족관절 인공관절 치환술

성 기 선

성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 정형외과

Total ankle arthroplasty

Ki-Sun Sung, MD

Department of Orthopedic Surgery, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul, Korea

For end-stage ankle arthritis, either arthrodesis or total ankle arthroplasty is a available surgical option. With the failure of earlier generation of arthroplasty, arthrodesis has been the gold standard. However, there are some considerable weaknesses of the arthrodesis. Current total ankle arthroplasty is presently an effective surgical treatment for end-stage ankle arthritis with much improvement. The goals of surgery are to decrease pain, preserve range of motion, and eventually improve the patient's quality of life. Recent literatures on total ankle arthroplasty has shown successful long-term clinical results due to the innovation of second-generation implants, including more anatomic concepts and designs. For successful outcomes, a thorough evaluation of the entire lower limb alignment, deformities of the foot and ankle, and proper selection of patients are very important. Nevertheless, complications, such as wound problems, osteolysis, gutter pain or impingement, infection, loosening, and others, may occur. In this review, we provide a summary of the current research on total ankle arthroplasty.

Key Words: Ankle joint; Arthritis; Ankle replacement arthroplasty

서론

족관절 유합술은 오랫동안 말기 족관절 관절염의 표준치료로 여겨졌다. 족관절 유합술은 말기 족관절 관절염의 효과적인 치료방법이지만 수술 후 관절운동이 제한되고 인접 관절에 접촉 압력을 증가시켜 장기간 추시관찰 시 거골하 관절과 거주상관절에 관절염이 발생하는 것이 보고되었다[1]. 최근에는 치환물의 디자인과 생존율이 개선되면서 말기 족관절 관절염의 치료로 족관절 전치환술이 많이 행해지고 있다

[2]. 족관절 전치환술에 쓰이는 치환물은 크게 1세대, 2세대, 3세대로 분류할 수 있고 3세대 치환물 디자인이 출시된 후 다수의 연구에서 중장기 추시관찰 시 좋은 결과를 보고하고 있다[3-5]. 수술 후 성공적인 결과를 얻기 위해 적절한 환자를 선택하는 것이 중요하다. 이런 노력에도 불구하고 수술 중 골절, 수술 후 골흡수, 감염 등의 합병증으로 추가적인 수술적 치료가 필요할 수 있다.

족관절 치환물의 역사

1970년대에 사용됐던 제1세대 치환물은 강한 구속형으로 시멘트를 사용하는 형태가 주를 이루었다. 치환물 자체의 결합은 안정적이어서 아탈구나 삽입물간의 충돌이 일어날 가능성이 적었지만 삽입물이 두껍고 시멘트를 도포하기 위하

Received: May 22, 2020 Accepted: August 6, 2020

Corresponding author: Ki-Sun Sung

E-mail: kisun.sung@samsung.com

© Korean Medical Association

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

여 골을 과도하게 절삭하게 되어 골조직의 약화를 초래하였다. 또한 발목관절의 해부생리에 대한 이해부족으로 치환물의 형태와 기능 원리가 정상과 달라서, 치환술 후 발목관절 회전의 중심이 변화하면서 골조직에 가해지는 부하가 증가하여 치환물의 해리가 발생하였다. 이에 대부분의 제1세대 인공관절 치환술은 실패하여 임상현장에서 퇴장하게 된다.

이러한 전세대의 실패를 바탕으로 1990년대에 제2세대 치환물이 다시 등장하였는데, 반구속형으로 폴리에틸렌 삽입물이 경골삽입물에 고정된 형태인 2부품으로 이루어진 반구속형인 Agility (Depuy, New Brunswick, NJ, USA)가 여기에 해당된다. 치환물은 티타늄과 폴리에틸렌 인서트로 이루어진 경골 구조물과 다공성의 코발트-크롬 거골 구조물로 이루어져 있다. 경골 구조물의 안정성을 얻기 위해 원위경비인대결합 유합술을 시행하는 것이 특징이다[6]. 제3세대 치환물은 폴리에틸렌이 가동형이고 시멘트를 사용하지 않는 형태로 3개 구조물로 이루어져 있다. 골 절삭을 최소화하고 구조물을 삽입한 후 해부학적인 균형이 필요하며 인대들이 안정성에 중요하다. Scandinavian Total Ankle Replacement (STAR; Waldemar Link, Hamburg, Germany), Buechel-Pappas (Endotec, South Orange, NJ, USA), Hintegra (Newdeal, Lyon, France), Salto (Integra, Plainsboro, NJ, USA) 등이 해당된다[7].

