대한정형도수치료학회지 제13권 제2호 (2007년 12월)
Korean J Orthop Manu Ther, 2007;13(2):31-44

시각과 고유수용성 감각이 요부 운동의 정확도에 미치는 영향

심현보, 윤홍일[1], 윤이나[2]
영동세브란스병원 물리치료실, 고려병원 물리치료실[1], 동신목동한방병원 물리치료실[2]

Abstract

The Effect of Vision and Proprioception on Lumbar Movement Accuracy

Hyun-Po Sim, Hong-Il Yoon[1], I-Na Youn[2]
Dept. of Physical Therapy, Yong-Dong Severance Hospital
Dept. of Physical Therapy, Korea Hospital[1], Dong Shin Mok Dong Hospital[2]

The purposes of this study were to examine the normal lumbar proprioception and identify the effect of vision and proprioception on lumbar movement accuracy through measuring a reposition error in visual and non-visual conditions and to provide the basic data for use of vision when rehabilitation program is applied. The subjects of this study were 39 healthy university students who have average physical activity level. They were measured the ability to reproduce the target position(50% of maximal range of motion) of flexion, extension, dominant and non-dominant side flexion in visual and non-visual conditions. Movement accuracy was assessed by reposition error(differences between intended and actual positions) that is calculated by the average of absolute value of 3 repeated measures at each directions. The data were analysed by paired samples t-test, independent samples t-test, and repeated measures ANOVA. The results were as follows : 1. Movement accuracy of flexion, extension, dominant side flexion, and non-dominant side flexion was increased in visual condition. 2. There were no differences in the lumbar movement accuracy between sexes in visual and non-visual conditions. 3. In non-visual condition, the movement in coronal plane(dominant and non dominant side flexion) is more accurate than that in sagittal plane(flexion and extension).
4. In non-visual condition, there were no differences in the lumbar movement accuracy between dominant and non-dominant side flexion. In conclusion, this study demonstrates that the movement is more accurate when the visual information input is available than proprioception is only available. When proprioception is decreased by injury or disease, it disturbs the control of posture and movement. In this case, human controls the posture and movement by using visual compensation. However it is impossible to prevent an

injury or trauma because most of injuries occur in an unexpected situation. For this reason, it is important to improve the proprioception.
Therefore, proprioceptive training or exercise which improve the ability to control of posture and movement is performed an appropriate control of permission or interception of the visual information input to prevent an excessive visual compensation.

Key words: vision; proprioception; lumbar movement accuracy; reposition error.

교신저자: 심현보(영동세브란스병원 물리치료실, 011-9255-9244, E-mail: ggaevido@hanmail.net)

Ⅰ. 서 론

1. 문제의 제기

요통은 가장 흔한 질환중의 하나로 임상적으로 매우 중요하게 여겨진다. 요통의 유병율은 요통에 대한 정의와 연구 설계방법에 따라 그 결과가 다양하게 나타날 수 있지만(Borenstein, 2001), 산업화된 사회에서는 전체 인구의 약 50%-80%가 요통으로 고통 받는 것으로 알려져 있다(Waddell, 1987). 요통에 대한 치료는 물리치료 분야에서 매우 중요하고 큰 부분이라고 할 수 있는데, 요통 환자에게 적용하는 물리치료 방법으로는 치료적 장비의 이용(modality), 도수 치료(manual therapy), 능동 운동치료, 환자에 대한 교육 등이 있다. 요통 환자의 치료에 대한 최근의 물리치료 경향은 척추 안정화 운동(spinal stabilization exercise) 등을 통하여 자세 조절 능력을 증진시키는 방향으로 변화하고 있으며(McGill, 1998), 이에 따라 자세나 운동의 조절에 영향을 주는 요인들에 대한 관심이 증가하고 있다.

인간은 자세를 포함한 모든 움직임을 조절하기 위해서 다양한 구심성 감각 정보를 이용하는데, 이 구심성 감각 정보들은 인체나 주위 환경의 상황에 대한 정보를 자기 자신에게 제공해주는 역할을 한다. Winstein과 Schmidt(1989)는 근 방추(muscle spindle), 골지 건 기관(Golgi tendon organ), 관절 수용기, 피부 수용기, 시각계, 그리고 청각계 등의 여섯 가지 구조물이 인체의 움직임과 관련된 감각 정보의 원천이라고 하였는데, 여기에서 근 방추나 골지 건 기관 그리고 관절 및 피부 수용기는 고유 수용성 감각 수용기를 의미한다.

고유 수용성 감각은 인체의 움직임을 조절하는데 필수적인 요소이다(Brooks, 1983). 즉, 고유 수용성 감각은 신체와 관련된 사물의 위치, 무게, 저항에 관한 지식 뿐 아니라 신체의 위치와 움직임 그리고 균형의 변화에 대한 신경근적(neuromuscular) 인식을 가능하게 해주는 되먹임(feedback) 체계의 역할을 하기 때문에(Hoffman과 Payne, 1995), 고유 수용성 감각이 결핍되면 자세의 유지나 움직임의 조절에 영향을 받는다.

고유 수용성 감각이란 용어는 원래 근육과 건 그리고 관절 안에 깊이 위치해 있는 수용기들에 의해서 전달되는 위치 감각(position sense)과 운동 감각(movement sense)을 설명하기 위해서 Sherrington (1906)에 의해 처음 사용되었다. 초기에는 근 감각(muscular sense)이란 용어와 동일어로 사용되었으나, 근래에 와서는 위치 감각, 가속도, 운동성의 감지, 힘과 같은 여러 가지 다른 형태의 감각을 포함하는 복잡한 실체로 인정되고 있다(Gandevia와 Burke, 1992).

움직임의 조절에 대한 고유 수용성 감각의 역할이 중요시되면서 최근에는 부상이나 재 손상을 예방하고 재활 기간동안 환자에게 적절한 기능적 회복을 제공하기 위해서 다양한 형태의 고유 수용성 감각 훈련 또는 재활 기법들이 광범위하게 사용되고 있으며(Laskowski 등, 2000), 또한 고유 수용성 감각 검사는 손상의 정도를 파악하고 재활 기간동안 치료의 결과를 평가하는 임상적 도구로서 널리 사용되고 있다(Lönn 등, 2000).

고유 수용성 감각은 매우 복잡한 기전과 기능을 가지고 있기 때문에 측정하기가 쉽지 않다. 특히 척추의 운동은 여러 관절에서의 운동이 조합되어 일어나는 움직임이기 때문에 요부를 비롯한 척추의 고유 수용성 감각에 대한 평가는 말초 관절에 비해 상대적으로 적게 이루어져 왔다.

현재 고유 수용성 감각을 검사하는 상대적으로 표준화된 방법으로는 관절의 움직임에 대한 역치를 구하여 운동 감각을 검사하는 방법과 관절각을 재연하여 위치 감각을 검사하는 두 가지 방법이 있는데(Perlau 등,

1995), 임상적으로는 위치 감각의 검사가 가장 많이 사용된다. 위치 감각이란 공간 내에서 신체 일부의 방향성과 움직임을 인식하는 능력을 의미하는데, 위치 감각의 검사에는 공간 내에서 사전에 결정된 위치를 재연해내는 능력을 나타내는 재위치 오차가 보편적으로 이용된다(Newcomer 등, 2000).

