ wird der Fuß für 12 Wochen in Orthosen oder im Unterschenkelgips ruhig gestellt, wobei innerhalb der ersten 6 Wochen keine oder eine Teilbelastung von etwa 10 kg und hiernach, abhängig vom Röntgenbefund, eine zunehmende Belastung der Extremität erlaubt werden.

Die Ergebnisse der Triple-Arthrodesese sind abhängig von der zugrunde liegenden Erkrankung. So werden für die Korrektur von fixierten Rückfußdeformitäten in bis zu 60% residuale Deformitäten angegeben [29, 44]. Avaskuläre Nekrosen werden mit einer Häufigkeit zwischen 0 und 33% beobachtet, Anschlussarthrosen des oberen Sprunggelenks und v. a. der Lisfranc-Gelenke werden im Langzeitverlauf ebenfalls in diesen Häufigkeiten angegeben [28, 33, 38, 44]. Die Pseudarthrosenraten sind mit 0–15% bei Patienten mit rheumatoider Arthritis seltener als bei anderen Grunderkrankungen, wo sie mit Anteilen zwischen 4,5 und 33% – meist im Talonavikulargelenk – auftreten [1, 3, 8, 13, 33, 38, 42, 44]. Dabei sind die Ursachen in den meisten Fällen operationstechnisch bedingt. So sahen Maenpaa et al. [24] in 57% der Pseudarthrosen die Ursache in einem Malalignement des Rückfußes und Wilson et al. [43] und Friedenber [17] die

Pseudarthrosen meist in einem unzureichenden Knochenkontakt der Arthrodesenflächen (meist talonavikular) bedingt. Sangeorzan et al. [33] und Feiwel u. Cracchiolo [11] berichteten geringere Pseudarthrosenraten bei Schraubenarthrodesen (**Abb. 3**) im Vergleich zur Verwendung von Staples oder Klammern, erwähnen aber in 20–25% der Fälle Druckschmerzen an den Schraubenköpfen.

Double-Arthrodesese

Als Alternative zur Triple-Arthrodesese können bei isolierter Arthrose bzw. Symptomatik des Talonavikular- und Kalkaneokuboidalgelenks diese beiden fusioniert werden. Durch die Talonavikulararthrodesese kommt es dann sekundär zu einer funktionellen Verblockung des Subtalgelenks. Indiziert ist die Double-Arthrodesese bei jüngeren aktiven Patienten mit Rückfußdeformität und fehlender Subtalararthrose, mit Tibialis-posterior-Ruptur und mit rheumatisch bedingter peritalarer Subluxation des Rückfußes. Die operationstechnischen Bedingungen und Positionierung des Rückfußes sowie die postoperative Nachbehandlung entsprechen der der Triple-Arthrodesese.

Fazit für die Praxis

Bei Arthrodesen des unteren Sprunggelenks sind nur die Gelenke zu fusionieren, die symptomatisch sind, eine deutliche Arthrose aufweisen bzw. Bestandteil einer fixierten Fußdeformität des Rückfußes sind. Daher ist die präoperative Diagnostik besonders wichtig. Es sind Röntgenbilder des Fußes in 2 Ebenen und des oberen Sprunggelenks a.-p. im Stand sowie Schrägaufnahmen des Fußes zu fordern. Bei diagnostischer Unsicherheit können lokale Injektionen mit Lokalanästhetika (am besten unter Bildwandlerkontrolle) helfen. Bei den Arthrodesen scheinen die Schraubenarthrodesen gegenüber Klammer- bzw. Staple-Osteosynthesen aufgrund der Möglichkeit einer Kompression zwischen den zu fusionierenden Knochen höhere Fusionsraten zu versprechen. Durch die Entknorpelung entstehende Hohlräume bzw. Substanzdefekte, wie bei der isolierten Talonavikulararthrodesese, sollten mit autologem Beckenkammpongiosa aufgefüllt werden.