최근에는 수술의 완성도를 높이기 위하여 환자 맞춤형 수술도구가 개발되었는데, 이는 수술 전 컴퓨터단층촬영을 통해 골 절삭 정도, 치환물의 위치, 치환물의 크기 등을 미리 계획하여 정확한 정렬을 얻고 수술시간을 감소시키는 장점이 있다고 알려져 있다[8]. Escudero 등[9]에 의하면 환자 맞춤형 수술도구(Prophecy, INFINITY Preoperative Navigation system; Wright, Memphis, TN, USA)를 사용하여 수술을 시행한 군과 표준 도구를 사용한 군을 2년간 추시관찰하였을 때 두 군간에 골융해의 크기와 발생률의 차이는 없었다고 보고하였다. 현재까지의 연구에 의하면 환자 맞춤형 수술도구는 표준 도구와 비슷한 경골 구조물의 정렬을 얻을 수 있으나 치환물의 크기가 위치는 여전히 술자의 경험을 바탕으로 결정해야 한다[8]. 앞으로 개발될 새로운 치환물은 경골과 거골의 절삭을 줄이고 전방 경골의 피질이 붕괴

되는 것을 최소화하며 경골 구조물이 해부학적인 윤곽을 갖도록 하는 방향으로 나아가야 할 것이다[10].

수술기법

대부분의 족관절 전치환술 치환물은 전방 도달법을 사용하도록 고안되어 있으나 특정 치환물 Trabecular Metal (Zimmer, Warsaw, IN, USA)은 측방 도달법을 사용하도록 고안되었다.

전방 도달법은 전경골근과 장무지신전근 사이로 접근하여 신전 지대를 절개하고 신전근은 외측으로, 전경골근은 내측으로 젖혀 관절낭에 절개를 가하면 족관절을 가장 잘 노출시킬 수 있다. 환자가 누워있기 때문에 관상면 정렬을 파악할 수 있고 내측구와 외측구를 확인하기 용이하다. 하지만 창상 부위 합병증이 잘 발생하고 전방 경골 동맥과 천비골신경, 심비골신경이 손상될 가능성이 있다[11,12].

측방 접근법은 비골 절골술을 시행하고 전거비인대를 절개하여 족관절의 회전의 중심을 직접 노출시켜 관절의 정렬을 더 정확하게 할 수 있고 치환물이 경골에 수직으로 위치하게 한다. 또한 전방 창상부위 합병증을 피하고 거골로 가는 혈관의 손상 가능성을 줄이며 골 절삭을 최소화할 수 있다[13]. 하지만 수술시간이 길고 비골 절골 부위의 불유합 또는 지연유합이 발생할 수 있다는 단점이 있다[14].

적응증과 환자선택

족관절 전치환술 시 좋은 결과를 얻기 위해서는 적절한 환자를 선택하는 것이 중요하다. 나이, 당뇨, 말초 혈관 질환, 변형의 유무, 골괴사, 흡연, 피부 상태, 체질량지수(body mass index, BMI), 인접한 관절의 관절염 등 다양한 요소를 고려해야 한다. 현재까지 알려진 족관절 전치환술의 이상적인 적응증은 활동정도가 낮고 발목관절의 변형이 심하지 않으며 인접 관절의 관절염이 동반된 고령인 말기 비외상성 관절염 환자이다[15,16]. 하지만 최근 연구들에 의해

족관절 전치환술의 적응증이 점차 확대되는 것으로 보인다. Lee 등[17]은 족관절 전치환술을 시행한 123례에서 55세 미만인 군과 55세 이상인 군을 비교하였을 때 치환물의 생존율과 합병증의 차이가 없다고 하였다. 최근 Cottom 등과 Cody 등 [18,19]에 의하면 족관절 전치환술을 시행한 500명의 환자들을 대상으로 나이, 성별, BMI, 흡연 유무, 당뇨, tourniquet time이 수술의 결과에 끼치는 영향을 분석하였을 때 나이, BMI, 변형의 정도는 족관절 전치환술의 실패와 연관이 없다고 보고하였다.

