Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 29, No. 6 pp.875-887, December 2010 DOI:10.5143/JESK.2010.29.6.875

교대부양 설정압력 변화가 인체조직의 동적인 관류특성에 미치는 영향

원 병 희[1,2] · 송 창 섭[1]

[1]한양대학교 대학원 기계설계 · 메카트로닉스공학과 / [2]한국생산기술연구원 실버기술개발단

The Effects of Alternating Set Pressure Changes on Dynamic Tissue Perfusion Characteristics

Byeong Hee Won[1,2], Changseop Song[1]

[1]Department of Mechanical Design and Mechatronics, Hanyang University, Seoul, 133-791
[2]Gerontechnology Center, Korea Institute of Industrial Technology, Chunan, 331-825

ABSTRACT

The quantitative effectiveness of powered support surfaces such as APAM in preventing and treating pressure ulcers has not been sufficiently evaluated because of uncertainty of alternating pressure load input and lack of interpretation of dynamic perfusion characteristics of soft tissue. The aim was to verify the dynamic loading effects to sacral tissue perfusion characteristics from alternating set pressure changes. We developed integrated experiment system to supply alternating load to supinely positioned sacrum and concurrently measured $TcPO_2$, $TcPCO_2$ and air cell pressure. Ten aged subjects (5 female, 5 male) were tested with alternating set pressure 20, 30, 40, 50 and 60mmHg. From the dynamic perfusion response eight characteristic parameters were proposed such as average, minimum, maximum and perfusion range regarding to $TcPO_2$ and $TcPCO_2$. A one-way ANOVA was carried out to determine whether the manipulation of alternating set pressure had any effect on $TcPO_2$ and $TcPCO_2$. From the dynamic tissue perfusion response we found mean $TcPO_2$ decreased exponentially as alternating pressure load increased and perfusion range varied mainly because of minimum level change of $TcPO_2$. And perfusion range of $TcPCO_2$ affected by increase of maximum value of $TcPCO_2$. From the results we can get more strict insights about actual physiological dynamic tissue perfusion mechanism under alternating pressure load.

Keywords: Pressure ulcers, Alternating pressure profile, APAM(alternating pressure air mattress), Transcutaneous gas tension, Dynamic tissue perfusion

1. 서론 및 배경지식

욕창은 외부 압박이 주로 골 돌출부에 가해짐으로써 허혈성 조직괴사로 생긴 상처를 말하는데, 노인이나 쇠약한 환자, 하반신과 사지마비 등 마비환자, 감각소실 환자에서 생길 수 있는 중요한 의학적 문제 중의 하나이다. 특히, 천골부(sacrum)는 피하조직이 얇고 주로 근육층으로 구성되어 있어 연조직의 압축강성(compression stiffness)이 다른 부위에 비해 상대적으로 높은데 비해 골 돌출부에 접해 있

교신저자: 원병희
주 소: 331-825 충청남도 천안시 서북구 입장면 홍천리 35-3, 전화: 010-3731-8090, E-mail: bhwon@kitech.re.kr

어 외부 압박에 의한 내부응력(internal stress)이 크게 작용하므로 세포 괴사 등에 의한 조직 손상이 쉬워 욕창발생 빈도가 가장 높은 부위이다(Petersen, 1976).

생체공학적인 측면에서 욕창발생에 영향을 미치는 가장 중요한 인자는 접촉압력(interface pressure), 조직 내부에 발생하는 전단응력(shear)과 피부에 작용하는 미끄럼(friction)을 들 수 있으나 욕창발생과 진행에 대한 공학적인 기전은 아직도 충분히 이해되지 못하고 있다. 특히 시간에 따라 외부 부하조건이 변하는 경우 연조직 내의 관류특성(perfusion characteristics) 변화, 조직 내부 발생응력에 의한 심부조직 손상(Deep Tissue Injury) 규명 등은 향후 많은 과제를 안고 있는 분야이다(Bouton et al., 2003).

외부에서 작용하는 부하가 인체조직에 미치는 영향에 대한 연구방법으로는 전통적으로 사용해왔던 접촉압력(interface pressure) 평가(Tissue Viability Society, 2010)와 조직의 관류(tissue perfusion) 평가방법이 대표적으로 사용되고 있다(Wywialowski, 1999; Jonsson et al., 2005; Mathieu and Mani, 2007). 접촉압력 평가방법은 욕창의 직접적인 발생원인이 인체 접촉면에서 작용하는 외부압력의 크기와 관련이 깊다는 사실에서 착안하여 오래 전부터 사용되어 왔다. 그러나 접촉압력의 측정만으로는 욕창발생의 직접적인 원인이 되는 조직 내부의 역학적, 생리학적 상태를 충분히 규명하지 못한다는 사실이 밝혀지면서 조직 내의 혈류 상태 등을 더욱 직접 평가할 수 있는 경피 산소분압($TcPO_2$, transcutaneous oxygen tension) 및 이산화탄소분압($TcPCO_2$, transcutaneous carbon-dioxide tension)을 측정하는 관류특성 평가방법이 주목을 받고 있다.

생리학적으로 관류(perfusion)는 동맥혈(arterial blood)의 영양물질을 조직 내 모세혈관계(capillary bed)로 전달하는 과정으로 정의된다. 피부 접촉면에서 부하압력이 작용하면 모세혈관 폐색 등에 의해 혈류와 가스교환 장애가 발생하게 되며, 결과적으로 조직 내에서 혈류를 통해 운반되는 산소분압은 감소하고 대사 노폐물인 이산화탄소분압은 증가하는 경향을 보인다. 경피적으로 측정하는 산소분압은 채혈에 의해서 확인이 가능한 동맥혈 산소분압(PaO_2)의 정도를 연속적으로 모니터링이 가능한 비침습적 측정값으로, 조직 내 허혈 수준(degree of ischemia)과 상관성이 높으며 조직의 활력도(tissue viability)를 임상적인 방법에 비해 더 정확히 평가할 수 있다(Carter, 2008).

경피적인 가스분압 측정은 전극을 원하는 부위에 부착하고 피부를 통해 확산되어 나오는 산소와 이산화탄소 분자를 검출한다(그림 1). 산소분압은 백금(platinum cathode)과 은(silver anode)으로 구성된 전기화학 전극을 거쳐 직접적인 전기분해반응(polarographic technique) 방법을 통해 측정한다. 이산화탄소분압은 pH 글래스(pH glass electrode)

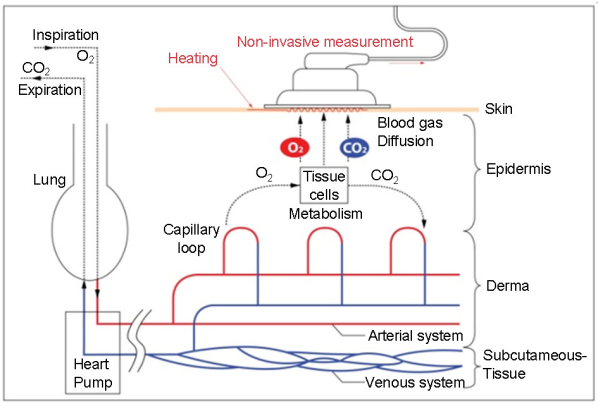

그림 1. 심폐기관의 가스교환 및 조직의 대사과정과 피부를 통한 비침습적 경피 가스분압의 측정방법

와 염화은 기준전극(silver chloride reference electrode)으로 구성된 Stow-Severinghaus 전극을 사용하여 pH 변화를 환산해서 측정한다. 이 과정에서 피부에 접촉된 전극을 가열하면 부착면 아래의 모세혈관이 확장되어 혈류의 증가로 피부를 통과하는 산소의 확산이 증가한다. 동맥혈 산소분압(PaO_2)과 경피 산소분압($TcPO_2$)은 생리적으로는 다른 지표이지만 피부의 가열을 통해 모세혈관이 확장되면 PaO_2와 $TcPO_2$의 상관도는 높아지는 것으로 알려지고 있다. 즉, 정상적인 피부에서 $TcPO_2$는 혈류와 직접적인 상관관계를 가지며 전극 아래 혈액의 관류압(perfusion pressure)에 영향을 받는다. 허혈 상태에서 피부의 혈류와 관류압은 떨어지고 결과적으로 산소분압도 저하된다.

