

편평외반족에 대한
거골하 관절 유합술 후
족저압 및 동작분석 변화

연세대학교 대학원

의 학 과

윤 홍 기

편평외반족에 대한
거골하 관절 유합술 후
족저압 및 동작분석 변화

지도 김 현 우 교수

이 논문을 박사학위 논문으로 제출함

2005 년 12 월 일

연세대학교 대학원

의 학 과

윤 홍 기

윤홍기의 박사 학위논문을 인준함

심사위원_____인

심사위원_____인

심사위원_____인

심사위원_____인

심사위원_____인

연세대학교 대학원

2005 년 12 월 일

감사의 글

본 논문이 완성되기까지 함께 하여주신 하나님께 감사를 드립니다. 정형외과 의사로서 학문을 연구하는 학자로서 모범을 보여주시고 깊은 애정과 자상한 지도로 이끌어 주신 김현우 교수님께 진심으로 감사를 드립니다. 또한 바쁘신 와중에도 본 연구를 위하여 각별한 조언을 아끼지 않으신 박희완 교수님, 윤여현 교수님, 박은숙 교수님, 김영호 교수님께 깊은 감사를 드립니다. 전공의 시절과 전임의 과정을 거치면서 애정 어린 가르침과 지도를 해주신 정형외과학 교실의 모든 교수님들께도 감사를 드립니다.

언제나 변함없이 저를 후원해 주시고 사랑해 주시는 양가 부모님들께도 감사를 드리며 논문 완성의 기쁨을 함께 하고 싶습니다. 마지막으로 늘 제 곁에서 후원을 아끼지 않은 사랑하는 아내와 이 세상 그 무엇과도 바꿀 수 없는 사랑스런 딸 신희와 아들 준식에 이 논문을 바칩니다.

저자 씀

차례

국문요약	1
I. 서론	3
II. 재료 및 방법	6
1. 연구재료	6
2. 연구방법	9
III. 결과	14
1. 신체 검사 소견 및 방사선학적 계측	14
2. 역동적 족저압 계측	17
3. 삼차원 보행분석	21
가. 시공간적 지표	22
나. 골반 및 고관절	22
다. 슬관절	24
라. 족관절 및 족부	26
4. 관상지수 및 외측편향지수와 족저압의 상관관계	28
IV. 고찰	30
V. 결론	36
참고문헌	37
영문요약	41

그림 차례

그림 1. Dennyson-Fulford extraarticular subtalar arthrodesis	7
그림 2-A, B, C. (A) 전후지수(%) = (가 / 나) X 100. (B) 외 측편향지수(%) = (다 / 라) X 100. (C) Black arrow means initial medial deviation	10
그림 3. Dynamic foot pressure measurement	12
그림 4. Preoperative (A) and postoperative (B) antero- posterior and lateral talo-first metatarsal angle	15
그림 5. Changes in relative impulse of preoperative and postoperative dynamic pedobarography	18
그림 6. Changes in kinematics and kinetics of pelvis and hip joint	22
그림 7. Changes in kinematics and kinetics of knee joint	24
그림 8. Changes in kinematics and kinetics of foot and ankle joint	26
그림 9. Correlation between preoperative modified coronal index and postoperative 1st metatarsal head force	29

표 차례

표 1. Changes in preoperative and postoperative parameters measured at the plain radiography of the foot	16
표 2. Changes in parameters of preoperative and postoperative dynamic pedobarography	19
표 3. Changes in preoperative and postoperative COP trajectories (center-of-pressure path trajectories)	20
표 4. Changes in preoperative and postoperative temporo-spatial parameters	21
표 5. Postoperative changes in parameters of kinematics and kinetics of pelvis and hip joint	23
표 6. Postoperative changes in parameters of kinematics and kinetics of knee joint	25
표 7. Postoperative changes in parameters of kinematics and kinetics of foot and ankle joint	27
표 8. Correlations between 1st metarsal head force and modified coronal index	28

편평외반족에 대한 거골하 관절 유합술 후
족저압 및 동작분석 변화

편평족(flat foot)에서는 지면과 족부의 접촉 면적이 증가되며 후족부(hindfoot)의 외반(valgus)과 동반되어 있는 경우 편평외반족(pes planovalgus)이라 한다. 치료를 요하는 병적 편평외반족의 다양한 원인 중 뇌성마비는 환자의 약 25%에서 편평외반족이 발생하여 편평외반족의 가장 큰 원인이다. 뇌성마비에서의 편평외반족은 하퇴삼두근의 경직성이 주된 원인이고 단 비골근의 경직성과 후 경골근의 약화가 또 다른 요인으로 기여한다. 따라서 족부변형으로 인한 문제뿐만 아니라 족저압과 보행에 있어서 문제를 유발한다. 이에 대한 치료로 거골하 관절유합술과 종골 연장 절골술 등이 있다. 치료의 목표는 족부의 비정상적인 압력분포를 호전시키는 것과 보행시 입각기의 안정성, 진출기의 효율성을 부여하는 것이다. 따라서 술 후 족부의 압력분포와 보행에 미치는 영향을 평가하기 위해 거골하 관절유합술 후 삼차원 보행분석과 역동적 족저압 측정의 변화를 분석하고자 하였다.

2003년 6월부터 2004년 9월까지 뇌성마비로 인한 편평외반족으로 거골하 관절유합술을 시행 받은 28명의 환자, 48례를 대상으로 하였으며, 남아가 21명, 여아가 7명이었다. 수술 당시 평균 연령은 9년 2개월(5년-18년10개월)이었고 술 후 평균 추시기간은 12개월이었다. 무지, 각각의 중족골두, 내외측 중족부, 내외측 종골부의 9곳을 2 Cm x 2 Cm의 값으로 통일 측정하였다. 내반이 심할수록 외측 전족부와 중족부의 압력이 증가하고 외반이 심할수록 내측 전족부와 중족부의 압력이 증가하므로 이를 보정하기 위한 관상지수를 측정하였다. 족저압 중심의 전후이동, 외측편향, 거골하 관절의 충격흡수를 측정하였다. 보행은 3차원 보행분석기인 Vicon 370 Motion Analysis System (Oxford Metrics Inc., Oxford, U.K.)을 이용하여 시공간적인 지표

(temporospatial data), 운동형상학적 지표(kinematic data) 및 운동역학적 지표(kinetic data)를 측정하여 수술 전후의 변화를 관찰하여 분석하였다.

수술 전 무지와 제 1 중족골두, 내측 중족부의 족저압은 정상이상이었으며, 외측 중족부와 종골부는 정상이하로 감소되어 있었다. 술 후 무지에 미치는 압력은 정상범위이내로 회복되었으며 제 1, 2, 3, 4 중족골두에 미치는 압력은 정상미만으로 감소하였다. 외측 중족부의 압력은 증가하였고 내측 중족부의 압력은 감소하였으나 술 후에도 정상범위이상 이었다. 종골부는 정상이상으로 증가하였다. 관상지수는 감소하였으며, 정상범위이상의 외반에서 정상범위내의 내반으로 교정되었다. 족저압 중심의 이동에서 전후지수와 외측편향지수가 호전되었으며, 거골하 관절의 충격흡수 또한 호전되었다. 골반 전방경사의 증가와 고관절 신전이 감소하였으며 슬관절 신전이 증가하고 굴곡이 감소하였다. 진출기 족관절의 족저굴곡각이 감소하였으며, 족저 굴곡 모멘트와 힘 또한 감소하였다. 그러나 슬관절 신전-족관절 족저굴곡 복합체의 호전의 호전을 보였다. 따라서 거골하 관절유합술 시행 시 하퇴삼두근의 근력 유지를 위한 수술적 처치는 보다 효과적인 보행의 향상을 기대할 수 있으리라 사료된다.

핵심되는 말 : 편평외반족, 거골하 관절유합술, 역동적 족저압, 보행분석

편평외반족에 대한 거골하 관절 유합술 후
족저압 및 동작분석 변화

<지도교수 김 현 우>

연세대학교 대학원 의학과

윤 홍 기

I. 서론

편평족(flat foot)은 지면과 족부의 접촉 면적이 증가되어 있는 상태이며, 후족부(hindfoot)의 외반(valgus)과 동반되어 있는 경우 편평외반족(pes planovalgus)이라 한다. 치료를 요하는 병적 편평외반족으로는 선천성 수직 거골(congenital vertical talus), 족근골 결합(tarsal coalition) 등 족부 질환에 의한 편평외반족과, 뇌성마비나 이분척추증과 같은 신경근육성 질환에 속발된 편평외반족을 들 수 있으며, 이들은 족부의 강직과 기능상 장애를 유발하며 치료를 요한다¹. 이중 신경근육성 질환에 의한 편평외반족은 아킬레스건의 구축이나 근육의 부조화에 의해 발생하며, 후족부의 족저굴곡과 외반, 중족부(midfoot)의 외전(abduction), 전족부(forefoot)의 회외전(supination)으로 이루어지는 족부의 부정정렬을 유발하며 외측지주(lateral column)의 길이가 짧아진다^{2,3}.

뇌성마비는 신생아 1000명 중 약 1.5내지 2.5명의 유병율을 보이며 환아의 약 25%에서 편평외반족이 발생한다^{4,5}. 특히 경직성 양하지 마비 환아의 42%, 사지마비 환아의 68%에서 발생할 정도로 흔하며,⁶ 대개 하퇴삼두근의 경직성이 주된 원인이고 단 비골근의 경직성과 후

경골근의 약화가 또 다른 요인으로 기여한다⁵.

편평외반족에서 관찰되는 돌출된 거골두(talar head)는 피부의 경결로 인한 통증과 이로 인한 정상적인 신발 착용의 어려움 등의 문제를 초래한다. 또한 입각기(stance phase)시 족부의 불안정성과 전족부의 외전으로 인해 하퇴삼두근(triceps surae)의 작용 지렛대 길이가 짧아지고 진출기(push off) 때 적절한 족저굴곡이 이루어지지 않아 소위 족관절 굴곡-슬관절 신전 조합(ankle plantar flexion-knee extension coupling) 기능이 감소된다⁷. 편평외반족의 치료목표는 이러한 문제를 해결하는 것으로 부정정렬의 교정과 입각기시 족부에 대한 안정성, 진출기 때의 적절한 족저굴곡 및 유각기(swing phase) 때 발들림을 호전시키는 것이다³.