변형이 동반된 관절염의 경우 전통적으로 15도 이상의 시상면상 내반 및 외반 변형은 인공관절 치환술에 적절하지 않다고 알려져 왔다. 그러나, Cunningham 등[20]은 중립 정렬 군과 20도 이내의 내반 혹은 외반변형군의 족관절 전치환술 치료결과를 비교하였을 때 수술 후 중립정렬이 되었다면 변형의 유무와 관계없이 좋은 결과를 보였다고 하였고, Sung 등[21]은 20도 이상의 내반변형이 있는 군과 20도 미만인 군을 비교하였을 때 수술 후 임상기능점수나 관절운동범위에 차이가 없다고 하였다. 이러한 좋은 결과는 적절한 해부학적 정렬과 인대의 균형 및 족부의 변형이 교정되었을 경우에 기대할 수 있다. 그렇지 않을 경우 조기 실패로 이어지므로 수술자의 지식과 경험에 따라 신중하게 선택해야 할 것이다.

이 외에도 족관절 전치환술의 예후에 나쁜 영향을 미치는 요소로는 우울증, 높은 ASA (American Society of Anesthesiologists) class, 흡연, 긴 재원기간, 동측 족관절 과거 수술력, 순차적으로 양측 족관절 모두 전치환술을 시행한 경우가 알려져 있다[20]. 동측 후족부 유합술을 시행한 환자군과 IMBONE 1 (Wright Medical, Memphis, TN, USA) 치환물을 시행한 환자군도 족관절 전치환술을 실패할 위험성이 높았다고 한다[18,19]. 동측 후족부 유합술 시행한 환자에서 실패율이 높은 이유는 후족부 유합술 후 경골과 거골사이의 역학과 역동학의 변화와 관계가 있다[22]. 흡연자는 비흡연자, 금연자보다 족관절 전치환술 후 창상부위 합병증이 발생할 위험이 높고 통계학적인 의미는 없었지만 감염과 재치환술의 비율도 높았다[23,24]. 거골의 골괴사는 심한 경우 거골 치환물이 침강될 위험 때문에 족관절 전치환술의 절대적인 금기로 알려져 있다. 하지만 최근 심한 거골 골괴

사나 거골하 관절염이 말기 족관절 관절염과 동반되어 있을 때 거골 전치환물을 이용하여 족관절 전치환술을 시행한 연구에서 관절운동범위와 임상지표가 호전되는 등 신뢰할만한 치료결과를 보고하고 있다[25]. 활동성 감염이나 심각한 말초혈관질환, 신경마비 및 심한 피부와 연부조직 이상이 있는 경우는 절대적 금기로 여겨진다[26].

족관절 인공관절 치환술 결과

족관절 전치환술은 말기 족관절 관절염의 좋은 치료방법으로 환자의 관절기능을 회복하고 통증을 줄여준다. 2013년 Zaidi 등[27]이 시행한 메타분석에 따르면 27개의 연구에서 American Orthopedic Foot and Ankle Society (AOFAS) 점수가 수술 전 평균 40점에서 수술 후 평균 80점으로 호전되었다($P<0.01$). 9개의 연구에서 족관절의 관절운동범위가 수술 전 23도에서 수술 후 34도로 호전되었고 족배굴곡은 수술 전 4.6도에서 수술 후 8.0도로, 족저굴곡은 수술 전 17도에서 수술 후 19도로 호전되었다고 보고하였다. 수술 중 신경손상은 1.3%, 외과골절은 1%, 수술 후 심부감염은 2.4%, 혈전색전증은 0.3%에서 발생하였고 재수술은 2.7%에서 시행하였다. 최근 다양한 치환물을 이용한 족관절 전치환술의 장기간 추시 결과가 보고되고 있다. 2019년 Krishnapillai 등[5]이 2세대 가동형 치환물인 Buechel-Pappas를 이용하여 시행한 101례의 족관절 치환술의 장기간 추시한 결과에 따르면 치환물의 10년 생존율은 86%였다. 2019년 Clough 등[28]은 3세대 치환물인 STAR를 이용하여 시행한 200례의 족관절 전치환술의 장기간 추시결과와 생존율을 보고하였다. 이 연구에 의하면 AOFAS 점수는 수술 전 평균 28 (10–41)에서 수술 후 61 (20–90)로 개선되었고 15.8년 생존율은 76.16%였다. 32례(16%)에서 재수술이 필요했고 재수술까지는 기간은 평균 80개월이었다. 14례는 족관절 유합술, 8례는 경골거골종골 유합술, 4례는 폴리에틸렌 교체, 6례는 족관절 재치환술을 시행했다. 재수술의 원인은 무균성 해리(19/32), 관상면 부정정렬로 인한 가장자리 부하(8/32), 폴리에틸렌 마모(3/32), 스트

레스골절(1/32), 창상부위 치유지연(1/32)이었다.

