

5분 동안 바로 앉은 자세와 구부린 앉은 자세 시 허리 관절재위치 오류의 비교

지명기¹, 정성대², 박규남³, 권오윤³

¹분당서울대학교병원 재활의학과, ²연세대학교 대학원 물리치료학과,
³연세대학교 보건과학대학 물리치료학과, 보건환경대학원 인간공학치료학과

Comparison of Lumbar Joint Reposition Error When Sitting in Upright and Slouched Positions for Five Minutes

Myung-ki Ji¹, BHSc, PT, Sung-dae Choung², BHSc, PT, Kyue-nam Park³, PhD, PT,
Oh-yun Kwon³, PhD, PT

¹Dept. of Rehabilitation Medicine, Seoul National University Bundang Hospital,

²Dept. of Physical Therapy, The Graduate School, Yonsei University,

³Dept. of Physical Therapy, College of Health Science, Yonsei University,

Dept. of Ergonomic Therapy, The Graduate School of Health and Environment, Yonsei University

Abstract

The purpose of this study was to compare the slouched and upright sitting positions on lumbar joint reposition error (LJRE). Twenty subjects without low back pain were recruited for this study and, using a random number table, were randomly assigned to two groups; the upright sitting position group (UP group) and the slouched sitting position group (SP group). UP group was first asked to sit in an upright position and the SP group to sit in a slouched position as an intervention, and then the LJRE of both groups was measured at the neutral sitting position (lumbar flexion 0°). The measurement of the LJRE was repeated after one day. The sitting positions were performed for five minutes each and the LJRE was measured using an electronic goniometer. An independent t-test was used to compare the LJRE of both groups after each sitting position and after one day. The results of this study showed that the LJRE after an intervention in the UP group was lower than in the SP group ($p < .05$) and the LJRE after one day in the UP group was lower than in the SP group ($p < .05$). The findings of this study indicate that the upright sitting position can be applied to decrease LJRE, compared with the slouched sitting position. These findings also support that the upright sitting position reduces the potential for proprioceptive loss.

Key Words: Joint reposition error; Lumbar spine; Sitting position.

I. 서론

허리를 굽히거나 구부린 자세(slouched posture)는 일상생활에서 매일같이 일어나며, 구부린 앉은 자세는 허리관절이 굽어진 채로 앉은 자세라고 정의할 수 있다 (Dolan과 Green, 2006; Kendall 등, 1993). 이 자세를

지속적으로 유지하게 되면 허리의 중립 자세(neutral posture)를 잃게 되고 근육의 약화나 척추의 불안정성에 의해 척추에 손상을 입힐 위험에 노출된다(Panjabi, 1992a; Panjabi, 1992b). Panjabi(1992b)는 고유수용성 근육신경 반사(neuromuscular proprioceptive reflex)에 의해 조절되어 척추 움직임이 가능한 지역을 “중립지역

(neutral zone)”이라는 말로 설명하였다. 다시 말해, 허리 통증을 유발하는 자세와 구부린 자세 사이의 관계는 고유수용성 반사의 약화로 인한 중립지역의 손실이라 말할 수 있다(Panjabi, 1992b). 고유수용성감각(proprioception)은 움직임을 조절하기 위해 필수적이며(Laskowski 등, 1997; Myers와 Lephart, 2000), 정확한 감각과 척추를 조절할 수 있는 능력은 척추의 안정성을 위한 중요한 피드백(feedback) 역할을 한다(Cholewicki 등, 1997). 그렇기 때문에, 고유수용성감각의 결손은 몸통 움직임에 큰 영향을 미친다(Cholewicki 등, 1997).

