

앉은 자세에서 둔부 좌골결절의 접촉압력과 혈류량과의 관계에 대한 연구

허 현[#], 배태수^{*}, 문무성^{**}

A Study on the Relationship between Vascular Perfusion and Interface Pressure on the Ischial Tuberosity in the Sitting Posture

Hyun Heo[#], Tae-Soo Bae^{*} and Mu-Sung Mun^{**}

ABSTRACT

Pressure-induced decubitus is a serious disease among the elderly people. Interface pressure occluding vascular perfusion is known to be a cause of decubitus. Therefore, it is essential to quantify the relationship between vascular perfusion and interface pressure among the elderly people to understand more about decubitus. Nine healthy elderly people (57.8 ± 5.6 years, 63.3 ± 7.0 kg, 1.68 ± 0.05 m) were participated. Three healthy young people (31.7 ± 3.2 years, 74.7 ± 8.4 kg, 1.75 ± 0.04 m) were also examined to be compared with the elderly group. Capillary vascular perfusion on the ischial tuberosity was recorded in the sitting posture as pressures were applied from 15mmHg to 135mmHg. The average interface pressure to occlude vascular perfusion (the average occlusion pressure) under the ischial tuberosity was 115.7mmHg in the elderly group. This value was not significantly different from the average occlusion pressure of the young group. Obesity effect on the occlusion pressure was investigated among the elderly group. The result was not significantly different between the obesity and the normal group in this study. This is a preliminary study to unveil the complicated cause of pressure-induced decubitus associated with occlusion of vascular perfusion. More subjects are required for the future study.

Key Words : Interface Pressure (접촉압력), Vascular Perfusion (혈류량), Ischial Tuberosity (좌골결절), Pressure-induced Decubitus (욕창), Occlusion pressure (혈관 폐색 압력)

1. 서론

최근에 우리나라는 UN에서 지정하는 고령화 사회로 진입하였다. 현재 고령화 속도는 점점 증가

하여 2030년에는 전체인구의 20%가 노인 인구가 될 것이라는 통계청 발표도 있었다. 이처럼 고령화 사회가 되면서 노인 질병에 대한 관심이 높아지고 있다. 욕창은 침상에서 오래 생활하는 입원환자나

☞ 접수일: 2007년 2월 15일; 게재승인일: 2007년 5월 8일

교신저자: 재활공학연구소 인체공학팀

E-mail: hyunh@korec.re.kr Tel.(032) 500-0772

* 재활공학연구소 인체공학팀

** 재활공학연구소

휠체어를 이용하는 장애인들에게서도 많이 발생하는 노인 질병 중의 하나이다.

욕창이 발생하는 메커니즘을 밝혀내기 위해서 그 동안 많은 연구가 이루어져 왔다. Kosiak¹은 개를 이용한 전임상 실험을 통해 욕창을 발생시키는 과정에서 압력의 세기와 압력이 가해지는 시간 사이에 반비례 관계가 있다는 것을 발견하였다. 그 후 Reswick²도 사람을 대상으로 한 실험을 통해서 압력과 시간 사이의 반비례 관계를 주장하였다. 여러 과학자들은 외부에서 가해지는 압력은 모세 혈관의 혈관 폐색을 유발하고, 그 결과로 주변 조직의 산소 결핍과 조직 괴사를 일으키게 된다고 추론하였다.^{3,4} Krouskop과 그의 동료들⁵은 이런 추론을 림프계에까지 확장시켰다. 그들은 외부에서 가해지는 압력은 림프계의 배수 작용을 손상시키고, 결국 산소 결핍과 무산소 대사 작용으로 발생하는 노폐물이 축적되어 조직이 괴사한다고 주장하였다. 이처럼 욕창의 발생 메커니즘에 대해 많은 연구들이 이루어지고 있지만 아직까지 명확하게 밝혀지지 않은 부분들이 남아 있고 앞으로도 꾸준한 연구가 필요하다. 그 중에서도 인체 조직 내의 혈류 순환은 욕창 발생에 중요한 역할을 하는 것으로 생각되어지고 있다.⁶

