

하지 허혈 유발에 따른 선형 운동 역치 변화[§]

이 용 우*[†] · 박 수 경*

* 한국과학기술원 기계공학과

Effect of Lower Limb Ischemia on Linear Motion Perception

Yongwoo Yi*[†] and Sukyung Park*

* Division of Mechanical Engineering, School of Mechanical, Aerospace and Systems Engineering, KAIST

(Received April 21, 2011 ; Revised August 24, 2011 ; Accepted August 25, 2011)

Key Words : Motion Perception(운동 지각), Somatosensation(체성감각), Balance(균형 능력), Ischemia(허혈)

초록: 말초 신경 병변 환자들에게 하지 체성감각의 저하는 균형 능력 저하와 관련이 있다. 일반적으로 균형 능력은 운동 결과를 측정하여 평가하여 왔다. 그러나 인체 움직임은 다양한 감각 신호들이 통합된 운동 지각에 의해 유발된다. 따라서, 본 연구에서는 하지 체성감각의 저하는 운동 지각 능력 또한 저하시킬 것이라는 가정하에, 이를 확인하기 위하여 허혈에 의한 하지 체성 감각 저하를 유도하였고, 이때의 피부 감각 민감도 및 선형 운동 방향 지각 능력의 변화를 측정 하였다. 이 결과 발바닥 체성감각 저하 유도 시에는 운동 지각 역시 저하되었다. 그러나 운동 결과에 해당하는 압력 중심은 변화하지 않았다. 따라서, 운동 지각 측정이 체성 감각 저하를 조기 발견할 수 있는 평가 방법으로 사용될 수 있음을 확인하였다.

Abstract: The lower limb somatosensory deficit observed among peripheral neuropathy patients is partially related to the decline in their balance ability. In general, balance ability has been examined by measuring the postural response (i.e., action). However, body motion is induced by integrated multisensory cues (i.e., motion perception). In this study, we hypothesized that the reduced lower limb somatosensation might also lower motion perception. We induced lower limb sensory deficits through ischemia and then measured the cutaneous sensory sensitivity and directional motion perception. The sensory deficit was successfully induced, and it also lowered the motion perception. However, the center of pressure (COP) variation did not significantly change under the sensory deficit. This result implies that measuring motion perception could enable the detection of precursors of sensory deficits.

1. 서 론

세계적으로 당뇨 환자의 비율이 꾸준히 늘고 있으며,⁽¹⁾ 이들은 다양한 합병증을 겪게 된다.⁽²⁾ 이러한 합병증 중 말초 신경계의 신경 병변이 높은 빈도로 발생하고 있다. 말초 신경계에 신경 병변이 발생한 경우, 상·하지의 기계 자극 수용기(mechanoreceptor)의 손상을 유발한다. 이러한 말초 신경 장애는 하지의 각 관절의 고유 감각 저하⁽³⁾ 및 발바닥의 피부 감각 저하를 유발한다.⁽⁴⁾ 이와 같은 하지 체성감각 저하는 운동 능력, 특히 균형

능력과 관련된 운동 능력의 저하를 동반하여 낙상의 빈도를 높이는데 일조하게 된다.⁽⁵⁾

이러한 말초 신경계의 이상으로 인한 균형 능력의 저하에 대하여 알아보기 위하여, 체성감각 저하에 의한 운동 능력 변화에 대하여 다양한 연구가 이루어지고 있다. 이때 신경 병변 환자의 경우에는 균형 능력이 저하된 상태이므로 낙상의 위험이 실제로 높으며, 낙상을 경험하였을 경우 부상의 정도가 심한 경우가 종종 발생한다. 이는 실제 환자군을 대상으로 한 실험 수행에 있어서 제한점으로 작용한다. 이를 극복하기 위하여 많은 연구에서 건강한 피험자를 대상으로 의도적으로 신경 병변을 모사한 감각 저하를 유발하였다. 비침습적으로 체성 감각을 저하시킬 수 있는 방법으로는 약품을 이용한 국소 마취방법,⁽⁶⁾ 얼음물과 같은 냉매를 이용하여 피부의 체온을 떨어뜨려서 감각 수

