

국소적 부하와 전신적 부하가 슬관절 위치 감각에 미치는 영향

울산21세기좋은병원 물리치료실

황 윤 태

강릉영동대학 물리치료과

최 진 호*

대구대학교 재활과학대학 물리치료학과

박 래 준

The effects of knee joint position sense following local and general load protocols

Hwang, Yoon-tae, P.T., M.S.

21th century good hospital

Choi, Jin-ho, P.T., Ph.D.

Department of Physical Therapy, Gangneung Yeongdong College

Park, Rae-joon, P.T., Ph.D.

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

<Abstract>

The purpose of this study was to compare the effects of knee joint position sense following local and general load protocols in 25 healthy male subjects. Proprioception of the knee joint was evaluated by measuring absolute angular errors at matching angles before, after and between 2 different types of load

*교신저자: 강원도 강릉시 성산면 금산리 11 강릉영동대학 물리치료과, deviated@gyc.ac.kr

protocols. Proprioception tests(on the dominant knee) were performed in which proprioception of the passive-passive reproduced and active-active reproduced knee position was measured. Local load was provided with maximum isokinetic knee extension-flexion on the isokinetic dynamometer(Cybex), and general load was 10 minutes running on a treadmill. Peak torque(knee extension and flexion) and heart rate(beats per minute) was evaluated as an indicator of local and general fatigue during load protocols.

The results were as follows:

1. For passive-passive reproduced knee position test, significant difference in absolute angular errors after general load protocol was detected compared with that before general load protocol($P < .05$), significant difference in absolute angular errors after local load protocol was detected compared with that before local load protocol($P < .05$). However, no significant difference in absolute angular errors of general load protocol was detected compared with that of local load protocol ($P > .05$), no significant difference in absolute angular errors of local load protocol was detected compared with that of general load protocol($P > .05$).

2. For active-active reproduced knee position test, significant difference in absolute angular errors after general load protocol was detected compared with that before general load protocol($P < .05$), significant difference in absolute angular errors after local load protocol was detected compared with that before local load protocol ($P < .05$). Also, significant difference in absolute angular errors of general load protocol was detected compared with that of local load protocol($P < .05$), significant difference in absolute angular errors of local load protocol was detected compared with that of general load protocol($P < .05$).

3. A significant decrease of peak torque of knee extensors and flexors was seen after local load, although heart rate was significantly increased($P < .05$). No significant change of peak torque of knee extensors and flexors was seen after general load($P > .05$), although heart rate was also significantly increased($P < .05$).

The previous study revealed that knee proprioception is significantly altered when the muscle mechanoreceptors are dysfunctional due to muscle fatigue, although the joint mechanoreceptors have no significant effect on knee proprioception when the presence of knee muscle fatigue. However, the results of this study are different from those of the previous study in that muscle weakness of the knee could not be seen after general load. This study shows that general load may diminish motor control by the central nervous system. Proprioceptual decline without muscle weakness of knee after general load suggests a change in the proprioceptual pathway without influence from muscle mechanoreceptors..

Key Words : Functional MRI, Motor recovery, Cortical reorganization.

I . 서 론

고유수용성 감각은 1800년대 초 관절 감각 및 말초 감각을 평가하기 위한 초기 방법으로 힘의 세기를 감지하는 감각 검사(force sense)와 무게를 감지하는 감각 검사

(heaviness sense)로 평가되었으나 최근에는 운동 감각 검사(kinesthetic sense)와 관절 위치 감각 검사(joint position sense)가 주요한 평가 기준이 되고 있다 (Hopper 등, 2003; Lephart 등, 1997; Lin, 2005; Swanik 등, 2004; Uchio 등, 2003; Willems 등, 2002).

위치 감각(position sense)은 시각적 도움 없이 각 신체분절의 위치를 평가하는 능력으로 근 수용기(muscular receptor), 건 수용기(tendon receptor), 관절 수용기(articular receptor), 피부 수용기(cutaneous receptor)에 의해 결정된다(Bouet와 Gahery, 2000). 이들 각 수용기가 전달하는 서로 다른 구심성 정보에 대한 역할에는 논란이 있지만, 이들 중 근 수용기가 관절의 정교한 위치 감각을 결정하는데 중요한 역할을 하는 것으로 알려져 있고, 위치 감각의 정확성에 영향을 미칠 수 있는 근육의 기능적 상태 변화를 감지하게 된다(Birmingham 등, 1998; Docherty 등, 2004; Friden 등, 2001; Hewitt 등, 2002; Katayama 등, 2004).

운동 감각력(kinesthetic sensibility)은 피로에 의해 감소되지만, 장기간의 신체 활동으로 증가된다. Euzet와 Gahery(1998)는 정상인과 운동 선수들을 대상으로 슬관절의 근 수용기를 지속적으로 운동시키는 것에 의해 위치 감각의 감각체계를 연구하고자 하였으며, 근육 운동은 전반적인 운동 능력을 향상시키지만 이들이 감각 체계에 미치는 영향에 관한 연구는 미흡한 실정이다(Barrack 등, 1984; Euzet와 Gahery, 1995; Pedersen 등, 1999; Sharpe와 Miles, 1993).

최근 관절의 위치 감각을 담당하는 고유수용성 감각은 관절에 기능적 안정성을 유지하는데 중요한 역할을 하는 것으로 밝혀지고 있다(Miura 등, 2004; Tsuda 등, 2001). 기계적 수용기(mechanical receptor)인 고유수용성 감각의 감각 수용기는 피부, 근육, 건, 관절낭, 인대에 분포하고 있어 관절에 적용되는 기계적 부하를 구심성 감각 정보로 변환하여 중추신경계로 전달되는 가중적 신경 입력이다(Grigg, 1994; Kennedy 등, 1982; Lee 등, 2003). 이들 구심성 감각 정보는 관절의 운동과 관절의 위치에 대한 감각을 파악하여 운동 프로그램화에 통합되어 운동이 정확하게 수행되도록 하고 근수축 반사와 동적 관절 안정성에 기여한다(Lephart 등, 1997). 정상적인 관절의 위치 감각은 정상적인 근육의 협응과 적절한 근수축을 위해 반드시 필요하다.