최근까지 휠체어를 사용하는 노인 환자들을 대상으로 둔부의 접촉압력이 욕창 발생에 미치는 영향을 알아내기 위한 연구들도 진행되어 왔다. Conine 등⁷은 휠체어를 사용하는 163명의 노인들을 대상으로 욕창이 발생하는 경우를 추적 조사해 보았다. 그 결과 피크 압력이 60mmHg 이상일 경우가 그 이하일 경우보다 욕창에 걸릴 확률이 더 높은 것으로 나타났다. Brienza 등⁸은 32명의 노인 휠체어 사용자들을 대상으로 일정기간 둔부의 접촉압력을 측정하였다. 실험에서 욕창에 걸린 환자군의 피크 압력이 평균 115mmHg인 반면, 욕창에 걸리지 않은 환자군의 피크 압력은 평균 78mmHg로 훨씬 낮았다. 이런 결과들은 욕창 발생의 위험이 있는 집단에 대해 추적 조사함으로써 접촉압력이 실제 욕창 발생에 기여했음을 보여주고 있다.

하지만, 아직까지도 접촉압력과 욕창 발생과의 관계에서 중요한 역할을 담당하는 혈류 순환에 대해서는 연구가 이루어지지 않고 있다. 앞으로 욕창 발생의 메커니즘에 대한 이해를 높이기 위해 피부 조직에 가해지는 접촉압력이 피부 모세 혈관의 혈류 순환에 어떤 영향을 주는지, 그리고 혈류 순환

이 욕창 발생에 어떻게 기여하는지에 대한 많은 연구가 이루어져야 한다.

그 시발점으로써 본 연구에서는 앉은 자세에서 둔부의 좌골결절에 작용하는 접촉압력이 혈류량에 어떤 영향을 미치는지에 대해 관찰해 보고자 하였다. 좌골결절 부위의 피부는 천골 부위와 함께 욕창이 많이 발생하는 대표적인 부위이다. 특히, 좌골결절 부위는 앉은 자세에서 압력 분포를 측정할 때 피크 압력이 관찰되는 곳이기도 하다.

본 연구의 목표는 다음과 같다. 앉은 자세에서 좌골결절 아래의 피부에 접촉압력을 증가시키면서 모세 혈관에서 혈류량의 변화를 관찰하여 혈관 폐색이 일어나는 접촉압력(혈관 폐색 압력)을 노인 집단과 젊은 집단에 대해 각각 정량화하였다. 노인 집단에서의 혈관 폐색 압력을 젊은 집단의 결과와 비교해 봄으로써 나이에 따른 영향을 살펴보고자 하였다. 마지막으로, 노인 집단에서 비만이 혈관 폐색 압력에 미치는 영향에 대해서도 함께 살펴보았다.

2. 실험 방법

2.1 실험 대상

신체활동이 가능한 건강한 사람들을 대상으로 50 - 70세의 피검자(나이: 57.8± 5.6세, 체중: 63.3± 7.0kg, 신장: 1.68± 0.05m) 9명과 20 - 40세의 피검자(나이: 31.7± 3.2세, 체중: 74.7± 8.4kg, 신장: 1.75± 0.04m) 3명을 선정하였다. 혈류량 측정에서 접촉압력 이외의 다른 조건을 배제하기 위하여 심혈관계 질환인 고혈압과 당뇨 등이 없고 욕창이 없는 사람들을 선별하였다.

2.2 실험 장치

실험 장치는 크게 두 가지로 구성되어 있다. 혈류량을 측정하기 위한 레이저 도플러 혈류 측정 장치와 앉은 자세에서 둔부에 압력을 일정하게 유지하기 위한 하중 제어 의자 장치이다.

레이저 도플러 혈류 측정 장치는 PeriFlux 5000 시스템 (PeriMed AB, Sweden)을 사용하였다. 레이저를 발신 및 수신하는 탐침은 피부에 부착시키면 표피에서 약 1mm 깊이의 모세혈관의 혈류량을 측정한다.