한편, 편평외반족에 대한 수술적 치료로 여러가지 방법이 제시되어 왔으나 현재 가장 널리 사용되는 방법은 거골하 관절외 유합술(extraarticular arthrodesis of subtalar joint)과 외측 종골 연장 절골술(calcaneal neck lengthening osteotomy)이다. 거골하 관절외 유합술은 족부의 성장장애를 초래하지 않으면서 후족부의 진행성 변형을 교정할 수 있는 술식으로 Grice⁸가 지주골(strut bone)을 이용한 거골하 관절외 유합술을 발표한 후, Dennyson과 Fulford⁹는 가관절증과 재발 등을 막기 위해 나사못과 해면골(cancellous bone)이식을 이용한 변형된 술기를 발표한 바있다. 나사못과 해면골 이식을 이용한 유합술은 교정 소실이 적고, 해면골 이식이 골유합을 촉진하여 몇몇 보고에서 만족할만한 결과를 얻었다고 하였다^{10,11,12,13}. 그러나 이러한 보고들은 임상적, 방사선학적 고찰에 국한되어있으며 결과 판정의 기준이 보고마다 다르기 때문에 결과간의 비교가 불가능하였다.

족부는 다양한 관절로 이루어진 관절 복합체이며 후족부 외반과 전족부 회외전의 복합기형인 편평외반족의 치료로 거골하 관절유합술이라는 단일 관절 유합술 시행 후 결과 분석에 있어 단순 방사선과 주관적인 임상적 고찰로 평가하는 데는 한계가 있으며 족부의 압력변화

와 같이 다관절의 영향을 평가할 수 있는 결과분석이 필요하다. 또한 고관절, 슬관절, 족관절 등의 다관절의 복합운동인 보행에 있어서 거골하 관절유합술이 미치는 영향을 평가하기 위해서는 독립보행이 가능한지(ambulatory walker), 보행기(walker)를 요하는지 등의 주관적, 포괄적인 분석이 아닌 보행 시 각 관절의 보행인자에 대한 정량적 분석이 필요하다.

따라서, 본 연구는 편평외반족을 가진 뇌성마비 환아를 대상으로 술 전 및 술 후 시행된 3차원 보행분석과 역동적 족저압 측정을 통해 거골하 관절유합술 후 족저압의 변화와 보행에 미치는 영향을 정량적으로 분석하고자 하였다.

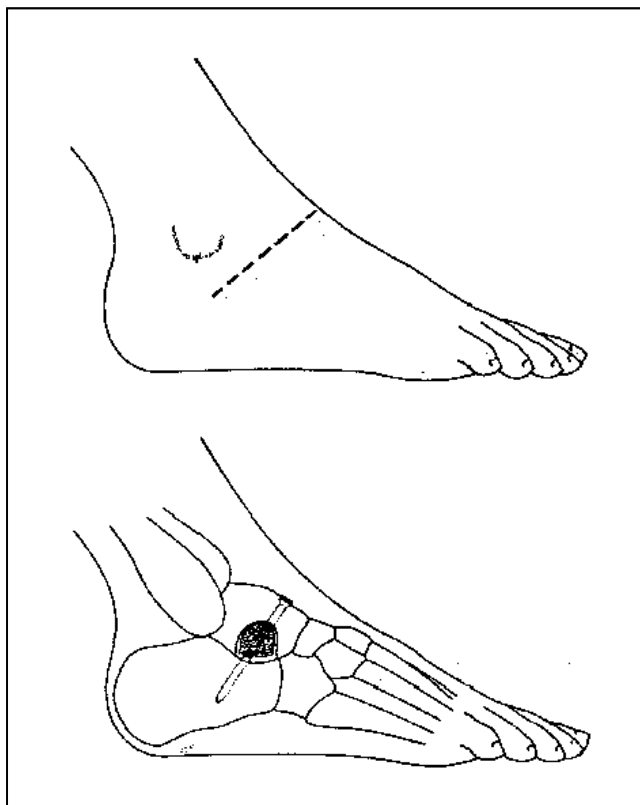
II. 재료 및 방법

1. 연구재료

2003년 6월부터 2004년 9월까지 뇌성마비로 인한 편평외반족으로 거골하 관절유합술을 시행받은 환자 중, 수술 전후 독립보행이 가능하였던 환자를 대상으로 하였다. 치료 전후 체중 부하 방사선 측정, 역동적 족저압 측정 및 3차원 동작분석을 시행하였다. 총 28명의 환자 48례로서 남아가 21명, 여아가 7명이었다. 수술 당시 평균 연령은 9년 2개월(5년-18년10개월)이었고 술 후 평균 추시기간은 12개월(8개월-21개월)이었다.

모든 환아에 대해 Dennyson-Fulford 술식을 이용한 거골하 관절유합술을 시행하였다. 수술방법은 족관절 외측 전방의 피부 주름을 따라 거골동(tarsal sinus)위에 사선의 피부절개를 가한 후, 단 족지 신전근(extensor digitorum brevis)을 기시부에서 들어올려 거골동을 노출시켰다. 장 족지 신전근(extensor digitorum longus)과 신경혈관다발사이에서 거골 경부의 오목한 부분을 노출시키고 아탈구된 거골-주상골 관절(talonavicular joint)을 정복시킨 후 1개의 강선을 거골 경부에서 종골로 관통시켰다. 이후 나사 못 고정과 함께 장골 해면골 이식을 시행하였다⁹(Fig. 1.).

Fig. 1. Dennyson-Fulford extraarticular subtalar arthrodesis.



모든 환아에서 경직성 단 비골근에 대해 Z-성형술을 시행하였다. 4예에서 Vulpius 술식을 이용한 비복근의 연장술이, 41례에서 경피적 아킬레스 건 연장술이 시행되었다. 2례에서는 하퇴삼두근 연장술이 시행되지 않았으며, 1례에서는 3년전 건 연장술을 시행하여 거골하관절유합술시 연장술을 다시 시행하지는 않았다. 원위 경골에서 외반이 관찰되어 경골에 대한 내반 절골술이 시행된 예는 없었다.

모든 환아에서 보행의 호전을 위하여 동반된 하지의 경직성 혹은 구축된 근육에 대한 근육 연장술을 시행하였다. 고관절에서 장요근 퇴축술(iliopsoas recession)이 20례, 외전근막(anterior fiber of gluteus medius) 절개술이 16례, 내전근건 절단술(adductor tenotomy)이 10례에서 시행되었으며, 슬관절에서 원위 내측 슬괏근 연장술(medial hamstring lengthening)이 39례, 대퇴직근 이전술(rectus femoris tendon transfer)이 3례에서 시행되었다. 동반된 회전변형에 대하여 경골 회전 절골술(supramalleolar derotational osteotomy)이 14례, 대퇴골 회전 절골술(femur derotational osteotomy)이 6례에서 시행되었다. 편평외반족 변형이 장기간 지속되어 무지 외반증(hallux valgus)이 나타난 연장아(older children)에서 제 1 중족골 절골술과 관절유리술이 7례에서 시행되었다.

술 후 모든 환자에서 4주간의 장하지 석고 고정과 다시 4주간의 단하지 석고 고정을 시행하였다. 족저 굴곡근력이 3등급 이상으로 회복될 때까지 PLS(Posterior Leaf Spring)형식의 족근 족부 보조기(ankle foot orthosis)를 착용시켰으며, 최종 추시상 모든 환자는 보조기를 착용하지 않은 상태로 독립보행이 가능하였다.

2. 연구방법

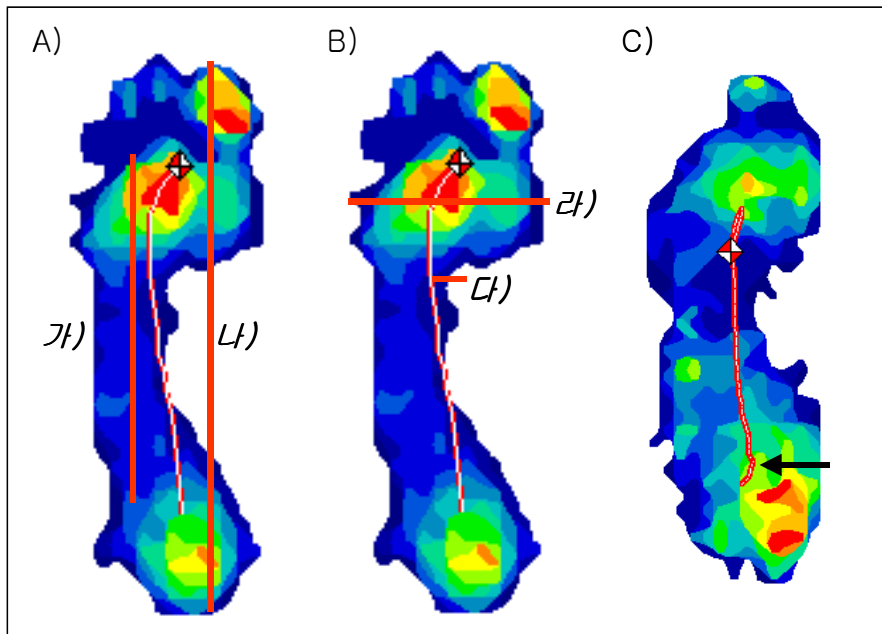
수술 전과 후 족부에 대한 체중 부하 단순 방사선촬영을 시행하여 전후면 사진에서는 거골-제 1 중족골간 각(talo-first metatarsal angle), 거중간 각(talocalcaneal angle)을 측정하였으며, 측면 사진에서는 거중간 각(talocalcaneal angle), 종골 경사각(calcaneal pitch), 거골-제 1 중족골간 각(Meary angle), 종골-제 1 중족골간 각(Hibb's angle)을 측정하여 술 전과 술 후를 비교하였다.