사지의 말초 관절이 손상이나 병적 상황 하에 놓이게 되면 고유 수용성 감각의 결손이 나타나는데(Friden 등, 1997; Ferrell과 Craske, 1992; Barrett 등, 1991; Smith와 Brunolli, 1990; Glencross와 Thornton, 1981), Parkhurst와 Burnett(1994)은 요부에서도 관절의 손상이나 질환이 고유 수용성 감각의 결손을 일으키는 주 요인이라고 하였다.

Nies와 Sinnott(1991)는 힘판 분석(force plate analysis)을 이용한 연구에서 요통환자는 자세 흔들림(postural sway)이 정상인보다 크고 힘의 중심도 후방에 위치하며, 한 발로 서서 균형을 유지하기가 어렵다고 하였고, Gill과 Callaghan(1998)은 요통 환자는 정상인에 비해서 관절의 위치를 재연해내는 위치감각의 정확성이 부족하다고 하였다. 이후 요부의 고유수용성 감각에 대한 연구들은 만성 요통환자(Newcomer 등, 2000), 요추 분절성 불안정환자(O'Sullivan 등, 2003), 요추 추간판 탈출증환자(Leinonen 등, 2003), 강직성 척추염환자(Swinkels와 Dolan, 2004) 등 주로 척추의 통증 증후군을 가진 사람들을 대상으로 이루어져 왔다. 그러나 고유 수용성 감각은 척추의 정상적 운동에 있어서도 중요한 역할을 하므로, 정상적인 척추 운동에서의 고유 수용성 감각의 역할에 대한 이해는 운동 조절 능력의 손상에 대한 진단과 이의 회복을 위한 재활에서 매우 중요하다. 그럼에도 불구하고 정상 요부의 고유 수용성 감각에 대한 연구는 드물게 이루어져 왔다(김재헌과 배성수, 2003).

인체의 움직임을 조절하는데 관여하는 또 다른 중요한 요소로는 시각을 들 수 있는데, Schmidt와 Lee(1999)는 시각이 신체 외부의 움직임에 관한 정보를 제공하는 수용기 중 가장 중요하다고 하였고, Edwards(1946)는 시각 정보가 움직임의 다중적 감각조절(multisensory control)에 있어 필수적인 요소라고 하였다.

그러므로 시각도 고유 수용성 감각과 마찬가지로 자세와 운동의 조절에 많은 영향을 준다. 눈을 감은 상태와 눈을 뜬 상태에서 자세 흔들림의 양을 측정하여, 시각 정보가 정적 자세 조절에 미치는 영향을 평가한 연구들은 눈을 감은 상태에서는 정상인의 자세 흔들림이 유의하게 증가한다고 보고하였다(Paulus 등, 1984; Lee와 Lishman, 1975; Edwards, 1946). 또한 적절한 시각 되먹임은 진행 운동을 할 때 운동의 정확도를 증진시키는데(Keele, 1981), 운동을 시작하기 전에 시각을 통해 손의 위치를 확인하면 지적 동작(pointing), 잡기 동작(catching), 뻗기 동작(reaching) 등의 과제 수행 시 운동의 정확도가 증가된다(Jeannerod와 Prablanc, 1983; Smyth와 Marriott, 1982; Prablanc 등, 1979).

만약 어떠한 원인으로 인해 자세나 운동의 조절에 고유 수용성 감각을 이용할 수 없게 되면 시각 보상(visual compensation)이 일어난다. Craik (1989)는 고유 수용성 감각이 저하되면 보행 시 발끝을 보고 걷게 되는 고유 수용성 감각 손상 보행(proprioceptive dysfunction gait)이 나타난다고 하였고, Rothwell 등(1982)과 Sanes 등(1985)은 고유 수용성 감각 되먹임이 상실된 환자는 예상하지 못했던 부하가 주어진 상황에서는 움직임을 조절할 수 없으며, 시각의 도움이 없이는 안정적인 관절 각도를 유지할 수 없다고 하였다.

그러나 지금까지 정상인이 요부의 자세와 운동을 조절하는데 있어서 시각과 고유 수용성 감각이 어느 정도의 기여를 하며, 특히 시각 정보의 유무가 요부 운동의 정확도에 미치는 영향에 대한 연구는 부족한 실정이다.

2. 연구의 목적

본 연구의 목적은 신체 건강한 대학생을 대상으로 시각 정보 입력이 차단된 상태에서 재위치 오차를 측정하여 정상 요부의 고유 수용성 감각을 검사하고, 이를 시각 정보 입력이 있는 상태에서의 재위치 오차와 비교함으로서, 고유 수용성 감각만 이용될 때의 요부 운동의 정확도와 고유 수용성 감각과 시각이 모두 이용되었을 때의 요부 운동의 정확도를 파악하여, 요부 운동에 대한 시각과 고유 수용성 감각의 기여 정도를 규명하는 것이다. 또한 이를 통하여, 요부의 손상이나 질환으로 인해 고유 수용성 감각이 저하된 환자에게 재활 치료 프로그램을 적용할 때, 시각 정보의 허용과 차단을 적절히 조절할 수 있도록 기초 자료를 제공하는 것이다.

본 연구의 목적은 다음과 같다.

1) 굴곡, 신전, 우세손(dominant hand) 방향 측방굴곡, 비우세손 방향 측방굴곡 등의 요부 운동의 정확도가 시각 정보 입력의 유무에 따라 차이가 있는지 알아본다.

2) 시각 정보 입력이 있는 상태와 시각 정보 입력이 없는 상태에서의 요부 운동의 정확도가 성별에 따라 차이가 있는지 알아본다.

3) 시각 정보 입력이 없는 상태에서, 시상면(sagittal plane)에서 일어나는 운동(굴곡, 신전)의 정확도와 관상면(coronal plane)에서 일어나는 운동(측방굴곡)의 정확도간에 차이가 있는지 알아본다.

4) 시각 정보 입력이 없는 상태에서, 측방굴곡의 정확도가 우세손의 방향에 따라 차이가 있는지 알아본다.

3. 용어의 정의

가. 고유 수용성 감각 ; 움직이거나 정지하고 있는 동안 신체 일부의 위치나 움직임의 방향성을 인식하는 신체 내부에서 생성되는 감각으로, 여기에는 움직임을 인식하는 운동 감각과 위치를 인식하는 위치 감각이 포함된다.

나. 재위치 오차 ; 의도한 움직임과 실제로 일어난 움직임간의 차이를 말하며, 공간 내에서 신체의 적절한 위치와 방향을 인식하는 개인의 능력을 반영한다.

다. 시각조건과 비시각조건 ; 눈을 뜬 상태 즉, 자세나 운동의 조절에 시각 정보를 적절히 이용할 수 있는 상태를 시각조건이라고 하며, 눈을 가려서 자세나 운동의 조절에 시각 정보를 전혀 이용할 수 없는 상태를 비시각조건이라고 한다.

라. 굴곡 ; 횡축을 중심으로 시상면에서 일어나며, 인접한 신체의 두 부분이 이루는 각이 감소하는 운동이다.

마. 신전 ; 굴곡과 같이 횡축을 중심으로 시상면에서 일어나지만, 인접한 신체의 두 부분이 이루는 각이 증가하는 운동이다.

바. 측방굴곡 ; 전후축을 중심으로 관상면에서 일어나며, 체간이 하지와 이루는 각이 감소하는 운동이다.

