

젊은 성인, 노인, 뇌졸중 환자의 근 피로 유발이 무릎관절 위치 감각에 미치는 영향

권오성 · 이승원[†] · 서동권 · 김지선²

삼육대학교 대학원 물리치료학과, ¹삼육대학교 물리치료학과, ²유성한가족병원 물리치료실

The Effects of Exercise-induced Fatigue on Knee Joint Position Sense in the Young, Elderly Adults and Stroke Patients

Oh-Sung Kwon, PT, MS, Seung-Won Lee, PT, PhD[†], Dong-Kwon Seo, PT, MS, Ji-Seon Kim, PT²

Department of Physical Therapy, The Graduate School of Sahmyook University

¹Department of Physical Therapy, Sahmyook University

²Department of Physical Therapy, Yuseong Hangajok Rehabilitation Hospital

Received: October 4, 2013 / Revised: November 4, 2013 / Accepted: November 14, 2013

© 2013 Journal of the Korean Society of Physical Medicine

| Abstract |

PURPOSE: The purpose of this study was to determine the effects of muscle fatigue on knee joint position sense in the young, elderly adults, and stroke patients.

METHODS: The subjects were recruited into three groups; young group(YG)(N=15), elderly group(EG)(N=15), and stroke group(SG)(N=15). Exercise-induced fatigue was achieved by repeated active exercise 60 times on an angle at 10 to 100 degrees of the knee joint with an angle speed of 120°/s, with three sets for 15 minutes. Evaluation was performed for determination of repositioning error using passive angle repositioning (PAR) and active angle repositioning (AAR).

RESULT: Regarding the error score for the knee joint position sense in both the baseline and muscle fatigue, significant increases were observed between the YG and EG ($p<.05$), and between the EG and SG ($p<.01$), and between YG

and SG ($p<.05$) in the PAR, YG and SG ($p<.05$) in the AAR.

CONCLUSION: In particular, the results of this study indicate that management and intervention for elderly adults and stroke patients can result in improvement of proprioception.

Key Words: Fatigue, Position sense, Proprioception, Elderly, Stroke

I. 서론

최근 삶의 질이 향상되고 스포츠 인구의 증가로 인한 무릎 관절의 운동 손상이 증가되고 있는데, 이로 인해 무릎 관절의 고유수용성 감각의 손상도 동반되고 된다(Beynnon 등, 1999). 무릎의 고유수용성 감각은 걷거나 달리기 등의 일상생활 동작이나 스포츠 활동을 하는데 필수적인 요소이다(Ju 등, 2011).

고유수용성 감각(proprioception)은 사람들이 일상생활에서 움직임을 할 때 필요한 감각으로 신체의 관절

†Corresponding Author : swlee@syu.ac.kr

위치를 지각하는 위치감각과 동적 움직임을 감지하는 운동감각으로 구분된다(Riemann과 Lephart, 2002). 이러한 고유수용기는 근육내의 근방추(muscle spindle)나 건기관(golgi tendon organ), 관절낭 등에 많이 분포되어 있는 내부감각 수용기(interoceptor)로 균형을 조절하고 기능적 안정성을 유지하는데 중요한 역할을 한다(Kavounoudias 등, 1999; Lee 등, 2003).

그러나 여러 원인에 의해 고유수용성 감각의 민감도가 상실되면, 운동수행능력이 저하되어 운동 중에 근육의 미세손상(microtrauma)이 유발되거나 손상부위의 재손상(re-injury), 자세 조절 및 관절의 불안정성을 야기하게 되어 일상생활을 이행하는데 어려움이 생기게 된다(Kavounoudias 등, 2001; Lephart 등, 1997). 이러한 일상 생활에 영향을 미치는 고유수용성 감각의 민감도는 여러 다양한 요인에 의해 영향을 받게 된다.

Ribeiro 와 Oliveira(2010)는 노인과 젊은 성인을 대상으로 고유수용성 감각을 비교한 결과, 나이가 많아짐에 따라 무릎 관절의 고유수용성 감각의 기능이 저하된다고 하였고, 과체중이나 저체중은 고유수용성 감각을 방해하는 요인이라고 하였으며(Paschalis 등, 2012), 피부에 차가운 팩을 적용하는 냉치료(cryotherapy)는 고유수용성 감각을 방해한다고 보고하였다(Ribeiro 등, 2012). 그리고 뇌졸중이나 앞집자인데 파열 등의 질병이나 손상에 따라 고유수용성 감각의 능력이 악화된다(Pap 등, 1999; Piriyaarasath 등, 2009).