혈류량의 측정 단위는 PU(Perfusion Unit)을 사용한다. PU는 혈관 속을 흐르는 물질들 (적혈구와

백혈구 등)의 상대 수량과 그 물질들의 상대 속도의 곱으로 나타나며 혈류량과 서로 선형 비례관계에 있다.⁹

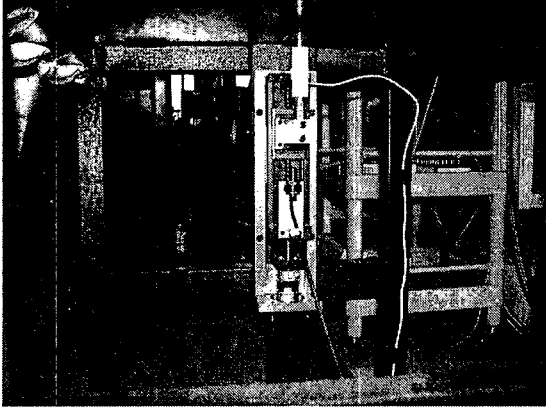


Fig. 1 The loadcell and AC linear servo motor in the chair system

하중 제어 의자 장치에는 좌석 부분의 오른쪽 둔부 좌골 결절 부위가 피부와 닿지 않도록 뚫려있다. Fig. 1의 중앙 상단에서 보듯이 이 구멍을 통하여 지름 45mm의 원형 실린더 타입의 압입자가 일정한 하중을 가할 수 있도록 위치하고 있다. 로드셀, AC 서보 모터와 선형가이드로 구성되어 있다. 하중 제어는 Fig. 2의 다이어그램에서 보는 것과 PID 제어를 통하여 이루어진다.

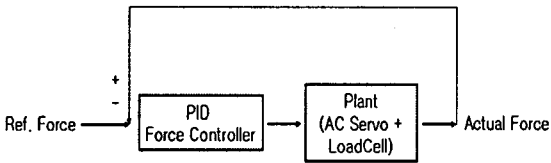


Fig. 2 Block diagram of force control for the chair system

2.3 실험 절차

PeriFlux 5000 시스템과 하중 제어 의자 장치를 설치하고 시스템의 영점 조정을 하였다. 피검자들은 실험 내용에 대한 소개를 받고 실험동의서에 대한 사전 동의 후 임상 실험에 참여하였다. 오른쪽 둔부 좌골결절 아래의 피부에 레이저 도플러 혈류 측정 탐침(probe)을 부착하고 피검자를 하중 제어 의자 장치에 앉혔다. 탐침이 부착된 좌골결절 부위

에 원형 압입자가 위치하도록 앉은 위치와 자세를 조정하였다.

앉은 자세에서 하중을 제어한 후 압력이 일정하게 유지되면 앉은 자세를 유지한 상태에서 4분이 지난 이후 1분간 혈류량을 측정하였다.¹⁰ 하나의 압력에서 1분간의 혈류 데이터를 저장하기 위해 총 5분의 시간이 소요되며 압력을 15mmHg부터 15mmHg 간격으로 135mmHg까지 순차적으로 증가시키면서 실험하였다.

접촉압력을 증가시킴에 따라, 피검자가 인지하는 압력 정도를 확인하면서 실험을 하였다. 2시간 정도 이루어지는 실험에서 피검자의 요청에 따라 중간에 휴식 시간을 주어 의자에서 일어나서 잠깐 움직일 수 있게 하였다. 50 - 70세의 피검자들과 20 - 40세의 피검자들에 대한 실험 절차는 동일하게 실시했다.

2.4 데이터 처리

각각의 접촉 압력에서 측정한 1분간의 혈류량 데이터 중에서 30초의 데이터에 대해 평균과 표준편차를 계산하였다. 9명의 노인 피검자들을 대상으로 한 실험에서는 각각 1회의 실험을 하였고 3명의 젊은 피검자들을 대상으로 한 실험에서는 각각 3-4일 간격으로 3회의 반복 실험을 하여 9개의 혈류 데이터를 획득하였다. 획득한 9개의 혈류 데이터는 Fig. 3과 같이 접촉 압력에 대한 혈류량의 변화를 나타낸다.

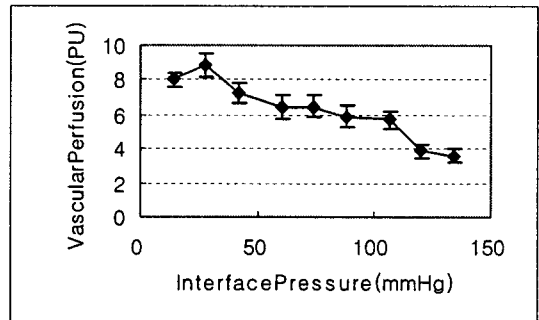


Fig. 3 Perfusion values as the interface pressure increases up to 135mmHg (The occlusion pressure = 120mmHg)

접촉압력이 증가함에 따라 혈류량의 감소가 나타나는데 특정 압력 이상에서는 더 이상 감소하지

않고 거의 일정한 값이 유지된다. 이때의 특정 압력을 피부조직의 모세혈관에서 혈관 폐색이 일어나기 시작하는 접촉 압력이라는 의미에서 혈관 폐색 압력이라고 하였다. Fig. 3에서는 120mmHg가 혈관 폐색 압력이 된다.

