

정상인 기립위의 족저부 하중분포에 대한 광탄성 해석

영남대학교 의과대학 정형외과학교실 · 포항 기독교병원 정형외과*

안종철 · 김세동 · 안면환 · 서재성 · 류재만* · 김상돈

— Abstract —

Analysis of Weight Distribution under the Feet using Photoelastic Technique

**Jong-Chul Ahn, M.D., Se-Dong Kim, M.D., Myun-Wan Ahn, M.D.,
Jae-Sung Seo, M.D., Jae-Man Rhoo, M.D.*, Sang-Dong Kim, M.D.**

*Department of Orthopaedic Surgery, Yeungnam University Hospital, Tae-gu,
Yeungnam University Department of Orthopedic Surgery,
Poe-Hwang Catholic Hospital, Poe-hwang**

In spite of large volume of reports, surprisingly little information is available about the function of the foot in standing and there are still many controversies about the exact proportion of the weight distributed in discrete areas of the foot.

The purpose of this study is to evaluate about the exact proportion of the weight distribution in discrete areas of the foot through the photoelastic technique.

In the results of this study according to the 10 regional division method, 4.4% of the total load of one foot was loaded on the toes (1st toe, 2.2% ; 2nd toe, 0.8% ; lateral toes, 1.4%), 27.4% on the metatarsal area (1st metatarsal, 6.6% ; 2nd metatarsal 8.7% ; lateral metatarsals, 12.5%), 8.6% on the midfoot (medial midfoot, 1.4% ; lateral midfoot, 7.3%) and 59.2% on the heel (medial heel, 31.9% ; lateral heel, 27.3%), respectively.

As in other reports, the toes played little role in weight bearing and the midfoot suggested the presence of the longitudinal arch. The metatarsal area received considerable amount of weight but the priority of the first metatarsal area was not demonstrable, rendering the presence of the transverse metatarsal arch doubtful. The heel received more than half of total weight given in one foot ($p < 0.005$). No significant difference was demonstrable between the dominant side and the nondominant side other than in midfoot.

Key Words : Weight Distribution, Photoelasticity

족저부 체중분포에 대한 조사는 인체 지지계의 근본인 족부의 해부학적 및 기능적 역동을 연구하는 한 방법으로써 일찍부터 관심의 대상이 되어 다양한 실험적 방법의 발전과 함께 족부 생역학 규명에 많은 정보를 제공한 바 있다²⁸⁾.

초기의 족저부 체중분포에 대한 연구들은 족부 골격의 해부학적 지식에 근거하여 방사선학적 분석과 함께 족부의 형태학적 고찰에 근간을 두어 아치(arch)개념을 중시하였다. 즉 족부를 3개의 지주(支柱)에 의해 형성된 종아치 및 황아치를 가진 삼각대(tripod)형태를 설명하여 체중은 그 3지주 즉 뒷꿈치(heel), 제 1중족골두 및 제 5중족골두를 통해 표면에 전달된다고 하였고, 이 개념은 최근까지도 여러 보고에서 지지를 받은 바 있다^{13, 37, 38)}. 한편 1930년대에 Morton은 세 아치에 의해 형성된 삼각대로 설명되던 체중 지지모델을 부정한 바 있는데³²⁾ 그는 자신이 개발한 기기(staticometer)를 써서 연구한 방대한 정보와 함께 보다 정확한 족저부 하중분포 모델을 제시하여, 이 분야의 새로운 전기(轉機)를 여는 업적을 남긴 바 있다^{33, 34)}. 그 후에도 질적 양적으로 더욱 향상된 연구에 의해 많은 학설의 제시 및 검증이 계속되었고^{28, 11, 23)}, 최근에는 하중세포(荷重細胞, Load cell) 및 전산기기의 개발 등 전기공학적 발전에 힘입어 다양한 형태의 족저부압력 측정기(pedobarograph)들이 개발되었고, 정상족부뿐만 아니라 병적족부 및 변형족부의 하중분석이나 기립위 및 각 동작에서의 족저부 하중분포 까지도 분석하고 족부의 골격 및 연부조직과의 기계적 역동에 대한 해석이 시도되는 등 방대한 보고를 볼 수 있다^{11, 23, 15, 35, 6, 6)}. 이처럼 족저부체중 분포의 연구는 족부의 생역학 분야에서 중요한 관건일 뿐만 아니라 족부병변의 병태생리학적 해석 및 치료적 관점에서의 의미를 가져 정형외과학 영역에서의 임상적 의미 또한 크다 하겠다.

본 연구는 광탄성(光彈性) 실험을 이용해 정상인의 기립위에서의 족저부 하중분포의 양상을 규명하고자 하였다.

1. 실험대상

건강한 성인 남자 12명의 양쪽발을 대상으로 조사하였다. 대상의 선택은 영남대학교 의과대학 학생 5명, 영남대학병원 수련의 2명 그리고 영남대학교 공과대학 학생 5명을 택하였는데 대상 모두 족부질환의 기왕력이 없었고 외관상 족부형태의 이상도 없었다.

