슬관절 전치환술의 현재

서 증 환 · 이 상 학

강동경희대학교병원 정형외과

Current state of total knee arthroplasty

Jeung-Hwan Seo, MD · Sang Hak Lee, MD

Department of Orthopedic Surgery, Kyung Hee University Hospital at Gangdong, Seoul, Korea

Total knee arthroplasty (TKA) is a successful and cost-effective treatment for end-stage degenerative arthritis. The aging of society and an increase in the prevalence of obesity has led to increases in the prevalence of arthritis and the incidence of TKA. Currently, the total number of procedures in Korea per year has reached 90,000. With the rapid growth, we need to know about the current state of TKA. The purpose of this review is to summarize the recent literature regarding TKA. The main indication for TKA is end-stage arthritis with severe pain, reduced function, and no response to conservative management. Metal on the polyethylene-bearing surface and cobalt alloy are used in most TKAs. Despite good clinical outcomes and long-term survival rates after TKA in many papers, 20% of patients are dissatisfied with the outcome of surgery. To improve the patient's satisfaction, surgeons should understand factors affecting patient's satisfaction, including patient's expectations, age, and preoperative mental state. Navigation-assisted surgery and robotic surgery have been introduced in knee arthroplasty to achieve more precise and accurate alignment. There is some evidence to suggest that computer-assisted surgery reduces revision rates. However, clinical efficacy is also controversial, and a long-term follow-up study is required. The common complications of TKA include infection, polyethylene wear, loosening, stiffness, periprosthetic fracture, and thromboembolism. An understanding of the potential complications and pitfalls of TKA is essential for prevention.

Key Words: Osteoarthritis; Knee replacement arthroplasty; Patient satisfaction; Survivorship

서론

고령화 사회로 인하여 평균수명 및 노인인구가 증가하고, 비만 유병률이 증가함에 따라 슬관절골관절염(퇴행성관절염)도 증가추세에 있다[1]. 한국에서 한 해 전체 인구의 4%

정도(200만 명)가 치료를 받고 있고[2], 슬관절 전치환술은 말기 슬관절관절염 환자에서 통증경감 및 기능회복을 위해 가장 효과적인 치료법으로 평가받고 있다.

연간 슬관절 전치환술의 수술건수는 슬관절 관절염의 증가속도보다 훨씬 빠른 속도로 증가하고있는데, 미국에서 2002년에서 2015년 사이 슬관절 전치환술 증가율이 62%로 보고된 것과 비교하여 한국에서는 2001년에서 2010년 사이 400%의 급격한 증가율을 보였다[3]. 최근까지도 증가추세는 지속되고 있고, 건강보험심사평가원의 의료통계에 따르면 2014년 70,000례에서 2019년 93,000례로 증가했다. 인공관절 치환술 중 슬관절 전치환술이 연간 수술건수가 가장 많으며, 두 번째로 많은 고관절 치환술은 2019년에

Received: May 28, 2020 Accepted: June 27, 2020

Corresponding author: Sang Hak Lee
E-mail: shlee@khnmc.or.kr

© 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.

Figure 1. Representative anteroposterior radiographs of the knee according to Kellgren-Lawrence (KL) classification. (A) KL grade I, doubtful narrowing of joint space and possible osteophytic lipping. (B) KL grade II, definite osteophytes and possible narrowing of joint space. (C) KL grade III, moderate multiple osteophytes, definite narrowing of joint space, sclerosis, and possible deformity of bone contour. (D) KL grade IV, large osteophytes, marked narrowing of joint space, severe sclerosis, and definite deformity of bone contour. Informed consent was obtained from the participant of the study.

25,000례 시행한 것으로 보고되었다[4].

비만과 관절염 유병률의 증가는 2006년에서 2016년 사이 각각 7%로 보고되었는데, 10년간 슬관절 전치환술이 4배 증가한 것을 고려한다면, 급격히 증가한 원인은 단순히 의학적 상태만 작용한 것은 아니라고 판단할 수 있다[5]. 최근 문헌들에서는 우리나라의 높은 의료접근성 및 비교적 낮은 환자 본인부담금, 건강보험체계 등도 급격한 상승의 기여한 것으로 보고 있다[6,7].

슬관절 전치환술의 증가는 전세계적으로 진행되고 있고, 앞으로도 증가추세가 이어질 것으로 전망되고 있다. 따라서 본 종설에서는 현재의 슬관절 전치환술의 적응증, 치환물의 구성, 생존율 및 환자만족도, 컴퓨터 보조수술, 수술 후 합병증에 대하여 소개하였고, 슬관절 전치환술의 현재의 상태와 앞으로 나아가야할 방향에 대해서 알아보고자 한다.

슬관절 전치환술의 적응증

일반적인 슬관절 전치환술의 적응증은 말기 퇴행성 슬관

절질환으로 충분한 보존적 치료에도 불구하고 통증 및 기능제한이 지속되는 경우이다. 이중 퇴행성관절염이 94–97%를 차지하며, 슬관절 전치환술을 고려하는 중증 퇴행성관절염은 켈그렌 로렌스 분류법(Kellgren–Lawrence classification) 등급 3, 4이다(Figure 1) [8]. 켈그렌 로렌스 분류법은 관절염 진행정도를 분류할 때 가장 널리 쓰이는 분류방법으로 단순방사선영상에서 보이는 관절간격, 골극형성, 변형정도 등을 기준으로 분류한다. 등급 1은 관절간격이 좁아진 것이 의심되는 정도이고, 등급 2는 명확히 골극이 형성되고, 관절간격이 약간 좁아진 상태이다. 등급 3은 중등도 이상의 골극형성 및 골경화가 동반되고, 관절간격이 명확히 좁아지며, 골변형이 관찰되는 상태이다. 등급 4는 현저한 관절간격의 협착 및 뚜렷한 골극형성 및 골경화가 관찰되고, 분명한 골변형이 동반된 상태이다[9].