슬관절에서 국소적 피로는 근육의 기계적 수용기들에게 기능 부전을 야기시켜 대퇴사두근의 근력과 지구력 감소를 쉽게 유발시키며, 전반적인 신체 활동으로 야기되는 전신적 피로는 말초적 구심성 감각 신호의 소실로 인해 비정상적인 운동 조절을 유발시키는데 이러한 지속적인 운동 조절의 실패는 관절 주위 조직에 스트레스를 더욱 가중시키며 통증과 병리학적인 문제에 까지 영향을 미친

다(Sharma 등, 1997). 피로 등에 의한 고유수용성 감각의 저하는 관절 주위 인대 등의 연부 조직 손상 위험이 증가하고, 특히 축구와 스키 등의 여러 운동 종목에서 경기 후반부에 피로해져 운동 손상 발생율이 증가하고 있다(Lattanzio 등, 1997; Lattanzio와 Petrella, 1998; Skinner 등, 1986; Tuggy와 Ong, 2000; Zemphler, 1989).

위치 감각인 고유수용성 감각을 평가하는 방법으로 시각과 촉각 정보를 차단하고 능동적 또는 수동적으로 일정한 관절 각도를 반복 재현하는 방법이 사용되는데, 재현되는 관절의 각도 오차를 이용하여 고유수용성 감각 변화를 관찰할 수 있다. 여러 연구에서 피로 후 관절의 위치 감각에 변화가 일어난다고 보고하였는데 Bouet와 Gahery(2000)는 정상인을 대상으로 중중도 강도의 자전거 타기를 시행하여 자전거 타기 전과 후에 슬관절의 위치 감각 변화를 평가한 결과, 슬관절 위치 감각의 정확성이 향상되었다고 보고하였고, Voight 등(1996)은 근 피로 전과 후에 능동적, 수동적 관절각도 설정을 재현하는 연구를 시행한 결과, 근피로 발생 전과 후에 관절 각도 설정의 재현성에 차이를 발견하였다. 그러나 Sterner 등(1998)은 근피로에 따른 관절의 고유수용성 감각을 관절 각도의 능동적 설정과 능동적 재현, 그리고 수동적 설정과 능동적 재현으로 연구한 결과, 고유수용성 감각에 영향을 미치지 않는다고 보고하여 Voight 등(1996)의 연구 결과와 상반되었다. Miura 등(2004)은 국소적 부하 적용 전과 후에 고유수용성 감각 변화는 관찰되지 않았지만, 전신적 부하 적용 전과 후에는 고유수용성 감각에 변화가 관찰되었다고 보고하였다.

따라서 이 연구는 슬관절을 대상으로 등속성 운동에 의한 국소적 부하 그리고 전반적인 신체 활동에 의한 전신적 부하를 적용하여 부하 적용 전과 후에 슬관절 위치 감각의 변화를 관찰하여 국소적 부하와 전신적 부하가 고유수용성 감각 체계에 미치는 영향을 알아보고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구 대상자 및 연구 기간

본 연구는 기준 조건을 충족시키는 2명의 정상인을 대상으로 예비 실험을 실시한 후, 문제점을 수정하여 2005년 1월부터 2005년 3월까지 신체 건강한 정상 성인 25

명을 대상으로 실시하였다. 연구 대상자의 선정 조건은 우성인 하지가 오른쪽이며, 과거력 상에서 요추를 포함한 고관절, 슬관절, 족관절 및 족지절 관절에 손상이 없고, 전정기관과 신경계 질환을 호소하지 않는 자로 연구 목적과 실험 방법을 충분히 이해하고 자발적으로 동의한 자를 대상으로 하였다.

2. 실험방법

1) 실험 도구

고유수용성 감각 검사를 위한 장비는 관절 각도의 아날로그 신호를 디지털화하는 MP150(Biopac System Inc, U.S.A.)과 관절 운동 각도를 측정하는 전자측각기(electrogoniometer)를 사용하였다. 전자측각기(Biopac System Inc, U.S.A.)는 두개의 전자 분압기(electrical potentiometer)와 이것을 연결하는 용수철로 구성되어 있다. 전자 분압기는 연구 대상자의 슬관절 축 바로 아래 위에 테이프로 각각 고정하여 굴곡과 신전을 하는 동안 전위차를 아날로그 신호로 전달해 준다. 이 전달된 아날로그 신호는 MP150으로 보내져 디지털 신호로 전환되며, 이와 연결된 개인용 컴퓨터에 내장된 디지털 신호 분석 프로그램(acqknowledge 소프트웨어)을 사용하여 필터링과 실험 시 취득된 데이터를 계산하기 위한 기타 처리를 하였다. 데이터 단위는 Volt로 표시되는데 이것은 실제적인 관절 움직임 각도와 동일하게 측정되는 것이며, 각 신호의 표본 추출률(sampling rate)은 60Hz이고 1.5 Hz의 저역 통과필터(low pass filter)를 하였다(그림1).

2) 관절 위치 감각 검사

연구 대상자는 슬관절의 굴곡과 신전이 자유롭도록 편안한 자세로 의자에 앉고 시각적 자극을 차단하기 위해 검은 안대를 착용하였으며, 검사시 청각적 자극을 차단하기 위해 양쪽 귀에 헤드폰을 착용하여 외부 환경과의 차단을 실시했다.

고유수용성 감각 검사는 수동 설정-수동 재현 검사(passive-passive reproduced test)와 능동 설정-능동 재현 검사(active-active reproduced test)를 실시하였고 국소적 부하와 전신적 부하가 적용되기 전과 후에 측정되었다. 전신적 부하는 학습 효과와 피로를 제거하기 위해 국소적 부하 적용한 뒤 2주 이상의 휴식기를 가진 후 적용하였다(Skinner 등, 1986).