Korrespondierender Autor

Prof. Dr. B. Fink

Klinik für Endoprothetik, Allgemeine
und Rheumaorthopädie,
Orthopädische Klinik Markgröningen,
Kurt-Lindemann-Weg 10, 71706 Markgröningen
E-Mail: b.fink@okm.de

Interessenkonflikt: Keine Angaben

Literatur

- Adam W, Ranawat C (1976) Arthrodesis of the hindfoot in rheumatoid arthritis. *Orthop Clin North Am* 7: 827–840
- Akesson K, Östen I, Obrant KJ (1994) Periarticular bone in rheumatoid arthritis versus athrosis. Histomorphometry in 103 hip biopsies. *Acta Orthop Scand* 65: 135–138
- Angus PD, Lowell HR (1986) Triple arthrodesis: a critical long-term review. *J Bone Joint Surg Br* 68: 260–265
- Bednarz PA, Beals TC, Manoli A II (1997) Subtalar distraction bone block fusion: an assessment of outcomes. *Foot Ankle Int* 18: 785–791
- Bogoch ER, Moran EL (1999) Bone abnormalities in the surgical treatment of patients with rheumatoid arthritis. *Clin Orthop* 366: 8–21
- Burton DC, Olney BW, Horton GA (1998) Late results of subtalar distraction fusion. *Foot Ankle Int* 19: 197–202
- Carr JB, Hansen ST Jr, Benirschke S (1988) Subtalar distraction bone block fusion for late complications of os calcis fractures. *Foot Ankle* 9: 81–86
- Cracchiolo A, Pearson S, Kitaoka K et al. (1990) Hindfoot arthrodesis in adults utilizing a dowel graft technique. *Clin Orthop* 257: 193–203
- Easley ME, Trnka HJ, Schon LC et al. (2000) Isolated subtalar arthrodesis. *J Bone Joint Surg Am* 82: 613–624
- Elboar JE, Thomas WK, Weinfeld MS et al. (1976) Talonavicular arthrodesis for rheumatoid arthritis of the hindfoot. *Orthop Clin North Am* 7: 821–826
- Feiwell K, Cracchiolo A (1991) Affects of internal fixation on hindfoot arthrodesis. *American Orthopaedic Foot and Ankle Society, Summer Meeting, Boston, July 25–28*
- Fellmann J, Zollinger H (1996) Versteifungseingriffe am unteren Sprunggelenk – wechselnde Konzepte im Wandel der Zeit. *Z Orthop Ihre Grenzgeb* 134: 341–345
- Figgie MP, O'Malley MJ, Ranawat C et al. (1993) Triple arthrodesis in rheumatoid arthritis. *Clin Orthop* 292: 250–254
- Finlay JB, Bourne RB, Krämer WJ et al. (1989) Stiffness of bone underlying the tibial plateau of osteoarthritic and normal knees. *Clin Orthop* 247: 193–201
- Flemister A, Dolmen J, Sanders R et al. (1998) Subtalar arthrodesis for complications in intra-articular calcaneal fractures. *American Orthopaedic Foot and Ankle Society, Summer Meeting, Boston, July 25–28*
- Fogel GR, Katoh Y, Rand JA et al. (1982) Talo-navicular arthrodesis for isolated arthrosis: 9.5 year results and gait analysis. *Foot Ankle* 3: 105–113
- Friedenberg ZB (1948) Arthrodesis of the tarsal bones: a study of failure of fusions. *Arch Surg* 57: 162–169
- Joffe I, Epstein S (1991) Osteoporosis associated with rheumatoid arthritis: pathogenesis and management. *Semin Arthritis Rheum* 20: 256–272
- Kalamachi A, Evans JG (1977) Posterior subtalar fusion: a preliminary report on a modified Gallie procedure. *J Bone Joint Surg Br* 59: 287–289
- Kindsfater K, Wilson MG, Thomas WH (1997) Management of the rheumatoid hindfoot with special reference to talonavicular arthrodesis. *Clin Orthop* 340: 69–74
- Kobus RJ, Turner RH (1990) Wrist arthrodesis for treatment of rheumatoid arthritis. *J Hand Surg [Am]* 15: 541–546
- Kroger H, Amala I, Rehnberg V et al. (1994) Histomorphometry of periarticular bone in rheumatoid arthritis. *Ann Chir Gynaecol* 83: 56–62