현재 건강보험심사평가원의 슬관절 인공관절 전치환술의 급여인정기준은 3개월 이상 보존적 요법에도 불구하고 증상(통증, 기능저하 등)이 지속되는 경우에 해당한다. 세부적으로는 단순방사선 또는 관절경 검사 등에서 관절연골의 소실

Figure 2. Preoperative and postoperative radiographs of the total knee arthroplasty. (A) Preoperative anteroposterior and lateral radiographs of the left knee in a 68-year old female showed advanced osteoarthritis with severe narrowing of the joint space, marked sclerosis, large osteophytes, and deformity of bony ends. (B) Postoperative radiographs at 2-week follow- up. (C) Postoperative radiographs at 5-year follow- up. Informed consent was obtained from the participant of in the study.

이 확인되며, 다른 수술적 치료방법의 대상이 되지 못하는 퇴행성관절염, 연령이 만60–64세인 경우 켈그렌 로렌스 분류법 등급 3, 연령이 만65세 이상인 경우 켈그렌 로렌스 분류법 등급 4 이상인 경우이다. 또한 타 수술(인대재건술 등)의 실패로 다발성 인대손상으로 인한 슬관절의 심한 불안정성, 관절연골손상이 동반된 고도의 슬관절 강직, 다발성 관절염(류마티오이드 관절염 포함)으로 관절기능이 현저하게 저하된 환자, 연골하 함몰이 동반된 골괴사증으로 통증이 심한 경우도 적응증에 해당된다[4].

비만 환자(체질량지수 $>30 \text{ kg/m}^2$)는 금기사항은 아니나 수술 후 무균성해리와 수술 전 후 감염 등과 같은 합병증 발생률이 높다고 보고되었다[10]. 또한 55세 미만에서는 환자의 활동도가 높고, 남은 기대수명이 길기 때문에 재수술을 받을 가능성을 고려해야 하고, 고령일수록 마취의 위험성과 수술 후 근력약화와 전신건강 악화로 결과가 좋지 않을 수 있음을 고려해야 한다.

슬관절 전치환술의 치환물 구성

현재 시행되고 있는 슬관절 전치환술에서 치환물의 일반적인 구성은 금속소재의 대퇴골 치환물과 경골 치환물, 폴리

에틸렌 소재의 관절 내 삽입물과 슬개골 치환물로 이루어져 있다(Figure 2).

손상된 슬관절을 치환하고자 처음 시도했던 19세기 수술에서는 지금과 같은 금속이 아닌 연조직을 관절 사이에 삽입하는 수술을 시행했었다. 1920년대에 시행된 수술에 대한 문헌에서는 골절제 후 표면에 셀로판지, 대퇴근막 등을 치환한 기록을 찾아볼 수 있다. 좋은 결과를 얻진 못했는데, 50례의 수술 중 50%에서 불안정성, 운동제한, 통증 등을 호소했다고 보고하였다[11,12]. 이후 1950년대부터 금속치환물을 이용한 다양한 시도가 있었고, 현대적 형태의 슬관절 전치환술은 1970년대부터 시작되었다. 이후 수술방법, 기구 수명 연장 및 술 후 기능향상을 위해 발전을 거듭해 왔다[13]. 디자인에서도 많은 발전을 이뤄왔으며 후방 십자인대 보존형과 대치형, 베어링의 고정형과 가동형, 시멘트형 치환물과 무시멘트형 치환물, 구속형 치환물 및 고도 굴곡 치환물 등 소재 및 디자인의 개선에 대한 시도 및 추시 결과에 대한 연구가 지속되고 있다[14].

1. 대퇴골 및 경골 치환물

슬관절 전치환술에 널리 쓰이는 금속재료는 코발트 합금이다. 마모와 부식에 저항성이 우수하고, 적절한 생체 적합성을 가지고 있다. 생체 적합성이란 독성이 없고, 인체 내에

서 위해인자를 분출하지 않으며, 알러지 반응을 일으키지 않는 것을 의미한다[15]. 코발트와 크롬 각각의 금속은 독성을 갖지만, 코발트-크롬-몰리브덴 합금은 뛰어난 마모저항성 갖으며 위해인자를 배출하지 않는다[15]. 코발트합금은 폴리에틸렌과 접촉되어 관절운동 시 마모가 적은 장점을 살려서 슬관절 전치환술의 대퇴골 치환물로 널리 이용된다[16].

티타늄은 높은 용량에도 인체 내에서 독성이 없다고 밝혀져 있다[17]. 뛰어난 생체적합성과 골융합력(연조직을 생성하지 않고 직접 골조직과 접촉면을 만드는 능력)이 장점이다. 티타늄합금 중 정형외과에서 널리 사용되는 것은 티타늄-알루미늄-바나듐 합금이다. 가볍고, 장력에 잘 견디며, 인체피질골 정도로 탄성계수가 낮아 치환물에서 뼈로 가는 힘이 잘 분산되어 골흡수를 줄일 수 있는 장점이 있다. 단점은 마모에 약하고, 피로강도가 낮다. 따라서 장기간 사용하는 치환물에는 적절하지 못하다. 티타늄합금은 폴리에틸렌과 관절을 이루면 심한 마모를 일으키게 되어 대퇴골 치환물로는 사용하지 않고, 경골 치환물로 사용된다[17].

금속과 폴리에틸렌 관절면은 금속표면의 산화 및 표면 마모라는 단점을 갖고 있다. 이를 극복하기 위해 대퇴골 치환물에 대한 대체제로 산화 지르코늄, 세라믹 등에 대한 연구가 진행되었다. 산화 지르코늄은 코발트-크롬 합금에 대하여 강도 및 마찰계수가 적은 장점이 있다. 생체 외 실험에서 초고분자량 폴리에틸렌 삽입물과 산화 지르코늄 사이의 관절면에서 마모를 줄였다고 보고된 바 있으나, 임상연구에서는 재수술 및 합병증에서 의미 있는 차이를 보이지 않았다. 이 밖에도 표면코팅처리기법 및 세라믹을 사용한 대퇴 치환물에 대한 연구가 진행되고 있다[18].