고유수용성감각을 가진 구조의 반사적인 활동(reflexive activity)과 척추 조직의 점탄성 능력(viscoelastic properties)은 굽은 자세(flexed posture)에 의해 영향을 받게 된다(Adams와 Dolan, 1996; McGill과 Brown, 1992; Solomonow 등, 2001). 이전 연구들은, 반사적인 활동이 척추인대가 늘어났을 때 감소한다고 하였으며, 이로 인한 인대 및 기타 척추조직의 점탄성 능력에 변화를 가져온다고 보고하였고(Adams와 Dolan, 1996), 또한 고유수용성감각의 조절과 허리근육의 활동 간의 직접적인 관련성이 있다고 보고하였다(Solomonow 등, 2001).

허리 통증과 고유수용성감각과의 관계를 연구한 대부분의 이전의 연구들은, 허리 통증이 있는 대상자와 없는 대상자 간의 허리 관절재위치 감각(lumbar joint reposition sense) 및 재위치 오류(reposition error)의 차이를 보고하였다(Brumagne 등, 2000; Gill과 Callaghan, 1998; Newcomer 등, 2000). 또한 허리와 관련된 질병; 추간판 탈출증(disk herniation), 강직성 척추염(ankylosing spondylitis)에 따른 허리관절의 감지 능력과 고유수용성감각에 미치는 영향을 보고한 연구도 있었다(Leinonen 등, 2003; Swinkels와 Dolan, 2004). 이전의 여러 연구들은 고유수용성감각 운동(proprioceptive training), 허리를 지지하기 위한 보조기(lumbar orthosis for support), 체중 지지 운동(weight bearing training), 그리고 척추 교정(spinal manipulation)과 같은 치료적 중재 방법의 효과를 보고함으로써, 허리관절과 고유수용성감각, 즉 허리 관절재위치 감각과의 관계에 대한 다양한 치료적 중재 방법을 제시하였다(Fontana 등, 2005; Laskowski 등, 1997; Learman 등, 2009; Newcomer 등, 2001). 그러나 현재까지 앉은 자세에 따른 치료적 중재 방법, 또는 앉은 자세에 따른 차이를 제시한 연구는 미비하였다.

최근의 연구에서는 앉은 자세에 따른 척추의 이상적인 자세를 달성하기 위한 치료적 접근방법들이 제시되어 왔다. Scannell과 McGill(2003)은 대상자의 서있는 자세와 같은 척추 곡선을 유지하고 앉도록 하여 대상자의 신체적 운동 범위와 근육신경 조절을 향상시키는 운동프로그램을 제시하였다. O'sullivan 등(2006)은 허리의 앞굽음(lordosis) 자세와 몸통의 뒤굽음(kyphosis) 자세를 각각 구분하여 앉도록 대상자에게 적용하였고, 이는 이상적인 앉은 자세를 달성 할 수 있다고 하였다. 또한, Dolan과 Green(2006)은 구부러진 앉은 자세를 유지시켜 허리 관절재위치 오류를 비교하였다. 그들은 구두 피드백(verbal feedback)과 도수 촉진(manual facilitation)에 의해 구부러진 자세를 5분 시행하였을 시 허리 관절재위치 감각에 영향을 미친다고 하였으며, 관절재위치 능력의 손실이 허리 통증에 영향을 미친다고 하였다. Wilson과 Granata(2003)는 구부러진 자세에서 허리관절의 곡선을 시각적인 피드백을 사용하여 조절하고 그에 따른 허리관절의 재위치 감각을 측정하였다. 최근에, Norris(2008)는 척추 전체의 중립화(neutralization)를 확보하고 척추의 움직임을 제한하기 위하여 막대의 사용을 제안하였다. 그러나 허리의 중립자세를 유지하기 위한 앉은 자세 방법을 제시하는 연구는 없었으며 이러한 허리의 중립자세를 유지하도록 하는 것이 허리 관절재위치 감각, 즉 재위치 오류에 어떠한 영향을 미치는 지에 대한 연구는 없었다.