외부 압박이 인체에 미치는 영향을 줄이기 위해 다양한 욕창예방제품이 개발되고 있는데 기본적인 원리는 접촉면적을 넓혀 압력을 낮추거나(pressure reduction) 일정한 주기로 압박을 해소시켜 제거(pressure relief)하는 것이다(NPUAP and EPUAP, 2009). 일정한 주기로 압박을 해소하기 위해서는 주로 교대부양 공기 매트리스(APAM, alternating pressure air mattress) 등의 동력형 지지면(powered support surface)을 사용하여 공기-셀 내의 압력을 주기적으로 변화시키는 방법을 사용하는데 이 때 인체 접촉면에서 작용하는 압박력이 동적으로 변화하게 된다. 동적인 부하특성은 교대부양 주기(alternating pressure cycle time), 공기-셀 설정압력(air-cell set pressure) 등에 의해 결정되며 이러한 인자들이 구체적으로 인체에 어떠한 영향을 미치는지는 충분히 규명되지 못하고 있다.

동적부하가 조직의 관류회복 특성에 미치는 영향에 대해서는 다수의 연구가 진행되어 왔으나 부하인가의 어려움으로 인해 엎드린 자세에서 부하를 가하는 방법을 사용하여 실제 사용조건과 달라서 욕창발생 영향평가를 하는데 실제적이지 않거나, 출시된 욕창예방 매트리스를 그대로 사용함

에 따라 해당 제품에 한정된 부하조건만을 사용할 수 밖에 없어 일반화된 부하조건을 재현할 수 없는 한계를 보여왔다. 또한 교대부양 공기 매트리스에서 사용되는 실제적인 주기적 부하변화가 미치는 영향에 대한 연구는 체계적으로 진행되지 못하고 있다.

본 연구에서는 욕창발생의 실제 상황과 동일한 조건으로 누워 있는 상태(supine position)의 피실험자 천골부에 교대부양 압력 프로파일로 정량화된 부하압력의 세기를 변화시키며 그 위치에서 경피 가스분압을 측정함으로써 주기적 압력부하가 연조직의 관류회복 특성에 미치는 영향을 규명하고자 하였다. 결과적으로 동력형 욕창예방제품의 개발과정에서 활용할 수 있는 이론적 배경을 마련하고 효과적인 사용조건에 대한 이해를 높이고자 하였다.

2. 연구 방법

2.1 피실험자

욕창 발병률이 높은 고령자의 특성을 평가하기 위해 표 1에서와 같이 평균 65세 내외의 여성 5명, 남성 5명 등 모두 10명의 평균적인 체형을 가진 피실험자를 대상으로 실험을 진행하였다. 실험에 앞서 유의사항을 숙지시키고 병력과 생활습관에 대한 조사와 함께 신장, 체중, 혈압, BMI 등 기본적인 신체특성을 측정하였다.

표 1. 피실험자 신체특성 데이터

성별	연령(yr)	체중(kg)	키(cm)	Body mass index (BMI)
여성(5)	65.00±3.67	63.03±8.24	153.58±4.98	26.75±3.50
남성(5)	69.00±4.30	70.46±9.14	167.10±4.35	25.28±3.38
합계(10)	67.50±4.09	66.11±9.40	159.35±9.28	26.09±3.36

2.2 실험장치

통합시험장치는 공기압 발생장치와 측정시스템으로 구성되어 있다(그림 2). 공기압 발생장치는 프로파일 편집기에서 설정한 교대부양 압력 프로파일의 조건에 따라 펌프, 솔레노이드 밸브, 관로 등 공기압 요소를 거쳐 공기 매트리스를 통해 인체 접촉부로 압력부하를 전달한다. 공기 매트리스는 직경 100mm 원통형 공기-셀이 길이 방향으로 21개 조합된 3-셀 교대부양 매트리스를 사용하였다.

부하압력과 관류특성 사이의 동적인 상관관계 규명을 위해 일괄 측정시스템을 사용하였다. 구체적으로 부하압력이 인체 연조직의 관류 반응에 미치는 영향을 평가하기 위해

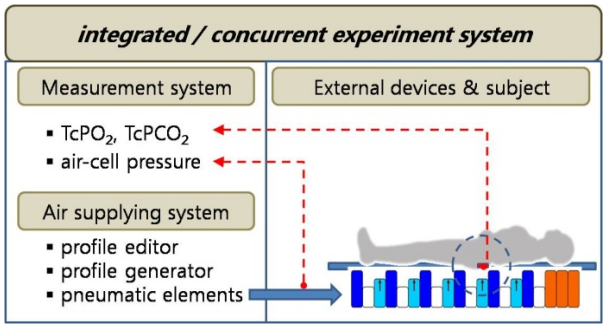

그림 2. 통합 시험장치의 구성과 측정변수

$TcPO_2$ 및 $TcPCO_2$를 하나의 전극으로 동시에 측정할 수 있는 경피 가스분압 측정전극과 모니터링 장치(E5280 & TCM4, Radiometer, Denmark)를 사용하였다. 전극에서 발생한 가스분압 측정값은 모니터링 장치에서 신호처리가 이루어지고 직렬통신을 이용해 측정시스템으로 전달된 후 USB 통신을 이용해 호스트 컴퓨터로 전달된다.

또한 가스분압 측정결과와 부하압력의 동적인 상관관계를 규명하기 위해 각 공기-셀의 유로에 설치한 압력센서로부터 교대부양 부하압력의 변화를 동시에 측정하였다. 압력신호는 데이터 샘플링 보드의 ADC을 거쳐 측정시스템으로 전달되며 역시 USB 통신을 이용해 호스트 컴퓨터로 측정값이 전달된다.

2.3 교대부양 부하압력 설정

가장 일반적인 동력형 욕창예방제품인 3-셀 매트리스에 대해 교대부양 압력 프로파일의 개념을 적용하여 부하조건을 설정하였다(그림 3). 전체 교대부양 주기는 급기구간(CP, charging period), 유지구간(SP, sustaining period) 및 배기구간(DP, discharging period)으로 구성된다. 각 구간별 시간은 Ta로 동일하며 이 세 구간이 하나의 완전한 교대부

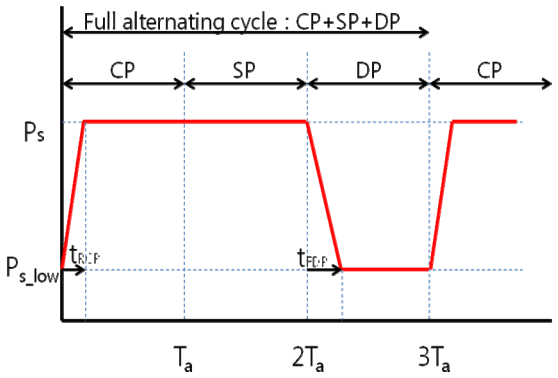

그림 3. 실험에 사용한 교대부양 압력 프로파일 조건

양 주기를 완성하게 된다. 본 연구에서 각 구간별 시간(Ta)은 180sec, 전체 교대부양 주기(3Ta)는 540sec로 설정하였다. 3주기 이상 충분한 주기적 교대부양 반응특성을 평가할 수 있도록 전체 측정시간은 1800sec로 정하였다. 실험 시작 후 180sec는 피실험자간 동일한 초기조건 상태를 만들기 위한 시간으로, 이 구간의 데이터는 분석에서 제외하였다.

교대부양 설정압력(Ps, air-cell set pressure)의 세기변화가 인체 연조직의 반응특성에 미치는 영향을 규명하기 위해 설정압력은 20, 30, 40, 50 및 60mmHg의 5수준을 사용하였다. 배기구간에서 설정한 차단압력(P_{s_low}, cut-off pressure)은 10mmHg이다. 또한 급기시간(t_{RCP}) 20sec, 배기시간(t_{FDP}) 60sec의 조건으로 설정하였다. 부하압력 조건의 변경에 의한 피실험자간 측정오차를 줄이기 위해 설정압력 별 실험 순서는 랜덤(random)하게 결정하였다.

2.4 실험방법

일반적으로 욕창의 발생 위험이 가장 높은 피실험자의 천골부에 경피 가스분압 전극을 부착하였고 특히 피실험자 별로 천골부의 반응에 집중하기 위해 매트리스 공기-셀의 마루부 중앙에 측정전극의 중심이 일치하도록 피실험자의 자세와 위치를 설정하였다(그림 4). 전극의 부착은 피부에 접착 링(adhesive ring)을 먼저 부착한 후 전극을 링에 나사체결하는 방식이다. 전극의 눌림으로 발생할 수 있는 국부적 압박에 의한 영향을 줄이기 위해 연질 라텍스 재질의 링(Callus cushions, 내경 15mm, 외경 35mm)을 전극의 크기에 맞추어 선정해서 사용하였다(Makhsous et al., 2007).

