

경중족 절단 환자의 의족지 착용에 따른 족저압력 분포 특성

서울보훈병원 보장구센터, 서울보훈병원 재활의학과*, 서울보훈병원 정형외과†

성우성 · 양희승* · 성흥기* · 김학준†

Characteristics of Foot Pressure Distribution with or without Partial Prosthetic Foot in Transmetatarsal Amputee

Woo-Sung Seong, B.S., Hee-Seung Yang, M.D.* , Hong-Kee Sung, M.D.* , Hak-Jun Kim, M.D.†

Center of Orthotics & Prosthetics, Department of Rehabilitation* and Orthopedic Surgery†, Seoul Veterans hospital, Seoul, Korea

=Abstract=

Purpose: This study was designed to evaluate characteristics of foot pressure distribution with or without partial prosthetic foot in transmetatarsal amputee.

Materials and Methods: The subjects were 9 transmetatarsal amputees. Foot pressures were measured at hallux, the 1st-5th metatarsal head (MTH), mid-foot, condyle area by F-scan system in amputated or contralateral foot during active walking.

Results: In amputated foot, mean peak pressure was greatest in midfoot without prosthetic foot but it was greatest in hindfoot with prosthetic foot. In unaffected foot, although mean peak pressure was higher in hallux, and 1-5th MTH compared to amputated foot, it was greatest in hind foot both with and without prosthetic foot. However, in unaffected foot, mean peak pressure significantly decreased in hallux and 5th MTH after wearing the prosthetic foot. There was a significant difference in mean peak pressure in hallux and 5th MTH between amputated and unaffected foot after wearing prosthetic foot. However, other region had no significant difference with or without prosthetic foot between feet.

Conclusions: The use of partial prosthetic foot tends to shift weight bearing from the heel area to forefoot and could significantly reduce hind foot peak pressure and redistributed to peak pressure. The partial prosthetic foot can also offer the peak pressure to reduction both amputated foot and unaffected foot and help to toe off during walking.

Key Words: Transmetatarsal amputee, Prosthesis, F-scan system, Mean peak pressure

서 론

현대사회에서 여러 원인으로 인해 발생한 절단 환자에서 절단 후 소실된 하지로 인해 신체의 중력 중심점이 절단되지 않은 하지 측, 정상인 쪽으로 이동하게 된다. 따라서 절단 환자를 가능한 한 조기에 의족을 착용하게 함으로써, 한 쪽으로 치우쳐진 중력 중심점을 원래의 양쪽다리 사이에 위치하게 하여, 좀 더 빨리 일상적인 생활로의 영위가 가능하

• Address for correspondence

Hee-Seung Yang, M.D.

Department of Rehabilitation, Seoul Veterans Hospital, 6-2,

Duchon-dong, Kangdong-gu, Seoul, 134-791, Korea

Tel: +82-2-2225-1498 Fax: +82-2-2225-1579

E-mail: yang7310@naver.com



Figure 1. (A) Normal foot and amputated foot without wearing prosthesis and (B) normal foot and amputated foot with wearing prosthesis at amputated foot. Prosthesis made with silicon have the 5 toes and cover over the hind foot area.

게 하고, 또한 몸 전체의 균형이 무너지는 것을 방지하게 할 수 있다¹⁾. 하지만 의자를 착용한 후에도 통증이나 자세의 불안정성과 같은 다른 요소들은 보행하는 동안 비대칭적 체중부하의 원인이 될 수 있다²⁾. 따라서 절단자의 운동형상학적(kinematic) 및 운동역학적(kinetic) 보행 연구와 함께 입각기 동안 족저압의 분포 양상을 정상측과 환측을 각각 측정하여 절단으로 인한 영향을 알아보는 것이 필요하다.

경중족 절단 환자는 절단으로 인하여 정상 발의 중족지 관절(metatarsophalangeal joint)이 없고 절단에 의한 단축이 발생하기에, 정상인의 보행 시 일어나는 발뒤꿈치에서 중족지 관절로의 무게 중심의 이동이나, 발가락 퍼짐(toe break)을 통한 종족골 두의 구르기, 5개의 중족골 두들의 발바닥을 지지하는 편편한 판의 역할, 그리고 진행과정의 안정성에 대한 발바닥의 적합한 길이 제공의 기능 등이 제

공되지 않는다³⁾. 그러므로 절단자의 재활 시에는 이런 점을 고려해야 하는 것이 필수적이며 최대한 정상에 가깝게 의족을 맞추는 것과 이에 맞게 재활을 해야 하며, 이렇게 함으로써 더욱 대칭적인 보행이 이루어진다⁴⁾.

