만성 뇌졸중 환자의 무릎 신근 피로가 균형에 미치는 영향

양병일[1], 황병용[2]
[1]보바스기념병원, [2]용인대학교 물리치료학과

Effects of Knee Extensor Muscle Fatigue of Chronic Patients in the Balance

Byung-Il, Yang[1], Byong-Yong, Hwang[2]
[1]Department of Physical Therapy, Bobath Memorial Hospital, [2]Department of Physical Therapy, Yong-In University

Purpose The purpose of this study were how to effect balance capacity to stroke patients who were taken knee extensor fatigue and were understood. Therapists offered the way of effective therapy to stroke patients in clinical trials. ***Methods*** The subject of this study were 16 chronic stroke patients (9 males, 8 females), 16 able-bodied control normal people(5 males, 11 females) and their average duration of symptoms were 4.9 years at S hospital in Sungnam city. Patients average age were 55.67, health control age were 59.13. Both stroke patient control group and able-bodied age-matched control group were measured using maximal voluntary isometric contraction(MVIC) for leading knee extensor fatigue. Isometric contraction was run 10seconds continuously and each control was taken rest 5 seconds one time for inducing muscle fatigue. The end point was measured decreasing 3 times continuously which the value of MVIC was less 50%, and then the number of knee extensor to induce muscle fatigue, position sense, and balance and gait capability were measured after taking knee extensor fatigue. ***Results*** There was a significantly differences that Stroke patients group was shown that the paretic side knee extensor fatigue was represented faster than health control group ($p<0.05$). The balance capability were represented drastically decreased knee extensor fatigue in Stroke patients group's non paretic side. ***Conclusion*** Therefore, localized muscle fatigue by gaiting abnormal gait pattern to chronic stroke patient was affected the disability of balance capacity. And abnormal gait pattern was brought secondly increasing number of falling down. These factors were considered to stroke rehabilitation.

Key words Balance, Knee Extensor Muscle, Muscle Fatigue, Stroke.

교신 저자 양병일(E-mail : bobathyang@naver.com)

논문 접수일 2014년 9월 10일
수정 접수일 2014년 9월 30일
게재 승인일 2014년 10월 15일

I. 서론

뇌졸중은 뇌혈관의 이상으로 혈류를 통한 뇌조직에 지속적으로 산소와 포도당의 공급이 부족하게 되어, 국소 뇌조직의 이상을 초래함으로 신경학적 기능장애를 유발하는 것을 말하며, 환자의 가장 흔한 장애 증상은 반마비이다(김종만 2003). 뇌졸중으로 인한 반마비 환자들은 마비측이 비마비측에 비해 절반 이하의 안정성 한계(limit of stability)가 나타나며 마비측으로 무게중심 이동능력이 어려워 균형과 보행능력의 저하를 초래한다고 보고하였다(황병용 2002). 또한 뇌졸중 발병 후 반마비 환자에서는 자세조절의 손상을 가져오며 운동, 감각 그리고 고위중추 인지결함 등 복합적인 상호작용으로 기능손실을 초래하여 균형의 감소를 야기시킨다(황병용 2002; Gjelsvik 2008).

Taub(2002) 등에 의하면 뇌졸중으로 인한 국소적 뇌 손상이 나타난 후 운동, 감각 기능 손상 및 마비측 운동 수행 능력의 상실이 나타나며, 그로 인한 마비측 기능의 상실을 보상하기 위해 비마비측을 과사용(overuse)시키는 경향이 나타난다. 비마비측의 과사용은 결과적으로 마비측의 움직임을 지속적으로 억압(suppression)시키며 '학습화된 비사용 증후군(learned nonuse syndrome)'이라는 새로운 양상을 일으킨다고 보고하였다. 비대칭적인 새로운 양상으로 인해 반마비 환자들은 자세동요가 증가된다. 따라서 대부분의 반마비 환자들은 불안정한 기립 자세를 보이며, 체중의 많은 부분을 손상받지 않은 하지 쪽으로 지지하는 특성을 가지고 있다(권혁철과 정동훈, 2000; 황병용, 2002; De Quervain 등, 1996, Den Otter 등, 2007). 이러한 잘못된 학습패턴으로 인해 시간이 경과함에 따라 마비측 다리의 체중지지가 줄어들고 균형반응의 방해와 지연뿐만 아니라 정적인 서기 자세 동안 자세동요가 증가하며 안정화 능력의 감소와 같은 특징을 일으킨다(Nashner, 1977; Cohen 등, 1993). 따라서 뇌졸중 환자들은 보행 시 잘못된 비대칭적

인 보행패턴으로 보폭, 보폭 수, 보행속도 등이 감소하는 특징을 보인다. 결과적으로 뇌졸중 환자의 비정상적인 보행은 비마비측의 입각기 시 머무르는 시간이 길어져 비효율적인 에너지 소비와 느린 보행으로 인한 반복되는 하지 근육의 근피로를 유발시키며 장력 또는 힘이 감소된다고 보고하였다(김원호, 2006; De Quervain 등, 1996; Den Otter 등, 2007).