실험의 진행에 따라 매 실험조건이 변경될 때 마다 경피 가스분압 측정장치에서 제공되는 7.5% CO_2와 20.9% O_2 농도의 표준 혼합가스를 사용하여 전극의 calibration을 수행하였다. 표준 혼합가스는 모니터링 장치에 내장되어 있는 calibration 챔버에 저장되어 있으며 측정전극을 챔버에 삽입하여 모니터링 장치의 스마트 calibration 기능을 사용하였다.

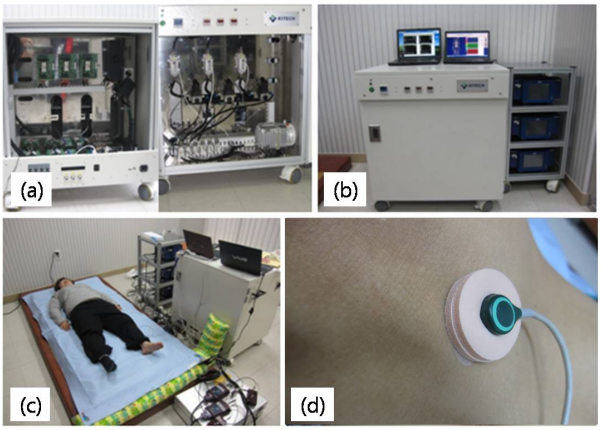

그림 4. 통합 시험장치를 이용한 피실험자 시험 (a) 공기공급장치 (b) 측정시스템 (c) 피실험자 측정 (d) 측정전극의 천골부 부착

2.5 데이터처리와 통계분석

본 연구는 교대부양 설정압력(Ps, air-cell set pressure)의 세기변화가 인체 연조직의 동적인 관류특성에 미치는 영향을 규명하기 위한 것으로, 독립변수는 교대부양 설정압력이었고 종속(측정)변수는 $TcPO_2$, $TcPCO_2$였다. 즉 교대부양 설정압력의 변화에 따른 $TcPO_2$, $TcPCO_2$ 값의 변화를 통하여 인체 연조직의 반응특성을 규명하였다. 본 연구에서는 $TcPO_2$, $TcPCO_2$ 각각에 대하여 생리학적으로 동적인 관류특성을 나타낼 수 있는 평균(average), 최저(minimum), 최대회복(maximum recovered) 및 관류범위(perfusion range)의 파라미터를 추출하여 분석에 활용하였다.

설정압력에 따른 연조직의 반응특성에 대한 유의성 검증을 위하여 일원배치 분산분석(one-way ANOVA) 방법이 활용되었고, 사후검정(Post Hoc Test)을 위한 방법으로 Duncan 분석이 수행되었다. 그리고 부하압력의 크기에 따른 평균 $TcPO_2$와 최대 $TcPCO_2$를 추정하기 위한 회귀식을 구하기 위하여 회귀분석을 수행하였다. 이상의 분석은 SPSS v12.0(SPSS Inc., USA)를 활용하여 수행되었다.

3. 결 과

3.1 교대부양 부하압력의 정량적 특성

교대부양 압력 프로파일에 따라 매트리스의 공기-셀에 공급되는 주기적인 부하압력 측정값의 통계적 특성은 표 2와 같다. 분석대상 시간 동안 인체에 가해진 부하압력의 총량인 압력 임펄스(pressure impulse)값은 설정압력 20 mmHg일 때 17548.59mmHg sec로 이때의 값을 기준으로 각 설정압력 별로 압력 임펄스 비(PI ratio)는 차례로 100.00%, 139.40%, 177.48%, 214.44%, 252.64%가 된다. 즉 압력 임펄스는 실제로 20mmHg의 설정압력을 기준으로 증가하는 변화 비율 100%, 150%, 200%, 250%, 300%과 단순히 같지 않으며 또한 교대부양 압력 프로파일의 형상에 따라서도 다르게 됨을 추정할 수 있다. 이는 그림 4의 압력 프로파일 형상에서와 같이 배기구간에서 실제 압력은 부분적으로 설정압력보다 낮아서 전체 주기 동안의 평균 부하압력은 실제 설정압력보다 작기 때문이다.

표 2. 공기-셀 설정압력의 측정값 특성

Ps(mmHg)	20	30	40	50	60
Pressure impulse (mmHg sec)	17548.59	24463.50	31145.85	37630.61	44335.06
PI ratio (%)	100.00	139.40	177.48	214.44	252.64
Mean ± SD	17.55 ±4.71	24.46 ±9.29	31.15 ±13.57	37.63 ±17.90	44.34 ±22.19
Median	20.7	30.9	40.6	50.2	60.0
Min.	8.8	8.4	8.9	8.5	8.7
Max.	22.4	33.3	43.1	52.4	63.4

본 연구에서 설정압력의 크기는 측정된 중앙값에 근사한 결과를 나타내고 있다(그림 5). 따라서, 여러 유형의 APAM 제품간 특성을 실험적으로 상대 비교하기 위해서는 단순히 설정압력만을 기준으로 할 것이 아니라 교대부양 압력 프로파일의 형상에 의해 결정되는 교대부양 압력 프로파일 듀티(alternating profile duty)와 그에 따라 결정되는 압력 임펄스의 양을 같이 고려해야 할 것이다.

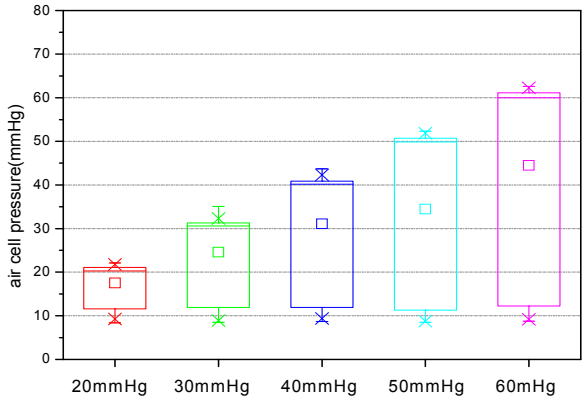

그림 5. 교대부양 압력 프로파일 부하압력의 통계적 특성

3.2 교대부양 부하압력이 조직 관류특성의 동적인 변화에 미치는 영향

설정된 교대부양 압력 프로파일에 따라 주기적으로 매트리스 공기-셀에 압력이 공급→유지→배기되어 천골부 연조직에 외부 부하압력이 동적으로 가해지면 관류특성도 주기적으로 동적인 변화를 나타낸다. 그림 6은 천골부에 가해지는 주기적 부하압력 변화에 따른 $TcPO_2$, $TcPCO_2$ 반응의 상관관계를 나타내고 있다.

그림에서와 같이 공기-셀의 압력이 증가(inflation start)하여 접촉압력이 발생하기 시작하면(①) 관류폐색(perfusion occlusion)에 의해 혈류와 산소공급이 줄어들기 때문에 연

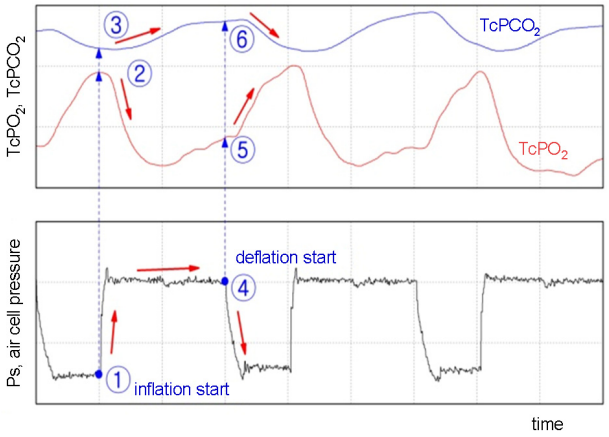

그림 6. 공기-셀에 작용하는 교대부양 부하압력(Ps)의 주기적 변화가 $TcPO_2$, $TcPCO_2$ 반응에 미치는 영향

조직 내 $TcPO_2$ 값이 감소하기 시작하고(②) 동시에 혈류장애에 의한 대사 부산물의 가스교환도 줄어들어 $TcPCO_2$는 증가하기 시작한다(③). 이러한 특성은 공기-셀의 압력이 유지되는 동안 지속되는 경향을 보인다. 일정한 시간이 경과한 후 공기-셀의 배기가 시작(deflation start)되어 압박이 해소되기 시작하면(④) 관류회복(perfusion recovery)이 일어나는데 압박되었던 부위의 혈류개선에 의해 산소공급과 가스교환이 회복되므로 이 때의 $TcPO_2$ 측정값은 저점에서 회복되어 증가하기 시작하며(⑤) $TcPCO_2$는 감소하기 시작한다(⑥). 이와 같이 주기적으로 작용하는 외부 부하압력에 대해 $TcPO_2$는 반대의 위상(out of phase)을, $TcPCO_2$는 동일한 위상(in phase)의 변화추이를 나타냄을 알 수 있다.