2. 관절면 치환물

슬관절 전치환술에서 관절면 치환물로 가장 흔히 쓰이는 것은 폴리에틸렌이다. 폴리에틸렌은 에틸렌의 중합반응에 의해 만들어지며, 생체 내 반응이 없고, 생체 적합성이 우수하다. 하지만, 단점으로 대퇴골 치환물과 관절면을 이루어 반복적인 관절운동을 할 때 장기추시에서 재료 산화와 마모 및 변형에 대한 문제가 보고되었다[19]. 폴리에틸렌의 마모는 슬관절 전치환술 후 골융해의 원인이 되며, 최근 발표

에 따르면 슬관절 재치환술 10-18%가 폴리에틸렌 마모로 인해 발생한다고 알려져 있다[20]. 마모를 줄이기 위해 많은 연구가 있어왔고, 가공 과정에서 방사선조사로 내마모성을 증가시킨 고교차결합 초고분자량 폴리에틸렌이 개발되었다[21]. 최근에는 가공과정에서 순차적 방사선 조사, 열처리 제작, 항산화제(비타민E) 등을 사용한 2세대 고교차결합 초고분자량 폴리에틸렌이 개발되어 임상에서 사용되고 있다. 이론적인 장점이 있지만 아직 임상적인 우수성을 내놓진 못하고 있고, 폴리에틸렌에 대한 연구는 아직도 지속되고 있다[22].

3. 치환물의 고정

치환물의 고정은 시멘트고정 여부에 따라 나뉜다. 현재는 시멘트고정법이 최선책으로 받아들여지고 있으나, 무시멘트 고정법의 우수성을 주장하는 문헌들도 많다. 골시멘트로 가장 많이 사용되는 물질은 polymethyl methacrylate이다. 시멘트 고정의 장점은 출혈량이 적고, 조기 체중부하가 가능할 수 있다는 것이고, 무시멘트형은 비교적 짧은 수술시간, 시멘트로 인한 폴리에틸렌 마모가 없는 것, 재치환술 시 골 소실이 적을 수 있다는 것이 장점이지만 술자의 더 많은 경험 필요하다[23].

생존율

인공관절을 시행하는 환자들이 많이 궁금해하는 것은 장기생존율, 즉 기구수명이다. 평균수명이 증가함에 따라 60-70대에서 슬관절 전치환술을 받은 환자들은 추후 치환물의 마모 및 해리 등으로 인한 재치환술을 받을 가능성이 높아진다. 현재까지는 65세에 수술을 받는 경우 7%에서 재수술을 받게 된다고 보고된다[24]. 물론 이보다 젊은 연령에 수술을 받으면 재수술확률은 더 높아진다. 수술 전 환자설명 시 일반적인 치환물의 수명을 15년이라고 설명하고 있으나, 치환물의 소재 및 수술기법의 발전으로 추후에는 더 높은 생존율을 기대할 수 있을 것으로 전망한다.

10년 이상의 장기 임상추시가 된 문헌들에서 발표된 생

존율을 보면, 10년 생존율 92-97.9%, 15년 생존율 81.7-94.8%으로 10년 생존율은 많은 문헌에서 95% 이상의 좋은 결과를 보이고 있다[25-30]. 최근 수술의 생존율은 더 좋아질 것으로 예상해 볼 수 있으며, Scott 등[31]은 2006-2007년 사이 시행한 462례의 슬관절 전치환술의 10년 생존율을 97.9%로 보고하며 좋은 결과를 발표한 바 있다.

한국인과 서양인에서 슬관절 치환술의 생존율의 차이에 대한 연구로 Kim 등[32]이 발표한 종설에서 2000년 이후 발간된 타 문헌에서의 10년과 15년 생존율이 각각 한국인에서 94.7%, 86.5%와 서양인에서 94.8%, 87.5%로 유의미한 차이는 없다고 밝혔다. 수술 후 10년 경과한 시점에서 재수술률은 3-7% 정도의 수치를 보이며, 주요 원인으로는 폴리에틸렌 마모, 비감염성 해리, 수술 부위 감염, 통증, 불안정성 등이 있다[24].

환자 만족도

슬관절 전치환술 후 많은 문헌에서 술 후 90% 이상의 환자에서 결과에 만족한다고 보고하고 있다[33]. 하지만 슬관절 치환술 후 환자의 불만족도는 문헌에 따라 20%대까지도 보고되고 있기도 하다[34]. 술 후 집도의가 수술 후 결과에 대하여 평가하는 생존율, 술 후 관절운동범위, 하지정렬 등은 환자가 주관적으로 평가하는 만족도와 일치하지 않는 경우가 많으며, 주로 환자의 만족도가 더 낮다고 보고되었다[33,35]. 반면에 수술결과에 대한 기대도는 집도의보다 환자에서 더 높게 보고되었다[33]. 따라서 객관적인 측정인자 뿐만 아니라 주관적으로 느끼는 환자의 만족도에 영향을 주는 인자에 대한 고려가 필요하다.

1. 환자 만족도에 영향을 주는 요인

1) 통증

술 후 잔존하는 통증 및 기능제한이 수술 후 만족도를 떨어뜨리는 주요한 영향 인자이다. Nashi 등[36]은 슬관절 치환술 후 2년 추시에서도 28.9%의 환자에서 슬관절 통증을 호소한다고 보고 하였다. 따라서 적절한 통증관리가 반드시 필요하다.

2) 환자의 기대도

수술 전 환자의 기대의 수술 후 실현되는 정도가 수술 후 환자만족도와 연관이 있다는 보고가 많으며, Scott 등[37]은 323명의 슬관절 전치환술을 받은 환자에서 78%가 수술 후 만족했으며, 이들 중 66%가 수술 전 기대가 실현되었다고 답했다. 반면, 불만족 환자군은 15%가 수술 전 기대가 실현되었다고 답하여 상당한 차이를 보였다. 환자의 기대가 실현되지 못한 수술 후 활동은 계단오르기, 쪼그려앉기, 무릎꿇기이다. Ghomrawi 등[38]은 수술 전 환자의 고강도활동 및 관절운동범위에 대한 기대가 큰 경우 수술 후 불만족과 연관이 있다고 보고하였다.

