



대한물리치료과학회지

Journal of Korean Physical Therapy Science
2026. 06. Vol. 33, No.2 pp. 50-73

하지 절단 환자의 절단 부위별 맞춤형 점진적 의지 보행 프로토콜 훈련 : 다중 사례 연구

민원규¹ · 이병희^{2†} · 신지철^{3†}

¹세브란스 재활병원 재활1팀 · ^{2†}삼육대학교 대학원 물리치료학과

^{3†}연세대학교 의과대학 재활의학교실

Progressive Prosthetic Gait Training Tailored to Amputation Level : A Multi-Case Report in Lower Limb Amputees

Min Won-Kyu¹ · Lee Byoung-Hee^{2†} · Shin Ji Cheol^{3†}

¹*Dept of Rehabilitation 1, Severance Rehabilitation Hospital*

^{2†}*Dept of Physical therapy, Graduate School of Sahmyook University*

^{3†}*Research Institute of Rehabilitation Medicine, Severance Hospital, Yonsei University
College of Medicine*

Abstract

Background: Lower limb amputation rehabilitation requires tailored protocols that reflect the unique biomechanical and functional demands of each amputation level. Despite this, structured, level-specific gait training is rarely implemented in routine care.

Design: Retrospective multiple case series design

Methods: This study was conducted at Severance Rehabilitation Hospital and included inpatients with lower extremity amputations—hemipelvectomy(HemP), hip disarticulation(HDis), transfemoral(TrFA), knee disarticulation(KDis), bilateral(BiAM), and triple amputation(TriAM). A total of ninety-one individuals participated in standardized gait training. Two protocols were utilized: one with eight progressive phases starting from parallel bar ambulation, and another with nine phases including an initial preparatory stage. Both followed AAOS guidelines and were delivered by a multidisciplinary team. Progression speed and time to clinical milestones were recorded.

Results: Seventy patients completed the training.

Progression varied by amputation level. KDis patients advanced more rapidly, likely due to preserved joint function. TrFA participants showed greater variability, influenced by residual limb strength and pain. Those with bilateral or complex amputations progressed more slowly, often due to comorbidities or skin issues.

Conclusion: A level-specific, phased training model facilitates structured decision-making and individualized rehabilitation. The preparatory phase prior to prosthetic fitting may affect total recovery duration. Larger, longitudinal studies are needed to assess long-term outcomes and broader applicability.

Key words: Amputation, Prosthesis, Gait

교신저자

이 병 희 (공동교신저자)^{2†}

01795 서울특별시 노원구 화랑로815 삼육대학교

T: 02-3399-1634, E: 3679@syu.ac.kr

신 지 철 (공동교신저자)^{3†}

03722 서울특별시 서대문구 연세로 50-1 연세대학교 의과대학

재활의학교실

T: 02-2228-3713, E: jcsevrn@yuhs.ac

I. 서론

점진적 의지 보행 훈련은 하지 절단 환자의 재활에서 핵심적인 중재로, 이동성, 균형, 그리고 전반적인 기능적 독립성을 향상시키는 데 초점을 둔다(Madou 등, 2024). 이 훈련은 절단 수준별 생체역학적 특성과 기능적 요구를 고려하여 세심하게 조정되어야 하며, 절단 부위에 따른 고유의 문제점을 해결하면서 진행된다(Czerniecki, 1996). 본 훈련의 주요 목표는 보행 시 에너지 소비를 최소화하고, 비정상적인 보상성 보행 패턴을 줄이며, 환자가 효율적이고 안전한 독립 보행을 할 수 있도록 기능을 회복시키는 것이다(Waters 등, 2004). 또한, 절단으로 인해 발생할 수 있는 이차적인 생체역학적 합병증을 예방하는 것도 중요한 목적 중 하나이다(Meikle, 등, 2002, Waters 등, 2004). AAOS 임상 진료 지침(Posada-Borrero 등, 2022; Potter 등, 2021; Coull 등, 2018)이 발표되었으나, 사지 구제 및 조기 절단을 결정하는 데 중요한 11가지 권고안이 포함되어 수술적 결정에는 도움이 될 수 있으나, 절단 후 임상에서 적용할 수 있는 의지보행치료의 단계별 가이드라인까지 세분화되지 않았다(Potter 등, 2021). 세브란스 재활병원의 하지 절단 환자 의지보행치료 프로토콜은 의지보행 준비 단계(Pre-prosthetic stage)에서 시작해 실외보행에 이르기까지 다양한 보행 보조도구를 단계적으로 적용할 수 있도록 세부 항목이 체계적으로 정립되어 있다(신지철, 2012). 각 단계에서는 절단단 관리를 포함하여 환자의 신체적 능력을 평가하기 위해 정기적인 다학제 협의가 이루어지며, 이를 바탕으로 최적의 치료 단계가 결정되었다(Abou 등, 2022; Marcon Alfieri 등, 2025; Posada-Borrero 등, 2022). 이러한 과정을 통해 환자의 의지보행 능력을 극대화하였고, 지속적으로 환자 맞춤형 프로그램으로 보완, 개별화되어 왔다(신지철, 2012). 의지보행치료를 단계별로 점진적 과부하, 복잡성, 강도를 점차 증가시킴으로써 근력, 지구력, 적응 능력을 향상시키는 프로그램으로 자리잡았고, AAOS 진료지침 발표보다 더 이전부터 한국인에 맞게 구성되었다(신지철, 2012). 보행 편차(gait deviation)로 인한 에너지 과소비 및 근골격계 문제를 방지하기 위해서는 보행의 대칭성 회복과 보행패턴의 정상화가 필요하다(Jarvis 등, 2017; Waters 등, 2004). 의지를 착용한 하지에 체중을 신속하고 안정적으로 실을 수 있도록 하는 체중 부하 훈련은 점진적이고 단계적인 진행이 필요하다(Schnadthorst 등, 2023; Dickstein 등, 2010). 또한 고유수용성 감각(proprioception)의 결손, 근육의 비대칭성으로 인한 신체 균형 문제를 해결하는 것이 필요하다((Marcon Alfieri 등 2025; Pasco, Stuart 2020; 강정선, 정보라 2018; Wong, Ehrlich 2016). 이러한 최근 연구들과 그 임상적 방향이 동일하면서도 그 이전부터 환자 맞춤형 단계별 프로세스로 진행되어 왔다(신지철, 2012). 또한 보행 훈련의 각 단계에서는 의학적, 심리적, 그리고 보조기기적 요인을 종합적으로 고려하여, 전문가 간 다학제 팀(multi-disciplinary team)의 협력과 의사결정 과정이 포함되는 것도 최근 연구 경향들과 의견을 같이한다(Sureshkumar 등, 2024; Kahle 등, 2016, Meier 등, 2014).

하지 절단은 절단 부위별로 구분하며, 반골반 절단(hemipelvectomy, HemP), 고관절 이단(hip disarticulation, HDis), 대퇴 절단(trans-femoral amputation, TrFA), 무릎관절 이단(knee disarticulation, KDis), 경골 절단(trans-tibial amputation, TrTA)으로 나뉜다(Meier 등, 2014). HemP는 골반의 일부를 제거하는 외과적 기술이며, 일반적으로 악성 종양이나 드물게는 심각한 외상을 치료하기 위해 시행되는 하지 절단의 한 유형으로, 골반 절제술이라 고도 한다(Wedemeyer 등, 2011). HemP는 외부 반골반 절단과 하지를 보존하는 내부 반골반 절단(사지 보존)으로 나뉘며, 수년 동안 '외부 반골반 절단'은 골반의 국소적으로 공격적이고 악성인 골종양에 대한 표준 치료법이었고, '내부 반골반 절단'은 골반 종양과의 싸움에서 대안으로 제시되었다(Wedemeyer 등, 2011; 김현동, 2010). TrFA는 무릎관절과 대퇴골의 상당 부분이 손실되어, 인공 무릎의 사용을 포함한 복잡한 재활 과정이 요구된다(Sjodahl 등, 2001). 이 환자들은 고관절 외전근의 약화, 골반 기울기의 증가, 몸통 기울임 등의 보상 움직임(compensatory movements)을 보이며, 이로 인해 보행의 대칭성이 저하되고 에너지 소비가 증가한다(Czerniecki 등, 2017; Waters 등, 2004).

또한 절단단의 점진적 위축, 의지에 체중지지 시간 감소, 의지측 하지의 보폭 증가, 지면 반발력 감소 등의 현상은 효율적인 보행을 더욱 어렵게 만든다(Abou 등, 2022). 인공 무릎과 발의 협응 조절을 위한 인지적 부하(cognitive load) 또한 높아, 낙상 위험 증가 및 심리적 위축으로 이어질 수 있다(Sjodahl 등, 2001). TrTA은 일반적으로 TrFA 보다 보행의 안정성과 효율성 측면에서 유리하나, 여전히 비대칭적 보행 양상이 나타난다(Highsmith 등, 2016; Kline 등, 2019). 특히 의지를 착용한 쪽의 보폭과 입각기 시간이 짧고, 유각기 동안 발목 배측굴곡 감소 및 보상적 고관절 굴곡 증가가 관찰된다(Brooks 등, 2002). 의지 발목의 제한된 가동 범위는 고관절 근육에 대한 의존도를 높여 운동 패턴의 변화와 피로도를 증가시킨다(Waters 등, 2004). 또한 TrTA 환자는 건강한 성인에 비해 보행의 변동성과 비대칭성이 증가하여 균형 저하 및 낙상 위험성이 높아질 수 있다 (Keklicek 등, 2019). 소켓 착용감과 서스펜션 시스템은 이러한 기능 저하에 직접적인 영향을 미치므로, TrTA에서 특히 중요하게 고려되어야 한다(Omana 등, 2023).

이러한 하지 절단의 수준은 고유한 보행 패턴과 기능적 손실을 야기하며, 이에 따라 필요한 재활 접근도 개인별로 맞춤형 접근이 필요하다(신지철, 2012). 그러나 실제 임상에서는 절단 부위별 표준화된 의지보행 재활 프로그램의 부족할 뿐만 아니라, 국내 건강보험 시스템으로 하지 절단 환자를 급성기부터 걸어서 퇴원하기까지의 의지보행재활 및 의지 관리를 체계적으로 진행하기 어려워, 실제 병원 간 접근 방식에서는 큰 편차가 존재한다(김진홍 등, 2020). 본 연구에서는 지난 25년간 '세브란스 재활병원 점진적 의지보행 훈련 프로그램'에 따라 실제 임상에서 다양한 하지 절단 환자의 치료를 진행하면서 절단 부위별로 20년 동안 축적된 사례를 토대로, 의지보행 훈련 프로그램의 각 단계별 기능적 행위를 완성하는데 소요된 치료 일수를 정리함으로써, 타 의료기관에서도 본 프로그램을 보다 쉽게 적용 및 비교할 수 있도록 하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상

세브란스 재활병원에 입원한 하지절단 환자를 대상으로 익명화한 의무기록자료를 수집하였다(Table 2). 대상자 선정기준은 2004년 3월부터 2024년 12월까지 입원하여 의지보행 치료 프로그램에 따라 치료에 참여한 하지절단 환자이며, 제외기준은 개인사유로 퇴원하면서 필수데이터가 누락된 자는 제외하였고, 내·외과적인 문제로 세브란스 하지절단 의지보행 훈련 프로그램 진행 중에 타병원으로 전원하였다가 재입원한 경우는 타병원 입원기간을 제외하였다(Figure 1). 한쪽 하지 절단의 경우, 좌/우를 구분하였고(Table 2, 3, 4, 6), 양측 하지절단으로 입원한 경우는 좌/우의 절단 부위를 대퇴골 혹은 경골의 절단 등을 세분화하였다(Table 5). 양측 하지절단 외에 한쪽 팔꿈치이단(elbow disarticulation)이 포함된 삼지 절단(triple amputation, TriAM)은 따로 구분하였다(Table 7).

2. 측정도구와 자료 수집과정

세브란스 재활병원에서 재활의학과 전문의, 물리치료사, 작업치료사, 의지보장구 기사 등이 20년간 매주 논의를 통해 다각도로 정립된 하지절단 환자의 점진적 의지 보행 프로그램을 기준으로(신지철, 2012), 각 단계별 필요한 행위를 완료하는 데 소요된 치료 일수를 전자의무기록(U-severance)으로부터 수집하였다.

모든 환자는 개인정보보호를 위해 환자 등록번호를 절단 수준별로 코드화하여, 연구데이터를 통한 개인 신상 확인이 불가능하게 하였다(김진홍 등, 2020). 절단 전담 물리치료사가 의지보행 물리치료프로그램에 따라 각각의 보행 훈련 단계에서 요구하는 기능적 움직임을 수행하기 위해 치료를 진행하였다. 매주 화/금 아침 근무시작 시 진행되는 절단-클리닉-미팅(amputee clinic rounding)에서 각 단계별 훈련한 내용을 시연하면(Meier 등, 2014), 실시간으로 문제점을 파악하

고, 다음 단계 프로그램을 진행할 지 혹은 해당 단계를 더 완벽하게 훈련할 지 결정되었다(Meier 등, 2014). 단계별 치료 소요일수는 다학제간 절단클리닉 미팅에서 결정된 프로세스에 따라 당일부터 새로운 보행 프로그램을 진행하므로, 미팅 하루 전까지를 치료 소요일수로 산정하여 기록하였다(Sureshkumar 등, 2024).