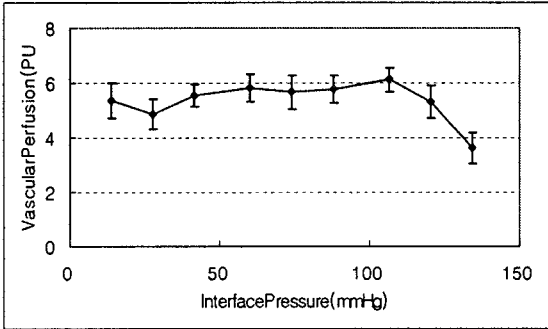


Fig. 4 Perfusion values as the interface pressure increases up to 135mmHg (The excluded data)

Fig. 4에서와 같이 135mmHg에서 최소 혈류량이 발생할 경우에는 일정하게 유지되는 값을 확인할 수 없기 때문에 어느 압력에서 혈관 폐색이 발생하는지 알 수 없다. 이와 같이 혈관 폐색 압력이 확인되지 않는 데이터는 분석에서 배제하였다. 각 그룹별로 배제된 데이터를 제외한 유효 데이터에 대해 혈관 폐색 압력의 평균과 표준 편차를 계산하였다.

노인 피검자 그룹과 젊은 피검자 그룹 사이에 평균 혈관 폐색 압력에 차이가 있는지 알아보기 위해서 이분산 가정 양측 t-검증 방법을 사용하여 분석하였다(p=0.05). 비만이 혈관 폐색 압력에 미치는 영향을 알아보기 위해서는 9명의 노인 그룹 내에서 BMI를 기준으로 정상(BMI<23.0)과 비만(BMI≥23.0) 그룹으로 나누었다. 마찬가지로, 두 그룹 사이의 차이를 알아보기 위하여 이분산 가정 양측 t-검증 방법을 사용하여 분석하였다(p=0.05).

3. 결과

9명의 노인 피검자를 실험한 결과, 혈관 폐색 압력을 확인할 수 없었던 2개의 데이터는 배제하고 7개의 유효 데이터를 확보하였다. 젊은 피검자를 대상으로 한 실험에서도 3개의 데이터를 배제하고 6개의 유효 데이터를 획득하였다. 유효 데이터의

혈관 폐색 압력은 다음 표와 같다.

Table 1 The occlusion pressures and the average and standard deviation of the pressures in the young and the elderly group

Freq.		Young	Elderly
Occlusion Pressure (mmHg)	90	1	0
	105	1	2
	120	4	5
Average Pres. (mmHg)		113	116
Standard Dev.		13	7

Table 1에서 보듯이 노인 피검자 그룹에서 혈관 폐색이 발생하는 압력은 105mmHg에서 2명, 120mmHg에서 5명이었으며, 평균 압력± 표준편차는 116± 7mmHg이었다. 젊은 피검자 그룹에서는 90mmHg에서 1명 105mmHg에서 1명 그리고 120mmHg에서 4명이 혈관 폐색이 일어났다. 평균 압력± 표준편차는 113± 13mmHg이었다. 두 그룹의 평균 혈관 폐색 압력에 대한 t-검증 결과는 통계적으로 유의할만한 차이가 없었다(p=0.60 >> 0.05).

Table 2 The occlusion pressures and the average and standard deviation of the pressures in the normal and the obesity group among the elderly

Freq.		Normal	Obesity
Occlusion Pressure (mmHg)	105	1	1
	120	3	2
Average Pres. (mmHg)		116	115
Standard Dev.		8	9

Table 2에서 보는 것과 같이 노인 그룹에서의 7명의 유효 데이터 중에서 정상(BMI<23.0) 과 비만(BMI≥23.0)으로 나누면 정상 데이터는 4개이고 비만 데이터는 3개이다. 정상인 4명의 평균 혈관 폐

색 압력은 116mmHg 이고 비만인 3명의 평균 혈관 폐색 압력은 115mmHg이다. t-검증을 해 보았을 때 두 집단의 평균 압력에 통계적으로 유의할만한 차이가 없다($p=0.85 \gg 0.05$).

