



경거골유합술 후 발생하는 불유합과 관련된 인자에 대한 분석

이준영, 김보선, 이정우

조선대학교 의과대학 정형외과학교실

Analysis about Associated Factors of Nonunion Following Tibiotalar Arthrodesis

Jun Young Lee, Bo Sun Kim, Jung Woo Lee

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

Purpose: The aim of this study was to analyze the factors related to nonunion in tibiotalar arthrodesis.

Materials and Methods: Eighty cases of ankle arthritis treated with tibiotalar arthrodesis in our hospital from November 2008 to November 2015 with more than one year follow up were analyzed. Simple anteroposterior and lateral radiographs after 6 and 12 months of surgery were analyzed. Union was defined as more than 50% connection of the trabecular bone at the ankle joint surface in the anteroposterior and lateral radiographs. The nonunion group was defined as no signs of union with persistent pain 9 months after surgery. The surgical approach, type of used screw, preoperative and postoperative ankle alignment, body mass index (BMI), bone mineral density, and patients' prior history were compared between the two groups.

Results: There were 69 union cases and 11 nonunion cases. In the patient factors, the gender and BMI was related to nonunion ($p < 0.05$). The mean preoperative and postoperative ankle alignment in the nonunion group was $9.93^\circ \pm 6.92^\circ$ and $5.43^\circ \pm 3.35^\circ$ respectively, and $9.80^\circ \pm 7.55^\circ$ and $5.63^\circ \pm 3.45^\circ$ in the union group, respectively; the difference was not statistically significant ($p > 0.05$). In the technical factors, the transfibular approach showed a better relationship but the association was not significant ($p < 0.05$). In 40 cases of the transfibular approach, 12 cases used cancellous screws, and 4 cases showed nonunion due to screw breakage.

Conclusion: Technical factors, such as the surgical approach and the type of screw used can be a risk factor in nonunion. In addition, patients' factors, such as gender and BMI, must be considered to reduce the nonunion rate.

Key Words: Arthrodesis, Nonunion

서론

족관절은 원위 경골 천정과 비골이 거골과 관절면을 이루는 관절로서 이 부위에 관절염이 발생하면 통증 및 족관절 관절면의 부조화, 관절 운동 제한 등을 야기할 수 있다. 고관절 및 슬관절과는

대조적으로 대부분의 족관절 관절염은 후외상성으로 발생하며 연골손상 및 인대 부전증 등의 원인에 의한다.¹⁾ 족근 관절 유합술은 족근 관절 관절염을 해결하는 좋은 방법 중 하나이다. 고정 방법의 경우 간단하며 유합 부위에 압박력을 가할 수 있는 압박 나사 고정법이 가장 널리 이용되는 방법이다.^{2,3)} 접근 방법으로도 다양한 방법이 있지만 전방 도달법과 경비골 도달법이 많이 사용되고 있다. 이러한 족근 관절 유합술 후 과거에 상당히 불유합이 많았으나, 최근의 수술기법 발달과 압박고정 및 수술 후 고정을 통하여 불유합률이 10% 이내로 보고되고 있다.^{1,3,5)} 그럼에도 불구하고 족근 관절 유합술의 불유합은 지속적인 보고가 이루어지고 있는 상태로 불유합에 있어 영향을 끼치는 인자들을 비교분석함으로써 불유합 예방에 도움을 주고자 하였다.

Received May 19, 2017 Revised July 13, 2017 Accepted July 21, 2017

Corresponding Author: Jun Young Lee
Department of Orthopaedic Surgery, Chosun University Hospital, 365 Pilmun-daero, Dong-gu, Gwangju 61453, 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, 2016.

Conflict of interest: None.

Copyright ©2017 Korean Foot and Ankle Society. All rights reserved.

