

고유수용성 감각 정보의 변화에 관한 고찰

강종호 · 방현수 · 김진상

대구대학교 재활과학대학 물리치료학과

Review of the changes of proprioceptive sensory information

Jong-Ho Kang, P.T., C.P.O., M.S., Hyun-Soo Bang P.T., Jin-Sang Kim D.V.M., Ph.D.

Department of Physical Therapy, College of Rehabilitation Science, Daegu University

<Abstract>

Proprioception means the ability to perceive the sensation of position and movement of body. As it is transmitted to central nervous system and used in feed-back or feed-forward motor control, proprioception allows us to keep our normal movement and normal balance activity.

However, the conditions such as injury, disease, aging and fatigue can damage the proprioceptive sensation of position, movement and lead to a functional impairment and additional damages in musculoskeletal system, because they alter the amount of proprioceptive ability that transfer into the central nervous system.

The purpose of this study was to identify the definition and the function of proprioception, to look into variations in injury, disease, aging and fatigue that can be easily met in clinical application and eventually to provide valuable aid for assessment and treatment.

Key Words : Proprioception, Normal movement, Musculoskeletal system.

교신저자 : 강종호(e-mail: pspta10@hanmail.net)

논문접수일: 2006년 11월 22일 / 수정접수일: 2006년 12월 20일 / 게재승인일: 2007년 1월 20일

I. 서 론

인체는 말초로부터 유입되는 다양한 정보를 수집하고 통합하여 신체 및 지질의 위치와 운동을 인식하고 수행토록 한다. 이에 사용되는 감각을 고유수용감각이라 하며, 관절의 위치(joint position)와 관절의 운동(joint movement)에 대한 정보를 인지하여 시각 정보 없이도 신체 및 지질의 위치와 운동을 파악시켜주는 감각이라 할 수 있다(Eric 등, 2000; McCloskey 1973; Sitting 등, 1985). 이를 좀 더 기능적으로 설명하면 의식적 수준이 아닌 무의식적 수준에서 받아들이는 정보로서, 인체와 관련하여 자세나 움직임, 균형 변화에 대한 인식, 자세나 무게 그리고 특정 물체에 대한 저항 등을 인식하는 것이라고 정의할 수 있다(Bushman 등, 1997).

말초수용기는 특정 양식의 자극에 대해 반응하도록 특수화되어 인체에 주어지는 내외 부의 다양한 에너지들을 구별하게 해준다. 수용기는 크게 빛, 소리, 냄새, 촉각, 통증과 같이 외부환경으로부터 전달되는 정보를 받아들이는 외부수용기(exteroreceptor)와 관절운동(kinesthesia)과 관절위치(joint position) 정보를 받아들이는 고유수용기로 구분할 수 있다(Eric 등, 2000).

고유수용감각을 중재하는 고유수용기는 근육과 관절, 인대, 건과 피부에 분포하고 있으며, 기계적 자극에 민감한(mechanosensitive) 근육수용기와 관절수용기, 피부수용기로 구분 할 수 있으며 고유수용감각은 이 세 가지 수용기에서 받아들여지는 정보라 할 수 있다(Eric 등, 2000; Laurie, 2002).

근육 및 건에서 고유수용감각에 기여하는 기계적 자극에 민감한 고유수용기는 근방추(muscle spindle)와 골지건기관(golgi tendon organ)이다(Eric 등, 2000; Laurie, 2002). 근방추는 고유수용감각에 중요한 역할을 하는 고유수용기로서 근육 길이에 민감하게 반응한다. 작고 길며 가느다란 모양을 하고 있으며 근육의 추외근 섬유(extrafusal muscle fiber)와 연결되어 있다(Matthews, 1972; Hulliger 1984). 근방추는 원위부 근육보다는 근위부 근육에 더 많이 분포하는 것으로 알려져 있는데 이것은 근위부 관절이 원위부 관절보다 고유수용감각에 더 민감하다고 보고된 연구결과들(Scott 등, 1994)과 일치하는 것이다. 추내근섬유는 비수축성 중심지역

과 수축성 극지점으로 구분된다. 각각의 지역은 복잡한 신경지배를 받고 있다. 이와 같은 형태에 의해서 근육길이의 변화에 대해서 민감하게 반응하여 우리 지질의 움직임과 위치를 인지하는데 중요한 역할을 하게 된다(Prochazka, 1996).

관절에 분포하고 있는 고유수용기는 대부분 관절낭과 인대에 분포하고 있다. 일반적으로 관절에 분포하고 있는 고유수용기는 해부학적 한계 범위에서 많이 활성화되는 것으로 알려져 있다(Gandevia 등, 1992; Grigg, 1994). 이것은 한계 범위에서 관절압과 관절 운동이 고유감각수용기의 미세자극을 유발하여 나타나는 현상이다. 그러나 관절 고유수용기에 대한 다른 연구들을 살펴보면 관절 가동범위의 해부학적 한계 범위뿐만 아니라 중간범위에서도 고유수용감각기들이 활성화됨을 알 수 있다(Ferrell, 1980). 그러므로 관절내 고유수용기들은 관절 운동 전 범위에서 반응하여 고유수용감각 정보를 제공하여 정상적인 관절 운동이 되게 해준다.