3. 점진적 의지 보행 훈련 프로토콜 (Progressive prosthetic gait training protocol)

1) 의지보행 준비단계 (Pre-prosthetic stage)

일생 동안 의지를 착용해야 하는 절단환자에게 있어 수술 전/후 관리는 성공적인 수술 이상으로 중요한 일이다 (Poindessous, 2025; Potter 등, 2021; 신지철, 2012). 절단 수술로 인한 통증 및 관절구축, 근력약화 등은 의지 착용 후 기능적이고 실용적인 생활을 제한하는 중요한 요인이 될 수 있으므로 이를 예방할 수 있는 교육과 훈련이 필수적으로 시행하였다(Hijmans 등, 2020; Klarich 등, 2014).

수술 전에는 수술 후 예상되는 근골격계 문제를 예방하기 위해 침상체위변환, 관절구축 방지, 근력유지 등에 대한 교육과 실질적인 움직임 훈련을 시행하였다(De-Rosende Celeiro 등, 2017). 수술 후에는 상지 및 건측 하지의 근력을 강화하고, 절단측 하지의 근력과 관절가동성의 개선, 절단 환부의 상처 회복 촉진을 위한 심부-횡-마찰 마사지(deep transverse friction massage)를 시행하고, 환상통, 절단지통 등 통증 관리에 대한 교육을 시행하였다(Klarich 등, 2014). 수술 후 장시간 같은 자세로 있거나 누워있음으로 해서 관절구축이 생기기 쉽다. 특히 수술 직후 베개 등을 이용하여 절단 부위를 높여주는 것은 부종 감소 뿐만 아니라 상처 치유를 촉진하고 통증을 감소시켜주는 이점이 있지만, 고관절 굴곡 구축 가능성이 높아진다(Kahle 등, 2016; 신지철, 2012). 또한 베개를 허리나 다리 밑에 놓는 것도 고관절 굴곡 구축 가능성을 높이게 되고, 다리 사이에 베개를 끼우는 것은 고관절 외전 구축을 촉진된다(Arribart 등, 2025). 따라서 절단 수술 후 하루가 지난 후부터는 환자를 엎드리게 하여 고관절 굴곡 구축을 방지하고, 근력 약화나 관절구축을 방지하는 고관절 주위 근육강화 운동을 빨리 시작하였다(Klarich 등, 2014; 신지철, 2012).

의지보행 준비단계의 치료는 고관절 주위 근력 증진, 관절가동범위 증진, 침상 이동, 침상에서 휠체어로 이동, 휠체어 사용 기술 등 환자 및 가족 교육에 중점을 두고 시작하였다(De-Rosende Celeiro 등, 2017; Meier 등, 2014). 신체 컨디셔닝 증진, 심혈관 지구력 유지 및 상지 근력 강화 운동을 위해 상지 에르고미터를 시행하였는데, 이는 휠체어 추진, 의지를 착용 후 선 자세, 평행봉 서기, 목발을 이용한 한 쪽 다리 보행 시 필요한 상지 근력 강화에 도움이 되었고, 특히 체중 감량이 목적인 유산소 운동으로 적절하였다(De-Rosende Celeiro 등, 2017). 소켓 측정을 위해 절단 환부 중 말단 부위를 압박하여 환부의 모양을 잘 만들어가는 압박스타킹(elastic shrinker) 착용을 통한 환부 성형 교육도 시행하였다(Klarich 등, 2014)(Table 1).

2) 점진적 의지 보행 단계 (Progressive prosthetic gait training stage, 1~8단계)

의지 착용 (Fitting a prosthesis)

하지 절단 후 소실된 하지로 인해 신체의 중력 중심점은 절단되지 않은 하지 측, 정상측 다리로 이동하게 된다 (Miller 등, 2002). 하지 절단 환자에게 가능한 한 빨리 의지를 착용 후, 평행봉 안에서 선 자세를 경험시키는 것은 한쪽으로 치우친 중력 중심점을 원래의 양쪽 다리 사이에 위치하게 하여, 몸 전체의 균형이 무너지는 것을 예방하고, 일상 생활 복귀를 빠르게 하는데 도움이 되었다(Kahle 등, 2016). 의지를 착용하고 선 자세 훈련 및 평행봉 보행 등을 시작하게 되면 절단 환부의 모양이나 크기가 변화하기 때문에, 양말의 두께를 조절하면서 소켓 착용을 가능한 편안하게 조절하였다(조강희 등, 2016; 신지철, 2012). 당뇨나 관절염 같은 내과적인 질환에 대한 관찰도 절단 환부의 악화를

막기 위해 매 치료시마다 확인하였고, 작은 체중 변화에도 소켓이 잘 맞지 않을 수 있기 때문에 일정한 체중을 유지할 수 있도록 하였다(Marshall 등, 2016).

엉덩이뼈의 아래쪽에 있는 두툼한 부위인 궁둥뼈결절(ischial tuberosity)은 평소 단단한 나무의자 혹은 돌의자에 앉는 경우를 제외하면 체중부하를 견딘 경험이 많지 않은 부위다(Dudek 등, 2005). 체중지지라는 큰 스트레스가 가해짐으로 인한 불편함은 환자가 적응하기 어렵지만, 빨리 적응하는 것이 필요하다(Hanspal 등, 2003). 체중 지지 및 이동 훈련 중 선 자세에서의 하중 분산 또는 한 발 내딛기 동작은, 절단단에 적합하게 제작된 소켓을 착용한 경우에도 특정 부위에 반복적인 고강도 압력을 유발할 수 있다. 이로 인해 해당 부위의 피부는 초기 손상에서 나아가 궤양(ulcer)으로 악화될 가능성이 존재할 수 있다(Gailey 등, 2008). 의지를 착용하고 선 자세 훈련을 하면서 통증을 느낄 때와 의지 착용 훈련 직후에는 반드시 소켓을 벗어서 절단 환부의 피부상태를 확인하였다(Finucane 등, 2022; Dudek 등, 2005).

이후 진행되는 점진적 의지 보행훈련에는 무릎 안정성 확보, 동일한 보폭, 그리고 몸통 측면 굽힘 방지 운동이 진행되었고, 평탄한 표면인 실내에서 보행 패턴을 일정하게 유지시켜 보행 지구력이 좋아지게 되면, 계단, 경사로, 넘어지기 및 넘어진 후 혼자 일어서기 등을 교육하였다. 상황에 따라 적절한 보행 보조기구를 사용하고, 이후 바닥이 고르지 않은 지형 등 다양한 환경에서의 보행 훈련을 진행하였다(Meier 등, 2014). 또한 의지 착용 및 탈의, 양말 관리 교육, 피부 평가, 그리고 의지 착용 내성을 위한 점진적인 의지 착용 일정을 진행하였다(Talaty 등, 2013). 이 과정에서 피부 적응을 위해 의지를 착용하고 선 자세 훈련을 시작하기 전부터 15~20분 동안 소켓을 착용하는 것부터 시작하였고, 이후 절단 환자가 의지를 완전히 착용할 수 있을 때까지 착용 시간을 점진적으로 늘려갔고, 몇 주 이상 소요되었다(Marshall 등, 2016).

선 자세 훈련 및 의지 조절 훈련 (1-2단계)

1단계에서는 평행봉에서 선 자세를 유지하면서 정면의 거울을 보며 체간의 균형을 인식하고, 불필요한 상지의 힘을 빼고 적절한 코어 긴장도를 유지하는 훈련을 실시하였다(Engstrom B., 1999). 특히 궁둥뼈결절에 통증이 발생할 경우, 이를 완화하기 위해 상체를 전방으로 기울여서 골반전방경사(anterior pelvic tilt)를 유도하는 것을 하지 않도록 하였고, 대둔근(gluteus maximus)의 등척성 수축을 지속적으로 유지할 수 있도록 유도함으로써 근지구력 증진, 통증 완화 및 골반-소켓-의지 정렬을 개선하도록 하였다(Tokuno 등, 2003). 선 자세 훈련 외에 의지 착용 누적 시간을 점진적으로 증가시켜, 식사시간 외에는 하루 종일 착용할 수 있도록 진행하였다(Kahle 등, 2016; Marshall 등, 2016; Hanspal 등, 2003; Meier, 1984). 또한 평행봉 훈련 초기에는 정상측 다리와 동일한 길이로 세팅하는 것이 바람직하고, 이후 체중지지 향상을 위해 의지 길이를 건축 대비 약 1/2인치 줄였다(Talaty 등, 2013; Friberg, 1984).

2단계에서는 평행봉에서 의지를 착용한 하지에 체중지시시키고, 건축 발을 전방으로 한 걸음 내딛는 보행 시작을 진행하였다(Munin 등, 2001; Engstrom B., 1999). 이 과정에서 코어 근육 및 체간 기립근의 안정적 근긴장이 유지되었고, 골반의 후방경사(posterior pelvic tilt) 및 소켓-의지 움직임의 정밀 제어를 통해 '발뒤꿈치→ 체중이동→ 발뒤꿈치'로 이어지는 일련의 걸음을 반복적으로 연습시켰다(Dickstein 등, 2010). 특히 고관절 이단 혹은 반골반 절단 환자에서는 고관절 굴곡근이 결손되어 있으므로, 복부와 코어 근육의 강화를 필수적으로 진행하였다(Corio 등, 2010). 이 단계의 의지 착용 시간은 하루 평균 8시간 이상으로 유지시켰고, 주 2회 절단클리닉 미팅을 통해 가장 효율적인 보행이 될 수 있도록 환자 보행 패턴을 확인하면서 약 3/8~1/4인치 사이에서 다리길이를 조절하였다(Highsmith 등, 2016; Friberg, 1984).

점진적 의지보행 훈련 (3~6 단계)

3단계는 평행봉 내부에서 본격적인 보행 훈련을 수행하는 단계로, 일정한 속도로 양쪽 발뒤꿈치에 체중이동이 원활하게 이루어지도록 하였다(Finucane 등, 2022; Posada-Borrero 등, 2022). 발뒤꿈치의 착지 시점에서 골반과 체간의 정렬이 유지되며, 대둔근 및 체간 기립근의 효율적 근수축 타이밍이 핵심이므로, 4점 보행(4-point gait)이 자연스럽게 형성되도록 유도하였다(Heitzmann 등, 2020). 이때 의지 길이는 건축 대비 약 1/4인치 짧게 조정하였다(Mathis 등, 2021; Friberg, 1984).

4단계에서는 평행봉 내에서 4점 보행패턴이 일정하게 유지될 때, 평행봉에서 나와 목발 2개를 사용하여 4점 보행을 지속하는 것으로 발전시켰다(Finucane 등, 2022; Miller 등, 2006). 이때 가장 중요한 것은 정확한 지점에 뒤꿈치 닿기를 수행하면서, 일정한 속도를 유지하는 것이다(Pereira 등, 2019; Hendershot 등, 2018). Nordic ski walking의 자세를 응용하여, 상체의 항중력 근육을 활성화하면서 보행 안정성을 위해 하지 절단 환자의 팔꿈치를 직각으로 유지한 상태에서 목발을 잡도록 하였는데, 전신운동 효과, 에너지 효율 증가, 무릎 충격 감소에 도움이 되었다(Wiltmann, 등, 2016; Knobloch 등, 2006). 목발 보행이 안정되면 4점 보행에서 2점 보행으로 전환하도록 유도하였다(Schiffer 등, 2006). 이 과정에서 소켓 내 절단단의 체중 자극으로 인해 조직이 변화할 수 있으므로, 특수 양말 착용을 통해 소켓과 피부의 밀착도를 유지하였다(Hanspal 등, 2003).

5단계에서는 양쪽 목발 중에서 의지 착용 측의 반대쪽 손으로 잡은 목발만을 사용하였고, 다른 한 쪽 목발은 제거하였다(Finucane 등, 2022). 이 단계에서 보행 시 의지를 착용한 하지에 체중 부하가 충분하고(일반적으로 체중의 80% 이상), 보행 중 적절한 골반 경사각도 조절, 무릎 구부림 조절, 발뒤꿈치 닿기 등의 의지제어가 안정적으로 이루어지면서 목발 보행 및 의지에 대한 자신감이 생기면, 목발 대신 외발 지팡이로 교체하는 6단계로 발전시켰다(Coull 등, 2018; van Velzen 등, 2006; Sjodahl 등, 2001; Zuniga 등, 1972). 이때는 절단측 고관절 신전근 및 외전근의 근지구력 강화에 집중하면서, 안정적이고 자연스러운 보행 패턴이 되도록 하였다(Waiteman 등, 2023; Kim 등, 2020; Pasco 등, 2020; Engstrom B., 1999).

