

족근 관절 관절염에서 족관절 유합술의 결과: 전방 도달법과 경비골 도달법 비교

박치형, 이준영, 정연주

조선대학교 의과대학 조선대학교병원 정형외과학교실

Ankle Arthrodesis Outcomes in Ankle Osteoarthritis: Comparison between Anterior Approach and Transfibular Approach

Chi Hyoung Pak, Jun Young Lee, Yeon Joo Jeong

Department of Orthopaedic Surgery, Chosun University Hospital, Chosun University College of Medicine, Gwangju, Korea

Purpose: The purpose of this study was to compare the clinical and radiologic results of arthrodesis between anterior approach and transfibular approach arthrodesis in ankle arthritis.

Materials and Methods: There were 61 cases of ankle arthritis treated by anterior or transfibular ankle arthrodesis in our hospital from April 2008 to March 2012. We investigated 29 cases (27 patients) who underwent ankle arthrodesis with an anterior approach (15 cases) and transfibular approach (14 cases), and were followed for over two years. Clinically, American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) ankle-hindfoot score, pain visual analogue scale (VAS), and subjective satisfaction degrees were evaluated. In addition, ankle coronal and sagittal alignments were evaluated using plain radiographs at 6 and 24 months, postoperatively.

Results: Clinically, preoperative mean AOFAS score and VAS was 41.3 and 6.4, and were changed to 58.9 and 3.3 postoperatively in the anterior approach group. In the transfibular approach group, preoperative mean AOFAS score was 36.6 and VAS was 7.1, and they were changed to 54.9 and 3.4 postoperatively. However, no significant differences in the clinical results were observed between the two groups ($p=0.297$). Duration of attaining union was 8.1 weeks in the anterior approach group and 10.4 weeks in the transfibular approach group. Complications were delayed union in one case, nonunion in three cases, cancellous screw breakage in three cases, and complex regional reflex syndrome in one case.

Conclusion: After transfibular ankle arthrodesis as treatment of ankle osteoarthritis, the tendency for valgus angulation of the ankle at the final follow-up was observed and 6.5 mm cancellous screw breakage occurred frequently. Therefore, in order to achieve better stability, it is necessary to use 6.5 mm cannulated screws rather than 6.5 mm cancellous screws for ankle arthrodesis.

Key Words: Ankle, Osteoarthritis, Arthrodesis, Anterior approach, Transfibular approach

서론

Received October 6, 2014 Revised October 31, 2014 Accepted October 31, 2014

Corresponding Author: Jun Young Lee

Department of Orthopaedic Surgery, Chosun University Hospital, 365 Pilmun-daero, Dong-gu, Gwangju 501-717, Korea

Tel: 82-62-220-3147, Fax: 82-62-226-3379, E-mail: leejy88@chosun.ac.kr

Financial support: This study was supported by research fund from Chosun University Hospital, 2013.

Conflict of interest: None.

족근 관절 유합술은 족근 관절 관절염을 해결하는 가장 흔한 방법 중의 하나다. 이러한 족근 관절 유합술 후 과거에는 상당히 불유합이 많다고 하였으나, 최근에는 뼈를 서로 잘 닿게 하고 압박고정 및 수술 후 고정을 하면 불유합이 10% 이내인 것으로 보고되었다. 수술 방법으로는 약 40여 가지 이상의 다양한 방법이 제시되어 있는데 90% 정도의 비슷한 유합 성공률을 보고하고 있다.¹⁻⁴⁾ 고정

방법의 경우 간단하며 유합 부위에 압박력을 가할 수 있는 압박 나사 고정법이 가장 널리 이용되는 방법이다.^{3,5)} 접근 방법도 다양하지만 전방 도달법과 경비골 도달법이 많이 사용되고 있다. 일반적으로 경비골 도달법이 전방 도달법에 비해 노출이 쉽고 전측 피관을 이용하므로 피부문제 발생 가능성이 낮아 합병증이 적을 것으로 생각하지만^{6,7)} 다른 문헌에서는 오히려 경비골 도달법에서 창상의 변연 괴사 및 창상열개 등의 발생률이 0%~15%로 높게 보고되고 있다.⁸⁻¹⁰⁾ 현재 족근 관절 관절염의 치료인 족근 관절 유합술의 관혈적 접근법으로 전방 도달법과 경비골 도달법의 비교 연구 결과는 많지 않은 실정으로, 전방 도달법과 외과 희생 경비골 도달법에 따른 임상적 및 방사선학적 결과와 합병증 등에 대하여 비교해 보고자 하였다.