근피로란 운동으로 야기된 급성적으로 근육이 발휘할 수 있는 힘의 능력이 점진적으로 감소되는 현상을 말하며 정신적인 기능, 지각능력 감소 및 운동 결여와 관련이 있다(Enoka와 Duchateau, 2008). 골격근 섬유는 전기적 자극에 대한 수축반응 속도에 따라 지근 섬유(slow twitch oxidative fiber, Ⅰ형)와 속근 섬유(fast twich glycolytic fiber, Ⅱb형)로 구분하며, 속근 섬유는 근 수축 속도가 빠르고 지근 섬유에 비해 쉽게 피로해진다(Toffola 등, 2001; Gribble과 Hertel, 2004).

뇌졸중 후 피질 척수로의 장애 및 근 위축은 근력약화를 야기시키며 이는 정상인에 비해 아급성 시기에 마비측 28%, 비마비측 68%의 근력을 가지고 있다고 보고하였다(Horstman 등, 2009; Horstman 등, 2010). 근력약화는 뇌졸중 환자의 마비측 기능과 활동의 패턴을 변화시키며 Ⅱ형 근섬유의 선택적인 위축으로 인해 Ⅰ형 근섬유가 상대적으로 우세한 양상을 보인다(Toffola 등, 2001). Toffola(2001) 등은 비마비측보다 마비측에서 긴장성 요소(tonic component)들이 우세하게 나타나며 지근(slow muscle)의 특성에 따라 상대적으로 비마비측보다 마비측이 피로저항(fatigue resistance)이 높다고 보고하였다. 이러한 이유는 상위 운동 신경의 병변으로 인한 마비측의 Ⅱ형 근섬유 상실로 인한 큰 힘을 낼 수 없기 때문이라고 추정하였다. 하지만 Horstman(2010) 등은 뇌졸중 후 마비측 근육의 Ⅱ형 근섬유 위축으로 인해 Ⅰ형 근섬유가 상대적으로 우세한 양상을 보임에도 불구하고 비활동성의 증가로 인해 더 낮은 산소대사(oxidative metabolism) 능력과 모세혈관 및 혈류(blood flow)의 손상으로 인해 뇌졸중 환자는 정상인보다 더 쉽게 근피로를 초래한다고 보고하였다. 결과적으로 비마비측보다는 마비측이 더 쉽게 근피로가 야기되며 회복 속도 또한 비마비측에 비해 더 지연된다고 보고하였다(Horstman 등, 2009; Horstman 등, 2010). 근피로는 운동조절 능력을 감소시키는 것으로 알려져 있으며(Bellew와 Fenter, 2006), 운동조절 능력 감소는 피로로 인한 근력유지 능력이 감소되어 발생할 수도 있지만 근피로가 고유수용성 감각을 감소시켜 발생할 수도 있다(Sharpe과 Miles, 1993; Miura 등, 2004; Salavati 등, 2007). 최근 연구에서는 전정계와 목 주위 체성감각, 시각 정보 또한 근피로 시 자세조절에 밀접한 연관성이 있다고 보고되고 있다(Vuillerme과 Pinsault, 2008; Vuillerme과 Pinsault, 2010). 결과적으로 근피로에 의한 잘못된 체감각 정보는 신경근 조절의 결여로 인해 자세조절에 동요를 일으킨다(Gribble과 Hertel, 2004; Bellew와 Fenter, 2006). 근피로로 인한 잘못된 체감각 정보 중 위치감각의 결여는 근육의 반응시간 증가 및 부적절한 원심성 근육의 반응을 초래한다(Wojtys 등, 1996; Hiemstra 등, 2001; Taylor 등, 2001). 현재 많은 연구들에서 정상인을 대상으로 근피로와 위치감각에 대한 연구들이 진행되었으며(최종덕과 이충휘, 2003; Barrett, 1991; Sharpe과 Miles, 1993), 최근 Parijat과 Lockhart(2008)의 연구에서는 젊은 정상인을 대상자로 한 연구에서 하지 근위부 무릎 신근의 국소적 근피로(localized muscle fatigue)가 무릎 관절의 위치감각에 부정적인 영향을 미치며, 보행하는 동안 무릎 관절의 움직임에 장애를 미쳐 보행 패턴에 변화를 야기시킨다고 보고하였다. 즉 대다수의 연구가 정상인을 대상으로 성별, 나이에 따른 국소적 부위 근피로에 대한 연구였으며 비대칭적 운동 패턴을 가진 뇌졸중 환자의 특성을 고려한 연구는 매우 미흡한 상태이다. 따라서 본 연구는 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 Toffola(2001) 등의 연구에서 보고한 뇌졸중 환자는 특징적으로 마비측보다 비마비측에서 근피로가 쉽게 유발되는지 아니면 Horstman(2010) 등의 연구에서 보고한 비마비측보다 마비측에서 근피로가 더 쉽게 유발되는지 검증하고자 한다. 또한 만성 뇌졸중 환자의 마비측, 비마비측 무릎 신근피로가 정상인의 우세측, 비우세측의 무릎 신근피로 유발 시와 비교하여 균형조절 능력에 어떠한 영향을 미치는지 확인하여 임상에서 뇌졸중 환자의 특성을 이해하고 치료적 효율성을 제공하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구는 성남시에 소재한 S병원에 내원하는 뇌졸중으로 인한 반마비 진단을 받은 환자 16명 및 정상 대조군 16명으로 본 연구의 참가에 동의한 32명을 연구 대상으로 하였다.