수동 설정-수동 재현 검사는 실험자가 임의적으로 0°

에서 45° 사이의 관절 각도를 설정하고 3초간 유지하여 관절 각도를 기억하도록 하고 이 때 대상자 앞의 컴퓨터와 연결된 버튼을 눌러 디지털화 된 관절 각도를 측정하였다. 즉, 이 과정은 전자 측각기에서 변환된 슬관절 움직임이 굴곡은 하향으로 신전은 상향으로 컴퓨터 화면에 표시되도록 하여, 관절 각도에 도달하였을 때 대상자가 컴퓨터 자판을 누르면 전위차 인식 절차에 따라 필터링이 되어 관절 각도가 측정된다. 측정 후 대상자는 천천히 실험 전 자세로 돌아와 10초간 휴식을 취했다. 그 후 실험자가 수동적으로 1초당 10° 정도의 각속도로 굴곡에서 신전하는 동안 대상자는 사전에 기억한 관절 각도에 도달하였을 때 버튼을 눌러 디지털화 된 관절 각도를 측정하였다. 검사 시 표재성 자극을 최소화하기 위해 대상자가 느끼지 못할 정도의 가벼운 무게로 제작된 공기 주머니(pneumatic compression cuff)를 검사되어지는 다리에 부착하였다(Lee 등, 2003). 실험자가 공기 주머니를 부드럽게 손으로 감싸듯이 지지하여 수동적으로 하퇴를 신전하였고 설정 시 관절 각도와 재현 시 관절 각도 간의 발생한 오차 각도를 측정하였다(그림 1).

능동 설정-능동 재현 검사는 대상자가 능동적으로 0°에서 45° 사이의 관절 각도를 설정하고 3초간 유지하여 관절 각도를 기억하도록 하고 이 때 대상자 앞의 컴퓨터와 연결된 버튼을 눌러 디지털화 된 관절 각도를 측정하였다. 10초 휴식 후 다시 능동적으로 5초 내에 그 관절 각도를 재현하였을 때 버튼을 눌러 측정된 관절 각도를 측정하고 설정 시 관절 각도와 재현 시 관절 각도 간의 발생한 오차 각도를 측정하였다(그림 2).

고유수용성 감각 검사는 각 방법에 대해 부하가 적용되기 전과 부하가 적용된 후에 3회씩 반복 측정하여 평균 값을 자료 분석에 사용하였다(Lee 등, 2003). 각 대상자 간 수동 및 능동적 원위치 돌아오기 검사의 순서는 무작위 순서로 진행되었으며 각 대상자 내 부하 전후는 동일한 순서로 적용되었다.

3) 국소적 부하의 적용

국소적 부하(local load)는 Cybex(Norm-Cybex international Inc, U.S.A)와 이와 연결된 컴퓨터(TEF-modular component, U.S.A.)를 이용했으며, 대상자는 Cybex 의자에 앉아서 슬관절의 0°에서 90° 범위 안에서 초당 120°의 각속도로 슬관절 신전과 굴곡의 등속성 운동을 적용하였다(Kazutomo 등, 2004). 대상자에게 최대한의 힘으로 등속성 운동을 5분 시행하도록

하고 이때 구해진 측정값의 평균을 최대 토크 값으로 정하였다. 이 후에 40에서 60회까지 연속적으로 등속성 운동을 시행하는 동안 최대 토크 값이 50% 이하로 떨어지는 시점을 기준으로 5회 더 반복하고 연속적으로 최대 토크 값의 50% 이하가 5회 이상 지속될 시점까지 반복적으로 적용하였다. 부하 적용 후 3분 이내에 관절 위치 감각 검사가 실시되었고, 부하 전과 후에 신전과 굴곡의 최대 토크 값과 UDEX II (UEDA Electronic works, Japan)를 사용하여 심박수를 측정하였다. 수행 후 모든 대상자는 근육통과 피로를 호소하였고, 일어섰을 때 균형의 불안정을 보였다.

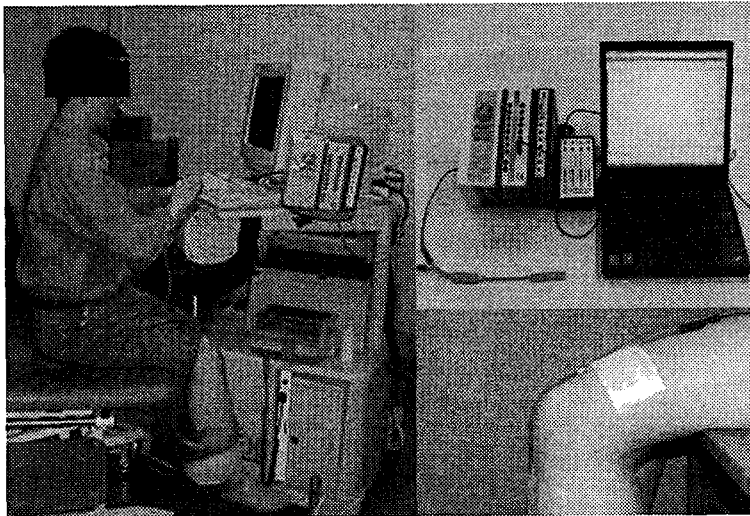
4) 전신적 부하의 적용

전신적 부하(general load)는 트레이드밀(TUNTURI T-85F, Finland)을 사용하여 10%의 경사로 시간당 10km의 속도로 10분 동안의 달리기를 적용하였으며 (Miura 등 2004), 이는 근육 피로 뿐 만아니라 심혈관

계(cardiovascular system)에 전반적인 피로를 반영하기 위해서였다. 부하 적용 후 3분 이내에 관절 위치 감각 검사가 실시되었고, 최대 토크 값과 심박수를 측정하였다. 수행 후 모든 대상자는 가쁜 호흡과 전신의 피로를 호소하였으나, 하지에 근육통과 쉼 때 균형의 불안정은 보이지 않았다.

3. 분석방법

부하가 적용되기 전과 국소적 부하 및 전신적 부하가 적용된 후에 슬관절 신전과 굴곡의 최대 토크 값과 심박수를 비교하기 위해 일원배치 분산 분석(one-way ANOVA)을 실시하였다. 국소적 부하와 전신적 부하에 따른 부하 전과 후의 관절 위치 감각의 변화는 이요인 반복측정 분산 분석(2-way repeated ANOVA)를 이용하였다. 모든 분석은 윈도우용 SPSS 12.0을 이용하였고, 유의수준 $\alpha = .05$ 로 하였다.