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

대상 및 방법

본 연구는 본원 연구윤리심의위원회의 승인하에 후향적 연구를 시행하였다. 2008년 11월부터 2015년 11월까지의 본원에서 족근 관절 관절염에 대하여 전방 도달법과 경비골 도달법을 이용한 족근 관절 유합술을 시행 받은 80예 중 전방 도달법은 40예, 경비골 도달법은 40예였다. 수술적 도달법의 선택은 수술자와 환자의 합의를 통하여 이루어졌으며, 60세 이상의 경우에는 경비골 도달법을 추천하였고, 60세 미만의 경우에는 전방 도달법을 추천하였다. 총 80예 중 남자가 40예, 여자가 40예였다. 연령은 30세에서 76세까지로 평균 연령은 60.5세였으며 추시 기간은 평균 17.4개월(12~70개월)이었다. 6.5 mm 해면골 나사(DePuy Synthes, Oberdorf, Switzerland)를 단독으로 사용한 경우는 10예였으며 68예는 6.5



Figure 1. Preoperative standing anteroposterior radiographs showing ankle alignment which is defined as the angle between the anatomical axis of the tibia (α) and a line drawn perpendicular to the talar dome (β).

mm 유관 나사(Solco, Pyeongtaek, Korea)를 이용하여 고정하였고 2예에서 두 나사를 복합해서 사용하였다. 수술 전 환자의 과거력 및 체질량지수(body mass index, BMI), 골밀도 검사(bone mineral density) 결과를 확인하였고 수술 전 방사선학적 평가로 전후면 단순 방사선 검사에서 발목의 변형을 측정하기 위하여 경골의 해부학적 축과 거골원개에 수직이 되는 선 사이의 각도를 측정하였다(Fig. 1). 수술 후 American Orthopaedic Foot and Ankle Society (AOFAS) 족근관절-후족부 점수와 visual analogue scale (VAS) 통증 점수를 이용한 임상적 평가와 합병증 유무 및 종류에 대하여 조사하였고, 수술 직후 전후면 단순 방사선 검사에서 변형 교정 후의 축을 수술 전과 마찬가지로 방법으로 측정하였다.

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 노출시킴으로써 이루어졌다. 그 후 원위 경골 및 거골의 관절면의 남아 있는 연골을 절골기(osteotome)와 소파기(curret)를 이용하여 제거하여 연골하골을 노출시켰다. 1.6 mm K-강선(Kirschner wire)으로 관절면에 대해 다발성으로 천공을 하여 연골하골에서 출혈이 되는 것을 확인한 후 장골능에서 절취한 관절면 크기의 지주골 이식을 전에서 시행하였다. 중립 신전위, 외반 5도, 외회전 10도에서 6.5 mm 유관 나사(Solco) 혹은 해면골 나사를 내과에서 2개, 외과에서 1개를 경골의 장축에 대해 45도 각도로 거골체 방향으로 유도핀을 따라 압박을 주면서 고정하였다. 상황에 따라 외과에서 2개의 나사를 이용한 고정술을 시행하였다(Fig. 2).

경비골 도달법의 경우 비골 원위부를 중심으로 약 10 cm의 종절개를 가한 후 연부조직을 박리하였다. 이후 원위 비골 끝의 근위부 6 cm 부위에서 사선형으로 절골술을 가하여 절제하여 외과를 희생시킨 후 관절면을 노출시켰다. 비골에서 채취한 자가 이식골로 지주골이식을 시행한 후 거골 외측에서 2개, 경골 외측에서 1개의 나사를 경골의 장축에 45도 각도로 압박을 주면서 관절 고정술을 시행하였다(Fig. 3).