§ 이 논문은 2011 년도 대한기계학회 바이오공학부문 춘계 학술대회(2011. 4. 28.-30., 포항공대) 발표논문임

† Corresponding Author, ivanhoe@kaist.edu

© 2011 The Korean Society of Mechanical Engineers

용기의 반응을 저하시키는 방법,⁽⁷⁾ 그리고 구속구를 이용하여 허혈을 유발하여 감각능력을 저하시키는 방법이 있다.⁽⁸⁾

이 같은 방법들을 사용하여 감각을 저하시켰을 때의 균형기능 저하에 대한 많은 연구들은 외부로부터의 외란에 의한 자세 응답 특성을 측정하였다. Meyer 등⁽⁹⁾은 약물을 사용하여 발바닥을 마취하였을 때 좌우방향의 외란에 대하여 발목 관절 토크의 발생이 현저히 저하되는 것을 보고하였다. 또한 급격한 외란이 주어졌을 때의 자세 제어 응답을 연구한 결과, 발바닥 감각의 저하는 자세 제어 응답 역시 저하시킨다고 보고하였다.⁽¹⁰⁾ 허혈에 의한 감각의 저하를 연구한 Horak 등⁽¹¹⁾에 따르면, 가만히 서있을 때에는 자세 응답에 유의한 변화를 유발하지 못하였으나, 외란에 의한 동적인 자세 응답에 있어서는 유의한 변화를 유발하였다. 이러한 동적 외란에 대한 인체의 자세 제어 응답을 연구한 선행 연구들은 인체 자세 제어에 있어서 하지의 체성감각들이 큰 부분을 담당하고 있음을 시사한다. 그러나 인체 움직임은 일반적으로 다양한 감각 신호들을 신경계에서 통합하여 만든 운동 지각에 의해 유발된다. 즉, 운동 지각에 대하여 연구하는 것이 외부 자극에 대한 자세 응답을 측정하는 것보다 균형 능력 저하에 관한 보다 직접적인 연구가 될 것이다.

따라서 본 연구에서는 하지 체성 감각이 저하된 경우에 운동 지각 능력의 변화를 정량적으로 분석하였다. 하지 체성 감각의 저하는 운동 지각 능력 또한 저하시킬 것이라는 가정하에 이를 확인하기 위하여 허혈에 의한 하지 체성 감각 저하를 유도하였고, 이때의 피부 감각 민감도 및 선형 운동 방향 지각 능력의 변화에 대하여 측정하였다.

2. 실험

2.1 실험 개요

허혈에 의한 운동 지각의 변화를 확인하기 위하여 피험자들은 두 가지 실험 조건 하에서 실험을 수행하였다. 통제 조건(Control condition)에서 피험자는 맨발로 플랫폼 위에 서서 실험을 수행하였다. 발바닥 압각이 저하된 상황을 모사하기 위한 제한 조건(Reduced cutaneous condition)에서는 압박대를 착용하여 허혈을 유도한 상태에서 실험을 수행하였다.

2.2 피험자

균형 능력에 이상 병력이 없다고 설문에 응한

12명(연령: 23.1±2.2)의 건강한 청년 지원자를 대상으로 실험을 수행하였다. 모든 피험자는 낙상을 포함한 실험 도중 발생할 수 있는 잠재적인 위험 요소들에 대하여 충분한 정보를 제공받았다. 또한 이들은 카이스트 생명윤리심의위원회(IRB)의 승인을 받은 실험 참가 동의서를 검토하고 이에 서명하였다.

2.3 실험절차

실험 자극으로 단일 정현파형 가속도(0.25Hz)를 사용하였다. 선행 연구⁽¹²⁾ 결과 역치 범위가 1~2mG 였던 것을 고려하여, 시작 자극 크기는 1mG 를 사용하였다. 각 실험 자극에 의해 피험자가 서있는 지지면이 피험자의 왼쪽 또는 오른쪽으로 이동하였다(Fig. 1). 이동이 끝난 후 피험자는 손에 들고 있는 버튼을 눌러서 자신이 지각한 이동 방향을 보고하였다. 실험절차는 2AFC(Alternative Forced Choice)로 디자인 하여, 피험자들은 왼쪽과 오른쪽 두 가지의 선택권만을 가지며, 그들이 어떠한 움직임도 지각하지 못하여도 주어진 선택권 내에서만 응답하도록 하였다. 피험자들은 각 조건의 실험을 1 회씩 수행하였으며 각 조건의 수행 순서는 무작위로 배열하였다. 시각 정보를 차단하기 위하여 실험실은 소등되며 피험자들은 눈을 감은 채로 실험에 임하였다. 또한 불필요한 머리의 움직임을 제한하여 전정기관 신호를 일정하게 하기 위하여 목 보호대를 착용하였고, 청각으로 제공되는 정보를 차단하기 위하여 실험 중엔 헤드폰을 통해 백색잡음을 듣도록 하였다. 각 조건 사이에는 피험자의 피로를 방지하기 위하여 5 분간의 휴식 시간을 제공하였다.