사. 우세손 : 일상 생활 동작을 포함한 작업 수행시 대상자가 주로 사용하는 손을 말한다.

Ⅱ. 연구 방법

1. 연구 설계

본 연구는 대상자들에게 시각조건과 비시각조건에서 굴곡, 신전, 우세손 방향 측방굴곡, 비우세손 방향 측방굴곡 등의 운동에 대한 재위치 오차를 각각 3회씩 반복 측정하였다. 연구 과정에 대한 구체적인 내용은 다음과 같다.

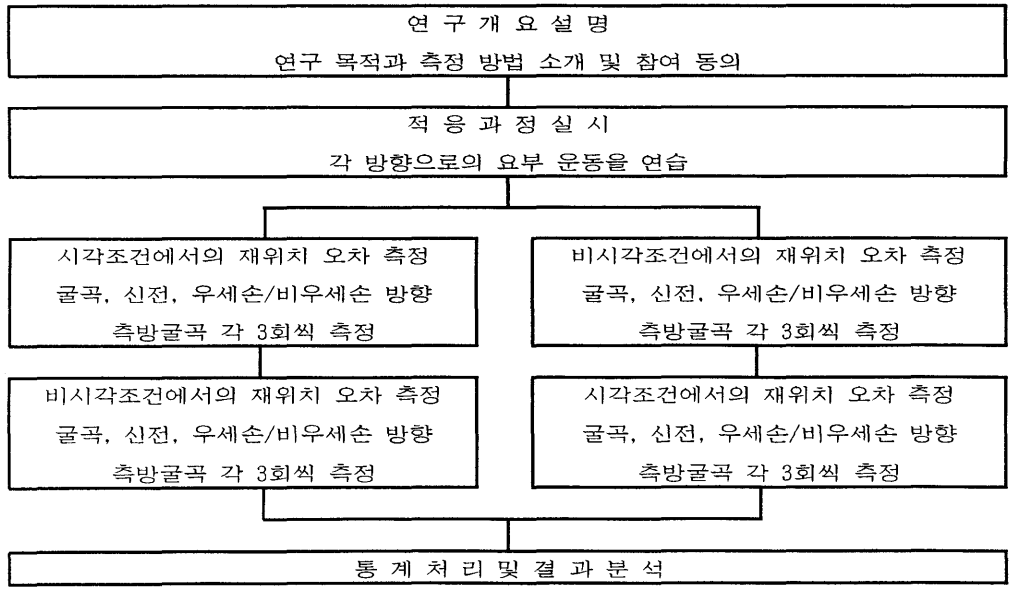

그림 1. 연구 과정

2. 연구 대상

본 연구는 2004년 9월 1일부터 동년 동월 30일까지 충남의 H 대학교에 재학 중인 신체 건강한 남, 녀 대학생을 대상으로 실시하였다.

연구 대상자는 지금까지 3개월 이상 지속된 요통의 과거력이 없는 사람, 특정한 운동이나 훈련을 하고 있지 않는 사람, 그리고 적어도 지난 1 년 동안 어떠한 요통도 없었던 사람 중에 본 연구의 목적을 이해하고 참여에 동의한 사람으로 선정하였으며, 관절 가동 범위 운동 수행 시 통증이 나타나는 사람, 요부 수술이나 요추 골절의 과거력이 있는 사람, 균형이나 협응(coordination)동작의 문제와 관련된 내이 감염이 있는 사람, 척추나 하지의 관절, 골격계 및 연부 조직에 병변이 있는 사람, 중추 신경계의 해결되지 않은 외상의 과거력이 있는 사람, 전정계의 기능부전이 있거나 통증과 관련하여 약물을 복용중인 사람, 현기증(dizziness)이나 현훈(vertigo)이 있는 사람, 임신 중인 사람, 그리고 정신과적 과거력이 있는 사람은 제외하였다.

3. 실험 방법

요부 운동의 정확도는 재위치 오차로 측정하였다. 재위치 오차는 MP 100 시스템(MP 100A-CE, BIOPAC system Inc. CA. U.S.A)에 전자 측각기(TSD 130 series. BIOPAC system Inc. CA. U.S.A)를 연결하여 목표 위치(target position)와 실제 위치(actual postition) 사이의 절대 차이를 각도로 표현하였다(그림 2). 재위치 오차의 측정은 크게 시각조건과 비시각조건으로 나누어 진행하였다.

모든 측정은 청각의 영향을 최소화하기 위해 조용한 방안에서 실시하였으며, 조조 경직(morning stiffness)의 기간을 피하고 요부의 운동성을 최대한 확보하기 위해 기상 후 적어도 3시간 이후에 실시하였다. 또한 위치 감각과 센서(sensor)에 영향을 줄 수 있는 외부적인 자극을 최소화하기 위하여 반바지와 느슨한 티셔츠만을 착용하였다.

재위치 오차의 측정은 요부를 중립위치에 놓이도록 유지하고 앉은 자세에서 실시하였으며, 하지로부터의 부가적인 감각 입력을 최소화하기 위해 앉은 자세에서 고관절, 슬관절, 그리고 족관절이 모두 90° 굴곡상태가 되도록 의자와 발판의 높이를 조절하였다.

센서의 위치는 시상면에서 일어나는 굴곡, 신전 운동의 측정 시에는 L1, S1 의 극돌기의 연장선과 액와 중앙선(mid-axillary line)이 만나는 지점으로 하였으며(그림 3), 관상면에서 일어나는 좌, 우 측방굴곡의 측정 시에는 센서를 L1과 S1 의 극돌기에 각각 부착하였다(그림 4). 상지의 위치는 서로 교차시켜 반대편 어깨를 가볍게 잡도록 하였으며, 굴곡 시에는 상지가 체간의 움직임을 방해하지 않도록 자연스럽게 무릎 위에 올려 놓도록 하였다(그림 2).

목표 위치의 설정은 굴곡, 신전, 우세손/비우세손 방향 측방굴곡 등의 각 방향으로 대상자가 움직일 수 있는 최대 관절 가동 범위(maximal range of motion)를 측정한 후, 이 범위의 50 % 위치로 하였다.

연구 대상자들은 눈을 뜬 상태에서 중립위치(neutral position)로부터 목표 위치에 도달할 때까지 능동적으로 체간을 움직이고, 검사자는 대상자가 목표위치에 도달했을 때 체간의 움직임을 멈추도록 지시하였다. 이 목표 위치에서 5초 동안 머물렀다가 다시 중립위치로 돌아와서 2초 동안 쉰 후, 이전의 목표 위치를 재연하도록 하였다. 이러한 과정을 굴곡, 신전, 우세손/비우세손 방향 측방굴곡의 각 방향으로 3회씩 반복 측정하였으며, 이 수치의 절대값의 평균으로 재위치 오차를 산출하였다.

시각 정보입력을 차단한 상태에서의 실험은 대상자들에게 눈을 감도록 하고 안대를 이용하여 눈을 가렸으며 위의 과정과 동일하게 실시하였다.

시각조건, 비시각조건의 순서와 굴곡, 신전, 우세손/비우세손 방향 측방굴곡 등은 제비뽑기를 통하여 무작위 순서로 진행하였다.