Tekscan사의 F-scan(Foot scan, Tekscan High Resolution Pressure Assessment System ; Tekscan Inc., South Boston, MA, U.S.A)을 이용하여 술 전과 술 후 역동적 족저압(dynamic pedobarography)을 측정하였다. 족저압의 측정은 신발 안에 넣고 신게 되어 있는 압력탐색자(pressure sensitive sensor, insole)에 의해 측정되었다. 압력탐색자에는 환자의 발 크기에 맞게 자르지 않은 상태에서 약 960개의 독립적인 압력 측정 감각기(individual pressure sensing transducer)가 0.2인치 간격으로 21행 60열의 격자 형태로 분포되어 있으며, 측정된 압력값을 수치와 그림으로 나타내었다. 환자는 양쪽 발에 압력탐색자를 넣은 약 1cm 굵의 평평한 신발을 신고 평가 전에 20m 정도 편안하게 걸어 보도록 한 후, 바닥이 고르고 단단한 10m 구간을 5-6회 정도 걷게 하여 10m의 중간 부분에서 족저압을 측정하였다.

압력탐색자의 각각의 변환기는 2개의 고유한 좌표값을 가지므로, 측정된 평균값은 이차원적인 그래프로 변환시켜 족저압의 중심(center of pressure, COP)을 발바닥내에 선으로 표시하였다. 정상 족부의 족저압의 중심은 입각기 시작, 종골 중심에서 시작하여 입각기 중간 외측으로 치우쳤다가 입각기 후반에는 제 2 중족골 근처에서 끝난다. 또한 외측편향지수(CPEI(center of pressure excursion index), (족저압 중심의 최대 외측편향 길이 / 족부의 최대 좌우길이))를 구하여 족저압의 외측편향을 비교하였으며^{14,15}. 전후지수(API(anteroposterior index), (족저압 중심의 전후 길이 / 족부의 전체 전후길이))를 또한

측정하였다. 거골하 관절에서 일어나는 회내전에 의한 충격 흡수¹⁶를 보기 위해 족저압 중심의 초기 접지기 직후의 내측 편향 유무(medial deviation)를 관찰하였다(Fig. 2-A,B,C.).

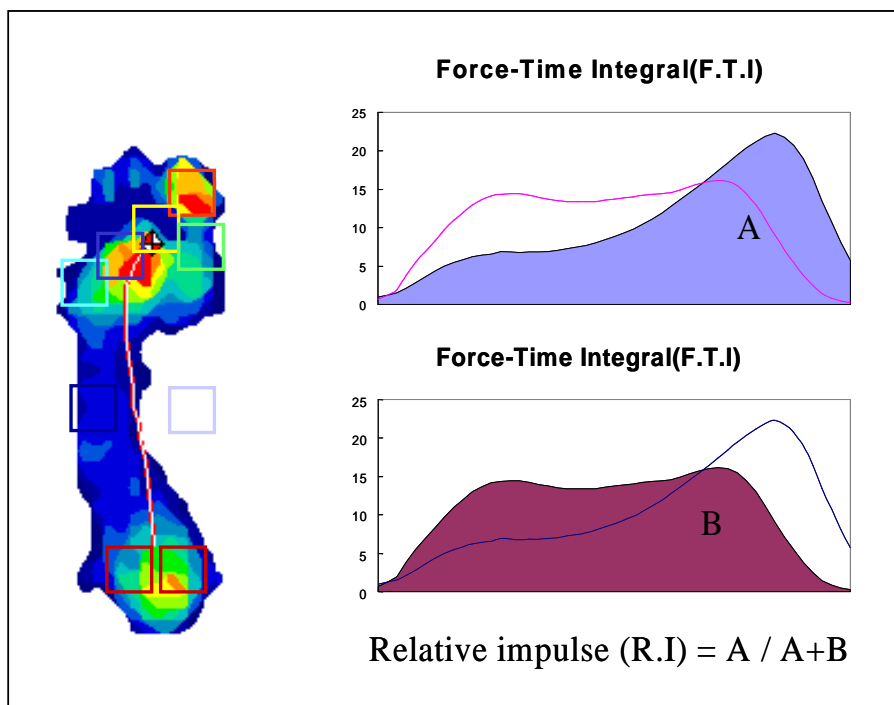
Fig. 2-A,B,C. (A) 전후지수(%) = (가 / 나) X 100. (B) 외측편향지수(%) = (다 / 라) X 100. (C) Black arrow means initial medial deviation.



무지(Hallux), 제 1 중족골두(1st metatarsal head), 제 2 중족골두(2nd metatarsal head), 제 3-4 중족골두(3-4th metatarsal head), 제 5 중족골두(5th metatarsal head), 내측 중족부(medial midfoot), 외측 중족부(lateral midfoot), 내측 종골(med calcaneus), 외측 종골(lateral calcaneus)의 9곳을 2cm x 2cm의 값으로 통일 측정하였다. 보행시 각 부위의 압력-시간 적분값(force-time integral, F.T.I.)과 입각기 중 각 부위의 최고 압력(peak-force, P.F.)을 구하였다. 전체 압력-시간 적분값(total pressure-time integral)에 대한 족부의 각 부분이 차지하는 비율인 비례 추진력(relative impulse, R.I.)을 구하였다^{17,18,19}(Fig. 3). 비례 추진력은 발의 특정 영역에서 이루어진 일(work)을 의미하는 압력-시간 적분값에 대한 특정 부위의 비율을 의미하므로 단순히 족부의 압력만을 측정한 값이 아닌 작용한 시간까지 고려된 것이며, 환자의 몸무게와 족부 면적에 따라 그 값이 변하는 압력-시간 적분값보다 비교가 객관적이다.

한편 내반이 심할수록 외측 전족부와 중족부의 압력이 증가하고 외반이 심할수록 내측 전족부와 중족부의 압력이 증가하므로 이를 보정하기 위하여 Chang 등²⁰이 제시한 Coronal index을 수정한 Modified coronal index({medial midfoot + medial forefoot (hallux + 1st + 2nd)} - {lateral midfoot + lateral forefoot (3,4 th + 5 th)})을 측정하여 비교하였다.

Fig. 3. Dynamic foot pressure measurement.



보행은 삼차원 보행분석기인 Vicon 370 Motion Analysis System (Oxford Metrics Inc., Oxford, U.K.)을 이용하여 시공간적인 지표(temporospatial data), 운동형상학적 지표(kinematic data) 및 운동역학적 지표(kinetic data)의 수술 전 후의 변화를 관찰하여 분석하였다. 13개의 수동 표식자를 각각 제 1 천추골, 양측 전상방 장골극, 대퇴골 외측면 중간지점, 대퇴골 외측 상과 직하방의 슬관절축, 비골 외측면의 중간지점, 외측 복사골, 두번째와 세번째 중족골 사이에 부착하였다. 검사 전 10미터 길이의 보도를 수차례 걷게 하여 자연스러운 보행을 유도하였고 검사하는 동안 최소 10차례의 보행을 시도하여 분석하였다. 운동역학적 지표는 보도 중간에 숨겨져 있는 힘판(force plate)에서 기록되는 지면 반발력(ground reaction force)으로 측정되었고 이를 통한 관절의 모멘트는 내부 모멘트(internal moment)로 기록되었다.

보행주기 동안 골반과 고관절, 슬관절, 족관절, 족부의 운동형상학적 변화와 운동역학적 변화를 시상면(sagittal plane), 관상면(coronal plane), 횡단면(transverse plane)에서 측정하여 표시하였다. 운동형상학적 지표는 관절 운동각도(degree)로 측정되었으며, 운동역학적 지표 중 모멘트(moment)는 $N \cdot m/kg$ 으로 힘(power)은 N/kg 으로 측정되었다.

통계 분석은 SPSS 11.0 for window version을 이용하였고 수술 전, 후의 방사선 촬영 측정값, 시공간적, 운동형상학적, 운동역학적 지표 및 족저압의 비교 시 paired t-test를 적용하였으며, p value가 0.05 미만일 경우 통계학적으로 의미 있는 것으로 정의하였다. 관상지수, 외측편향지수와 족저압 분포의 관계를 분석하기 위해 부위별 족저압과 이들 간의 상관관계를 분석하였다. 수술 전과 후에 측정된 모든 보행분석 및 역동적 족저압 지표를 6세에서 20세사이의 각 연령대마다 10명씩의 정상인을 대상으로 측정한 정상치와 비교하였다.

Ⅲ. 결과

1. 신체 검사 소견 및 방사선학적 계측

최종 추시 때 편평외반족 변형의 재발 내지 악화는 없었으며, 술 후 다른 형태의 족부 기형도 발생하지 않았다. 체중부하 시 약 5도의 후족부 외반이 1예에서 후족부 내반이 4예에서 관찰되었다. 전족부의 회외전이 6예에서 관찰되었으며, 4예에서는 후족부 내반이 동반되었다. 나사못에 의한 족관절 운동범위의 제한이나 통증은 관찰되지 않았다.

방사선학적 계측상 모든 예에서 골유합이 확인되었으며, 나사못의 파손 등은 관찰되지 않았다. 전후면 사진에서 거골-제 1 중족골간 각(talo-first metatarsal angle)과 거종간 각(talocalcaneal angle)이 감소하였다($p < 0.05$).

측면 사진에서 거골-제 1 중족골간 각(Meary angle), 종골-제 1 중족골간 각(Hibb's angle)이 감소하였고($p < 0.05$), 거종간 각(talocalcaneal angle)은 오히려 정상범위미만으로 감소하였다($p < 0.05$). 종골 경사각은 다소 증가하였으나 통계상 의미는 없었다($p > 0.05$)(Fig. 4., Table 1).

Fig. 4. Preoperative (A) and postoperative (B) anteroposterior and lateral talo-first metatarsal angle.