피부에 분포하고 있는 고유수용기들은 피부의 기계적 변화에 민감한 특성을 가지고 있다(Eric, 2000). 대부분 연구는 주로 손과 얼굴에서 이루어지고 있는데, 피부의 고유수용기는 피부 신장에 대해서 느리게 적응하는 것으로 알려져 있으며, 관절의 고유수용감각에 영향을 미치는 것으로 미세신경검사(microneurography)에서 확인되었다(Edin, 2001)

이와 같은 말초 구심성 고유수용감각 정보는 중추에서 운동조절에 이용되는데, closed-loop와 open-loop으로 구분하여 살펴볼 수 있다. closed-loop 기전은 주로 느린 운동에 사용되는 기전으로 운동에 의해서 발생된 감각정보를 피드백 하여 운동조절에 이용한다. 즉 고유수용감각정보의 피드백과 반사기전을 통해 운동수행중 발생하는 에러를 줄여주는 역할을 하는 것이다. open-loop 기전은 빠른 운동수행에 사용되는 기전으로서 빠른 운동(탄도적)을 하는 동안에 사용되며 feed-forward 명령을 수행하여 정확한 운동을 하게 한다. 운동학습에서 고유수용감각 정보는 원심성 운동 명령과 항상 비교되며, 고유수용기들이 감각정보 피드백에 중요한 역할을 수행하고 있다(Von 등, 1950; Bryan 등, 2002).

그러나 특정 손상이나 질병문제로 관절 구조물이 파괴되게 되면 관절의 물리적 안정성만 파괴되는 것이 아니라 관절 구조물 내 고유수용기가 파괴되

어 구심성 정보 전달을 차단하게 되므로, 단순히 역학적, 물리적 장애이외에도 감각운동 피드백 차단으로 인한 신경근육 운동조절 능력에도 장애가 발생하게 된다(Johansson 등, 1991). 또한 고유수용성 감각의 결여는 근위축과 함께 근육 활성 수준을 감소시킨다(Cuomo 등, 2005). 이러한 상태가 지속될 경우 다시 관절의 안정성을 지속적으로 파괴하는 악순환의 고리가 형성될 수 있다(Skinner 등, 1984). 중국에는 신경근육 조절 능력감소로 인해 기능적 불안정성(Halasi 등, 2005), 자세 안정성도 감소될 수 있으며(Fitzpatrick 등, 1994; Lord 등, 1994; Hasselkus 등, 1975; Era 1985), 이는 장기적으로 관절의 손상, 골절, 낙상 등의 위험을 증가(Overstall 등, 1977)시키는 등 결과적으로 기능적 문제를 야기시킬 수도 있다.

따라서 본 연구는 고유수용감각의 역할과 물리치료분야에서 흔히 접하는 질병과 손상, 노화와 피로시 나타나는 고유수용감각 변화를 살펴봄으로써 서임상에서 관련된 질병 및 손상의 평가와 치료에 도움이 되고자 한다.

II. 손상 및 질병에 따른 고유수용감각의 변화

1. 관절손상에 의한 변화

Palmer(1958)는 고양이 슬관절 내측측부인대를 잡아당겨 기계적 자극을 제공하였더니 슬건근 반사(reflex)가 일어나는 것을 관찰하였다. Barrack 등(1999), Ostering 등(1994)은 슬관절 전십자 인대가 관절의 위치감각(position sense)을 인지해서 이 정보를 슬건근의 근방추(muscle spindle)에 보내어 운동조절 피드백에 사용한다고 하였다. 관절 주위에 분포하고 있는 기계적 수용기들은 신경근육 조절(neuromuscular control)에 피드백 기전을 유지시켜 관절 주위 근육의 보호적 신장반사(protective stretch reflex)에 중요한 역할을 하고 있다(Abbott 등, 1994).

관절을 안정화(stabilization) 시켜주는 관절낭, 관절인대와 같은 구조물 손상이 발생되면 관절낭과 인대에 위치해 있는 고유수용기의 손상이 동반되며 이로 인하여 고유수용감각도 결여되게 된다(Lephart

등, 1996; Tibone 등, 1997).

또한 여러 가지 질병으로 인하여 고유수용기 파괴가 일어나 고유수용감각 정보의 감소가 발생할 수 있다(Johansson 등, 1991). 반대로 고유수용감각 정보의 감소는 관절손상을 예견하는 위험 인자(risk factor)로 작용할 수도 있다(Zazulak 등, 2007). 다시 말해서 고유수용감각 정보 감소는 결과적으로 기능적 장애를 초래 할 수 있다는 것이다(Pincivero 등, 2002; Michael 등, 1997).