실험 전, 지면반력기(Forceplate) 를 사용하여 각 조건에서의 지면 반력(Ground reaction forces)을 측

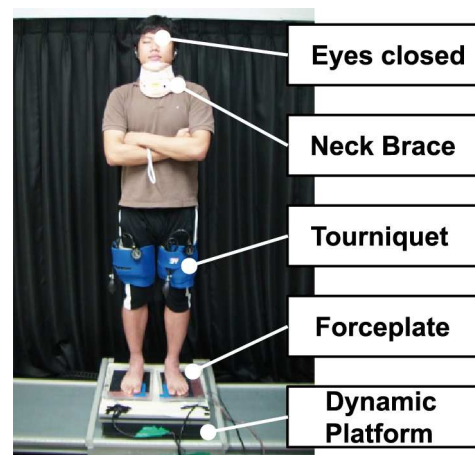


Fig. 1 Representation of the experimental set-up

정하였다. 자세 균형 조정능력을 확인하기 위하여, 각 조건에서 가만히 서있는 상태에서 압력중심(COP)을 90 초동안 측정하였다. 이때 피험자들의 시각 정보를 차단하기 위하여 눈을 감도록 하였으며, 피험자들의 발 위치는 양 발 사이를 약 8cm 띄우고, 외전 방향으로 양발을 각각 5° 외반시킨 상태를 유지하도록 하였다.

2.4 실험장비

피험자에게 선형 가속도 형태의 운동 자극을 제공하기 위하여 리니어 모터로 구동되는 다이내믹 플랫폼을 사용하였다. 다이내믹 플랫폼은 1500 mm의 구동거리를 가지며 리니어 모터(SWL-DE40, SWL-DE504; Sewoo Industrial co., Korea)를 사용하여 구동 시 발생하는 진동을 최소화 하였다. 다이내믹 플랫폼의 구동 분해능은 1 μ m 이고 정격 구동 추력은 1200N, 최대 추력은 3600N, 최대 가속도는 1G 로, 수행하고자 하는 실험에 적합한 사양을 갖추었다. 또한 플랫폼 구동에 필요한 컨트롤러는 LabVIEW(LabVIEW 2009; National Instruments Corporation, Austin, TX)를 기반으로 구성하여 원하는 형태의 프로파일로 플랫폼을 구동할 수 있도록 하였다.

2.5 허혈에 의한 감각 저하

피험자의 하지 체성 감각을 저하시키기 위하여 압박을 통하여 허혈을 유도하였다. 약품을 이용한 국소 마취의 경우 전문의의 참여가 필수적이므로 본 연구에서는 고려하지 않았다. 저체온 상태를 유지하여 마취하는 방법의 경우, 동적인 실험 환경에서는 냉매의 유동이 실험 결과에 영향을 미칠 수 있으므로 부적절하다. 따라서 본 연구에서는 체성 감각 저하 조건을 만들기 위하여 압박대를 이용하여 허혈을 유도하는 방법을 사용하였다.

기존의 연구들⁽⁸⁾은 완전한 감각 마비를 유도하기 위하여 220~350mmHg 정도의 압력을 사용하였다. 그러나 최근 발표된 연구⁽¹³⁾ 중 150mmHg 정도의 압박으로도 일정 수준의 발바닥 피부 감각 저하를 유도 할 수 있다는 결과에 따라, 피험자들의 고통을 최소화 하기 위하여 150mmHg 를 사용하였다. 피험자들은 각 다리의 대퇴 동맥을 압박하여 혈류를 차단하기 위하여, 무릎 위 10cm 위치에 압박대를 착용하였다. 감각이 충분히 저하된 상태에서 실험을 수행하기 위하여 압박대를 착용하고 10분 경과 후 실험을 수행하였다.