상위 보행훈련 단계 (7~8 단계)

1-6단계가 평지 보행 단계(even-level stage)라면, 7단계부터는 상위 보행훈련 단계(uneven-level stage)로서 경사로 및 계단 보행 훈련을 진행하였다(Finucane 등, 2022). 경사로 오르기에서는 절단측 하지의 고관절 신전근과 건측 발바닥근의 근력이 요구되며, 골반을 전방경사시키고 상체를 앞으로 숙이면서 에너지 소모를 줄이려는 보상작용이 생긴다(Czerniecki 등, 2017; Waters 등, 2004). 이에 내림 경사로 보행 시에는 정상인에 비해 보행 안정성이 떨어질 수 있어, 의지측 발목 관절과 무릎, 엉덩관절의 움직임의 조절을 유도하였다. 보폭 및 보행 속도를 감소시킬 수 있어야 하며, 보행 안정성을 유지하기 위해 체간 정렬 유지에 주의하였다(심우섭 등, 2016; 손민지 등, 2015; Engstrom B., 1999). 또한 경사로를 내려갈 때에는 의지의 뒤꿈치가 닿은 후에 발바닥으로 체중이 이동하는 순간에 무릎과 골반이 앞으로 기울어지게 된다. 이때는 반대쪽 보폭이 갑자기 길어지면서 보폭의 비대칭이 만들어질 수 있어 주의하였다(Coull 등, 2018; Highsmith 등, 2016; Wong 등, 2016; 권혜림 등, 2013).

8단계는 실내에서 모든 보행 훈련을 마치고 지역사회로 복귀를 위한 최종 준비로서, 돌발 장애물이나 불확실한 지면에서 의지를 착용한 다리가 미끄러지지 않도록 항상 주의를 기울여야 하며, 고개를 숙여 수시로 지면을 주시하도록 실시간 교육하면서 진행하였다(김철희 등, 2016).

Table 1. Progressive prosthetic gait training protocol in lower limb amputation at Severance Rehabilitation Hospital

Progressive prosthetic gait training	Pre-Prosthetic Stage	Progressive prosthetic gait training in Even-level stage					Uneven-level stage		
		Stage 1 (P-bar)	Stage 2 (P-bar)	Stage 3 (P-bar)	Stage 4 (Bilat. Crutch)	Stage 5 (Unilat. Crutch)	Stage 6 (Unilat. Monocane)	Stage 7 (Advanced)	Stage 8 (Out-door)
Gait training with main theme	Bridging ex. in supine	P-bar standing	Prosthesis control training	Gait training in P-bar	Gait with bilateral crutch	Gait with unilateral crutch	Gait with unilateral monocane	Gait without gait aids in even level	Gait without gait aids in uneven level
Movement reeducation	Alternative arm swing with both LE motion in supine	One-leg standing in P-bar (Try)	1-step training in P-bar	4-points gait training	From 4-points gait to 2-points gait	Gait pattern correction	Gait pattern correction	Ramp and stair up & down training	Out-door level gait training with supervision
	Strengthening ex.	Maintain upright posture	2-step training in P-bar (try)		Gait with unilateral crutch (Try)	Regular Gait pattern	Swing to & Swing through gait	Check gait endurance (time, distance)	
	Posterior pelvic tilt ex.	Trunk upright posture	Prosthesis control with post. pelvic tilt	Posterior pelvic tilt ex.	Alternatively arm swing training & trunk control with pelvic rotation	Push-off training in sound leg	Post. pelvic tilt ex. Push-off training in sound leg	Posterior pelvic tilt ex. and reciprocal pelvic movement	Maintain upright posture
Decision making (MD)	Prosthesis measure, Prosthetic type, Motor & ROM check	Prosthesis fitting, Leg length check, Scoliosis assessment, Fitting tolerance (daytime)	Neuromuscular reeducation, Check pelvic level and leg length, scauogram (standing AP) Cybex evaluation and training	Dynamic standing balance & Prosthesis control regularly	Regularly gait pattern in P-bar	Shrinkage checking (trend) Check circumference of stump Symmetry pattern in gait	Shrinkage checking (trend) Check circumference of stump	Final checking of leg length	Back step & floor to Standing
Stump care (PT)	Shrinkage apply	Fitting time (6-8hrs/day)	Fitting time (>8hrs/day)	Fitting time (>8hrs/day)	Fitting time (>8hrs/day)	Fitting time (>8hrs/day)	Fitting time (>8hrs/day)	Fitting time (>8hrs/day)	Fitting time (>8hrs/day)
1) Stump conditions									
2) Skin care,	Check Phantom pain	Check redness (<30min)	Check redness (<30min)	Check redness (<30min)	Check redness (<30min)	Check redness (<30min)	Check redness (<30min)	Check redness (<30min)	Check redness (<30min)
3) Stump care	Deep friction massage (scar tissues)	Check circumference of stump	Check circumference of stump	Check circumference of stump	Check circumference of stump	Check circumference of stump	Check circumference of stump	Check circumference of stump	Check circumference of stump
4) Leg length evaluation X-ray/APview	Check scoliosis	Check pelvic level & even level P-bar standing	Check pelvic level & 1/2 inch shortened in prosthetic limb	Check pelvic level & 1/2-3/8 inch shortened in prosthetic limb	Check pelvic level & 1/2-3/8 inch shortened in prosthetic limb	Check pelvic level & 1/4 inch shortened in prosthetic limb	Check pelvic level & 1/4 inch shortened in prosthetic limb	Check pelvic level & 1/4 inch shortened in prosthetic limb	Check pelvic level & 1/4 inch shortened in prosthetic limb
	Schroth approach with visual feedback	Schroth approach with visual feedback	Schroth approach with visual feedback	Schroth approach with visual feedback	Schroth approach with visual feedback	Schroth approach with visual feedback	Schroth approach with visual feedback	Schroth approach with visual feedback	Schroth approach with visual feedback
5) Check Scoliosis : correction ex. & education	Both hip ex>F	Both hip ex>G	Both hip ext>G+	Both hip ext>G+	Both hip ext>G+	Both hip ext.=N	Both hip ext.=N	Both hip ext.=N	Both hip ext.=N
6) Check Motor : Strengthening ex & correct of muscle imbalance	Both hip abd>F	Both hip ex>G	Both hip abd>G+	Both hip abd>G+	Both hip abd>G+	Both hip abd.=N	Both hip abd.=N	Both hip abd.=N	Both hip abd.=N
	Core muscles, back muscles, lateral trunk muscles								
7) Check ROM	Stretching ex : hip flexor, abductor (stump)								

삼지 절단 환자의 상지는 오른쪽 팔꿈치 이단 절단이고, 왼손은 엄지손가락의 움직임 제한이 있어 벌어지지 않아 목발을 잡을 수 없어서, 상지기능 개선을 우선 집중하였다. 실내 보행 프로그램으로는 평행봉에서 나온 후 바퀴달린 워커를 사용하여 환자 스스로 휠체어에서 일어서는 훈련을 시행하였다. 이후 환자 혼자 힘으로 휠체어에서 바퀴달린 워커를 사용하여 일어나서 걷는 훈련을 진행하여 약 60~80미터를 보행할 수 있는 수준까지 진행하였다. 계단과 경사로는 교육만 하였고, 실제 불가능하였다. 실외는 전동 휠체어를 타고 나가서, 병원 앞 벤치로 옮겨타고, 차에 올라타는 수준의 일상생활에 필요한 최소한의 실외 보행을 진행하였다 (Shin 등, 2014).

III. 연구결과

1. 연구 대상자의 일반적 특성

본 연구에는 20년 10개월 동안 입원치료를 받은 총 91명의 하지 절단환자를 대상으로 하였고, 세브란스 하지절단 의지보행 훈련 프로토콜을 완료한 70명의 의무기록과 치료기록을 분석하였다(Table 2).

Table 2. General and clinical characteristics of subjects ($n=91 \rightarrow 70$)

Characteristics	Transfemoral amputation	Knee disarticulation	Hip disarticulation / Hemipelvectomy	Bilateral leg amputation	Triple amputation
Gender (M/F)	34 (15/19)	15 (7/8)	10 (6/4)	10 (7/3)	1 (1/0)
Age (years) ^a	42.9±15.3	48.4±11.2	46.9±15.9	37.7±12.5	40
Height (cm) ^a	158.9±12.2	161.6±8.4	166.5±13.4	166.7±7.2	163
Weight (kg) ^a	57.5±12.9	56.1±9.4	58.0±14.1	64.5±8.3	54.2
Amputee side (Rt./Lt.)	18/16	5/10	5/5		

^amean±SD

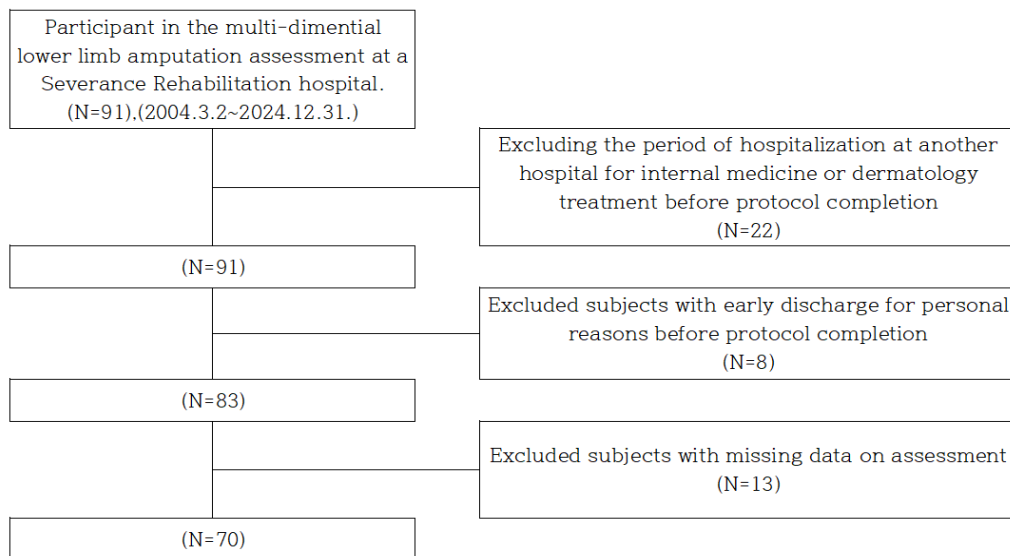


Figure 1. Modified CONSORT Flow Diagram for Case Series Study

2. 하지 절단 환자의 절단 부위에 따른 점진적 의지보행 프로토콜 단계별 치료기간

의지착용 전 준비교육을 시행하기 이전과 이후의 시기를 비교해 보면, 대퇴절단환자 중 의지착용 전 준비교육을 시행하지 못한 그룹에 비해 준비교육을 받은 그룹은 1단계는 -0.6일, 2단계는 -0.2일 치료기간 감소, 3단계는 +0.1일, 4단계는 +0.6일로 증가하였고, 5단계는 -2.7일, 6단계는 -1.1일, 7단계는 -1.4일, 8단계는 -1.4일 감소하였다. 전체 시기를 비교시에는 -6.7일 감소, -0.9주 감소하였다. 치료일수가 길었던 5단계는 한쪽 목발 보행이었고, 그 다음으로 치료일수가 길었던 단계는 1단계로 평행봉 서기였다(Table 3).

Table 3. Duration of Each Phase in the Progressive Prosthetic Gait Training Protocol for Unilateral TrFA (in days and weeks)