본 연구의 뇌졸중 집단 대상자 선정은 다음과 같다

1) 발병 후 1년이 경과한 자.
2) Functional ambulation categories score 3점 이상인 자.
3) 인지적 결함이 없는 자(MMSE-K 24점 이상).
4) 위치감각 이상이 없는 자.
5) 본 연구에 이해하고 동의한 자.

본 연구는 뇌졸중 환자 마비측, 비마비측, 정상 대조군 비우세측, 우세측을 실시하였고 순서는 무작위로 설정하였다.

2. 실험절차

1) 최대 수의적 등척성 수축력(maximum voluntary isometric contraction; MVIC)

본 연구는 Primus dynamometer (Baltimore Therapeutic Equipment, USA, 2006)를 사용하여 무릎 신근의 최대 수의적 등척성 수축력(maximum voluntary isometric contraction)을 뇌졸중 환자의 마비측, 비마비측, 정상 대조군 비우세측, 우세측에 각각 측정하였다(Jacobs 등, 2005).

대상자는 Primus dynamometer 의자에 앉은 상태에서 뒤쪽 방향으로 10° 기대어 앉게 한 후 엉덩이 관절 각 80°, 무릎 관절 각 60° (0°= full extension)로 바른 자세(upright)로 앉게 하였다. 최대 수의적 등척성 수축을 하는 동안 상체와 대퇴부가 움직이지 않게 밸크로로 고정시키고 무릎 관절을 축과 일치시켜 무릎 관절 굴곡 60°에서 실시하였다(Horstman 등, 2010). 최대 수의적 등척성 수축력 측정은 무릎 신근의 등척성 수축을 5초간 4회 실시하여 최대 수의적 수축력을 정하였고, 측정 시 대상자의 지속적인 노력을 위해 청각 및 시각적 되먹임(feedback)을 제공하였다. 측정 시 근피로의 영향을 없애기 위해 수축마다 2분간의 휴식을 주었다(Jacobs 등, 2005). 측정값은 Newton-meters로 기록하였으며, 4번의 측정 시 최댓값이 10% 이상 초과 시 그 값은 제외하고 나머지 세 개의 값을 취하여 평균치를 최대 수의적 등척성 수축 값으로 선택하였다(Jacobs 등, 2005; Horstman 등, 2010).

2) 근피로(muscle fatigue)

대상자는 최대 수의적 등척성 수축력 측정과 동일한 자세에서 실시하였다. 무릎 신근의 등척성 수축을 10초간 지속적으로 최대 수의적 등척성 수축 후 5초 휴식을 1회로 하여 근피로를 유발하였으며, 등척성 수축의 종료시점은 최대 수의적 등척성 수축력 값이 50% 이하로 연속적으로 3회 감소될 때까지로 하였다. 근피로가 유발된 직후 균형 검사를 실시하였다(Gribble과 Hertal, 2004; Jacobs 등, 2005; Bellew와 Fenter, 2006; Horstman 등, 2010). 대상자들은 피로 유발 운동 후 무릎 신근의 회복을 최소화하고 대상자의 안전을 위하여 휠체어를 사용하여 이동하였다(Wojtys 등, 1996).