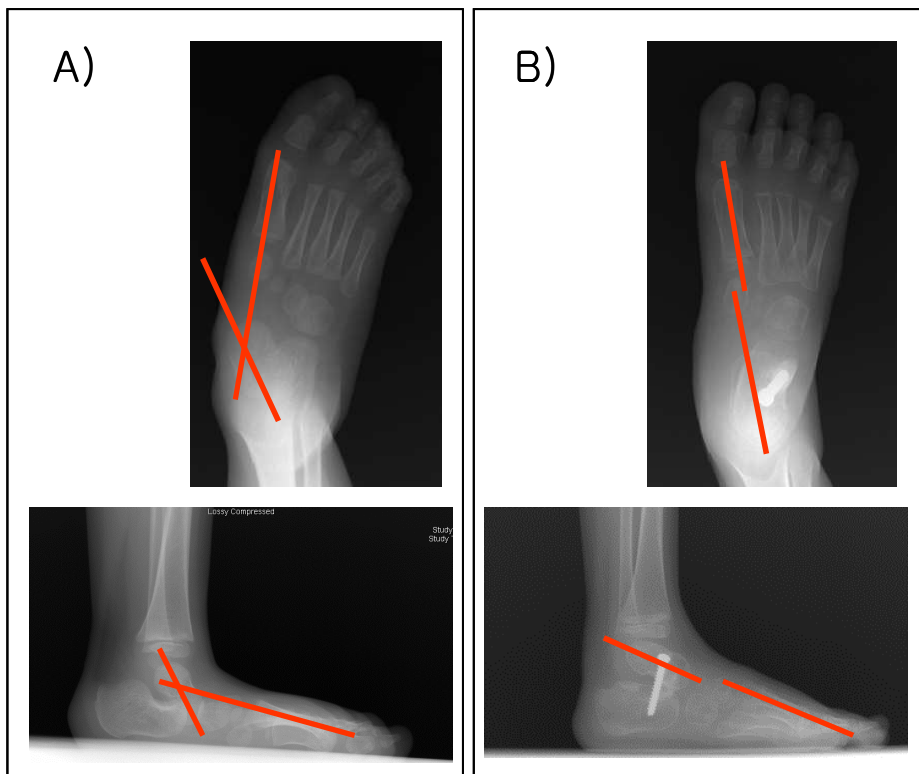


Table 1. Changes in preoperative and postoperative parameters measured at the plain radiography of the foot.

		Preop.	Postop.	<i>p value</i>
AP	1st M-T*	26.4 ± 10.6	7.6 ± 7.5	<0.01
	T-C*	30.1 ± 7.2	22.6 ± 6.6	<0.01
Lat	Meary*	22.5 ± 11.4	2.5 ± 6.6	<0.01
	T-C*	34.6 ± 10.8	28.1 ± 9.2	<0.01
	C.P	8.4 ± 5.8	9.1 ± 6.8	0.56
	Hibbs*	159.8 ± 9.6	150.7 ± 7.1	<0.01

Preop.: preoperative parameter; Postop.: postoperative parameter.

1st M-T : talo-first metatarsal angle

T-C : talocalcaneal angle

Meary : talo-first metatarsal angle (Meary angle)

C.P : calcaneal pitch

Hibbs : calcaneus-first metatarsal angle (Hibb's angle)

* $p < 0.05$: Preop. vs Postop.

2. 역동적 족저압 계측

수술 전 무지와 제 1 중족골두에 미치는 압력은 정상 범위를 초과하여 크게 증가되어 있었다. 외측 중족부는 감소되어 있었으나 정상 하한선 내에 해당하였으며 내측 중족부는 정상범위를 초과하여 크게 증가되어 있었다. 종골부는 정상미만이었으며 내측 종골부의 압력이 크게 나타났다.

수술 후 무지에 미치는 압력은 감소하여 정상범위내로 회복되었으며 제 1, 2, 3, 4 중족골두에 미치는 압력은 정상미만으로 감소하였다 ($p < 0.05$). 제 5 중족골두의 최고 압력, 압력-시간 적분값, 비례 추진력의 변화는 통계학적으로 의미있는 변화가 없었다 ($p > 0.05$). 외측 중족부의 압력은 증가하였고 내측 중족부의 압력은 감소하였으나 술 후에도 정상범위를 초과하였다 ($p < 0.05$). 종골부는 정상이상으로 증가하였으며 ($p < 0.05$) 내측 및 외측 종골부의 차이는 감소하였으나 여전히 내측 종골부의 압력이 다소 높았다. 관상지수(C.I)는 감소하였으며, 정상범위를 초과한 외반에서 정상범위내의 내반으로 교정되었다 ($p < 0.05$) (Fig. 5, Table 2).

Fig. 5. Changes in relative impulse of preoperative and postoperative dynamic pedobarography.

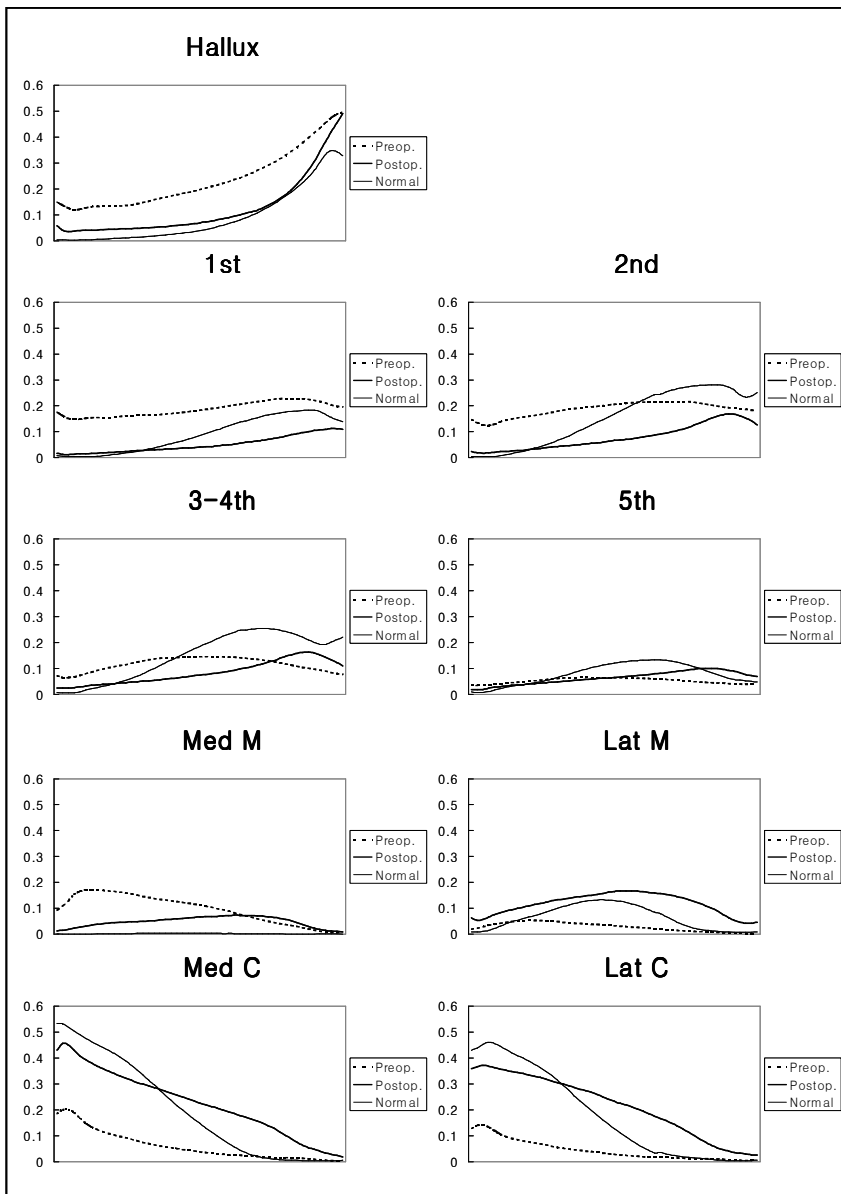


Table 2. Changes in parameters of preoperative and postoperative dynamic pedobarography.

		Preop.		Postop.		Normal		<i>p value</i>
F.T.I.	Hallux*	1166.7	± 884.9	387.2	± 321.6	926.5	± 560.7	<0.01
	1st*	1003.2	± 676.4	181.7	± 188.5	1004.1	± 421.1	<0.01
	2nd*	943.9	± 516.0	280.6	± 237.4	1785.8	± 930.9	<0.01
	3-4th*	604.6	± 385.3	294.3	± 213.5	1663.3	± 731.3	<0.01
	5th	260.3	± 196.7	242.1	± 256.0	843.7	± 381.5	0.84
	Lat M*	129.8	± 165.0	453.0	± 342.3	540.3	± 333.2	<0.01
	Med M*	447.2	± 341.0	184.8	± 171.5	8.6	± 22.4	<0.01
	Lat C*	158.2	± 195.1	790.7	± 405.8	1457.4	± 475.9	<0.01
	Med C*	211.8	± 206.9	811.5	± 423.4	1588.4	± 498.1	<0.01
M.C.I.*	1399.5	± 1200.9	-342.4	± 609.1	-248.9	± 1095.6	<0.01	
R.I.	Hallux*	22.9%	± 10.2%	10.5%	± 7.8%	9.4%	± 5.4%	<0.01
	1st*	19.1%	± 8.1%	4.8%	± 4.1%	10.1%	± 3.3%	<0.01
	2nd*	18.8%	± 6.8%	7.5%	± 5.2%	17.5%	± 6.3%	<0.01
	3-4th*	12.0%	± 6.5%	8.4%	± 5.9%	16.5%	± 4.5%	<0.01
	5th	5.2%	± 4.2%	6.6%	± 5.8%	8.5%	± 3.3%	0.16
	Lat M*	2.9%	± 4.0%	11.9%	± 7.3%	6.0%	± 4.3%	<0.01
	Med M*	9.7%	± 7.0%	5.0%	± 4.1%	0.1%	± 0.3%	<0.01
	Lat C*	3.8%	± 4.4%	22.1%	± 9.1%	15.3%	± 5.2%	<0.01
	Med C*	5.5%	± 5.8%	23.4%	± 11.1%	16.6%	± 5.1%	<0.01
M.C.I.*	27.5%	± 22.8%	-9.5%	± 15.5%	-3.4%	± 11.5%	<0.01	
P.F.	Hallux*	42.4	± 30.1	19.8	± 16.7	65.8	± 39.7	<0.01
	1st*	33.9	± 22.0	8.1	± 6.7	57.3	± 22.8	<0.01
	2nd*	30.2	± 14.8	13.4	± 9.8	93.6	± 36.8	<0.01
	3-4th*	20.9	± 11.6	13.5	± 9.0	80.3	± 28.3	<0.01
	5th	9.0	± 6.0	9.7	± 8.6	36.1	± 14.4	0.51
	Lat M*	6.6	± 7.6	15.9	± 11.2	23.8	± 13.4	<0.01
	Med M*	19.3	± 11.7	7.2	± 5.5	0.7	± 1.4	<0.01
	Lat C*	9.3	± 8.5	29.7	± 15.3	78.5	± 19.5	<0.01
	Med C*	12.9	± 9.3	30.8	± 18.9	84.2	± 18.7	<0.01
M.C.I.*	46.8	± 39.4	-10.3	± 21.0	11.5	± 52.8	<0.01	

F.T.I. : force-time integral (N · s).