3) 나이

나이가 환자 만족도에 주는 영향에 대해서는 아직 논란이 있다. 일반적으로 55세 미만의 젊은 연령에서 관절치환술을 했을 경우 기대도가 높고, 활동도가 높아 만족도가 낮을 것으로 예상할 수 있으나, 보고되는 문헌들에 따르면 일치하는 점은 없다[37].

4) 동반 질환

요추부 통증 및 타관절 통증이 동반된 환자에서 수술 후 만족도가 떨어진다는 보고가 있으며, 많은 문헌에서 수술 전 평가한 임상점수에서 심적인 안정도, 우울감, 감정문제 등의 정신건강상태가 나쁠수록 수술 후 만족도가 낮다고 보고하였다[37,39]. 또한 수술 후 영상학적 평가 및 관절운동범위는 비교군과 차이가 없으나, 통증이 지속되고 만족도가 떨어지는 환자군에서 체질량지수가 높고, 당뇨병, 폐질환, 이전 슬관절 수술력이 의미 있게 차이가 있다고 보고된 바 있다[40].

5) 수술 관련 외적인 요인

Matsuda 등[35]은 술 후 하지정렬에서 내반변형이 있는 경우 낮은 만족도와 연관 있지만, 중립의 하지정렬을 회복하는 것이 더 나은 기능적 결과를 보장하지는 않는다고 보고했다. 수술과 관련하여 전신마취 혹은 척추마취를 진행했는지, 수술기법 및 수술기구 등에 대한 환자만족도의 영향은 아직 일치된 결과는 보이지 않는다[41].

2. 환자 만족도의 평가도구

환자 만족도에 대한 평가를 위하여 Knee Society Knee

Scoring System (KSS), 36-item Short Form Health Survey (SF-36), Western Ontario and McMaster Universities Arthritis Index (WOMAC), Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score, Oxford Knee Score 등과 같은 다양한 환자 보고형 임상점수가 사용되고 있다[41]. KSS 점수는 하지정렬 및 안정도와 같은 객관적 점수와 환자만족 및 기대도, 활동도가 반영된다. WOMAC은 통증, 강직도, 사회적 기능 등을 평가하며 SF-36은 환자 자신의 건강에 대한 자기평가 및 감정에 대한 평가가 포함된다.

컴퓨터 보조 슬관절 전치환술

수술 후 예후와 관련하여 슬관절 전치환술 수술과정 중 치환물의 부적절한 위치 및 하지의 부정 정렬은 수술 후 지속적인 통증 및 기능저하를 유발할 수 있다. 또한 치환물 해리 및 불안정성을 초래하여 재치환술의 빈도를 증가시킨다고 알려져 있다[42]. 따라서 슬관절 전치환술 후 좋은 결과 및 예후를 얻기 위해서는 적절한 역학적 축의 회복 및 정확한 치환물의 위치 및 정렬이 중요하다[43]. 적절한 역학적 축의 기준은 많은 문헌들에서 수술 후 역학적 축이 내반 3도에서 외반 3도의 범위를 가진 경우 좋은 결과를 보인다고 보고하고 있다[43]. 술 후 정확한 정렬을 통하여 결과를 향상시키는 노력으로 컴퓨터를 이용한 수술방법에 대한 연구 및 임상적용이 있어왔다. 이는 집도의가 수술을 진행하되 컴퓨터시스템의 도움 및 항법장치 이용하는 수동형과 수술 준비 및 시행과정의 일부 또는 전 과정을 컴퓨터시스템이 시행하는 능동형으로 나눌 수 있다.

1. 항법장치 이용 슬관절 전치환술

항법장치는 수술 전 컴퓨터단층촬영 등의 영상을 기반으로 하는 시스템과 뼈에 추적표지자를 부착하여 적외선, 전자기파, 초음파 등을 이용하여 추적하는 무영상 기반 시스템이 있다. 수술 중 고관절, 슬관절, 족관절을 운동시키면서 관절의 중심과 역학적 축에 대한 정보를 얻게 되고, 수술 시

위치의 실시간 추적을 통하여 정확한 골 절제 및 기구삽입에 대한 안내를 받으며 술자가 수술을 시행하게 된다[44].

여러 연구에서 항법장치를 이용한 슬관절 전치환술 시 수술 후 하지정렬의 정확성과 정확한 치환물의 위치에 대해 우수성을 입증해 왔다. 항법장치의 이용은 오차 범위를 1도 미만으로 줄일 수 있어 수술의 정확도를 향상시킬 수 있다고 보고된 바 있다[45]. 또한 많은 연구에서 항법장치 이용 슬관절 전치환술에서 역학적 축 및 관상면상 대퇴골 치환물, 경골 치환물의 경사도에서 불량률의 수가 유의하게 적다고 보고하였다[46]. 대규모 메타분석에서도 좋은 결과를 보이고 있는데, Hetaimish 등[47]은 2,541명의 항법장치 이용 슬관절 전치환술 결과에서 3도 초과의 하지의 부정 정렬의 적고, 치환물의 관상면상 위치가 부정확하게 삽입될 확률이 낮았다고 보고하였다[47]. 이러한 하지정렬의 교정 및 임상학적 지표의 차이가 수술 후 기능적 결과를 향상시키는지에 대해서는 아직 논란의 여지가 있지만, Lehen 등[48]은 1년 추시결과에서 임상점수가 항법장치군에서 월등히 높았고, 수술 후 만족도도 91%로 고식적 수술의 70%에 비하여 높다고 보고하였다.