대상 및 방법

1. 연구 대상

2008년 4월부터 2012년 3월까지 본원에서 족근 관절 관절염에 대하여 전방 도달법과 경비골 도달법을 이용한 족근 관절 유합술을 시행받은 환자 61예 중, 최소 2년 이상 추시가 가능하였던 29예(27명)를 대상으로 하였다. 전방 도달법은 15예(14명), 경비골 도달법은 14예(13명)였으며 총 29예 중 남자가 14명, 여자가 15명이었다. 연령은 38세에서 78세까지로 평균 연령은 62.1세였으며 추시 기간은 평균 35.4개월(25~56개월)이었다. 6.5 mm 해면골 나사(DePuy Synthes, Oberdorf, Switzerland)를 사용한 경우는 전방 도

달법 15예 중 6예, 경비골 도달법 14예 중 6예였으며 그 외에는 유관 나사를 이용하여 고정하였다. 수술 후 6개월, 수술 후 24개월에 족근 관절 외반, 굴곡의 방사선학적 평가를 분석하였고 수술 후의 American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) 족근 관절-후족부 점수와 visual analogue scale (VAS) 통증 점수를 이용한 임상적 평가와 합병증에 대하여 조사하였다. 본 연구의 진행 계획과 환자 자료 분석에 대해 본 병원의 임상연구윤리위원회(institutional review board)의 승인을 받았다.

2. 수술 방법 및 술 후 처치

전방 도달법을 이용한 관절 고정술은 척추 또는 전신 마취하에 앙와위 상태에서 지혈대를 시행한 후 족근 관절을 중심으로 약 10 cm의 절개를 통한 전방 도달법을 이용하여 관절면을 노출시켰다. 그 후 원위 경골 및 거골의 관절면을 절골기(osteotome)와 소파기(curret)를 이용하여 남아 있는 연골을 제거하여 연골하골을 노출시켰다. 1.6 mm K-강선으로 관절면에 대해 다발성으로 천공을 하여 연골하골에서 출혈이 되는 것으로 확인한 후 장골능에서 절취한 관절면 크기의 이식골을 삽입하였다. 중립 신전위, 외반 5도, 외회전 5도, 후족부를 후방으로 전이한 상태에서 6.5 mm 유관나사(Solco, Pyeongtaek, Korea) 혹은 해면골 나사를 내과에서 2개, 외과에서 1개를 경골의 장축에 대해 45도 각도로 거골체 방향으로 유도판을 따라 압박을 주면서 고정하였다(Fig. 1).

경비골 도달법의 경우 비골 원위부를 중심으로 약 10 cm의 중절개를 가한 후 연부조직을 박리하였다. 이후 원위 비골 끝의 근위



Figure 1. (A) Preoperative standing radiograph shows medial compartment ankle osteoarthritis. Ankle arthrodesis was performed with anterior approach using three cannulated screws (B, anteroposterior view; C, lateral view). (D) Last follow-up radiograph shows complete bony union without breakage or loosening.

부 6 cm 부위에서 사선형으로 절골술을 가하여 절제하고 후방으로 젖힌 후 관절면을 노출시켰다. 비골에서 채취한 자가 이식골로 골 이식을 시행한 후 거골 외측에서 2개, 경골 외측에서 1개의 나사를 경골의 장축에 45도 각도로 압박을 주면서 관절 고정술을 시행하였다. 수술 후 골유합을 확인한 후 석고 붕대를 제거하고 체중부하 보행을 시행하였다.