R.I. : relative impulse (%).

P.F. : peak force (N).

M.C.I. : modified coronal index.

* $p < 0.05$: Preop. vs Postop.

한편, 전후지수는 증가($p < 0.05$)하였으나 정상미만이었으며, 외측편향 지수는 정상범위보다 다소 높게 증가($p < 0.05$)되었다. 술 전 4례(8%)에서 족저압 중심의 내측편향(회내전)이 관찰되었으나 술 후에는 26례(54%)에서 더 뚜렷한 족저압 중심의 내측편향, 즉 거골하 관절에서의 충격 흡수가 관찰되었다(Table 3).

Table 3. Changes in preoperative and postoperative COP trajectories (center-of-pressure path trajectories).

	Preop.	Postop.	Normal	<i>p value</i>
API *	49±14%	64±8%	79±2%	0.01
CPEI *	16±9%	21±9%	19±5%	0.01
M.D.	8.3%	54.2%		

API : anteroposterior index

CPEI : center of pressure excursion index

M.D. : medial deviation

* $p < 0.05$: Preop. vs Postop.

3. 삼차원 보행분석

가. 시공간적 지표

술 후 분속은 감소하였으며, 보행속도 또한 감소하였다($p < 0.05$). 유각기의 시작(foot-off)은 69.8%에서 72.9%로 증가하여($p < 0.05$), 술 전 보다 유각기가 짧아지고 입각기가 길어졌다(Table 4.).

Table 4. Changes in preoperative and postoperative temporospatial parameters.

	Preop.	Postop.	<i>p value</i>
Cadence(steps/min) *	104.54 ± 37.97	90.84 ± 32.40	<0.05
Walking speed(m/s) *	0.60 ± 0.28	0.50 ± 0.29	<0.05
Step length(m)	0.32 ± 0.14	0.31 ± 0.15	>0.05
Step time(s)	0.76 ± 0.64	0.86 ± 0.64	>0.05
Step width(m)	0.24 ± 0.14	0.22 ± 0.06	>0.05
Stride length(m)	0.66 ± 0.28	0.62 ± 0.28	>0.05
Stride time(s)	2.77 ± 8.14	1.72 ± 1.28	>0.05
Opposite foot contact(%)	49.31 ± 6.02	50.02 ± 3.37	>0.05
Opposite foot off (%)	20.99 ± 12.03	23.48 ± 10.20	>0.05
Foot off (%) *	69.78 ± 9.75	72.88 ± 10.02	<0.05

* $p < 0.05$: Preop. vs Postop.

나. 골반 및 고관절

골반의 전방 경사가 술 후 정상이상으로 증가하였다($p<0.05$). 시상면 상 고관절의 최대 신전각이 감소하였으며($p<0.05$), 최대 굴곡 모멘트는 술 전 보다 감소하였다($p<0.05$). 관상면상 최대 내전각이 정상미만으로 감소하였다($p<0.05$)(Fig. 6., Table 5.).

Fig. 6. Changes in kinematics and kinetics of pelvis and hip joint.

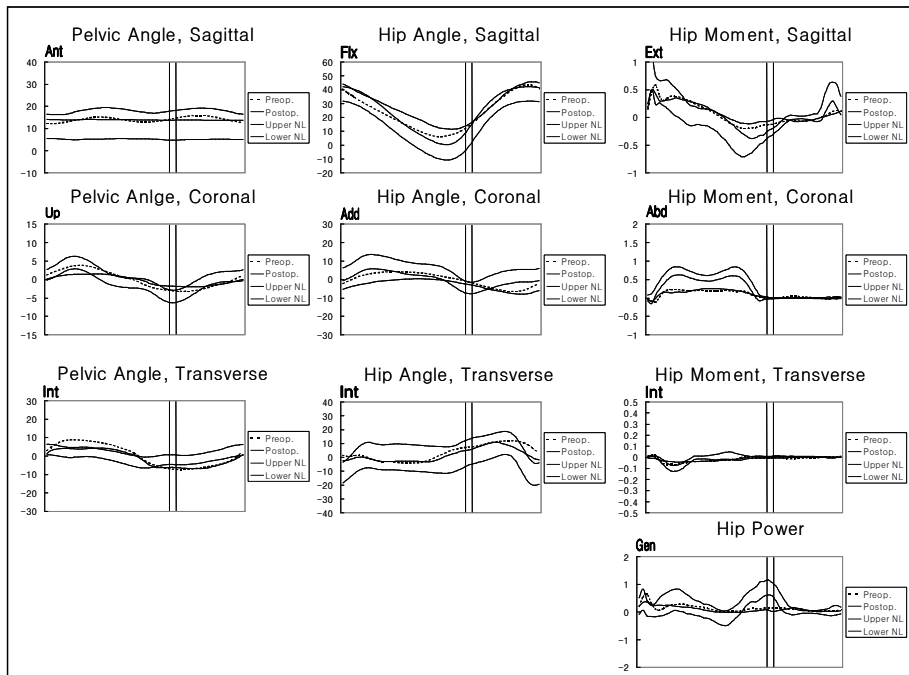


Table 5. Postoperative changes in parameters of kinematics and kinetics of pelvis and hip joint.

	Preop.	Postop.	<i>p value</i>
peak pelvic anterior tilt*	18.5 ± 7.3	22.1 ± 5.7	<0.01
peak hip flexion	46.4 ± 9.1	48.1 ± 8.8	0.22
peak hip extension*	4.0 ± 9.1	8.8 ± 11.4	<0.01
peak hip extension moment	0.8 ± 0.5	0.7 ± 0.6	0.07
peak hip flexion moment*	-0.4 ± 0.2	-0.3 ± 0.2	<0.01
peak hip adduction*	6.4 ± 6.8	3.1 ± 5.2	<0.01
peak hip abduction	-8.9 ± 7.1	-10.5 ± 6.0	0.06
peak hip abduction moment	0.5 ± 0.4	0.4 ± 0.3	0.31
peak hip adduction moment	-0.2 ± 0.2	-0.2 ± 0.2	0.49

* $p < 0.05$: Preop. vs Postop.,
 Kinematics(*degrees*); Moment(*Nm/kg*),
 positive = adduction; negative = abduction.

다. 슬관절

시상면상 슬관절의 최대 신전은 술 전보다 증가하였고 유각기 굴곡은 감소하였다($p<0.05$). 최대 신전 모멘트는 술 후 감소하였다($p<0.05$). 술 전 입각기때 외반되어 있었으나 술 후 정상범위내로 호전되었다 ($p<0.05$). 외반 모멘트에는 차이가 없었다(Fig. 7., Table 6).

Fig. 7. Changes in kinematics and kinetics of knee joint.

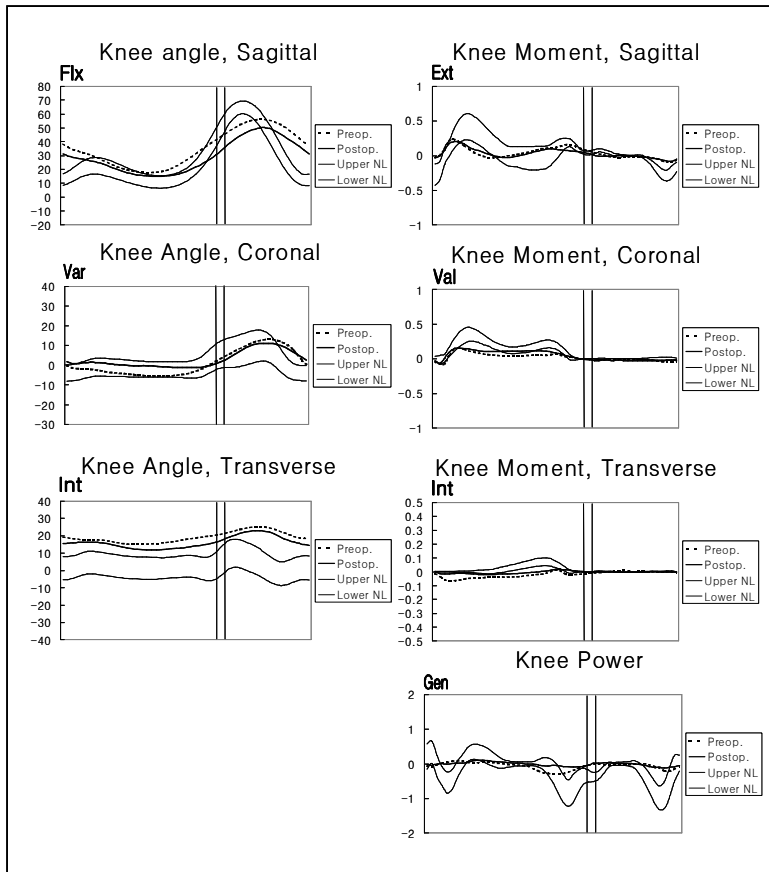


Table 6. Postoperative changes in parameters of kinematics and kinetics of knee joint.