항법장치 이용 시 장점으로 Chauhan 등[49]은 고식적 슬관절 전치환술에서 사용하는 대퇴강내 지침자를 사용하지 않아 수술 중 출혈량이 적고, 지방색전증의 위험성을 줄일 수 있다고 보고하였다. 또한 수술 받을 슬관절에 금속 삽입물이 존재하여 대퇴강내 지침자의 사용이 어려운 환자에서도 항법장치가 유용할 수 있다는 보고가 있고[50], 관절 외 변형이 동반되어 수술 도중에 적절한 절제 각도를 결정하기에 어려운 환자에도 항법장치가 유용하게 사용될 수 있다고 보고되었다[51].

항법장치 이용 시 단점은 추적기 고정판을 통한 감염 및 골절의 가능성이 있다는 것이다. 또한 고정판의 움직임 및 해리로 인한 오류 발생으로 수술전체의 정확도가 떨어질 수 있다[52]. 따라서 술자는 수술 술기 및 환자 상태를 충분히 파악한 상태에서 수술을 진행해야 한다. 또한 Bauwens 등[53]은 항법장치 이용 수술군에서 수술시간이 23% 정도 길었다고 보고하였다. 고식적 수술에 비하여 높은 수술비용 등도 개선되어야 할 부분이다.

2. 로봇 이용 슬관절 전치환술

로봇 이용 슬관절 전치환술은 항법장치를 이용한 계측과 로봇을 이용한 골절제로 고식적 방법보다 보다 정확하고 집도의가 손으로 사용하는 전통적으로 인한 혈관, 신경 등의 손상위험을 줄일 것을 기대하여 고안된 방법이다[52]. 수술 과정은 수술 전 컴퓨터단층촬영을 통한 환자의 영상을 입력시킨 뒤, 특수 고정장치로 환자의 슬관절을 굴곡상태에서 고정하여 대퇴골 및 경골에 핀 혹은 나사못으로 구성된 인식장치를 삽입한다. 수술실에서의 실제 관절움직임 및 위치를 등록하여 사전 영상과 일치시킨 뒤 로봇이 골절제를 시행하게 된다. 골에 부착된 인식장치를 통하여 하지의 움직임이 발생하면 잘못된 골절제를 막기 위해 로봇 작동이 정지하게 된다[54].

로봇 이용 슬관절 전치환술은 수술 전 계획했던 이상적인 하지정렬 및 치환물 배열을 얻을 수 있어 정확하고, 재현성이 높다고 밝혀져 있다[54]. Weng 등[46]은 60명의 환자군에서 한 환자의 양측 슬관절을 각각 로봇이용군과 고식적 방법군으로 나누어 수술하여 분석한 문헌에서 로봇수술군에서 수술시간은 20분가량 길었으나, 실혈량이 적고, 정상 중립 위치에 가까운 하지정렬을 얻었으며 기타 합병증은 차이 없다고 보고하였다. 로봇수술 또한 항법장치가 갖는 이점을 같이 갖는다. 골수내유도자를 사용하지 않아서 출혈량 및 지방색전증 발생을 줄일 수 있으며, 삽입물이 있거나 변형이 심하여 골수내유도자를 사용하기 어려운 환자에서도 유용할 수 있다[49,51]. 로봇 이용 슬관절 전치환술의 단점은 고식적 방법보다 20-30분 이상 더 걸리는 수술시간, 복잡한 수술과정, 고비용 등이 밝혀져 있다[46,55]. Borner 등[56]은 로봇 이용 슬관절 전치환술 첫 100례에서 디지털오류, 보정 오류 등의 기술적 결함으로 로봇수술을 포기하고 고식적 술기로 변경해야 하는 경우가 5% 있다고 보고하였다.

3. 추후 전망

로봇 중 상업적으로 성공한 시스템은 대부분 유럽에서 사용되고 있고, 한국에서는 몇몇 기관에서 연구용 및 임상용으로 사용 중이다. 일부 연구결과에서 고식적 방법에 비해 수술 후 환자 만족도가 더 높았다고 보고된 바 있으나, 아직 항

법장치 및 로봇 이용 수술이 환자의 만족도에 주는 영향 및 장기추시에 대한 연구는 더 필요하고, 긴 수술시간과 고비용에 대한 해결과 임상결과에 대한 연구가 더 필요할 것으로 판단된다.

합병증

슬관절 전치환술 후 발생할 수 있는 전신적 합병증으로는 정맥혈전색전증, 지방색전증이 있다. 국소적 합병증으로는 감염, 불안정성, 관절운동 제한, 비감염성 해리, 폴리에틸렌 마모, 삽입물 주위 골절, 신전기전의 손상 등이 있다. 슬관절 전치환술 후 증상이 있는 심부정맥혈전증의 발생률은 2%로 발생해도 증상이 없는 경우가 많으나 폐색전증으로 진행될 가능성이 있으므로 주의해야 한다[57]. 따라서 출혈 위험성을 고려하여 적절한 예방요법을 시행해야 한다. 술 후 창상 치유 지연, 혈종, 피부 괴사 등의 창상합병증은 10-20%까지 보고 되고 있고[58], 심부감염율은 1-3%로 알려져 있다. 슬관절 전치환술 후 감염과 관련된 인자로는 이전 슬관절 수술력, 당뇨, 신부전, 류마티스관절염, 흡연, 영양결핍 등이 있다[59]. 위험인자를 미리 인지하고 적절한 관리와 함께 감염 예방을 위해 수술실에서의 무균적처치를 엄격히 해야 한다. 슬관절 전치환술 후 관절운동범위 제한 및 강직은 환자 만족도에 직접적인 영향을 줄 수 있으므로 발현시기에 맞는 적절한 치료가 이뤄져야 한다. 수술 전 관절운동범위가 수술 후 운동범위를 결정하는 가장 중요한 환자 요인이며, 수술 후 조절되지 않는 통증으로 재활이 제한적으로 진행되어 관절운동 제한이 발생할 수 있다[60]. 불안정성은 하지 역학적 축의 복구 실패, 굴곡-신전 간격 불균형과 관련이 높고, 예방하기 위해 정확한 술기가 필요하다[61]. 전치환술을 받은 슬관절에 외상으로 인한 골절, 대퇴사두근 파열, 슬개건 파열 등이 발생하면, 치료가 어렵고, 인공관절 안정성에 영향을 줄 수 있으므로 손상을 피하는 것이 중요하다. 치환물 주위 골절은 0.3-2.5% 정도로 보고되고 있으며 골절 정도에 따라 보존적 치료도 가능하나 전위정도, 치환물의 고정상태, 원위부 골량 등을 고려하여 수술적 내고정술, 재치환술,