족관절 전치환술은 족관절 유합술에 비해 관절운동범위를 유지시켜준다. Singer 등[26]은 3개 구조물로 이루어진 가동형 치환물을 이용하여 족관절 전치환술을 시행한 군이 족관절 유합술을 시행한 군보다 수술 후 시상면 운동범위(18.1도 대 13.7도, $P<0.05$), 배굴(11.9도 대 6.8도, $P<0.05$), 경골 정사의 범위(23.1도 대 19.1도, $P<0.05$)가 더 나은 결과를 보였다고 보고했다. 보행패턴도 족관절 전치환술을 시행한 경우가 정상 보행에 더 가까웠다. Benich 등[29]은 족관절 전치환술 또는 족관절 유합술을 시행한 273명의 말기 족관절 관절염 환자를 3년간 추시관찰하여 수술 전후 근골격계 기능평가(Musculoskeletal Function Assessment, MFA)와 건강수준(Short Form-36, SF-36)을 측정하여 비교하였다. MFA와 SF-36 Physical Function 점수는 두 군에서 모두 개선되었지만 족관절 전치환술을 시행한 군이 족관절 유합술을 시행한 군에 비해 더욱 개선되었다. 점수의 차이는 평균적으로 MFA가 3.6 ± 1.6 ($P=0.0.3$), SF-36 physical function 점수가 7.5 ± 2.9 ($P=0.0098$)로 측정되었고 최근 세대 치환물을 사용한 군에서 MFA와 SF-36 physical function 점수가 더욱 개선되었다.

앞서 언급한 족관절 전치환술의 중장기 추시결과는 모두 전방도달법을 이용한 것이었다. 최근 측방도달법을 이용한 족관절 전치환술의 초기 수술적 치료결과가 보고되고 있다. Barg 등[30]은 Zimmer trabecular metal implant를 이용하여 측방도달법으로 족관절 전치환술을 시행한 54명의 환자들을 2년간 추시한 결과, 통증과 관절운동범위가 유의하게 개선되고 비골의 자연유합, 불유합이 없었다고 하였고, Bianchi 등[31]도 30명의 환자들을 1년간 추시한 결과, 수술 후 환자들이 높은 만족도를 보이고 비골과 관련된 합병증이 적었다고 보고하였다. 비골과 관련된 합병증으로는 금속판으로 인한 피부자극이 3례, 불유합이 2례 보고되었다.

합병증

Simonson 등[32]은 치환물의 종류와 관계없이 모든 합병

증의 42%가 학습곡선 초기에 발생하고 술자의 학습곡선이 증가할수록 합병증은 감소한다고 하였다. 이만큼 발목관절의 인공관절치환술은 경험이 매우 중요하다 할 것이다.

수술 중 가장 흔히 발생하는 합병증은 내과골절이다. 수술 중 내과의 두께가 너무 얇게 절삭되고 치환물이 크기가 크거나 내측으로 삽입될 때 발생할 수 있다. 경골 절삭을 너무 내측으로 하거나 높게 하면 내과 두께가 감소하므로 경골 천정의 내측 어깨 위로 절삭하는 것이 권고된다. 또한 수술 후 스트레스 골절의 형태로 나타나기도 한다[12]. 삼각인대의 전 인이나 거골 구조물이 내과에 충돌하는 것이 원인으로 생각된다. 내과 골절은 내과에 나사를 삽입하는 것으로 쉽게 치료할 수 있다.

후방 구조물 손상은 경골이나 거골을 절삭할 때 발생한다. 절삭 가이드에 삽입되는 핀이나 절삭 시 톱날에 의해 경골 신경, 장족지굴곡근, 아킬레스건, 비복신경이 손상될 수 있다[33]. 또한 전방 접근법으로 족관절에 도달하는 과정에서 천비골신경, 심비골신경도 손상될 수 있다[11]. 이에도 외과골절, 치환물의 부정선열, 연부조직 불균형으로 인한 불안정성 등이 발생할 수 있다.