족저압 분포에 관한 선행 연구는 주로 하지 보조기에 관련된 연구나 정형 외과적 기형을 교정하기 위해 제작된 신발, insole 착용 및 편마비 환자와 당뇨병성 말초신경병변으로 인한 족부질환 환자에 관한 연구만으로 국한되어왔다^{1,2,5-8)}. 그리고 정상인을 대상으로 종류가 다른 신발을 신고 걸을 때의 족저압의 분포변화를 조사 분석한 연구나 하퇴 절단 환자를 대상으로 한 의지 발과 정상 발과의 비교에 대한 연구가 있었으나, 발의 경중족 절단 환자의 족저압에 대한 연구는 국내에서는 보고된 바가 없는 실정이다^{9,10)}.

이에 본 연구에서는 경중족 절단 환자에서 의족 착용 시와 미착용 시의 족저압 분포의 변화를 족저압 측정기(Foot Pressure Measurement, F-Scan)을 통하여 조사하고, 또한 이러한 압력 분포변화가 절단 측과 정상 측이 어떠한 차이를 보이는 지 알아보려고 하였다.

대상 및 방법

1. 연구대상

Table 1. General Characteristics of Subjects (n=9)

Characteristics	Subjects
Age (years)	49.44±14.94
Height (cm)	171.5±4.40
Body weight (kg)	68.55±6.76
Duration after amputation (years)	16.44±5.36
Stump length (cm)	15.16±1.63

Values are mean±standard deviation.

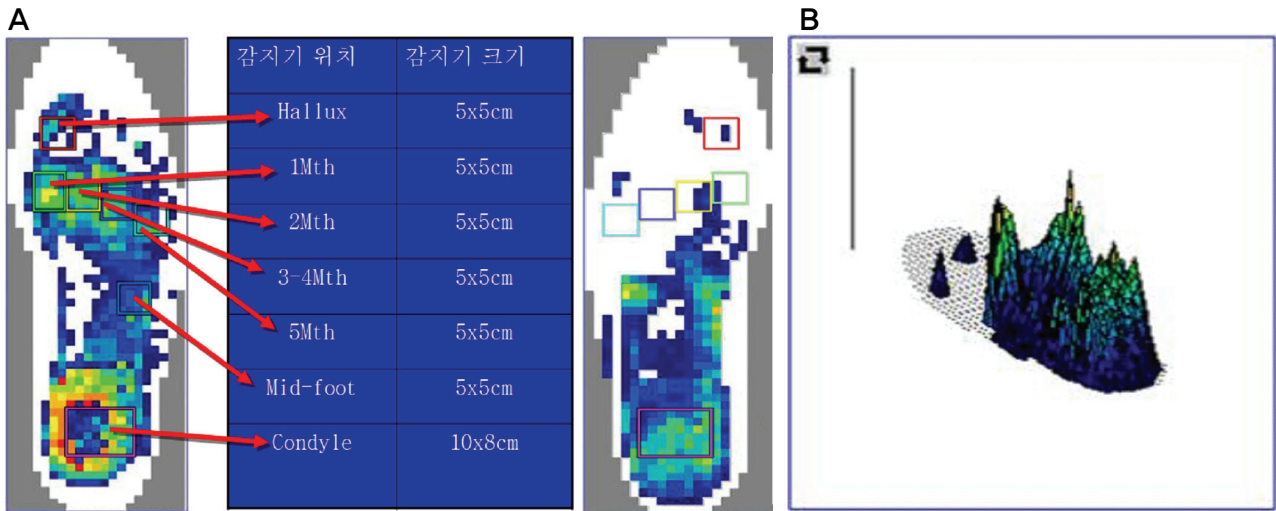


Figure 2. (A) F-scan pressure recording area at hallux and 1st-5th metatarsal head area and mid-foot and hind foot and (B) F-scan pressure recording with wearing amputated side foot result at hallux and 1st-5th metatarsal head area and mid-foot and hind foot.