그 중에서 운동이나 치료 중에 발생하는 근 피로는 고유수용성 감각에 악영향을 미친다는 선행 논문들이 많이 발표되고 있다. Ribeiro 등(2011)은 고유수용성 감각의 오차는 지속적인 구심성, 원심성 능동운동으로 인해 증가된다고 하였고, Paschalis 등(2007)은 12명의 실험자를 대상으로 무릎관절에 등속성 운동을 시행하고 위치감각을 측정한 결과, 원심성 운동 후에 즉각적인 위치감각이 손상되는 결과를 보였다고 보고하였다. 이와 같이 재활에서 고유수용성 감각에 영향을 미치는 근 피로를 방지하는 역할이 대두되고 있다(Hiemstra 등, 2001).

근피로는 지속적인 근육의 수축하는 동안 힘을 유지하기 위해 나타나는 일시적인 근육의 무능상태로(Gibson 과 Edwards, 1985), 이러한 근피로는 근방추와

건기관의 이완(laxity)을 증가시키게 되어 최대 근수축 시에 EMG의 활동성과 근장력을 감소시키게 된다(Bigland-Ritchie, 1981; Hutton 과 Nelson, 1986). 이러한 근 피로의 laxity의 증가는 고유수용성 감각에 좋지 않은 영향을 미친다고 보고되고 있다(Riemann 과 Lephart, 2002).

그러나 고유수용성 감각의 대한 선행 연구들은 젊은 성인, 노인 그리고 뇌졸중 환자를 각각 독립적으로 실험한 연구들이 대부분이어서 세 변수간의 고유수용성 차이를 비교한 논문이 부족한 실정이며, 근피로를 유발하고 고유수용성 감각을 평가한 연구들도 대부분 각각 독립적으로 실험한 연구들이 대부분이어서 세 변수간의 차이를 알아보기 위한 연구는 매우 드물다. 이에 본 연구는 일반적인 젊은 성인, 노인, 뇌졸중 환자의 무릎관절의 고유수용성 감각 오차를 알아보고, 근 피로 유발 시에 어느 군에서 고유수용성 감각에 더욱 악영향을 미치는지 알아보려고 하였다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구는 실험 참여에 동의하고 연구의 지시를 잘 이해할 수 있고 설문 조사를 통해 우세측이 오른쪽으로 판명된 젊은 성인 15명, 노인 15명, 뇌졸중으로 인해 오른쪽 편마비로 진단 받은 입원 환자 15명을 대상으로 하였다. 이전에 하지에 정형 외과적 문제가 있는 자, 감각 결손이 있는 자, 관절가동범위에 제한이 있는 자는 연구에서 제외하였다. 뇌졸중 환자들은 한국판 간이 정신 상태 검사(Mini-Mental State Examination)가 25점 이상인 자, 근 긴장도 평가(Modified Ashworth Scale)에서 1+ 단계보다 낮은 단계로 평가된 자, 하지의 manual muscle test가 fair+ 이상으로 하지 운동에 제한이 없는 자, 운동 실조증이 없는 자로 선정하였다. 연구 대상자의 일반적인 특성은 표 1로 나타내었다.

Table 1. General characteristics of subjects(n=45).

	YG(n=15)	EG(n=15)	SG(n=15)
Sex(Male/Female)	7/8	8/7	9/6
Age (years)	21.93±2.34	64.20±4.26	63.33±8.81
Height (cm)	162.40±4.40	166.80±7.11	164.17±6.39
Weight (kg)	55.60±5.93	61.60±9.66	57.90±10.30

Note. YG=Young Group, EG=Elderly Group, SG=Stroke Group. Values are mean±SD.