4. 토의 및 결론

나이가 들어서 활동성이 줄어들거나 여러 가지 질병의 영향으로 장시간 움직일 수 없는 경우에 지속적인 압력을 받는 피부 조직이 괴사가 일어나면서 생기는 질병이 욕창이다. 압력이라는 외부 요인에 의해 발병을 하지만 직접적으로는 높은 압력이 가해지는 국부 지역의 피부 조직에서 일어나는 혈류 순환 장애가 중요한 요인 중의 하나로 추측된다. 본 연구에서는 접촉 압력과 혈관 폐색과의 관계에 대해서 중점적으로 관찰해 보았다.

노인 7명의 혈류량 변화를 측정해 본 결과, 앉은 자세에서 좌골결절에 105mmHg와 120mmHg의 접촉압력을 가했을 때 혈관 폐색이 일어났고 평균 혈관 폐색 압력은 116mmHg이었다. 이런 평균 접촉 압력 결과는 Brienza 교수 등⁸이 실험한 결과와 아주 비슷하다. 그들은 노인 중에서 장시간 휠체어 생활을 하는 환자들을 대상으로 둔부 접촉압력을 일정 기간 동안 꾸준히 측정하면서 욕창 발생과의 관계에 대해서 추적조사 하였다. 노인 휠체어 사용자들 중에서 욕창이 발생한 환자 그룹의 평균 피크 압력은 115mmHg이었고 욕창이 발생하지 않은 환자 그룹의 평균 피크 압력은 그보다 상당한 낮은 압력이었다. 즉, 혈관 폐색이 일어나지 않는 낮은 접촉 압력에서는 욕창이 발생하지 않았고 혈관 폐색이 일어난 접촉 압력에서 욕창이 발생했다고 추측할 수 있다.

앉은 자세에서 둔부의 압력 분포를 측정할 경우 대부분 좌골결절 아래에서 피크 압력이 나타난다는 것을 생각해 볼 때 본 실험 결과와 Brienza⁸ 교수의 결과가 상당히 유사하다는 것을 알 수 있다. 두 결과 사이에 높은 상관관계가 있음을 추측해 볼 수 있다. 하지만, 아직까지는 혈관 폐색 압력에 대해서만 살펴보고 직접적으로 욕창 발생과의 관계를 밝혀내기 위한 연구는 없었다. 두 연구의 평균 접촉 압력 값이 비슷하지만 그 관련성을 밝히기 위한 체계적인 연구가 이루어지지 않았다. 두 값이 비슷하기 때문에 관련이 있지 않을까 하는 추측에 지나지 않는다. 그러므로 앞으로 혈관 폐색과 욕창 발

생과의 상관관계를 밝혀내기 위해서 더욱 체계적인 연구가 필요할 것이다.

욕창은 또한 대표적인 노인성 질환 중의 하나이다. 현대 의학이 발달하면서 수명이 증가하고 그에 따라 욕창의 발생도 점차 증가하고 있는 추세이다. 그렇기 때문에 비록 건강하다고 할지라도 나이가 많아지면 혈관 폐색 압력에도 어느 정도 영향을 미칠 것으로 예측하였다.

노인 피검자 그룹의 평균 혈관 폐색 압력과 비교하기 위해 젊은 피검자 그룹에 대해서는 3명이 각각 3회의 반복 실험을 하였다. 측정된 유효 데이터의 결과는 좌골결절에 90mmHg의 접촉압력을 가했을 때 혈관 폐색이 일어나기 시작하고 대부분의 경우에는 120mmHg의 압력에서 혈관 폐색이 일어났다. 평균 압력은 113mmHg이었다. 노인 피검자 그룹에 비해 약간 낮은 접촉압력에서 혈관 폐색이 발생하는 것을 알 수 있다. 하지만, 통계적으로 분석해 봤을 때 두 그룹의 혈관 폐색 압력에는 차이가 없는 것으로 나타났다($p=0.60$).