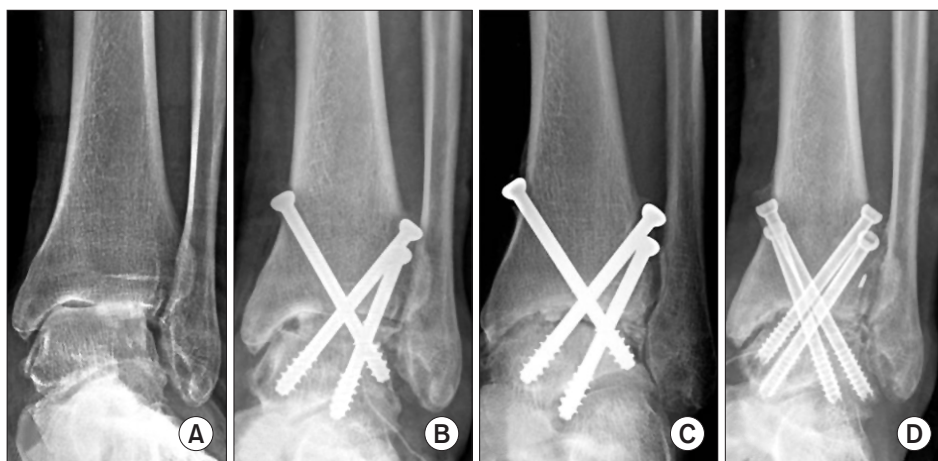


Figure 2. (A) Preoperative standing radiograph shows lateral compartment ankle osteoarthritis. (B) Ankle arthrodesis was performed with anterior approach using three cannulated screws. (C) Nonunion occurs after 12 month of first operation. (D) Revision operation with 4 cannulated screw was done.

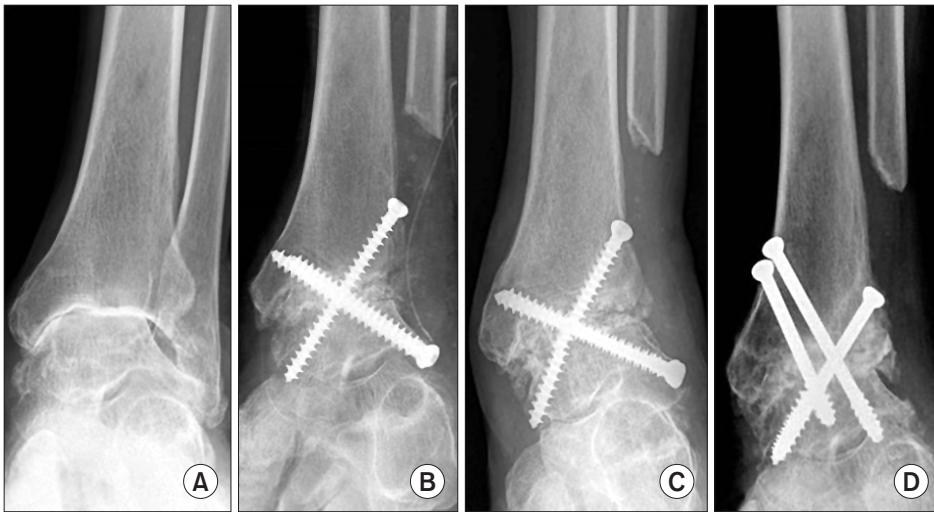


Figure 3. (A) Preoperative standing radiograph shows medial compartment ankle osteoarthritis. (B) Ankle arthrodesis was performed with transfibular approach using three cancellous screws. (C) Follow-up radiograph shows breakage of cancellous screws and valgus tibiotalar alignment. (D) Revision arthrodesis with cannulated screws was performed and bony union was evident 12 months after surgery.

두 도달법 모두에서 8주 후 수술 후 골유합 정도를 확인하고 골유합이 진행되는 경우 석고붕대를 제거하고 보조기 착용하 체중부하 보행을 시행하였다.

임상적 평가는 AOFAS와 VAS를 통하여 시행하였으며 AOFAS의 경우 총점은 100점 만점이나 족근 관절 유합술을 받은 환자의 경우 족근 관절의 운동이 없어지기 때문에 86점을 가장 높은 점수로 하였다. 수술 후 방사선학적 평가로 관절의 유합은 전후면 및 측면 방사선 사진상 족근관절면의 50% 이상에서 골소주가 연결되면 유합되었다고 판단하였다.⁶⁾ 족근 관절 유합술에서 불유합의 정의에 대해 정설화되어 있지는 않으나, 본 연구에서 불유합은 통증 등의 증상을 동반하면서 9개월 이상 지속될 때로 정의하였다.⁷⁻⁹⁾ 전 예의 임상적, 방사선학적 결과뿐 아니라 불유합군, 유합군의 최종 추시 시 AOFAS, VAS, 유합 기간의 유의한 차이 유무를 통계프로그램 (SPSS Statistics version 17.0; SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하여 t-test를 시행해 분석하였다.