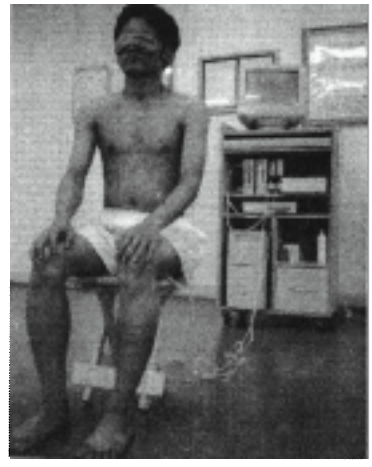

그림 2. 측정도구와 측정자세

그림 3. 시상면에서의 센서의 위치

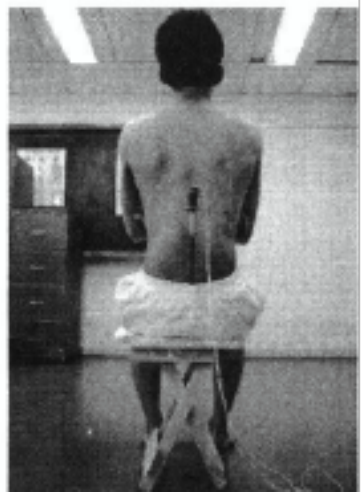

그림 4. 관상면에서의 센서의 위치

4. 분석 방법

재위치 오차를 측정하여 수집된 자료를 부호화 하여 SPSS 버전 11.0을 이용하여 다음과 같이 분석하였다. 첫째, 연구 대상자의 일반적인 특징은 평균, 표준편차를 이용하였다. 둘째, 시각조건과 비시각조건에서 측정된 요부 재위치 오차를 비교에는 쌍체 표본 t 검정(paired samples t-test)을 이용하였다. 셋째, 시각조건과 비시각조건에서 측정한 요부 재위치 오차의 남녀 차이를 비교하기 위해 각각 독립 표본 t 검정(independent samples t-test)을 이용하였다. 넷째, 시도 횟수에 의한 학습 효과를 알아보기 위해 운동 방향별로 각 3회씩 측정한 재위치 오차를 반복 측정 분산분석(repeated measure ANOVA)으로 통계 처리하였다. 다섯째, 관상면과 시상면에서 일어나는 운동의 정확도를 비교하기 위해 독립 표본 t 검정을 이용하였다. 여섯째, 우세손의 방향에 따른 좌, 우 측방굴곡 운동의 정확도 비교에도 독립 표본 t 검정을 이용하였다. 통계학적 유의수준은 0.05로 하였다.

Ⅲ. 결 과

1. 연구 대상자의 일반적 특성

연구 대상자들의 일반적인 특성은 다음과 같다(표 1). 본 연구에 참여한 대상자는 신체 건강하며, 평균적인 활동 수준을 가진 19-29세(평균 연령 21.7세)의 대학생 39명(남자 20명, 여자 19명)이었다.

대상자들의 신장은 최소 158cm, 최대 183cm(평균 신장 169.9cm)이고, 평균 체중은 59.4kg(최소 48kg, 최대 88kg)이었으며, 오른손잡이가 36명(남자 19명, 여자 17명), 왼손잡이는 3명(남자 1명, 여자 2명)이었다.

표 1. 연구대상자의 일반적 특성 (N=39)

구분	연령(평균±표준편차)	신장(평균±표준편차)	체중(평균±표준편차)	우세손 방향(우/좌)
남(n=20)	22.10±2.97	175.60±4.56	65.10±8.25	19/1
여(n=19)	21.32±1.34	163.79±3.38	53.47±3.45	17/2
계	21.72±2.33	169.85±7.18	59.44±8.62	36/3

2. 시각정보 유무에 따른 재위치 오차의 비교

시각조건과 비시각조건에서의 재위치 오차는 다음과 같다(표 2).

1) 굴곡 운동시 시각조건에서의 재위치 오차(0.72±0.73)는 비시각조건에서의 재위치 오차(2.21±1.16)에 비해 통계학적으로 유의하게 작았다($p<0.05$).

2) 신전 운동시 시각조건에서의 재위치 오차(0.76±0.51)는 비시각조건에 서의 재위치 오차(1.67±0.78)에 비해 통계학적으로 유의하게 작았다($p<0.05$).

3) 우세손 방향 측방굴곡 운동시 시각조건에서의 재위치 오차(0.55±0.35)는 비시각조건에서의 재위치 오차(1.36±0.69)에 비해 통계학적으로 유의하게 작았다($p<0.05$).

4) 비우세손 방향 측방굴곡 운동시 시각조건에서의 재위치 오차(0.64±0.37)는 비시각조건에서의 재위치 오차(1.68±0.78)에 비해 통계학적으로 유의하게 작았다($p<0.05$).

표 2. 시각조건과 비시각조건에서의 재위치 오차의 비교 (단위: °)

구분	시각조건(N=39)	비시각조건(N=39)	t	p
굴곡	0.72±0.73	2.21±1.16	-9.838	0.000
신전	0.76±0.51	1.67±0.78	-9.310	0.000
우세손 방향 측방굴곡	0.55±0.35	1.36±0.69	-9.186	0.000
비우세손 방향 측방굴곡	0.64±0.37	1.68±0.78	-8.682	0.000

3. 성별에 따른 재위치 오차의 비교

가. 시각조건에서의 성별에 따른 재위치 오차의 비교

시각조건에서의 성별에 따른 재위치 오차는 다음과 같다(표 3).

1) 시각조건에서의 굴곡 운동 시 남자(0.54±0.29)와 여자(0.92±0.98)의 재위치 오차는 통계학적으로 유의한 차이가 없었다($p>0.05$).

2) 시각조건에서의 신전 운동 시 남자(0.79±0.53)와 여자(0.73±0.49)의 재위치 오차는 통계학적으로 유의한 차이가 없었다($p>0.05$).

3) 시각조건에서의 우세손 방향 측방굴곡 운동 시 남자(0.47±0.28)와 여자(0.64±0.39)의 재위치 오차는 통계학적으로 유의한 차이가 없었다($p>0.05$).

4) 시각조건에서의 우세손 방향 측방굴곡 운동 시 남자(0.61±0.28)와 여자(0.68±0.44)의 재위치 오차는 통계학적으로 유의한 차이가 없었다($p>0.05$).

표 3. 시각조건에서의 성별에 따른 재위치 오차의 비교 (단위: °)

구분	남(N=20)	여(N=19)	t	p
굴곡	0.54±0.29	0.92±0.98	-1.605	0.124
신전	0.79±0.53	0.73±0.49	0.314	0.755
우세손 방향 측방굴곡	0.47±0.28	0.64±0.39	-1.532	0.134
비우세손 방향 측방굴곡	0.61±0.28	0.68±0.44	-0.613	0.545

나. 비시각조건에서의 성별에 따른 재위치 오차의 비교

비시각조건에서의 성별에 따른 재위치 오차는 다음과 같다(표 4).

1) 비시각조건에서의 굴곡 운동시 남자(2.17±1.11)와 여자(2.25±1.24)의 재위치 오차는 통계학적으로 유의한 차이가 없었다($p>0.05$).

2) 비시각조건에서의 신전 운동시 남자(1.83±0.87)와 여자(1.51±0.65)의 재위치 오차는 통계학적으로 유의한 차이가 없었다($p>0.05$).