	Preop.	Postop.	<i>p value</i>
peak knee flexion*	61.6 ± 11.4	57.3 ± 9.8	0.03
peak knee extension *	15.5 ± 14.4	11.7 ± 11.6	0.04
peak knee extension moment*	0.4 ± 0.2	0.3 ± 0.2	0.03
peak knee valgus during stance phase*	-9.0 ± 5.1	-4.3 ± 3.7	<0.01
peak knee valgus moment	0.3 ± 0.3	0.2 ± 0.2	0.06

* $p < 0.05$: Preop. vs Postop.,
 Kinematics(*degrees*); Moment(*Nm/kg*),
 positive = varus; negative = valgus.

라. 족관절 및 족부

시상면상 족관절의 최대 족배굴곡은 증가하였으며 족저굴곡은 감소하였다($p<0.05$). 최대 족저굴곡 모멘트는 감소하였고($p<0.05$) 족관절 내회전은 정상범위내로 호전되었으며($p<0.05$) 족부 진행각에서 수술 전후의 차이는 없었다. 족관절에서의 힘의 생성은 술 후 감소하였다($p<0.05$)(Fig. 8., Table 7.).

Fig. 8. Changes in kinematics and kinetics of foot and ankle joint.

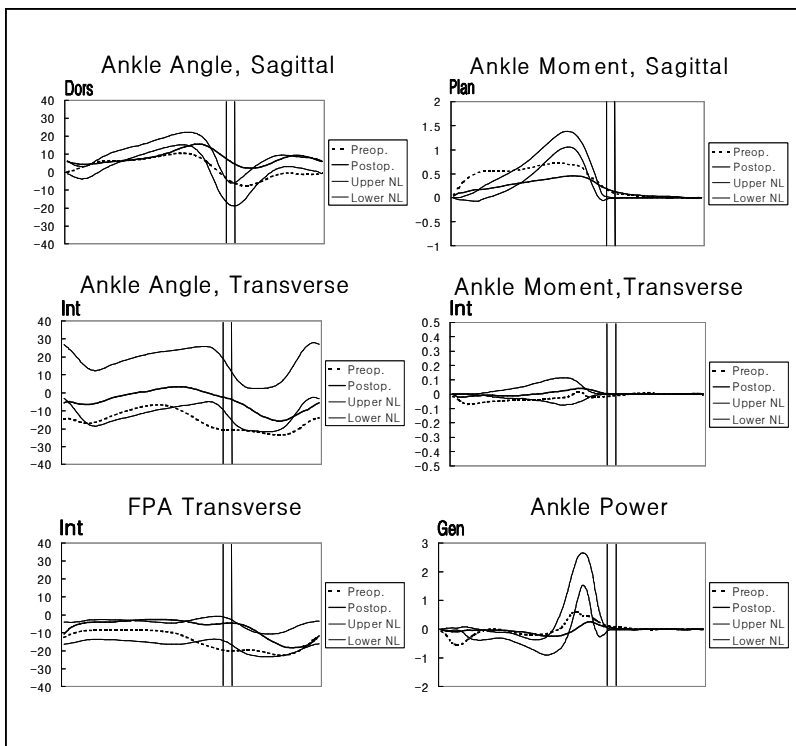


Table 7. Postoperative changes in parameters of kinematics and kinetics of foot and ankle joint.

	Preop.	Postop.	<i>p value</i>
peak ankle power*	1.2 ± 2.1	0.5 ± 0.7	0.04
ankle dorsiflexion angle at initial contact*	0.1 ± 8.6	5.8 ± 6.7	<0.01
peak ankle dorsiflexion angle*	13.7 ± 7.3	18.8 ± 4.8	<0.01
peak ankle plantar flexion angle*	-11.4 ± 14.2	-3.1 ± 13.0	<0.01
peak ankle plantar flexion moment*	0.9 ± 0.5	0.6 ± 0.4	<0.01
peak ankle internal rotation angle*	-1.5 ± 18.0	9.9 ± 10.4	<0.01
peak ankle external rotation angle*	-29.5 ± 15.2	-20.5 ± 7.6	<0.01
peak ankle internal rotation moment	0.1 ± 0.3	0.1 ± 0.1	0.68
peak internal foot progression angle	-2.9 ± 25.3	3.1 ± 9.8	0.12

* $p < 0.05$: Preop. vs Postop.,
 Kinematics(*degrees*); Moment(*Nm/kg*); Power(*N/kg*),
 positive = dorsiflexion, internal rotation,
 negative = plantar flexion. external rotation.

4. 관상지수 및 외측편향지수와 족저압의 상관관계

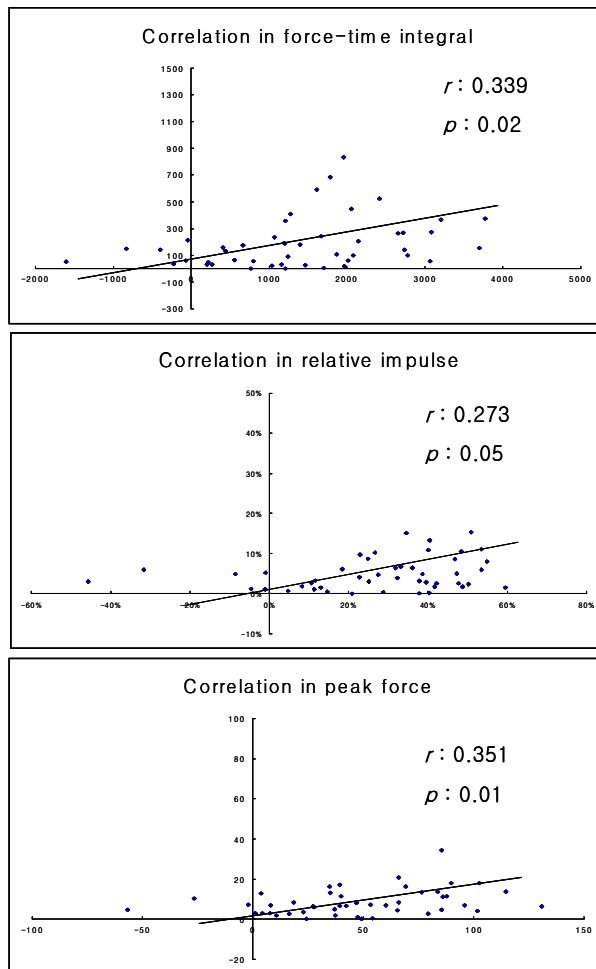
술 전과 술 후 각각에서 최고 압력, 압력-시간 적분값, 비례 추진력에서 측정된 관상지수는 제 1 중족골두의 압력과 양의 상관관계를 보였는데, 수술 전후 모두에서 측정된 관상지수상의 외반이 심할수록 제 1 중족골두의 압력이 크게 측정되었다(Table 8.).

Table 8. Correlations between 1st metarsal head force and modified coronal index.

	<i>r</i>	<i>p value</i>
Preop. F.T.I.	0.853	<0.01
Preop. R.I.	0.774	<0.01
Preop. P.F.	0.825	<0.01
Postop. F.T.I.	0.465	<0.01
Postop. R.I.	0.623	<0.01
Postop. P.F.	0.425	<0.01

또한 비례 추진력에서 술 전의 관상지수와 술 후 제 1 중족골두의 압력은 양의 상관관계를 보였는데, 술 전 외반이 심할수록 술 후 제 1 중족골두의 압력이 크게 나타났다(Fig. 9.). 외측 편향지수와 족저압 간에는 유의한 상관관계가 관찰되지 않았다.

Fig. 9. Correlation between preoperative modified coronal index and postoperative 1st metatarsal head force.



IV. 고찰

과거 거골하 관절유합술의 결과 분석은 임상적, 방사선학적 고찰에 지나지 않았다. Abu-Faraj 등³은 뇌성마비 환아 17족에 대해 상기 술식을 적용하여 결과를 관정을 하였는데, 족저압의 경우 표지자가 무지, 내외측 중족골두, 내외측 중족부, 종골부의 6개 부위에서만 측정하여 세분화되어 있지 않았으며, 보행분석에 있어서도 운동학적인 면만 분석하였다. 이와 같은 단순 표지자를 통한 분석은 내측 종족궁(medial longitudinal arch)의 회복을 확인하는 데는 충분하나, 편평외반족은 후족부의 외반과 전족부의 회외전이라는 복합적인 부정정렬^{2,3}이므로 정밀한 분석을 위해서는 세분화된 표지자와 내외반의 정도를 알 수 있는 지표가 필요하다. 본 연구에서는 9개의 표지자로 세분화하여 분석함과 동시에 족저압 중심의 이동에서 외측편향지수와 관상지수를 이용하여 내외반 정도를 분석하였다. 또한, 족부의 면적, 환아의 발육정도 등에 따른 차이가 있을 수 있어 최고 압력, 압력-시간 적분값, 비례 추진력을 동시에 측정하였다.

방사선 측정에서 체중 부하 전후면 방사선 사진 상 거골-제 1 중족골간 각(talo-first metatarsal angle)의 감소는 전족부 외전의 호전을 의미하며, 거골-주상골 관절 아탈구의 부정정렬의 교정을 의미한다. 거중간 각(talocalcaneal angle)의 감소는 후족부 외반의 교정을 의미한다. 측면 사진에서 거골-제 1 중족골간 각(Meary angle)의 감소는 전후면상에서와 마찬가지로 거골-주상골 부정정렬의 호전을 의미하며, 종골-제 1 중족골간 각(Hibb's angle)의 감소는 내측 종족궁의 회복을 나타낸다. Hadley 등¹²은 측면 방사선 사진 상에서 거중간 각이 감소하여 거골의 족저굴곡이 교정되었음을 확인하였는데 정상미만으로 감소되었던 것은 종골 경사각이 정상으로 회복되지 않았기 때문이라 판단된다. 즉, 방사선 사진 측정 상 거골하 관절탈구의 교정 및 내측 종족궁의 호전을 확인할 수 있었다. 그러나 Lahdemranta와

Pylkkanen²¹가 언급한 바 같이 방사선 측정만으로는 교정을 평가할 수 없으며, 기능적 결과 또한 반영하지 못한다.