Robert 등(2004), Friden 등(1999), Schultz 등(1991), Johansson 등(1991), Jenning 등(1994)은 슬관절의 전십자인대 손상이 발생되면 인대에서 제공되는 고유수용감각 정보 감소가 나타남을 관찰하였으며, 고유수용감각 정보의 감소 정도는 병변의 해부학적 종류, 위치 그리고 나이에 따라 차이가 난다고 하였다. 슬관절 손상에 의해서 발생하는 고유수용감각 정보의 감소는 슬관절 운동의 해부학적 운동범위의 한계지점, 특히 신전운동의 마지막 범위에서 뚜렷하게 나타나는 것으로 보고되고 있다(Barrack 등, 1989; Borsa 등, 1997; Corrigan 등, 1992; Lephart 등, 1995). Cummo 등(2005)은 고유수용감각 정보의 감소가 관절을 조절하는 주위 근육들의 활성화 수준을 감소시킨다고 보고하였는데, 슬관절 전십자 인대 손상시 슬관절 운동을 조절해주는 대퇴사두근과 슬건근의 신경근육조절 능력 감소와 함께 근력 감소가 동반되는 것으로 알려져 있다(Pincivero 등, 2002). 슬관절 전십자 인대 파열시 대퇴사두근과 슬건근의 신장반사(stretch reflex) 수준이 감소되며, 특히 슬관절 신전 끝 범위에서 고유수용감각 정보 감소가 뚜렷하게 나타나 이 범위 내에서 근육 긴장저하가 발생된다. 이것은 기능적으로 감각스런 슬관절 굴곡현상(giving way)을 증가시켜 중국에는 슬관절의 역학적 불안정성을 초래하게 된다(Mark 등, 2006).

일상생활 및 스포츠활동에서 빈번하게 발생하는 족관절 염좌(Freeman 등, 1965; Garrick, Watson, 1984)에 의해 발생하는 가장 일반적인 문제는 역학적, 기능적 불안정성이다(Bester 등, 1996; Irrigate 등, 1994). Jerosch 등(1994)은 족관절 염좌 환자와 정상인을 대상으로 실시한 비교연구에서 족관절 염좌 환자가 정상인보다 훨씬 감소된 고유수용감각 능력을 가졌다고 보고하다. 또한 Garn 등(1988),

Ryan 등(1994), Nakagawa 등(1994), Gross(1987), Glencross 등(1981)에 의하면 고유수용감각 능력의 감소가 족관절의 역학적, 기능적 불안정성을 일으키는 원인이 된다는 것을 알 수 있다. 이것은 관절 손상시 고유수용감각 정보의 감소, 반대로 어떠한 원인에 의해 감소된 고유수용감각 정보의 감소가 결과적으로 족관절의 역학적 기능적 불안정성을 야기하는 악성 고리를 형성한다는 것이다. 다시 말해서 불안정성을 가진 족관절은 관절 위치감각과 운동감각 능력이 감소된 상태가 계속해서 지속된다는 것이며, 이것은 또 다시 관절에 대한 신경근육조절 능력을 감소시켜 족관절이 만성적으로 염좌 상태에 놓이게 한다는 것이다(Lars, 2002).

이와 같은 연구결과들을 토대로 살펴보면 관절구조물의 손상은 고유수용기의 파괴를 가져와 고유수용감각 정보의 구심성 입력을 제한하며(Johansson 등, 1991), 반대로 고유수용감각 정보의 감소가 관절의 잠재적 손상요인으로 작용할 수 있으며(Zazulak 등, 2007) 결과적으로 고유수용감각 정보의 구심성 유입 제한이 기능적 장애를 초래하는 인자로 작용할 수 있다는 것이다(Pincivero 등, 2002; Michael 등, 1997).

2. 관절염에 의한 변화

고유수용감각 정보는 피드백과 피드포워드 운동조절 기전에 이용되어 운동 및 균형수행에 중요한 역할을 수행하고 있다(Bryan 등, 2002). 이러한 고유수용감각 정보의 구심성 유입이 차단되게 되면 신경근육 조절 및 균형능력에 변화가 오게 되고 이로 인해서 위험성이 증가하게 된다. 이러한 문제를 일으키는 원인에는 관절염이 포함된다(Sturnieks 등, 2004; Diracoglu 등, 2005; Arokoski 등, 2006). 외상적 손상(traumatic injury) 뿐만 아니라 만성적 염증상태로 관절구조물 손상이 발생되고 이로 인하여 고유수용기 파괴가 생길 수 있다. 즉 만성염증성 질병 발생시 고유수용감각정보의 구심성 유입이 차단될 수 있는 것이다(Johansson 등, 1991).

Cuomo 등(2005)은 성별과 연령을 일치시킨 건관절 관절염 환자군과 정상인 대조군을 대상으로 관절 위치감각을 조사하였다. 실험결과 건관절 관절염을 앓는 20대 환자군은 대조군에 비해서 위치감

각 능력이 현저히 감소됨을 관찰하였다. Barrett 등(1991)은 관절염에 의해 관절낭과 관절인대가 느슨해지는 관절이완(joint laxity) 및 관절염의 염증성 효소 활동으로 인하여 고유수용기 파괴가 발생되고 이로 인하여 고유수용감각 정보 유입이 감소된다고 보고하였다. Ferrell 등(1992)이 연령과 성별을 일치시킨 관절염 환자군을 대상으로, 주어진 목표 각도를 정확히 재현해 내는지 실험하였다. 그 결과 관절염 환자군은 대조군에 비해 감소된 위치감각 능력을 보여주었는데, 이러한 결과는 염증성 관절질환이 관절구조물 내 고유수용기를 파괴함으로써 고유감각 정보의 구심성 피드백 기전 장애를 유발시켰기 때문이라고 보고하였다.

Garsden 등(1999)은 한쪽 무릎만 골관절염을 앓는 환자군과 정상인 대조군을 대상으로 지시된 목표 각도 재현능력을 시험한 결과 대조군보다 환자군의 재현능력이 떨어졌으며, 특히 환자군들은 슬관절 골관절염을 앓고 있는 무릎뿐만 아니라 골관절염을 앓지 않는 무릎도 목표각도 재현능력이 감소되는 것을 관찰하였다.