TrFA ID	Pre-Stage	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 5	Stage 6	Stage 7	Stage 8	Total days	Total wks	AVG wks
TFL-01	X	6	6	7	6	8	6	7	5.5	51.5	7.4	7.8
TFR-02	X	6	9	6	6	8	8	7	6	56.0	8.0	
TFR-03	X	7	6	7	6	8	6	7	5.5	52.5	7.5	
TFL-04	X	8	9	6	6	9	7	7	5.5	57.5	8.2	
TFL-05	X	10	12	8	6	8	8	9	8	69.0	9.9	
TFL-06	X	9	6	6	9	10	6	6	5.5	57.5	8.2	
TFR-07	X	6	7	6	6	8	6	7	6	52.0	7.4	
TFR-08	X	8	6	6	6	7	8	6	6	53.0	7.6	
TFL-09	X	9	6	5.5	6	14	12	8	6	66.5	9.5	
TFL-10	X	6	6	6	5.5	8	6	6	5.5	49.0	7.0	
TFR-11	X	9	8	6	5.5	8	6	6	5.5	54.0	7.7	
TFR-12	X	9	6	6	6	8	5.5	6	5.5	52.0	7.4	
TFR-13	X	6	6	5.5	5.5	8	6	6	5.5	48.5	6.9	
TFL-14	X	9	8	9	5.5	5.5	6	5.5	5	53.5	7.6	
TFL-15	X	7	8	6	7	6	5.5	6	5.5	51.0	7.3	
AVG (preX)a		7.7±1.4	7.3±1.8	6.4±1.0	6.1±0.9	8.2±1.9	6.8±1.7	6.6±0.9	5.8±0.7	54.9±5.9	7.8±0.8	6.9
TFR-16	O	7	6	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	46.0	6.6	
TFR-17	O	7	5.5	6	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	46.0	6.6	
TFR-18	O	7	6	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	5.5	46.0	6.6	
TFL-19	O	7	14	12	5.5	4	6	5	5.5	59.0	8.4	
TFR-20	O	7	8	9	5.5	4	3	3	3	42.5	6.1	
TFR-21	O	7	7	14	9	4	3	5.5	5.5	55.0	7.9	
TFL-22	O	7	8	4	5.5	5	5.5	3	5.5	43.5	6.2	
TFL-23	O	7	7	8	8	5	8	5.5	3	51.5	7.4	
TFL-24	O	7	6	8	8	5.5	6	5.5	3	49.0	7.0	
TFR-25	O	8	9	9	9	8	5	5.5	5.5	59.0	8.4	
TFR-26	O	7	7	5.5	8	5.5	6	3	5.5	47.5	6.8	
TFL-27	O	7	6	4	7	5.5	5.5	5.5	3	43.5	6.2	
TFL-28	O	7	7	4	7	6	6	6	5	48.0	6.9	
TFR-29	O	7	7	4	7	6	6	5	3	45.0	6.4	
TFR-30	O	7	6	4	7	6	7	7	4	48.0	6.9	
TRF-31	O	7	6	5.5	7	5	6	5	5	46.5	6.6	
TFL-32	O	7	7	5.5	7	5.5	7	6	3	48.0	6.9	
TFL-33	O	7	7	5.5	6	7	6	7	3	48.5	6.9	
TFR-34	O	7	6	4	5	5.5	5	5	5	42.5	6.1	
AVG (preO)a		7.1±0.2	7.1±1.9	6.5±2.9	6.7±1.3	5.5±1.0	5.7±1.2	5.2±1.1	4.4±1.2	48.2±4.9	6.9±0.7	
change		-0.6	-0.2	+0.1	+0.6	-2.7	-1.1	-1.4	-1.4	-6.7	-0.9	
TrFA AVGa		7.3±1.0	7.2±1.8	6.4±2.2	6.5±1.1	6.7±2.0	6.2±1.5	5.8±1.3	5.0±1.2	51.1±6.3	7.3±0.9	

TFL: Trans-femoral, Lt.

TFR: Trans-femoral, Rt.

amean±SD

Table 4. Duration of Each Phase in the Progressive Prosthetic Gait Training Protocol for Unilateral KDis (in days and weeks)

KDis ID	Pre-Stage	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 5	Stage 6	Stage 7	Stage 8	Total days	Total wks	AVG wks
KDisL-01	X	6	6	6	6	8	6	6	3	47.0	6.7	6.8
KDisL-02	X	9	8	7	7	6	6	5.5	5	53.5	7.6	
KDisR-03	X	7	6	7	6	6	6	5	4	47.0	6.7	
KDisL-04	X	7	6	8	6	6	6	5	4	48.0	6.9	
KDisL-05	X	7	8	8	6	5	5	5	3	47.0	6.7	
KDisL-06	X	7	6	7	6	6	6	5	3	46.0	6.6	
KDisL-07	X	7	7	7	6	5	5	5	3	45.0	6.4	
AVG (preX)		7.1±0.9	6.7±1.0	7.1±0.7	6.1±0.4	6.0±1.0	5.7±0.5	5.2±0.4	3.6±0.8	47.6±2.7	6.8±0.4	6.4
KDisR-08	O	7	6	6	6	6	4	4	3	42.0	6.0	
KDisL-09	O	7	7	7	7	6	3	5.5	4	46.5	6.6	
KDisL-10	O	7	8	6	7	6	5	3	4	46.0	6.6	
KDisL-11	O	7	6	6	6	6	6	5.5	3	45.5	6.5	
KDisL-12	O	7	6	6	6	6	6	5.5	3	45.5	6.5	
KDisR-13	O	7	6	6	6	5	5	5.5	3	43.5	6.2	
KDisR-14	O	7	6	5	6	5	6	5	3	43.0	6.1	
KDisR-15	O	7	7	6	6	5	5	5	3	44.0	6.3	
AVG (preO)		7.0±0.0	6.5±0.8	6.0±0.5	6.3±0.5	5.6±0.5	5.0±1.1	4.9±0.9	3.3±0.5	44.5±1.6	6.4±0.2	
change		-0.1	-0.2	-1.1	+0.2	-0.4	-0.7	-0.3	-0.3	-3.1	-0.4	
KDis AVG		7.1±0.6	6.6±0.8	6.5±0.8	6.2±0.4	5.8±0.8	5.3±0.9	5.0±0.7	3.4±0.6	46.0±2.7	6.6±0.4	

KDisL: Knee disarticulation, Lt.
KDisR: Knee disarticulation, Rt.

Table 5. Duration of Each Phase in the Progressive Prosthetic Gait Training Protocol for BiAM (in days and weeks)

BiAM ID	Pre-Stage	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 5	Stage 6	Stage 7	Stage 8	Total days	Total wks	AVG wks
01_RTLF	X	12	18	16	10	10	14	14	NT	94.0	13.4	13.0
02_RFLT	X	12	17	15	10	10	14	13	NT	91.0	13.0	
03_RFLT	X	12	17	14	10	10	13	12	NT	88.0	12.6	
04_RTLF	X	13	18	14	10	10	13	12	NT	90.0	12.9	
AVG (preX)		12.3±0.5	17.5±0.6	14.8±1.0	10.0±0.0	10.0±0.0	13.5±0.6	12.8±1.0		90.8±2.5	13.0±0.4	14.1
05_RDLF	O	12	18	16	10	10	12	11	NT	89.0	12.7	
06_RTLF	O	14	17	18	15	14	14	10	NT	102.0	14.6	
07_BiTF	O	14	17	15	14	12	14	8	NT	94.0	13.4	
08_BiTF	O	14	16	15	13	12	13	12	NT	95.0	13.6	
09_BiTF	O	14	16	15	13	12	15	14	7	106.0	15.1	
10_BiTF	O	16	16	15	14	14	12	12	6	105.0	15.0	
AVG (preO)		14.0±1.3	16.7±0.8	15.7±1.2	13.2±1.7	12.3±1.5	13.3±1.2	11.2±2.0	6.5±0.7	98.5±6.8	14.1±1.0	
change		+1.7	-0.8	+0.9	+3.2	+2.3	-0.2	-1.6	6.5	+7.7	+1.1	
BiAM AVG		13.3±1.3	17.0±0.8	15.3±1.2	11.9±2.1	11.4±1.6	13.4±1.0	11.8±1.8	6.5±0.7	95.4±6.6	13.6±0.9	

RTLF: Rt. trans-tibial & Lt. trans-femoral amputee
RFLT: Rt. trans-femoral & Lt. trans-tibial amputee
RDLF: Rt. Knee disarticulation & Lt. trans-femoral amputee
BiTF: Both trans-femoral amputee

한쪽 무릎관절 이단 환자는 의지착용 전 준비교육을 받은 그룹이 1단계는 -0.1일, 2단계는 -0.2일, 3단계는 -1.1일 치료일수 감소, 양쪽 목발을 사용하는 4단계에서만 +0.2일 길었고, 그 이후 5단계는 -0.4일, 6단계는 -0.7일, 7단계는 -0.3일, 8단계는 -0.3일로 모두 감소하였다. 전체 시기를 비교 시에는 의지착용 전 준비교육을 받은 그룹이 치료기간이 -3.1일 감소, -0.4주 감소하였다(Table 4).

양측 하지 절단 환자는 의지착용 전 준비교육을 받은 그룹이 1단계 +1.7일 증가, 2단계 -0.8일 감소, 3단계 +0.9일, 4단계 +3.2일, 5단계 +2.3일 증가, 6단계 -0.2일, 7단계 -1.6일 감소, 8단계 +6.5일 증가하였고, 전체 시기는 +7.7 증가, 1.1주 증가하였다. 치료시기가 가장 차이나는 4단계는 양쪽 외발 지팡이를 사용한 보행시기이다. 1~7단계까지의 치료일수 차이는 0.2~3.2일 차이인 반면, 가장 힘들고 난이도가 높은 8단계인 실외 보행은 -6.6일, -0.9주 감소한 것으로 보이나, 양측 하지절단 환자 전체를 살펴보면 의지착용 전 준비교육을 받은 그룹에서만 실외보행까지 진행되었다(Table 5).

한쪽 반골반/고관절 이단 절단 환자의 경우는 다른 절단 환자 그룹과는 달리, 의지착용 전 준비교육을 받은 그룹에서 모든 단계에서 치료기간이 감소하였다. 특히 1단계 평행봉 서기에서 -3.8일 감소, 2단계 평행봉에서 의지를 착용한 다리의 한 발짝 떼기 연습시기에서 -4.2일 감소, 전체 시기 -16.4일, -2.3주 감소하였다(Table 6).

Table 6. Duration of Each Phase in the Progressive Prosthetic Gait Training Protocol for HemP, HDis (in days and weeks)

HemP, HDis ID	Pre-stage	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 5	Stage 6	Stage 7	Stage 8	Total days	Total wks	AVG wks
01_HemPR	X	15	18	16	10	10	14	14	NT	97.0	13.9	13.9
02_HemPL	X	14	17	15	11	11	14	13	NT	95.0	13.6	
03_HDisR	X	14	17	14	11	9	13	12	7	97.0	13.9	
04_HDisR	X	14	17	14	11	11	13	12	7	99.0	14.1	
05_HDisL	X	14	18	14	10	10	13	12	7	98.0	14.0	
AVG(preX) ^a		14.2±0.4	17.4±0.5	14.6±0.9	10.6±0.5	10.2±0.8	13.4±0.5	12.6±0.9	7±0.0	97.2±1.5	13.9±0.2	
06_HemPL	O	12	15	14	8	9	11	8	4	81.0	11.6	11.5
07_HDisR	O	11	13	15	10	11	12	8	4	84.0	12.0	
08_HemPL	O	10	13	13	12	10	12	8	4	82.0	11.7	
09_HDisR	O	10	12	14	11	9	11	9	4	80.0	11.4	
10_HDisL	O	9	13	13	10	8	12	8	4	77.0	11.0	
AVG(preO) ^a		10.4±1.1	13.2±1.1	13.8±0.8	10.2±0.5	9.4±1.1	11.6±0.5	8.2±0.4	4±0.0	80.8±2.6	11.5±0.4	
change		-3.8	-4.2	-0.8	-0.4	-0.8	-1.8	-4.4	-3	-16.4	-2.3	
AVG ^a		12.3±2.2	15.3±2.4	14.2±0.9	10.4±1.1	9.8±1.0	12.5±1.1	10.4±2.4	5.1±1.6	89±8.9	12.7±1.3	

HemPR: Hemi-pelvectomy, Rt.

HemPL: Hemi-pelvectomy, Lt.

HDisR: Hip disarticulation, Rt.

HDisL: Hip disarticulation, Lt.

^amean±SD

Table 7. Duration of Each Phase in the Progressive Prosthetic Gait Training Protocol for TriAM (in days and weeks)

TriAM ID	Pre-Stage	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4	Stage 5	Stage 6	Stage 7	Stage 8	Total days	Total wks
TriAM-01	X	16	20	28	29	NT	NT	NT	5	98	14.0

TriAM: Triple amputation

IV. 고 찰

성공적인 재활 프로그램을 위해서는 다학제 팀 접근, 직업, 가족 및 가정 환경 등 환자에 대한 정보, 심리적 지지, 적절한 시기에 의지를 착용하고 의지보행을 진행하는 것, 그리고 가족 교육을 포함한 여러 중요한 요소들이 필요하다(Shin 등, 2014).

하지 절단 환자를 위한 보행 물리치료 프로토콜은 효과적인 재활 훈련을 위한 임상적 의사결정을 지원하며, 재활 기간을 단축시켜 환자의 심리적·경제적 부담을 경감하고 삶의 질을 향상시키는 데 기여할 수 있다(Marcon Alfieri 등, 2025). 본 연구에서 사용된 점진적 보행 프로토콜은 각 단계마다 명확한 치료 목표와 중재 전략이 설정되어 있으며, 절단 부위에 따라 적절히 조정 가능한 유연성을 내포하고 있다(신지철, 2012).

본 연구에서는 TrFA, KDis, BiAM, HemP, HDis, TriAM 환자에게 본 프로토콜을 적용하였고, 각 그룹의 환자별 해당 단계에서 소요된 치료 기간을 비교하였다(Table 3~7). 각 환자의 보행 훈련 단계별 기능 수준과 각 단계별 치료 일수의 차이는, 개인별 신체 능력, 연령, 성별, 동반 질환 등의 변수에 따라 다르게 나타났다(Munin 등, 2001).