본 연구는 본원 연구 센터에 내원한 20-75세 사이의 성인 남자 중 외상과 당뇨로 인한 편측 중족골 수준의 족저부 절단을 경험한 경우에서, 환부에 통증이 없고, 족관절의 관절가동범위가 정상에 가까우며, 미관용, 재래식 의족을 착용하고 독립적인 보행이 가능하고, 최근 1년간 환부 발바닥에 못, 티눈 등의 피부과적 질환을 경험하지 않은 환자들 중 본 연구에 대해 충분한 설명을 듣고 검사에 동의한 9명의 환자를 대상으로 하였다(Table 1).

2. 연구방법

보행시 족저압을 측정하기 위해, Tekscan사의 F-scan version 5.24을 이용하였다. 두께가 0.2 mm로 얇고 잘 구부러지며 960개의 압력 감지점이 5 mm 간격의 격자형식으로 균일하게 분포되어 있는, 압력 탐색자(insole)를 환자의 신발에 알맞게 재단한 다음, 이를 신발에 넣은 후 착용하게 하였다.

의족지는 각 환자 건측의 발 크기와 모양 등을 고려하여 제작하였는데, 이 때 발가락 모양도 함께 제작하였으며, 절단부의 뒤쪽 발뒤꿈치까지 감싸는 형태로 제작하여 보행 시 절단 부위와 최대한 분리되지 않게 하였다. 의족지 착용 시의 족저압 측정은 신발 밑창에 압력 탐색자를 넣고, 의족지를 착용한 후 신발을 신고 보행하여 측정하였다(Fig. 1).

대상 환자는 모두 남자로, 2 cm 굵이 있는 신발을 착용하고, 족저압 측정 장치를 양하지에 장착한 후, 압력 탐색자의 보정을 시행한 다음, 피검자가 충분히 적응이 되도록 하였다. 검사는 대상자가 단단하고 고른 바닥에서 자연스럽게

속도로 직선 방향으로 걷도록 한 후 중간 걸음부터 시작하여 1초당 50 Hz로 8초 동안 기록하였고, 이 때 기록된 걸음수는 좌우 양측 합하여 10-12 걸음이 되도록 하였다.

족저압의 측정을 위해 족저를 무지부, 제1,2,3-4,5 중족골 두부, 중족부, 후족부의 7부위로 나누었으며, 각 부위의 크기로 후족부는 10×8 cm, 나머지 6부위는 5×5 cm으로 하였고 이는 정상측 발과 절단측 발 모두에서 같은 부위에서 측정하였다(Fig. 2).

압력 측정은 보행 주기 중 입각기 전 기간에 걸쳐 발바닥의 각 부분이 지면과 접촉 되어지는 시기에 실시하였고, 총 2회 시행하였으며, 자료 분석을 양측 발에서 처음과 마지막 걸음을 제외한 걸음을 선택하여 각각의 평균 최고 압력(mean peak pressure; kpa)을 구하였다.

각 부위의 압력 탐지자에서 측정된 족저압을 의족지를 착용한 경우와 착용하지 않은 경우를 비교하였고, 각각의 경우에 대해 절단 측과 정상 측을 비교하여 경중족 절단 환자의 의족지 착용 시 족저 압력 분포 변화를 알아보았다.

3. 통계방법(Wilcoxon's signed rank test, SPSS 11.5)

측정된 압력 분포 자료는 Tekscan사의 상용 프로그램을 이용하여 50 frame/sec로 자료를 수집하여 F-scan Mobile Reserch 5.24 프로그램을 사용하여 영역을 구분하고, 2회 보행을 실시하여 평균값을 대표값으로 사용하였다. Tekscan 압력 센서의 오차범위는 300 kpa 이하의 압력에 대해 최대 20%를 나타내나 압력이 작을 경우(100 kpa 이내)에는 약 8%로 나타났다¹¹⁾. 최대 족저 압력을 수치화하기위해 F-