〈그림-1〉 관절 위치 감각 검사를 위한 검사 도구

Ⅲ. 연구결과

1. 연구 대상자의 일반적인 특성

본 실험은 총 25명의 남자를 대상으로 하였다. 대상자 연령은 20~29세가 16명(64%), 30~39세가 9명

(36%)이며, 연령 분포는 20세에서 39세 까지로 평균 28.0(±4.44)세 이었다. 대상자 신장은 160~169cm가 3명(12%), 170~179cm가 19명(76%)이고, 그리고 180~189cm가 3명(12%)으로 신장 분포는 평균 174.32(±4.20)cm 이었다. 대상자 몸무게는 60~69kg

이 7명(28%), 70~79kg이 14명(56%)이고, 그리고 80~89kg이 4명(16%)으로 몸무게 분포는 평균

73.44(±5.88)kg 이었다.

〈표 I〉 연구 대상자의 나이, 신장 및 몸무게

	나이	신장	몸무게
일반적 특성(n=25) (평균±표준편차)	28.0(±4.44)	174.32(±4.20)	73.44(±5.88)

2. 부하 전·후의 최대 토크 값과 심박수

슬관절 신전과 굴곡의 최대 토크 값은 부하가 적용되기 전에는 각각 96.72(±17.87)과 61.48(±6.23)였고, 국소적 부하가 적용된 후에는 43.40(±8.89), 31.08(±6.96)이며, 그리고 전신적 부하가 적용된 후에는 96.20(±18.72), 61.56(±5.71)이었다. 일원배치 분산 분석을 통한 각각의 평균값의 비교에서 통계학적으로 유의한 차이를 보였다(슬관절 신전:F=93.972, P<.05, 슬관절 굴곡:F=193.428, P<.05). 슬관절 신전과 굴곡의 최대 토크 값에 대한 사후 검정에서 부하 전과 국소적 부

하의 비교 및 국소적 부하와 전신적 부하의 비교에서 각각 통계학적으로 유의한 차이를 보였으나(P<.05), 부하 전과 전신적 부하의 비교에서는 통계학적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(P>.05).

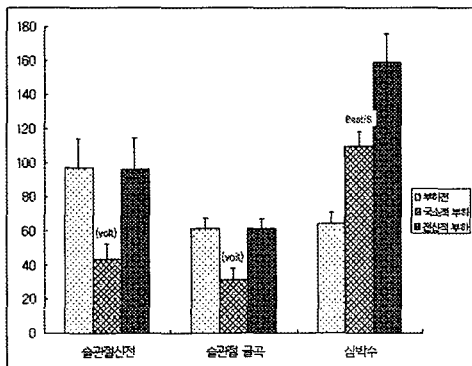
심박수는 부하가 적용되기 전에는 64.04(±6.94)이었고, 국소적 부하가 적용된 후에는 109.68(±8.88)이며, 그리고 전신적 부하가 적용된 후에는 158.80(±4.48)이었다. 일원배치 분산 분석을 통한 각각의 평균값의 비교에서 통계학적으로 유의한 차이를 보였다.(F=378.429, P<.05). 심박수에 대한 사후 검정에서 각각의 변수에 대해 유의한 차이를 보였다(P<.05).

〈표 II〉 각 부하에 따른 슬관절 신전과 굴곡의 최대 토크 값 및 심박수

(단위: 각도 및 심박수)

결과	부하 전	국소적 부하	전신적 부하
최대 토크값 (평균±표준편차)			
슬관절 신전 F=93.972 (P<.05)	96.72(±17.87)	43.40(±8.89) *	96.20(±18.72)
슬관절 굴곡 F=193.428 (P<.05)	61.48(±6.23)	31.08(±6.96) *	61.56(±5.71)
심박수 (평균±표준편차)	64.04(±6.94)	109.68(±8.88) *	158.80(±4.48) *

*p<.05



〈그림 II〉 각 부하에 따른 슬관절 신전과 굴곡의 최대 토크 값 및 심박수의 변화 (평균±표준편차)

3. 부하 형태에 따른 관절 위치 감각의 변화

수동 설정-수동 재현 검사에서 국소적 부하 전은 3.46(±2.05), 부하 후는 4.32(±2.25)로 측정되어 0.86(volt)의 관절 각도 오류를 보였다. 전신적 부하 전은 3.38(±2.09), 부하 후는 4.95(±2.16)로 측정되어 1.57(volt)의 관절 각도 오류를 보였다. 부하 형태(국소적 부하, 전신적 부하)에 따른 관절 위치 감각의 오류에서는 통계학적으로 유의하지 않았고(F(1, 24)=0.627), 부하 전과 후에 따른 오류 변화에서는 통계학적으로 유의한 차이를 보였다(F(1, 24)=13.150). 부하 형태와 부하 전과 후의 오류에 대한 상호 작용 효과는 통계적으로

유의하지 않았다(F(1, 24)=2.122).

능동 설정-능동 재현 검사에서 국소적 부하 전은 3.56(±2.12), 부하 후는 3.60(±1.75)로 측정되어 0.04(volt)의 관절 각도 오류를 보였다. 전신적 부하 전은 3.74(±1.68), 부하 후는 5.39(±1.53)로 측정되어 1.65(volt)의 관절 각도 오류를 보였다. 부하 형태에 따른 관절 위치 감각의 오류에서는 통계학적으로 유의한 차이를 보였고(F(1, 24)=12.655), 부하 전과 후에 따른 오류 변화에서도 통계학적으로 유의한 차이를 보였다(F(1, 24)=8.436). 부하 형태와 부하 전과 후의 오류에 대한 상호 작용 효과는 통계학적으로 유의한 차이를 보였다(F(1, 24)=0.9.385).