Weiler 등(2000)은 골관절염이 발생한 슬관절 내 고유수용기들은 관절의 위치감각 재현능력을 감소시키는 역할을 하며, 이로 인하여 정상적인 반사적 관절기능 장애를 유발시킨다고 하였다.

Michel 등(1997)은 슬관절 골관절염을 앓고 있는 환자 103명과 정상인 25명을 대상으로 고유수용감각 능력의 정확성과 대퇴사두근의 수의적 활동 수준, 자세안정성, 기능적 능력 그리고 장애수준을 비교 평가하는 실험을 실시한 결과 각각 관절염을 앓는 환자군에서는 모든 평가항목의 감소가 관찰되었는데 이는 고유수용감각 능력 감소와 관련해 대퇴사두근의 운동신경원 흥분성 감소를 초래하고 이로 인하여 대퇴사두근의 수의적 활성 수준을 감소시켜 근육 약증을 초래하는 것이라고 보고하였다. 즉 관절염과 관련한 질환을 가지고 있을 경우 대퇴사두근의 감각운동기능(sensorimotor function)이 감소되고 이로 인해 자세안정성이 저하되면서 기능적 장애가 발생되는 것으로 조사되었다.

Hinman 등(2002)도 슬관절 골관절염환자와 정상인을 대상으로 계단 내리기시 대퇴사두근의 근전도 활성화 수준을 비교 연구한 결과 정상인에 비해서 골관절염을 앓는 환자군에서 대퇴사두근의 근전

도 활성화 수준이 감소됨을 관찰하였는데, 이로 인해 운동학적으로 초기 접지기 동안 슬관절 굴곡각도가 정상인보다 작게 일어나는 것으로 나타났다.

Hassan 등(2001)은 슬관절 골관절염이 고유수용감각과 대퇴사두근의 수축능력, 그리고 자세조절에 어떠한 영향을 미치는지 알아보기 위해서 59명의 골관절염 환자와 49명의 환자를 대상으로 고유수용감각 정확성과 대퇴사두근 최대 수의 수축력(maximal voluntary contraction)을 측정하고 77명의 골관절염 환자와 63명의 정상인을 대상으로 정적 자세동요(static postural sway)를 측정하였다. 실험결과 골관절염을 가지고 있는 환자는 고유수용감각 능력 각도 재현성에서 평균 12도 오차로 대조군 7.9도보다 높았으며($p < 0.001$), 대퇴사두근의 근력도 14.7로서 대조군 22.5보다 낮았으며($p < 0.001$) 또한 외측 자세동요 점수의 평균이 4.7점으로서 대조군의 2.3점보다 높은 것으로 나타나($p < 0.001$), 슬관절 골관절염이 관절의 고유수용감각 능력과 대퇴사두근의 위축, 자세동요를 유발시킴을 알 수 있었다.

Pai 등(1997)은 골관절염이 고유수용감각 능력을 감소시키며 이러한 고유수용감각 능력의 감소가 보행의 질을 감소시키고 관절의 부하 분산 능력을 저하시켜 다시 관절염을 악화시키는 원인으로 작용한다고 하였다.

이와 같은 연구들을 토대로 살펴보면 골관절염은 관절구조물을 파괴시키고 이로 인해 관절구조물내 위치한 고유수용기의 파괴를 가져옴을 알 수 있으며 이는 관절 위치감각(joint position)의 감소와 운동감각(kinesthesia) 감소, 근육의 위축과 근력의 감소 그리고 반사활동의 저하를 유발시켜 관절의 역학적 불안정성(mechanical instability)과 근육 기능저하를 유발시킨다. 또한 자세동요를 증가시켜 자세 안정성 감소도 발생됨을 알 수 있다(Hewitt 등, 2002). 특히 이러한 문제는 관절염 유병율이 높은 나이가 많은 노년층에서 각종 손상과 위험에 더 많이 노출되어 있음을 알 수 있게 한다(Kaplan 등, 1985).

3. 나이에 의한 변화

Waikukul 등(1998)은 슬관절에 이상이 없는 16세에서 80세, 남자 350명, 여자 350명, 총 700명의

정상인을 대상으로 고유수용감각 능력 차이를 연구하였는데, 체중부하제거를 위해 엎드린 자세에서 슬관절 0~90도 사이의 수동 및 능동 각도 재현 능력을 평가한 결과 고유수용감각 능력의 저하가 50세 이후부터 발생하는 것으로 밝혀졌다. Kaplan 등(1985)은 30대 및 60대의 29명의 정상인을 대상으로 관절위치 재현 능력을 검사한 결과 30대 그룹이 60대 그룹보다 재현능력이 좋은 것으로 나타났으며 60대 노인층에서 관절위치감각 능력의 저하가 근골격계 외상의 요소로 작용할 수 있다고 보고하였다. Petrella 등(1997)도 60명의 정상인을 19~27세 연령층과 60~86세의 연령층으로 구분하여 관절 위치감각을 조사한 결과 60~86세 연령층에서 관절위치감각 감소가 유의하게 나타났으며, 이러한 고유수용감각 결여는 65세 이상의 노인에게 넘어질 위험을 증가시킨다고 보고하였다. 이외에도 많은 연구자들이 나이 증가에 따른 고유수용감각 능력 저하와 이로 인한 위험성을 보고하고 있다(Skinner 등, 1984; Bullock-Saxton 등, 2001) 노인층은 매우 느린 반사와 느슨한 관절, 관절적합성 저하, 근력저하, 비만, 약물복용, 관절통증 등으로 인해 신경 및 근골격계 조직의 능력이 저하되므로 질병상태에서만 일반적 상태에서 고유수용성감각의 저하에 대해 주의할 필요가 있는 것이다(Kontinen 등, 2006).