Table 2. Mean Peak Pressure

Pressure area	Amputated side		Normal side	
	Non-Wearing	Wearing	Non-Wearing	Wearing
Hallux	0.0±0.0	12.0±15.3	25.5±22.2	9.4±11.6*
1 st - metatarsal head	0.0±0.0	1.9±3.6	24.0±22.6	12.5±13.2
2 nd - metatarsal head	0.0±0.0	1.4±4.0	20.4±20.5	13.7±18.2
3 rd ,4 th - metatarsal head	0.1±0.3	1.1±2.8	21.2±17.5	15.1±15.1
5 th - metatarsal head	3.2±7.7	13.8±17.2*	22.4±11.3	12.8±11.6*
Mid-foot (lateral)	56.6±88.6	29.3±31.1*	14.0±9.50	13.9±9.5
Hind-foot	56.1±46.5	56.4±43.6	57.8±38.4	45.3±31.0

The non-wearing amputated side mean peak pressures were compared with the wearing amputated side mean peak pressures. The non-wearing normal side mean peak pressures were compared with the wearing normal side mean peak pressures. Values are mean±standard deviation. * $p < 0.05$, peak pressure (kpa).

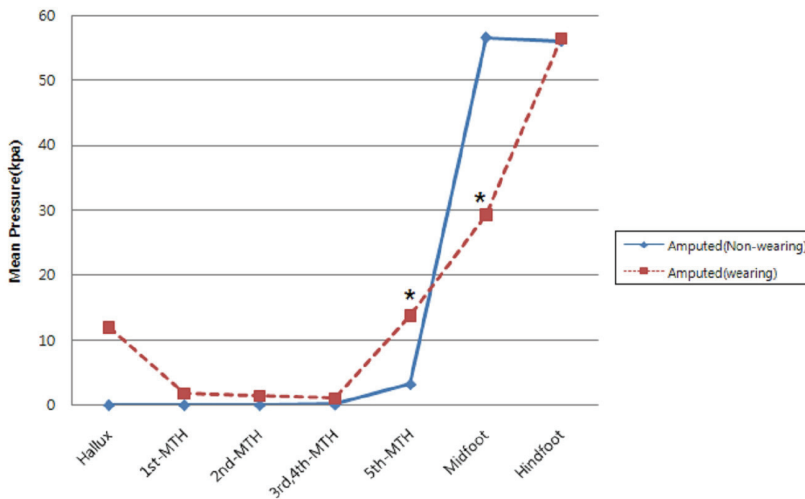


Figure 3. Mean pressure of amputated foot. Solid line is mean pressure of non-wearing prosthetic foot. Dotted line is mean pressure of wearing prosthetic foot. * $p < 0.05$

Scan TAM 4.19 프로그램을 사용하여 그 결과를 ASVII 형태로 전환하여 분석하였다.

의족지 착용 시와 미착용 시, 각각의 경우에 절단 측과 정상 측의 평균 최고 압력을 알아보기 위해 t -검정(independent t -test)을 실시하였고, 유의수준을 $p < 0.05$ 로 하였다. 자료의 통계처리는 윈도우용 SPSS 11.5 프로그램을 이용하였다.

결 과

1. 의족지 미착용 시와 착용 시 7개의 감자기 부위의 평균 최고압력 분포 비교

의족지 미착용 시 보행 상태에서 절단측의 평균 최고압력은 중족부가 56.6 ± 88.6 kpa로 가장 높았으며 그 다음으로 후족부(56.1 ± 46.5 kpa), 다섯째 중족골 두부, 셋째-넷째 중족골 두부 순을 보였다. 착용 시에는 절단측의 평균 최

고압력분포는 후족부(56.4 ± 43.6 kpa)에서 가장 높았으며 그 다음으로 중족부(29.3 ± 31.1 kpa) 다섯째 중족골 두부, 무지부 순으로 나타났다(Table 2, Fig. 3).