2. 실험기구

광탄성 소재(epoxy)를 압력수용(壓力受容) 및 표지체(標識體)로 사용하였는데 기존(既存)의 소재는 섭씨 500도 이상의 고온에서 응력해리(應力海리)한 소재에 상온에서 5시간 이상 하중을 가해야 응력동결(應力凍結)이 되므로 인체에 접촉 및 측정이 불가능한 바, 본 연구에서는 반복실험을 통해 섭씨 50도에서 응력해리되어 상온에서 10분간 하중을 가하면 응력이 동결되는 물성(物性)을 가진 소재로 새로 개발하여 이를 실험에 이용하였다. 우선 소재를 너비 0.5cm 길이 30cm 높이 3cm의 절편으로 만들고 이를 24개씩 옆으로 모은 12cm×30cm 크기의 발판을 2개 만들고 이들로써 2개족부의 하중을 동시에 측정하고 매 실험후 이 재료에 동결된 응력을 해리하여 재료는 반복 사용하였다.

3. 응력 채취방법

제작된 12cm×30cm 크기의 발판을 실리콘으로 만든 박스에 넣은 다음 이를 평면바닥에 놓고 단위면적당의 체중을 광탄성소재 발판의 각 단위면적에 분산 전달 시키기 위해 전달체(傳達體)를 사용하였다. 이는 실리콘으로 제작한 12cm×30cm×0.5cm의 매트리스로서 1cm²당 1개씩 직경 3mm 크기의 구형의 플라스틱을 끼워 이 돌출부를 통해 상부하중이 단위면적당으로 분산되어 하부 소재에 전달되게 하였다. 이렇게 발판 위를 전달체를 두고 그 위에 실험대상이 올라 서도록 하부 소재에 전달되게 하였다. 이렇게 발판 위에 전달체를 두고 그 위에 실험대상이 올라 서도록 하고, 응력 동결을 촉진하고 50°C의 뜨거운 발판에 의한 족부의 온열가마를 줄이기 위해 필요한 경우에는 냉수를 산포하였다. 대상이 가능한 편안한 자세를 유지하게 하여 10분이 경과한 후 발판에서

각 절편을 빼내어 편관경(Fig. 6)을 통해 각 지점에 동결된 무너차수(次數)를 세어 그 지점에 전달된 체중부하를 계산하고 하중을 구하였다(Fig. 1).

4. 구획설정(區劃設定, regional division)

실험전 미리 채취한 각 대상의 족저부도장(foot print)를 10구획으로 세분하였는데 족지를 제1족지부, 제2족지부 및 외측 족지부의 3개 족지부(足指部, digits)로 나누고 전족부(前足部, forefoot)를 제1중족골부, 제2중족골부 및 외측 중족골부의 3개의, 중족골부(中足骨部, metatarsals)로 나누었으며, 중족부(中足部, midfoot) 및 후족부(後足部, hindfoot)를 각각 내측, 외측으로 나누어 족부전체를 10개의 구획으로 구분하였다. 실험으로 얻어진 10개 각 구획의 하중을 전체에 대한 백분율(百分率, percent)로 표시하고 다시 족지부, 전족부, 중족부, 후족부 4개 구역의 하중을 각 구역에 속한 구획의 하중의 합산으로 계산하였다. 이러한 구획방법은 족부내측, 특히 제1중족골두부와 후족부내측을 분리측정하여 내측 종아치를 구성하는 내측부의 체중부하에 관심을 두고, 중족골부를 횡으로 구분하여 횡아치의 역할을 검증하고자 한 것이다¹¹⁾(Fig. 2).

결 과

1. 실험대상

대상자 12명의 나이는 25세-35세로 평균 29.9세

였고, 체중은 57kg-75kg으로 평균 65.8kg이었고, 족장(足長, foot length)은 최소 245mm 최대 260mm로 평균 251.4mm였다. 지배지(Dominant side)는 우측 11례, 좌측이 1례였다(Table 1).

2. 구획별 하중분포

24개 족부에서 각 족저부의 전체하중에 대해 각 구획에 가해진 하중의 비는 Table 2와 같다. 평균치는 제 1족지부, 제 2족지부 및 외측 족지부에 각 2.2%, 0.8%, 1.4%로 저은 분포를 보였고, 제 1중족골부, 제 2중족골부 및 외측 중족골부에 각 6.6%, 8.7%, 12.5%가 분포되었다. 중족부는 내측이 1.4%로 저은 분포를 보였고, 외측이 7.3%의 분포를 보였으며, 후족부는 내측이 31.9%, 외측이 27.3%로 후족부 내측이 가장 높은 분포를 보였다. 각 구역별 분포하중의 평균치에 대한 표준편차(S.D.) 및 편차계수(Coefficient of variation)는 족지부 및 중족부가 특히 심한 개인차를 보였다(Table 3).

3. 전족부, 중족부, 후족부의 하중분포

족부를 족지부, 전족부(중족골부), 중족부 및 후족부로 나누어 분석한 결과, 24개 족부에서 각 족부의 각 구획별 가해진 하중의 비는 Table 4와 같고, 그 평균치는 Table 5와 같이 족지부가 4.4%로 비교적 은 분포를 보였으며, 후족부가 59.2%로 가장 높은 분포를 보였다. 이에 대한 표준편차 및 편차계수도 족지부 및 중족부가 심한 개인차를 보였다