Lawton 등[34]은 PubMed에서 2006년 1월부터 2016년 7월까지 보고된 200례 이상의 족관절 전치환술 후 결과와 합병증에 대한 논문들을 분석하여 족관절 전치환술 후 가장 흔한 합병증은 무균성 해리(5.8%), 창상부위 합병증(5.4%), 골절(4.9%), 심부감염(0.9%)이라고 하였다.

수술 후 초기에는 창상부위 합병증이 많다. Gross 등[35]은 762례의 족관절 전치환술 후 임상결과와 합병증을 분석한 결과, 수술적 치료가 필요했던 심각한 창상부위 합병증은 3.4%였다고 보고하였다. 창상부위 합병증이 없었던 군과 비교했을 때 원발성 골관절염, 긴 수술시간, 긴 지혈대 적용시간이 합병증 발생과 관련이 있었다. 또한 흡연도 창상부위 합병증이 발생할 위험을 증가시킨다[23,24].

무균성 해리와 침강은 감염과 함께 재치환술의 가장 흔한 원인이다. 관상면 부정정렬이나 족관절 불안정성을 교정하지 못하면 폴리에틸렌 삽입물에 가장자리 부하가 증가하여 폴리에틸렌 삽입물의 마모, 해리가 발생한다. 치환물의 해리나 침강은 구조물이 이전 영상과 비교하여 5도 혹은 5 mm

이상 움직였을 때 진단할 수 있다[28,36].

골융해는 여러 요인들에 의해 발생할 수 있으나 정확한 원인은 밝혀지지 않았다. 여러 연구에 의하면 폴리에틸렌 마모 입자에 의한 대식세포의 활성화, 뼈-치환물 사이의 미세한 움직임, 치환물의 종류와 재질, 관절 안의 정수압 증가, RANKL에 의한 만성 이물 염증반응 등이 골융해와 관련이 있다[36,37]. 하지만 이러한 영상학적 소견이 임상 결과와 일치하지 않아 항상 치료가 필요한 것은 아니다. 족관절 전치환술 후 방사선학적 결과가 보고된 26개의 연구(3,045례)를 메타분석한 결과, 평균 4.4년의 추시기간 동안 방사선투과도가 경골 치환물 주위에서 21%, 거골 치환물 주위에서 1.4% 관찰되었고 이중 9.4%가 재수술을 시행받았다[27]. 낭종은 작은 크기의 경우, 응력차단과 치환물 삽입 후 뼈의 리모델링과 관련이 있고 크고 빠르게 진행되는 경우는 폴리에틸렌과 금속 마모 입자에 대한 반응 및 대식세포유도 면역반응이다[36]. 증상이 있거나 골절의 위험이 있는 경우는 수술적 치료가 필요하다.

충돌증후군은 재수술의 가장 흔한 원인이다. 연부조직과 뼈 파편들을 완전히 제거하지 못하고 너무 큰 치환물이나 폴리에틸렌을 사용하거나 경골 원위부에 뼈가 많이 남았을 때 관절이 뻣뻣해지고 관절 섬유화가 발생할 수 있다. 충돌이 있는 환자는 족관절 운동시 비골 아래쪽, 내측구, 외측구 통증을 호소할 수 있으며 증상이 지속되는 경우 관절경적 혹은 관혈적 변연절제술을 시행할 수 있다. 관절경적 변연절제술과 관혈적 변연절제술 모두 기능과 통증 개선에 효과적이고 안전한 수술이지만 조기 보행과 이동이 가능한 관절경적 변연절제술이 권고된다[3].

이소성 골화는 자주 관찰되는 방사선학적 소견이지만 거의 치료를 필요로 하지 않는다. 이소성 골화는 경골 치환물 후방과 내측구에 발생하는 경향이 있다. 치환물이 골 절삭 후 노출된 해면골을 충분히 덮지 못하는 경우 이소성 골화가 발생할 수 있으므로 경골과 거골 치환물의 크기를 작게 측정하지 않도록 주의해야 한다 [12,38].