- Ljung P, Kaij J, Knutson K et al. (1992) Talonavicular arthrodesis in rheumatoid foot. *Foot Ankle* 13: 313–316
- Maenpaa H, Lehto MU, Belt EA (2001) What went wrong in triple arthrodesis? An analysis of failures in 21 patients. *Clin Orthop* 391: 218–223
- Mangone PG, Fleming LL, Fleming SS et al. (1997) Treatment of acquired adult planovalgus deformities with subtalar fusion. *Clin Orthop* 341: 106–112
- Mann RA, Baumgarten M (1988) Subtalar fusion for isolated subtalar disorders. *Clin Orthop* 226: 260–265
- Mann RA, Beamean DN, Horton GA (1998) Isolated subtalar arthrodesis. *Foot Ankle Int* 19: 511–519
- Marek FM, Schien AJ (1945) Aseptic necrosis of the astragalus following arthrodesing procedures of the tarsus. *J Bone Joint Surg Am* 27: 587–593
- Patterson RL, Parrish FF, Hathaway EN (1950) Stabilization operations of the foot. A study of the indications, techniques used, and end results. *J Bone Joint Surg Am* 32: 1–26
- Pirani SP, Tredwell SJ, Beauchamp RD (1990) Extra-articular subtalar arthrodesis: the dowel method. *J Pediatr Orthop* 10: 244–247
- Romash MM (1993) Reconstructive osteotomy of the calcaneus with subtalar arthrodesis for malunited calcaneal fractures. *Clin Orthop* 290: 157–167
- Russotti GM, Cass JR, Johnson KA (1988) Isolated talocalcaneal arthrodesis. *J Bone Joint Surg Am* 70: 1472–1478
- Sangeorzan BJ, Smith D, Veith R et al. (1993) Triple arthrodesis using internal fixation in treatment of adult foot disorders. *Clin Orthop* 294: 299–307
- Scott SM, Janes PC, Stevens PM (1988) Grice subtalar arthrodesis followed to skeletal maturity. *J Pediatr Orthop* 8: 176–183
- Scranton PE (1991) Results of arthrodesis of the tarsus: talocalcaneal, midtarsal and subtalar joint. *Foot Ankle* 12: 156–164
- Shereff MJ (1994) In: Johnson KA (ed) *The foot and ankle*. Raven Press, New York
- Shimizu S, Shiozawa S, Shiozawa K et al. (1985) Quantitative histologic studies on the pathogenesis of periarticular osteoporosis in rheumatoid arthritis. *Arthritis Rheum* 28: 25–31
- Southwell RB, Sherman FC (1981) Triple arthrodesis: a long term study with force plate analysis. *Foot Ankle* 2: 15–21
- Stulberg BN, Bauer TW, Watson JT et al. (1989) Bone quality. Roentgenographic versus histologic assessment of hip bone structure. *Clin Orthop* 240: 200–205
- Takashima T, Kawai K, Hirohata K et al. (1989) Inflammatory cell changes in haversian canals. A possible cause of osteoporosis in rheumatoid arthritis. *J Bone Joint Surg Br* 71: 671–676
- Trnka HJ, Easley ME, Lam PW et al. (2001) Subtalar distraction bone block arthrodesis. *J Bone Joint Surg Br* 83: 849–854
- Wetmore RS, Drennan JC (1989) Long-term results of triple arthrodesis in Charcot-Marie-Tooth disease. *J Bone Joint Surg Am* 71: 417–423
- Wilson FC Jr, Gardener EF, Lamotte P et al. (1965) Triple arthrodesis. *J Bone Joint Surg* 1965: 340–347
- Wukich DK, Bowen JR (1989) Long term study of triple arthrodesis for correction of pes cavovarus in Charcot-Marie-Tooth disease. *J Pediatr Orthop* 9: 433–439
- Yang JP, Bogoch ER, Woodside TD et al. (1997) Stiffness of trabecular bone of the tibial plateau in patients with rheumatoid arthritis of the knee. *J Arthroplasty* 12: 798–803
- Zwipp H (1994) *Chirurgie des Fußes*. Springer, Berlin Heidelberg New York
- Zwipp H, Rammelt S (2003) Posttraumatische Korrekturoperationen am Fuß. *Zentralbl Chir* 7: 147–173