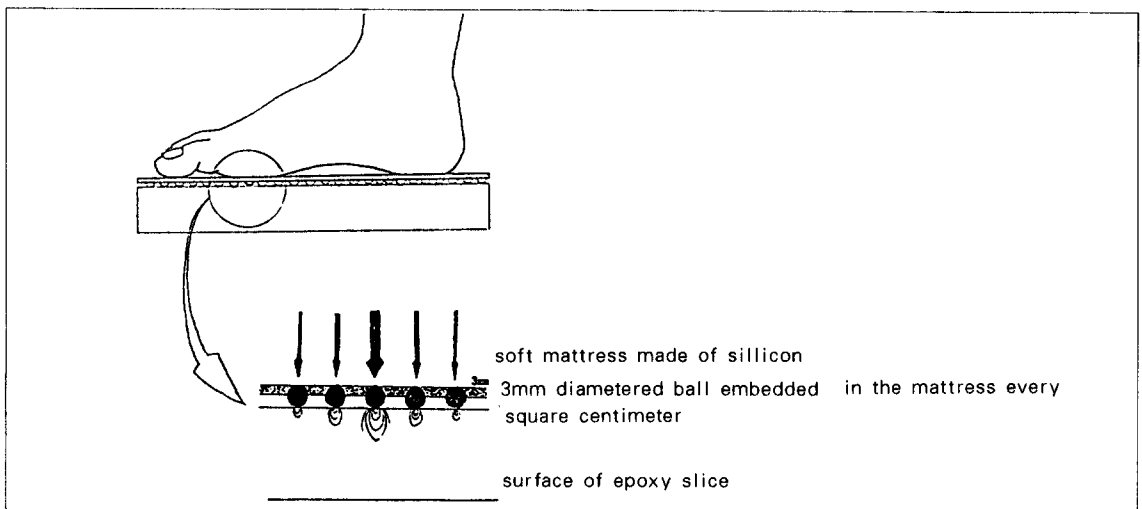


Fig. 1. Schematic diagram of the epoxy plate and the transducer plate placed under the foot.

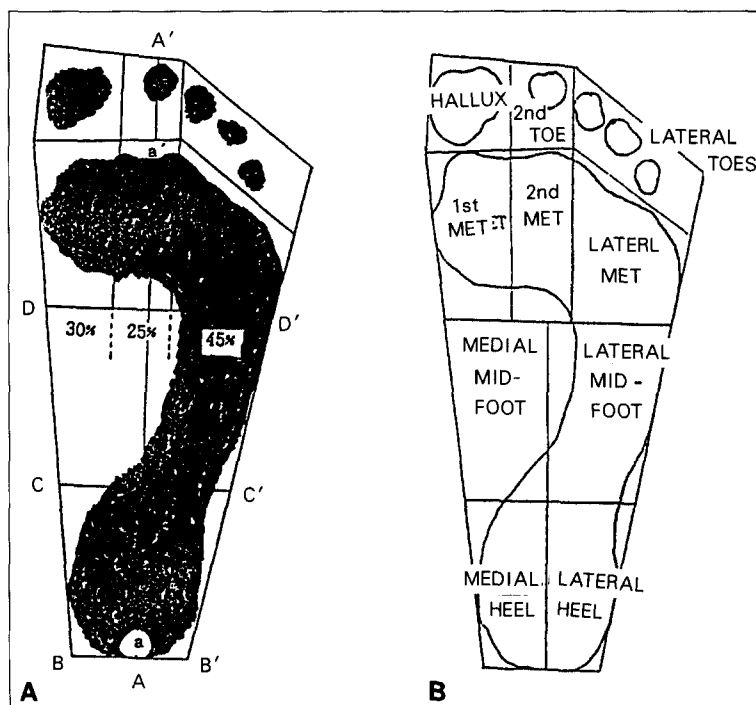


Fig. 2-A. Method of regional division. On the foot print, aA: was drawn from the midheel to the midpoint of the second foot print. The axis of the body of the foot(aa:, ie, the axis of the foot excluding the toes) was divided into three equal parts by perpendicular lines to the axis(BB:, CC:, DD:). Lines of medial and lateral borders of the print was drawn. The regions of first, second and lateral metatarsal heads were defined by dividing the line DD: in ratio of 0.45:0.25:0.30. The toe regions were extended from the metatarsal regions by simple inspection.

B. The 10 anatomical regions that result from the regional division.

Table 1. Characteristics of the sample

sample number	Age(year)	B.W.(kg)	B.W.(kg)	F.L.(mm)	D
1	27	73	245	right	
2	31	62	245	right	
3	25	68	248	right	
4	28	75	252	right	
5	32	70	260	right	
6	33	75	255	right	
7	27	71	248	right	
8	25	58	253	right	
9	34	60	249	right	
10	33	57	253	right	
11	35	59	256	right	
12	29	61	253	right	
mean value	29.9	65.8	25.1		

B.W. Body Weight ; F.L., Foot length ; D, Dominant side

Table 2. Percentage of load distribution in 10 seperated regions in one foot of 24 individual feet.