그러므로 이 연구의 목적은 건강한 대상자에게 바로 앉은 자세(upright sitting position; UP)와 구부린 앉은 자세(slouched sitting position; SP)를 취하도록 하였을 시 각각의 자세 후, 허리 관절재위치 오류를 비교하고자 한다. 또한 각각의 앉은 자세에 따른 허리 관절재위치 오류가 하루가 지난 후에도 차이를 보이는 지를 알아보고자 한다. 본 연구의 가설은 다음과 같다. 바로 앉은 자세를 수행한 대상자가 구부린 앉은 자세를 수행한 대상자보다 허리 관절재위치 오류가 더 적을 것이다.

II. 연구방법

1. 연구대상자

경기도에 소재한 대학 병원에서 근무하는 직원을 대상으로 1) 허리 통증의 과거력이 없고, 2) 허리와 관련된 수술의 이력이 없으며, 3) 오스웨스트리 허리 통증



Figure 1. Slouched sitting position (SP).



Figure 2. Upright sitting position (UP).

장애 척도(Oswestry low back pain disability index)의 점수가 20점 이하인 성인 20명을 대상으로 선정하였다. 대상자 중에서 고관절 및 골반의 통증 이력, 신경병증 통증의 징후 및 증상, 척추 병증(spinal pathology)의 과거력이 있는 대상자와 임신부 및 산후 6개월 이전인 대상자는 연구에서 제외하였다. 실험에 참여한 모든 대상자들은 실험과정에 대하여 충분한 설명을 들은 후 자발적으로 연구 동의서에 서명하였다. 20명의 대상자들은 난수표를 이용하여 무작위로 구분된 앉은 자세를 실시하는 군과 바로 앉은 자세를 실시하는 군으로 각각 10명씩 할당 하였다.

2. 측정도구

대상자들의 허리 관절재위치 오류를 측정하기 위해 전자각도계(Dualer IQ™ electronic goniometer, J-TECH Medical, UT, USA)를 이용하였다. 두 개의 블록(two blocks; reference block and electronic goniometer block)으로 구성되어 있으며, 각각의 블록은 서로 전선으로 연결되어 전자각도계 블록에서 지속적으로 실시시간으로 허리 관절 각도를 측정 할 수 있다. 또한 이 측정도구는 소수점 아래 두 자리의 각도까지 측정되며 단위는 도(°)이다.

3. 실험방법

허리 관절재위치 오류는 각각의 앉은 자세를 시행한 후, 그리고 하루가 지난 후 한 명의 실험자가 측정하였다. 각각의 앉은 자세를 시행하기 전 실험자가 도수 측진을 이용하여 대상자가 바로 앉은 자세, 즉 허리의 중립 자세를 5초간 유지하도록 하였다. 그리고 대상자에게 바로 앉은 자세에 대한 실시를 10번 시행시켜 허리의 중립 자세를 교육하였다. SP는 의자에 양 발을 어깨 넓이만큼 벌린 상태에서 발을 땅에 닿게 하고 앉게 하였다. 그리고 대상자에게 허리를 등받이에 닿지 않게 하여 구부리고 편안하게 앉은 자세에서 5분을 유지하도록 하였다(Figure 1). UP는 SP와 같은 의자에서 허리의 중립자세(허리 굽힘 0°)를 치료사가 도수 측진으로 만들어 준 다음 대상자의 척추 선에 따라 막대를 대주었다. 그리고 대상자가 직접 막대의 위쪽과 끝을 양 손으로 고정하고 5분 동안 척추 선에 따라 막대를 대고 유지하도록 하였다(Figure 2). 중립의 앉은 자세(neutral sitting position)는 치료사에 의해 골반의 위앞엉덩뼈가시(anterior superior iliac spine)와 위뒤엉덩뼈가시(posterior superior iliac spine)가 수평면에 나란히 놓인 자세로 설정하였다(Maffey-Ward 등, 1996).

허리 관절재위치 오류의 측정방법은 다음과 같다. 대



Figure 3. The measurement of lumbar joint reposition error.