3.3 교대부양 압력 프로파일의 설정압력 변화가 관류특성 파라미터에 미치는 영향

일반적으로 인체 연조직에 APAM에서 발생하는 교대부양 부하압력이 작용할 때 관류특성의 동적인 변화에 미치는 영향을 분석하기 위해 관심 대상이 되는 중요 파라미터를 다음과 같이 설정하였다. $TcPO_2$에 대해서는 관심 주기 동안 부하압력이 작용하는 부위의 평균적인 혈류 정도를 나타내는 지표인 평균 $TcPO_2$(average $TcPO_2$), 외부 압박에 의해 발생하는 허혈 정도를 나타내는 지표인 최저 $TcPO_2$(min $TcPO_2$), 압박이 해소된 상태에서 혈류가 회복되는 정도를 나타내는 지표인 최대회복 $TcPO_2$(max recovered $TcPO_2$) 및 최대회복과 최저값의 차이로 외부 압박에 대해 관류의 동적인 변화범위 정도를 나타내는 지표인 $TcPO_2$ 관류범위(perfusion range of $TcPO_2$) 특성값 등을 고려할 필요가 있다.

한편 $TcPCO_2$에 대해서는 허혈 등에 의해 가스교환 장애로 이산화탄소가 증가하므로서 혈류의 부정적인 영향 정도를 나타내는 평균 $TcPCO_2$(average $TcPCO_2$), 혈류개선에 의해 이산화탄소분압이 감소되는 정도를 나타내는 지표인 최저 $TcPCO_2$(min TcPCO2), 혈류장애 정도가 극대화되어 나타나는 지표인 최대 $TcPCO_2$(max $TcPCO_2$) 및 외부의 주기적 부하변동에 따라 이산화탄소분압의 동적인 변동범위를 나타내는 지표인 $TcPCO_2$ 관류범위($TcPCO_2$ perfusion range) 등이 고려 대상이 된다.

그림 6과 같이 나타나는 각 피실험자 별 동적 관류특성 측정값에서 평균, 최저, 최대회복 및 관류범위에 대한 값을 추출하였다. 이들 값을 데이터로 이용하여 교대부양 설정압력의 변화 요인이 $TcPO_2$, $TcPCO_2$ 각 4개의 파라미터에 미치는 영향을 규명하기 위해 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 수행하였다(표 3).

분산분석의 결과 $TcPO_2$의 경우 유의수준 0.01에서 평균 $TcPO_2$, 최저 $TcPO_2$ 및 $TcPO_2$ 관류범위는 유의한 차이를 나타내고 최대회복 $TcPO_2$는 유의한 차이를 보이지 않았다. 한편 $TcPCO_2$의 경우는 최대 $TcPCO_2$, $TcPCO_2$ 관류범위가 유의한 차이를 나타내었고 평균 $TcPCO_2$, 최저 $TcPCO_2$는 유의한 차이를 보이지 않았다.

부하압력이 가해지지 않은 상태의 초기 측정값은 표 4와

표 3. 설정압력(Ps) 변화에 따른 $TcPO_2$, $TcPCO_2$ 관류특성 파라미터의 유의성 검정 ANOVA 테이블

가스분압	관류특성 파라미터	항목	제곱합	자유도	평균제곱	F	유의확률
$TcPO_2$	평균 $TcPO_2$ (average $TcPO_2$)	집단-간	4389.559	4	1097.390	4.498	.004*
		집단-내	10978.185	45	243.960		
		합계	15367.744	49			
	최저 $TcPO_2$ (min. $TcPO_2$)	집단-간	7054.087	4	1763.522	7.646	.000*
		집단-내	10379.018	45	230.645		
		합계	17433.105	49			
	최대회복 $TcPO_2$ (max. recovered $TcPO_2$)	집단-간	504.279	4	126.070	.399	.808
		집단-내	14227.178	45	316.160		
		합계	14731.457	49			
	$TcPO_2$ 관류범위 ($TcPO_2$ perfusion range)	집단-간	7743.736	4	1935.934	6.995	.000*
		집단-내	12454.264	45	276.761		
		합계	20198.000	49			
$TcPCO_2$	평균 $TcPCO_2$ (average $TcPCO_2$)	집단-간	107.023	4	26.756	1.023	.406
		집단-내	1177.373	45	26.164		
		합계	1284.396	49			
	최저 $TcPCO_2$ (min. $TcPCO_2$)	집단-간	80.394	4	20.098	1.660	.176
		집단-내	544.906	45	12.109		
		합계	625.300	49			
	최대 $TcPCO_2$ (max. $TcPCO_2$)	집단-간	1143.232	4	285.808	3.822	.009*
		집단-내	3365.353	45	74.786		
		합계	4508.585	49			
	$TcPCO_2$ 관류범위 ($TcPCO_2$ perfusion range)	집단-간	1723.058	4	430.765	7.229	.000*
		집단-내	2681.647	45	59.592		
		합계	4404.705	49			

*significance at 0.01 level

표 4. 피실험자 무부하 상태 초기 $TcPO_2$, $TcPCO_2$(mmHg)

분압	Ps20	Ps30	Ps40	Ps50	Ps60
$TcPO_2$	60.60±17.86	58.80±12.34	63.00±12.56	61.80±16.13	63.40±15.31
$TcPCO_2$	41.20±2.70	41.20±3.19	39.90±3.98	38.30±3.95	38.50±4.30