3. 측정 방법 및 측정 도구

1) 균형능력 측정

본 연구에서는 균형능력 측정 장비인 Good Balance System (Metitur Ltd, Finland, 2008)을 이용하여 측정하였다. 이 장비는 좌우 균형정도를 실시간 표시할 수 있으며, 12개의 파라미터를 동시에 비교 가능하고, 정적 균형 및 동적 균형을 측정 및 평가할 수 있다. 발판 위에는 적절한 발의 위치를 위해서 눈금자가 표시되어 있어 발의 위치를 정확하게 둘 수 있다. 대상자는 삼각형의 두 발 기립용 발판 위에서 두 발로 지지하면서 편안히 서 있는 상태로 눈을 감고 30초간 근피로 유발 전후 2회 측정하였다. 측정은 전·후(A-P)측과 좌·우(M-L)측의 동요거리를 X, Y축으로 하여 X값과 Y값의 자세 동요면적과 거리를 측정하였다. 발판에서 측정되는 전·후, 좌·우의 신체 중심점에서의 이동 속도와 균형에 대한 측정값의 정보는 컴퓨터를 통해 수치화되어 제공되었다.

4. 분석방법

본 연구에서는 윈도우즈용 SPSS 12.0 프로그램을 사용하였다. 검사 전·후의 차이는 대응표본 t 검정(paired t-test)으로 분석하였으며, 그룹 간 차이를 비교하기 위해 일요인 분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였다. 유의한 차이가 있을 경우에는 Tukey's Honestly Significant Difference 검정을 실시하였다. 자료의 모든 통계적 유의수준은 α=0.05로 하였다.

III. 연구결과

1. 연구대상자의 일반적 특성

연구대상자는 만성 뇌졸중 환자 16명(남자 9명, 여자 8명), 정상인 16명(남자 5명, 여자 11명)이었다. 뇌졸중 환자군에서 마비측은 우측이 4명, 좌측이 12명이었다. 평균 유병기간은 4.9년이었다. 평균나이는 환자군 55.67세였으며 대조군은 59.13세였다. 각 대상자의 일반적 특성은 <표 1>과 같다.

표 1. 대상자의 일반적 특성

(N=32)

Characteristics		Patients (n=16)	Control (n=16)
Age (years)		55.67±10.07	59.13±9.76
	30-39 Y	1	0
	40-49 Y	2	4
	50-59 Y	7	4
	60-69 Y	5	5
	70-79 Y	1	3
Time since onset(years)		4.9 years	
Gender	Male	9	5
	Female	8	11
Paretic side	Left	4	
	Right	12	

M: Mean
M±SD
SD: Standard Deviation

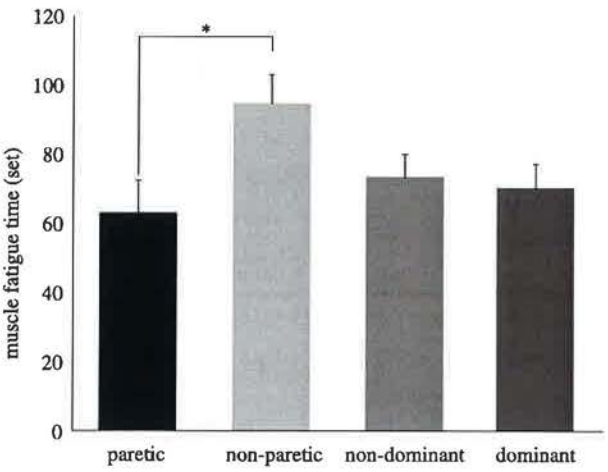

그림 1. 마비측과 비마비측의 피로 유발 근 수축 횟수 비교
(*p<.05)

2. 피로 유발 근 수축 횟수

무릎 신근 피로 유발을 위해 실시한 최대 수의적 등척성 수축 횟수(set)는 뇌졸중 환자군 마비측 63.31회, 비마비측 94.69회, 정상 대조군은 비우세측 73.86회, 우세측 70.63회로 뇌졸중 환자군의 마비측과 비마비측 사이에서 유의한 차이를 보였다(p<.05)<표 2><그림 1>.