하지절단 환자에서 가장 많이 발생하는 관절 구축은 의지 착용이나 보행 시에 많은 장애를 유발한다(Jaegers 등, 1995). 하지 절단 이후에는 앉아 있는 시간이 많아지고, 이로 인해 슬관절 굴곡근과 고관절 굴곡근에 구축이 발생하기 쉽다(Bannister, 1978). 대퇴골 절단에서는 반힘줄모양근(semi-tendinosus), 반막모양근(semi-membranosus)과 대퇴두갈래근(biceps femoris)의 닿는 곳(insertion)이 끊어져서 굴곡회피(flexor withdrawal)는 일어나지만, 신전밀기(extensor thrust)가 일어나지 않아 굴곡자세로 유지된다(Jaegers 등, 1995). 또한 고관절의 굴곡, 외전, 외회전 구축이 일어나기 쉬우며, 경한 구축은 관절가동범위 운동이나 신장운동으로 구축 정도를 감소시킬 수 있지만, 중등도 이상의 구축은 변화시키기 어렵다(Arribart 등, 2025). 고관절 굴곡근 구축 및 슬관절 굴곡근 구축을 예방하기 위해서는 고관절 신전근과 슬관절 신전근의 구심성 수축을 유지하면서 기능적인 움직임 재교육을 시행하는 것이 관절 구축도 예방하고, 기능적인 움직임시에도 정확한 동작을 유도하는데 효과적이다(Matalon 등, 2021).

절단이 발생하면 정상적인 생리 기능이 손상되는데, 재활 프로그램 후 환자가 독립적으로 걸을 수 있게 되더라도, 정상인에 비해 에너지 소비량이 증가된다(Czerniecki 등, 2017). 에너지와 산소 소비량의 증가량은 일반적으로 경골 절단과 보철물을 사용한 경골 절단은 정상인에 비해 75% 더 많은 에너지 소비가 필요하고, 양측 경골 절단과 보철물은 정상인에 비해 110% 더 많은 에너지 소비가 필요하다(Shin 등, 2014). 한쪽 경골 절단(0.15mL/kg/m^2)인의 산소 비용은 건강한 사람(0.15mL/kg/m^2)과 같았으나, 한쪽 대퇴 절단의 경우 20%(0.18mL/kg/m^2 , $P=.023$)만큼 유의하게 증가, 양측 대퇴 절단의 경우는 60%(0.24mL/kg/m^2 , $P<.001$)만큼 유의하게 증가됨이 보고되었다(Jarvis 등, 2017). 한쪽 대퇴절단 상태로 의지보행훈련을 함에 있어서 훈련기간인 재원기간을 줄이고, 통증을 줄이는 것은 절단인의 일상생활에서 가장 현실적으로 중요한 것이다.

TrFA 그룹의 보행 훈련 반응

의지 착용 전 준비 단계(Pre-Prosthetic stage)에서 사전 준비운동없이 진행한 그룹에서 'TF-10' 환자는 1~8단계에서 전반적으로 가장 빠른 진행 속도를 보였고, 'TF-01, 07, 12, 15' 환자는 일부 단계에서 빠른 진행을 보여, 이전 연구와 동일하였다(Hijmans, Dekker 2020). 반면 'TF-05' 환자는 전체 단계에서 상대적으로 지연된 훈련 습득 양상을 보였고, 'TF-02'와 'TF-04'는 2단계에서 상대적으로 지연되었다. 'TF-06' 환자는 초기 단계(0-2단계)에서 통증으로 인해 느린 참여를 보이다가, 4단계에서 좌측 무릎 문제로 재수술 받았고 회복 기간을 거치면서 다소 지연된 모습을

보이기도 하였으나, 허리 및 고관절 신전근 강화 훈련을 포함한 코어운동을 병행하면서 최종 8단계에서는 더 짧은 기간으로 마무리하여 하지절단환자에게도 코어운동이 중요함을 보여주었다(Klarich 등, 2014).

TrFA 환자 그룹의 의지 착용 전 준비 단계는 침상 내 교각 운동(bridging), 골반경사운동, 교차 팔다리 움직임 등의 기초 운동을 수행하였고, 이후 고관절 신전근 및 외전근, 체간 근육 중심의 근력 강화 훈련을 공통적으로 진행하였다(Klarich 등, 2014). 이후 1단계에서는 평행봉에서 양발지지 서기 및 한발 서기 중심의 훈련을 거쳤고, 2주차 이후부터는 각 환자에 따라 단계별 차이가 발생하였으나, 내과적 동반질환이나 예상치 못한 합병증은 보고되지 않았고, 치료 진행 속도는 환자 개개인의 신체 기능 수준에 따라 달라졌음을 이전 연구들과 동일하였다(Klarich 등, 2014; Munin 등, 2001). 의지 착용 전 준비 단계 훈련을 잘 수행한 그룹은 사전 준비운동을 시행하지 못한 그룹에 비해 모든 의지 착용 보행훈련 단계에서 빠른 진행을 보여 이전 연구와 동일하였다(Hijmans 등, 2020; Palmer 등, 2020; Klarich 등, 2014; Munin 등, 2001). TFR-19, TFL-21의 경우에는 절단단 환부의 상처로 인해 잠시 지연된 모습을 보였으나, 상처 치유 이후에는 평균적인 진행을 보였다. 또한 의지 착용 전 준비 단계에서 충분한 고관절 주위 근력 확보 및 완벽한 절단단 상처 주위 조직의 통증이 감소한 그룹이 보행보조도구를 사용한 본격적인 의지 보행 단계에서도 상대적으로 빠른 진행을 보였다(Hijmans 등, 2020; Klarich 등, 2014).

병원에 입원해서 의지보행훈련을 시작한 하지절단 환자들은 평지 보행 및 계단 보행을 배운 후, 완벽하지는 않지만 일상생활에서 독립적으로 평지 보행이 가능할 무렵 퇴원하며, 이들의 의지보행훈련 재원기간은 개인에 따라 다르겠지만 한쪽 대퇴절단인의 경우 보통 107.1 ± 36.4 일의 훈련기간이 소요된다고 보고되었다(장윤희 등, 2018). 본 연구에서 TrFA의 재원기간은 의지착용 전 준비단계를 진행하지 못한 그룹의 재원기간은 54.9 ± 5.9 일, 의지착용 전 준비단계를 진행한 그룹은 48.2 ± 4.9 일, 전체 TrFA 재원기간은 51.1 ± 6.3 일이며, 최근 타 기관에서 보고한 한쪽 대퇴절단인의 훈련기간인 107.1일에 비해 의지착용 전 준비단계를 진행하지 못한 그룹의 재원기간은 51%, 의지착용 전 준비단계를 진행한 그룹은 45%, TrFA 재원기간은 48%로서 약 절반 정도로 재원기간이 짧게 소요되었다.

KDis 그룹의 반응 및 특징

Table 4는 KDis 환자에게 적용한 결과이며, 사전 준비 단계에서의 필수 운동(교각운동, 골반경사운동, 교대 움직임 등)은 TrFA 환자군과 동일하게 시행하였다(Hijmans 등, 2020; Klarich 등, 2014). KDis 환자는 해부학적 특성상 대퇴부 말단에 체중지지 가능하며, 평행봉 서기 훈련을 수행하는 동안 통증 없이 진행되었고, 이는 전반적인 의지 보행 치료 재활기간 단축에 영향을 주었다(Polfer 등, 2019). 'KDis-8~15' 환자는 준비단계 훈련을 거쳐서 환부와 고관절 근력을 증진시킨 후에서 입원한 경우로서, 의지 착용 직후 빠르게 1단계부터 훈련을 시작할 수 있었고, 2단계 이후에서는 사전준비 단계를 경험하지 못한 KDis 그룹보다 전체 단계에서 빠르게 진행되었다. 'KDis-02' 환자는 초기 입원 후 2단계 훈련을 진행할 무렵, 절단 환부의 수술 상처부위가 염증소견이 발견되어 한 달 반 동안 타병원에서 염증 치료를 받고 재입원하여 1단계에서 타 KD 환자보다 추가되었다. 환부에 체중이 실리는 의지 보행치료의 특성상 초기 단계에 상처 치료에 소요되는 시간이 필요, KD 그룹 중에서는 가장 긴 치료기간이 소요되었으나, Behr 등(2009)의 선행연구처럼 KD 환자들은 환지통, 환지통 관련 신체 기능 장애, 잔여 사지 통증, 잔여 사지 통증 관련 신체 기능 장애, 그리고 요통 관련 신체 기능 문제에 있어서 비교적 TrFA와 TrTA 환자들보다 통증으로 인해 재원기간에 영향을 주는 경우는 상대적으로 적었다(Behr 등, 2009). 'KDis-04, 05'는 3단계에서 타 KDis 환자에 비해 지연되었으나, 오른손이 우세한 신체적 특성상, 왼발인 무릎관절 이단으로 신체 중심조절을 잘 수행하였고, 대퇴 근육이 모두 보존되어 근육 불균형이 적고, 고관절의 운동 범위는 제한되지 않으면서 절단술 끝부분에서 완전한 체중 지지를 할 수 있어 통증도 적게 발생하는 신체적 특성으로(Baumgartner, 2011) 의지를 사용한 보행훈련을 잘 수행하였다.

BiAm 등 특수 사례

양쪽 하지 절단 환자의 경우, 절단지의 길이가 긴 쪽이 주된 하지측(dominant side)으로 설정되며, 해부학적 구조 및 관절 상태에 따라 재활 양상이 크게 달라졌다(Penn-Barwell 등, 2014; Ashraf 등, 2012). 양쪽 대퇴골 절단 환자의 경우에는 한쪽 하지 절단 환자에 비해 양쪽 의지를 사용할 때 더 많은 에너지를 요구하여, 짧은 의지(Short Prostheses)를 활용한 재활 프로그램이 효과적일 수 있고, 초기 단계에서 환자가 보철물 사용에 익숙해지고 균형 및 자세 제어를 향상시키는 데 도움을 줄 수 있다(Strelec 등, 2021). 그러나 짧은 의지를 착용하는 것이 문화와 환경에 따라 선택이 쉽지 않다. 의지재활훈련이 어려울 지라도 인공무릎 관절이 있는 의지를 선호하고 있다.

‘03-RFLT’ 환자는 우측 대퇴부 및 좌측 하퇴 절단 후 피부 이식 수술을 13차례 받은 전력이 있었으며, 피부 상태 악화로 인해 중간에 타 병원 전원이 필요하였다. 그러나 이 기간 동안 개인 운동을 지속한 결과, 4단계 시기에 재입원 후, 6주 동안 남은 의지 보행 훈련을 완료하였다. 양측 하지 절단 환자 그룹의 경우는 의지착용 전 준비교육을 받은 그룹과 받지 않은 그룹간의 전체적인 재원기간은 각각 13주, 14.1주이며, 의지착용 전 준비교육을 받은 그룹의 재원기간이 더 긴 것처럼 보여지나, 실제 세부 의지보행 훈련시기를 살펴보면 의지착용 전 준비교육을 받지 않은 그룹은 8단계의 실외 의지보행을 전혀 시도하지 못했고, 7단계의 계단보행 및 경사보행 훈련시기가 평균 13일 소요되었으나 대부분 계단 및 경사로 보행을 시도하거나 학습 수준에서 종료된 경우가 많았다.

반면 의지착용 전 준비교육을 받고 의지보행을 시작한 그룹에서는 준비교육을 받지 않은 그룹에 비해 상대적으로 각 단계마다 평균 훈련 소요기간이 짧았고, 대부분 7단계의 계단과 경사로 훈련을 모두 마쳤으며, ‘09_BiTF’와 ‘10_BiTF’의 경우에는 7단계의 훈련기간이 상대적으로 2~4일 길었는데, 이는 물리치료사의 도움 혹은 보호자의 도움 없이 독립적으로 계단 보행과 경사로 보행이 가능한 수준까지 진행되었다(Figure 2). 또한 8단계의 실외 보행까지 진행되어 양측 외발지팡이를 사용하여 세브란스 재활병원 주위의 외부 경사진 보도블럭 및 둔턱을 올라간 보행도로 등을 모두 체험 및 훈련을 마쳤으며, 퇴원 후 집 근처에서도 휠체어 이동보다 의지를 착용하고 보행하는 일상생활을 하게 되었다(Figure 2). 이는 의지착용 전 준비교육을 받고 환자 스스로 고관절 주위 근력과 가동범위, 환상통 관리, 절단단의 상처 관리 및 탈감각을 위한 심부 횡 마찰 마사지 등을 충분히 준비하는 것이 의지착용 보행훈련 및 일상생활로 복귀함에 있어서 실질적인 도움을 주는 것임을 보여주었다(Almeida 등, 2021).

최근 양측 TrFA 2명(저활동성 사용자, K1 & K2 level)을 위해 마이크로프로세서 제어식 인공 무릎인 Kenevo(독일 오토복)를 사용한 보고에서는 훈련 기간 8개월(의족 착용 전 1개월, 몽툭한 상태 3개월, Kenevo 착용 3개월, C-Leg 4 착용 1개월)과 12개월(의족 착용 전 1개월, 몽툭한 상태 2개월, Kenevo 착용 9개월)이 소요되었고, 두 환자 모두 C-Leg 또는 Kenevo를 사용하여 독립적 보행 및 퇴원 후에도 지역 사회에서 의지 보행을 유지했다고 보고하였는데(Toda 등, 2025), 본 연구에서의 양측성 대퇴절단 환자인 ‘09_BiTF’ & ‘10_BiTF’ 환자는 의지착용 훈련기간이 4개월 미만으로 더 짧았고, 모두 비전자제어식 인공 무릎을 사용하여 외부의 기계적인 도움없이 본인의 양쪽 고관절 및 골반 주위 근육을 사용하여 보행 훈련을 하였다. 전자제어식 무릎을 사용한 사례 보고(Toda 등, 2025)에서는 지팡이 없이 보행하였지만, 본 연구의 양측 TrFA 환자들은 양측 외발 지팡이를 사용하여 보행한 것의 차이가 있어 직접적인 비교가 될 수는 없으나, 전자식 인공 무릎이 아닌 비전자식 인공 무릎을 사용한 결과에 더 의의가 있다.