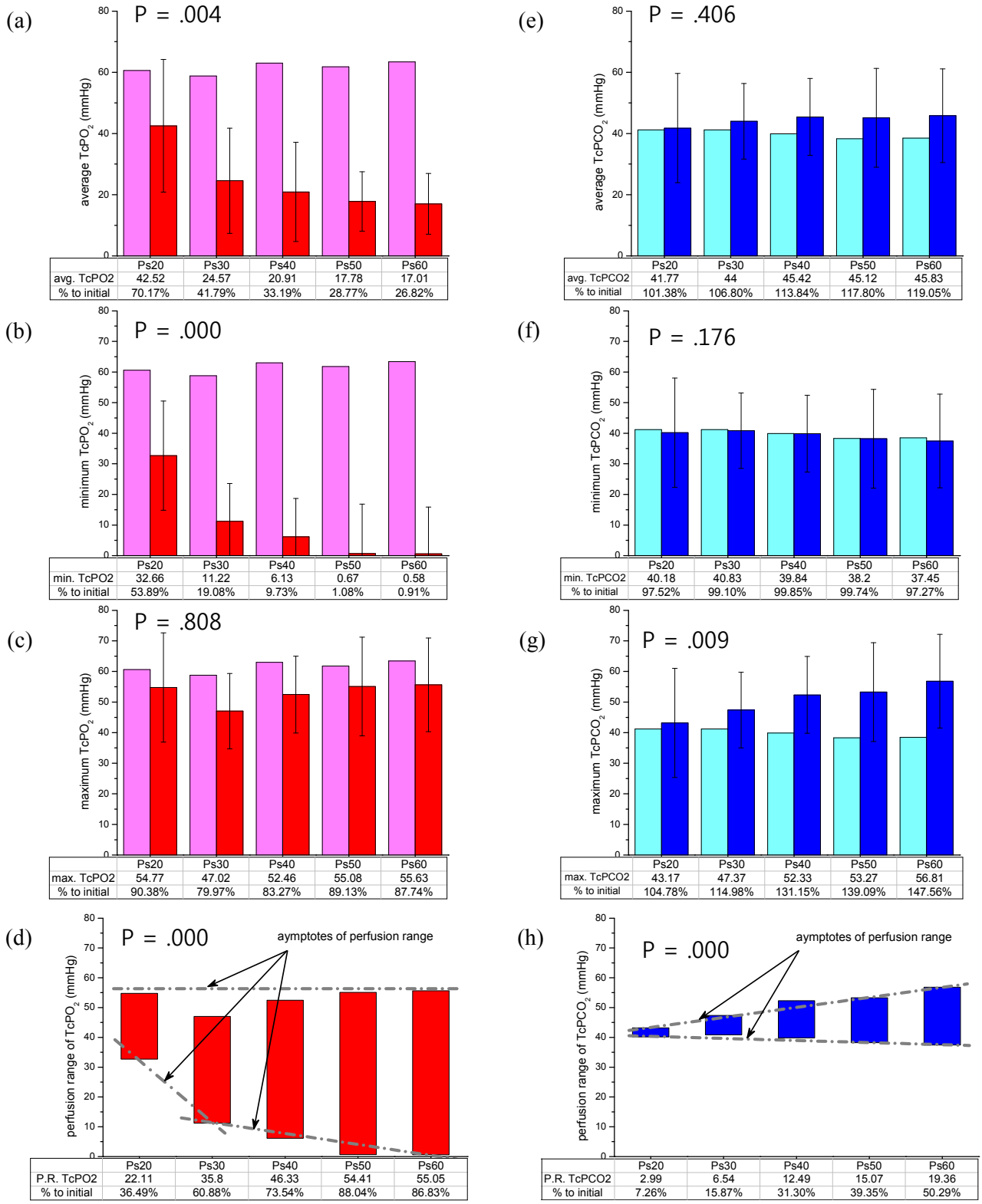

그림 7. 교대부양 압력 프로파일의 설정압력 변화가 $TcPO_2$, $TcPCO_2$ 관류특성 파라미터에 미치는 영향

같이 $TcPO_2$가 58.80~63.40mmHg, $TcPCO_2$는 38.30~41.20mmHg의 범위에 있어 실험조건 별로 유의한 차이를 보이지 않았다. 설정압력이 각기 다른 주기적 부하압력이 관류특성에 미치는 영향을 상대적 비교를 통해 이해하기 위해 실험이 시작되기 전 무부하 상태의 초기 $TcPO_2$, $TcPCO_2$와 주요 관류특성 파라미터 값을 비교한 결과를 그림 7에 나타내었다. 그림의 (a), (b), (c)와 (e), (f), (g)의 이중 막대 그래프 중 왼쪽은 각각 무부하 상태의 초기 $TcPO_2$와 $TcPCO_2$ 값을 나타내고 오른쪽은 관류특성 파라미터의 측정값 평균이다. 또한 측정값 평균, 무부하 초기값에 대한 측정값 평균의 백분율 값(% to initial)을 그림의 하단부에 표로 나타내었다.

그림 7(a)의 표에서 설정압력이 20mmHg에서 60mmHg로 증가하는데 따라 평균 $TcPO_2$ 값은 42.52±21.67mmHg에서 17.01±9.91mmHg까지 점차 감소하는 추세를 나타내었다. 20mmHg 설정압력에서는 무부하 상태에 비해 70.17% 수준으로 떨어지고 설정압력 증가에 따라 60mmHg에서는 약 1/4수준인 26.82%까지 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 이러한 결과는 외부 부하가 커질 수록 압박부위의 혈류장애에 의해 산소공급이 줄어드는 생리적인 반응에 대한 직관적 이해와 잘 일치하는 것을 확인할 수 있다.

(b)에서 최저 $TcPO_2$ 값은 설정압력 변화에 따라 32.66±24.45mmHg에서 0.58±0.55mmHg까지 급격히 감소하는 경향을 보이는데 이 측정값이 절대적으로 적어지면 측정부위가 허혈 상태에 놓여있게 되는 것을 확인할 수 있는 중요한 지표가 된다. 20mmHg 조건에서 무부하 상태에 비해 53.89% 수준의 최저 $TcPO_2$ 값이 부하압력 증가에 따라 급격히 감소하여 60mmHg일 때 거의 영에 가까운 값까지 떨어진다. 측정결과에서는 40mmHg 설정압력에서 이미 무부하 상태에 비해 10% 이하로 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

(c)에 나타낸 최대회복 $TcPO_2$는 설정압력의 변화에 따라 유의한 특성을 보이지 않고 47.02~55.63mmHg의 범위를 나타내었다. 이 값은 외부의 교대부양 압력과 반대의 위상으로 주기적 변동하는 $TcPO_2$ 값이 압박 해소단계에서 어느 수준까지 관류가 회복하는 지를 나타내는 지표로 활용될 수 있는 것이다. 그림에서와 같이 부하압력 크기에 따라 유의한 차이를 보이지 않고 있지만, 무부하 상태의 초기 $TcPO_2$에 비해 79.97~90.38%의 범위를 나타내고 있다.

(d)에서 동적인 관류변화의 최대값에서 최저값 사이의 차이를 나타내는 $TcPO_2$ 관류범위는 22.11±13.42mmHg에서 55.05±18.13mmHg까지 증가하는 결과를 나타내고 있다. 주기적 변동의 상한과 하한범위를 확인할 수 있는 지표로 그림에서와 같이 $TcPO_2$ 관류범위는 초기 무부하 상태의 값에 비해 36.49% 수준에서 88.04% 수준까지 증가하는 것을 확인할 수 있다.

(e)에서 평균 $TcPCO_2$ 값은 설정압력이 20mmHg에서 60mmHg로 증가하는데 따라 41.77±3.05mmHg에서 45.83±5.03mmHg로 변화하여 $TcPO_2$에 비해 상대적으로 변동의 폭이 크지 않으며 유의한 차이를 보이지는 않고 있다. 평균 $TcPCO_2$ 측정값 변화는 무부하 상태의 초기값에 비해 101.38%에서 119.05%까지 점증하는 추세를 보이고 있다.

(f)에서 최저 $TcPCO_2$ 값은 40.18±2.92mmHg에서 37.45±3.69mmHg로 감소 추세이지만 초기값 대비 97.52%에서 98.2%까지 거의 변화를 나타내지 않고 있다. 역시 초기값에 비해 최저 $TcPCO_2$ 변동폭은 매우 적은 것을 확인할 수 있으며 이를 통해 부하압력의 증가는 최저값의 변화에 크게 영향을 미치지는 못하는 것으로 이해될 수 있다.

(g)에서 최대 $TcPCO_2$ 값은 43.17±3.19mmHg에서 56.81±8.10mmHg로 증가하는 추세를 나타내고 있다. 상대적 변화는 부하압력 증가에 따라 초기값 대비 104.78%에서 147.56%까지 대폭 증가하는 경향을 나타내고 있다.

(h)에서 $TcPCO_2$ 관류범위는 2.99±1.84mmHg에서 19.36±7.44mmHg로 증가하는 추세를 나타내고 있다. $TcPCO_2$ 관류범위는 부하압력의 증가에 따라 점증하는 패턴을 보이는데 그 비율은 초기값 대비 7.26%에서 50.29%까지 증가하고 있다.

분산분석 결과 통계적으로 유의한 차이를 보인 5개의 관류특성 파라미터에 대해 유의수준 .05에서 Duncan 사후검정을 수행한 결과를 표 5에 나타내었다. 평균 $TcPO_2$와 최저 $TcPO_2$ 모두 20mmHg와 30, 40, 50, 60mmHg 두 개의 부집단으로 나뉘어져 30mmHg 이하의 상대적으로 낮은 압력구간에서 변동성이 커지며 30mmHg 이상의 압력구간

표 5. 관류특성 파라미터의 Duncan 사후검정(p<0.05)

Perfusion parameter	p value	Mean	Ps	Duncan test
average $TcPO_2$	0.004	42.522	20	A
		24.574	30	B
		20.910	40	B
		17.783	50	B
		17.005	60	B
min $TcPO_2$	0.000	32.660	20	A
		11.220	30	B
		6.130	40	B
		0.670	50	B
		0.580	60	B

표 5. 관류특성 파라미터의 Duncan 사후검정(p<0.05) (계속)

Perfusion parameter	p value	Mean	Ps	Duncan test
$TcPO_2$ perfusion range	0.000	22.110	20	A
		35.800	30	AB
		46.330	40	BC
		54.410	50	BC
		55.050	60	C
max $TcPCO_2$	0.009	43.170	20	A
		47.370	30	AB
		52.330	40	BC
		53.270	50	BC
		56.810	60	C
$TcPCO_2$ perfusion range	0.000	2.990	20	A
		6.540	30	AB
		12.490	40	BC
		15.070	50	C
		19.360	60	C

에서는 부하압력이 증가하는데 따라 평균과 최저 $TcPO_2$는 계속 감소하지만 그 변화율은 적어지는 것을 확인할 수 있다. $TcPO_2$ 관류범위의 경우 20mmHg 조건이 50, 60mmHg의 상대적으로 강한 설정압력에 비해 유의하게 적은 값을 나타내었다.