3) 비시각조건에서의 우세손 방향 측방굴곡 운동시 남자(1.17±0.56)와 여자(1.56±0.77)의 재위치 오차는

통계학적으로 유의한 차이가 없었다(p>0.05).

4) 비시각조건에서의 비우세손 방향 측방굴곡 운동 시 남자(1.54±0.81)와 여자(1.83±0.74)의 재위치 오차는 통계학적으로 유의한 차이가 없었다(p>0.05).

표 4. 비시각조건에서의 성별에 따른 재위치 오차의 비교 (단위: °)

구분	남(N=20)	여(N=19)	t	p
굴곡	2.17±1.11	2.25±1.24	-0.225	0.823
신전	1.83±0.87	1.51±0.65	1.298	0.202
우세손 방향 측방굴곡	1.17±0.56	1.56±0.77	-1.820	0.077
비우세손 방향 측방굴곡	1.54±0.81	1.83±0.74	-1.176	0.247

4. 시도횟수에 따른 학습효과의 분석

반복 측정에 의한 재위치 오차의 추세 분석은 다음과 같다(표 5).

1) 시각조건에서 굴곡, 신전, 우세손 방향 측방굴곡, 비우세손 방향 측방굴곡 시 반복 측정된 재위치 오차는 선형이나 이차곡선 추세를 보이지 않았다(p>0.05).

2) 비시각조건에서 굴곡, 신전, 우세손 방향 측방굴곡, 비우세손 방향 측방굴곡 시 반복 측정된 재위치 오차는 선형이나 이차곡선 추세를 보이지 않았다(p>0.05).

표 5. 반복 측정에 의한 추세 분석

Source	시 도	F	Sig.
시각조건, 굴곡	Linear	0.177	0.676
	Quadratic	0.201	0.657
비시각조건, 굴곡	Linear	0.325	0.572
	Quadratic	2.088	0.157
시각조건, 신전	Linear	2.278	0.140
	Quadratic	0.042	0.839
비시각조건, 신전	Linear	0.366	0.549
	Quadratic	2.167	0.149
시각조건, 우세손 방향 측방굴곡	Linear	0.624	0.435
	Quadratic	0.756	0.390
비시각조건, 우세손 방향 측방굴곡	Linear	0.093	0.762
	Quadratic	0.427	0.518
시각조건, 비우세손 방향 측방굴곡	Linear	0.025	0.874
	Quadratic	0.929	0.341
비시각조건, 비우세손 방향 측방굴곡	Linear	0.203	0.655
	Quadratic	0.746	0.393

5. 시상면과 관상면에서의 재위치 오차의 비교

비시각조건에서 운동시 시상면과 관상면에서의 재위치 오차는 다음과 과 같다(표 6). 시상면에서 일어나는 운동(굴곡, 신전)의 재위치 오차(1.94±1.02)는 관상면에서 일어나는 운동(우세/비우세 방향 측방굴곡)의 재위치 오차(1.52±0.75)에 비해 통계학적으로 유의하게 컸다 (p<0.05).

표 6. 시상면과 관상면에서의 재위치 오차의 비교 (단위: °)

구분	N	평균±표준편차	t	p
시상면	78	1.94±1.02	2.921	0.004
관상면	78	1.52±0.75		

6. 우세손의 방향에 따른 측방굴곡의 재위치 오차의 비교

비시각조건에서 운동시 우세손의 방향에 따른 측방굴곡의 재위치 오차는 다음과 같다(표 7). 우세손 방향 측방굴곡의 재위치 오차(1.36±0.69)와 비우세손 방향 측방굴곡의 재위치 오차(1.68±0.78)는 통계학적으로 유의한 차이가 없었다($p>0.05$).

표 7. 우세손의 방향에 따른 측방굴곡의 재위치 오차의 비교

(단위: °)

구분	N	평균±표준편차	t	P
우세손 방향 측방굴곡	39	1.36±0.69	-1.910	0.060
비우세손 방향 측방굴곡	39	1.68±0.78		

Ⅳ 고 찰

본 연구는 시각조건과 비시각조건 하에서 시상면과 관상면에서 일어나는 요부 운동의 정확도를 재위치 오차를 이용하여 측정하였다. 그 결과 시각조건에서의 운동의 정확도는 비시각조건에서의 운동의 정확도보다 유의하게 높았다. 이는 시각 정보가 있는 상태에서는 시각 정보가 없는 상태에서보다 요부의 운동이 더 정확해진다는 것을 의미하는데, 이러한 결과는 시각조건과 비시각조건에서의 요부 운동의 정확도는 유의한 차이가 없다고 보고한 Newcomer 등(2000)의 연구 결과와 대조된다. 그러나 Wilson과 Granata(2003)는 컴퓨터 모니터를 이용하여 체간의 자세와 요추 만곡에 대한 시각 되먹임을 주면서 재위치를 연습시키고 시각 되먹임을 제거한 상태에서 재위치 정확도를 측정한 연구에서 시각 되먹임이 제거된 상태에서는 재위치 정확도가 유의하게 감소한다고 하였다. 이는 요추 만곡을 조절하는데 시각 되먹임이 효과적으로 이용될 수 있다는 것을 의미한다.

Newcomer 등(2000)은 요통환자와 정상인의 재위치 오차에 유의한 차이가 있을 것이라는 가설을 증명하기 위한 연구에서 시각조건과 비시각조건에 대한 실험을 병행하였다. 이 연구에서는 대상자들에게 선 자세에서 각 방향으로 목표 위치(최대 관절 가동 범위의 50%)를 재연하도록 한 후 재위치 오차를 측정하였다. 그러나 요통 환자군과 정상군, 시각 조건과 비시각조건하에서 측정된 재위치 오차에서 유의한 차이를 발견하지 못하였는데, 그 원인을 하지로부터의 구심성 감각입력을 통제하지 못하였기 때문이라고 하였다. Gill과 Callaghan(1998)은 선 자세에서 움직일 때는 요부의 고유 수용기 이외에도 발바닥의 피부 수용기, 고관절의 고유 수용기, 그리고 전정계 등의 다른 기전이 이용된다고 하였다. 또한 Allison과 Fukushima(2003)는 관절 가동 범위의 중간범위(midrange)에서는 체간을 굴곡할 때 슬관절을 굴곡하면, 척추 재위치 정확도가 증가한다고 하였는데, 이는 관절 가동 범위의 중간 범위가 하지로부터의 감각 입력의 영향을 가장 많이 받는 자세임을 의미한다. 그러므로 비시각조건 하에서는 이러한 부가적인 구심성 감각 입력들이 요부 운동의 조절에 이용되어 운동의 정확도를 증가시켰을 것으로 생각된다. 이후 Newcomer 등(2000)은 하지로부터 들어오는 감각 입력의 영향을 배제하기 위해 벨트를 이용하여 골반과 슬관절을 고정하였는데, 이 연구에서는 요통환자와 정상인의 재위치 오차에 유의한 차이가 있다고 하였다. 그러나 이 연구에서는 시각 조건에 대한 실험은 이루어지지 않았다.