이러한 족저 압력분포를 절단측과 정상측을 비교해보면, 의족지 미착용 시 정상측에 나타나는 평균 최고압력은 후족부(57.8 ± 38.4 kpa)에서 가장 높게 나타났으며, 그 다음으로 무지부(25.5 ± 22.3 kpa), 첫째 중족골 두부, 다섯째 중족골 두부, 셋-넷째 중족골 두부, 둘째 중족골 두부, 중족부 순으로 나타났고, 착용 시 정상측에 나타나는 평균 최고압력은 후족부(45.3 ± 31.0 kpa)에서 가장 높았으며 그 다음으로 셋째-넷째 중족골두부(15.1 ± 15.1 kpa), 중족부, 둘째 중족골 두부, 다섯째 중족골 두부, 첫째 중족골 두부, 무지부 순이었다(Table 2, Fig. 4).

2. 의족지 미착용 시와 착용 시 7개 감자기부위 각각의 평균 최고 압력의 변화

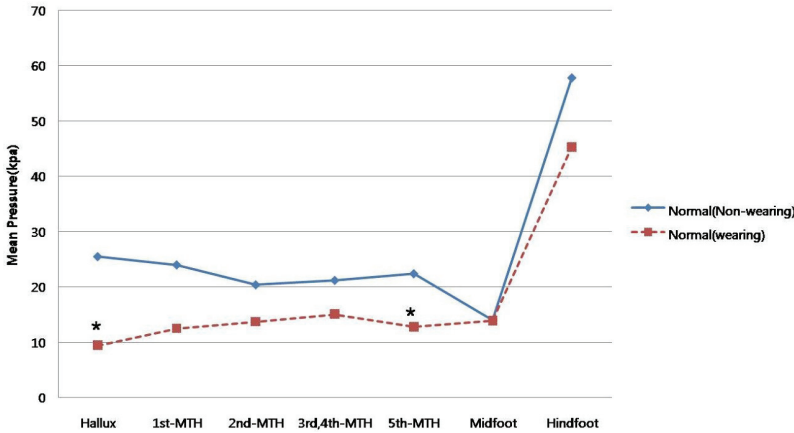


Figure 4. Mean pressure of normal foot. Solid line is mean pressure of normal side when amputated foot was not wearing prosthesis. Dotted line is mean pressure of foot pressure of normal side when amputated foot was wearing prosthesis. * $p < 0.05$

동적 보행상태에서 무지부에 가해지는 평균압력을 비교한 결과, 정상측의 평균 최고압력은 미착용 시 25.5 ± 22.2 kpa, 착용 시 9.4 ± 11.6 kpa로, 의족지 착용 시 정상측 무지부의 평균 최고압력이 통계학적으로 유의하게 감소되었다($p < 0.05$). 제1 중족골 두부의 경우, 정상측의 평균 최고 압력은 의족지 미착용 시 24.0 ± 22.6 kpa, 착용 시 12.5 ± 13.2 kpa를 보여 족저압의 평균 최고압력은 감소하였으나 통계학적 유의한 차이는 없었다. 둘째 중족골 두부에 가해지는 평균 최고압력은 의족지 미착용 시 존재하지 않다가 착용 시 절단측에 1.4 ± 4.0 kpa로 증가하였고, 절단측의 의족지 미착용 시 건측은 20.4 ± 20.5 kpa, 착용 시 13.7 ± 18.2 kpa로 착용 시 절단측의 최고압력이 감소하였다. 셋째, 넷째 중족골 두부의 평균 최고압력은 의족지 미착용 시 절단측 0.1 ± 0.3 kpa, 착용 시 1.1 ± 2.8 kpa로 차이가 없었으며, 미착용 시 정상측의 평균 최고 압력은 21.2 ± 17.5 kpa, 착용 시 정상측은 15.1 ± 15.1 kpa로 나타나 평균 최고압력은 낮아지나, 통계학적으로 유의한 차이는 보이지 않았다. 다섯째 중족골 두부에 가해지는 평균 최고압력을 비교한 결과, 의족지 미착용 시 절단측 평균 최고압력은 3.2 ± 7.7 kpa에서 착용 시 13.8 ± 17.2 kpa로 평균 최고 압력이 통계적으로 유의하게 증가되었다($p < 0.05$). 또한, 정상측의 경우 미착용 시 평균최고압력이 22.4 ± 11.3 kpa에서 착용 시 12.8 ± 11.6 kpa로 측정되어 평균 최고 압력의 감소가 통계적 의미로 유의함을 나타내었다($p < 0.05$). 중족부의 경우 의족지 미착용 시 절단측의 평균 최고 압력은 56.6 ± 88.6 kpa, 착용 시는 29.3 ± 31.1 kpa로 나타나 착용 시에 미착용 시보다 평균 최고 압력이 낮았으며, 이는 통계적으로도 유의한 차이를 보였다. 그러나, 의족지 미착용 시 정상측의 평균 최고압력은 14.0 ± 9.5 kpa, 착용 시는 13.9 ± 9.5 kpa로 변화를 보이지 않았다. 의족지 미착용 시 후족부에 가해지는 절단지의 평균 최고 압력은 56.1 ± 46.5 kpa, 착용 시 56.4 ± 43.6