3. 근피로 전·후 균형능력 차이 비교

무릎 신근 피로 전·후 뇌졸중 환자군과 정상 대조군의 균형능력 차이를 비교한 결과 환자군에서 비마비측 피로 후 전·후 자세 동요속도(A-P speed)가 11.04 mm/s에서 13.73 mm/s로 2.69 mm/s 증가되어 유의한 차이를 보였다(p<.05). 또한 환자군에서 비마비측 피로 후 전·후 자세 동요거리(A-P direction)가 341.64 mm에서 411.58 mm로 69.94 mm 증가되어 유의한 차이를 보였으며, 수평 자세 동요거리(horizontal distance)가 8.72 mm에서 14.65 mm로 5.93 mm 증가하여 유의한 차이를 보였다(p<.05)<표 3><그림 2>. 그러나 환자군에서 마비측 피로 후, 정상 대조군 비우세·우세 피로 후에서는 통계학적으로 유의한 차이를 보이지 않았다(p>.05)<표 3, 4><그림 2>. 자세 동요거리 그룹 간 비교에서는 환자군의 마비측·비마비측

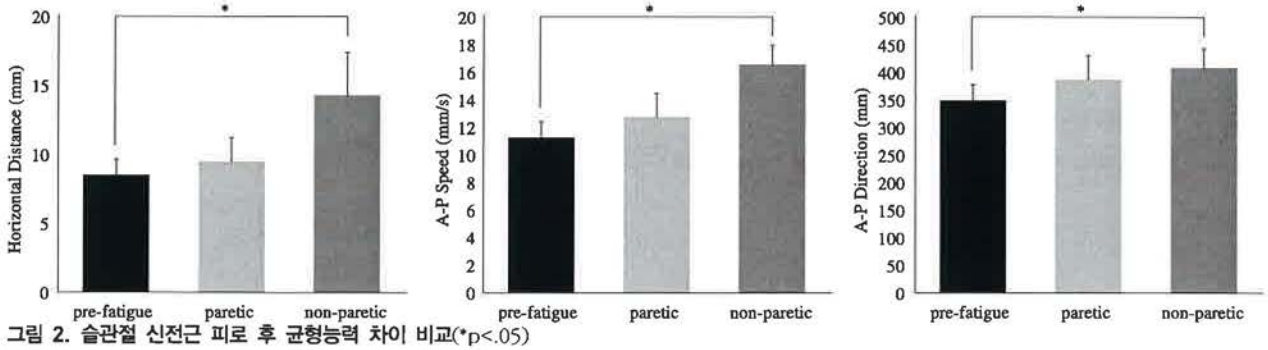

그림 2. 슬관절 신전근 피로 후 균형능력 차이 비교(*p<.05)

표 2. 마비측과 비마비측의 피로 유발 근 수축 횟수 비교

(unit: set)

		M±SE	Sig	Post hoc
Patients	Paretic	63.31 ± 8.11	0.048*	Paretic-Non paretic*
	Non paretic	94.69 ± 10.44		
Control	Non dominant	73.86 ± 5.89		
	Dominant	70.63 ± 7.02		

*p<.05
M±SE; SE: Standard Error

표 3. 슬관절 신전근 피로 후 균형능력 차이 비교

	Paretic Pre-fatigue	Paretic Post-fatigue			Non paretic Pre-fatigue	Non paretic Post-fatigue		
	M±SE	M±SE	t	p	M±SE	M±SE	t	p
M-L Speed(mm/s)	6.07±0.59	6.7±3.05	-1.179	0.257	6.07±0.59	7.71±1.23	-1.882	0.079
A-P Speed(mm/s)	11.04±1.22	12.84±1.61	-2.072	0.056	11.04±1.22	13.73±1.26	-2.647	0.018*
M-L Direction(mm)	181.78±17.63	200.96±22.83	-1.202	0.248	181.78±17.63	231.27±36.71	-1.893	0.078
A-P Direction(mm)	341.64±31.62	385.01±48.12	-1.760	0.099	341.64±31.62	411.58±37.89	-2.437	0.028*
Horizontal Distance(mm)	8.72±1.29	9.83±1.06	-.949	0.358	8.72±1.29	14.65±3.2	-2.661	0.018*