감염은 족관절 전치환술 후 발생하는 가장 심각한 합병증 중 하나이고 감염을 해결하기 위해서는 종종 치환물의 제거가 필요하다. 보고된 연구에 의하면 족관절 전치환술 후 감염률은 슬관절(1.52%) 또는 고관절 전치환술 후 감염

률(0.82%)보다 높다[39,40]. 족관절 전치환술을 시행받은 6,977명의 환자를 대상으로 족관절 전치환술 후 감염률과 감염의 위험인자를 조사한 결과 감염률은 4%였고 65세 이하의 나이, 낮은 BMI, 비만, 당뇨, 염증성관절염, 말초혈관 질환, 갑상선저하증이 수술 후 감염의 위험을 증가시키는 것으로 보고되었다. 증상이 발현하고 3주 이내이고 배농성 누공이 없고 치환물이 안정적이며 균이 동정되어 적절한 항생제 치료가 가능할 경우 치환물을 유지하면서 세척술 및 변연절제술을 시행할 수 있다. 만성감염인 경우 2단계 수술을 시행한다. 1단계에서 감염된 조직, 시멘트, 치환물을 제거하고 항생제 시멘트를 넣은 다음 2단계로 재치환술, 유합술, 절단을 고려할 수 있다[40,41].

재원기간 중 합병증은 족관절 유합술에 비해서 적다. Odum 등[42]에 의하면 재원기간 중 중대한 합병증(심정지, 혈관 합병증, 폐색전증, 인공호흡기 연관된 폐렴, 쇼크, 수술부위 합병증, 삽입물 주위 골절 등)도 족관절 유합술을 시행한 군이 족관절 전치환술을 시행한 군보다 1.8배 높다고 보고하였다.

결론

발목관절 말기 관절염 환자에게 인공관절치환술은 통증을 감소시키고 관절의 기능을 회복시키며 인접한 관절을 보호하여 삶의 질을 향상시키는 효과적인 치료법이다. 최근 보고된 족관절 전치환술의 장기간 추시결과들에 의하면 이전보다 높은 삽입물 생존율을 보이지만 아직도 고관절 전치환술이나 슬관절 전치환술보다는 낮은게 현실이다. 치환물과 수술도구 자체의 문제도 있지만 발목관절이 크기도 작고 해부생리적으로 재건하기 훨씬 어렵고 하지와 발의 동반 변형에 큰 영향을 받는 것을 명심해야 한다. 성공적인 발목관절의 인공관절치환술을 위해서는 적절한 환자 선택과 치밀한 수술 전 계획, 수술 중 정렬 및 연부조직 균형 확인 및 철저한 수술 후 관리가 필수적이다.

찾아보기말: 족관절; 관절염; 인공관절 치환술

ORCID

Ki-Sun Sung <https://orcid.org/0000-0003-1314-1171>

Conflict of Interest

No potential conflict of interest relevant to this article was reported.