초기의 연구들은 선 자세에서 하지로부터의 구심성 감각 입력을 최소화하기 위해 벨트를 이용하여 하지를 고정하는 방법을 많이 사용하였다 (Newcomer 등, 2001; Newcomer 등, 2000; Maffey-Ward 등, 1996; Parkhurst와 Burnett, 1994; Ashton-Miller 등, 1992; McGlashen 등, 1991; Taylor와 McCloskey, 1990). 그러나 벨트의 이용 자체가 많은 양의 감각 입력을 제공하는 것이며, 하지의 고정은 자연적인 상황이 아니기 때문에 이 결과를 기능적 상황에서는 적용하기가 어렵다. 또한 하지로부터의 구심성 감각 입력을 제거하기 위해 얼마나 많은 고정이 필요한가에 대해서도 아직 알려지지 않고 있다. 따라서 본 연구에서는 고관절과 슬관절, 그리고 족관절을 모두 90° 굴곡상태로 유지하고 의자에 앉은 상태에서 재위치 오차를 측정하였는데, 이

는 앉은 자세가 기능적인 관련성이 있으며 전정계와 하지로부터의 구심성 감각 입력을 최소화 할 수 있기 때문이다(O'Sullivan 등, 2003).

지각적 운동 기술 습득(perceptual motor skill acquisition)에 관한 이론에 의하면 효과기(effector)에 대한 시각적 조절은 학습의 초기 단계에 중요하며, 학습이 진행되면서 효과기에 대한 감지기능이 시각에서 고유 수용성 감각으로 이전되거나(Gibbs, 1970), 중추에서 지속적으로 조절할 필요가 감소되면 시각은 과제의 다른 측면에 참여하게 된다(Keele, 1973). 이러한 측면에서 볼 때 대상자들은 요부 운동의 정확도를 측정하는 실험 과제에 처음 노출되었으며, 특별히 요부의 고유 수용성 감각훈련을 하지 않은 대학생들이었기 때문에 운동의 정확도에 시각정보가 필요했을 것으로 생각된다.

비시각조건에서 측정한 재위치 오차를 통해서 평가한 고유 수용성 감각능력은 남녀 차이가 없었는데, 이는 선행연구들(김재헌과 배성수, 2003; Feipel 등, 2003; Newcomer 등, 2000; Ashton -Miller 등, 1992; Jakobs 등, 1985)과 일치한다. 근 방추가 대부분의 생리적 관절 가동범위에서 관절의 위치감각에 일차적 역할을 한다는 연구들(Cordo 등, 1995; Roll과 Vedel, 1982; Burgess 등, 1982; Goodwin 등, 1972)이 있고, 일반적으로 남자가 여자에 비해 근육이 더 발달된 것으로 알려져 있기는 하지만, 수용기의 상대적 중요성에 대해서는 아직까지 논란이 되고 있으며 요부의 고유 수용성 감각은 근육 수용기 이외에도 관절낭, 후관절, 인대, 추간판 등에 있는 많은 수용기들에 의해 제공되는 복잡한 기전을 가지고 있다(Yamashita 등, 1993; Yahia 등, 1992; Yahia 등, 1988)는 것과 근 방추의 분포가 힘을 생산하는 type II 근육보다는 극간근(interspinous m.), 극상근(supraspinous m.), 척추 주위근 등 자세를 유지하는 작은 크기의 type I 근육에 풍부하게 밀집되어 있다(Nitz와 Peck, 1986; Amonoo-Kuofi, 1983; Amonoo-Kuofi, 1982)는 것을 종합적으로 고려할 때 단순히 남자가 여자보다 근육이 더 발달되었다는 것만으로 남자의 고유 수용성 감각능력이 여자보다 뛰어나다고 할 수는 없다.

시각 정보 입력이 있는 상태에서 측정한 모든 운동방향으로의 재위치 오차 역시 남녀의 차이가 없었는데, 이는 요부 운동의 정확성에 시각 정보가 기여하는 정도가 남녀에서 같다는 것을 의미한다. 또한 시각 조건과 비시각 조건하에서 측정한 모든 운동에서 반복 측정에 의한 학습 효과(learning effect)는 나타나지 않았다.

관상면에서 일어나는 측방굴곡의 정확도는 시상면에서 일어나는 굴곡, 신전의 정확도에 비해 유의하게 높았는데, 이는 선행 연구들과 일치한다(Swinkels와 Dolan, 2004; Feipel 등, 2003). 또한 McGlashen 등(1991)도 비록 표본의 크기가 작아 통계적으로 유의한 수준에 도달하진 못하였지만, 관상면에서의 위치 정확도는 시상면보다 더 우수했다고 하였다. 그 이유로서 Swinkels와 Dolan(2004)은 측방굴곡 시에는 피부와 피부가 서로 접촉하게 되는데, 이로 인하여 부가적인 자극정보가 전달되기 때문이라고 하였으며, McGlashen 등(1991)은 해부학적 대칭성 때문이라고 하였다. 즉, 관상면에서는 해부학적 대칭성이 있으나 시상면에서는 해부학적 대칭성이 부족하며, 이는 곧 감각계와 운동계의 형태, 수, 방향성, 공간적 분포에까지 영향을 준다고 하였다.

우세손의 방향에 따른 재위치 오차는 통계학적으로 유의한 수준에는 도달하지 못하였으나 우세손 방향 측방굴곡의 정확도가 비우세손 방향 측방굴곡에 비해 더 우수한 경향을 보였다. Ashton-Miller 등(1992)은 체간의 위치 정확도에 관한 연구에서 측방굴곡자세로부터 기립자세로 돌아오는 위치 정확도를 측정하였는데, 오른쪽이 왼쪽에 비해 더 우수하다고 하였으며 그 이유로 오른손잡이가 왼손잡이에 비해 압도적으로 많기 때문이라고 하였다. 그러나 이 연구는 우세손의 방향을 사전에 정확히 조사하지 않고 일반적인 인구 통계를 기초로 추측한 것이기 때문에 우세손의 방향과 운동 정확도의 관계를 명확히 설명할 수 없다. 또한 Swinkels와 Dolan(1998)은 오른쪽 측방굴곡의 위치 감각이 왼쪽에 비해 약간 우수한 것은 우세손의 방향과 관련이 있을 것이라고 하면서 우세손의 방향에 따른 위치 감각의 차이에 대한 좀 더 많은 연구가 필요하다고 하였다. 그러나 지금까지 우세손의 방향에 따른 위치 감각의 차이를 직접적으로 비교한 연구는 없었다. 따라서 본 연구에서는 우세손 방향 측방굴곡과 비우세손 방향 측방굴곡의 재위치 정확도를 측정하였으나 통계학적 유의성은 보여주지 못했다. 그러나 우세손 방향 측방굴곡의 정확도는 비우세손 방향 측방굴곡의 정확도에 비해 우수한 경향을 보였으며, 앞으로 이에 대한 더 많은 연구가 이루어지길 제안한다.

본 연구의 대상자들은 19-29세의 신체적 제한이 없는 대학생으로서 이 나이는 요부의 조직들이 신경학적, 근 골격계적으로 충분히 성숙된 반면, 노화와 관련된

생화학적, 구조적 변화는 최소로 나타나는 연령군으로 (Schultz 등, 1984; Barrack 등, 1983; Malinsky, 1959) 요부 운동의 조절 능력에 손상이 없을 것으로 추측된다. 또한 신체적 활동 수준(physical activity level)을 고려한 선행 연구들(Newcomer 등, 2000; Parkhurst와 Burnett, 1994)에서 주당 운동시간에 따른 재위치 오차에는 유의한 차이가 없었기 때문에, 본 연구에서는 연령이나 신체적 활동 수준을 고려하지 않았다. 그러나 단순히 운동시간만이 아닌 운동의 형태를 고려한 연구는 필요할 것으로 생각된다.