3. 평가 방법

임상적 평가는 AOFAS 점수와 VAS를 통하여 시행하였으며 AOFAS 점수의 경우 총점은 100점 만점이나 족근 관절 유합술을 받은 환자의 경우 족근 관절의 운동이 없어지기 때문에 86점을 가장 높

은 점수로 하였다. 방사선학적 평가는 수술 후 각각 6개월, 24개월에 기립 상태에서 족근 관절의 고정 위치를 측정하였고, 추가로 족근 관절 외반 정도를 측정하기 위해 카세트 위에서 선 채로 후방에서 바닥에 대해 45도의 입사각으로 촬영하는 장 축상 촬영법(long axial view)으로 측정하였다(Fig. 2).¹¹⁾ 관절의 유합은 전후면 및 측면 방사선 사진상 족근 관절면의 50% 이상에서 골소주가 연결되면 유합되었다고 판단하였다.¹²⁾ 족근 관절 유합술에서 지연유합과 불유합의 정의에 대해 정설화되어 있지는 않으나, 본 연구에서는 지연유합은 통증 등의 증상과 함께 방사선 추시상 6개월 이상 유합의 증가가 보이지 않는 경우, 불유합은 12개월 이상 지속될 때로 정의하였다.^{8,13,14)} 주관적 만족도는 5점을 만점, 1점을 최소점으로 기록하였다. 전 예의 임상적, 방사선학적 결과뿐 아니라 전방 도달법 군과 비골 도달법 군 간에 AOFAS 점수, VAS, 주관적 만족도, 족근 관절 외반 정도, 유합 기간의 유의한 차이가 있는지를 t-test와 repeated measured ANOVA (SPSS Statistics version 17.0; IBM Co., Armonk, NY, USA)를 이용하여 분석하였다.

결 과

전체 29예의 평균 추시 기간은 평균 35.4개월(25~56개월)이었다. 임상적 평가상 본 연구 전체의 관절 유합술의 경우 수술 전 AOFAS 점수는 평균 39점(4~62점)에서 수술 후 최종 추시 시 평균 57점(18~79점)으로 호전되었으며, VAS는 평균 6.7점에서 3.3점으로 호전되었다. 각각의 접근법에 따른 AOFAS 점수의 경우 전방 도달법은 수술 전 41.3점(14~62점)에서 수술 후 58.9점(34~79점)으로, 경비골 도달법은 수술 전 36.6점(4~53점)에서 수술 후 54.9점(28~72점)으로 증가하였으나 두 군 간 통계적으로 유의한 차이는 없었다($p=0.297$). VAS의 경우 전방 도달법은 수술 전 6.4점(4~8점)에서 수술 후 3.3점(0~8점)으로, 경비골 도달법은 수술 전 7.1점(6~8점)에서 수술 후 3.4점(1~8점)으로 호전되었으나 마찬가지로 두 군 간 통계적으로 유의한 차이는 없었다($p=0.429$). 수술 전 만족도의 경우 전방 도달법은 수술 전 2.5점(1~3점)에서 수술 후 3.2점(1~5점)으로, 경비골 도달법은 수술 전 2.4점(1~3점)에서 수술 후 3.2점(2~5점)으로 증가하였으나 두 군 간 통계적으로 유의한 차이는 없었다($p=0.859$).

방사선학적 평가상 26예에서 골유합을 얻었고 골유합까지의 기간은 6주에서 40주 사이로 평균 9주였으며 전방 도달법에서 8.1주(6~12주), 경비골 도달법에서 10.4주(6~40주)의 결과를 보였다. 전방 도달법 군의 수술 후 6개월 외반은 평균 -3.8° ($-8^\circ \sim 4^\circ$), 수술 후 24개월 외반은 평균 -4.8° ($-26^\circ \sim 4^\circ$)로 평균 1도 내반되는 경향을 보였고, 경비골 도달법 군의 경우 수술 후 6개월 외반은 평균 -1.1° ($-7^\circ \sim 6^\circ$), 수술 후 24개월 외반은 평균 1.9° ($-7^\circ \sim 13^\circ$)로 평균 3도의 외반 경향을 보여 통계적으로 유의한 차이를 보였다($p=0.05$). 또한 경비골 도달법 14예 중 해면골 나사를 사용한



Figure 2. Measurement method for the long axial view. We defined the mid-diaphyseal axis of the tibia by bisecting the tibia into two mid-diaphyseal points (lines a and b) 30 mm apart and extending the line distally (line e). The mid-diaphyseal axis of the calcaneus is defined by a line through two points in the calcaneus. At a distance of 7 mm from the most distal part of the calcaneus, a horizontal line is drawn (line d). Line d is divided into a 40%:60% ratio, where the length of the 40% line is measured from the lateral side. A second line (line c) is drawn horizontally, 30 mm from the most distal part of the calcaneus. The calcaneus axis (line f) is drawn by connecting the 40% mark at line d and the bisected line c. The hindfoot angle (g) is the angle between lines e and f. Revised from the article of Reilingh, et al. (Skeletal Radiol. 2010;39:1103-8).¹¹⁾