2. 무릎관절 고유수용성감각 측정

고유수용성감각은 위치감각 측정을 이용하였다. 무릎관절의 위치감각 측정은 바이오 텍스(Biodex Corp, Shirley, New York)의 전자각도계(electrogoniometer) 시스템을 이용하여 우세측 하지를 측정하였다. 실험에 앞서 연구 대상자들은 조용한 장소에서 안대와 귀마개를 착용하고 등은 등받이에 완전히 지지하게 하여 편안한 자세로 앉혔고, 측정 시 움직임을 최소로 하기 위해 몸통과 대퇴부를 벨트로 고정하였다. 측정의 시작 자세는 무릎 90° 굽힘 상태를 장비의 0°로 세팅하여 측정하였다. 모든 측정은 다른 각도로 세 번을 시행하였고, 시행할 때마다 1분 동안 휴식을 취하였다. 평가는 목표 각도(target angle)와 재배치 각도(repositioning angle)의 오차값을 이용하여 측정하였다. 평가는 수동적 재배치(passive angle repositioning, PAR)와 능동적 재배치(active angle repositioning, AAR) 방법을 이용하여 측정하였다.

각 군의 초기 위치 감각의 오차값의 측정은 하지의 위치감각의 오차를 사전 측정한 후 아무런 운동도 시행하지 않고 약 15분 후에 다시 위치감각 오차값을 재측정하여 평균값으로 하였다. 그런 다음, 근 피로를 유발하고 나서 다시 위치 감각의 오차를 측정하였다.

1) 수동적 재배치

PAR 측정은 2°/s로 움직이는 측정 장비가 30°~60° 사이의 어느 한 각도에서 검사자는 무작위로 측정 장비의 움직임을 정지시킨 후 3초간 유지하여 대상자가 이 각도를 기억할 수 있도록 하였다. 그런 다음 대상자는 다시 처음의 시작점 위치로 돌아와 5초간 유지하고 난

뒤, 측정 장비가 재배치되는 동안 처음 기억했던 각도에 도달하였다고 생각되었을 때 멈춤 버튼을 누르도록 하였다.

2) 능동적 재배치

AAR 측정은 대상자가 스스로 움직여서 무작위로 30°~60°사이의 어느 한 각도에서 검사자는 대상자의 움직임을 정지시키기 위해 멈춤 버튼을 눌러 3초간 유지하게 한다. 그 다음 대상자는 다시 처음 출발했던 시작점 위치로 돌아와 5초 동안 유지하게 한 뒤, 검사자는 대상자에게 기억했던 각도로 다시 맞춰보라고 지시하고, 실험 대상자는 처음 멈춤 버튼을 눌러 정지되었던 각도에 도달되었다고 생각되었을 때 멈춤 버튼을 누르도록 하였다.

3. 근 피로 유발을 위한 운동

근 피로 유발은 Ju 등(2010)이 고안한 방법을 이용하였다. 근육 피로 유발운동은 등속성 운동기구(Biodex Corp, Shirley, New York)의 능동적 구심성, 원심성 운동 프로그램을 이용하여 실시하였다. 운동방법의 절차는 무릎 관절의 10°에서 100° 사이에서 최대의 구심성 수축과 원심성 수축을 120%/s의 각속도로 굴곡, 신전 운동을 60회 반복 실시하였다. 운동은 3세트를 실시하였다.

4. 분석방법

본 연구의 자료처리는 윈도우용 SPSS 18.0 version 프로그램을 이용하여 분석하였다. 실험을 통해 얻어진 모든 자료는 평균과 표준편차로 산출하였다. 실험을 통해 얻어진

각 구간 실험 전 위치감각 오차의 비교분석은 일요인 분산분석(one-way ANOVA)을 이용하였고, 근 피로 유발 후 각 군내의 재위치 오차각도의 실험전후의 비교분석은 대응표본 t 검정(paired t-test)을 이용하였다. 그리고 각 구간 실험 후의 차이값의 분석은 공분산분석(Analysis of Covariance, ANCOVA)을 사용하였다. 사후 검정(post-hoc)으로 Bonferroni 법을 이용하였고, 통계학적 유의수준은 .05로 하였다.