한편 최대 $TcPCO_2$의 경우는 20mmHg 조건이 60mmHg 조건에 비해 유의하게 낮은 값을 나타내었고, $TcPCO_2$ 관류범위의 경우는 20mmHg 조건이 50, 60mmHg 조건에 비해 유의하게 적은 변동범위를 나타내고 있음을 알 수 있다.

그림 8은 관류특성 파라미터에 대한 회귀분석 결과를 보여주고 있다. 평균 $TcPO_2$는 부하압력이 증가하는데 따라 지수적으로 감소하는 경향을 보이며 지수함수 파라미터 y_0=17.18, A_1=250.01, t_1=8.72로 근사화되고 결정계수 R^2=0.995로 매우 잘 일치하고 있음을 알 수 있다(p<0.01). 이러한 결과는 정적인 부하압력의 변동에 따라 $TcPO_2$ 측정값에 대한 선행 연구결과와 잘 일치하고 있다. 본 연구에서 부하압력이 주기적으로 변하는 동적인 조건에서 실험을 진행하였지만, 관심 주기 동안의 평균적인 산소분압은 정적인 부하조건의 경우와 같이 부하압력의 변화에 따라 지수적으로 감소하는 경향을 나타내었다.

또한 부하압력이 증가하는데 따라 최대 $TcPCO_2$의 변화는 t-값이 8.834(p< .01)로 통계적 유의수준에서 영향을 미치는 것으로 나타나고 있다. 회귀모형은 F값이 78.04 (p< .01), 회귀식에 대한 결정계수 R^2=0.963으로 매우 높은 선형적 상관관계를 나타내고 있음을 잘 보여주고 있다.

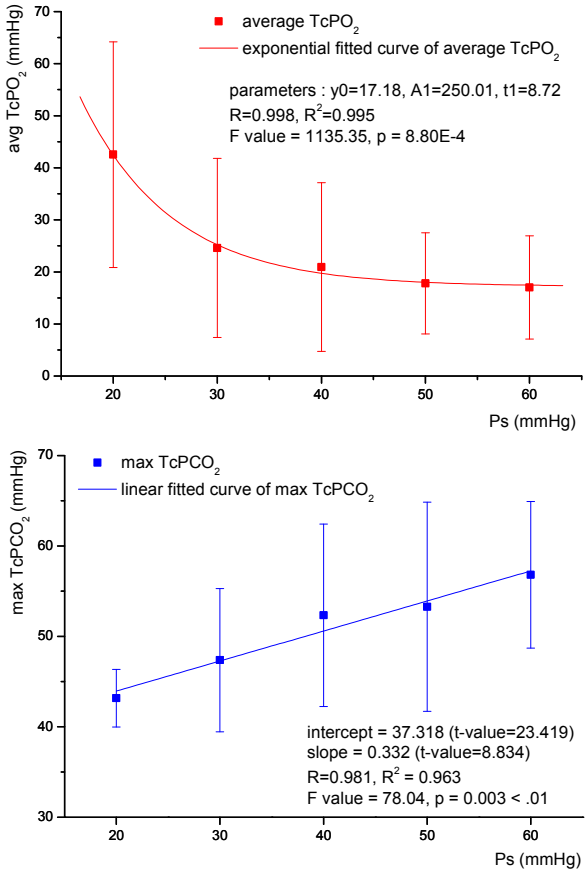

그림 8. 관류특성 파라미터 평균 $TcPO_2$(위), 최대 $TcPCO_2$(아래) 회귀분석 결과

4. 고 찰

대부분의 연구결과에서 외부의 부하압력이 증가하면 혈관폐색에 의해 허혈(ischemia)을 유발하고 이러한 상태가 지속되면 조직의 괴사를 일으키는 것으로 이해되고 있다. 욕창발생의 원인으로는 여러 가설이 있는데 가장 대표적으로 모세관 관류(capillary perfusion)의 장애에 의한 허혈이 주목되고 있으며, 허혈 후 관류가 재개될 때 발생하는 재관류 손상(reperfusion injury) 역시 욕창에 영향을 미치는 과정으로 이해되고 있다. 이외에도 간질액압력(interstitial pressure), 간질액(interstitial fluid), 림프유동(lymph flow) 및 이온농도의 변화도 영양물질과 대사 폐기물의 흐름을 방해하여 대사균형을 무너뜨리는 것으로 이해되고 있다. 또한 세포의 변형도 욕창의 한 원인으로 꼽히고 있다. 결과적으로 욕창의 원인은 매우 다양하고 여러 요인들이 복합적으로 작용하지만 외부 부하압력의 특성에 의해 많은 영향을 받는

것으로 볼 수 있다.

일반적인 욕창방지용 방석, 침대용 매트리스 등은 접촉면적을 넓혀 정적으로 압력을 분산하는 효과를 나타낸다. 정적인 부하가 조직에 미치는 영향은 오래 전부터 많은 연구자들의 관심을 기울인 분야로 작용압력과 접촉 유지시간의 상관관계로부터 욕창발생 위험 정도를 평가할 수 있는 압력·시간위험선도(PPTC, pressure-time tolerance curve)를 실험적인 방법으로 구하여 발표하였다(Reswick and Rogers, 1976). 한편으로 외부 압박에 의해 모세혈관의 폐색이 발생하는 것과 관련하여 모세혈관압을 측정하여 허용압력의 기준으로 사용하는 시도가 있었다.

그러나 욕창예방 교대부양 매트리스와 같이 주기적으로 동적인 부하가 작용, 해소를 반복하는 조건에 대한 연구는 실제의 상황과 다르거나 제한적인 조건에서 진행되어 왔다. 즉, 동적인 부하에 대한 연구는 크게 두 가지 방향으로 진행되었는데, 첫째는 피실험자가 엎드린 상태에서 천골부, 발꿈치 등 인체의 관심 부위에 동적으로 점부하(point pressure load)를 주어 관류특성이 변화하는 것에 대한 실험 연구를 하는 방식으로 실제 APAM을 사용할 때의 자세와 부하조건이 상이하여 직접적인 욕창 리스크의 상관관계 규명에 한계를 보이고 있다(Bader, 1990; Collin and Saumet, 1996). 둘째는 기존의 상용 APAM제품의 제어기와 공기 공급계통을 그대로 사용함으로써 연구의 목적에 적합한 부하조건 설정이 사실상 불가능하며 각각의 제품별 압력 프로파일의 특성도 다르므로 실험적 연구의 결과도 해당 제품의 특성에 국한되어 일반화된 인체 반응의 특성에 대한 정량적 평가 혹은 관련 제품간의 비교 연구가 어려웠다(Rithalia and Gonsalkorale, 2000; Vanderwee et al., 2008).

본 연구에서는 이러한 기존 연구의 한계를 극복하기 위해 연구목적에 적합한 전용 공기공급장치 및 측정장치를 고안하였고 대표적인 교대부양 매트리스의 공기-셀을 사용하여 피험자가 누워 있는 상태에서 실제 사용조건과 동일한 부하압력을 인가할 수 있는 방법을 채택하였다. 또한 부하압력을 정량화하기 위해 교대부양 압력 프로파일(Won and Song, 2010)의 개념을 사용하여 교대부양 주기, 설정압력을 임의로 원하는 조건에 맞춰 설정하고 정의된 압력 프로파일에 따라 공기 공급계통을 제어하여 구현할 수 있는 시스템을 개발하여 사용하였다. 이러한 실험적 방법의 적용을 통해 실제 APAM 부하 상태와 동일한 조건에서 정량화된 부하압력을 인체에 인가하여 조직의 생리적 반응에 대한 정량적 연구가 가능하게 되었다.

기존 유사한 선행 연구와 달리 본 논문의 의미 있는 주요 연구결과는 크게 세 가지로 첫째, 교대부양 부하압력의 특성을 교대부양 압력 프로파일의 개념을 적용하여 정량화하고 실제 사용상황과 동일한 부하조건에서 실험적으로 제품간 특성을 비교 분석할 수 있도록 한 것이다. 둘째, 교대부양 부하압력에 따라 조직 내 관류변화를 동적인 형태로 파악할 수 있게 된 것이다. 셋째, 동적인 관류특성 파라미터를 새롭게 제안하여 부하압력의 변화가 조직 내 생리적 반응에 미치는 영향을 구체적으로 이해할 수 있게 된 것 등이다. 이러한 연구결과의 깊이 있는 이해를 바탕으로 동력형 욕창예방제품의 설계, 효과적인 작동조건 설정과 사용방법에 대해 다양한 활용 가능성을 높인 것으로 사료된다.