References

- Dekker TJ, Walton D, Vinson EN, Hamid KS, Federer AE, Easley ME, DeOrio JK, Nunley JA, Adams SB Jr. Hindfoot arthritis progression and arthrodesis risk after total ankle replacement. *Foot Ankle Int* 2017;38:1183-1187.
- Vakhshori V, Sabour AF, Alluri RK, Hatch GF 3rd, Tan EW. Patient and practice trends in total ankle replacement and tibiotalar arthrodesis in the United States From 2007 to 2013. *J Am Acad Orthop Surg* 2019;27:e77-e84.
- Gross CE, Adams SB, Easley M, Nunley JA 2nd, DeOrio JK. Surgical treatment of bony and soft-tissue impingement in total ankle arthroplasty. *Foot Ankle Spec* 2017;10:37-42.
- Palanca A, Mann RA, Mann JA, Haskell A. Scandinavian total ankle replacement: 15-year follow-up. *Foot Ankle Int* 2018;39:135-142.
- Krishnapillai S, Joling B, Sierevelt IN, Kerkhoffs GM, Haverkamp D, Hoornenborg D. Long-term follow-up results of Buechel-Pappas ankle arthroplasty. *Foot Ankle Int* 2019;40:553-561.
- Chou LB, Coughlin MT, Hansen S Jr, Haskell A, Lundeen G, Saltzman CL, Mann RA. Osteoarthritis of the ankle: the role of arthroplasty. *J Am Acad Orthop Surg* 2008;16:249-259.
- Uselli FG, Maccario C. Pearls and pitfalls for a surgeon new to ankle replacements. *Foot Ankle Clin* 2017;22:477-489.
- Saito GH, Sanders AE, O'Malley MJ, Deland JT, Ellis SJ, Demetracopoulos CA. Accuracy of patient-specific instrumentation in total ankle arthroplasty: a comparative study. *Foot Ankle Surg* 2019;25:383-389.
- Escudero MI, Symes M, Bemenderfer TB, Barahona M, Anderson R, Davis H, Wing KJ, Penner MJ. Does patient-specific instrumentation have a higher rate of early osteolysis than standard referencing techniques in total ankle arthroplasty? A radiographic analysis. *Foot Ankle Spec* 2020;13:32-42.
- Gross CE, Palanca AA, DeOrio JK. Design rationale for total ankle arthroplasty systems: an update. *J Am Acad Orthop Surg* 2018;26:353-359.
- Bleazey ST, Brigido SA, Protzman NM. Perioperative complications of a modular stem fixed-bearing total ankle replacement with intramedullary guidance. *J Foot Ankle Surg* 2013;52:36-41.
- Cody EA, Scott DJ, Easley ME. Total ankle arthroplasty: a critical analysis review. *JBJS Rev* 2018;6:e8.
- Uselli FG, Maccario C, Indino C, Manzi L, Gross CE. Tibial slope in total ankle arthroplasty: anterior or lateral approach. *Foot Ankle Surg* 2017;23:84-88.
- DeVries JG, Derksen TA, Scharer BM, Limoni R. Perioperative complications and initial alignment of lateral approach total ankle arthroplasty. *J Foot Ankle Surg* 2017;56:996-1000.
- Reeves CL, Shane AM, Vazales R. Current concepts regarding total ankle replacement as a viable treatment option for advanced ankle arthritis: what you need to know. *Clin Podiatr Med Surg* 2017;34:515-527.
- van der Plaats LW, Haverkamp D. Patient selection for total ankle arthroplasty. *Orthop Res Rev* 2017;9:63-73.
- Lee GW, Seon JK, Kim NS, Lee KB. Comparison of Intermediate-term outcomes of total ankle arthroplasty in patients younger and older than 55 years. *Foot Ankle Int* 2019;40:762-768.
- Cottom JM, Plemmons BS, Douthett SM. Relationship between body mass index and complications in total ankle arthroplasty: a single surgeon's experience in ninety-seven replacements. *J Foot Ankle Surg* 2019;58:687-691.
- Cody EA, Bejarano-Pineda L, Lachman JR, Taylor MA, Gausden EB, DeOrio JK, Easley ME, Nunley JA 2nd. Risk factors for failure of total ankle arthroplasty with a minimum five years of follow-up. *Foot Ankle Int* 2019;40:249-258.
- Cunningham DJ, DeOrio JK, Nunley JA, Easley ME, Adams SB. The effect of patient characteristics on 1 to 2-year and minimum 5-year outcomes after total ankle arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am* 2019;101:199-208.
- Sung KS, Ahn J, Lee KH, Chun TH. Short-term results of total ankle arthroplasty for end-stage ankle arthritis with severe varus deformity. *Foot Ankle Int* 2014;35:225-231.
- Hutchinson ID, Baxter JR, Gilbert S, Hogan MV, Ling J, Saunders SM, Wang H, Kennedy JG. How do hindfoot fusions affect ankle biomechanics: a cadaver model. *Clin Orthop Relat Res* 2016;474:1008-1016.
- Lamplé A, Gross CE, Green CL, DeOrio JK, Easley M, Adams S, Nunley JA 2nd. Association of cigarette use and complication rates and outcomes following total ankle arthroplasty. *Foot Ankle Int* 2016;37:1052-1059.
- Cottom JM, Douthett SM, McConnell KK, Plemmons BS. The effect of tobacco use on incision healing in total ankle arthroplasty: a review of 114 patients. *Foot Ankle Spec* 2020;13:27-31.
- Kanzaki N, Chinzei N, Yamamoto T, Yamashita T, Ibaraki K, Kuroda R. Clinical outcomes of total ankle arthroplasty with total talar prosthesis. *Foot Ankle Int* 2019;40:948-954.
- Singer S, Klejman S, Pinsker E, Houck J, Daniels T. Ankle arthroplasty and ankle arthrodesis: gait analysis compared with normal controls. *J Bone Joint Surg Am* 2013;95:e191(1-10).
- Zaidi R, Cro S, Gurusamy K, Siva N, Macgregor A, Henricson A, Goldberg A. The outcome of total ankle replacement: a systematic review and meta-analysis. *Bone Joint J* 2013;95-B:1500-1507.
- Clough T, Bodo K, Majeed H, Davenport J, Karski M. Survivorship and long-term outcome of a consecutive series of 200 Scandinavian Total Ankle Replacement (STAR) implants. *Bone Joint J* 2019;101-B:47-54.
- Benich MR, Ledoux WR, Orendurff MS, Shofer JB, Hansen ST, Davitt J, Anderson JG, Bohay D, Coetzee JC, Maskill J,