대퇴 치환술 등의 수술적 치료가 필요할 수 있다[62]. 폴리에틸렌 마모는 그 자체로도 재치환술의 원인이 되고, 마모인자에 대한 염증반응으로 골용해가 발생할 수 있어 임상적으로 중요하다. 관상면에서 5도 이상의 내반변형 및 시상면에서 대퇴치환물의 과도한 굴곡 등의 수술 후 부적절한 정렬이 마모를 촉진시킬 수 있다. 따라서 수술 술기에 있어서 적절한 정렬이 이루어져야 마모를 줄일 수 있고, 그로 인한 재치환술을 줄일 수 있다[63].

결론

고령화 사회로 인한 수명의 증가와 서구식 생활로 인한 비만의 증가로 퇴행성질환인 관절염의 유병인구가 증가하고 있고, 슬관절 전치환술의 수술건수는 관절염의 증가속도보다 훨씬 빠르게 증가하고 있다. 현재의 증가속도라면 조만간 우리나라에서 슬관절 치환술은 연간 10만 건 이상 진행하게 된다. 근막을 치환하던 초기시절부터 발전하여 수술기법 및 코발트합금, 초고분자량 폴리에틸렌 등의 소재의 발전으로 10년 생존율 95% 이상, 15년 생존율 90%에 가까운 좋은 결과를 보이고 있다. 65세에서 75세 사이 여성이 가장 많은 슬관절 치환술을 받고 있고, 기대수명의 증가는 더 높은 생존율을 필요로 하고 있다. 수술 후 더 정확한 치환물의 위치 및 하지정렬을 얻기 위하여 항법장치 및 로봇 이용 컴퓨터 보조 슬관절 치환술이 연구 및 임상사용되어 왔다. 많은 연구에서 컴퓨터 보조 슬관절 치환술이 고식적 방법보다 수술 후 영상학적으로 더 좋은 결과를 나타낸다고 보고하고 있다. 하지만, 아직 환자 만족도와 관련성 및 장기추시에 대한 연구는 더 필요하며 긴 수술시간과 고비용에 대한 해결이 필요하다. 슬관절 치환술 후 비교적 높은 환자만족도를 보이고 있으나, 수술의 평가하는 수술 후 결과와 환자가 주관적으로 평가하는 만족도와 차이가 있을 수 있음을 인지해야 한다. 만족도는 통증, 기능제한, 수술 전 기대도, 정신건강상태, 비만 등 여러 원인에 의해 결정되며, 따라서 수술 전 환자상태에 대한 적절한 평가와 충분한 면담을 시행하여야 한다. 또 한 더 높은 생존율과 환자만족도를 위해서는 수술 후 발생할

수 있는 합병증을 줄이기 위한 노력이 필요하며 정확한 술기를 익히고, 합병증 발생 시 빠른 진단과 정확한 치료로 후유증을 최소화 하려는 노력이 필요하다.

찾아보기말: 슬관절 퇴행성관절염; 슬관절 전치환술;
환자만족도; 생존율

ORCID

Jeung-Hwan Seo, <https://orcid.org/0000-0002-5216-8257>

Sang Hak Lee, <https://orcid.org/0000-0002-6711-6361>

Conflict of Interest

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

References

1. Arden N, Nevitt MC. Osteoarthritis: epidemiology. *Best Pract Res Clin Rheumatol* 2006;20:3-25.
2. Park HR, Cho SK, Im SG, Jung SY, Kim D, Jang EJ, Sung YK. Treatment patterns of knee osteoarthritis patients in Korea. *Korean J Intern Med* 2019;34:1145-1153.
3. Koh IJ, Kim TK, Chang CB, Cho HJ, In Y. Trends in use of total knee arthroplasty in Korea from 2001 to 2010. *Clin Orthop Relat Res* 2013;471:1441-1450.
4. Health Insurance Review & Assessment Service. Medical information service [Internet]. Wonju: Health Insurance Review & Assessment Service; 2020 [cited 2020 May 20]. Available from: <https://opendata.hira.or.kr/home.do>.
5. Ministry of Health and Welfare. The proportion of persons (aged 50 and over) diagnosed with arthritis 2008-2017. Sejong: Ministry of Health and Welfare; 2018.
6. Kim AM, Kang S, Park JH, Yoon TH, Kim Y. Geographic variation and factors associated with rates of knee arthroplasty in Korea-a population based ecological study. *BMC Musculoskelet Disord* 2019;20:400.
7. Kim AM, Park JH, Yoon TH, Kim Y. Hospitalizations for ambulatory care sensitive conditions as an indicator of access to primary care and excess of bed supply. *BMC Health Serv Res* 2019;19:259.
8. Van Manen MD, Nace J, Mont MA. Management of primary knee osteoarthritis and indications for total knee arthroplasty for general practitioners. *J Am Osteopath Assoc* 2012;112:709-715.
9. Kellgren JH, Lawrence JS. Radiological assessment of osteoarthritis. *Ann Rheum Dis* 1957;16:494-502.
10. Kerkhoffs GM, Servien E, Dunn W, Dahm D, Bramer JA,