압박대 사용으로 인한 감각 저하정도를 확인하기 위하여, 각 조건에서의 발바닥 감각 민감도를

Semmes-Weinstein monofilament (Touch-test; North Coast Medical, Inc., Morgan Hill, CA)를 사용하여 측정하였다. 일반적인 민감도 측정 실험 절차에 따라,⁽¹⁴⁾ 엄지발가락, 첫 번째 중족골두(1st metatarsal head), 다섯 번째 중족골두(5th metatarsal head), 그리고 발꿈치의 민감도를 측정하였다. 또한 각 피험자의 발바닥 압력 민감도는 양 발의 총 여덟 곳에서 측정한 압력 민감도를 평균한 값으로 대표하였다.

2.6 적응형 역치 측정 방법

운동 지각 역치 측정을 위하여 Fig. 2 와 같이 Modified-PEST 방법을 사용하여 실험을 진행하였다. Modified-PEST 방법은 일반적인 PEST 방법과 계단형 진행 방법이 혼합된 형태이다. 계단형 진행 방법은 다른 적응형 방법들(ex. PEST, Maximum likelihood)과는 달리 구하고자 하는 결과가 어떠한 정신물리 함수 형태를 따를지에 대한 가정을 세우지 않아도 적용 가능하다.⁽¹⁵⁾ 따라서 예비 실험 데이터를 반복하여 수집하지 않고도 바로 실험에 적용이 가능한 장점이 있다. 일반적인 PEST 방법의 자극 크기 변화 규칙은 경험적인 방법에 근거한다.⁽¹⁶⁾ 또한 자극 증감을 변화시키는 기준이 되는 공식의 상수들이 실험적으로 도출되어야 한다는 단점이 있다. 따라서 각각의 실험에 부합하는 상수들을 예비 실험을 통하여 결정하여야 한다. 그러나 Modified-PEST 방법은 자극의 증감 변화 기준을 계단형 진행 방법을 따르므로 예비 실험에 의한 상수 결정 과정이 불필요 하다. 연구자에 따라 다양한 방식의 Modified-PEST 방법이 제안되었으나⁽¹⁷⁾ 본 연구에서는 Robinson 연구진이 제안한 방

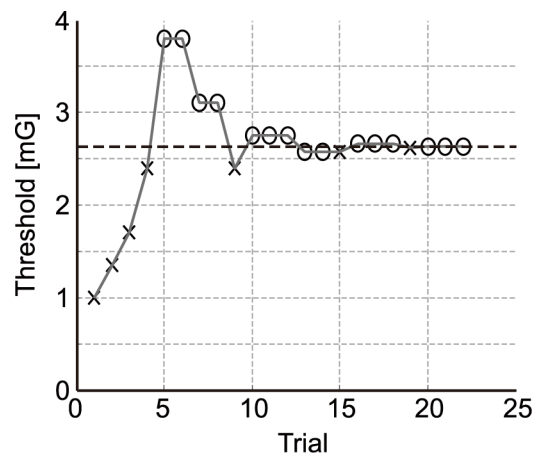


Fig. 2 Modified-PEST procedure. Circles present correct responded trials. And Crosses are wrong responded trials. Dashed line represents the estimated threshold value

법을 사용하였다.⁽¹⁸⁾ 이 방법은 실험 초기에는 2DIU(2 Down 1 Up) 기준을 채택하다가 실험횟수가 10 회를 초과하면 3DIU(3 Down 1 Up) 기준을 채택한다. 실험 종료 기준은 자극 변화의 폭이 일정 크기 이하로 줄어들어가 정해진 실험 횟수를 만족하면 종료하도록 하였다. 이러한 규칙에 따라 얻어진 역치는 정신 물리 함수의 75%의 값에 해당되는 값을 가진다.

2.7 실험 결과 분석

선형 운동 지각 역치는 자극 변화 폭이 수렴한 경우에는 수렴한 최종 값을 사용하고, 최종 실험 횟수에 도달하여 종료된 경우에는 피험자로부터 보고 받은 지각한 운동 방향 데이터를 정신물리함수(psychometric function)로 곡선 맞춤(curve fitting) 하여 구하였다. 피험자가 보고한 결과는 각 자극의 크기에서, 좌우 움직인 방향을 맞춘 확률로 표시 하였다. 좌우 방향의 역치가 대칭일 것이라는 가정하에, 자극의 방향성을 고려하지 않고 자극 크기에 대한 확률만 고려하였다. 이렇게 표시된 확률 값들을 정신물리함수로 곡선맞춤을 하여, 그 곡선 상에서 75% 수준의 자극의 크기의 차이를 역치로 정의하였다.