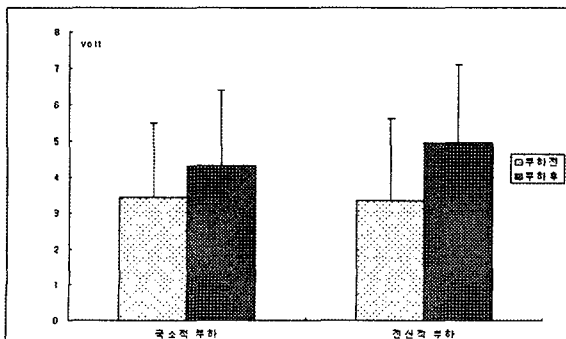
〈표 Ⅲ〉 부하 형태와 검사 방법에 따른 관절 위치 감각의 오류변화

(단위:오류각도)

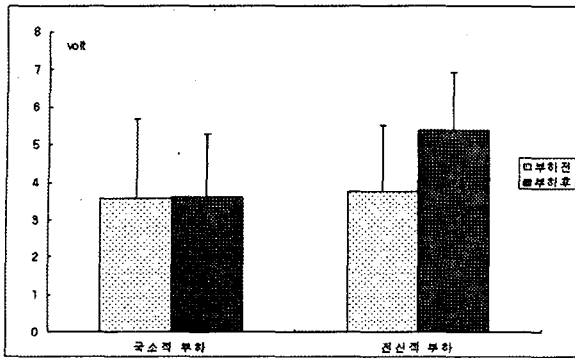
	국소적 부하		전신적 부하	
	부하 전	부하 후	부하 전	부하 후
수동-수동 (평균±표준편차)	3.46(±2.05)	4.32(±2.25)	3.38(±2.09)	4.95(±2.16)
능동-능동 (평균±표준편차)	3.56(±2.12)	3.60(±1.75)	3.74(±1.68)	5.39(±1.53)

〈표 Ⅳ〉 관절 위치 감각의 오류에 대한 ANOVA의 결과

	소스	제 Ⅲ 유형 제곱합	자유도	평균제곱	F	P
수동 설정/ 수동 재현	국소-전신	1.899	1	1.899	0.627	0.436
	전-후	37.112	1	37.112	13.150	0.001
	상호 작용	3.168	1	3.168	2.122	0.158
능동 설정/ 능동 재현	국소-전신	24.216	1	24.216	12.655	0.002
	전-후	17.682	1	17.682	8.436	0.008
	상호 작용	16.152	1	16.152	9.385	0.005



〈그림 Ⅲ〉 수동 설정-수동 재현 검사에서의 관절 위치 감각의 오류



〈그림 Ⅳ〉 능동 설정-능동 재현 검사에서의 관절 위치 감각의 오류

Ⅳ. 고 찰

본 연구에서 국소적 부하의 적용은 초당 120°의 각속도로 40회 이상 반복하여 최대 토크 값의 50% 이하가 될 때 까지 슬관절의 굴곡과 신전근에 등속성 운동을 적용하였고, 전신적 부하는 트레이드밀을 사용하여 10%의 경사로 시간당 10km의 속도로 10분 동안 달리기를 적용하였다(Bouet와Gahery, 2000; Miura 등, 2004; Voight 등, 1996). 전신적인 부하를 적용하기 위한 도구로 트레이드밀이나 자전거 측력계(cycle ergometer) 등이 사용되고 있지만 자전거 측력계는 주로 다리 근육만이 사용하고 비교적 적은 산소 섭취량을 요구하며 국소적 근육 피로에 의해 운동을 중단할 수 있기 때문에 피험자가 동일한 부하를 적용하기 위해 트레이드밀을 채택하였다(Miura 등, 2004). 최대 토크 값과 심박수는 각 부하가 적용되는 동안 국소와 전신적 피로의 수치를 알아보기 위해 측정되었으며 최대 토크 값은 슬관절 근육들의 국소적 피로를 반영했고, 심박수는 심혈관계의 전신적 피로를 반영했다. 전신적인 부하 후 생리적인 변화를 측정하기 위한 검사 방법은 심전도, 심박수, 혈압 등과 같은 심혈관계 기능 검사, 폐호흡 및 호흡 빈도의 호흡계 기능 검사와 산소 섭취량, 혈액 젖산 농도의 대사적 반응 검사가 있다. 그러나 본 연구에서는 심박수만 측정하였는데 이는 국소와 전신적 부하 후 슬관절의 관절 위치 감각 검사와 생리학적 검사를 동시에 측정하는데 시간적인 제한점이 있었기 때문이다. Sinacore 등(1994)은 운동 부하 후 회복은 빠르게 발생하는데 첫 30초에서 60초 안에 최대 토크 출력량(initial torque output)의 69%에서 75%까

지 회복율을 보이며, 3에서 4분 후에는 최초 토크량의 90%에서 95%까지 회복한다고 하였다. 그래서 본 연구에서는 부하가 적용된 후 피로가 회복되는 시간 안에 연구 대상자 간 동일한 측정을 위해 3분 이내에 모든 검사를 마쳤다. Marks와 Quinney (1993)는 고유수용성의 유의한 향상으로 신경근 훈련에 의한 학습 효과를 지적했다. 그러나 본 실험에서는 국소적 부하 후 2주 간의 간격을 두고 전신적 부하를 적용했기 때문에 기억과 학습에 대한 효과는 충분히 감소했을 것으로 생각된다.

Lattanzino 등(1998)은 고유수용성 감소로 인해 슬관절의 연부 조직 손상이 빈발하였는데 남자들은 모든 운동 부하에 대해 고유수용성 감소를 관찰할 수 있었으나 여자들은 고유수용성 감소가 유의하게 관찰되지 않았다고 하여 본 연구에서 남자들을 연구 대상으로 선정하였다.

국소적 부하 전과 후의 최대 토크 값은 슬관절 신전과 굴곡에서 각각 통계적으로 유의한 차이를 보이며 50% 이상 저하되었으며($F=93.972$, $P<.05$; $F=193.428$, $P<.05$), 심박수는 국소적 부하 전과 후와 전신적 부하 후, 각각 $64.04(\pm 6.94)$, $109.68(\pm 8.88)$, 그리고 $158.80(\pm 4.48)$ 로 통계적으로 유의한 차이를 보였다. 이는 국소적 부하 후 최대 토크 값은 저하되고 심박수는 증가하여 국소적 피로가 발생하였고, 전신적 부하 후 최대 토크 값은 부하 전과 유의한 차이를 보이지 않았고 심박수는 두 배 이상 증가하여 전신적 피로가 발생하였다고 판단된다.