sample-side	1T	2T	LT	1MT	2MT	LMT	MM	LM	MH	LH
1-right	3.9	2.0	1.9	11.5	9.3	15.7	1.2	11.8	21.6	21.2
1-left	4.3	1.4	1.8	12.4	12.0	12.6	1.6	5.9	27.6	20.4
2-right	1.6	0.3	1.3	5.3	8.2	13.2	1.3	6.1	33.6	29.1
2-left	1.4	0.3	1.4	5.0	8.1	13.3	1.7	6.1	33.3	29.4
3-right	0.5	0.5	0.3	3.5	8.7	9.0	1.0	6.0	36.8	33.8
3-left	0.3	0.0	0.3	1.6	8.3	12.4	1.6	5.2	37.8	32.6
4-right	0.9	0.9	1.1	6.3	8.5	11.2	1.3	4.0	32.6	33.3
4-left	0.9	0.7	0.9	7.0	7.4	11.8	0.9	3.2	36.0	31.1
5-right	1.1	0.7	0.9	8.3	10.8	9.0	2.5	10.5	25.8	30.5
5-left	3.1	0.2	1.0	7.7	11.9	10.9	2.4	9.7	27.1	25.9
6-right	4.7	2.0	2.0	8.8	8.9	12.8	0.0	12.9	22.6	25.3
6-left	5.2	0.7	1.6	10.7	10.5	17.2	1.2	13.3	20.1	19.4
7-right	0.7	0.5	1.6	3.4	6.4	13.9	2.0	2.7	41.6	27.3
7-left	0.5	0.5	1.0	3.3	5.1	10.5	1.5	4.6	44.5	28.4
8-right	4.9	0.8	1.8	8.5	14.1	15.9	0.0	9.0	20.7	24.3
8-left	4.5	2.8	1.3	8.9	9.8	13.4	0.7	6.3	30.2	22.0
9-right	0.3	0.5	0.8	3.1	8.6	12.8	1.8	2.6	41.8	27.8
9-left	0.6	0.2	0.9	2.3	6.0	13.0	1.7	4.0	42.9	28.3
10-right	4.4	1.0	2.6	7.2	5.9	17.3	0.0	11.0	26.5	23.9
10-left	3.3	1.0	4.9	7.8	11.3	12.0	2.1	9.3	34.4	13.8
11-right	1.3	1.0	1.3	3.8	4.5	10.8	0.8	7.6	34.0	135.0
11-left	0.6	0.3	0.6	6.5	4.0	8.6	0.6	3.7	35.7	39.4
12-right	2.2	0.5	0.5	9.3	9.5	19.9	2.7	9.0	29.2	26.2
12-left	0.8	0.5	1.8	6.0	10.8	11.9	2.1	9.5	28.8	27.7

1T, 1st toe ; 2T, 2nd toe ; LT, later toes ; 1Mt, 1st metatarsal ; 2MT, 2nd metatarsal ; LMT, lateral metatarsals ; MM, medial midfoot ; LM<lateral midfoot ; MH, medial heel ; LH, lateral heel

Table 3. Mean value, standard deviation and coefficient of variation of 10 regional weight distribution

REgion	Seight Distribution		
	Mean	SD	CV(%)
1st toe	2.2	1.71	79.2
2nd toe	0.8	0.65	80.0
lateral toes	1.4	0.92	65.0
1st metatarsal	6.6	2.89	43.9
2nd metatarsal	8.7	2.47	28.4
lateral metatarsals	12.5	2.29	18.2
medial midfoot	1.4	0.75	55.1
latral midfoot	7.3	3.20	44.1
medial heel	31.9	6.96	21.8
lateral heel	27.3	5.52	20.0

SD, standard deviation ; CV, coefficient of variation

(Table 5).

4. 최대 및 최소 하중 분포구획

각 구획의 분포 하중의 평균치를 좌우측 발의 해당 구획에 막대그래프모양으로 단순화한 그림 3과 같이, 하중분포가 최소인 구획은 제 2족지부로 0.8%였고, 내측 중족부 및 외측 족지부도 1.4%로

낮은 분포를 보였다. 분포가 가장 많은 구획은 후측 부였는데, 특히 내측부가 31.9%로 외측보다 더 높은 분포를 보였다($p<0.05$).

고 찰

1881년 Beely가 석고를 사용해 체중분포 양상을

Table 4. percentage of load distribution in digits, forefoot, midfoot and hindfoot of 24 individual feet

sample No.-side	Digits	Forefoot	Midfoot	Hinkfoot
1-right	7.7	36.5	13.0	42.8
1-left	7.6	37.0	7.6	47.9
2-right	3.2	26.7	7.4	62.7
2-left	3.1	26.4	7.8	62.8
3-right	1.2	21.1	7.0	70.6
3-left	0.5	22.2	6.7	70.5
4-right	2.9	25.9	5.4	65.8
4-left	2.6	26.2	4.2	67.1
5-right	2.7	28.0	13.0	56.3
5-left	4.4	30.5	12.1	53.0
6-right	8.8	30.5	12.9	47.9
6-left	7.6	38.4	14.5	39.5
7-right	2.7	23.6	4.8	68.9
7-left	2.0	18.9	6.1	72.9
8-right	7.5	38.5	9.0	45.0
8-left	8.7	32.1	7.1	52.1
9-right	1.7	21.3	5.8	71.2
9-left	1.6	24.5	4.4	69.4
10-right	8.1	30.5	11.0	50.4
10-left	9.3	31.1	11.3	48.2
11-righ	3.5	19.1	8.3	69.0
11-left	1.5	19.1	4.3	75.1
12-right	3.3	29.7	11.7	55.3
12-left	3.2	28.7	11.6	56.5

Table 5. Mean value, standard deviation and coefficient of variation of 4 regional weight distribution

REgion	Seight Distribution		
	Mean	SD	CV(%)
Digits	4.4	2.81	63.9
Forefoot	27.4	5.88	21.5
Midfoot	8.7	3.17	36.9
Heel	59.2	10.61	17.9