4. 피로에 의한 변화

고유수용감각 또는 관절 위치감각은 건관절의 정상기능에 중요한 역할을 수행한다. Carpenter 등(1998)은 건관절 운동으로 피로를 유발시킨 뒤 건관절 외회전과 내회전 각도 90도를 표시하는 능력을 측정한 결과, 운동으로 인한 피로가 고유감각을 유의하게 감소시켰으며 이로 인한 고유감각 감소가 건관절의 정상적 기능활동을 저해하는 요소로 작용하므로 운동치료시 고려할 사항이라고 하였다.

Lattanzio 등(1997)이 16명의 건강한 19~27세의 성인을 대상으로 근육의 피로가 슬관절의 고유수용감각에 미치는 영향을 실험한 결과 피로가 발생된 근육은 슬관절의 관절 각도 재현능력이 떨어진다고 하였으며, Riberio 등(2007)도 평균 69.81세의 노인연령층에 운동으로 대퇴사두근의 피로를 유발시킨 뒤 관절각도 재현 능력을 측정한 결과 운동

으로 피로가 유발되면 관절각도 재현능력이 현저히 감소한다고 보고하였다. Brockett 등(1977)은 구심성 운동(concentrical exercise)보다 원심성 운동(eccentric exercise)에서 근육의 미세손상이 더 많으므로 원심성 운동에서 더 많은 고유감각 상실이 발생된다고 하였다.

특히 노인연령층에서 운동이후 근육 피로로 인한 관절위치감각과 운동감각 감소는 기능제한요소로 작용하여 근골격계 손상을 유발시킬 수 있는 위험인자로 작용할 수 있으므로 노인 연령층은 근육에 피로가 발생할 수 있는 활동 이후 근골격계 손상에 대해 주의하여야 할 필요가 있다(Paschalis 등, 2007).

III. 결 론

고유수용감각은 신체의 움직임과 지질 위치 정보를 중추로 보내어 신경근육조절에 사용할 수 있도록 하는 것이다. 이러한 고유수용감각은 근육, 관절, 피부와 같은 해부학적 구조물에 위치해 있다. 근육, 관절, 피부와 같은 해부학적 구조물에 손상이나 질병이 발생되거나 또는 노화나 운동 등으로 인해 피로가 발생되면 고유수용기의 파괴 또는 활성화 감소로 중요한 관절 위치정보 및 운동감각정보 유입이 차단됨을 알 수 있다. 관절손상으로 인한 고유수용감각 활성화 감소는 신경근육운동조절 능력을 감소시켜 일상생활 및 스포츠 활동 등에 장애를 초래할 수 있으며, 관절염으로 인한 관절구조물 파괴도 고유수용기 파괴를 동반하므로 기능장애를 초래할 수 있다. 운동이나 과도한 일상활동으로 근육피로가 발생할 경우 고유수용감각 능력의 현저한 감소가 발생된다. 또한 연령증가에 따라 고유수용감각 능력도 감소하게 되어 나이가 들수록 낙상이나 근골격계 손상의 위험성이 증가함을 알 수 있다. 특히 노인층의 경우 관절염과 노화가 같이 동반될 수 있으므로 또는 이와 더불어 무리한 활동으로 피로가 동반될 경우 이러한 위험성이 급격히 증가할 수 있음을 예측할 수 있다. 따라서 손상이나 염증, 노화, 피로에 대한 고유수용감각 능력의 저하를 미리 예측하고 중재하여 기능장애의 발생을 예방하는데 노력해야 할 것이다.

참 고 문 헌

- Abbott L., Saunders J.B.D.M., Bost F.C., Anderson C.E. Injuries to the ligaments of the knee joint. *Journal of Bone and Joint Surgery(Am)* 26A:503-521, 1944.
- Arokoski JP, Leinonen V, Arokoski MH, Aalto H, Valtonen H. Postural control in male patients with hip osteoarthritis. *Gait Posture*. Jan;23(1):45-50. 2006.
- Barden J.M., Balyk R., Raso V.J., Moreau M. and Bagnall K. Dynamic upper limb proprioception in multidirectional shoulder instability, *Clinical Orthopaedics and Related Research* 420:181-189, 2004.
- Barrack R.L., Skinner H.B., Buckley S.L. Proprioception in the anterior cruciate deficient knee. *Am J Sports Med*. 17:1-6, 1989.
- Barrett D.S., Cobb A.G., Bentley G. Joint proprioception in normal osteoarthritic and replaced knees. *J Bone Joint Surg Br*, Jan; 73(1):53-6, 1991.
- Bassett RW, Browne AO, Morrey BS, et al. Glenohumeral muscle force and moment mechanics in a position of shoulder instability. *J Biomech*. 23:405-415, 1990.
- Blasier RB, Guldberg RE, Rothman EG: Anterior shoulder stability: Contributions of rotator cuff forces and the capsular ligaments in a cadaver model. *J Shoulder Elbow Surg*. 1:140-150, 1992.
- Borsa P.A., Lephart S.M., Irrgang J.J., Safran M.R., Fu F.H. The effects of joint position and direction of joint motion on proprioceptive sensibility in anterior cruciate ligament-deficient athletes. *Am J Sports Med*. 25:336-340, 1997.
- Brockett C, Warren N, Gregory JE, Morgan DL, Proske U. A comparison of the effects of concentric versus eccentric exercise on force and position sense at the human elbow joint. *Brain Res*. Oct 17;771(2):251-8, 1997