결 과

전체 80예의 평균 추시 기간은 평균 17.4개월(12~70개월)이었다. 총 80예의 수술에서 유합군은 69예, 불유합군은 11예로 확인되었다.

본 연구에서는 이전 족근 관절 골절의 과거력이 있는 경우 발생한 관절염을 외상 후 관절염으로 판단하였고, 불유합이 발생한 11명의 환자군에서 일차적 관절염이 8예, 외상 후 관절염이 3예로 확인되었다.

임상적 평가상 본 연구 전체의 관절 유합술의 경우 수술 전 AOFAS는 평균 53.64점(30~66점)에서 수술 후 최종 추시 시 평균 70.73점(53~80점)으로 호전되었으며, VAS는 평균 7.12점에서 4.58점으로 호전되었다. 불유합군의 경우 재유합술 시행 전의 최종경과와 재수술 후 경과를 각각 따로 평가하였다. AOFAS의 경우

Table 1. VAS and AOFAS of the Nonunion and Union Groups

Variable	Union (n=69)	Nonunion (n=11)	p-value*
VAS			
Preoperative	7.19±1.01	7.00±0.63	0.404
Prerevision	-	6.88±0.97	
Last follow-up	4.58±1.86	3.91±0.83	0.056
p-value [†]	<0.001	<0.001	
AOFAS score			
Preoperative	53.30±9.33	55.45±8.20	0.473
Prerevision	-	50.95±7.65	
Last follow-up	70.34±7.48	73.18±3.31	0.044
p-value [‡]	<0.001	<0.001	

Values are presented as mean±standard deviation.

VAS: visual analogue scale, AOFAS: American Orthopaedic Foot and Ankle Society.

*By independent t-test, [†]By paired t-test, [‡]Wilcoxon signed rank test.

불유합군은 수술 전 55.45점, 재유합술 시행 전 50.95점, 재수술 후 73.18점으로 평가되었고, 유합군은 수술 전 53.30점에서 수술 후 70.34점으로 증가하여 두 군 모두 최종적으로 좋은 결과를 보이며 통계적으로 유의한 차이를 보였다(p=0.044). VAS의 경우 불유합군은 수술 전 7.00점, 재유합술 시행 전 6.88점, 재수술 후 3.91점으로, 유합군은 수술 전 7.19점에서 수술 후 4.58점으로 호전되었으나 두 군 간 통계적으로 유의한 차이는 없었다(p=0.056; Table 1).

족관절 변형의 정도를 측정하기 위한 수술 전·후 측정된 전후면 단순 방사선 검사에서 불유합군의 족관절 축의 변형은 술 전 $9.93^{\circ} \pm 6.92^{\circ}$ 에서 술 후 $5.43^{\circ} \pm 3.35^{\circ}$ 로 교정되었고, 유합군의 축의 변형은 술 전 $9.80^{\circ} \pm 7.55^{\circ}$ 에서 술 후 $5.63^{\circ} \pm 3.45^{\circ}$ 로 교정되었으며, 수술 전·후에서 모두 통계적으로 유의한 차이를 보이지는 않았다(술 전 p=0.957, 술 후 p=0.871; Table 2).

수술적 도달법에 따라서는 전방 도달법을 시행한 40예 중 2예(5.0%)에서 불유합이 발생하였고, 경비골 도달법을 시행한 40예 중 9예(22.5%)에서 불유합이 발생하여 통계적으로 유의한 차이가

Table 2. Mean Difference of the Nonunion and Union Groups

Variable	Union (n=69)	Nonunion (n=11)	p-value*
Age (yr)	59.75±11.91	65.18±9.45	0.155
Angulation (°)			
Preoperative	9.80±7.55	9.93±6.92	0.957
Postoperative	5.63±3.45	5.43±3.35	0.871
No. of screws	3.00±0.00	2.91±0.37	0.057
BMI (kg/m ²)	25.20±2.76	28.52±0.52	<0.001

Values are presented as mean±standard deviation.
 BMI: body mass index.
 *By independent t-test.