SD, standard deviation : CV, coefficient of variation

연구하는 등 초기 연구는 가소성 물질(可塑性 物質)에 나타난 족적을 통해 하중의 지지에 대해 해석하려 했으나^{5, 31)}, 이 방법들은 하중의 정량분석(定量分析)보다는 족저부의 형태적 고찰에 불과하였고¹⁾, 일찍부터 족부골격(足部骨格)의 아치에 대한 가설이 확립되는 계기가 되었다. 이러한 초기연구 이후 1930년대에는 Morton^{32, 33, 34)}에 의해 보다 진보된 족저부 하중분포 양상의 분석이 발표되었는데, 그는 자신이 개발한 장치들을 이용해 기립위 족적을 후족부(heel), 내측 전족부(medial forefoot) 및 외측 전족부(Lateral forefoot)의 3구획으로 나누어 각

구획의 하중분포 양상을 규명하여, 체중은 양측 족부에 똑같이 반씩 나누어 지고 이는 다시 각 족저부의 전반부 및 후반부에 각각 반씩, 즉 전체 체중의 1/4씩 균등히 분포된다고 하였고, 특히 5개의 중족골두가 모두 체중부하에 관여함을 확인하여 횡아치(transverse metatarsal arch)의 존재를 부정하는 등 족저부 체중부하 연구사에 새 장을 여는 지대한 공헌을 하였다. 이러한 족적을 이용한 연구 양식은 Harris와 Beath¹⁹⁾, Henry와 Waugh²¹⁾ 등에 의해서도 이용되었고, Grieve¹⁸⁾는 알루미늄 호일(aluminium foil)을 이용해 하중정량 분석을 시도하는 등 최근까지도 이용되어 왔다.

Morton과 같은 시기에 Elftman¹⁴⁾은 부하체중의 크기를 육안적 식별이 용이하도록 조영제를 넣은 유리판을 통해 관찰할 수 있는 계측기를 개발하여 임상적 적용을 간편하도록 시도하였다. Hertzberg²²⁾도 C-ray scope를 이용해 족저 하중분포 분석을 시도하는 등 다양한 방법들로 발전하였는데, 이런 방법들은 가해진 압력의 크기에 따라 특정한 문양을 나타내는 막양의 광학 메체들을 이용해 족저부에 가해진 압력을 직업 육안 관찰하는 방법들로서 이는

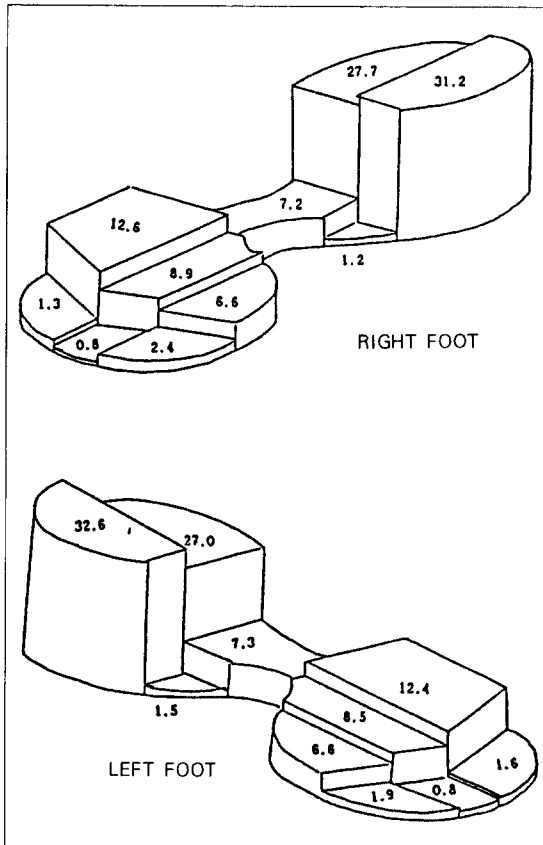


Fig. 3. A schematic diagram of both feet showing the weight distribution plotted in the form of bar graph.

특히 비디오 등 영상 기술의 발달에 따라 보행시의 하중분포의 변화 등 동적 연구도 가능하게 해 주었다^{7, 8, 12, 27)}. 한편 Arcan과 Brull^{2, 3)}은 광탄성 원리를 이용해 또 다른 형태의 육안 관찰 방법을 소개하였는데 이는 기립위에서 광탄성 소재에 전달된 하중을 편광원리를 이용해 육안 관찰하는 방법으로 Lude¹⁶⁾에 의해서도 이용되었고, Cavanaugh와 Michiyosh¹⁰⁾은 이를 전산기에 연결하여 3차원적 화상으로 도시하는 방법을 시도하였다. 그러나 이러한 가시화 방법은 하중의 크기를 나타내는 동심원 형태의 무늬가 소재의 특성에 따라 심한 불안정성을 보여 해석에 어려움이 있었다²⁰⁾.

또한 상기한 방법외에도 하중을 기록할 수 있는 장치를 부착한 신발을 이용해 활동시의 족저부하중을 분석하는 방법도 시도되는 등^{20, 26, 30, 36)} 여러가지가 소개되었고 검토된 바 있으나^{2, 28, 40)}, 현재 가장 각광

을 받고 있는 방법은 하중세포(Load cell)를 이용한 방법이라 하겠다. 즉, 족저부 각 구역의 족저하중을 상응하는 전기력으로 바꾸는 내압전압(Piezometric transduction)을 통해 단위면적당 하중을 더욱 명료하게 분석할 수 있게 해주는 것으로써, 이 실험양식은 Basler⁴⁾가 처음 강철선을 이용해 제작한 하아프양 기구(harp like instrument)를 써서 일정 구역으로 나눈 족저부의 하중분포 양상을 분석한 데서 그 원시적 기원을 볼 수 있다. 그 후 전환기기(轉換器機, transducer)의 개발과 특히 전산기기의 개발은 방대한 양의 피검체에 대한 단시간 내 검사와 그 정보의 보관 및 산출처리를 가능하게 하여 이 방법은 급속한 발전을 보이며 훌륭한 정보를 주고 있다^{11, 15, 23, 28, 35)}.