- Bryan L. Riemann and Scott M. Lephart. The Sensorimotor System, Part II: The Role of Proprioception in Motor Control and Functional Joint Stability. *J Athl Train.* Jan-Mar: 37(1):80-84, 2002.
- Bullock-Saxton JE, Wong WJ, Hogan N. The influence of age on weight-bearing joint reposition sense of the knee. *Exp Brain Res.* Feb:136(3):400-6, 2001.
- Bushman B.A., Flynn M.G., Andres F.F. et al. Effect of four week deep water run training on running performance. *Med Sci Sports Exer.* 29:694-699, 1997.
- Cain PR, Mutschler TA, Fu FH, et al: Anterior stability of the glenohumeral joint. A dynamic model. *Am J Sports Med.* 15:144-148, 1987.
- Corrigan J.P., Cashman W.F., Brady M.P. Proprioception in the cruciate deficient knee. *J Bone Joint Surg Br* 74: 247-250, 1992.
- Cuomo F, Birdzell MG, Zuckerman JD. The effect of degenerative arthritis and prosthetic arthroplasty on shoulder proprioception. *J Shoulder Elbow Surg.* Jul-Aug:14(4):345-8, 2005.
- Cuomo F., Birdzell M.G. and Zuckerman J.D. The effect of degenerative arthritis and prosthetic arthroplasty on shoulder proprioception, *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* 14:4:345-348, 2005.
- Diracoglu D, Aydin R, Baskent A, Celik A. Effects of kinesthesia and balance exercises in knee osteoarthritis. *J Clin Rheumatol.* Dec: 11(6):303-10. 2005
- Edin B.B. Cutaneous afferents provide information about knee joint movements in humans. *J Physiol(Lond).* 531:289-297, 2001
- Era P, Heikkinen E. Postural sway during standing and unexpected disturbance of balance in random samples of men of different ages. *J Gerontol.* 40:287-95, 1985.
- Eric R. Kandel, James H. Schwartz, Thomas M. Jessell. *Principles of neural science/4e.* McGraw-Hill. 2000.
- Ferrell WR, Crighton A, Sturrock RD. Position sense at the proximal interphalangeal joint is distorted in patients with rheumatoid arthritis of finger joints. *Exp Physiol.* Sep: 77(5):675-80, 1992.
- Fitzpatrick R, McCloskey D. Proprioceptive, visual and vestibular thresholds for the perception of sway during standing in humans. *J Physiol.* 478:173-86, 1994.
- Freeman M.A.R., B. Wyke. Articular contribution to limb reflexes. *British Journal of Surgery.* 53:61-69. 1966.
- Freeman MAR, Dean MRE, Hanham IWF. The etiology and prevention of functional instability of the foot. *J Bone Joint Surg (Br).* 47:678-85, 1965.
- Friden T, Roberts D, Zatterstrom R, Lindstrand A, Moritz U. Proprioceptive defects after an anterior cruciate ligament rupture - the relation to associated anatomical lesions and subjective knee function. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 7(4):226-31, 1999.
- Garn SN, Newton RA. Kinesthetic awareness in subjects with multiple ankle sprains. *Phys Ther.* 68:1667-71, 1988.
- Garrick JG. The frequency of injury, mechanism of injury and epidemiology of ankle sprain. *Am J Sports Med.* 5:241-2, 1977.
- Garsden LR, Bullock-Saxton JE. Joint reposition sense in subjects with unilateral osteoarthritis of the knee. *Clin Rehabil.* Apr:13(2):148-55, 1999.
- Glencross D, Thornton E. Position sense following joint injury. *J Sports Med.* 21:23-37, 1981.
- Gross MT. Effects of recurrent lateral ankle sprains on active and passive judgements of joint position. *Phys Ther.* 67:1505-9, 1987.
- Halasi T, Kynsburg A, Tallay A, Berkes I. Changes in joint position sense after surgically treated chronic lateral ankle