최근 Tanaka 등(2023)의 연구에서 무릎관절이 없는 양쪽 짧은 의지(stubby prostheses)를 사용하여 평행봉에서부터 시작, 의족 길이를 점차 늘렸고, 양쪽 무릎 관절을 Ottobock 잠금 및 다중 중심 무릎으로 바꾸고, 이후 양쪽 마이크로프로세서 제어 의족 무릎(microprocessor-controlled prosthetic knees, MPK)인 Kenevo로 전환, 총 입원 6개월 후에는 양측 외발 지팡이를 사용하여 보행훈련을 마치고 퇴원한 1인 사례보고가 있었다(Tanaka 등, 2023). 최종적으로 양측 전자식 인공 무릎과 양측 외발 지팡이를 사용하여 실외보행을 하기까지 6개월의 입원기간이 소요되었으나

(Tanaka and Ueno 2023), 본 연구의 '10_BiTF' 환자는 양쪽 비전자제어식 및 비고정식 인공 무릎을 사용하고, 양쪽 외발 지팡이를 사용하여 치료사 도움없이 실외보행 및 경사진 도로보행까지 진행한 총 입원기간이 105일(3.5개월)로서 전자제어 무릎관절이 아닌 수동식 비전자식 무릎 관절을 사용하면서도 이전 연구의 6개월 대비 3.5개월의 입원기간이 소요되었다. 이 외에도 본 연구에서는 여러 명의 양쪽 하지절단환자가 비전자식 제어 무릎관절을 사용하여 실내보행까지 훈련하고 퇴원한 경우가 있어, 세브란스 의지보행 프로토콜을 통한 점진적 보행 훈련이 양측 대퇴절단 및 무릎관절 이단 환자 그룹에게도 각 단계별 정확한 기능적 동작을 터득한다면 효과적인 방법이 될 수 있다고 생각한다.

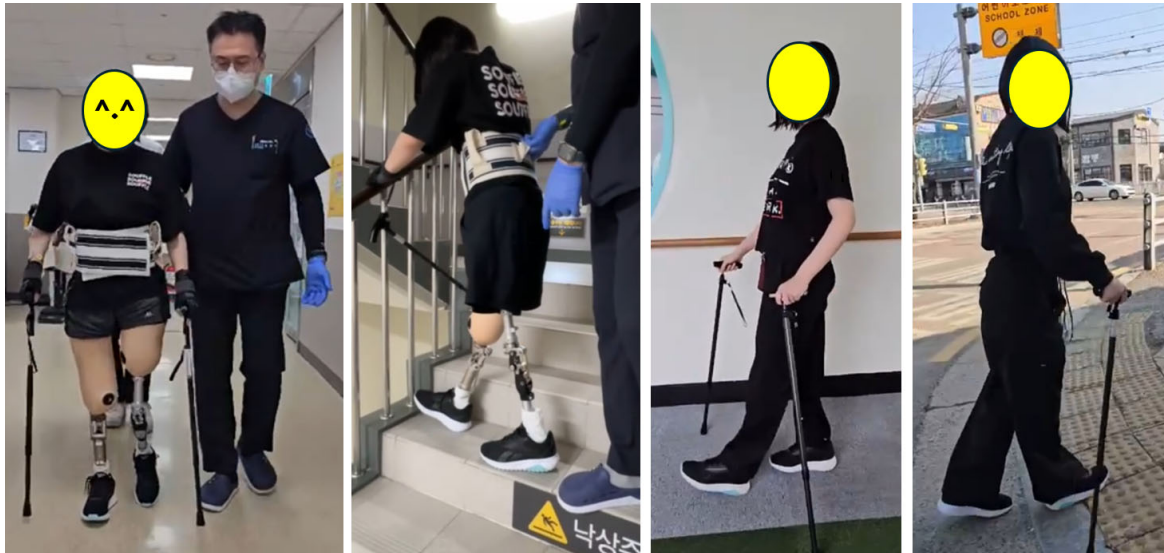


Figure 2. Progressive prosthetic gait training in bilateral lower limb amputee

임상에서 아주 드문 사례인 'Tri-Am' 환자는 오른쪽 무릎관절 이단, 왼쪽 대퇴 절단, 오른쪽 팔꿈치 관절 이단 외에 좌측 모든 손가락의 대부분의 마디가 절단되어 기능적인 손을 갖지 못한 고위험 환자로, 초기 치료 목표가 하지보다는 체간과 상지 기능 회복에 맞춰졌다(Bellamy, 1988). 초기에는 상-하지에서 절단단의 길이를 고려하여, 슬링 서스펜션 운동을 통해 코어훈련 및 골반을 포함한 상지 근육과의 협응 운동을 집중적으로 시행 후, 평행봉에서 양측 무릎관절을 고정한 상태에서 선 자세 훈련을 진행하였고, 이후 두 손을 놓고 안정적인 선 자세를 유지하게 되면서 평행봉 보행 훈련을 시작하게 되었다. 다학제간 팀미팅인 절단 클리닉 미팅에서 평행봉 걷기를 완료하는 모습을 보게 되면서, 초기 치료계획과는 달리 '실내에서 바퀴달린 위커를 사용한 보행까지 시도해보자' 라고 도전에 가까운 새로운 목표로 재설정 하였다. 낙상에 대비하여 환자 안전을 위해 양측 무릎관절을 수동으로 고정장치를 조절하면서 선 자세를 진행하였고, 이후 왼손으로 평행봉을 잡고 중심이동 조절을 터득하게 된 후에는 반대편 우측 무릎관절의 고정 장치를 상황에 따라 수동으로 해제하거나 고정하면서, 좀더 체중이동 및 고관절 신전근을 잘 사용할 수 있도록 진행하였다(Engstrom B., 1999; Bellamy, 1988). 이후 12주차에는 바퀴 달린 위커를 이용하여 6단계 보행 훈련까지 도달하였다. 특히 집으로 퇴원하기 위해 실내 보행을 목표로 평행봉이 아닌 휠체어에서 바퀴달린 위커를 사용하여 혼자 힘으로 일어서는 동작을 완성하는데 약 4주 이상 소요되었으나, 움직임의 단계를 여러 단계로 나눠서 집중 훈련을 통해 외부 도움 없이 혼자 일어설 수 있게 되었고, 목표한 대로 실내 위커 보행까지 진행 후 직장에 복직하였다.

절단환자 재활에 소명감을 가진 재활의학과 전문의와 함께 약 24년간의 절단 환자 보행치료를 담당하면서 다양한

절단 부위별로 구조화된 점진적 보행 훈련 프로토콜은 지속적으로 체계화 및 보완되었다(Park 등, 2023; 신지철, 2012). 프로토콜의 적용이 어려운 사례들에 대해서는 원인을 분석하고 치료 목표를 수정하여, 모든 하지 절단 환자에게 본 프로토콜의 단계에 따라 의지보행 훈련이 가능하도록 적용되어 왔다. 재활의학과 전문의의 지도하에 전담 물리치료사 및 작업치료사, 의지보조기 전문가 등 다학제적 팀 구성원 간의 긴밀한 협의는 매주 2회 (화요일과 금요일) 운영되는 절단 클리닉을 통해 이루어졌으며, 이러한 정기적인 평가와 각 구성원들간의 실질적인 의견 조율을 통해 보행 치료 프로토콜의 완성도와 적용의 정밀도가 향상되었다(Pasco 등, 2020; 신지철, 2012).

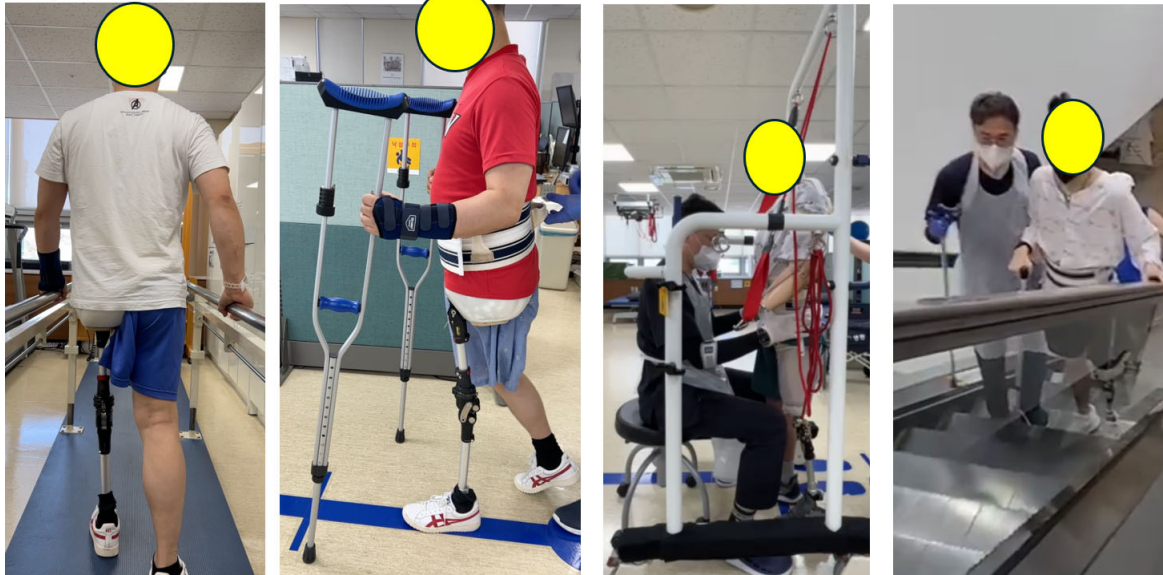


Figure 3. Progressive prosthetic gait training in unilateral lower limb amputees

절단 수술 직후 절단클리닉 미팅을 통해 의지 착용 전 준비단계 사전 교육이 결정된 환자들은 절단 전담 물리치료사로 부터 의지 착용 전 준비단계의 치료인 절단단 환부 관리, 골반경사운동을 포함한 허리운동 및 코어운동 등의 물리치료를 받았다(Palmer 등, 2020; Klarich 등, 2014). 하지만 해당 사전 교육을 받지 못하고 수술 후 바로 타병원으로 전원하거나, 타병원에서 수술 후 세브란스 재활병원으로 입원한 하지 절단 환자 그룹은 의지착用に 필요한 사전 준비가 안 된 상태에서 의지보행 훈련을 시작하게 된다. 대부분 절단 환부관리가 안 되어 통증을 호소하거나, 골반경사 움직임이 부족 하면서 허리통증도 발생하고, 하지 절단 쪽 고관절 주위 근력이 정상측 근육보다 약해진 상태로 입원하면서 의지보행 훈련을 시작하게 된다(Hijmans 등, 2020). 이런 경우는 절단 부위와 상관없이 거의 모든 하지절단 환자 그룹에서 전체 적인 치료기간이 증가함을 보였다. 의지 착용 전 준비단계를 거치지 못한 경우에는 특히 보행 훈련 1~3단계에서 진행의 지연이 반복적으로 관찰되었고, 대부분의 단계에서 지연을 보였다. 이는 절단 환자의 신체적 능력, 과거 병력, 성별, 연령 등의 다양한 요소를 고려한 체계적인 초기 평가가 이루어지고, 이를 토대로 절단 부위별 다학제간 회의를 통해 명확한 재활 목표 설정이 선행될 때 안정적이고 효과적인 보행 훈련이 가능함을 시사한다(김진홍 등, 2020).

선행 연구 중 양적 연구(quantitative study)에서는 사전 재활(의지 착용 전 준비단계 사전 교육)의 유의한 효과를 보았고, 해당 연구의 LLA 환자의 63%에서 수술 후 이동성(최소 실내 보행)이 향상되었다는 보고가 있었으나(Hijmans 등, 2020), 본 연구에서의 모든 한쪽 하지 절단 환자는 최소한의 실내보행 외에 경사로 및 계단뿐 만 아니라 실외 보행까지 진행되어 최근까지 보고된 하지절단환자를 대상으로 한 연구보다 더 기능적 움직임이 다양하다(Butowicz 등, 2025; Marcon Alfieri 등, 2025; Santos 등, 2025; Sureshkumar 등, 2024; Toda 등, 2025).

최근의 하지절단환자의 연구의 대부분은 전자식 마이크로프로세서 제어 무릎관절을 사용한 보고이며(Toda 등, 2025; Dobson 등, 2024), 1~2명의 양쪽 무릎관절 이상 절단된 경우의 사례보고이다(Tanaka 등, 2023; Kanata 등, 2022). 그러나 본 연구의 70명 하지 절단환자는 모두 비전자식 무릎관절을 사용하여 기계적인 도움이 아닌 환자 스스로의 신체 능력을 사용하여 친화적이면서도 경제적인 접근방법으로 진행하였고, 재원기간이 보고된 여러 선행 연구보다 더 짧은 재원기간임을 알 수 있었다 (Jordan, Marks 2012, Kimble 2017, Marcon Alfieri, Mitiyo Odagiri Utiyama 2025, Sureshkumar, Payne 2024, Tanaka and Ueno 2023).