상자는 무릎관절과 엉덩관절이 약 90°가 되도록 양 발을 땅에 붙이고 의자 끝에 앉아, 전방을 응시하도록 하였다. 실험자는 직접 12번째 가슴뼈의 가시돌기(T12 spinous process)에 위쪽 블록을, 첫 번째 꼬리뼈의 가시돌기(S1 spinous process)에 전자각도계 블록을 부착하였다(Song 등, 2011). 그리고 허리관절의 중립 자세(허리 굽힘 0°)에서 전자각도계의 값을 0°로 설정하였다. 대상자에게 두 가지 앉은 자세를 적용 한 후 대상자 스스로 처음에 교육받은 중립자세를 취하게 하였다. 중립자세의 허리 굽힘 각도 0°와 대상자가 바로 앉았다고 생각한 허리 각도의 오차 값을 비교하여 허리 재위

치 오류를 측정하였다. 3회 실시하였고 측정된 값을 평균값으로 산출하였으며 각 측정 간 휴식시간은 3분을 제공하였다. 휴식시간에는 자유롭게 실험실 내에서 활동하도록 하였으며, 조직의 회복에 의한 적응을 피하기 위하여 측정시간은 총 15분 내에 실시하였다. 측정 시, 구두 및 시각적 피먹임을 제거하기 위하여 헤드셋과 안대를 착용하고 실시하였다(Figure 3). 하루가 지난 후의 허리 관절재위치 오류 측정은 전날과 동일한 시각에 동일한 방법으로 실시하였다. 또한 하루 동안 대상자에게 일상생활동작을 하도록 하였으며, 강한 강도의 운동 및 심한 육체적 활동은 금하게 하였다.

4. 분석방법

각각의 앉은 자세 후 및 하루 후, 두 가지 앉은 자세 간 허리 관절재위치 오류의 차이를 비교하기 위하여 SPSS ver. 18.0 프로그램을 사용하여 독립 t-검정(independent t-test)을 이용하였다. 통계학적 유의수준은 $\alpha=.05$ 로 설정하였다.

III. 결과

1. 연구대상자

Table 1은 연구대상자들의 일반적 특성을 보여주고 있다. 대상자들의 나이, 신장, 체중, 평균체중지수, 오스웨스트리 허리 통증 척도, 일반적 특성의 변수는 각 집단 사이에 유의한 차이는 없었다($p>.05$).

2. 바로 앉은 자세와 구부린 앉은 자세 군 간 허리 관절재위치 오류 비교

두 가지 앉은 자세에 따른 군 간 허리 관절재위치 오류를 앉은 자세 적용 후 그리고 하루가 지난 후에 비

Table 1. General characteristics of subjects

(N=20)

	SP ^c (n ₁ =10; male=6, female=4)		UP ^d (n ₂ =10; male=5, female=5)		p
	Mean±SD	Range	Mean±SD	Range	
Age (yr)	26.7±2.9	22.0~31.0	25.1±1.9	22.0~29.0	.116
Height (cm)	170.8±7.7	162.0~184.3	167.2±8.1	159.5~179.3	.362
Weight (kg)	70.2±13.3	54.0~92.4	65.8±12.3	48.0~87.1	.433
BMI ^a (kg/m ²)	23.8±2.5	20.1~28.3	23.4±3.1	18.8~30.3	.740
ODI ^b (score)	3.5±2.6	0~10	3.1±2.6	0~7	.753

^abody mass index, ^bOswestry low back pain disability index, ^cslouched sitting position group, ^dupright sitting position group.

교하였다. 앉은 자세를 시행 한 후 SP군 보다 UP군에서 허리 관절재위치 오류가 5.32도 더 유의하게 낮았다 ($p<.05$). 또한 하루가 지난 후, SP군보다 UP군에서 허리 관절재위치 감각이 4.06도 더 유의하게 낮았다 ($p<.05$)(Table 2).