이로써 심혈관계에 질병이 없는 건강한 사람의 경우에 나이가 혈관 폐색을 발생시키는 압력에 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다. Chen¹²과 동료들은 SCI(척추 손상) 환자들을 대상으로 욕창 발생 빈도에 대해 연구하였는데 나이와 욕창 발생률과는 아무 관계가 없다는 결과를 얻었다. 두 결과 사이의 상관관계도 어느 정도 추측해 볼 수 있겠다. 같은 조건하에서 나이가 욕창 발생에 영향을 미치지 않았다. 마찬가지로, 활동에 문제가 없는 건강한 노인들의 경우에는 젊은 사람들과 혈관 폐색 압력에 차이가 없었다.

나이에 따른 혈관 폐색 압력에 차이가 없기 때문에, 전체 노인 피검자 그룹과 젊은 피검자 그룹의 유효 데이터 13개에 대한 혈관 폐색 압력의 평균과 표준편차를 구해 보면 114 ± 10 mmHg이었다.

비만 정도도 혈관 폐색 압력에 영향을 주지 않을까 예측해 보았다. 비만 정도에 따라 피부의 구성과 두께에 차이가 있기 때문에 외부 접촉 압력에 대한 혈관의 폐색 정도에도 차이가 있을 수 있다고 생각하였다.

혈관 폐색 압력과 비만과의 관계를 알아보기 위해서 Table 2에서 보는 것과 같이 7개의 노인 피검자 유효 데이터를 BMI 수치를 기준으로 정상과 비만 그룹으로 나누어 살펴보았다. BMI 수치는 체중을 신장의 제곱으로 나눈 값으로 세계 보건 기구

등에서 비만 관련 질환 위험도를 나타내기 위해 사용하는 수치이다. 18.5 이상 23.0 미만일 경우 정상 체중 범위이고 23.0 이상이면 과체중 범위에 들게 된다. 본 실험에서는 23.0을 기준으로 그 이상을 비만으로 미만을 정상으로 구분하였다.

각각 정상일 때 4개, 비만일 때 3개의 데이터를 가지고 계산하였으며 평균 혈관 폐색 압력은 각각 116mmHg와 115mmHg이었다. 각 그룹의 평균값의 차이를 알아보기 위해서 t-검증 통계 분석을 한 결과 유의할만한 차이가 없었다($p=0.85$). 즉, 혈관 폐색 압력은 비만 정도에 따른 직접적인 영향을 받지 않는다는 것을 알 수 있었다. 두께 1mm이내의 피부에서의 모세 혈관의 혈류량을 살펴본 결과이기 때문에 비만 여부가 표피와 진피로 이루어지는 얇은 피부 조직에 대해 영향을 미치지 못하기 때문이 아닐까 추론해 본다. 비만은 피부 아래의 피하 조직의 구성과 두께에 차이를 초래하지만 피부의 접촉 압력과 모세 혈관의 혈관 폐색에 많은 차이를 주지는 못하는 것 같다. 더 많은 피검자들을 대상으로 실험을 한다면 더욱 정확한 결과를 얻을 수 있을 것이다.

앞에 있는 Fig. 4에서 보는 것과 같이 노인 피검자 그룹에서 1개, 젊은 피검자 그룹에서 2개의 데이터에서 135mmHg의 접촉압력에서 최소의 혈류량을 나타내면서 혈관 폐색 압력을 측정하지 못하였다. 측정 범위를 더 큰 압력까지 했다면 135mmHg 이상의 접촉압력에서 혈관 폐색이 일어나는 것을 확인할 수도 있었을 것이다.

피검자들의 실험 시간에도 문제가 있었다. 아직까지 연구가 이루어지지 않았던 혈관 폐색 압력을 측정하기 위해서 15mmHg에서 135mmHg까지의 넓은 압력 범위에서 실험을 하였다. 이전에 이루어졌던 연구에서는 혈류량의 변화를 관찰하기 위해서 60mmHg 이하의 압력에 대해서 비슷한 실험이 이루어지기도 했다.¹¹ 하지만, 본 실험에서는 9개의 접촉 압력 단계 (15, 30, 45, 60, 75, 90, 105, 120, 135mmHg)에서 10분 정도씩의 측정을 위해서 피검자는 앉은 상태에서 거의 2시간을 움직이지도 못하고 앉아 있어야 했다. 계속해서 고정된 자세를 유지하는 것이 힘들기 때문에 1시간 이상이 되면 몇몇 피검자들은 자세를 유지하기 힘들어하였다.