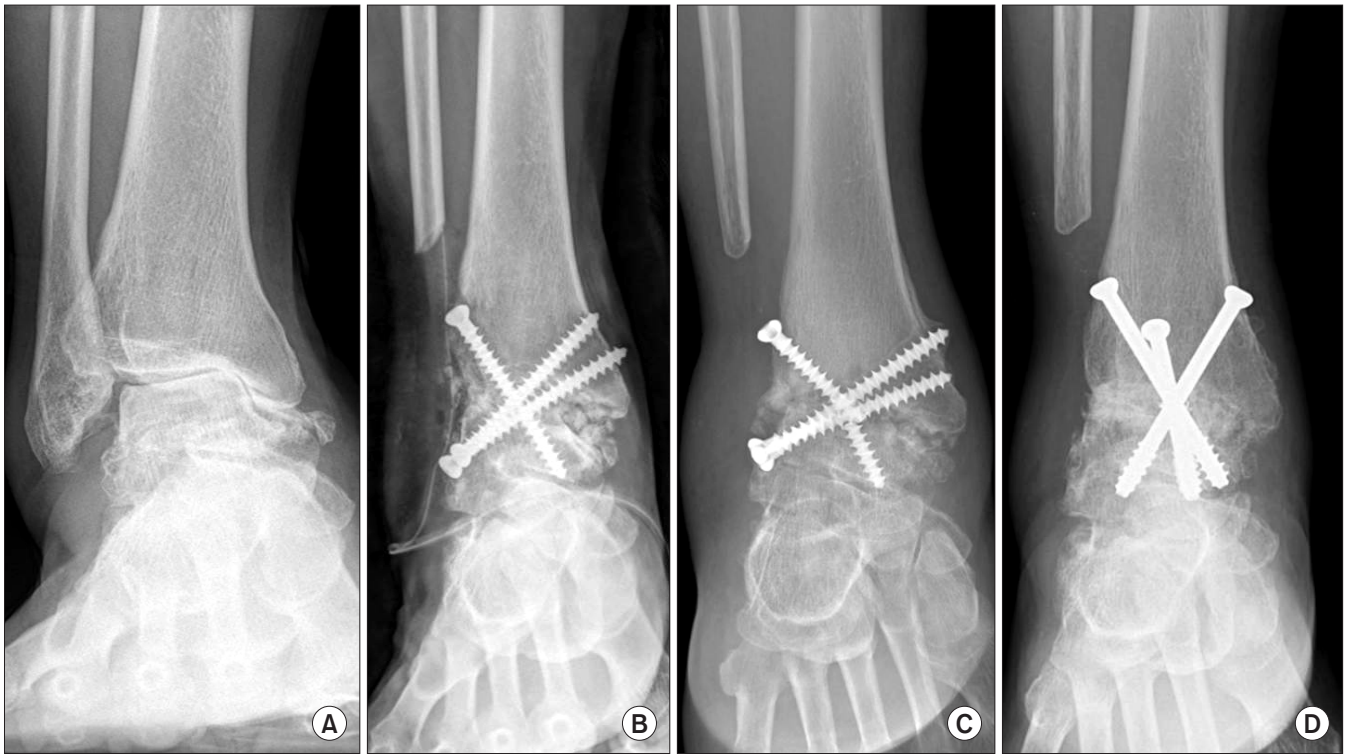


Figure 3. (A) Preoperative standing radiograph shows medial compartment ankle osteoarthritis. (B) Ankle arthrodesis was performed with trans-fibular approach using three cancellous screws. (C) Follow-up radiograph shows breakage of cancellous screws and valgus tibiotalar alignment. (D) Revision arthrodesis with cannulated screws was performed and bony union was evident 2 months after surgery.