IV. 고찰

본 연구는 UP와 SP가 허리 관절재위치 오류에 미치는 영향을 각 자세 후, 하루가 지난 후에 비교하고자 하였다. 바로 앉은 자세는 구부린 앉은 자세와 비교했을 때 허리 관절재위치 오류가 적었다. 또한 하루가 지난 후에도 바로 앉은 자세의 허리 관절재위치 오류가 구부린 앉은 자세와 비교하였을 때 유의하게 적다는 것을 알 수 있었다

UP를 실시한 군에서는 SP를 실시한 군과 비교하여 허리 관절재위치 오류가 5.32°로 유의하게 낮았다. 또한 하루가 지난 후에도 UP를 실시한 군이 SP를 실시한 군과 비교하여 허리 관절재위치 오류가 4.06°로 더 낮았다. 이와 같은 결과에 따라, 본 연구의 가설인, 바로 앉은 자세를 한 대상자가 구부린 앉은 자세를 한 대상자보다 허리 관절재위치 오류가 적을 것이라는 가설은 지지되었다. 또한 UP군과 SP군과의 허리 관절재위치 오류의 차이가 하루가 지난 후에도 유의하게 차이가 있는 것으로 보아, UP군이 SP군에 비해 허리 관절재위치 오류가 하루가 지난 후에도 더 낮다는 것을 알 수 있었다.

UP군과 SP군 사이에서 허리 관절재위치 오류의 차이는 Parkhurst와 Burnett(1994)이 언급한 고유수용성 감각에 의하여 설명할 수 있다. 기계수용기(mechanoreceptor)는 긴장도(tension) 증가에 의해 구심성 신호(afferent signal)를 증가시키며, 긴장도가 작아졌을 때 그 자극(impulse)은 줄어든다. 그래서 증가되거나

줄어든 근육의 긴장도는 기계수용기의 이상(dysfunction)을 일으키게 된다. 또한 고유수용성감각과 관련하여 근육수용기(muscle receptor)도 중요한 역할을 담당하고 있다(Taimela 등, 1999). 그러므로 UP군의 대상자가 바로 앉은 자세 시의 근육 긴장도의 변화 및 근육수용기의 변화는 허리 관절재위치 감각에 관련된 중요한 인자인 근육방추(muscle spindle)에 영향을 미치는 것으로 사료된다. 또한 SP에 의하여 생긴 자세 조절의 손상과 허리관절 고유수용성감각의 이상은 감각의 손실과 정보 처리의 이상으로 인한 되먹임 오류의 결과라고 할 수 있다(Leinonen 등, 2003). 또한 고유수용성 감각의 기억(proprioceptive memory)이라는 것에 의해 하루 후의 UP와 SP 사이의 유의한 차이를 설명할 수 있다. 대부분의 사람들은 어떠한 움직임을 하거나 자세를 취할 때 자연스럽게 고유수용성감각 되먹임에 의해 실행된다(Goble과 Brown, 2007). 그리고 새로운 움직임이나 자세를 배우게 되면 사람들은 이것을 고유수용성 감각 기억 저장소에 저장하게 되며, 이러한 움직임이나 자세를 자연스럽게 자동적으로 실행된다(Goble 등, 2009). 이것을 미루어 보아, 각각의 앉은 자세 시 고유수용성감각의 기억이 하루가 지난 후에 두 군 간의 차이를 이끌게 된 것이라 사료된다.

Lee 등(2010)과 Feipel 등(2003)은 허리 통증이 있는 대상자와 없는 대상자 간의 고유수용성감각의 차이를 연구하였고, 두 군간 고유수용성감각의 유의한 차이를 보고하였다. 또한 Taimela 등(1999)은 척추 근육의 피로에 따른 척추 자세의 변화를 감지하는 능력의 손상은 허리 근육이 반응하는 속도의 지연이라고도 언급하였다. Brunmagne 등(2000)은 허리 통증이 있는 환자는 변화된 척추 사이의 근육 방추의 영향으로 인한 감각 신호의 중앙 처리능력의 손상이라고 하였으며, O'sullivan 등(2003)은 허리관절의 고유수용성 자각능력(proprioceptive awareness)의 손실로 인하여 중립적 척

Table 2. Comparison of joint reposition error between slouched and upright sitting position groups (Unit: °)

After an intervention			
SP ^a (n ₁ =10)	UP ^c (n ₂ =10)	t	p
7.56±3.77 ^b	2.24±1.84	4.011	.001*
After one day			
SP (n ₁ =10)	UP (n ₂ =10)	t	p
7.46±2.87	3.40±1.56	3.922	.001*

^aslouched sitting position group, ^bmean±standard deviation, ^cupright sitting position group, *p<.05.