이런 문제들을 개선하기 위하여, 90mmHg의 접촉압력에서 혈관 폐색이 나타나기 시작하므로, 60mmHg에서 150mmHg까지의 압력 구간에서 측정

을 한다면 실험 시간도 줄어 들 수 있고 더 높은 접촉 압력까지 측정할 수 있으므로 더 정확한 실험 결과를 얻을 수 있을 것으로 기대한다. 추가적으로 각 그룹에 대한 피검자 수를 더 증가시킨다면 더욱 정확한 결과를 얻을 수 있을 것으로 생각한다.

아직까지 국내에서 활발히 연구되고 있지 않은 분야에 대한 연구이기 때문에 많은 어려움이 있었고 결과에 대한 비교 또한 어려웠다. 많은 국외 연구 자료들을 찾아서 비교하고 검증을 해 보았지만 그것 또한 관련 자료가 많지 않아서 쉽지 않았다. 앞으로 충분한 피검자들을 확보하여 보다 신뢰도 높은 실험들이 보충되어야 할 것으로 생각한다. 그리고 혈관 폐색과 욕창 발생과의 관계를 밝히는 실험도 보다 체계적으로 이루어져야 할 것으로 생각한다. 이번 연구를 시작으로 욕창을 이해하기 위한 많은 연구들이 이루어지는 계기가 되었으면 좋겠다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 “고령친화용품 산업화 지원 기반구축 사업”의 지원을 통하여 수행되었다.

참고문헌

1. Kosiak, M., “Etiology and pathophysiology of decubitus ulcers,” *Arch. phys. Med. Rehabil.*, Vol. 40, No. 2, pp. 62-69, 1959.
2. Reswick, J. B. and Rogers, J. E., “Experience at Rancho Los Amigos Hospital with devices and techniques to prevent pressure sores,” in *Bedsore Biomechanics* (Edited by Kenedi R. M. and Cowden J. M.), University Park Press, London, pp. 301-310, 1976.
3. Dinsdale, S., “Mechanical factors in the pathogenesis of ischemic skin ulcers in swine,” Ph. D. Thesis, University of Minnesota, 1970.
4. Husain, T., “An experimental study of some pressure effects on tissues,” *J. Path. Bact.*, Vol. 66, No. 2, pp. 347-358, 1953.
5. Krouskop, T. A., Reddy, N. P., Spencer, W. A. and Secor, J. W., “Mechanisms of decubitus ulcer formation,” *Med. Hypotheses*, Vol. 4, No. 1, pp. 37-39, 1978.

6. Reddy, N. P., Cochran, G. V. B. and Krouskop, T. A., "Interstitial fluid flow as a factor in decubitus ulcer formation," *J. Biomechanics*, Vol. 14, No. 12, pp. 879-881, 1981.
7. Conine, T. A., Hershler, C., Daeschel, D., Peel, C. and Pearson, A., "Pressure sore prophylaxis in elderly patients using polyurethane foam or Jay wheelchair cushions," *Int. J. Rehabil. Res.*, Vol. 17, No. 2, pp. 123-137, 1994.
8. Brienza, D. M., Karg, P. E., Geyer, M. J., Kelsey, S. and Treffer, E., "The relationship between pressure ulcer incidence and buttock-seat cushion interface pressure in at-risk elderly wheelchair users," *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, Vol. 82, No. 4, pp. 529-533, 2001.
9. PeriMed AB, Sweden, "PeriFlux 5000 System Extended User Manual," pp. 26-27, 2003.
10. Daly, C. H., Chimoskey, J. E., Holloway, G. A. and Kennedy, D., "The effects of pressure loading on the blood flow rate in human skin," in *Bedsore Biomechanics* (Edited by Kenedi R. M. and Cowden J. M.), University Park Press, London, pp. 301-310, 1976.
11. Brienza, D. M., Geyer, M. J. and Jan, Y., "A Comparison of Changes in Rhythms of Sacral Skin Blood Flow in Response to Heating and Indentation," *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, Vol. 86, No. 6, pp. 1245-1251, 2005.
12. Chen, Y., DeVivo, M. J. and Jackson, A. B., "Pressure Ulcer Prevalence in People With Spinal Cord Injury: Age-Period-Duration Effects," *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, Vol. 86, No. 6, pp. 1208-1213, 2005.