본 다중 사례 연구에서 제한점으로는 초기 환자 상태의 차이, 상처 관리로 인한 집중 훈련 지연, 일부 불완전한 추적 관찰 등의 제한이 있었으며, 대상이 성인 하지 절단 환자에 국한되어 소아 절단 환자까지 일반화하기 어렵다는 점이다. 특히 절단 환자는 치료에 참여하는 동기가 외부 자극(재미, 흥미 등)에 크게 좌우되며, 통증에 대한 민감도가 성인보다 상대적으로 높아 일정 수준 이상의 통증이나 불편함이 느끼면 치료를 즉시 치료동작을 회피하려는 경향이 뚜렷하여, 표준화된 프로토콜 수립에 어려움이 있다(Doring, 등, 2021). 그럼에도 불구하고, 본 연구는 재활의학과 전문의, 물리치료사, 작업치료사, 의지보조기 전문가, 재활간호사, 정형외과팀의 다학제간 협업 하에, 절단 부위별 9단계 점진적 의지 보행 훈련 프로토콜을 안정적으로 적용되었고, 주 2회 운영되는 절단클리닉에서의 임상 평가 및 의견 조율은 각 단계별 훈련의 정확성과 완성도를 높이는 데 중추적인 역할이 되었다(Highsmith 등, 2016).

본 연구에서 확인된 중요한 임상적 의의는 의지 착용 전 준비단계를 충분히 수행한 환자들이 의지 보행훈련을 시작하는 1~3단계에서 명확한 진전 속도를 보이면서 전체 재활 기간이 단축되는 경향을 보였는데, 이전 연구에서도 의지착용 준비 단계훈련의 중요함을 보고되었다(Hijmans 등, 2020; Palmer 등, 2020; Klarich 등, 2014; Munin 등, 2001). 절단 부위별 차이를 보면, 대퇴 절단 환자는 근력, 통증, 신체 활동 수준에 따라 회복 속도가 다양했고(Butowicz 등, 2025; Caliskan 등, 2024; Lee 등, 2023; Wnuk-Scardaccione 등, 2023), 슬관절 이단 환자는 생체역학적으로 유리한 조건 덕분에 전체적으로 비교적 빠른 진행을 보였다(Sjödin 등, 2024; Omana 등, 2023; Parry 등, 2022; Polfer 등, 2019; Siev-Ner 등, 2000). 반면, 양측 하지 절단 환자에서는 절단지의 비대칭, 기저 질환, 외상 병력 등 복합 변수들이 치료 경과에 영향을 주어 사례별 복잡한 임상 양상을 나타냈다(Tanaka 등, 2023; Kanata 등, 2022; Strelec 등, 2021; Schalk 등, 2015, Raya 등, 2013; Wu 등, 2001). 의지보행치료 중 체중 부하 유도, 자세 정렬 개선, 체간 및 골반 조절 운동은 대칭적이고 효율적인 보행 패턴을 형성함에 있어 효과적이었으며, 특히 초기의 후방 골반 기울임 및 체간 안정화 운동은 보행 능력 향상에 긍정적 영향을 미쳤다(김진홍 등, 2020; 강정선 등, 2018; Kahle 등, 2016; Wong 등, 2016; Graham 등, 2004; Engstrom B., 1999).

향후 본 프로토콜의 다기관 적용 가능성과 장기 효과를 검증하기 위해 다기관 사례 보고, 고관절 주위 근육들의 근력 변화, 의지보행 능력의 변화를 규명하기 위해 질적인 보행 평가를 진행하고, 장기적인 추적 연구 및 전향적인 연구가 필요하다.

V. 결 론

본 연구는 TrFA, KDis, BiAM, HemP & HDis, TriAM 등 다양한 하지 절단 환자군을 대상으로 적용한 맞춤형 점진적 의지 보행 물리치료 프로토콜이 임상 재활치료 현장에서 적용 가능한 표준화된 치료 도구임을 보여주었다. 해당 프로토콜은 수술 직후, 의지 착용 이전 단계부터 조기 물리치료 및 사전 교육이 가능하도록 설계되어, 의지착용 전 준비교육을 가능한 진행할 수 있다면, 하지 절단인의 기능적 보행능력 회복, 실내 및 실외 보행 능력의 향상을 통해 재원 기간 단축에도 긍정적인 영향을 미칠 수 있음을 의미한다. 본 점진적 의지보행 물리치료 프로토콜은 명확한 치료 목표의 설정을 위해, 일관된 평가 기준 마련하고, 환자 교육 및 수준별 맞춤 치료계획 수립에 있어 실질적인 프로세스를

제공하며, 다양한 전문 직종 간 협업을 통해 임상적 의사결정 과정에 함여 있어 유의미한 기준으로 활용될 것으로 기대한다.

참고문헌

- 강정선, 정보라, 김규석, 등. 하지 절단자의 의지보행 훈련 전·후 동적 균형 및 보행 능력에 대한 정량적 평가. *재활복지공학회논문지*. 2018;12(3):168-75.
- 권혜림, 신원섭. 뇌졸중 환자의 시선방향 조절이 균형과 보행에 미치는 영향. *J Korean Soc Phys Med*. 2013;8(3):425-31.
- 김진홍, 홍예지, 김유리, 등. 집중 재활프로그램이 하지 절단 환자의 신체활동 및 의지착용감에 미치는 영향-후향적연구. *PNF Mov*. 2020;18(3):453-63.
- 김철희, 김규완, 조은옥. 시각정보, 성, 연령의 차이가 보행 시 근활성도 변화에 미치는 영향. *한국여성체육학회지*. 2016;30(4):357-72.
- 김현동, 고관절 이단, 골반 절단 및 슬관절 이단 환자의 재활치료. *한국의지보조기학회지*. 2010;4(1):4-8.
- 손민지, 염창홍. 자연과학편: Timed Up & Go 과업시 파킨슨병 환자의 보행 및 회전 특성 분석. *Korean J Phys Educ*. 2015;54(4):597-608.
- 신지철. 하퇴절단인의재활. *한국의지보조기학회지*. 2012;6(1):23~6-6.
- 심우섭, 김장환, 이진복, 성우성, 안동영. 두 가지 의지발 적용에 따른 편측 종아리 절단 장애인의 운동역학적 보행특성 비교. *특수교육재활과학연구*. 2016;55(4):297-310.
- 장윤희, 고창용, 정보라, 등. Analysis on Change in Lower Limb Coordination in Unilateral Transfemoral Amputees with Integrated Rehabilitation Program. *한국정밀공학학회지*. 2018;35(1):41-6.
- 조강희, 김수빈, 박종현. 사고로 인한 대퇴 절단 환자의 의족 만족도와 편의성에 관한 연구. *한국의지·보조기학회지*. 2016;10(1).
- Abou L, Fliflet A, Zhao L, et al. The Effectiveness of Exercise Interventions to Improve Gait and Balance in Individuals with Lower Limb Amputations: A Systematic Review and Meta-analysis. *Clin Rehabil*. 2022;36(7):857-72.
- Almeida LV, Fukuchi CA, Sakanaka TE, et al. A low-cost easily implementable physiotherapy intervention clinically improves gait implying better adaptation to lower limb prosthesis: a randomized clinical trial. *Sci Rep*. 2021;11(1):21228.
- Arribart K, Peryoitte V, Kaniewski A, et al. Is Socket Flexion Alignment Associated With Changes in Gait Parameters in Individuals With an Above-knee Amputation and a Hip Flexion Contracture? *Clin Orthop Relat Res*. 2025;483(3):535-46.
- Ashraf A, Shojaee H, Mousavi B, et al. Impact of pain in vertebral column on activities of daily living in the Iranian amputees with bilateral lower limb amputation. *Disabil Rehabil*. 2012;34(10):869-72.
- Bannister PJ. The prosthetic problems of below knee amputees with flexion contractures. *Aust J Physiother*. 1978;24(1):21-5.
- Baumgartner R. [Knee disarticulation and through-knee amputation]. *Oper Orthop Traumatol*.

2011;23(4):289-95.

Behr J, Friedly J, Molton I, et al. Pain and pain-related interference in adults with lower-limb amputation: comparison of knee-disarticulation, transtibial, and transfemoral surgical sites. *J Rehabil Res Dev*. 2009;46(7):963-72.

Bellamy RF. A triple amputation. *Mil Med*. 1988;153(1):28-9.

Brooks D, Hunter JP, Parsons J, et al. Reliability of the two-minute walk test in individuals with transtibial amputation. *Arch Phys Med Rehabil*. 2002;83(11):1562-5.

Butowicz CM, Helgeson MD, Pisano AJ, et al. Spinal Pathology and Muscle Morphologies with Chronic Low Back Pain and Lower Limb Amputation. *Mil Med*. 2025;190(1-2):e54-e8.

Caliskan Z, Alaca N, Kablan N. The immediate effect of thoracolumbar fascia taping on biomechanical properties, low back pain and balance in individuals with transfemoral amputation. *J Back Musculoskelet Rehabil*. 2024;37(4):1071-81.

Corio F, Troiano R, Magel JR. The effects of spinal stabilization exercises on the spatial and temporal parameters of gait in individuals with lower limb loss. *JPO: J Prosthet Orthot*. 2010;22(4):230-6.

Coull S, Tawfik J, Stevens P. Lower Extremity Prosthetic Gait Training: A Clinical Practice Guideline. *Arch Phys Med Rehabil*. 2018;99(10):e111.

Czerniecki JM. Rehabilitation in limb deficiency. 1. Gait and motion analysis. *Arch Phys Med Rehabil*. 1996;77(3 Suppl):S3-8.

Czerniecki JM, Morgenroth DC. Metabolic energy expenditure of ambulation in lower extremity amputees: what have we learned and what are the next steps? *Disabil Rehabil*. 2017;39(2):143-51.

De-Rosende Celeiro I, Simón Sanjuán L, Santos-Del-Riego S. Activities of daily living in people with lower limb amputation: outcomes of an intervention to reduce dependence in pre-prosthetic phase. *Disabil Rehabil*. 2017;39(18):1799-806.

Dickstein R, Yoeli Y, Holtzman S, et al. Weight bearing on the affected lower limb in residents of a geriatric rehabilitation hospital. *Am J Phys Med Rehabil*. 2010;89(4):287-92.

Dobson A, Beins M, DaVanzo J, et al. Retrospective cohort study of the economic value of providing microprocessor knees to the population of Medicare fee-for-service K2 beneficiaries with a knee disarticulation/above knee amputation. *Prosthet Orthot Int*. 2024.

Doring K, Trost C, Hofer C, et al. How Common Are Chronic Residual Limb Pain, Phantom Pain, and Back Pain More Than 20 Years After Lower Limb Amputation for Malignant Tumors? *Clin Orthop Relat Res*. 2021;479(9):2036-44.

Dudek NL, Marks MB, Marshall SC, et al. Dermatologic conditions associated with use of a lower-extremity prosthesis. *Arch Phys Med Rehabil*. 2005;86(4):659-63.

Engstrom B. VdVC. Exercises for lower-limb amputees Gait training. Zusammenarbeit DGfT, editor. Switzerland: Churchill Livingstone; 1999. 76 p.

Finucane SB, Hargrove LJ, Simon AM. Functional Mobility Training with a Powered Knee and Ankle Prosthesis. *Front Rehabil Sci*. 2022;3.