가만히 서있는 상태에서의 압력 중심(COP) 결과는 3 차 버터워스 대역통과 필터를 사용하여 후처리 하였으며 그 대역 주파수는 0.5~3.5Hz 로 정하였다. 자세가 안정된 후의 결과를 반영하기 위하여 측정 초기의 20 초는 사용하지 않았다. 자세 응답에 대한 단변수 분석을 하기 위하여 전후 방향과 좌우 방향에 대하여 각각 압력중심(COP)의 RMS 값을 구하였다.

3. 결과 및 토의

3.1 실험 결과

하지의 허혈을 유도하였을 경우, 발바닥의 피부 감각 민감도가 저하하였다. Monofilament 를 이용하여 통제 조건에서의 발바닥 압각 민감도를 측정하였을 경우, 평균적인 압각 민감도는 3.36a.u. (± 0.21) 수준이었으나, 압박대에 의해 감각이 제한되었을 경우에는 그 값이 3.47a.u. (± 0.17) 로 Fig. 3 과 같이 증가하였으며 이 변화는 통계적으로 유의하였다($p < 0.01$). 그러나 말초 신경 질환 환자의 판단 기준이 되는 5.07a.u. 이상으로 저하 시키지는 못하였다.⁽¹⁹⁾ 진동판을 사용하여 진동 감각 민감도를 측정한 경우에도 발바닥의 민감도가 저하된 것을 확인할 수 있었다. 통제 조건에서는 평균

적인 진동 감각 민감도가 36.0a.u. (± 9.9) 수준이었으나, 제한 조건에서는 그 값이 50.0a.u. (± 13.4) 로 증가하였으며 이 변화는 통계적으로 유의하였다($p < 0.01$). 따라서 제한조건에서와 같이 압박대를 사용하여 발바닥 체성감각을 저하시키는 방법은 본 연구에서 의도하고자 한 감각 저하 상태는 제대로 모사하는 것을 확인하였다. 민감도 측정 위치에 따른 변이성이나 피험자 내의 변이성은 관찰되지 않았다.

압박대에 의하여 하지 감각이 저하되었을 경우, Fig. 4 에서 보는 바와 같이 선형 운동 지각 역치에서 유의한 증가($p < 0.05$) 가 있었다. 통제조건에서의 선형 운동 역치는 1mG 근처에서 측정되었다. 발바닥 압각이 제한되었을 경우 평균 91.1%의 운동 지각 역치의 증가가 있었다. 즉, 하지 체성 감각 저하로 인하여 선형 방향 운동 지각능력이 저하되었다.

압력 중심(COP) RMS 는 발바닥 압각을 제한하였을 때 전후 방향과 좌우 방향 모두 변화가 없었다. 전후 방향과 좌우 방향 모두, 압박대 사용시 약간씩의 증가를 보이긴 하지만 이는 무시할 만하다. 또한 압력 중심의 이동 범위 또한 전후 좌우 방향 모두, 통제 조건과 비교하여 제한 조건에서 유의한 변화를 보이지 않았다.