추 자세로 허리를 재위치하는 능력이 결여된 것이라고 말하였다. 그러므로 본 연구에서 사용한 허리 관절재위치 감각 측정은 일반인에게 허리 통증 발생 위험을 평가하는 중요한 지표가 될 수 있을 것으로 판단되며, 바로 앉은 자세 훈련을 통해 회복될 수 있을 것으로 사료된다.

허리에 이로운 앉은 자세에 대한 연구는 현재까지 많이 이루어졌으나, 아직까지는 논란의 여지가 많다. O'sullivan 등(2006)은 허리의 근육활동을 최소화하여 바로 앉은 자세가 좋다고 하였지만, Gracovetsky 등(1990)은 관절과 인대에 스트레스가 가해질 수 있다고 하였다. 본 연구에서는 막대를 이용하여 바로 앉은 자세를 시행하였고 이 자세 시 허리관절의 중간 범위(mid-range)에 적용한 것이라 할 수 있으며, 중간 범위의 허리 자세는 인대에 가해지는 스트레스를 피할 수는 있으나, 구부리지거나 비트는 스트레스에는 쉽게 노출될 수 있다고 하였다(Crisco와 Panjabi, 1992). 또한 척추 분절의 비틀림을 예방하기 위한 척추의 안정성을 알아보기 위한 연구에서 끝 범위(end-range)에서의 신경근육조절(neuromuscular control)보다 중간 범위에서의 신경근육조절이 더욱 요구된다고 하였다(Cholewicki와 McGill, 1996). 중간 범위에서의 척추 분절의 신경근육조절은 척추의 움직임과 하중(load)의 안전성을 위해 중요하다고 보고한 연구도 있다(Panjabi, 1992a; Panjabi, 1992b). 그리고 바르게 앉은 자세와 관련된 최근 연구에서 신경근육조절의 악화가 허리 통증으로 이어질 수 있는 중요한 예상지표라는 것을 보여주고 있다(Cholewicki 등, 2005). 따라서 본 연구에서 시행한 막대를 이용하여 바로 앉은 자세가 허리에 좋은 앉은 자세인지는 판단 할 수 없지만, 척추의 신경근육조절을 훈련하고 척추와 관련된 치료적인 중재 방법으로 이용할 수 있다는 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 허리 통증과 관련이 있는 허리 관절재위치 오류를 구부린 앉은 자세와 바로 앉은 자세 간 비교하려고 하였다. 결과적으로, 구부린 앉은 자세는 허리 관절재위치 오류가 바로 앉은 자세보다 더 큰 것으로 보아 허리 관절재위치 능력의 저하를 발생시킨 반면, 바로 앉은 자세는 구부린 앉은 자세와 비교하여 허리 관절재위치 오류의 감소를 야기했다. 또한 이런 능력은 하루가 지난 후에도 구부린 앉은 자세와 비교하여 감소되어 있다는 것을 알 수 있었다. 이와 같은 긍정적 효과를 바탕으로, 바로 앉은 자세는 허리 관절재위치 감각과 관련된 허리 통증의 발생을 예방할 수 있고, 더

나아가 허리 통증 환자의 재활 훈련의 일환이 될 수 있다고 사료된다.