본 실험은 광탄성 소재를 이용한 실험으로 10분간 기립위에서 소재에 유지된 체중을 분석하였다는 점에서 여타의 연구와는 다른 면이 있다 하겠다. 현재까지 많은 종류의 실험방법이 소개되었고, 응용되고 있으며, 광탄성 소재 역시 여러 연구에서 이용된 바 있으나^{2, 3, 10, 25)}, 족저부 하중분포 향상의 연구는 순간 하중을 포착하여 분석하는 방법이 일반적이다.

본 실험에서 이용한 방법의 특성은 족저부에 광탄성 소재로 된 압력수용체를 두고 발과 소재 사이에 하중을 단위면적당의 크기로 분산 전달하는 전달체를 두어 실험함으로써 단위면적당의 하중을 정량분석 하였다는 점에서 하중세포를 이용한 것과 유사한 방법이라 하겠고, 수용체에 압력을 10분간 유지하여서 측정하였다는 점에서 순간 하중을 검사한 다른 방법과는 다르다 하겠다.

Table 3, 4에 나타난 결과를 보면 그 분포양상이 같은 구획으로 구분한 Cavanagh¹¹⁾의 결과(족저부 3.6%, 전족부 28.1%, 중족부 7.8%, 후족부 60.5%) 및 Arcan & Brull³⁾의 결과(후족부 45.65%, 전족부 30.47%)와는 유사한 결과를 보이고 있으나 Morton³³⁾의 결과와는 차이점을 볼 수 있다. Morton은 하중이 전반부에 50%, 후반부에 50%가 수용된다고 하였으나, 본 실험에서는 족부를 양분한 경우 후반부에 더 큰 하중이 수용되었고($\alpha < 0.05$), 이는 다른 발표에서도 입증된 바 있다^{2, 6, 11)}. 족부의 전후반부의 하중분포에 있어서의 오차(誤差)에 있어서는 기립위에서 호흡 및 심박동의 차이에 의한 것으로 보이는 자세편향(姿勢偏向; pos-

tural sway)에 의해 정상적으로도 나타날 수 있다고 인정되어 있는데^{17,39)} 본 실험에서는 10분간의 계속 부하된 하중의 측정이므로 이러한 자세편향에 따른 압력분포의 순간변화에 의한 오차는 문제되지 않는다고 보아, 족부하중이 후반부에 더 많이 분포된다는 사실은 명백할 것으로 사료된다. 또한 후족부 하중은 외측보다는 내측에 더 많이 분포된 것으로 나타났는데($p < 0.05$) 이역시 Cavanagh 등의 결과와 일치하였다¹¹⁾.

중족골두를 연결하는 횡아치의 존재여부에 대해서는 본 실험에서는 제2중족골부와 제2중족골부의 하중량을 보아도 제1중족골부가 오히려 분포가 적었고($p < 0.05$), 외측 3개 중족골부의 하중분포도 균일한 분산(分散)을 보여 현재 일반적으로 인정된 것과같이^{11,16,17)} 횡아치는 존재하지 않는 것으로 보였다. 또한 Morton은 제1중족골두는 다른 중족골두의 2배의 하중을 받는다고 하였는데, 다른 연구에서도 제1중족골의 기능적 우위성이 주장된 적이 있다^{22,29)}. 그러나 이에 대해 다른 반론도 제기되는 등 많은 논란이 있었고, 현재는 제1중족골두의 우위성이 없다는 이론이 지배적인 것으로 보이는데^{11,17,28)}, 본 실험에서도 Morton의 주장과는 일치되지 않았다. 그러나 본 연구에서 사용한 족저부의 구획방법인 검사대상의 족부형태에 따라 각 구획의 영역에 차이가 생길 수 있고 특히 이 개인차는 중족골부에서 심할 수 있다고 알려진 바¹¹⁾ 이 제1중족골두에서 위위성은 더 검증이 요한다고 사료된다.

문헌상에서 족저부의 체중지지로서의 기능은 무시되고 있는 것과 같이^{11,17)} 본 실험에서도 4.4%로 족저부는 안정기립위에서의 체중지지에는 기능이 미미한 것으로 보였다. 또한 중족부도 하중분포가 적고 특히 내측은 하중부하가 거의 없어 보였는데 이는 족부 종아치의 존재를 시사하는 것으로 보였다.

편차계수(偏差計數)에 나타난 개인차를 보면 족저부에 큰 개인차가 보이나 이는 평균치 자체가 적은데 의한 것으로 보이고 그 외 구획에서는 특히 중족부가 심한 개인차를 보였다. 제1중족골부에서도 상당한 개인차가 있었으나, 이는 생역학적 해석이 어려우며, 그 외 구획에서는 편차계수가 낮아 비교적 일정한 체중이 분포되어 개인차가 적은 것으로 보인다.