관절 각도 오류 값은 국소적 부하와 전신적 부하 후 위치 감각 각도를 3회씩 반복 측정하여 나타난 그 평균값이며 각각 부하 전과 비교하였다(Tsuda 등, 2001). 본 연구에서 수동 설정-수동 재현 검사에서 국소적 부하의 적

용과 전신적 부하의 적용은 각각 0.86, 1.57의 관절 위치 감각 오류를 보여 전신적 부하의 적용이 보다 많은 오류를 보였다. 또한 능동 설정-능동 재현 검사에서 국소적 부하의 적용과 전신적 부하의 적용은 각각 0.04, 1.65의 관절 위치 감각 오류를 보여 국소적 부하의 적용은 관절 위치 감각의 오류 차이를 거의 보이지 않은 반면, 전신적 부하의 적용은 국소적 부하의 적용뿐 만 아니라 수동 설정-수동 재현 검사에서 보다 더 큰 오류를 보였다. 따라서 이 연구로 볼 때 국소적 부하의 적용 보다 전신적 부하의 적용이 수동 설정-수동 재현 검사와 능동 설정-능동 재현 검사 모두에서 더 많은 관절 위치 감각의 오류를 나타냈다. 이는 적용된 운동 강도의 차이 때문이라 생각된다. Bouet와 Gahery(2000)는 자전거 측력계에서 10분 동안 근육의 피로가 생기지 않은 정도의 자전거 타기를 수행한 후 관절 위치 감각 검사를 실시하였고, 그 결과 슬관절의 위치 감각이 더욱 향상되었다고 하였다. 그러나 Bouet와 Gahery(2000)의 연구에서 적용된 슬관절의 운동은 자전거 측력계로 부과된 속도와 저항 없이 연구 대상자가 원하는 강도로 율동적인 운동이 적용되었는데 이는 본 연구의 국소적 부하의 적용 보다는 가벼운 전신적 부하의 적용에 가까운 운동이었다고 생각된다. 본 연구에서도 전신적 피로가 유발될 정도의 강도 높은 전신 운동이 적용되었기 때문에 전신적 부하의 적용이 국소적 부하의 적용 보다 더 많은 관절 위치 감각의 오류를 나타내는 걸로 생각된다. 본 연구를 포함하여 Sharma 등(1997)은 국소적 부하로 오는 국소적 피로는 근육의 기계적 수용기들에게 기능부전을 야기 시켜 근력 약화를 초래하지만, 말초적 구심성 감각 신호의 소실을 유발시켜 비정상적인 운동 조절을 야기 시키지는 않는다고 했다. Marks와 Quinney(1993)도 슬관절에 국소적 부하는 국소적 피로를 유발하여 근육의 기계적 수용기에 기능부전을 일으키지만 관절 각도 재현성의 절대 오류값에는 변화는 일으키지 않는다고 했다. 그러나 국소적 부하와는 달리 전반적인 신체 활동으로 오는 전신적 피로는 말초적 구심성 감각 신호의 소실을 초래하는데 Shama 등(1997)은 전신적 부하 후 감소된 위치 감각은 말초적으로 구심성 감각 정보의 소실로 인해 비정상적인 운동 조절을 유발시킨다고 하여 본 연구와 일치하였다.

또한, 수동 설정-수동 재현 검사의 국소적 부하 오류 값은 0.86 이었고 전신적 부하 값은 1.57로 이 두 오류 값의 차이는 0.71 이었으며, 능동 설정-능동 재현 검사의 국소적 부하 오류 값은 0.04 이었고 전신적 부하 값은

1.65로 이 두 오류 값의 차이는 1.61 이었다. 이러한 능동 설정-능동 재현 검사에서 수동 설정-수동 재현 검사 보다 더 많은 관절 위치 감각 오류가 발생한 것에 관하여 Lee 등(2003)은 건관절의 능동과 수동적 관절 각도 재현성 검사에서 특징적인 자극에 반응하는 기계적 관절 수용기의 적응 능력이 능동 운동과 수동 운동에서는 각기 다르다는 것으로 설명하고 있고, Paillard와 Brouchon(1974)는 능동적 근수축이 지절 위치(limb position)에 대해 수동적 근수축 보다 더욱 정확한 감각을 유발한다고 하여 관절 위치 감각의 감지는 빠르게 적응하는 고유수용기인 근방추와 느리게 적응하는 관절 수용기가 서로 다른 역할을 담당하고 있다고 했다. 또한, Lephart 등(1997)은 느린 각속도의 수동적인 재현 검사에서는 근육의 고유수용기의 활성화는 최소화되고 관절의 고유수용기가 주요한 역할을 한다고 하였다. 따라서 본 연구에서 국소적 부하와 전신적 부하의 적용은 관절 수용기에 영향을 미치기보다 근방추에 더 많은 영향을 미치게 되어 비교적 느린 각속도에서 측정되는 수동 설정-수동 재현 검사에서는 부하 후 많은 차이를 보이지 않았으나, 빠른 각속도로 측정되는 능동 재현-능동 검사에서는 부하 후 관절의 위치 감각에 많은 오류를 보였을 걸로 생각된다. 실제 본 실험에서도 수동 설정-수동 재현 검사는 초당 10° 정도의 각속도로 설정 및 재현이 되었으나 능동 설정-능동 재현 검사는 연구 대상자 스스로 빠른 설정과 재현을 보였다.

Skinner 등(1986)은 달리기를 통한 전신적 부하를 적용한 후 슬관절에서 15% 정도 신전력과 굴곡력의 감소가 발생하여 슬관절의 고유수용성 감각이 감소하였다고 보고하였고, 그 원인으로 근육에 존재하는 고유수용성 감각 수용기가 관절의 위치 감각에 결정적인 역할을 한다고 하였다. 그러나 본 연구에서는 전신적 부하 후 신전과 굴곡의 최대 토크 값을 측정해 본 결과 슬관절의 근력 약화는 관찰되지 않았다. 본 연구를 포함하여 Miura 등(2004)은 트레이드밀에서 달리기를 수행한 후 전신적인 부하는 근력의 약화를 동반하지 않았으며 이러한 근력의 약화 없이 고유수용성 감각의 감소는 근육 내에 존재하는 기계적 수용기(mechanoreceptor)에서 감지되는 감각 정보의 소실이 아니라 고유수용성 감각 경로(proprioceptonal pathway)에서의 변화로 발생한다고 하였다. 최근 고유수용성 연구들에 따르면 전신적 피로로 인한 고유수용성 감각 감소는 고유수용성 신호의 중추성 감각 경로에 문제가 된 것이라고 주장한다. 즉, 전신적 부하의 적용 후 관절 위치 감각의 감소는 중추성 피로