본 연구의 제한점으로 첫째, 허리 통증과 관련된 허리 관절재위치 오류를 비교하였으나, 대상자가 허리 통증이 있는 환자가 아니라 통증이 없는 대상자에게 적용한 것이라, 이 능력이 직접적인 허리 통증과 연관성이 있는지에 대한 연구를 하지 못했다. 둘째, 허리 관절재위치 능력을 측정하는 방법은 직접적으로 고유수용성감각을 측정하는 것이 아니라 간접적으로 측정하는 것이기 때문에 고유수용성감각에 대해 일반화하기는 불가능하다. 그러므로 앞으로 고유수용성감각에 대해 보다 객관적인 도구 및 측정 방법을 바탕으로 더 많은 대상자들에 대한 앉은 자세에 관한 연구가 필요하며, 앉은 자세에 따른 허리 통증의 변화에 대한 연구도 필요하다. 또한 앉은 자세만으로 허리 관절재위치 감각의 향상 및 허리 통증의 완화가 허리 통증을 호소하는 환자들의 정상적인 기능 회복 및 일상적 활동에 영향을 미치는지에 대한 연구가 필요하다고 제안한다.

V. 결론

본 연구는 건강한 대상자에게 바로 앉은 자세와 구부린 앉은 자세를 제시하고, 5분간 앉은 자세 시 이에 따른 허리 관절재위치 오류를 비교하고자 하였다. 연구 결과, 바로 앉은 자세는 구부린 앉은 자세와 비교했을 때 허리 관절재위치 오류가 유의하게 적었다. 또한 바로 앉은 자세에 따른 향상된 허리 관절재위치 오류가 하루가 지난 후에도 구부린 앉은 자세와 비교하였을 때 유의하게 차이가 있음을 알 수 있었다. 그러므로 바로 앉은 자세는 허리 관절재위치 오류의 결과로 보아, 허리의 고유수용성감각을 향상시키며 임상적으로 쉽게 적용 가능한 중재 방법이라고 제시될 수 있을 것이다.

References

- Adams MA, Dolan P. Time-dependent changes in the lumbar spine's resistance to bending. Clin Biomech (Bristol, Avon). 1996;11(4):194-200.
- Brumagne S, Cordo P, Lysens R, et al. The role of paraspinal muscle spindles in lumbosacral posi-

- tion sense in individuals with and without low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2000;25(8):989-994.
- Cholewicki J, McGill SM. Mechanical stability of the in vivo lumbar spine: Implications for injury and chronic low back pain. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 1996;11(1):1-15.
- Cholewicki J, Panjabi MM, Khachatryan A. Stabilizing function of trunk flexor-extensor muscles around a neutral spine posture. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1997;22(19):2207-2212.
- Cholewicki J, Silfies SP, Shah RA, et al. Delayed trunk muscle reflex responses increase the risk of low back injuries. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2005;30(23):2614-2620.
- Crisco JJ, Panjabi MM, Yamamoto I, et al. Euler stability of the human ligamentous lumbar spine. PartII: Experiment. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 1992;7(1):27-32.
- Dolan KJ, Green A. Lumbar spine reposition sense: The effect of a 'slouched' posture. *Man Ther*. 2006;11(3):202-207.
- Feipel V, Parent C, Duquailly PM, et al. Development of kinematics tests for the evaluation of lumbar proprioception and equilibration. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2003;18(7):612-618.
- Fontana TL, Richardson CA, Stanton WR. The effect of weight-bearing exercise with low frequency, whole body vibration on lumbosacral proprioception: A pilot study on normal subjects. *Aust J Physiother*. 2005;51(4):259-263.
- Gill KP, Callaghan MJ. The measurement of lumbar proprioception in individuals with and without low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1998;23(3):371-377.
- Goble DJ, Brown SH. Task-dependent asymmetries in the utilization of proprioceptive feedback for goal-directed movement. *Exp Brain Res*. 2007;180(4):693-704.
- Goble DJ, Coxon JP, Wenderoth N, et al. Proprioceptive sensibility in the elderly: Degeneration, functional consequences and plastic-adaptive processes. *Neurosci Biobehav Rev*. 2009;33(3):271-278.
- Gracovetsky S, Kary M, Levy S, et al. Analysis of spinal and muscular activity during flexion/extension and free lifts. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1990;15(12):1333-1339.
- Kendall F, McCreary E, Provance P. *Muscles: Testing and function*. 4th ed. Baltimore, Williams & Wilkins, 1993:75-85.
- Laskowski ER, Newcomer-Aney K, Smith J. Refining rehabilitation with proprioception training: Expediting return to play. *Phys Sportsmed*. 1997;25(10):89-104.
- Learman KE, Myers JB, Lephart SM, et al. Effects of spinal manipulation on trunk proprioception in subjects with chronic low back pain during symptom remission. *J Manipulative Physiol Ther*. 2009;32(2):118-126.
- Lee AS, Cholewicki J, Reeves NP, et al. Comparison of trunk proprioception between patients with low back pain and healthy controls. *Arch Phys Med Rehabil*. 2010;91(9):1327-1331.
- 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 (Phila Pa 1976)*. 2003;28(8):842-848.
- Maffey-Ward L, Jull G, Wellington L. Toward a clinical test of lumbar spine kinesthesia. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1996;24(6):354-358.
- McGill SM, Brown S. Creep response of the lumbar spine to prolonged full flexion. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 1992;7(1):43-46.
- Myers JB, Lephart SM. The role of the sensorimotor system in the athletic shoulder. *J Athl Train*. 2000;35(3):351-363.
- Newcomer K, 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 (Phila Pa 1976)*. 2000;25(2):245-250.
- Newcomer K, Laskowski ER, Yu B, et al. The ef-