체중이나 족장과 분포양상과의 관계를 검토했으

나, 별 상관관계가 없는 것으로 보였고, 각 대상의 지배지와 비지배지측의 하중분포를 비교한 결과에서는 제1족지부는 지배지측이 더 많은 하중이 분포되었고, 중족부는 비지배지에 더 많은 하중이 분포되었으나, 그외는 유의한 차이를 보이지 않아 종아치의 부유부(浮遊部; suspended portion)인 중족부가 개인차와 함께 좌우의 차이도 큰 것으로 보였다. 또한 모든 례에서 양쪽 발의 총 부하하중의 차이가 보였는데 이는 자세편향으로 인해 나타난 것으로 순간하중을 검사한 여타의 방법에서는 문제되지 않겠으나 본실험에서는 오차의 원인이 될 수도 있겠다. 그러나 많이 부하된 쪽이 지배지측 및 피지배지측에 각 6례로 고루 나타났고 전체 평균도 많은 쪽이 적은 족의 107%로 비교적 적어 무시하였다.

상기와 같은 정상인 안정 기립위에서의 족지부 단위면적당 하중을 분석한 본 연구에서의 결과는 다른 여러 보고와도 상응하는 것으로써 족부의 생역학적 고찰에 도움이 되었으나, 방법상 검사대상이 10분간 자세를 유지해야 한다는 문제점이 있었고, 확인하기는 어려우나 이에 의한 오차도 있을 수 있다고 사료된다. 향후 용력 동결시간이 단축된 신소재의 개발 및 편광기의 개발 등 기술적인 발전이 필요하다고 보이며, 이러한 기술적 측면의 발전과 함께 족저부 하중 분포연구는 족부 생역학연구 분야나 정형외과적 족부질환의 변태생리학적 연구 및 치료방향의 설정 등을 위한 연구에 많은 도움이 되리라 생각된다.

결 론

저자는 족부의 생역학적인 연구 및 병변족부의 병태생리의 이해에 근간일 될 족저부 하중분포양상을 규명하고자 족부질환의 병력이 없는 성인 남자 12명을 대상으로 광탄성 실험을 이용해 안정기립위에서의 양쪽 발에 가해진 하중을 10구획으로 나누어 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

제1족지에 2.2%, 제2족지에 0.8% 및 외측 3,4,5족지에 1.4%가 가해져 족저부에 편측 전체 하중의 4.4%가 분포되었고, 제1중족골부에 6.6%, 제2중족골부에 8.7%, 외측 3개 중족골부에 12.5%로써 중족골부에 저너체의 27.4%가 분포되었다. 종족부는 내측이 1.4%, 외측이 7.3%로써 전체의 8.7%가 분포되었고, 후족부는 내측이 31.9%, 외

측이 27.3%로써 전체의 59.2%가 분포되었다.

상기의 결과에서 족지부는 체중부하에는 그 기능이 미미함을 알 수 있었고, 중족부에도 하중부하가 비교적 낮는데 이는 종아치의 존재를 시사하는 것으로 여타의 보고와 일치하는 소견이었다. 제1중족골부의 하중분포가 제2중족골부보다 적어서 제1중족골부의 체중부하에 있어서의 우위는 인정되지 않았다($p < 0.05$). 후족부에 가장 큰 하중이 분포되었는데 이는 여러 보고에서 입증된 바 있으며, 특히 후족부 내측이 더 많은 하중을 담당하였다($p < 0.05$).

각 구획별 하중분포의 개인차 및 좌우측의 차이를 분석한 결과 중족부에서 비교적 큰 차이를 보였는데 이 역시 중족부를 현수부로 하는 종아치의 존재를 시사하는 것으로 보였고 그외 구획에서는 유의한 개인차 및 좌우측의 차이가 나타나지 않았다.

REFERENCES

- 1) Abramson, E. : *Zur kenntnis der mechanik des mittelfusses*. *Shand. Arch. Physiol.*, 51 : 175-234.
- 2) Arcan, M., Brull, M.A. : *A fundamental characteristic of the human body and foot, the foot ground pressure pattern*. *J. Biomech.*, 9 : 453-457, 1976.
- 3) Arcan M., Brull, M.A. : *Mechanical parameters describing the standing posture, based on the foot-ground pressure pattern in Biomechanics*. 415-425, Baltimore, University Park Press, 1976.
- 4) Bastern A. : *Bestimmung des auf die einzelnen Schlenbezirke Wirkenden Teilgewichtes des menschlichen Körpers*. *Abderhalden's Handbuch*, Abr-V, 5A(3) : 559-574, 1927
- 5) Beely, F. : *Zur mechanik des stehana uber die bedeutung des fusagewobles biem stehan*. *Langenbecks Arch Chir.*, 27 : 457-468, 1881.
- 6) Betts, R.P., Franks, C.I., Duckworth, T. : *Analysis of pressures and loads under the foot part 1 : Quantitation of the static distribution using the PET computer*. *Clin. Phys. Physiol. Meas.*, 1 : 101-112, 1980.
- 7) Bettm R.P., Franks, C.I., Duckworth, T., Burke, J. : *Static and dynamic foot-pressure measurements in clinical orthopedics*. *Med. Biol. Eng. Comput.*, 18 : 674-684, 1980.
- 8) Betts, R.P., Duckworth, T. : *A deviece for measuring plantar pressures under the sole of the foot*. *Engng. in Med.*, 4 : 223-228, 1978.
- 9) Betts, R.P., Duckworth, T., Austin, I.G., : *Critical light reflection at a plastic/glass interface and its Application to foot Pressure measurements*. *J. Med. Engng. and Tech.*, 4 : 136-142, 1980.
- 10) Cavanagh, P.R., Michiyoshi, A.E. : *A technique for the display of pressure distributions beneath the foot*. *J. Biomechanics.*, 13 : 1980, 69-75.
- 11) Cavanagh, P.R., Rodgers, Aldra, Liboahi, M.S. : *Pressure Distribution Under Symptom-Free Feet during Barefoot standing*. *Foot & Andle.*, 7 : 262-276, 1987.
- 12) Chodera, J.D., Lord, M. : *Pedobarographic foot pressure measurements and their applications*, In 'Disability'. 173-181, Macmilan., 1979.
- 13) Dickson, F.D., and Diveley, R.L. : *Functional disorders of the Foot*. 3rd Ed. Philadelphia, J.B. Lippincott., 1953.
- 14) Elftman, H. : *A cinematic study of the distribution of pressure in the human foot*. *Anat. Rec.*, 59 : 481-491.
- 15) Ewald, M., Henning, Dieter, Rosenbaum, M.A. : *Pressure distribution patterns under the feet of children in comparson with adults*. *Foot & Ankle.*, 11 : 306-313, 1991.
- 16) Giannestras, N.J. : *Foot disorders-medical and surgical anangement*. 2nd Ed. Giannestras, Philadelphia, Lea & Febiger, 1076.
- 17) Grieve, D.W., Rashdi, T. : *Pressures under normal feet in standing and walking as measured by foil pedobarography*. *Ann. rheum. Dis.*, 43 : 816-818, 1984.
- 18) Grieve, D.W. : *Monitoring Gait*. 198-204, *B.J. Hosp. med.*, 1980.
- 19) Harris, R.I., Beath, T. : *Army Foot Survery. An investigation of foot ailgnments in canadian soldiers' ottawa*. No. 1574, nat res cojnecil, canada, N.R.C., 1947.