- instability. *Br J Sports Med.* Nov:39(11): 818-24, 2005
- Hasselkus BR, Shambles GM. Ageing and postural sway in women. *J Gerontol.* 30: 661-7, 1975.
- Hewitt BA, Refshauge KM, Kilbreath SL. Kinesthesia at the knee: the effect of osteoarthritis and bandage application. *Arthritis Rheum.* Oct 15:47(5):479-83, 2002.
- Hinman RS, Bennell KL, Metcalf BR, Crossley KM. Delayed onset of quadriceps activity and altered knee joint kinematics during stair stepping in individuals with knee osteoarthritis. *Arch Phys Med Rehabil.* Aug:83(8):1080-6, 2002.
- Hulliger M. The mammalian muscle spindle and its central control. *Rev Physiol Biochem Pharmacol.* 101:1-110,1984
- Irrgang JJ, Whitney SL, Cox ED. Balance and proprioceptive training for rehabilitation of the lower extremity. *Journal of Sports Rehabilitation.* 3:68-83, 1994.
- James E. Carpenter, MD, Ralph B. Blasler, MD and Gregory G. Pellizzon, MD.
- Jennings A.G. A proprioceptive role for the anterior cruciate ligament: a review of the literature. *J Orthop Rheumatol* 7:3-13, 1994.
- Jerosch J., Bischof M. The effect of proprioception on functional stability of the upper ankle joint with special reference to stabilizing aids. *Sportverletz Sportschaden.* Sep:8(3):111-21, 1994.
- Johansson H., Sjolander P., Sojka P. A sensory role for the cruciate ligaments. *Clin Orthop* Jul 268:161-178, 1991.
- Johansson H., Sjolander P., Sojka P. A sensory role for the cruciate ligaments. *Clin Orthop.* 268:161-178, 1991.
- Kaplan FS, Nixon JE, Reitz M, Rindfleish L, Tucker J. Age-related changes in proprioception and sensation of joint position. *Acta Orthop Scand.* Feb:56(1):72-4, 1985.
- Konttinen YT, Tiainen VM, Gomez-Barrena E, Hukkanen M, Salo J. Innervation of the joint and role of neuropeptides. *Ann N Y Acad Sci.* Jun:1069:149-54, 2006
- Lars Konradsen. Factors Contributing to Chronic Ankle Instability: Kinesthesia and Joint Position Sense. *Journal of Athletic Training.* 37(4):381-385, 2002.
- Lattanzio PJ, Petrella RJ, Sproule JR, Fowler PJ. Effects of fatigue on knee proprioception. *Clin J Sport Med.* Jan:7(1):22-7, 1997.
- Lattanzio PJ, Petrella RJ, Sproule JR, Fowler PJ. Effects of fatigue on knee proprioception. *Clin J Sport Med.* Jan:7(1):22-7, 1997.
- Laurie Lundy-Ekman. *Neuroscience: Fundamentals for Rehabilitation/2e.* W.B. Saunder. 2002.
- Lazarus MD, Sidles JA, Harryman DT II, et al. Effect of a chondral-labral defect on glenoid concavity and glenohumeral stability. A cadaveric model. *J Bone Joint Surg.* 78A: 94-102, 1996.
- Lephart and Henry, 1996 Lephart S.M. and Henry T.J. The physiological basis for open and closed kinetic chain rehabilitation for the upper extremity, *J Sport Rehab.* 5:71-87, 1996.
- Lephart S.M., Fu F.H. The role of proprioception in the treatment of sports injuries. *Sports Exerc Inj.* 1:96-102.
- Lephart S.M., Warner J.P., Borsa P.A., Fu F.H. Proprioception of the shoulder joint in healthy, unstable, and surgically repaired shoulders, *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* 3:(6):371-380, 1994.
- Lord S, Ward J. Age-associated differences in sensorimotor function and balance in community dwelling women. *Age Ageing.* 23:452-60, 1994.
- Machner A., Merk H., Becker H., Rohkohl K., Wissel H. and Pap G. Kinesthetic sense of the shoulder in patients with impingement

- syndrome, *Acta Orthop Scand* 74:1,85–88, 2003
- Margareta Nordin, Victor H. Frankel. *Basic biomechanics of the musculoskeletal system /3e.* LIPPINCOTT WILLIAMS&WILKINS. 2001.
- Mark Melnyk, Michael Faist, Martin Gothner, Lutz Claes, and Benedikt Friemert. Changes in stretch reflex excitability are related to “giving way” symptoms in patients with anterior cruciate ligament rupture. *J Neurophysiol.* 1110–1152, 2006.
- Matthews P.B.C. *Mammalian muscle receptors and their central actions.* Edward Arnold Ltd, London, UK, 1972
- Michael V. Hurley, David L. Scott, Joanne Rees, Di. J. Newhama. Sensorimotor changes and functional performance in patients with knee osteoarthritis. *Ann Rheum Dis.* 56: 641–648, 1997.
- Nakagawa H, Ohashi N, Watanabe Y, et al. The contribution of proprioception to posture control in normal subjects. *Acta Otolaryngol Suppl (Stockh).* 504:112–16, 1994.
- Okuda T, Ochi M, Tanaka N, Nakanishi K, Adachi N, Kobayashi R. Knee joint position sense in compressive myelopathy. *Spine.* Feb:15:31(4):459–62, 2006.
- Osternig L.R., Caster B.L., James C.R. Contralateral hamstring (biceps femoris) coactivation patterns and anterior cruciate ligament dysfunction. *Med Sci Sport Exerc.* 27:805–808, 1994.
- Overstall P, Exton-Smith A, Imms E Johnson A. Falls in the elderly related to postural imbalance. *Br Med J.* 1:261–4, 1977.
- Palmer I. Pathophysiology of the medial ligament of the knee joint. *Acta Chirurgica Scandinavica.* 115:312–318, 1958.
- Paschalis V, Nikolaidis MG, Giakas G, Jamurtas AZ, Pappas A, Koutedakis Y. The effect of eccentric exercise on position sense and joint reaction angle of the lower limbs. *Muscle Nerve.* Jan 12. 2007.
- Paschalis V, Nikolaidis MG, Giakas G, Jamurtas AZ, Pappas A, Koutedakis Y. The effect of eccentric exercise on position sense and joint reaction angle of the lower limbs. *Muscle Nerve.* Jan 12. 2007.
- Petrella RJ, Lattanzio PJ, Nelson MG. Effect of age and activity on knee joint proprioception. *Am J Phys Med Rehabil.* May–Jun:76(3): 235–41, 1997.
- Pincivero DM, Heller BM, Hou SI. The effects of ACL injury on quadriceps and hamstring torque, work and power. *J Sports Sci.* Sep:20(9):689–96, 2002.
- Prochazka A. Proprioceptive feedback and movement regulation. In: Rowell L, Sheperd J.T. (eds) *Handbook of Physiology. Section 12. Exercise: Regulation and Integration of Multiple Systems.* American Physiological Society(New York). 89–127, 1996.
- Ribeiro F, Mota J, Oliveira J. Effect of exercise-induced fatigue on position sense of the knee in the elderly. *Eur J Appl Physiol.* Mar:99(4):379–85, 2007.
- Ribeiro F, Mota J, Oliveira J. Effect of exercise-induced fatigue on position sense of the knee in the elderly. *Eur J Appl Physiol.* Mar:99(4):379–85, 2007.
- Roberts D, Andersson G, Friden T. Knee joint proprioception in ACL-deficient knees is related to cartilage injury, laxity and age: a retrospective study of 54 patients. *Acta Orthop Scand.* Feb:75(1):78–83, 2004.
- Ryan L. Mechanical stability, muscle strength and proprioception in the functionally unstable ankle. *Journal of Australian Physiotherapy.* 40:41–7, 1994.
- Sandlund J, Djupsjobacka M, Ryhed B, Hamberg J, Bjorklund M. Predictive and discriminative value of shoulder proprioception tests for patients with whiplash-associated