- Brage M, Houghton M, Sangeorzan BJ. Comparison of treatment outcomes of arthrodesis and two generations of ankle replacement implants. *J Bone Joint Surg Am* 2017;99:1792-1800.
30. Barg A, Bettin CC, Burstein AH, Saltzman CL, Gililland J. Early clinical and radiographic outcomes of trabecular metal total ankle replacement using a transfibular approach. *J Bone Joint Surg Am* 2018;100:505-515.
31. Bianchi A, Martinelli N, Hosseinzadeh M, Flore J, Minoli C, Malerba F, Galbusera F. Early clinical and radiological evaluation in patients with total ankle replacement performed by lateral approach and peroneal osteotomy. *BMC Musculoskelet Disord* 2019;20:132.
32. Simonson DC, Roukis TS. Incidence of complications during the surgeon learning curve period for primary total ankle replacement: a systematic review. *Clin Podiatr Med Surg* 2015; 32:473-482.
33. Reb CW, McAlister JE, Hyer CF, Berlet GC. Posterior ankle structure injury during total ankle replacement. *J Foot Ankle Surg* 2016;55:931-934.
34. Lawton CD, Butler BA, Dekker RG 2nd, Prescott A, Kadakia AR. Total ankle arthroplasty versus ankle arthrodesis: a comparison of outcomes over the last decade. *J Orthop Surg Res* 2017; 12:76.
35. Gross CE, Hamid KS, Green C, Easley ME, DeOrio JK, Nunley JA. Operative wound complications following total ankle arthroplasty. *Foot Ankle Int* 2017;38:360-366.
36. Hsu AR, Haddad SL, Myerson MS. Evaluation and management of the painful total ankle arthroplasty. *J Am Acad Orthop Surg* 2015;23:272-282.
37. Espinosa N, Klammer G, Wirth SH. Osteolysis in total ankle replacement: how does it work? *Foot Ankle Clin* 2017;22:267-275.
38. Anghthong C, Adams SB, Easley ME, Nunley JA 2nd. Heterotopic ossification following total ankle replacement: clinical significance and factors affecting its formation. *J Surg Orthop Adv* 2014;23:203-213.
39. Althoff A, Cancienne JM, Cooper MT, Werner BC. Patient-related risk factors for periprosthetic ankle joint infection: an analysis of 6977 total ankle arthroplasties. *J Foot Ankle Surg* 2018;57:269-272.
40. Beam E, Osmon D. Prosthetic joint infection update. *Infect Dis Clin North Am* 2018;32:843-859.
41. Vulcano E, Myerson MS. The painful total ankle arthroplasty: a diagnostic and treatment algorithm. *Bone Joint J* 2017;99-B:5-11.
42. Odum SM, Van Doren BA, Anderson RB, Davis WH. In-hospital complications following ankle arthrodesis versus ankle arthroplasty: a matched cohort study. *J Bone Joint Surg Am* 2017;99:1469-1475.

Peer Reviewers' Commentary

과거에는 족관절에 발생한 말기 관절염의 경우, 관절유합술을 통해 치료하였으나, 족관절 인공관절 치환물의 발전으로 인하여 인공관절치환술이 점차 증가하고 있다. 이 논문은 족관절에서 시행되는 인공관절치환술의 역사, 수술 기법, 적응증, 수술 결과 및 합병증에 대하여 최신 논문을 바탕으로 체계적으로 정리한 논문이다. 인공관절치환술의 수술기법과 적절한 적응증 및 환자 선택 기준을 최근 논문을 근거로 제시하고 있으며, 수술 결과 및 합병증을 다양하게 기술하고 있다. 이 논문은 말기 관절염 환자에서 수술적 치료 방법을 선택하고 우수한 수술적 결과를 얻는 데 많은 도움이 될 것으로 판단된다.

[정리: 편집위원회]