6예 중 3예에서 해면골 나사의 파단과 함께 불유합 소견이 관찰되었으나(Fig. 3), 전방 도달법은 해면골 나사를 사용한 6예 모두 파단은 발생하지 않았다. 합병증으로 경비골 도달법에서 지연유합 1예, 해면골 나사의 파단을 동반한 불유합 3예가 발생하였으며 전방 도달법은 복합 부위 통증 증후군 1예가 발생하였으나 창상열개 및 감염, 신경혈관 손상 등의 합병증은 관찰되지 않았다.

고 찰

족근 관절 고정술은 다양한 수술 방법이 제시되어 있는데 수술 기법상 크게 관절경적 고정술, 최소 관절 절개에 의한 고정술, 경비골 접근에 의한 고정술, 전방 접근에 의한 고정술의 4가지로 나누어지며, 견고한 고정이 가능하다면 어떤 방법을 사용하든지 90% 정도의 유합 성공률을 보고하고 있다.¹⁻⁴⁾ Campbell 등¹⁵⁾이 시도한 장무지 신전건과 장족지 신전건 사이를 통한 접근법이 주로 이용되고 있으나 족배 동맥과 심부 비골 신경 손상, 창상열개 등의 위험성이 높다고 알려져 있다. 그러나 창상열개의 경우 전방 접근법은 0%~5%,^{6,7)} 경비골 도달법은 0%~15%로 차이가 없거나 오히려 경비골 도달법에서 약간 많은 것으로 보고되고 있다.⁸⁻¹⁰⁾ 본 연구에서는 두 군 모두 창상열개, 감염 및 신경손상에 의한 증상 등의 합병증은 없었다. 경비골 도달법은 Adams¹⁶⁾가 족근 관절 고정술에 처음으로 이용하였으며 창상 치유의 지연이나 신경 손상 등의 문

제점이 적고 수술 시야가 매우 좋아 변형의 교정이 용이하다. 또한 연골하골을 최소한으로 제거할 수 있다는 점과 상합적 관절 모양을 유지하여 단축을 최소화하고 넓은 접촉 면적을 얻어 안정성을 증가시킬 수 있다는 장점이 있다.^{9,17,18)} 또한 경비골 도달법은 외과 보존 혹은 외과 희생의 두 가지로 나눌 수 있으며 전자의 경우 외과를 보존함으로써 추가적인 안정성을 얻을 수 있고, 후방 피판을 통해 혈액 순환을 유지하고 골흡수를 줄여 유합률이 높고 미용학적으로 이점을 얻을 수 있는 장점이 있다.²⁾ 후자의 경우는 외과 절제 후 절제골에서 해면골을 채취하여 관절 내에 이식함으로써 장골 등에서 추가적인 골이식이 필요 없이 유합 성공의 가능성을 높이지만 미용적으로는 만족도가 낮은 것으로 보고되고 있다.¹⁸⁾ 본 연구에서의 유합률은 전방 도달법에서 100%, 외과 희생 경비골 도달법에서 79%를 보였고, 평균 유합 기간은 전방 도달법에서 8.1주, 경비골 도달법에서 10.4주의 결과를 보였다. AOFAS 점수 ($p=0.297$)와 통증 정도인 VAS ($p=0.429$)는 수술 후 두 군 모두 향상되었으나 통계적으로 유의한 차이는 없었다.

관절의 고정은 외고정과 내고정이 있으며^{3,19)} 내고정의 경우 주로 삼중 래그 나사 기법(triple lag screw technique)을 이용하여 3개의 6.5 mm나 7.0 mm의 유관 나사를 이용해 압박 기법으로 고정하거나 6.5 mm 해면골 나사를 이용해 고정할 수도 있다.²⁰⁾ 나사골(core)은 나사의 강도를 제공하며, 나사산(thread)은 나사의 기능과 쥐는 힘(purchase)을 제공하고, 나사의 크기를 나타내는 지름은

Table 1. Tensile and Flexion Strength for Cancellous and Cannulated Screws

	Cancellous screw	Cannulated screw
Cross section	7.06	12.56
Flexion strength	2.65 σ	10.67 σ
Tensile strength	7.06 σ	12.56 σ

Cross section (A) = $\frac{\pi d^2}{4}$ (mm²), flexion strength = $\frac{\sigma \cdot I_x}{y}$, tensile strength = $\sigma \times A$, d: diameter, σ : allowable stress, I_x : geometrical moment of inertia ($\frac{\pi d^4}{64}$), y: radius.