kpa로 나타나 차이가 거의 없었으며, 미착용 시 정상측에 대한 평균 최고 압력은 57.8 ± 38.4 kpa, 착용 시 정상측은 45.3 ± 31.0 kpa로 의족지 착용 시 미착용 시보다 후족부에 압력은 감소하였으나 유의하지는 않았다(Table 2, Fig. 3, 4).

고찰

이 연구는 경중족 절단 환자를 대상으로 의족지를 착용한 상태와 착용하지 않았을 때 절단 측과 정상측에 나타나는 최고압력의 변화를 알아보기 위해 시행하였다. 정확한 족저압을 측정할 수 있는 시스템의 개발은 족지뿐 아니라 발의 기능적 이상을 객관적으로 평가할 수 있는 면에서 매우 중요하다.

본 연구에서는 절단 측의 의족지 착용 시와 미착용 시 절단 측의 후족부와 중족부에 그리고 전족부 순으로 압력이 높았고, 절단측의 의족지 착용 여부에 따른 건측의 변화를 보면 의족지 착용 시가 미착용 시 보다 후족부, 셋째-넷째 중족골 두부, 중족부, 둘째 중족골 두부, 그리고 다섯째 중족골 두부 순으로 나타나 정상인의 경우 둘째와 셋째 중족골두부에 최고 압력이 걸린다는 Collis와 Jayson¹²⁾, Grundy 등¹³⁾, 그리고 Grieve와 Rash¹⁴⁾의 연구와 일치하지 않았다. 그 이유는 정상인과 절단인과의 해부학적 발의 절단구조가 서로 달라 상실된 근육과 인대 대신 보상작용이 일어나고 발의 굴곡과 신전근육의 상실과 남아있는 근육의 약화가 일어나 위와 같은 차이를 발생한 것으로 보인다.

본 연구 결과로 보면, 경중족 절단 환자에서 의족지를 착용한 뒤 측정된 최대 족저 압력은 주로 후족부와 중족부, 그리고 중족골 두부의 순서로 나타났으며, 거의 대부분 동일한 순서로 나타났으며, 예외의 경우는 굳은살과 바닥에 상처가 있어 그 부분에 체중을 신지 못하고 보행이 외측으로 너무 쏠리는 경우와 신발의 뒷굽이 과도하게 닿아 있는 경

우로 나타났다. 이 연구의 대부분의 대상자는 의족지를 수년간 착용하였기 때문에 보행이 다양한 양상으로 변화되어 연구 결과에 영향을 준 것으로 생각된다.

최근에 사용되는 족저압 측정기는 정적 상태뿐 아니라 발의 주 기능인 보행 상태에서 족저압을 분석하여 발의 여러 가지 변형과 예방 그리고 당뇨환자와 절단자에게도 적용하여 의지, 신발, 깔창의 영향을 평가하는 연구가 발표되고 있다. 94명의 당뇨환자에서 족저압을 측정할 정 등⁸⁾의 연구에서, 족부 병변의 병력이 있는 환자군에서 최대 족저압치와 압력-시간 적분치가 유의하게 증가되어 있었고, 각 영역별로는 후족부, 내측 전족부, 외측 전족부에서 유의하게 높은 압력치를 보여 족부궤양의 위험도를 판정하는데 족저압의 측정이 유용하게 하였다. 양 등⁷⁾은 당뇨환자 17명을 대상으로 맨발과 이미 판매되고 있는 당뇨화 착용 후 족저압을 측정할 결과, 당뇨화가 족저압을 낮춰주어 미세손상으로부터 보호하는 역할을 하므로 외부활동뿐만 아니라 실내 활동에서도 당뇨화를 착용해야 한다고 하였다.