있었다(p=0.048; Table 3).

환자군의 나이, 기저질환 등은 통계적으로 유의한 차이를 보이지 않았다. 하지만 성별에 있어 남성에서 더 통계적으로 유의한 상관관계를 보였다(p=0.048). BMI는 불유합군에서 평균 28.52, 유합군에서 평균 25.20으로 통계적으로 유의한 차이를 보였다(p<0.001; Tables 2, 3).

창상열개 및 천부 감염의 경우 8예에서 발생하였으며, 복합 부위 통증 증후군 1예가 발생하였다. 신경혈관 손상 등의 합병증은 관찰되지 않았다.

고 찰

족근 관절 유합술은 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.^{1,3,5)} 불유합 외에도 부정유합, 고정소실, 거골하 관절염, 패혈증, 창상열개 등의 부작용이 나타날 수 있다.

이전의 연구 결과들에 따르면 족근 관절 유합술 시행 이후 60% 까지 부작용을 확인할 수 있다.¹⁰⁻¹³⁾ 이런 부작용은 미용적 흉터 부작용에서부터 통증으로 인한 슬관절하 절단술까지 정도가 다양하다.¹⁴⁾ Morrey와 Wiedeman¹¹⁾은 창상감염(23%), 그리고 불유합(23%)이 가장 흔한 부작용이라고 명시하였다. 그 외에 수술적 정복의 소실(15%), 부정유합(12%), 지연 유합(7%) 등이 뒤를 이었다.

성공적인 족근 관절 유합술은 65%~100%까지 보고되고 있다.¹⁰⁻¹³⁾ Scranton¹⁵⁾은 성공적인 족근 관절 유합술을 얻기 위해서는 족근 관절 유합 부위의 적절한 압박과 골이식술의 사용과 같은 중요한 몇 가지 수술적 방법이 있다고 하였다. 이와 더불어 Holt 등⁶⁾은 경직도, 이전 거골의 골절 여부, 수술 전 거골하관절 유합술이나 삼중 관절고정술이나 이전 감염 여부 등 수술 전 환자 요소들이 지연유합 및 불유합을 일으킨다고 생각하였다.

본 연구의 결과에서는 불유합이 발생한 11명의 환자군에서 일

Table 3. Variables of the Nonunion and Union Groups

Variable	Union (n=69)	Nonunion (n=11)	p-value*
Sex			
Male	31 (44.9)	9 (81.8)	0.048
Female	38 (55.1)	2 (18.2)	
Cause			
Primary OA	35 (50.7)	8 (72.7)	0.051
Post traumatic OA	34 (49.3)	3 (27.3)	
Approach			
Anterior approach	38/40 (95.0)	2/40 (5.0)	0.048
Transfibular	31/40 (77.5)	9/40 (22.5)	
Alignment			
<10°	41 (59.4)	4 (36.4)	>0.800
≥10°	28 (40.6)	7 (63.6)	
BMI			
<25 kg/m ²	30 (43.5)	0 (0)	0.005
≥25 kg/m ²	39 (56.5)	11 (100)	

Values are presented as number (%).
 OA: osteoarthritis, BMI: body mass index.
 *By chi-square test (Fisher's exact test).