로 사용된다.²¹⁾ 해면골 나사는 나사산 간격이 크고 외경이 커서 골 간단부의 해면골을 많이 질 수 있는 장점이 있다.²¹⁾ 유관 나사는 원통형으로 같은 크기의 나사산을 가지는 해면골 나사보다 굽힘에 대한 저항이 크다는 장점이 알려져 있다. 또한 고정하기 전 가이드 핀을 이용하여 정확한 위치와 고정 상태를 방사선적으로 손쉽게 평가하여 나사를 고정하는 동안 위치의 변동 없이 원하는 고정 상태를 유지할 수 있고, 나사산이 원위부에만 있어 압박력을 가할 수 있다는 장점이 있다.²²⁾ 본 연구에서 사용한 6.5 mm 해면골 나사와 6.5 mm 유관 나사의 재질은 티타늄으로 동일하며 직경 또한 6.5 mm로 동일하나, 해면골 나사의 나사골 지름은 3 mm이고 유관 나사는 원통형으로 골 지름은 5 mm, 빈 공간의 지름은 3 mm이다. 나사의 파단에 영향을 미치는 인자로는 인장 강도와 굽힘 강도가 있으며, 동일 외경(6.5 mm)인 경우 인장 강도는 유관나사가 해면골 나사보다 약 1.8배로 강하며 굽힘 강도는 약 4배 정도로 강하다(Table 1). 본 연구에서도 전방 도달법 15예 중 6예에서 6.5 mm 해면골 나사를 사용하였는데 나사의 파단이나 불유합은 보이지 않았으나, 경비골 도달법 14예에서 해면골 나사를 사용한 6예 중 3예에서 해면골 나사의 파단과 함께 불유합 소견이 관찰되었다. 이는 경비골 도달법의 경우 평균 3도의 외반되는 경향과 함께 강도가 약한 해면골 나사를 사용함에 따라 나사의 파단이 더 잘 발생하는 것으로 생각된다.

관절 유합술의 장기적인 문제 중 가장 큰 문제점 중 하나는 족근 관절 주위의 다른 관절들에 퇴행성 관절염이 발생하는 것이다. 몇몇 문헌에서 족근 관절 고정 후 10년 이상의 장기 추시상 주변 관절의 퇴행성 변화를 야기하는 것으로 보고하고 있다.^{23,24)} 그러나 본 연구에서 추시 기간은 평균 35.4개월(25~56개월)로 비교적 짧아서 인접관절의 퇴행성 변화는 관찰되지 않아 장기 추시가 필요한 점이 본 연구의 제한점 중 하나이다. 또 다른 제한점으로 증례 수가 적으며, 후향적 연구라는 점을 들 수 있다. 추후 보다 많은 증례를 통한 장기적이고 전향적인 분석이 뒤따라야 할 것으로 생각된다.

결론

족근 관절 관절염의 치료로서 전방 도달법 이용한 족근 관절 고정술은 외과 희생 경비골 도달법에 비해 유합 기간 및 임상적으로 더 나은 결과를 보였으며, 특히 외과 희생 경비골 도달법은 방사선적 최종 추시 시 외반되는 경향을 보여 수술 시 외과 희생 경비골 도달법을 이용하는 경우 이점에 대해 재고할 필요가 있을 것으로 생각된다. 또한 같은 사이즈의 나사를 사용하는 경우 해면골 나사는 유관 나사보다 인장강도 및 굽힘 강도가 약해 파단이 잘 일어나므로 족근 관절 유합술 시에는 유관 나사를 이용하는 것이 좋을 것으로 생각된다.