- Haverkamp D. The influence of obesity on the complication rate and outcome of total knee arthroplasty: a meta-analysis and systematic literature review. *J Bone Joint Surg Am* 2012;94:1839-1844.
11. Miller A, Friedman B. Fascial arthroplasty of the knee. *J Bone Joint Surg Am* 1952;34-A:55-63.
12. Samson JE. Arthroplasty of the knee joint; late results. *J Bone Joint Surg Br* 1949;31B:50-52.
13. Karachalios T, Varitimidis S, Bargiotas K, Hantes M, Roidis N, Malizos KN. An 11- to 15-year clinical outcome study of the Advance Medial Pivot total knee arthroplasty: pivot knee arthroplasty. *Bone Joint J* 2016;98-B:1050-1055.
14. Song EK, Seon JK, Park KS, Yoon TR. The evolution of total knee and hip joint arthroplasty. *J Korean Med Assoc* 2011; 54:313-324.
15. Goharian A, Abdullah MR. Bioinert metals (stainless steel, titanium, cobalt chromium). In: Goharian A, Abdul-Kadir MR, Abdullah MR, editors. *Trauma plating systems: biomechanical, material, biological, and clinical aspects*. Amsterdam: Elsevier; 2017. p. 115-142.
16. Kretzer JP, Reinders J, Sonntag R, Hagmann S, Streit M, Jeager S, Moradi B. Wear in total knee arthroplasty--just a question of polyethylene?: Metal ion release in total knee arthroplasty. *Int Orthop* 2014;38:335-340.
17. Chien CS, Liu CW, Kuo TY, Wu CC, Hong TF. Bioactivity of fluorapatite/alumina composite coatings deposited on Ti6Al4V substrates by laser cladding. *Appl Phys A* 2016;122:303.
18. Ibrahim MZ, Sarhan AAD, Yusuf F, Hamdi M. Biomedical materials and techniques to improve the tribological, mechanical and biomedical properties of orthopedic implants – a review article. *J Alloy Compd* 2017;714:636-667.
19. Naudie DD, Ammeen DJ, Engh GA, Rorabeck CH. Wear and osteolysis around total knee arthroplasty. *J Am Acad Orthop Surg* 2007;15:53-64.
20. Dalury DF, Pomeroy DL, Gorab RS, Adams MJ. Why are total knee arthroplasties being revised? *J Arthroplasty* 2013;28(8 Suppl):120-121.
21. Kurtz SM, Pruitt LA, Jewett CW, Foulds JR, Edidin AA. Radiation and chemical crosslinking promote strain hardening behavior and molecular alignment in ultra high molecular weight polyethylene during multi-axial loading conditions. *Biomaterials* 1999;20:1449-1462.
22. Brown TS, Van Citters DW, Berry DJ, Abdel MP. The use of highly crosslinked polyethylene in total knee arthroplasty. *Bone Joint J* 2017;99-B:996-1002.
23. Alvand A, Auplish S, Gill H, Rees J. Innate arthroscopic skills in medical students and variation in learning curves. *J Bone Joint Surg Am* 2011;93:e115(1-9).
24. Price AJ, Alvand A, Troelsen A, Katz JN, Hooper G, Gray A, Carr A, Beard D. Knee replacement. *Lancet* 2018;392:1672-1682.
25. Bachmann M, Bolliger L, Ilchmann T, Clauss M. Long-term survival and radiological results of the Duracon™ total knee arthroplasty. *Int Orthop* 2014;38:747-752.
26. Ritter MA, Meneghini RM. Twenty-year survivorship of cementless anatomic graduated component total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 2010;25:507-513.
27. Yang JH, Yoon JR, Oh CH, Kim TS. Hybrid component fixation in total knee arthroplasty: minimum of 10-year follow-up study. *J Arthroplasty* 2012;27:1111-1118.
28. Kim YH, Yoon SH, Kim JS. The long-term results of simultaneous fixed-bearing and mobile-bearing total knee replacements performed in the same patient. *J Bone Joint Surg Br* 2007;89:1317-1323.
29. Kim YH, Park JW, Kim JS, Kulkarni SS, Kim YH. Long-term clinical outcomes and survivorship of press-fit condylar sigma fixed-bearing and mobile-bearing total knee prostheses in the same patients. *J Bone Joint Surg Am* 2014;96:e168.
30. Attar FG, Khaw FM, Kirk LM, Gregg PJ. Survivorship analysis at 15 years of cemented press-fit condylar total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 2008;23:344-349.
31. Scott CE, Bell KR, Ng RT, MacDonald DJ, Patton JT, Burnett R. Excellent 10-year patient-reported outcomes and survival in a single-radius, cruciate-retaining total knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2019;27:1106-1115.
32. Kim DK, Seo MC, Song SJ, Kim KI. Are Korean patients different from other ethnic groups in total knee arthroplasty? *Knee Surg Relat Res* 2015;27:199-206.
33. Harris IA, Harris AM, Naylor JM, Adie S, Mittal R, Dao AT. Discordance between patient and surgeon satisfaction after total joint arthroplasty. *J Arthroplasty* 2013;28:722-727.
34. Bourne RB, Chesworth BM, Davis AM, Mahomed NN, Charron KD. Patient satisfaction after total knee arthroplasty: who is satisfied and who is not? *Clin Orthop Relat Res* 2010; 468:57-63.
35. Matsuda S, Kawahara S, Okazaki K, Tashiro Y, Iwamoto Y. Postoperative alignment and ROM affect patient satisfaction after TKA. *Clin Orthop Relat Res* 2013;471:127-133.
36. Nashi N, Hong CC, Krishna L. Residual knee pain and functional outcome following total knee arthroplasty in osteoarthritic patients. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2015;23:1841-1847.
37. Scott CE, Bugler KE, Clement ND, MacDonald D, Howie CR, Biant LC. Patient expectations of arthroplasty of the hip and knee. *J Bone Joint Surg Br* 2012;94:974-981.
38. Ghomrawi HM, Franco Ferrando N, Mandl LA, Do H, Noor N, Gonzalez Della Valle A. How often are patient and surgeon recovery expectations for total joint arthroplasty aligned? Results of a pilot study. *HSS J* 2011;7:229-234.
39. Clement ND, Burnett R. Patient satisfaction after total knee arthroplasty is affected by their general physical well-being. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2013;21:2638-2646.
40. Fisher DA, Dierckman B, Watts MR, Davis K. Looks good but feels bad: factors that contribute to poor results after total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 2007;22(6 Suppl 2):39-42.
41. Choi YJ, Ra HJ. Patient satisfaction after total knee arthroplasty. *Knee Surg Relat Res* 2016;28:1-15.
42. Ritter MA, Faris PM, Keating EM, Meding JB. Postoperative alignment of total knee replacement. Its effect on survival. *Clin Orthop Relat Res* 1994;(299):153-156.