- fects of a lumbar support on repositioning error in subjects with low back pain. *Arch Phys Med Rehabil*. 2001;82(7):906-910.
- Norris CM. *Back Stability: Integrating science and therapy*. Human Kinetics Publishers, 2008:39-58.
- O'Sullivan PB, Burnett A, Floyd AN, et al. Lumbar repositioning deficit in a specific low back pain population. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2003;28(10):1074-1079.
- O'Sullivan PB, Dankaerts W, Burnett AF, et al. Effect of different upright sitting postures on spinal-pelvic curvature and trunk muscle activation in a pain-free population. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31(19):E707-712.
- Panjabi MM. The stabilizing system of the spine. Part I. Function, dysfunction, adaptation, and enhancement. *J Spinal Disord*. 1992a;5(4):383-389; discussion 397.
- Panjabi MM. The stabilizing system of the spine. Part II. Neutral zone and instability hypothesis. *J Spinal Disord*. 1992b;5(4):390-396; discussion 397.
- Parkhurst TM, Burnett CN. Injury and proprioception in the lower back. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1994;19(5):282-295.
- Scannell JP, McGill SM. Lumbar posture--should it, and can it, be modified? A study of passive tissue stiffness and lumbar position during activities of daily living. *Phys Ther*. 2003;83(10):907-917.
- Solomonow M, Eversull E, He Zhou B, et al. Neuromuscular neutral zones associated with viscoelastic hysteresis during cyclic lumbar flexion. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2001;26(14):E314-E324.
- Song CH, Petrofsky JS, Lee SW, et al. Effects of an exercise program on balance and trunk proprioception in older adults with diabetic neuropathies. *Diabetes Technol Ther*. 2011;13(8):803-811.
- Swinkels A, Dolan P. Spinal position sense and disease progression in ankylosing spondylitis: A longitudinal study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2004;29(11):1240-1245.
- Taimela S, Kankaanpää M, Luoto S. The effect of lumbar fatigue on the ability to sense a change in lumbar position. A controlled study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1999;24(13):1322-1327.
- Wilson SE, Granata KP. Reposition sense of lumbar curvature with flexed and asymmetric lifting postures. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2003;28(5):513-518.

This article was received March 3, 2013, was reviewed March 3, 2013, and was accepted April 16, 2013.