(central fatigue)로 인해 말초 감각 기관에서부터 중추 신경계로 이어지는 고유수용성 감각의 중앙 처리 과정(central processing)에서 문제점이 발생된다고 추정하고 있다. 또한 이러한 중추성 피로는 운동 제어(motor control)의 정확성을 감소시키고, 관절에 부하되는 힘을 조절하기 위한 안정화에 기여하는 근육의 활동을 방해하며 슬관절에 부착된 인대들을 쉽게 손상시킬 수 있다고 하였다(Miura 등, 2004). 과도한 운동과 인지 기능 사이의 반비례 관계가 있으며, 중증도의 운동은 정신적인 수행 능력(mental performance)을 증가시키더라도 과도한 육체적 활동은 이러한 능력을 감소시킨다고 하였다(Davey, 1973; Isaacs와 Pohlman, 1991; McMorris와 Keen, 1994; Tomporowski와 Ellis, 1986). 이러한 해석과 본 실험의 결과들을 토대로 전신적 부하에 따른 중추성 피로로 인하여 고유수용성 감각 경로에서의 변화로 관절의 위치 감각이 감소된다고 판단된다.

전신적 부하는 이러한 고유수용성 감각의 민감성을 감소시켜 중추신경계에 의해 통제되는 운동 조절 능력을 감소시킬 수 있다. 근력의 약화를 동반하는 국소적 운동과 함께 슬관절의 고유수용성 감각에 더 크게 영향을 미칠 수 있는 운동이 전신적 운동이라는 사실은 지구력 증진을 위한 운동만이 최선의 방법이 아니라 중증도의 가벼운 전신적 운동 치방이 필요하다고 생각한다. 중증도의 운동 적용 후 고유수용성 감각이 향상되는 요인으로 근육 조직에서 점탄성(visco-elastic property)의 향상, 증가된 산소화 작용(oxygenation)과 근육 내 혈관 확장으로 인한 체온의 상승 때문이라고 하였다(Bouet와 Gahery, 2000). 이와 같은 효과는 슬관절의 고유수용성 감각과 관련된 수용기의 기능이 증가하여 관절 위치 감각과 운동 감각(kinesthetic sense)이 향상되며, 증가된 체내 온도는 감각의 역치를 낮게 하여 표재성 감각(cutaneous sense)을 향상시킨다고 하였다(Gescheider 등, 1997). 또한, 운동 명령(motor command)에 반응하는 근육의 반응이 운동의 적용 후 달라지며, 이것은 관절의 위치 감각, 근육 방추성 명령(fusiomotor command)과 척수의 민감도(sensitivity)가 관련된 중추신경계의 처리 과정의 변화 때문이라고 하였다(McCloskey 등, 1975). 관절, 관절낭, 인대, 근육과 건에 존재하는 고유수용기의 역할은 율동적인 운동의 성공적인 조절과 자세 조절의 기전에 중요한 역할을 하고 정확한 감각 되먹임(sensory feedback)은 운동 학습에 필수적인 요소이다(Allum 등, 1998). 또한, 골관절염이나 외상에 의한 근골격계의 손

상이나 뇌졸중, 외상성 뇌손상 환자 및 낙상 방지를 위한 노인의 균형 증진의 운동 치료에서 고유수용성 감각에 영향을 미칠 수 있는 요소를 파악함으로써 저항을 제공하는 방법과 국소적 피로 또는 전신적인 피로를 피할 수 있는 적절한 휴식기를 제공하는 것이 필수적이라고 판단된다. 피로에 의해 야기될 수 있는 손상을 예방하기 위해 신경근 훈련(neuro-muscular training)에 의한 학습 효과도 필요하다고 생각한다. 이러한 고유수용성 감각에 영향을 주는 부하 형태에 관한 연구는 고유한 인간의 움직임에 대한 이해를 제공하고 운동 치료를 적용하는 물리 치료 분야에 중요한 정보를 제공할 수 있을 것이라 생각된다.

V. 결 론

정상인 25명을 대상으로 슬관절에 국소 부하와 전신적 부하를 적용하여 수동 설정-수동 재현 검사(passive-passive reproduced test)와 능동 설정-능동 재현 검사(active-active reproduced test)를 실시하였고 부하를 적용하기 전과 후에 관절 각도 재현성의 오류 값을 측정하였다.

1. 수동 설정-수동 재현에서 국소적 부하 후 평균에 변화가 있어 오류가 많아졌고 전신적 부하에서 오류가 증가하였다. 그러나 국소적 부하에 따른 오류 값보다 전신적 부하로 인한 오류가 더 크다.

2. 능동 설정-능동 재현에서 국소적 부하 후 평균에 소폭의 변화만 있었으나 전신적 부하 후에는 오류가 증가하였다. 그러나 국소적 부하에 따른 오류 값보다 전신적 부하로 인한 오류가 더 크다.

3. 수동 설정-수동 재현은 국소와 전신 모두에 영향을 미치고 전신에서 더 큰 오류를 보였다. 능동 설정-능동 재현은 국소에서는 영향을 미치지 않고 전신적 부하에 더 큰 오류 값을 나타내었다.