Abu-Faraj 등³은 거골하 관절유합술 후 내측 중족골두에서의 압력감소와 외측 중족부와 중족골두에서의 압력증가를 보고하였다. 본 연구에서는 무지와 제 1, 2, 3, 4 중족골두의 압력은 감소하였고 외측 중족부의 압력은 증가하였으나 제 5 중족골두에서의 변화는 뚜렷하지 않았으며, 압력-시간 적분값은 오히려 감소하였다.

외측 중족부의 압력 증가와 내측 중족부의 압력 감소는 내측 중족궁의 회복을 의미한다. Davitt 등^{24,25}은 외측 종골 연장절골술 후 외측에서의 압력 증가와 관련하여 제 5 중족골의 피로골절을 보고한 바 있다. 본 연구에서는 술 후 외측 중족부의 비례 추진력이 정상이상으로 증가는 하였으나, 압력-시간 적분값과 최대 압력은 정상보다 낮게 측정되었고, 내측 중족부의 압력 또한 감소는 하였으나 정상보다는 높게 측정되었다. 따라서 과교정(overcorrection)이 이루어지지 않는 한 거골하 관절유합술 후 외측 중족부 압력의 이상증가는 없을 것으로 생각된다.

술 전 족저압 측정에서 무지와 제 1 중족골두의 압력은 오히려 정상이상이었으며 이는 과거 편평외반족과 정상 족부의 압력 비교 결과와 일치하였다²². 무지부 압력증가에 대해 Ledoux 등²²은 8례의 편평외반족과 11례의 정상족을 비교하여 편평외반족에 무지부의 압력이 증가되어있는 것은 편평외반족에서 부정정렬로 인해 장 비골근의 기능이 적절히 발휘되지 못하고, 무지 굴곡근의 활성화로 비정상적인 부하가 가해지기 때문이라 주장하였다.

Johnson과 Christensen²³은 장 비골근의 기능과잉은 외반과 족관절 족저굴곡의 증가를 유발하고 기능 저하는 내반과 족관절 족저굴곡의 감소를 유발한다고 하였다. 본 연구에서 술 전과 술 후 모두에서 외반을 반영하는 관상지수와 족관절 족저굴곡과 관계된 제 1 중족골두의 압력이 양의 상관관계를 보인 것은 이들이 장 비골근의 기능을 반

영한다고 할 수 있다.

만일 거골하 관절유합술로 부정정렬이 회복된다면 장 비골근의 기능이 적절히 발휘 되므로 무지부의 압력은 무지 굴곡근에 이상이 없는 한 정상 수준으로 회복되며 장 비골근 기능의 이상 유무를 확인할 수 있다. 술 후 관상지수가 감소한 것은 외반의 감소를 의미하며 제 1 중족골두에서 압력이 감소되었다는 것은 족관절 족저굴곡의 감소를 의미한다. 이러한 외반의 감소와 족저굴곡의 감소로 장 비골근의 기능이 저하되어 있다고 추론 할 수 있다. 술 후 37례(71%)에서 제 1 중족골두의 압력이 정상미만으로 저하되었던 점 역시 편평외반족에서 장 비골근의 기능이 저하되어있음을 반영한다. 술 전 관상지수상 외반이 심할수록 술 후 제 1 중족골두의 압력이 크게 나타났던 것으로 보아 장 비골근의 기능이 좋을수록 술 후 제 1 중족골두의 압력감소가 적게 나타나며 거골하 관절유합술 후 족저압 분포에 영향을 미칠 것으로 생각된다. Davitt 등²⁴은 편평외반족 11례에서 외측 종골 연장 절골술을 시행 후 역동적 족저압 측정을 시행하여 술 후 후족부와 전족부가 모두 내반된다고 보고하였다. 거골하 관절유합술과 술식상에 차이가 있으나 편평외반족의 교정 술식이라는 공통점에서 볼 때 외측 종골 연장 절골술 후의 내반 또한 편평외반족에서 저하된 장 비골근의 기능을 반영하는 것이라 생각된다.

본 연구에서는 장 비골근의 근력에 대한 임상적 평가를 시행하지 않았으며 제 1 중족골두의 압력이 장 비골근의 기능에만 관련되어 있다고 단정할 수는 없다. 하퇴삼두근이 족저굴곡에서 가장 큰 기능을 하므로 제 1 중족골두의 압력감소가 족저굴곡력의 약화에 기인한 것이라 할 수 있으나, 관상지수가 제 1 중족골두와 상관관계를 보이며 제 1 중족골두의 압력감소가 타 중족골두의 압력감소보다 크다는 점을 고려할 때, 술 후 제 1 중족골두의 압력감소는 장 비골근의 저하된 기능 때문이라 할 수 있다.

족저압 중심의 이동에서 외측편향지수의 증가는 정상에서와 같이 초

기 접지이후 외측 중족부를 통한 중심의 이동이 나타난 결과이다. 족저압 중심의 이동에 있어 Huber 등¹⁶은 만곡족(clubfoot)의 술 후 분석에서 초기 접지기 직후의 내측 편향이 거골하 관절에서 회내전에 의한 충격 흡수를 나타내는 것이라 하였다. 본 연구에서는 거골하 관절 유합술을 하기 전 보다 후에 이와 같은 거골하 관절의 충격 흡수가 뚜렷하였다. 소아에서 보행의 성숙이 완전하지 못하여 술 전에는 내측 편향이 나타나지 않았다고 할 수 있으나, 평균 12개월의 단기간 추시였음을 감안할 때 거골하 관절의 유합보다는 족부의 해부학적 정렬의 회복이 거골하 관절의 움직임에 더 중요하다고 할 수 있다.

골격의 부정정렬은 지렛대(lever arm)의 작용거리를 짧게 하여 생역학적인 면에서 비효율적인 운동을 유발한다². 따라서 골격 부정정렬의 교정은 모멘트의 호전으로 보행의 효율성을 높일 수 있으며 편평외반족의 교정 시 족관절 족저굴곡 모멘트의 호전을 기대할 수 있다. 그러나, 본 연구에서는 족관절의 족저굴곡각과 족저굴곡 모멘트 모두 감소하였고 족관절의 힘 또한 감소하였다. 모멘트는 힘과 작용거리의 곱한 값으로서 관절 중심으로부터 힘이 작용하는 부위까지의 거리에 영향을 받기 때문에²⁶ 족저굴곡 모멘트와 족저굴곡각의 감소는 힘의 감소 때문이라 할 수 있다. 반면, 하퇴 삼두근에 대한 연장술을 시행하지 않은 2례에서는 힘의 감소가 없었고, 족저굴곡 모멘트 또한 증가하였다. 만일 하퇴 삼두근의 근력이 충분하다면 족저굴곡 모멘트와 족저굴곡각의 증가를 기대할 수 있다고 생각된다.

반면, 중간 입각기(midstance phase)시의 슬관절 최대 신전은 증가하였으며, 족관절의 최대 족배굴곡 또한 증가하였다. 효과적인 말기 입각기의 족저굴곡을 위해서는 슬관절 신전-족관절 족저굴곡 복합체(ankle plantar flexion-knee extension coupling)가 정상적이어야 한다. 중간 입각기시의 충분한 족배굴곡은 슬관절 신전의 선행조건이며, 이는 하퇴 삼두근에 대한 연장술의 효과이다. 따라서 비록 말기 입각기 족저굴곡력의 약화로 족저굴곡각과 모멘트, 파워의 감소가 있음에

도 슬관절 신전-족관절 족저굴곡 복합체의 호전으로 술 전보다 보행의 호전이 이루어진 것으로 생각된다. 즉, 충분한 하퇴삼두근의 연장술이 선행되어야 슬관절 신전-족관절 족저굴곡 복합체가 호전되거나 말기 입각기의 족관절 족저굴곡력의 약화를 가져올 수 있어, 수술시 하퇴삼두근 연장이 술 후 보행호전의 중요한 인자로 생각된다.

고관절 굴곡구축에 대해 장요근 퇴축술을 시행하였음에도 술 후 골반 전방경사의 증가와 고관절 신전이 감소한 것 또한 족저굴곡력 감소에 의한 이차적인 것으로 생각된다.

슬관절 내반이 증가하여 정상범위내로 호전된 것은 편평외반족의 교정과 경골 외회전이 있는 경우 이를 교정하므로써 부정정렬을 교정한 결과이다. 즉, 입각기 시 족부의 안정성이 호전되고, 말기 입각기 시의 족관절 족저굴곡의 안정성이 호전되어 상위 관절의 힘이 족부로 쉽게 전달되기 때문이다. 고관절의 내전각은 감소하여 입각기 중 고관절이 정상범위이상의 외전을 보였는데 이는 관상면상에서의 골반 경사가 감소하여 상대적으로 나타난 것이며, 이는 내전근 건절단술 또는 진출기 족저굴곡이 감소한 결과로 추정된다.

Abu-Faraj 등³은 골반 전방 경사와 고관절 굴곡의 증가, 슬관절에서 시상면 운동감소, 입각기 슬관절 굴곡의 증가, 진출기 족관절 운동의 감소를 보고하고 거골하 관절유합술이 타 관절의 경직과 불균형에 영향을 미치지 않는다고 하였다. 본 연구에서도 유사한 결과를 보였으나, 슬관절의 내반각 증가, 족관절 내회전의 호전등 약간의 차이를 보였는데, 이는 타 관절의 경직과 부정렬을 동시에 교정하였기 때문이라 생각된다.