III. 결과

1. 일반적 상태에서의 각 그룹 간 위치감각 오차 비교
각 그룹간의 무릎 관절 위치 감각 오차값의 차이에 대한 세 군간 비교는 표 2로 나타내었다. PAR에서 무릎 위치감각 오차의 차이를 비교한 결과 세 군간에 유의한 차이가 있었다($p<.01$). 사후검정 결과, 젊은 성인군은 노인군($p<.05$)과 뇌졸중 환자군($p<.01$)에서 유의한 차이가 있었으며, 노인군도 뇌졸중 환자군에서도 유의한 차이가 나타났다($p<.01$).

AAR에서 무릎 위치감각 오차의 차이를 비교한 결과 세 군간에 유의한 차이가 있었다($p<.01$). 사후검정 결과, 젊은 성인군과 뇌졸중 환자군에서 유의한 차이가 나타났다($p<.01$).

Table 2. The comparison of error score of position sense among the three groups

	YG(n=15)	EG(n=15)	SG(n=15)	F(ANOVA)
PAR	3.82±1.67	6.30±2.38	9.87±3.50	20.04**
AAR	3.98±2.21	6.81±3.41	8.92±4.22	8.06*

Note. YG=Young Group, EG=Elderly Group, SG=Stroke Group, PAR=Passive Angle Repositioning, AAR=Active Angle Repositioning. Values are mean±SD.

* $p<.05$, ** $p<.01$

2. 근 피로 유발 후 각 그룹 간의 위치감각 오차 비교
근 피로 유발 후 각 군내와 각 군간의 무릎 관절의 위치 감각 오차는 표 3으로 나타내었다. 각 군내의 오차값은 젊은 성인군에서 PAR($p<.05$)과 AAR($p<.01$) 모두에서 유의한 차이가 있었다. 그리고 노인군과 뇌졸중 환자군에서도 PAR과 AAR 모두에서 위치감각 오차값이 유의하게 감소하였다($p<.01$).

그리고 각 군간 사전의 오차값을 통제된 후 교정된 사후의 위치관절 오차값을 통계적 유의성을 검정한 결과, PAR, AAR 모두에서 세 군간의 유의한 차이가 있었다($p<.01$). 사후검정 결과, PAR에서는 젊은 성인군은 노인군($p<.05$)과 뇌졸중 환자군($p<.01$)에서 유의한 차이가 있었으며, 노인군도 뇌졸중 환자군에서도 유의한 차이가 나타났다($p<.05$). AAR에서는 젊은 성인군과 뇌졸중 환자군에서 유의한 차이가 나타났다($p<.01$).

Table 3. The comparison of error score of position sense among the three groups after muscle fatigue

	YG(n=15)	EG(n=15)	SG(n=15)	F(ANCOVA)
PAR				
pre	3.82±1.67	6.30±2.38	9.87±3.50	
post	6.02±3.10	9.44±1.82	13.44±1.90	11.20**
t	-2.69*	-6.57**	-4.66**	
AAR				
pre	3.98±2.21	6.81±3.41	8.92±4.22	
post	6.76±3.35	9.80±3.04	13.38±4.42	5.08**
t	-3.01**	-3.43**	-4.25**	

Note. YG=Young Group, EG=Elderly Group, SG=Stroke Group, PAR=Passive Angle Repositioning, AAR=Active Angle Repositioning. Values are mean±SD.

* $p<.05$, ** $p<.01$

IV. 고찰

고유수용기는 신체의 움직임과 위치의 정보를 감지하여 중추신경계로 전달하는 역할을 한다(Docherty 등, 2004). 고유수용기의 역할이 상실되면 관절의 안정성 유지에 문제를 발생하고 운동수행능력이 저하되어 무릎 관절의 기능 장애를 초래하게 되는데, 이로 인해 일상생활을 하는데 어려움이 생기게 된다(Voight 등, 1996). 이러한 고유수용성 감각은 노화, 질병, 운동 형태, 성별 등 다양한 요인에 의해 영향을 받게 된다(Friden 등, 2006; Hewitt 등, 2002; Petrella 등, 1997).