- 20) Hennacy, R.A., Gunther, B.S.M.E. : *A piezoelectric Crystal method for measuring Static and Dynamic pressure distribution in the feet.* *J. Am. Podiatry Ass.*, 65 : 444-449, 1975.
- 21) Henry, A.P. J. Waugh, W. : *The Use of Footprints in assessing the Results of Operations for hallux Valgus.* *J. Bone and Joint Surg.*, 58B : 478-481, 1975.
- 22) Hertzberg, H.T.E. : *Some contributions of applied physical anthropology to human engineering.* *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 63 : 1955.
- 23) Ian, J., alexander, M.D., Edmund, Y.S., Chao, Kenneth, A., Johnson, M.D. : *The assessment of dynamic foot-to ground contact forces and planar pressure distribution : A review of the evolution of current techniques and clinical applications.* *Foot & Ankle.*, 11 : 152-167, 1990.
- 24) Jones, R.W. : *The human foot. An experimental study of its mechanics and the role of its muscles and ligaments in the support of the arch.* *Am. J. Anat.*, 68 : 1-39, 1941.
- 25) Leduc, A., Reyns, I., Liegois, E., Levraay, P.H., Lievens, P. : *'Load sharing within the forefoot'. 182-184, In 'Disability', (Ed. Kenedi et al.), MacMillan., 1979.*
- 26) Lereim, D., Serck-Hanssen, F. : *A method of recording pressure distribution under the sole of the foot.* *Bull Pros. Res.* : 118-125, 1973.
- 27) Lord, M., Chodera, J.C. : *Pedobarographic study of gait (Abstract).* *J. Biomed. Engng.*, 2 : 86-87, 1980.
- 28) Lord, M. : *Foot pressure measurement : A review of methodology.* *J. Biomed. Eng.*, 3 : 91-99, 1981.
- 29) Minns, R.J., Craxford, A.D. : *Pressure under the forefoot in rheumatoid arthritis.* *Clin. Orthop.*, 187 : 235-242, 1984.
- 30) Miyasaki, S., Iwakura, H. : *Foot-force measuring device for clinical assessment of pathological gait.* *Med. Biol. Engng. Comput.*, 16 : 1978.
- 31) Momburg : *Der gang des mensches und die fusageschwulst.* *Bibl. Coler.*, 25 : 34, 1908.
- 32) Morton, D.J. : *Structural factors in static disorders of the foot.* *Am. J. Surg.*, 9 : 315-326, 1930.
- 33) Morton, D.J. : *The human foot : Its Evolution, Physiology, and Functional Disorders.* New York, Hafner, 1935.
- 34) Morton, D.J. : *Human Locomotion and Body Form a Study of Gravity and Man.* Baltimore, Williams & Wilkins., 1953.
- 35) Peter, S., Schaff, Peter, R., Cavanagh. : *Shoes for the insensitive foot : The effect of a 'Rocker bottom shoe modification on palatal pressure distribution.* *Foot & Ankle*, 11 : 129-140, 1990.
- 36) Schwartz, R.P., Health, A.L. : *The definition of human locomotion on the basis of measurement.* *J. Bone and Joint Surg.*, 29 : 203-214, 1947.
- 37) Steindler, a. : *Kinesiology of the Human Body.* Springfield, Charles, C., Thomas., 1955.
- 38) Stokes, I.A.F. : *An analysis of the forces on normal and pathological human feet unpublished doctoral thesis, The polytechnic of Central London., 1975.*
- 39) Takala, K., Kardeno, I.I., Watanabe, Y. : *Time Series analysis of postural sway and reposition using an autoregressive model. In biomechanics. Vol VII-A. pp. 591-596, Matsui, H., and Kobayashi, K. (eds.), Champalgn, Il., Human Kinetics Publishers, Inc., 1983.*
- 40) Zilvold, G. : *Discussion contribution in Disability ; . pp. 185-190, MacMillan Press., 1979.*