또한 술 전, 후 족부 진행각은 정상 범위로 차이가 없었으며 술 전 존재하였던 골격계 염전 이상은 절골술로 모두 교정하였으므로 상위 관절에 시행된 수술의 영향은 미미하며, 술 후 족부 압력분포의 호전은 족부에 대한 안정성 부여와 경직된 건에 대한 연장술에 의한 것으로 사료된다. 말기 입각기 족저굴곡각과 모멘트의 감소나 이와 연관

된 타 보행분석 요소의 저하는 족저굴곡력의 감소에서 기인한다. 이러한 족저굴곡력의 감소는 과도한 족저굴곡근의 연장에 의한 것일 수도 있고, 술 후 족저굴곡력의 회복이 충분히 이루어지지 않은 영향일 수도 있다. 족저굴곡근의 과도한 연장은 crouch 보행을 유발하며 이는 중간 입각기의 과도한 족배굴곡과 슬관절의 굴곡으로 나타난다. 본 연구의 대상에서 술 후 이러한 보행을 보인 예는 없었으며, 따라서 위와 같은 결과는 환자의 평균 추시가 12개월로 다소 짧았기 때문이라 생각된다.

보행 상에서 이와 같은 근력의 영향을 평가하기 위해서는 근전도 검사나 근력에 대한 평가가 도움이 될 수 있으며 근육의 길이에 대한 평가 또한 도움이 될 수 있다. 추후 보다 장기적인 추시와 뇌성마비 환자에서 하퇴삼두근의 근력과 근육의 길이에 대한 평가가 필요하다고 생각된다.

V. 결론

거골하 관절유합술 후 역동적 족저압 분석상 제 1 중족골두 및 내측 중족부의 압력감소, 외측 중족부 및 종골부의 압력 증가가 관찰되었다. 또한 족저압 중심 이동의 경우 전후지수와 외측편향지수는 호전되었고 거골하 관절의 충격 흡수 또한 호전되었다.

보행분석상 슬관절 최대 신전은 증가하여 슬관절 신전-족관절 족저 굴곡 복합체의 호전을 보였으나 족관절 족저굴곡각, 족저굴곡 모멘트, 최대 고관절 신전각의 감소 및 골반 전방 경사의 증가가 관찰되었다. 따라서 거골하 관절유합술 시행 시 하퇴삼두근의 근력 유지를 위한 수술적 처치는 보다 효과적인 보행의 향상을 기대할 수 있으리라 사료된다.

참고문헌

- 1) **Staheli LT**: *Planovalgus foot deformity. J Am Podiatr Med Assoc, 1999; 89(2): 94-99.*
- 2) **Davis JR, Ounpuu S, Deluca PA and Davis III RB**: *Optimization of walking ability of children with cerebral palsy. J Bone Joint Surg, 2003; 85-A: 2224-2234.*
- 3) **Abu-Faraj ZO, Harris GF and Smith PA**: *Surgical rehabilitation of planovalgus foot in cerebral palsy. IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng, 2001; 9(2): 202-214.*
- 4) **Blair E and Stanley JJ**: *An epidemiological study of cerebral palsy in Western Australia, 1956-1975. III: postnatal etiology. Dev Med Child Neurol, 1982; 24: 575-585.*
- 5) **Bennet GC, Rang M and Jones D**: *Varus and Valgus deformities of the foot in cerebral palsy. Dev Med Child Neurol, 1982; 24: 499-503.*
- 6) **O'Connell PA, D'Souza and Dudeney S**: *Foot deformities in children with cerebral palsy. J Pediatr Orthop, 1998; 18: 743-747.*
- 7) **Gage JR**: *Gait analysis in cerebral palsy in clinics in developmental medicine. London, U.K., Mackeith, 1991.*
- 8) **Grice DS**: *Extra-articular arthrodesis of the subtalar joints for correction of paralytic flat feet in children. J Bone Joint Surg,*

1952; 34-A: 927-931.

9) **Dennyson W and Fulford GE:** *Subtalar arthrodesis by cancellous grafts and metallic internal fixation. J Bone Joint Surg, 1976; 58-B: 507-510.*

10) **Barasso JA, Wile PB and Gage JR:** *Extraarticular subtalar arthrodesis with internal fixation. J Pediatr Orthop, 1984; 4: 555-560.*

11) **Jeray KJ, Rentz J and Ferguson RL:** *Local bone-graft technique for subtalar extraarticular arthrodesis in cerebral palsy. J Pediatr Orthop, 1998; 18: 75-80.*

12) **Hadley N, Rahm M and Cain TE:** *Dennyson-Fulford subtalar arthrodesis. J Pediatr Orthop, 1994; 14: 363-368.*

13) **Aronson DD and Middleton:** *Extra-articular subtalar arthrodesis with cancellous bone graft and internal fixation for children with myelomeningocele. Dev Med child Neurol, 1991; 33: 232-240.*

14) **Song J, Hillstrom HJ, Secord D and Levitt J:** *Foot type biomechanics: a comparison of planus and rectus foot types. . J Am Podiatr Med Assoc, 1996; 86: 16-23.*

15) **Ledoux WR:** *A biomechanical model of the human foot with emphasis on the plantar soft tissue. Ph.D. thesis. University of*

Pennsylvania, Philadelphia, PA, 1999.

16) **Huber H and Dutoit M:** *Dynamic foot-pressure measurement in the assessment of operatively treated clubfeet. J Bone Joint Surg, 2004; 86-A: 1203-1210.*

17) **Bowen TR, Miller F, Castagno P, Richards J and Lipton G:** *A method of dynamic foot-pressure measurement for the evaluation of pediatric orthopaedic foot deformities. J Pediatr Orthop, 1998; 18: 787-793.*

18) **Henning EM and Rosenbaum D:** *Pressure distribution patterns under the feet of children in comparison with adults. Foot Ankle, 1991; 11: 306-311.*

19) **Soames RW:** *Foot pressure patterns during gait. J Biomed Eng, 1985; 7: 120-126.*

20) **Chang CH, Miller F and Schuyler J:** *Dynamic pedobarography in evaluation of varus and valgus foot deformities. J Pediatr Orthop, 2002; 22: 813-818.*

21) **Lahdemranta U and Pylkkanen P:** *Subtalar extraarticular fusion in treatment of valgus and varus deformities in children. Acta Orthop Scand, 1972; 43: 438-460.*

22) **Ledoux WR and Hillstrom HJ:** *The distributed plantar vertical force of neutrally aligned and pes planus feet. Gait*

Posture, 2002; 15: 1-9.

23) **Johnson CH and Christensen JC:** *Biomechanics of the first ray. Part I. The effects of peroneus longus function: a three-dimensional kinematics study on a cadaver models. Foot Ankle, 1999; 38: 313-321.*

24) **Davitt JS, Macwilliams BA and Armstrong PF:** *Plantar pressure and radiographic changes after distal calcaneal lengthening in children and adolescents. J Ped Ortho, 2001; 21: 70-75.*

25) **Davitt JS and Morgan JM :** *Stress fracture of the fifth metatarsal after Evans, calcaneal osteotomy : a report of two cases. Foot Ankle Int, 1998; 19: 710-712.*

26) **Chambers HG and Sutherland DH:** *A practical guide to gait analysis. J Am Acad Orthop Surg, 2002; 10: 222-231.*

Abstract

Changes in dynamic pedobarography and 3-dimensional gait analysis after subtalar arthrodesis in pes planovalgus

Hong-Kee Yoon

*Department of Medicine
The Graduate School, Yonsei University*

(Directed by Professor Hyun Woo Kim)

Flat foot represents an increased contact surface of medial foot. Pes planovalgus has an increased contact surface of medial foot with hindfoot valgus. The common cause of pathologic planovalgus is cerebral palsy. The planovalgus was reported about 25% in cerebral palsy patients. The main causes of planovalgus in cerebral palsy is spasticity of plantar flexor. The spasticity of peroneus brevis and the weakness of posterior tibialis are another causes of planovalgus. The planovalgus deformity makes problems in foot pressure and gait. Several surgical options were suggested. Among them, subtalar arthrodesis is the common treatment for planovalgus. The goals of treatment are improvement of abnormal foot pressure distribution, which improves stability during stance phase and efficacy in toe-off. The purpose of this study is to analyze the

result of subtalar arthrodesis using dynamic pedobarography and gait analysis.

28 patients(48 feet) who recieved subtalar arthrodesis between 2003 and 2004 were included in this study. 21 patients are boys and 7 patients are girls. The mean age at the time of operation was 9 years 2 months and the mean follow up duration was 12 months.

Foot pressure was measured at 9 regions including hallux, each metatarsal head, medial and lateral portion of midfoot and calcaneus. Coronal index was calculated to estimate varus and valgus. The changes of anteroposterior and lateral excursion of center of pressure and initial shock absorption was measured. With Vicon 370 Motion Analysis System, temporospatial data, kinematic data and kinetic data were obtained and analyzed.

The preoperative pressure of hallux, 1st metatarsal head and medial midfoot were above normal range and the pressure of lateral midfoot and calcaneus were below normal range. The postoperative pressure of hallux was decreased within normal range and the pressure of 1, 2, 3, and 4 metatarsal head were decreased below normal range. The pressure of lateral midfoot was increased and the pressure of medial midfoot was decreased. The coronal index was decreased, so abnormal valgus pressure distribution was changed to varus pressure distribution within normal range. Anteroposterior index and center of pressure excursion index were improved. The initial shock absorption was also improved. The peak angle of pelvic anterior tilt and hip extension were decreased. The peak angle of knee extension was increased. The angle of ankle plantar flexion at push-off was

decreased and the peak moment and power were also decreased. However, the moment and power were increased in two cases who did not undergo plantar flexor lengthening.

After subtalar arthrodesis, the pressure of medial midfoot was decreased and the pressure distribution of forefoot was improved. But, the pressure of 1st metatarsal head was decreased below normal range. The sagittal angle of pelvic anterior tilt was increased. The moment and power of plantar flexion was not improved. But, peak knee extension was increased because of increased ankle dorsiflexion. So, knee extension-ankle plantar flexion coupling was improved. The proper lengthening of plantar flexor is an important factor for the gait improvement after subtalar arthrodesis.

Key Words : planovalgus, subtalar arthrodesis, dynamic pedobarography, gait analysis