먼저 현재까지 APAM의 제품특성에 대한 연구방법이 일관된 기준과 타당성을 확보하지 못해 적당하게 설정한 작동조건에서 단순 비교하는 방법을 사용하고 있었으나, 본 연구에서 부하압력의 변화 정도는 단순히 설정압력의 변화 비율과 일치하지 않고 있음을 확인하였다. 이러한 연구결과를 바탕으로 부하조건은 교대부양 압력 프로파일의 형상에 따라 달라질 수 있어서 실제로는 교대부양 압력 프로파일 듀티특성과 관심 주기 동안 인가된 압력 임펄스 총량을 같이 고려해야 하는 것을 제안하였다.

관류특성의 동적인 변화에 대해 살펴보면 급기→유지→배기구간으로 구성되어 순차적으로 반복되는 교대부양 주기에 따라 부하압력이 인가되면 압박부위에서 폐색이 시작되어 혈류와 동반되는 산소분압이 감소하고 이러한 경향은 유지구간 동안 지속되며, 배기구간에서 압박이 해소되기 시작할 때 혈류개선에 의해 산소분압이 회복되는 경향을 확인할 수 있었다.

산소분압은 부하압력의 주기적 변화패턴과 반대의 위상을 보이며 이 과정에서 설정압력이 커지는데 따라 평균 $TcPO_2$와 최저 $TcPO_2$ 값이 각기 감소하는 추세를 보여 부하압력의 증가가 생리적인 관류특성을 떨어뜨리는데 중요한 영향을 미치는 것을 확인하였다. 허혈 상태에서 압박이 해소되면 관류회복이 발생하는데(Harel, 2008) 이 때 어느 수준까지 회복되는가는 동적인 관류특성을 이해하는데 중요한 의미가 있다. 본 연구에서는 부하압력의 크기에 따라 유의한 차이를 보이지는 않았으나 무부하 상태의 초기값에 대해 약 80~90% 수준까지 회복되는 결과를 보이므로 반복적인 교대부양 부하가 주어질 때 관류특성은 초기 무부하 수준으로는 회복하지 못하고 어느 정도 한계가 있는 것으로 나타났다. 주기적인 부하 상태에서 어느 수준까지 관류회복이 이루어질 수 있는지에 대한 좀더 명확한 이해를 위해 외부부하의 설정압력과 교대부양 주기 등 다양한 부하조건의 변화를 주어 실험적인 추가 연구가 필요하다. 또한 이러한 특성은 실제 APAM 사용조건에서와 같이 장기간 교대부양 부하 상태에서 피로 혹은 시효효과(fatigue or aging effect)에 의해 최대회복 수준이 시간이 지날수록 떨어지는지 등에 대한 추가적인 연구도 매우 의미 있을 것으로 판단된다.

또한 부하압력이 증가하는데 따라 최저 $TcPO_2$ 값이 감

소하면서 관류범위가 점증하는 추세를 보이는 것은 동적인 관류특성의 중요한 현상 중 하나로 판단된다. 즉, 관류범위의 상단인 최대회복 $TcPO_2$는 부하압력에 크게 영향을 받지 않고 거의 일정한데 비해 하단인 최저 $TcPO_2$ 값이 급격히 감소하는 양상으로 이로부터 관류범위가 증가하는 것은 최저 $TcPO_2$ 값의 감소에 주로 영향을 받는 것으로 확인할 수 있다. 이러한 결과로부터 관류범위의 동적인 특성은 부하압력이 낮을 때는 관류 흐름이 크게 영향을 받지 않고 상대적으로 높은 산소분압 수준의 좁은 범위 내에서 주기적으로 변화하지만 높은 부하압력에서는 산소분압이 거의 영에 가깝게 낮아졌다가 다시 일정한 상단의 범위까지 회복하여 큰 폭의 범위 내에서 주기적인 관류특성을 나타내는 것을 알 수 있다.

한편 이산화탄소분압은 부하압력이 증가, 감소하는데 따라 같은 위상으로 반응하는 결과를 보이는데 관류특성 파라미터 중 평균 $TcPCO_2$는 부하압력이 증가하는데 따라 점증하는 추세를 보이고 최저 $TcPCO_2$는 거의 변화가 없으며 각각은 통계적 유의성을 보이지는 않고 있다. 특히 최저 $TcPCO_2$ 값의 유의성은 분산분석의 결과에서 볼 수 있듯이 집단-간 제곱합이 작기 때문인데 결과적으로 부하압력이 증가하는데도 불구하고 최저 $TcPCO_2$ 값이 거의 변하지 않는 것은 오차 요인보다는 고유한 관류특성인 것으로 판단된다.

외부 부하에 의한 압박이 커지는데 따라 해당 부위의 최대 $TcPCO_2$는 큰 폭으로 진동(oscillation)하는 경향을 보이는데 이는 허혈의 정도가 심해지면서 혈류장애로 가스교환이 원활하게 이루어지지 못해 조직 내에서 대사 부산물로 발생하는 이산화탄소가 혈류에 의해 회수되지 못해 증가하다가 압박이 해소되면 혈류가 급격히 회복되어 가스교환을 통한 이산화탄소의 회수가 신속하게 이루어지고 결과적으로 $TcPCO_2$가 감소하는 것을 알 수 있다. 실험에서 최대 설정압력인 60mmHg를 넘는 부하압력이 작용할 때 $TcPCO_2$ 값이 계속 증가할 것인지에 대한 추가적인 실험적 연구도 향후에 필요할 것으로 보인다. 이러한 반응결과는 $TcPCO_2$ 관류범위의 변화특성에도 그대로 영향을 미치게 된다. 즉, 관류범위의 하단인 최저 $TcPCO_2$ 값은 거의 변하지 않는데 비해 상단인 최대 $TcPCO_2$ 값이 급격히 변하면서 관류범위는 부하압력이 증가하는데 따라 계속 증가한다. 따라서 관류범위에 영향을 미치는 요인은 최저값의 감소와 최대값의 증가 두 가지로 볼 수 있으나 주로 최대 $TcPCO_2$ 값이 영향을 미치는 것으로 볼 수 있다. 또한 부하압력이 커지는데 따라 $TcPCO_2$ 관류범위는 발산하는 추세를 보이는데 관류범위의 발산 정도가 어느 정도까지 계속될 것인지 아니면 일정한 범위에 도달하면 포화될 것인지 규명이 필요할 것이다. 이상의 결과로부터 부하압력의 증가가 이산화탄소분압의 동적변화에 미치는 영향을 가장 잘 나타내는 지표가 되는 파라미터는 최대 $TcPCO_2$와 $TcPCO_2$ 관류범위인 것을 알 수 있다.

한편 그림 6에서 살펴본 바와 같이 주기적으로 변화하는 부하압력에 대해 $TcPO_2$는 반대의 위상으로, $TcPCO_2$는 동일한 위상으로 동적인 반응을 나타낸 것과 더불어 각각의 대응되는 관류특성 파라미터의 상관관계도 생리학적으로 의미 있는 결과로 판단된다. 즉, $TcPO_2$ 평균값이 부하압력의 증가에 따라 지수적으로 감소하는데 비해 $TcPCO_2$ 평균값은 점증하는 경향을 보이고 있다. 이는 부하압력이 작용하는 조직에서 혈류장애가 발생하여 산소의 공급과 이산화탄소의 회수가 저해되는 생리적 반응의 고유한 결과로 볼 수 있으며 부하압력의 증가에 대해 산소공급의 감소가 이산화탄소의 증가에 비해 더욱 민감하게 영향을 받는 것으로 이해될 수 있다. 또한 최소 $TcPO_2$는 감소하는 경향을 나타내는데 결과적으로 허혈의 정도가 높아지게 되며 이에 따라 최대 $TcPCO_2$는 증가하는 상관성을 보이는데 이는 평균값의 변화에 대한 위의 고찰에서와 같은 추이를 나타내고 있다. 따라서 동적인 관류특성의 평가는 평균 및 최저 $TcPO_2$와 평균 및 최대 $TcPCO_2$를 각각 상관지어 고찰하면 더욱 구체적으로 이해가 가능할 것으로 판단된다. 한편 최대회복 $TcPO_2$는 그 크기 측면에서 부하압력의 증가에 대해 유의한 변화를 보이지 않고 또한 최소 $TcPCO_2$도 마찬가지 경향을 보이는데 동적인 반응 측면에서는 그림 6에서와 같이 두 파라미터의 발생 시점이 거의 동시에 발생하는 특성과 관련 지을 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 대표적인 동력형 욕창예방제품인 APAM에 대해 가장 기본적인 작동조건인 설정압력의 변화가 인체조직의 생리적 반응에 미치는 영향을 분석하였다. 효과적인 연구수행을 위해 교대부양 압력 프로파일의 개념을 도입해서 정량화된 부하압력의 세기가 변할 때 욕창발생률이 가장 높은 천골부 연조직의 관류회복 특성을 동적으로 측정하였다. 연령이 높아지는데 따라 욕창발생 위험이 높아지는 특성을 감안하여 여성 5명, 남성 5명 등 10명의 고령자(67.50±4.09)를 대상으로 설정압력을 20, 30, 40, 50 및 60mmHg의 5수준으로 변화시키며 실험을 수행하였다.