< 참고 문헌 >

new concepts, Gait and Posture, 8, 24-242, 1998.
Barrack RL, Skinner HB, Brunet ME et al : Joint

- kinesthesia in the highly trained knee, *J Sports Med Phys*, 24, 18-20, 1984.
- Birmingham TB, Kramer JF, Inglis JT et al : Effect of a neoprene sleeve on knee joint position sense during sitting open kinetic chain and supine closed kinetic chain tests, *Am J Sports Med*, 26(4), 562-566, 1998.
- Bouet V, Gahery Y : Muscular exercise improves knee position sense in humans. *Neuroscience Letters*, 289, 143-146, 2000.
- Davey CP : Physical exertion and mental performance, *Ergonomics*, 16, 595-599, 1973.
- Docherty CL, Arnold BL, Zinder SM et al : Relationship between two proprioceptive measures and stiffness at the ankle, *J Electromyogr Kinesiol*, 14(3), 317-324, 2004.
- Euzet JP, Gahery Y : Position sense in adolescents. Comparison with adults and sports-trained subjects, *J Hum Mov Stud*, 35, 51-71, 1998.
- Euzet JP, Gahery Y : Relationships between position sense and physical practice, *J Hum Mov Stud*, 28, 149-173, 1995.
- Friden T, Roberts D, Ageberg E et al : Review of knee proprioception and the relation to extremity function after an anterior cruciate ligament rupture, *J Orthop Sports Phys Ther*, 31(10), 567-576, 2001.
- Gescheider GA, Thorpe JM, Goodarz J et al : The effects of skin temperature on the detection and discrimination of tactile stimulation, *Somatosens. Mot Res*, 14, 181-188, 1997.
- Grigg P : Peripheral neural mechanism in proprioception, *J Sports Rehab*, 3, 2-17, 1994.
- Hewitt BA, Refshauge KM, Kilbreath SL : Kinesthesia at the knee: The effect of osteoarthritis and bandage application, *Arthritis Rheum*, 47(5), 479-483, 2002.
- Hopper DM, Creagh MJ, Formby PA et al : Functional measurement of knee joint position sense after anterior cruciate ligament reconstruction, *Arch Phys Med Rehabil*, 84(6), 868-872, 2003.
- Isaacs LD, Pohlman RL : Effects of exercise intensity on an accompanying timing task, *J Hum Mov Stud*, 20, 123-131, 1991.
- Katayama M, Higuchi H, Kimura M et al : Proprioception and performance after anterior cruciate ligament rupture, *Int Orthop*, 28(5), 278-281, 2004.
- Kennedy JC, Alexander IJ : Nerve supply of the human knee and its functional importance, *Am J Sports Med*, 10, 329-335, 1982.
- Lattanzio PJ, Petrella RJ : A review of mechanism, measurement, and implications of muscular fatigue, *Orthopedics*, 21, 463-470, 1998.
- Lattanzio PJ, Petrella RJ, Sproule JR et al : Effects of fatigue on knee proprioception, *Clin J Sports Med*, 7, 22-27, 1997.
- Lee HM, Liao JJ, Cheng CK et al : Evaluation of shoulder proprioception following muscle fatigue, *Clinical Biomechanics*, 18, 843-847, 2003.
- Lephart SM, Pincivero DM, Giraldo JL et al : The role of proprioception in the management and rehabilitation of athletic injuries, *Am J Sports Med*, 25, 130-137, 1997.
- Lin SI : Motor function and joint position sense in relation to gait performance in chronic stroke patients, *Arch Phys Med Rehabil*, 86(2), 197-203, 2005.
- Marks R, Quinney HA : Effects of fatiguing maximal isokinetic quadriceps contractions on ability to estimate knee-position, *Percept Mot Skills*, 77, 1195-1202, 1993.
- McCloskey DJ, Torda TAG : Corollary motor discharges and kinaesthesia, *Brain Res*, 100, 467-470, 1975.
- McMorris T, Keen P : Effects of exercise on simple reaction times of recreational athletes. *Percept Mot Skills*, 78, 123-130, 1994.
- Miura K, Ishibashi Y, Tsuda E et al : The effect of local and general fatigue on knee proprioception, *J of Arthroscopic and Related Surgery*, 20(4),

- 414-418, 2004.
- Paillard J, Bouchon M : A proprioceptive contribution to the spatial encoding of position cued for ballistic movements, *Brain Res*, 71, 273-284, 1974.
- Pedersen J, Lonn J, Hellstrom F et al : Localized muscle fatigue decrease the acuity of the movement sense in the human shoulder, *Med Sci Sports Exerc*, 31, 1047-1052, 1999.
- Sharma L, Pai YC, Holtkamp K et al : Is knee joint proprioception worse in the arthritic knee versus the unaffected knee in unilateral knee osteoarthritis?. *Arthrit Rheum*, 40, 1518-1525, 1997.
- Sharpe MH, Miles TS : position sense at the elbow after fatiguing contractions, *Exp Brain Res*, 94, 179-182, 1993.
- Sinacore DR, Bander BL, Delitto A : Recovery from a 1-min bout of fatiguing exercise: Characteristics, reliability, and responsiveness, *Phys Ther*, 74, 234-244, 1994.
- Skinner HB, Wyatt MP, Hodgdon JA et al : Effects of fatigue on joint position sense of the knee, *J Orthop Res*, 4:112-118, 1986.
- Sternier RL, Pincivero DM, Lephart SM : The effects of muscle fatigue on shoulder proprioception, *Clin J Sport Med*, 8, 96-101, 1998.
- Swanik CB, Lephart SM, Rubash HE : Proprioception, kinesthesia, and balance after total knee arthroplasty with cruciate-retaining and posterior stabilized prostheses, *J Bone Joint Surg Am*, 86-A(2), 328-334, 2004.
- Tomporowski PD, Ellis NR : Effects of exercise on cognitive processes: A review. *Psychol Bull*, 99, 338-346, 1986.
- Tsuda E, Okamura Y, Otsuka H et al : Direct evidence of the anterior cruciate ligament-hanstring reflex arc in humans, *Am J Sports Med*, 29, 83-87, 2001.
- Tuggy ML, Ong R : Injury risk factors among telemark skiers, *Am J Sports Med*, 28, 83-89, 2000.
- Uchio Y, Ochi M, Fujihara A et al : Cryotherapy influences joint laxity and position sense of the healthy knee joint, *Arch Phys Med Rehabil*, 84(1), 131-135, 2003.
- 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*, 23, 348-352, 1996.
- Willems T, Witvrouw E, Verstuyft J : Proprioception and muscle strength in subjects with a history of ankle sprains and chronic instability, *J Athl Train*, 37(4), 487-493, 2002.
- Zemphler ED : Injury rates in a national sample of college football teams: A 2 year retrospective study. *Physician Sports Med*, 11, 104-113, 1989.