본 연구에서 무릎 관절의 근 피로를 유발하기 위해 반복적인 구심성, 원심성 능동운동을 시행하였다. 생리학적으로 최대의 수축 과정이나, 구심성 수축과 원심성 수축 등의 운동 형태에서 주로 나타나게 된다(Hiemstra 등, 2001). Givoni 등(2007)은 무릎관절에 구심성과 원심성 운동을 하는 동안 근육의 피로를 유발하여 위치감각의 오차가 증가한다고 하였고, Ju 등(2010)은 120°/s의 각속도로 지속적인 능동운동을 시행하였을 때, 근 피로의 증가로 인해 고유수용성 감각이 저하된다고 보고하였다. 이에 우리의 실험도 선행연구들의 근거로 지속적인 능동운동을 시행하여 근 피로를 유발하였다.

본 연구의 결과, 무릎관절의 위치감각 오차값은 젊

은 성인보다 노인이, 노인보다는 뇌졸중 환자에게서 더욱 증가하는 것으로 나타났다. 일반적으로 위치감각은 여러 원인에 의해 영향을 받는다. 그 중에서 노화는 신경근 조절, 운동 협응력, 균형 등을 감소시켜 젊은 성인보다 노인들이 낙상의 위험도가 증가되고(Shaffer and Harrison, 2007), 관절 위치감각의 민감도는 감소시켜 관절의 안정성을 저하시킨다고 보고하고 있다(Hurley 등, 1998; Petrella 등, 1997; Ribeiro과 Oliveira, 2010). 또한 뇌졸중 환자의 85%에서 위치감각의 장애가 나타나게 되는데(Kim과 Choi, 1996), 동일 연령대의 정상인에 비해 자세의 흔들림이 증가되고 자세의 안정성은 감소된다(Geiger 등, 2001; Nichols, 1997). 이는 나이가 많은 노인들이 젊은 성인들보다 관절의 위치감각의 오차율이 증가하고, 뇌졸중 환자들이 위치 감각 오차가 가장 큰 우리의 연구와 같은 결과를 보였다.

뇌졸중 환자는 시각 의존성이 증가하게 되는데 지나친 시각 의존성은 왜곡된 정보를 받아들이는 경향이 증가되어 전정계 정보나 위치감각과 같은 고유수용성 감각을 사용하지 못하게 되고, 안정성의 저하를 증가시키게 된다(Dorman 등, 1978; Bonan 등, 2004). 이와 같이 뇌졸중 환자들이 노인이나 젊은 성인보다 고유수용성 감각의 사용이 줄어들게 되는데 이로 인해 본 연구에서 뇌졸중 환자가 다른 대상자보다 위치감각의 오차가 더욱 증가한 것으로 사료된다.

근 피로 유발 후 세군 간의 위치감각의 오차를 측정하였다. Ju 등(2010)은 정상 젊은 성인으로 근피로 유발 후 위치감각 측정 결과, 약 2.23~3.25° 위치감각 오차가 나타났고, 노인에게서는 약 4.27~5.51° 오차가 나타났으며(Ribeiro와 Oliveira, 2010), 그리고 뇌졸중 환자들은 약 8.05~9.63° 위치감각 오차가 발생하였다(kwon 등, 2013). 이는 근 피로 유발 후 세군 간의 위치감각의 오차가 뇌졸중 환자, 노인, 젊은 성인 순으로 높게 나타났다는 본 연구와 같은 결과를 보였다.

무릎 관절의 근 피로는 무릎의 인대, 근방추, 건기관의 활동성을 감소시키고 이완(laxity)을 증가하게 한다(Nawata 등, 1999). 이러한 근 피로에 의한 연부조직 이완의 증가는 고유수용성 감각의 변화에 원인이 되어 좋지 않은 영향을 미친다고 보고되고 있다(Rozzi 등,

1999). 우리의 연구에서도 세 군 모두 근 피로 유발 후 위치감각의 오차값이 증가한 것으로 나타났는데, 이는 근 피로가 무릎 관절의 근방추, 건기관 등의 이완을 유발하여 근육내의 기계적 수용기의 효율성을 저하시켜 무릎의 위치감각을 오차를 증가시킨 것으로 예측할 수 있고, 특히 고유수용 감각의 사용이 줄어든 뇌졸중 환자에게 더욱 오차값이 증가 한 것으로 사료된다.

또한 본 연구에서 근 피로를 유발하지 않은 상태의 사전 연구결과와 비슷한데, 본 연구를 통해 사전의 위치감각의 저하는, 근 피로가 유발된 후에도 위치감각에 많은 영향을 미친다고 예측할 수 있다.