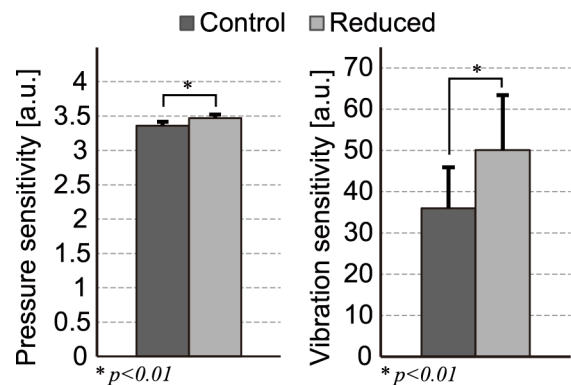


Fig. 3 Plantar pressure and vibration sensitivity

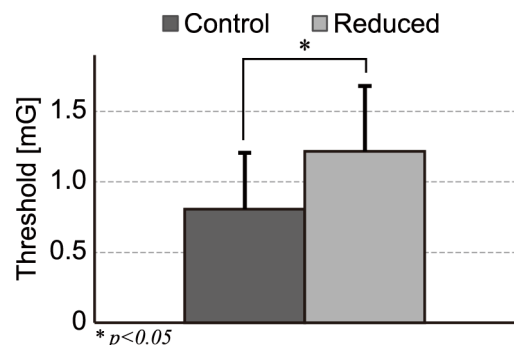


Fig. 4 Thresholds of directional linear of motion

3.2 토의

발바닥 압각을 저하시켰을 때의 자세 제어와 운동 지각 능력의 변화를 알아보기 위하여 압박대를 이용하여 허혈을 유발하는 감각 저하 방법을 사용하였다. 이 경우 발바닥의 기계 감각 수용기 (mechanoreceptor)의 구심 신경 신호(afferent signal)를 직접적으로 제한하여 발바닥의 전반적인 감각 민감도를 변화시킬 수 있다. 실험 결과, 일정 수준의 감각 저하는 유도하였으나, 신경병변 환자 수준에 이르지 못하는 것이었다. 이는 압박대의 압력을 기존 연구들에 비하여 낮은 150mmHg로 가하였기 때문일 것이다. 기존 연구들의 경우 220~350mmHg^(8,11)의 강한 압력을 사용하여, 하지의 혈류를 전반적으로 제한하여 감각 민감도의 현저한 저하를 유도하였다. 그러나 150mmHg⁽¹³⁾는 피험자의 불쾌감을 최소화 하면서 유의한 감각 저하를 유도 가능한 값으로, 제한 조건에서 발바닥 감각 민감도의 유의한 저하를 이끌어 낼 수 있었으며, 또한 운동 지각의 유의한 저하도 유도할 수 있었다. 따라서 본 연구에서 사용한 수준의 비교적 약한 압박 강도를 통해서도, 기존 연구들이 의도한 바와 같이 유의한 수준의 감각 저하를 발생시킬 수 있었다. 또한 불쾌감을 최소화 함으로써 피험자의 심리적인 부분이 크게 영향을 미칠 수 있는 지각 측정 실험에, 이와 같이 압박대를 사용한 감각 저하 방법이 적용 가능함을 확인하였다.

발바닥 감각을 저하시켰을 경우, 선행 운동 지각 역치가 유의하게 증가하였다. 본 연구에서 사용한 가속도 자극은, 선행 연구⁽¹²⁾와 동일한 주파수를 가지며 그 크기 범위도 유사한 범위이다. 따라서 고유 감각에 영향을 주는 관절 각도의 변화와 전정기관에 영향을 줄 수 있는 머리의 가속도는 각 조건 사이에서 유의한 차이가 없을 것이다. 따라서 운동 지각 능력의 변화는 다른 감각기관들 (전정기관, 관절의 고유감각)이 아닌 하지 체성 감각에 의한 것임을 알 수 있다. 특히 기존연구들과 같이 혈류를 완전히 차단하여 하지 체성 감각을 큰 폭으로 저하시키지 않았음에도 운동 지각 역치의 유의한 증가가 발생한 것은 발바닥의 감각이 운동 지각 역치에 있어서 중요한 역할을 한다는 것을 의미하며 선행 연구의 결과⁽²⁰⁾와 일치한다. 발바닥 감각 저하에 의한 운동 지각의 유의한 변화가 유도 된 것과 달리 압력 중심(COP)과 관련된 결과는 유의한 변화를 보이지 못하였다. 이는 감각 민감도의 변화가 운동 지각(perception)과 운동 결과(action)에 영향을 미치는 정도가 다르기