본 연구의 제한점은 부가적인 정보 입력을 완전히 제거하지 못하였다는 것이다. 비록 본 연구에서 고관절, 슬관절, 족관절을 모두 90° 로 유지하여 하지 관절로부터의 감각입력을 제한하였다 하더라도, 하지로부터의 구심성감각 입력을 완전히 제거했다고 할 수는 없으며, 특히 전정계로부터의 구심성 감각 입력을 통제하지 못했다. 또한 Gracovetsky 등(1995)은 센서를 피부 위에 부착하고 척추의 움직임을 측정하는 방법의 타당도가 우수하다고 하였지만, 센서와 피부와의 접촉, 그리고 티셔츠와 피부와의 접촉으로 인해 또 다른 감각 정보 입력을 주었을 것으로 사료된다. 그러므로 이러한 제한점들을 보완한 연구들이 진행되어야 할 것이다.

또한 향후에는 요부의 고유 수용성 감각이 저하된 환자들의 운동 조절에 있어서 시각이 고유 수용성 감각을 어느 정도 보상하는지, 그리고 시각조건과 비시각조건에서 각각 시행된 고유 수용성 감각 훈련에 의해 증진된 요부의 고유 수용성 감각은 유의한 차이가 있는지 등의 시각의 활용에 대한 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것이다.

V. 결 론

본 연구는 시각과 고유 수용성 감각이 요부 운동의 정확도에 미치는 영향을 알아보기 위해 시각조건과 비시각조건하에서 정상 요부의 재위치 오차를 전자 측각기를 이용하여 측정하였으며, 연구의 결과는 다음과 같다.

1. 시각조건에서의 굴곡(0.72±0.73), 신전(0.76±0.51), 우세손 방향 측방굴곡(0.55±0.35), 비우세손 방향 측방굴곡(0.64±0.37)의 재위치 오차는 비시각조건에서의 굴곡(2.21±1.16), 신전(1.67±0.78), 우세손 방향 측방굴곡(1.36±0.69), 비우세손 방향 측방굴곡(1.68±0.78)의 재위치 오차에 비해 통계학적으로 유의하게 작았다($p<0.05$).

2. 시각조건과 비시각조건에서의 재위치 오차는 모두 남녀차이가 없었다. 시각조건하에서 남자의 굴곡(0.54±0.29), 신전(0.79±0.53), 우세손 방향 측방굴곡(0.47±0.28), 비우세손 방향 측방굴곡(0.61±0.28)의 재위치 오차는 여자의 굴곡(0.92±0.98), 신전(0.73±0.49), 우세손 방향 측방굴곡(0.64±0.39), 비우세손 방향 측방굴곡(0.68±0.44)의 재위치 오차와 통계학적으로 유의한 차이가 없었다($p>0.05$). 또한 비시각조건하에서 남자의 굴곡(2.17±1.11), 신전(1.83±0.87), 우세손 방향 측방굴곡(1.17± 0.56), 비우세손 방향 측방굴곡(1.54±0.81)의 재위치 오차는 여자의 굴곡(2.25±1.24), 신전(1.51±0.65), 우세손 방향 측방굴곡(1.56± 0.77), 비우세손 방향 측방굴곡(1.83±0.74)의 재위치 오차와 통계학적으로 유의한 차이가 없었다($p>0.05$).

3. 비시각조건하에서, 시상면에서 일어나는 운동(굴곡, 신전)의 재위치 오차(1.94±1.02)는 관상면에서 일어나는 운동(우세/비우세손 방향 측방굴곡)의 재위치 오차(1.52±0.75)에 비해 통계학적으로 유의하게 컸다($p<0.05$).

4. 비시각조건하에서, 우세손 방향 측방굴곡의 재위치 오차(1.36±0.69)와 비우세손 방향 측방굴곡의 재위치 오차(1.68±0.78)는 통계학적으로 유의한 차이가 없었다($p>0.05$).

이상의 결과를 종합해 볼 때, 시각 정보 입력을 적절하게 이용할 수 있는 상태에서는 고유 수용성 감각만으로 요부의 운동을 조절할 때 보다 운동의 정확도가 높아진다는 것을 알 수 있다.

질병이나 손상 등으로 인해 고유 수용성 감각이 저하되면 자세나 움직임의 적절한 조절이 방해를 받게 되는데, 이러한 경우에는 시각 보상(visual compensation)을 이용하여 자세와 움직임을 조절하게 된다. 그러나 대부분의 손상은 예상하지 못한 상황에서 발생하므로, 시각 보상을 통해 손상이나 재 손상을 예방하기 어렵기 때문에 고유 수용성 감각 능력을 향상시키는 것이 중요하다. 그러므로 자세와 움직임에 대한 조절 능력을 향상시키기 위해 고유 수용성 감각훈련이나 운동을 시행할 때는 과도한 시각보상을 방지하기 위해 시각정보의 차단과 허용이 적절히 이루어져야 할 것이다.

참 고 문 헌

김재헌, 배성수. 20대 정상 성인 남녀의 요추 원위치 돌아오기 오류의 차이. 대한물리치료 학회지. 2003;15:901-906.

Allison GT, Fukushima S. Estimating three-dimensional spinal repositioning error: The impact of range, posture, and number of trials. Spine 2003;28: 2510-2516.

Amonoo-Kuofi HS. The number and distribution of muscle spindles in human intrinsic postvertebral muscles. J Anat 1982;135:585-599.

Amonoo-Kuofi HS. The density of muscle spindles in the medial, intermediate, and lateral columns of human intrinsic postvertebral muscles. J Anat 1983;136:509-519.

Ashton-Miller JA, McGlashen KM, Schultz AB. Trunk positioning accuracy in children 7-18 years old. J Orthop Res 1992;10:217-225.

Barrack RL, Skinner HB, Cook SD et al. Effect of articular disease and total knee arthroplasty on knee joint-position sense. J Neurophysiol 1983;50:684-687.

Barrett DS, Cobb AG, Bentley G. Joint proprioception in normal, osteoarthritic and replaced knees. J Bone Joint Surg Br 1991;73:53-56.

Borenstein DG. Epidemiology, etiology, diagnostic evaluation, and treatment of low back pain. Curr Opin Rheumatol 2001;13:128-134.

Brooks VB. How posture and movements are governed. Phys Ther 1983;63:664-673.

Burgess PR, Wei JY, Clark FJ et al.. Signaling of kinesthetic information by peripheral sensory receptors. Ann Rev Neurosci 1982;5:171-187.

Cordo P, Gurfinkel VS, Bevan L et al. Proprioceptive consequences of tendon vibration during movement. Neurophysiol 1995;74:1675-1688.

Craik R. Changes in locomotion in the aging adult. In : Woollacott MH, Shumway-Cook A, eds. Development of posture and gait across the lifespan. Columbia. University of South Carolina. p176-201,1989.

Edwards AS. Body sway and vision. J Exper Psychol 1946;36:526-535.

Feipel V, Parent C, Dugailly PM et al. Development of kinematics tests for the evaluation of lumbar proprioception and equilibration. Clin Biomech 2003;18:612-618.