REFERENCES

1. Raikin SM. Arthrodesis of the ankle: arthroscopic, mini-open, and open techniques. *Foot Ankle Clin.* 2003;8:347-59.
2. Akra GA, Middleton A, Adedapo AO, Port A, Finn P. Outcome of ankle arthrodesis using a transfibular approach. *J Foot Ankle Surg.* 2010;49:508-12.
3. Stranks GJ, Cecil T, Jeffery IT. Anterior ankle arthrodesis with cross-screw fixation. A dowel graft method used in 20 cases. *J Bone Joint Surg Br.* 1994;76:943-6.
4. Gordon D, Zicker R, Cullen N, Singh D. Open ankle arthrodeses via an anterior approach. *Foot Ankle Int.* 2013;34:386-91.
5. Maurer RC, Cimino WR, Cox CV, Satow GK. Transarticular cross-screw fixation. A technique of ankle arthrodesis. *Clin Orthop Relat Res.* 1991;(268):56-64.
6. Chen YJ, Huang TJ, Shih HN, Hsu KY, Hsu RW. Ankle arthrodesis with cross screw fixation. Good results in 36/40 cases followed 3-7 years. *Acta Orthop Scand.* 1996;67:473-8.
7. Zwipp H, Rammelt S, Endres T, Heineck J. High union rates and function scores at midterm followup with ankle arthrodesis using a four screw technique. *Clin Orthop Relat Res.* 2010;468:958-68.
8. Monroe MT, Beals TC, Manoli A 2nd. Clinical outcome of arthrodesis of the ankle using rigid internal fixation with cancellous screws. *Foot Ankle Int.* 1999;20:227-31.
9. Mann RA, Rongstad KM. Arthrodesis of the ankle: a critical analysis. *Foot Ankle Int.* 1998;19:3-9.
10. Colman AB, Pomeroy GC. Transfibular ankle arthrodesis with rigid internal fixation: an assessment of outcome. *Foot Ankle Int.* 2007;28:303-7.
11. Reilingh ML, Beimers L, Tuijthof GJ, Stufkens SA, Maas M, van Dijk CN. Measuring hindfoot alignment radiographically: the long axial view is more reliable than the hindfoot alignment view. *Skeletal Radiol.* 2010;39:1103-8.
12. Holt ES, Hansen ST, Mayo KA, Sangeorzan BJ. Ankle arthrodesis using internal screw fixation. *Clin Orthop Relat Res.* 1991;(268):21-8.
13. Kennedy JG, Hodgkins CW, Brodsky A, Bohne WH. Outcomes after standardized screw fixation technique of ankle arthrodesis. *Clin Orthop Relat Res.* 2006;447:112-8.

14. **Nielsen KK, Linde F, Jensen NC.** *The outcome of arthroscopic and open surgery ankle arthrodesis: a comparative retrospective study on 107 patients.* *Foot Ankle Surg.* 2008;14:153-7.
15. **Campbell CJ, Rinehart WT, Kalenak A.** *Arthrodesis of the ankle. Deep autogenous inlay grafts with maximum cancellous-bone apposition.* *J Bone Joint Surg Am.* 1974;56:63-70.
16. **Adams JC.** *Arthrodesis of the ankle joint: experiences with the transfibular approach.* *J Bone Joint Surg Br.* 1948;30B:506-11.
17. **Mann RA, Van Manen JW, Wapner K, Martin J.** *Ankle fusion.* *Clin Orthop Relat Res.* 1991;(268):49-55.
18. **Wang GJ, Shen WJ, McLaughlin RE, Stamp WG.** *Transfibular compression arthrodesis of the ankle joint.* *Clin Orthop Relat Res.* 1993;(289):223-7.
19. **Moeckel BH, Patterson BM, Inglis AE, Sculco TP.** *Ankle arthrodesis. A comparison of internal and external fixation.* *Clin Orthop Relat Res.* 1991;(268):78-83.
20. **O'Brien TS, Hart TS, Shereff MJ, Stone J, Johnson J.** *Open versus arthroscopic ankle arthrodesis: a comparative study.* *Foot Ankle Int.* 1999;20:368-74.
21. **Schutz M, Ruedi TP.** *Principles of internal fixation.* In: Tornetta P 3rd, Rockwood CA, editors. *Rockwood & Green fractures in adults.* 8th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2014. p.195-226.
22. **Kish G, Eberhart R, King T, Holzaepfel JL, Pollock T.** *Ankle arthrodesis placement of cannulated screws.* *Foot Ankle.* 1993;14:223-4.
23. **Coester LM, Saltzman CL, Leupold J, Pontarelli W.** *Long-term results following ankle arthrodesis for post-traumatic arthritis.* *J Bone Joint Surg Am.* 2001;83:219-28.
24. **Muir DC, Amendola A, Saltzman CL.** *Long-term outcome of ankle arthrodesis.* *Foot Ankle Clin.* 2002;7:703-8.