차적 관절염이 8예, 외상 후 관절염이 3예 확인되었다. 이전의 연구에서 보면 외상 후 관절염에서 더욱 많은 불유합이 있다는 것이 보고된 바 있다.¹³⁾ 하지만 본 연구에서는 일차적 관절염에서의 불유합 증례가 더 많았고, 이는 족관절의 일차적 관절염이 있을 경우 슬관절이나 고관절 등 다른 관절에서도 관절염이 발생할 가능성이 비교적 높아¹⁶⁾ 이로 인한 비정상적 생역학적 하중으로 인한 것으로 추측되나, 이에 대하여는 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

환자적 인자를 확인하여 보았을 때 다른 요소에서는 상관관계를 보이지 않았지만 불유합에 있어서 비만인자인 BMI와(p<0.001) 남성에서(p=0.048) 유의한 상관관계를 보였다. 이는 비만인 환자에서 체중부하 시 족관절에 많은 하중이 가해짐으로써 위험요소가 될 수가 있겠고 남성의 경우 여성보다 활동성이 더 많고 힘조가 잘 되지 않아 체중부하의 횟수 증가 또는 조기 체중부하가 이루어져 위험요소로 작용할 수 있을 것으로 보인다.

경비골 도달법은 Adams¹⁷⁾가 족근 관절 고정술에 처음으로 이용하였으며, 창상 치유의 지연이나 신경 손상 등의 문제점이 적고 수술 시야가 매우 좋아 변형의 교정이 용이하다는 장점이 있다. 또한 연골하골을 최소한으로 제거할 수 있다는 점과 상합적 관절 모양을 유지하여 단축을 최소화하고 넓은 접촉 면적을 얻어 안정성을 증가시킬 수 있다.¹⁸⁾ 하지만 본 연구에서의 불유합률은 전방 도달법에서 5.0%, 외과 희생 경비골 도달법에서 22.5%를 보였고, 통계적으로도 경비골 도달법이 불유합과 더 관계가 있음을 알 수 있었다(p=0.048). 이는 본 연구에서 경비골 도달법 시 외과 희생을 하는 방법을 사용했고 이에 위반되는 경향을 보여 불유합이 발생했을 것으로 추정된다.

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 수 있다.²⁰⁾ 나사골

Table 4. Tensile and Flexion Strength for Cancellous and Cannulated Screws

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

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

(core)은 나사의 강도를 제공하고, 나사산(thread)은 나사의 기공과 쥐는 힘(purchase)을 제공하며, 나사의 크기를 나타내는 지름으로 사용된다.²¹⁾ 해면골 나사는 나사산 간격이 크고 외경이 커서 골간단부의 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 동일하고 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 유관 나사가 해면골 나사보다 약 1.8배로 강하며 굽힘 강도는 약 4배 정도로 강하다(Table 4).²³⁾

본 연구에서는 경비골 도달법 40예 중 12예에서 해면골 나사를 사용하였고, 10예에서만 해면골 나사를 단독으로 사용하였으며 이 중 4예에서 해면골 나사의 파단과 함께 불유합 소견이 관찰되었다. 이는 강도가 약한 해면골 나사를 사용함에 따라 나사의 파단이 더 잘 발생한 것으로 생각된다. 불유합군에서 유관 나사를 이용한 나머지 7예에서는 파단을 동반한 불유합 소견은 확인되지 않았으며 이는 다른 원인에 의한 불유합으로 보인다.

나사의 개수에 따라서도 유합률에 영향을 끼칠 수가 있다. Ogilvie-Harris 등²⁴⁾은 생역학 연구에서 3개의 나사를 사용하는 경우가 2개의 나사를 사용하는 경우보다 압박력과 회전력에 대한 저항력이 높다고 하였다. 또한 Goetzmann 등²⁵⁾은 관절경하 족관절 유합술을 시행하였을 때 2개의 나사를 이용한 경우 84%의 유합률, 3개의 나사를 이용하였을 때 94.4%의 유합률을 얻을 수 있었다고 하였다. 본 연구에서는 유합군에서 평균 3.00±0.00개의 나사를 사용하였고 불유합군에서 평균 2.91±0.37개의 나사를 사용하였으며 p=0.057로 통계적으로 유의하지는 않았으나, 0.05값에 가까워 어

는 정도의 연관성이 있다고 생각해 볼 수가 있었다.

본 연구의 제한점으로 증례의 수가 적으며, 후향적 연구라는 점을 들 수 있다. 추후 보다 많은 증례를 통한 장기적이고 전향적인 분석이 뒤따라야 할 것으로 생각된다.