Ferrell W, Craske B. Contribution of joint and muscle afferents to position sense and the human proximal interphalangeal joint. Exp Physiol 1992;77:331-342.

Friden T, Roberts D, Zatterstrom R et al. Proprioception after an acute knee injury; a longitudinal study on 16 consecutive patients. J Orthop Res 1997;15:634-644.

Gandevia SC, Burke D. Does the nervous system depend on kinesthetic information to control natural limb movements? Behav Brain Sci 1992;15:614-632.

Gibbs CB. Servo-control systems in organism and the transfer of skill. In : Legge D(Ed.), Skills. Harmondsworth. Penguin. 1970.

Gill KP, Callaghan MJ. The measurement of lumbar the proprioception in individuals with and without low back pain. Spine1998;23:371-377.

Glencross D, Thornton E. Position sense following joint injury. J Sports Med 1981;21:23-27.

Goodwin GM, McCloskey DI, Mattews PB. The contribution of muscle afferents to kinesthesia shown by vibration induced illusions of movement and by the effects of paralysing joint afferents. Brain 1972;95:705-748.

Gracovetsky S, Newman N, Pawlowsky M et al. Robinson L. A database for estimating normal spinal motion derived from noninvasive measurements. Spine 1995;20:1036-1046.

Hoffman M, Payne GV. The effects of proprioceptive ankle disc training on healthy subjects. J Orthop Sports Phys Ther 1995;21:90-93.

Jakobs T, Miller JA, Schultz AB. Trunk position sense in the frontal plane. Exp Neurol 1985;90:129-138.

Jeannerod M, Prablanc C. The visual control of reaching movements. In: Desmedt JE (ed.). Motor control mechanisms in man. New York. Raven. p.13-29,1983.

Keele SW. Attention and human performance. California. Goodyear. 1973.

Keele SW. Behavioural analysis of movement. In: Brooks VB (ed). Motor control (Handbook of physiology, Sect 1. The nervous system, vol II, part 2). Baltimore. Williams & Wilkins. p1391-1414,1981.

Laskowski ER, Newcomer-Aney K, Smith J. Proprioception. Phys Med Rehabil Clin N Am 2000;11:323-340.

Lee DN, Lishman R. Visual proprioceptive control of stance. J Hum Movement Stud 1975;1:87-95.

Leinonen V, Kankaanpää M, Luukkonen M et al. Lumbar paraspinal muscle function, perception of lumbar position, and postural control in disc herniation-related back pain. Spine 2003;28:842-848.

Lönn J, Crenshaw AG, Djupsjöbacka M et al. Reliability of position sense testing assessed with a fully automated system. Clin Physiol. 2000;20:30-37.

Maffey-Ward L, Jull G, Wellington L. Toward a clinical test of lumbar spine kinesthesia. J Orthop Sports Phys Ther 1996;24:354-358.

Malinsky J. The ontogenetic development of nerve termination in the intervertebral discs of man. Acta Anat 1959;38:96-113.

McGill SM. Low back exercises: Evidence for improving exercise regimens. Phys Ther 1998;78:754-765.

McGlashen K, Ashton-Miller JA, Green M et al. Trunk repositioning accuracy in the frontal and sagittal planes. Orthop Res 1991;9:576-583.

Newcomer KL, Laskowski ER, Yu B et al. Repositioning error in low back pain: Comparing trunk repositioning error in subjects with chronic low back pain and control subjects. Spine. 2000;25:245-250.

Newcomer KL, Laskowski ER, Yu B et al. Difference in repositioning error among patient with low back pain compared with control subjects. Spine. 2000;25:2488-2493.

Newcomer KL, Laskowski ER, Yu B et al. The effects of a lumbar support on repositioning error in subjects with low back pain. Arch Phys Med Rehabil 2001;82:906-910.

Nies N, Sinnott PL. Variations in balance and body sway in middle-aged adults: Subjects with health backs compared with subjects with low back dysfunction. Spine 1991;16:325-330.

Nitz AJ, Peck D. Comparison of muscle spindle concentrations in large and small human epaxial muscles acting in parallel combinations. Am Surg 1986;52:273-277.

O'Sullivan PB, Burnett A, Floyd AN et al. Lumbar repositioning deficit in a specific low back pain population. Spine 2003;28:1074-1079.

Parkhurst TM, Burnett CN. Injury and proprioception in the lower back. J Orthop Sports Phys Ther. 1994;19:282-295.

Paulus WM, Straube A, Brandt T. Visual stabilization of posture. Brain 1984;107:1143-1163.

Perlau R, Frank C, Fick G. The effect of elastic bandages on human knee proprioception in the uninjured population. Am J Sports Med. 1995;23:251-255.

Prablanc C, Echallier JE, Jeannerod M et al. Optimal response of eye and hand motor systems in pointing at a visual target. II. Static and dynamic visual cues in the control of hand movement. Biol Cybern

1979;35:183-187.

Roll JP, Vedel JP. Kinaesthetic role of muscle afferents in man, studied by tendon vibration and microneurography. Exp Brain Res 1982;47:177-190.

Rothwell JC, Traub MM, Day BL et al. Manual motor performance in a deafferented man. Brain. 1982;105:515-542.

Sanes JN, Mauritz KH, Dalakas MC et al. Motor control in humans with large-fiber sensory neuropathy. Hum Neurobiol 1985;4:101-114.

Schmidt RA, Lee TD. Motor control and learning. 3rd ed. Champaign. Human kinetics Publishers. p96-110,1999/

Schultz RA, Miller DC, Kerr CS et al. Mechanoreceptors in human cruciate ligaments: A histological study. J Bone Joint Surg Am 1984;66:1072-1076.

Sherrington CS. On the proprioceptive system, especially in its reflex aspects. Brain 1906;29:467-482.

Smith RL, Brunolli J. Shoulder kinesthesia after anterior glenohumeral dislocation. Phys Ther. 1989;69:106-112.

Smyth MM, Marriott AM. Vision and proprioception in simple catching. J Mot Behav 1982;14(2): 143-152.

Swinkels A, Dolan P. Regional assessment of joint position sense in the spine. Spine 1998;23: 590-597.

Swinkels A, Dolan P. Spinal position sense in ankylosing spondylitis. Spine 2004;29:413-420.

Taylor JL, McCloskey DI. Proprioceptive sensation in rotation of the trunk. Exp Brain Res. 1990;81:413-416.

Waddell G. A new clinical model for the treatment of low back pain. Spine 1987;2:632-644.

Wilson SE, Granata KP. Reposition sense of lumbar curvature with flexed and asymmetric lifting postures. Spine 2003;28:513-518.

Winstein CJ, Schmidt RA. Sensorimotor feedback. In: Holding D, 2nd ed. Human Skill. Shichester. Wiley & Sons. p17-47,1989.

Yahia LH, Newman N, Rivard CH. Neurohistology of lumbar spine ligament. Acta Orthop Scand 1988;59:508-512.

Yahia LH, Rhalmi S, Newman N et al. Sensory innervation of human thoracolumbar fascia. Acta Orthop Scand 1992;63:195-197.

Yamashita T, Minaki Y, Oota I et al. Mechanosensitive afferent units in the lumbar intervertebral disc and adjacent muscle. Spine 1993;18:2252-2256.