본 연구의 제한점은 연구 대상자 수가 적어 연구결과를 일반화하기 어려움이 있고, 근 피로의 초기 영향만을 측정하였기 때문에 장기간의 근 피로 후에 나타날 수 있는 영향을 알아보기가 어려웠다는 것이다. 그리고 측정을 우세측만 비교하여 비우세측의 효과를 알 수 없었고, 뇌졸중 환자의 대상이 오른쪽 편마비 환자로 제한하여 마비 형태에 따른 뇌졸중 환자의 신경학적 특성을 고려할 수 없었다는 것이다. 이에 향후 연구에서는 이러한 제한점을 보완하여 무릎 관절의 고유수용성 감각에 대해 연구를 시행해야 할 것으로 사료된다.

V. 결론

본 연구는 젊은 성인, 노인, 뇌졸중 환자들을 대상으로 일반적으로 무릎관절의 고유수용성 감각을 알아보고, 근 피로 유발 시에 무릎관절 고유수용성 감각에 어떠한 영향을 미치는 알아보기 위해 실험을 하였다. 본 연구의 결과, 일반적 상태에서는 뇌졸중 환자, 노인, 젊은 성인 순으로 고유수용성 감각이 저하되는 것으로 나타났다($p < 0.01$). 또한 근 피로 유발 시에도 비슷한 결과가 나타났다($p < 0.01$). 그러므로 임상 중재 과정에서 젊은 성인, 노인 그리고 뇌졸중 환자들에게 관절의 안정성에 영향을 미치는 고유수용성 감각의 저하를 예방하기 위해 근피로 운동을 제한하고, 고유수용성 감각에 더 많은 감소가 나타나는 노인과 뇌졸중 환자들에게 고유수용성 감각 향상을 위한 관리와 임상적 중재 프로

그램을 시행하여 고유수용성 감각을 향상 해야 할 것으로 사료된다.

References

- Beynon BD, Ryder SH, Konradsen L, et al. The effect of anterior cruciate ligament trauma and bracing on knee proprioception. *Am J Sports Med.* 1999;27(2):150-5.
- Bigland-Ritchie B. EMG and fatigue of human voluntary and stimulated contractions. *Ciba Foundation symposium.* 1981;82:130-56.
- Bonan IV, Yelnik AP, Colle FM, et al. Reliance on visual information after stroke. Part II: Effectiveness of a balance rehabilitation program with visual cue deprivation after stroke: a randomized controlled trial. *Arch Phys Med Rehabil.* 2004;85(2):274-8
- Docherty CL, Arnold BL, Zinder SM, et al. Relationship between two proprioceptive measures and stiffness at the ankle. *J Electromyogr Kinesiol.* 2004;14(3):317-24.
- Doman J, Fernie GR, Holliday PJ. Visual input: its importance in the control of postural sway. *Arch Phys Med Rehabil.* 1978;59(12):586-91.
- Friden C, Hirschberg AL, Saartok T, et al. Knee joint kinaesthesia and neuromuscular coordination during three phases of the menstrual cycle in moderately active women. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006;14(4):383-9.
- Geiger RA, Allen JB, O'Keefe J, et al. Balance and mobility following stroke: effects of physical therapy interventions with and without biofeedback/forceplate training. *Phys Ther.* 2001;81(4):995-1005.
- Gibson H, Edwards RH. Muscular exercise and fatigue. *Sports Med.* 1985;2(2):120-32.
- Givoni NJ, Pham T, Allen TJ, et al. The effect of quadriceps muscle fatigue on position matching at the knee. *J Physiol.* 2007;584(Pt 1):111-9.
- Hewitt BA, Refshauge, KM, Kilbreath SL. Kinesthesia at the knee: the effect of osteoarthritis and bandage application. *Arthritis Rheum.* 2002;47(5):479-83.
- Hiemstra LA, Lo IK, Fowler PJ. Effect of fatigue on knee proprioception: implications for dynamic stabilization. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2001;31(10):598-605.
- Hurley MV, Rees J, Newham DJ. Quadriceps function, proprioceptive acuity and functional performance in healthy young, middle-aged and elderly subjects. *Age Ageing.* 1998;27(1):55-62.
- Hutton RS, Nelson DL. Stretch sensitivity of Golgi tendon organs in fatigued gastrocnemius muscle. *Medicine and science in sports and exercise.* 1986;18(1):69-74.
- Ju YY, Liu YC, Cheng HY, et al. Rapid repetitive passive movement improves knee proprioception. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2011;26(2):188-93.
- Ju YY, Wang CW, Cheng HY. Effects of active fatiguing movement versus passive repetitive movement on knee proprioception. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2010;25(7):708-12.
- Kavounoudias A, Gilhodes JC, Roll R, et al. From balance regulation to body orientation: two goals for muscle proprioceptive information processing? *Exp Brain Res.* 1999;124(1):80-8.
- Kavounoudias A, Roll R, Roll JP. Foot sole and ankle muscle inputs contribute jointly to human erect posture regulation. *J Physiol.* 2001;532(Pt 3):869-78.
- Kim JS, Choi KS. Discriminative sensory dysfunction after unilateral stroke. *Stroke.* 1996;27(4):677-82.
- Kwon OS, Lee SW, Lee YW, et al. The Effect of Repetitive Passive and Active Movements on Proprioception Ability in Forearm Supination. *Journal of Physical Therapy Science.* 2013;25(5):587-90.
- Lee HM, Liao JJ, Cheng CK, et al. Evaluation of shoulder proprioception following muscle fatigue. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2003;18(9):843-7.
- Lephart SM, Pincivero DM, Giraldo JL, et al. The role of proprioception in the management and rehabilitation of athletic injuries. *Am J Sports Med.* 1997;25(1):