결 론

절단 측의 의족지 착용 시가 절단 측의 의족지 미착용 시보다 평균 최고압력의 분포가 중족골 두부에서 약간 높은 경향과 중족부에서의 평균 최고 압력이 감소하는 경향을 보였으며 건측의 후족부와 중족골 두부에서 압력분포가 낮아지는 경향을 보였다. 이는 절단측에 의족지를 착용함으로써 절단측의 압력을 골고루 분산시키며, 건측에 걸리는 압력을 낮추어 절단측과 건측, 모두로 압력을 분산 시키는 경향을 보이는 것으로 해석할 수 있겠고 이것이 보행에 도움이 될 수 있겠다. 또한 절단측 의족지 착용 시 중족골 두부에도 압력이 분포되어 보행 발끝때기 시 도움이 되는 것으로 나타났다. 따라서 의족지 사용은 족지 절단 환자에게 있어서 동적 보행시 양측으로 걸리는 압력을 균형있게 분포하게 하여 주며, 평상시 신체활동을 원활하게 해 줄 수 있는 도구로서 활용될 수 있을 것이다.

REFERENCES

1. **Rozema A, Ulbrecht JS and Pammer SE:** *In-shoe plantar pressures during activities of daily living: Implications for therapeutic foot wear design.* *Foot Ankle Int*, 17: 352-359, 1996.
2. **Cavanagh P:** *In-shoe plantar pressure measurement: A review.* *the foot*, 2: 185-194, 1992.
3. **Perry J:** *Gait analysis. Normal and pathological function.* New Jersey, SLACK Inc: 70, 1992
4. **Isakov F, Keren O and Benjuya N:** *Trans-tibial amputee gait: time-distance parameters and EMG activity.* *Prosthet Orthot Int*, 24: 216-220, 2000.
5. **Hong DJ, Park SB, Lee SG and Lee KM:** *Analysis of the stance phase in a hemiplegic patient by the measurement of plantar pressure.* *J Korean Acad Rehab Med*, 22: 1123-1128, 1998.
6. **Lord M and Hosein R:** *Pressure redistribution by molded inserts in diabetic footwear: a pilot study.* *J Rehabil Res Dev*, 31: 214-221, 1994.
7. **Yang DC, Lee KH, Lee SG, Kim YG and Park SB:** *Comparison of dynamic peak plantar pressure and hindfoot contact time in diabetic patients and healthy adults.* *J Korean Acad Rehab Med*, 27: 600-604, 2003.
8. **Chung SH, Hwang JH and Kim KW:** *The significance of plantar pressure measurement in diabetic patients.* *J Korean Acad Rehab Med*, 25: 149-155, 2001.
9. **Moon HW, Park SI, Rah UW, Lee IY, Yim SY and Kim JH:** *Foot pressure measurement using F-scan system in normal korea adults.* *J Korean Acad Rehab Med*, 19: 289-295, 1995.
10. **Kim JH and Cynn HS:** *A study of characteristics of foot pressure distribution in trans-tibial amputee subjects.* *KAUTPT*, 8: 1-10, 2001.
11. **Chung JH, Lee KW and Kim YH:** *Development of a pressure distribution measurement system.* *J Biomed Eng Res*, 21: 213-218, 2000.
12. **Collins WJ and Jayson MI:** *Measurement of pedal pressures.* *Ann Rheum Dis*, 31: 215-217, 1972.
13. **Grundy M, Tosh PA, Mcleish RD and Smist L:** *An investigation of the centers pressure under the foot while walking.* *J Bone Joint Surg*, 57-A: 98-103, 1975.
14. **Grieve DW and Rash T:** *Pressure under normal feet in standing and walking as measured by foil pedobaography.* *Ann Rheum Dis*, 43: 816-818, 1984.
15. **Sanders JE and Daly CH:** *Interface pressures and shear stresses: sagittal plane angular alignment effects \in three transtibial amputee case studies.* *Prosthet Orthot Int*, 23: 21-29, 1999.