Friberg O. Biomechanical significance of the correct length of lower limb prostheses: a clinical and ra-

- diological study. *Prosthet Orthot Int.* 1984;8(3):124-9.
- Gailey R, Allen K, Castles J, et al. Review of secondary physical conditions associated with lower limb amputation and long-term prosthesis use. *J Rehabil Res Dev.* 2008;45(1):15-29.
- Graham LE, Parke RC. The Northern Ireland troubles and limb loss: a retrospective study. *Prosthet Orthot Int.* 2004;28(3):225-9.
- Hanspal RS, Fisher K, Nieveen R. Prosthetic socket fit comfort score. *Disabil Rehabil.* 2003;25(22):1278-80.
- Heitzmann DWW, Leboucher J, Block J, et al. The influence of hip muscle strength on gait in individuals with a unilateral transfemoral amputation. *PLoS One.* 2020;15(9):e0238093.
- Hendershot BD, Shojaei I, Acasio JC, et al. Walking speed differentially alters spinal loads in persons with traumatic lower limb amputation. *J Biomech.* 2018;70:249-54.
- Highsmith MJ, Andrews CR, Millman C, et al. Gait Training Interventions for Lower Extremity Amputees: A Systematic Literature Review. *Technol Innov.* 2016;18(2-3):99-113.
- Highsmith MJ, Lura DJ, Carey SL, et al. Correlations between residual limb length and joint moments during sitting and standing movements in transfemoral amputees. *Prosthet Orthot Int.* 2016;40(4):522-7.
- Hijmans JM, Dekker R, Geertzen JHB. Pre-operative rehabilitation in lower-limb amputation patients and its effect on post-operative outcomes. *Med Hypotheses.* 2020;143:110134.
- Jaegers SM, Arendzen JH, de Jongh HJ. Changes in hip muscles after above-knee amputation. *Clin Orthop Relat Res.* 1995(319):276-84.
- Jarvis HL, Bennett AN, Twiste M, et al. Temporal Spatial and Metabolic Measures of Walking in Highly Functional Individuals With Lower Limb Amputations. *Arch Phys Med Rehabil.* 2017;98(7):1389-99.
- Jordan RW, Marks A, Higman D. The cost of major lower limb amputation: a 12-year experience. *Prosthet Orthot Int.* 2012;36(4):430-4.
- Kahle JT, Highsmith MJ, Schaepper H, et al. Predicting Walking Ability Following Lower Limb Amputation: An Updated Systematic Literature Review. *Technol Innov.* 2016;18(2-3):125-37.
- Kanata Y, Ito T, Yoshida T, et al. Prosthetic walking after bilateral transfemoral amputation in a patient with dilated cardiomyopathy: a case report. *Prosthet Orthot Int.* 2022;46(2):195-8.
- Keklicek H, Kirdi E, Yalcin A, et al. Comparison of gait variability and symmetry in trained individuals with transtibial and transfemoral limb loss. *J Orthop Surg (Hong Kong).* 2019;27(1):2309499019832665.
- Kim B, Yim J. Core Stability and Hip Exercises Improve Physical Function and Activity in Patients with Non-Specific Low Back Pain: A Randomized Controlled Trial. *Tohoku J Exp Med.* 2020;251(3):193-206.
- Kimble SL. Acute Inpatient Rehabilitation Interventions and Outcomes for a Person With Quadrilateral Amputation. *Phys Ther.* 2017;97(2):161-6.
- Klarich J, Brueckner I. Amputee rehabilitation and preprosthetic care. *Phys Med Rehabil Clin N Am.*

- 2014;25(1):75-91.
 - Kline PW, Murray AM, Miller MJ, et al. Error-augmentation gait training to improve gait symmetry in patients with non-traumatic lower limb amputation: A proof-of-concept study. *Prosthet Orthot Int*. 2019;43(4):426-33.
 - Knobloch K, Vogt PM. [Nordic pole walking injuries--nordic walking thumb as novel injury entity]. *Sportverletz Sportschaden*. 2006;20(3):137-42.
 - Krause K, Richter K, Beyer T, et al. Elective transfemoral amputation and simultaneous implantation of a transcutaneous osseointegrated prosthesis stem as salvage treatment after knee joint arthrodesis with poor function: A case report. *Front Surg*. 2022;9:918303.
 - Lee SP, Farrokhi S, Kent JA, et al. Comparison of clinical and biomechanical characteristics between individuals with lower limb amputation with and without lower back pain: A systematic review and meta-analysis. *Clin Biomech (Bristol)*. 2023;101:105860.
 - Madou E, Sureshkumar A, Payne MW, et al. The effect of exercise interventions on gait outcomes in subacute and chronic rehabilitation from lower-limb amputation: A systematic review and meta-analysis. *Prosthet Orthot Int*. 2024;48(2):128-48.
 - Marcon Alfieri F, Mitiyo Odagiri Utiyama D, Aquino Dos Santos AC, et al. The effect of a physical rehabilitation program on temperature symmetry, mobility, functionality and gait in amputee patients. *Rehabilitacion (Madr)*. 2025;59(2):100908.
 - Marshall C, Barakat T, Stansby G. Amputation and rehabilitation. Surgery (Oxford). 2016;34(4):188-91.
 - Matalon R, Freund JE, Vallabhajosula S. Functional rehabilitation of a person with transfemoral amputation through guided motor imagery: a case study. *Physiother Theory Pract*. 2021;37(1):224-33.
 - Mathis SL, Welch MR. A Theoretical Model of Physical Function and Mobility Apprehension in Persons with Amputation of a Lower Limb. JPO: *J Prosthet Orthot*. 2021;33(4):243-8.
 - Meier R. Amputations and prosthetic fitting. Comprehensive Rehabilitation of Burns. Baltimore, Williams & Wilkins Co. 1984:303-4.
 - Meier RH, 3rd, Heckman JT. Principles of contemporary amputation rehabilitation in the United States, 2013. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2014;25(1):29-33.
 - Meier RH, 3rd, Melton D. Ideal functional outcomes for amputation levels. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2014;25(1):199-212.
 - Meikle B, Devlin M, Garfinkel S. Interruptions to amputee rehabilitation. *Arch Phys Med Rehabil*. 2002;83(9):1222-8.
 - Miller LA, McCay JA. Summary and Conclusions From the Academy's Sixth State-of-the-Science Conference on Lower Limb Prosthetic Outcome Measures. JPO: *Journal of Prosthetics and Orthotics*. 2006;18(6):P2-P7.
 - Miller WC, Speechley M, Deathe AB. Balance confidence among people with lower-limb amputations. *Phys Ther*. 2002;82(9):856-65.
 - Munin MC, Espejo-De Guzman MC, Boninger ML, et al. Predictive factors for successful early prosthetic ambulation among lower-limb amputees. *J Rehabil Res Dev*. 2001;38(4):379-84.
-

- Omana H, Frengopoulos C, Montero-Odasso M, Payne MW, Viana R, Hunter SW. Association between balance confidence and basic walking abilities in people with unilateral transtibial lower-limb amputations: A cross-sectional study. *Prosthet Orthot Int*. 2023;47(5):505-10.
- Omana H, Madou E, Montero-Odasso M, et al. The effect of dual-task testing on the balance and gait of people with lower limb amputations: A systematic review. *PM R*. 2023;15(1):94-128.
- Palmer J, Pymer S, Smith GE, et al. Presurgery exercise-based conditioning interventions (prehabilitation) in adults undergoing lower limb surgery for peripheral arterial disease. *Cochrane Database Syst Rev*. 2020;9(9):Cd013407.
- Park S, Lee SJ, Shin JC. Prosthetic Gait Training in Individuals with Pathologic Conditions and Associated Pain on the Non-Amputated Side. *Clin Pain*. 2023;22(2):146-51.
- Parry JA, Neufeld E. Knee Disarticulation Versus Transfemoral Amputation: The Prosthetist's Perspective. *J Orthop Trauma*. 2022;36(9):e358-e61.
- Pasco JA, Stuart AL, Holloway-Kew KL, et al. Lower-limb muscle strength: normative data from an observational population-based study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2020;21(1):89.
- Penn-Barwell JG, Bennett PM, Kay A, et al. Acute bilateral leg amputation following combat injury in UK servicemen. *Injury*. 2014;45(7):1105-10.
- Pereira ÂM, Ramos A, Rafaela A, et al. Mobility in patients with lower limb amputation after prosthesis. *Ann Med*. 2019;51(sup1):212-.
- Poindessous JL. [Amputation, from etiology to life project]. *Rev Infirm*. 2025;74(307):16-7.
- Polfer EM, Hoyt BW, Bevevino AJ, et al. Knee Disarticulations Versus Transfemoral Amputations: Functional Outcomes. *J Orthop Trauma*. 2019;33(6):308-11.
- Posada-Borrero AM, Patiño-Lugo DF, Plata-Contreras JA, et al. Development of a Clinical Practice Guideline for Lower Limb Amputees. A Knowledge Translation Process in a Middle Income Country. *Front Rehabil Sci*. 2022;3:873436.
- Potter CBK, Bosse MJ. American Academy of Orthopaedic Surgeons Clinical Practice Guideline Summary for Limb Salvage or Early Amputation. *J Am Acad Orthop Surg*. 2021;29(13):e628-e34.
- Raya MA, Gailey RS, Gaunaud IA, et al. Amputee Mobility Predictor-Bilateral: A performance-based measure of mobility for people with bilateral lower-limb loss. *J Rehabil Res Dev*. 2013;50(7):961-8.
- Santos GF, Jakubowitz E, Hurschler C. Predicting prosthetic gait and the effects of induced stiff-knee gait. *PLoS One*. 2025;20(1):e0314758.
- Schalk SAF, Jonkergouw N, van der Meer F, et al. The Evaluation of Daily Life Activities after Application of an Osseointegrated Prosthesis Fixation in a Bilateral Transfemoral Amputee: A Case Study. *Medicine (Baltimore)*. 2015;94(36):e1416.
- Schiffer T, Knicker A, Hoffman U, et al. Physiological responses to nordic walking, walking and jogging. *Eur J Appl Physiol*. 2006;98(1):56-61.
- Schnadthorst PG, Lison A, Schulze C. Rehabilitation of Patients with Osseointegrated Prosthesis after Transfemoral Amputation - Literature-based Recommendation for Postoperative Rehabilitative Procedure. *Z Orthop Unfall*. 2023;161(3):318-27.

- Shin JC, Yang HE, Yu SJ, et al. Stepwise rehabilitation of the triple amputee combined with dysfunction of the sound limb. *Ann Rehabil Med*. 2014;38(1):116–21.
- Siev-Ner I, Heim M, Wershavski M, et al. Why knee disarticulation (through-knee-amputation) is appropriate for non ambulatory patients. *Disabil Rehabil*. 2000;22(18):862–4.
- Sjodahl C, Jarnlo GB, Persson BM. Gait improvement in unilateral transfemoral amputees by a combined psychological and physiotherapeutic treatment. *J Rehabil Med*. 2001;33(3):114–8.
- Sjödin LS, Ottosson CC, Lapidus LJ. Knee disarticulation vs. transfemoral amputation after failed trans-tibial amputation: Surgical outcome and prosthetic fitting in patients with peripheral vascular disease. *Prosthet Orthot Int*. 2024;48(1):25–9.
- Strelec J, Akeju OA, Gras LZ. Rehabilitation Program Using Short Prostheses after Bilateral Transfemoral Amputation: A Case Report. *JPO: J Prosthet Orthot*. 2021;33(3):234–40.
- Sureshkumar A, Payne MW, Viana R, et al. An eight-year analysis of participant characteristics at admission to inpatient prosthetic rehabilitation following a lower limb amputation: a Canadian perspective. *Disabil Rehabil*. 2024;46(14):3037–47.
- Talaty M, Esquenazi A. Determination of Dynamic Prosthetic Alignment Using Forceline Visualization. *JPO: J Prosthet Orthot*. 2013;25(1):15–21.
- Tanaka Y, Ueno T. Prosthetic Rehabilitation of a Female With Bilateral Transfemoral Amputation in Japan: A Case Report. *Cureus*. 2023;15(10):e46566.
- Toda M, Chin T, Oshima T, et al. Prosthetic rehabilitation for bilateral transfemoral amputees using microprocessor-controlled knees with a novel training program: A study of two cases. *J Int Med Res*. 2025;53(6):3000605251346028.
- Tokuno CD, Sanderson DJ, Inglis JT, et al. Postural and movement adaptations by individuals with a unilateral below-knee amputation during gait initiation. *Gait Posture*. 2003;18(3):158–69.
- van Velzen JM, van Bennekom CA, Polonski W, et al. Physical capacity and walking ability after lower limb amputation: a systematic review. *Clin Rehabil*. 2006;20(11):999–1016.
- Waiteman MC, Garcia MC, Briani RV, et al. Can Clinicians Trust Objective Measures of Hip Muscle Strength From Portable Dynamometers? A Systematic Review With Meta-analysis and Evidence Gap Map of 107 Studies of Reliability and Criterion Validity Using the COSMIN Methodology. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2023;53(11):655–72.
- Waters RL, Mulroy S. Energy expenditure of walking in individuals with lower limb amputations. Atlas of amputations and limb deficiencies: Surgical, prosthetic, and rehabilitation principals. Rosemont (IL): *J. Am. Acad. Orthop. Surg*. 2004;395–407.
- Wedemeyer C, Kauther MD. Hemipelvectomy- only a salvage therapy? *Orthop Rev (Pavia)*. 2011;3(1):e4.
- Wiltmann VW, Holmberg HC, Peltari P, et al. Biomechanical analysis of different starting strategies utilized during cross-country skiing starts. *Eur J Sport Sci*. 2016;16(8):1111–20.
- Wnuk-Scardaccione A, Zawojcka K, Barlowska-Trybulec M, et al. Exercise Therapy in Nonspecific Low Back Pain among Individuals with Lower-Limb Amputation: A Systematic Review. *Life (Basel)*. 2023;13(3).
-

- Wong CK, Ehrlich JE, Ersing JC, et al. Exercise programs to improve gait performance in people with lower limb amputation: A systematic review. *Prosthet Orthot Int*. 2016;40(1):8-17.
- Wu YJ, Chen SY, Lin MC, et al. Energy expenditure of wheeling and walking during prosthetic rehabilitation in a woman with bilateral transfemoral amputations. *Arch Phys Med Rehabil*. 2001;82(2):265-9.
- Zuniga EN, Leavitt LA, Calvert JC, et al. Gait patterns in above-knee amputees. *Arch Phys Med Rehabil*. 1972;53(8):373-82.