- 130-7.
- Nawata K, Teshima R, Morio Y, et al. Anterior-posterior knee laxity increased by exercise. Quantitative evaluation of physiologic changes. *Acta Orthop Scand*. 1999;70(3):261-4.
- Nichols DS. Balance retraining after stroke using force platform biofeedback. *Phys Ther*. 1997;77(5):553-8.
- Pap G, Machner A, Nebelung W, et al. Detailed analysis of proprioception in normal and ACL-deficient knees. *J Bone Joint Surg Br*. 1999;81(5):764-8.
- Paschalis V, Nikolaidis MG, Giakas G, et al. The effect of eccentric exercise on position sense and joint reaction angle of the lower limbs. *Muscle Nerve*. 2007;35(4):496-503.
- Paschalis V, Nikolaidis MG, Theodorou AA, et al. The effects of eccentric exercise on muscle function and proprioception of individuals being overweight and underweight. *J Strength Cond Res*. 2012.
- Petrella RJ, Lattanzio PJ, Nelson MG. Effect of age and activity on knee joint proprioception. *Am J Phys Med Rehabil*. 1997;76(3):235-41.
- Piriyaprasarth P, Morris ME, Delany C, et al. Trials needed to assess knee proprioception following stroke. *Physiother Res Int*. 2009;14(1):6-16.
- Ribeiro F, Moreira S, Neto J, et al. Is the Deleterious Effect of Cryotherapy on Proprioception Mitigated by Exercise? *Int J Sports Med*. 2012.
- Ribeiro F, Oliveira J. Effect of physical exercise and age on knee joint position sense. *Arch Gerontol Geriatr*. 2010;51(1):64-7.
- Ribeiro F, Venancio J, Quintas P, et al. The effect of fatigue on knee position sense is not dependent upon the muscle group fatigued. *Muscle Nerve*. 2011;44(2):217-20.
- Riemann BL, Lephart SM. The Sensorimotor System, Part II: The Role of Proprioception in Motor Control and Functional Joint Stability. *J Athl Train*. 2002;37(1):80-4.
- Rozzi SL, Lephart SM, Gear WS, et al. Knee joint laxity and neuromuscular characteristics of male and female soccer and basketball players. *Am J Sports Med*. 1999;27(3):312-9.
- Shaffer SW, Harrison AL. Aging of the somatosensory system: a translational perspective. *Phys Ther*. 2007;87(2):193-207.
- Voight ML, Hardin JA, Blackburn TA, et al. The effects of muscle fatigue on and the relationship of arm dominance to shoulder proprioception. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1996;23(6):348-52.