교대부양 압력 프로파일의 개념을 적용하여 부하압력을 발생시킨 결과 인체에 가해지는 압력 임펄스의 총량은 단순히 설정압력에 비례하지 않으므로 APAM 제품간 특성을 상대비교 연구하기 위해서는 교대부양 압력 프로파일의 형상

과 그에 따라 결정되는 압력 임펄스의 양을 같이 고려해야 함을 제안하였다.

주기적으로 변화하는 교대부양 부하압력이 가해질 때 압박부위의 $TcPO_2$, $TcPCO_2$ 측정값의 동적인 변화는 부하압력의 증가, 유지 및 해소의 주기적 변화와 관련되어 동적인 변화 반응을 보인다. 부하압력의 변화에 대해 $TcPO_2$는 반대의 위상, $TcPCO_2$는 동일한 위상으로 변화하는 것을 확인하였다. 이러한 동적인 반응결과를 바탕으로 $TcPO_2$, $TcPCO_2$에 대해 각각 4개씩 모두 8개의 관류특성 파라미터를 설정하였다. 또한 설정압력의 변화를 요인으로 유의수준 0.01에서 분산분석을 통해 각 파라미터의 통계적 유의성을 검정하였다. 무부하 상태에서의 초기 관류특성 측정값은 $TcPO_2$가 60mmHg 내외, $TcPCO_2$는 40mmHg 내외의 범위에 있었다.

평균 $TcPO_2$(p<0.01)는 부하압력이 증가하는데 따라 감소하는 경향을 보이며 20mmHg 조건에서 무부하 상태에 비해 70.17%에서 최대부하인 60mmHg 조건에서 약 1/4 수준인 26.82%까지 감소하였다. 가장 위험한 상태의 허혈정도를 나타내는 최저 $TcPO_2$(p<0.01)도 설정압력 증가에 따라 감소하는 추세를 보이며 20mmHg 조건에서 53.89% 수준의 값이 40mmHg에서 10% 이하로 낮아지고 60mmHg 조건에서는 0.91%로 거의 영에 가깝게 떨어져 부하압력이 증가하는데 따라 욕창발생 위험이 높아지는 것을 직접적으로 확인할 수 있었다. 외부 압박이 해소되었을 때 관류회복정도를 나타내는 최대회복 $TcPO_2$(p>0.01)는 설정압력 변화에 따라 유의한 차이를 보이지 않으나 대체로 무부하 상태의 값에 비해 80~90% 수준까지 회복되는 특성을 나타내고 있어 교대부양 압력이 가해지는 동안은 무부하 상태의 수준까지는 회복하지 못하는 것을 확인할 수 있었다. $TcPO_2$ 관류범위(p<0.01)는 무부하 상태에 비해 36.49%에서 88.04%까지 증가 추세를 보이는데 상단의 최대회복 $TcPO_2$는 크게 변화하지 않는데 비해 하단의 최저 $TcPO_2$가 급격히 감소하면서 관류범위가 증가하여 주로 최저 $TcPO_2$의 영향을 받는 것을 확인할 수 있었다.

평균 $TcPCO_2$(p>0.01)는 통계적으로 유의한 차이는 보이지 않으나 무부하 상태의 측정값을 기준으로 101.38%에서 119.05%까지 증가하는 추세를 나타내었다. 최저 $TcPCO_2$(p>0.01) 역시 유의한 차이를 나타내지 않고 97.52~98.20% 범위에서 거의 변동이 없어 외부 부하압력의 증가에도 불구하고 일정한 저점을 나타내는 것으로 판단된다. 최대 $TcPCO_2$(p<0.01)는 초기값 대비 104.78%에서 147.56%까지 급증하는 추세를 보였다. $TcPCO_2$ 관류범위(p<0.01)는 부하압력의 증가에 따라 점증하는 추세를 보이는데 주로 최대값의 증가에 영향을 받는 것으로 나타났다.

관류특성을 직관적으로 가장 잘 나타내는 지표인 평균 $TcPO_2$에 대한 회귀분석의 결과 부하압력이 커지면서 지수적으로 감소하며 사후검정을 통해 부하압력 20~30mmHg를 기준으로 저압구간에서는 급격히 감소하며 고압구간에서는 완만하게 감소하는 특성을 나타냄을 확인하였다.

참고 문헌

Bader, D. L., The recovery characteristics of soft tissues following repeated loading, *Journal of Rehabilitation Research and Development*, 27(2), 141-150, 1990.

Bouton, *et al*. The etiology of pressure sores: skin deep or muscle bound?, *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 84, 616-619, 2003.

Carter, R., Transcutaneous Carbon Dioxide and Oxygen monitoring in the adult patient, *The Buyer's Guide to Respiratory Care Products*, (pp 102-109), European Respiratory Society, 2008.

Collin, D. and Saumet, J. L., Influence of external pressure on transcutaneous oxygen tension and laser Doppler flowmetry on sacral skin, *Clinical Physiology*, 16, 61-72, 1996.

Harel, F., *et al*. Arterial flow measurements during reactive hyperemia using NIRS, *Physiological Measurement*, 29, 1033-1040, 2008.

Jonsson, A., *et al*. Evaluation of antidecubitus mattresses, *Medical & Biological Engineering & Computing*, 43, 541-547, 2005.

Mathieu, A. and Mani, R., A review of the clinical significance of tissue hypoxia measurements in lower extremity wound management, *Int'l J. Lower Extremity Wounds*, 6(4), 273-283, 2007.

Makhsous, M., *et al*. Measuring tissue perfusion during pressure relief maneuvers: Insights into preventing pressure ulcers, *The Journal of Spinal Cord Medicine*, 30(5), 497-507, 2007.

NPUAP and EPUAP, Pressure ulcer prevention and treatment - clinical practice guideline, *National Pressure Ulcer Advisory Panel*, 2009.

Petersen, N. C., The development of pressure sores during hospitalization, *Bed sore biomechanics*, pp. 219-224, The MacMillan press, 1976.

Reswick, J. B. and Rogers, J. E., Experience at Rancho Los Amigos Hospital with devices and techniques to prevent pressure sores, *Bed sore Biomechanics*, 301-310., The Macmillan Press, 1976.

Rithalia, S. V. S. and Gonsalkorale, M., Quantification of pressure relief using interface pressure and tissue perfusion in alternating pressure air mattresses, *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 81, 1364-1369, 2000.

Tissue Viability Society, Laboratory measurement of the interface pressure applied by active therapy support surfaces: A consensus document, *Journal of Tissue Viability*, 19, 2-6, 2010.

Vanderwee, K., Grypdonck, M. and Defloor, T., Alternating pressure air mattresses as prevention for pressure ulcers: A literature review, *International Journal of Nursing Studies*, 45, 784-801, 2008.

Won, B. H. and Song, C. S., Alternating pressure profile characteristics of powered pressure ulcer preventing devices, *Journal of Ergonomic Society of Korea*, 29(4), 639-646, 2010.

Wywialowski, E. F., Tissue perfusion as a key underlying concept of pressure ulcer development and treatment, *Journal of Vascular Nursing*, March, 12-16, 1999.

저자 소개

원 병 희 bhwon@kitech.re.kr
한양대학교 대학원 기계설계·메카트로닉스공학과 박사수료
현 재: 한국생산기술연구원 실버기술개발단 수석연구원
관심분야: 생체공학, 고령친화 및 의료기기

송 창 섭 cssong@hanyang.ac.kr
한국과학원 기계공학과 박사
현 재: 한양대학교 기계설계·메카트로닉스공학과 교수
관심분야: 유공압시스템제어, 생산자동화

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2010년 08월 09일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2010년 09월 29일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2010년 10월 03일