결론

족관 관절 유합술은 통증 및 불안정성을 보이는 족관 관절 관절염의 치료로서 좋은 치료방법이다. 불유합은 이 술기에 있어 치명적인 부작용 중 하나로 이는 비만, 성별, 조기보행 등의 환자적 요인과 관련이 있을 것으로 보인다. 또한 같은 사이즈의 나사를 사용하는 경우 해면골 나사는 유관 나사보다 인장강도 및 굽힘 강도가 약해 파단이 잘 일어나므로 족관 관절 유합술 시에는 유관 나사의 이용을 고려하는 것이 불유합률을 줄이는 데 도움이 될 것이라고 생각한다.

REFERENCES

- Gordon D, Zicker R, Cullen N, Singh D. Open ankle arthrodeses via an anterior approach. *Foot Ankle Int.* 2013;34:386-91.
- 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.
- 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.
- Raikin SM. Arthrodesis of the ankle: arthroscopic, mini-open, and open techniques. *Foot Ankle Clin.* 2003;8:347-59.
- 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.
- Holt ES, Hansen ST, Mayo KA, Sangeorzan BJ. Ankle arthrodesis using internal screw fixation. *Clin Orthop Relat Res.* 1991;(268):21-8.
- 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.
- 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.
- 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.
- Charnley J. Compression arthrodesis of the ankle and shoulder. *J Bone Joint Surg Br.* 1951;33B:180-91.
- Morrey BF, Wiedeman GP Jr. Complications and long-term results of ankle arthrodeses following trauma. *J Bone Joint Surg Am.* 1980;62:777-84.
- Kenzora JE, Simmons SC, Burgess AR, Edwards CC. External fixation arthrodesis of the ankle joint following trauma. *Foot Ankle.* 1986;7:49-61.

13. Frey C, Halikus NM, Vu-Rose T, Ebramzadeh E. A review of ankle arthrodesis: predisposing factors to nonunion. *Foot Ankle Int.* 1994;15:581-4.
14. White AA 3rd. A precision posterior ankle fusion. *Clin Orthop Relat Res.* 1974;(98):239-50.
15. Scranton PE Jr. Use of internal compression in arthrodesis of the ankle. *J Bone Joint Surg Am.* 1985;67:550-5.
16. Loughlin J. Genetic epidemiology of primary osteoarthritis. *Curr Opin Rheumatol.* 2001;13:111-6.
17. Adams JC. Arthrodesis of the ankle joint; experiences with the transfibular approach. *J Bone Joint Surg Br.* 1948;30B:506-11.
18. Mann RA, Rongstad KM. Arthrodesis of the ankle: a critical analysis. *Foot Ankle Int.* 1998;19:3-9.
19. Wang GJ, Shen WJ, McLaughlin RE, Stamp WG. Transfibular compression arthrodesis of the ankle joint. *Clin Orthop Relat Res.* 1993;(289):223-7.
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: Bucholz RW, Heckman JD, Court-Brown CM, Tornetta P III, editors. *Rockwood and Green's fractures in adults.* 7th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2010. p.162-90.
22. Kish G, Eberhart R, King T, Holzaepfel JL, Pollock T. Ankle arthrodesis placement of cannulated screws. *Foot Ankle.* 1993;14:223-4.
23. Pak CH, Lee JY, Jeong YJ. Ankle arthrodesis outcomes in ankle osteoarthritis: comparison between anterior approach and transfibular approach. *J Korean Foot Ankle Soc.* 2014;18:189-94.
24. Ogilvie-Harris DJ, Lieberman I, Fitsialos D. Arthroscopically assisted arthrodesis for osteoarthrotic ankles. *J Bone Joint Surg Am.* 1993;75:1167-74.
25. Goetzmann T, Molé D, Jullion S, Roche O, Sirveaux F, Jacquot A. Influence of fixation with two vs. three screws on union of arthroscopic tibio-talar arthrodesis: comparative radiographic study of 111 cases. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2016;102:651-6.