- disorders. *J Rehabil Med.* 38(1):44-9, 2006.
- Schultz R.A., Miller D.C., Kerr C.S., Micheli C.S. Mechanoreceptors in human cruciate ligaments. A histological study. *J Bone Joint Surg Am.* 66:1072-1076, 1984.
- Scott S.H., Loeb G.E. The computation of position sense from spindles in mono- and multiarticular muscles. *J Neurosci.* 14:7529-7540, 1994
- Scott W., Shaffer and Anne L. Harrison. Aging of the Somatosensory System: A Translational Perspective. *PHYS THER.* 87(2): Feb:193-207, 2007.
- Skinner H.B., Barrack R.L., Cook S.D., Haddad R.J. Joint position sense in total knee arthroplasty.
- Skinner HB, Barrack RL, Cook SD. Age-related decline in proprioception. *Clin Orthop Relat Res.* Apr:(184):208-11, 1984.
- Smith R.L. and Brunolli J. Shoulder kinesthesia after anterior glenohumeral dislocation. *Physical Therapy.* 69:106-112, 1989.
- Static postural sway, proprioception, and maximal voluntary quadriceps contraction in patients with knee osteoarthritis and normal control subjects
- Stauffer RN, Chao EYS, Gyory AN. Biomechanical gait analysis of the diseased knee joint. *Clin Orthop.* 126:245-55. 1977.
- Sturnieks DL, Tiedemann A, Chapman K, Munro B, Murray SM, Lord SR. Physiological risk factors for falls in older people with lower limb arthritis. *J Rheumatol.* Nov:31(11):2272-9. 2004
- The Effects of Muscle Fatigue on Shoulder Joint Position Sense. American Orthopaedic Society for Sports Medicine, 1998
- Tibone J.E., Fechter J. and Kao J.T. Evaluation of a proprioception pathway in patients with stable and unstable shoulders with cortical evoked potentials, *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* 6:5:440-443, 1997.
- Von Holst E., Mittelstaedt H. Das reafferen-zprinzip(Wechselwirkungen zwischen Zentralnervensystem und peripherie). *Naturwissenschaften.* 37:464-476, 1950.
- Waikakul, Saranatra, Jisue, Narongsak, Vanadurongwan, Vichai. Change in the normal knee position sense with ageing in 700 normal volunteers. *J Orthop Surg (HongKon).* 1998.
- Watson AWS. Sports injuries during one academic year in 6,799 Irish schoolchildren. *Am J Sports Med.* 12:65-71, 1984.
- Weiler H.T., Pap and Awiszus F. The role of joint afferents in sensory processing in osteoarthritic knees. *Rheumatology.* 39:850-856, 2000.
- Wester JU, Jespersen SM, Nielsen KD, et al. Wobble board training after partial sprain of the lateral ligaments of the ankle: a prospective randomized study. *J Orthop Sports Phys Ther.* 23:332-6, 1996.
- Zazulak BT, Hewett TE, Reeves NP, Goldberg B, Cholewicki J. The Effects of Core Proprioception on Knee Injury: A Prospective Biomechanical-Epidemiological Study. *Am J Sports Med.* 35(3):368-373, 2007.
- Zuckerman J.D., Gallagher M.A., Cuomo F. and Rokito A. The effect of instability and subsequent anterior shoulder repair on proprioceptive ability. *Journal of Shoulder and Elbow Surgery* 12:(2):105-109, 2003.