때문에, 감각 저하는 보다 직접적으로 영향을 받는 운동 지각(perception)에는 크게 반영되지만, 운동 지각을 통해 발생하는 운동 실행(action)에는 영향을 미치지 못하기 때문으로 해석된다. 이는 감각 저하에 대한 평가 수단으로 운동 지각이 운동 실행보다 직접적으로 사용될 수 있음을 주장한 선행 연구 결과⁽¹²⁾와 부합한다. 그러나 선행 연구에서 사용된 불안정한 바닥을 사용하여 하지 감각을 저하하는 방법의 경우, 감각 저하 기저가 실제 신경병변 환자를 직접적으로 모사하기에는 무리가 있다는 제한점이 있다. 그러나 본 연구와 같이 실제 감각 저하 기저(특히 말초 신경병변이 발생한 당뇨 환자의 경우)와 유사한 기저로 감각 저하를 유도하고, 이 경우에도 발바닥 감각이 운동 지각에 중요한 역할을 함을 밝힘으로써 실제 환자군에 있어서도 발바닥 감각이 운동 지각에 중요한 역할을 할 것임을 기대할 수 있다. 특히 운동 결과에 영향을 미치지 않는 약한 감각 저하도 운동 지각으로 그 변화를 확인 가능하므로, 이 같은 운동 지각 평가 방법으로 신경병변 초기의 미약한 감각 저하 상태에서 신경병변 발생 여부를 검진 가능 할 것이다.

발바닥 감각 중 압각의 변화는 운동 지각의 변화와 유의한 상관 관계를 가지지만 진동 감각은 운동 지각과 유의한 관계를 보이지 않았다(Fig. 5). 압박대를 사용하여 발바닥의 기계 자극 수용기 전반에 대하여 감각을 저하시켰기 때문에 제한 조건에서 압각과 진동 감각 모두 저하 되었다. 그러나 선행 운동 방향 역치와 압각 만이 상관 관계를 가지는 것은 운동 방향 지각과 관련된 감각은 진동 감각이 아닌 압각이라는 것을 의미한다. 이는 신경 병변 환자들의 발바닥 감각의 저하 정도를 평가하기 위해 일반적으로 사용되는 monofilament를 이용한 압각 민감도 측정 방법과 음차를 이용한

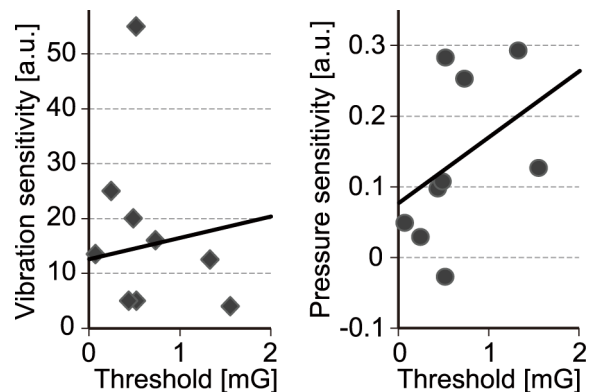


Fig. 5 Relation between plantar sensitivities and directional motion threshold

진동 감각 민감도 측정 방법 중에서, monofilament를 이용한 압각 평가 방법을 이용하여 운동 지각을 간접적으로 평가 할 수 있다는 것을 의미한다.

4. 결 론

말초 신경 병변에 의한 감각 저하 상태를 모사하기 위하여, 압박대를 사용하여 하지에 허혈을 유도하여 체성감각을 저하시켰을 때의 감각 민감도와 운동 지각을 평가하였다. 기존의 연구들에 비하여 약한 수준의 압력을 사용하였음에도, 발바닥 체성감각 저하를 유도할 수 있었고 이를 통해 운동 지각 역시 저하되었다. 그러나 기존 연구에서 감각 저하 및 균형 능력 평가로 널리 평가되는 운동 결과에 해당하는 압력 중심에 있어서는 변화를 관찰하지 못하였다. 이를 통해 낮은 수준의 감각 저하가 있을 경우, 기존에 널리 사용되는 운동 결과를 평가하는 방법이 아닌 운동 지각을 평가함으로써 감각 저하가 더 심한 수준으로 이행되기 전에 조기에 발견할 수 있는 평가 방법으로 사용될 수 있음을 확인하였다.

후 기

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단-공공복지안전사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다 (No. 2010-0020488).