43. Barrack RL, Schrader T, Bertot AJ, Wolfe MW, Myers L. Component rotation and anterior knee pain after total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res* 2001;(392):46-55.
44. Jeong HJ, Park YB, Lee HJ. Computer-assisted navigation in total knee arthroplasty. *J Korean Orthop Assoc* 2018;53:478-489.
45. Stulberg SD, Yaffe MA, Koo SS. Computer-assisted surgery versus manual total knee arthroplasty: a case-controlled study. *J Bone Joint Surg Am* 2006;88 Suppl 4:47-54.
46. Weng YJ, Hsu RW, Hsu WH. Comparison of computer-assisted navigation and conventional instrumentation for bilateral total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 2009;24:668-673.
47. Hetaimish BM, Khan MM, Simunovic N, Al-Harbi HH, Bhandari M, Zalzal PK. Meta-analysis of navigation vs conventional total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 2012;27:1177-1182.
48. Lehnen K, Giesinger K, Warschkow R, Porter M, Koch E, Kuster MS. Clinical outcome using a ligament referencing technique in CAS versus conventional technique. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2011;19:887-892.
49. Chauhan SK, Scott RG, Breidahl W, Beaver RJ. Computer-assisted knee arthroplasty versus a conventional jig-based technique. A randomised, prospective trial. *J Bone Joint Surg Br* 2004;86:372-377.
50. Kim KK, Heo YM, Won YY, Lee WS. Navigation-assisted total knee arthroplasty for the knee retaining femoral intramedullary nail, and distal femoral plate and screws. *Clin Orthop Surg* 2011;3:77-80.
51. Hernandez-Vaquero D, Suarez-Vazquez A, Sandoval-Garcia MA, Noriega-Fernandez A. Computer assistance increases precision of component placement in total knee arthroplasty with articular deformity. *Clin Orthop Relat Res* 2010;468:1237-1241.
52. Sikorski JM. Computer-assisted revision total knee replacement. *J Bone Joint Surg Br* 2004;86:510-514.
53. Bauwens K, Matthes G, Wich M, Gebhard F, Hanson B, Ekkernkamp A, Stengel D. Navigated total knee replacement. A meta-analysis. *J Bone Joint Surg Am* 2007;89:261-269.
54. Alessio B, Norberto C. Computer-assisted surgery in total knee replacement: advantages, surgical procedure and review of the literature. *Acta Biomed* 2019;90:16-23.
55. Decking J, Theis C, Achenbach T, Roth E, Nafe B, Eckardt A. Robotic total knee arthroplasty: the accuracy of CT-based component placement. *Acta Orthop Scand* 2004;75:573-579.
56. Borner M, Wiesel U, Ditzgen W. Clinical experiences with ROBODOC and the Duracon total knee. In: Stiehl JB, Konermann WH, Haaker RG, editors. *Navigation and robotics in total joint and spine surgery*. Berlin: Springer Berlin Heidelberg; 2004. p. 362-366.
57. Kim YH, Yoo JH, Kim JS. Factors leading to decreased rates of deep vein thrombosis and pulmonary embolism after total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 2007;22:974-980.
58. Vince K, Chivas D, Droll KP. Wound complications after total knee arthroplasty. *J Arthroplasty* 2007;22:39-44.
59. Peersman G, Laskin R, Davis J, Peterson M. Infection in total knee replacement: a retrospective review of 6489 total knee replacements. *Clin Orthop Relat Res* 2001;(392):15-23.
60. Bong MR, Di Cesare PE. Stiffness after total knee arthroplasty. *J Am Acad Orthop Surg* 2004;12:164-171.
61. Vince KG, Abdeen A, Sugimori T. The unstable total knee arthroplasty: causes and cures. *J Arthroplasty* 2006;21:44-49.
62. Kim KI, Egol KA, Hozack WJ, Parvizi J. Periprosthetic fractures after total knee arthroplasties. *Clin Orthop Relat Res* 2006;446:167-175.
63. Chakravarty R, Elmallah RD, Cherian JJ, Kurtz SM, Mont MA. Polyethylene wear in knee arthroplasty. *J Knee Surg* 2015; 28:370-375.

Peer Reviewers' Commentary

고령화와 서구식 생활로 인한 비만의 증가 등으로 퇴행성 관절염의 유병률이 증가하고 있으며, 노령화가 가장 빠른 속도로 진행 중인 우리나라에서 퇴행성 관절염은 향후 국가적으로 관리가 되어야 할 중요한 만성 근골격계 퇴행성 질환이다. 이 논문은 진행된 퇴행성 관절염의 수술적 치료로 가장 많이 시행되고 있는 인공관절 치환술에 대하여, 현재까지 발전 과정 및 임상 결과 등에 대하여 최신 논문들을 잘 정리해 주고 있다. 치환물의 구성, 치환물의 생체역학, 수술 후 환자 만족도, 컴퓨터 보조 인공관절 치환술 등의 중요한 내용에 대하여 쉽게 잘 정리되어 있어, 정형외과 전문의뿐만 아니라 이에 관심이 있는 다양한 독자에게도 슬관절 인공관절 치환술의 현재 및 미래를 이해하는 데 많은 도움을 줄 것으로 판단된다.

[정리: 편집위원회]