참고문헌

- (1) Boulton, A. J., 2000, "The Diabetic Foot: a Global View," *Diabetes Metab Res Rev*, Vol. 16 Suppl 1, No. pp. S2-5.
- (2) Levine, M. E. and O'Neal, L. W., *The Diabetic foot*. 4th ed1988, St. Louis: Mosby. xi, 364
- (3) Sequeira, W., 1994, "The Neuropathic joint," *Clin Exp Rheumatol*, Vol. 12, No. 3, pp. 325~337.
- (4) Eils, E., Behrens, S., Mers, O., Thorwesten, L., Volker, K. and Rosenbaum, D., 2004, "Reduced Plantar Sensation Causes a Cautious Walking Pattern," *Gait Posture*, Vol. 20, No. 1, pp. 54~60.
- (5) Boucher, P., Teasdale, N., Courtemanche, R., Bard, C. and Fleury, M., 1995, "Postural Stability in Diabetic Polyneuropathy," *Diabetes Care*, Vol. 18, No. 5, pp. 638~645.
- (6) Cheng, Y. H., Sugibayashi, K., Morimoto, Y., Liao, G. T. and Hou, S. X., 1995, "[Feasibility Assessment of Skin Permeation for the Local Anesthetic Lidocaine]," *Yao Xue Xue Bao*, Vol. 30, No. 8, pp. 615~620.
- (7) Dyck, P. J., Bushek, W., Spring, E. M., Karnes, J. L., Litchy, W. J., O'Brien, P. C. and Service, F. J., 1987, "Vibratory and Cooling Detection Thresholds Compared with Other Tests in Diagnosing and Staging Diabetic Neuropathy," *Diabetes Care*, Vol. 10, No. 4, pp. 432~440.
- (8) Fitzpatrick, R., Rogers, D. K. and McCloskey, D. I., 1994, "Stable Human Standing with Lower-Limb Muscle Afferents Providing the Only Sensory Input," *J Physiol*, Vol. 480 (Pt 2), No. pp. 395~403.
- (9) Meyer, P. F., Oddsson, L. I. and De Luca, C. J., 2004, "Reduced Plantar Sensitivity Alters Postural Responses to Lateral Perturbations of Balance," *Exp Brain Res*, Vol. 157, No. 4, pp. 526~536.
- (10) Perry, S. D., McIlroy, W. E. and Maki, B. E., 2000, "The Role of Plantar Cutaneous Mechanoreceptors in the Control of Compensatory Stepping Reactions Evoked by Unpredictable, Multi-Directional Perturbation," *Brain Res*, Vol. 877, No. 2, pp. 401~406.
- (11) Horak, F. B., Nashner, L. M. and Diener, H. C., 1990, "Postural Strategies Associated with Somatosensory and Vestibular Loss," *Exp Brain Res*, Vol. 82, No. 1, pp. 167~177.
- (12) Yi, Y. and Park, S., 2009, "Effect of Reduced Cutaneous Cues on Motion Perception and Postural Control," *Exp Brain Res*, Vol. 195, No. 3, pp. 361~369.
- (13) Schlee, G., Milani, T. L., Sterzing, T. and Oriwol, D., 2009, "Short-Time Lower Leg Ischemia Reduces Plantar Foot Sensitivity," *Neurosci Lett*, Vol. 462, No. 3, pp. 286~288.
- (14) Rheeder, P., van Wyk, J. T., Hokken, J. W. and Huetting, H. M., 2002, "Monofilament Assessment of Neuropathy in a Community Diabetes Clinic," *S Afr Med J*, Vol. 92, No. 9, pp. 715~719.
- (15) Leek, M. R., 2001, "Adaptive Procedures in Psychophysical Research," *Percept Psychophys*, Vol. 63, No. 8, pp. 1279~1292.
- (16) Taylor, M. and Creelman, C., 1967, "PEST: Efficient Estimates on Probability Functions," *The Journal of the Acoustical Society of America*, Vol. 41, No. p. 782.
- (17) Findlay, J., 1978, "Estimates on Probability Functions: A More Virulent PEST," *Perception & Psychophysics*.
- (18) Richerson, S. J., Faulkner, L. W., Robinson, C. J., Redfern, M. S. and Purucker, M. C., 2003, "Acceleration Threshold Detection During Short Anterior and Posterior Perturbations on a Translating Platform," *Gait Posture*, Vol. 18, No. 2, pp. 11~19.
- (19) Kochman, A. B., Carnegie, D. H. and Burke, T. J., 2002, "Symptomatic Reversal of Peripheral Neuropathy in Patients with Diabetes," *J Am Podiatr Med Assoc*, Vol. 92, No. 3, pp. 125~130.
- (20) Yi, Y. and Park, S., 2007, "Effect of Lower Limbs Somatosensation on Linear Motion Perception," *Trans. of the KSME (A)* Vol. 31, No. 6, pp. 686~693.