*p<.05

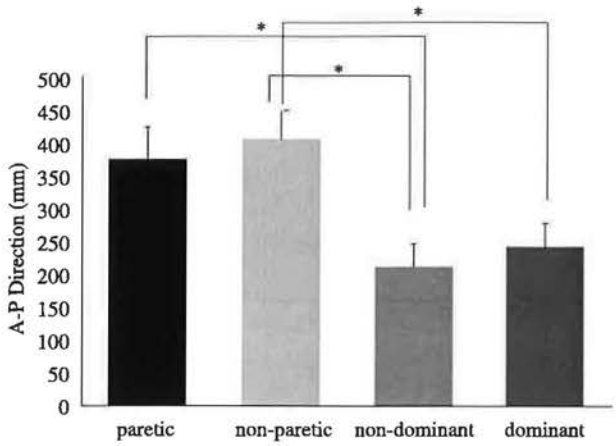

그림 3. 그룹 간 전후 균형능력 비교(*p<.05)

과 정상인군 비우세측 간에 유의한 차이를 보였으며(p**<.01), 환자군의 비마비측과 정상인군 우세측 간에 유의한 차이를 보였다(p**<.01)<표 5><그림 3>.

IV. 고찰

본 연구는 만성 뇌졸중 환자의 무릎 신근 피로가 균형능력에 어떠한 영향을 보이는지를 알아보기 위해 실시하였다. 무릎 신근의 피로 유발은 Primus dynamometer (Baltimore Therapeutic Equipment, USA, 2006)를 이용하였으며 이는 수의적 피로 유발 검사에 자주 사용되는 유발 방법이다 (Vollestad, 1997).

Newham과 Hsiao(2001)은 뇌졸중 발생 후 장기간 지속되는 뇌 병변 결과로 인해 근육 약화가 발생한다고 보고하였으며 무릎 신근의 최대 자발적 등척성 수축 시 수의적 활동 정도는 정상인에 비해 마비측, 비마측 모두 현저히 토크 값이 떨어졌다고 보고하였다(Newham과 Hsiao, 2001; Refshauge 등, 2005; Horstman 등, 2010). 이는 분명 무릎 신근의 수의적 활동 부전(voluntary activation failure), 양측 모두에서 발생하는 것을 시사하며 신경학적 손상이 골격근에 직접적 영향을 준다는 이론을 입증한다(Refshauge 등, 2005; Horstman 등, 2010). 수의적 활동 부전의 존재는 운동단위 동원 실패로 인한 것일 수도 있으며, 활동하는 운동 단위들의 발화율이 감소하여 발생한 것일 수도 있다(Wojtys 등, 1996; Refshauge 등, 2005).

본 연구는 지속적인 수의적 등척성 수축 후 뇌졸중 환자군의 마비측, 비마비측, 정상 대조군의 비우세측, 우세측 각각의 집단 모두 무릎 신근 피로에 대한 피로 유발 시간을 측정하였다. 연구 결과 무릎 신근 피로 후 수의적 등척성 수축력의 최대 토크값이 4집단 모두 감소를 보였는데, 무릎신근 피로 유발 시간은 특히 만성 뇌졸중 환자군의 마비측에서 비마비측과 비교하여 무릎 신근 피로가 빨리 나타났다<그림 1>. 이는 뇌졸중 후 마비측 하지의 모세혈관 및 혈류(blood flow)장애와 비활동성 증가가 낮은 산소 대사(oxidative metabolism) 능력을 초래하며 결과적으로 뇌졸중 환자는 정상인보다 더 빠르고 쉽게 마비측에서 무릎 신근 피로가 유발된다는 Horstman 등(2010)의 연구 결과와 일치하는 것을 보여준다.

Toffola 등(2001)은 이전 연구에서 뇌졸중 환자에게 전경

표 4. 건강인의 슬관절 신전근 피로 후 균형능력 비교

	Non dominant Pre-fatigue	Non dominant Post-fatigue			Dominant Pre-fatigue	Dominant Pre-fatigue		
	M±SE	M±SE	t	p	M±SE	M±SE	t	p
M-L Speed(mm/s)	3.51±0.26	3.78±0.29	-2.023	0.061	3.51±0.26	3.82±0.31	-1.952	0.070
A-P Speed(mm/s)	8.77+0.74	9.04±0.84	-.732	0.476	8.77±0.74	9.35±0.66	-1.453	0.167
M-L Direction(mm)	91.47±9.91	108.84±10.96	-1.412	0.178	91.47±9.91	109.99±11.23	-1.523	0.149
A-P Direction(mm)	176.67±50.35	218.33±47.67	-.760	0.459	176.67±50.35	247.28±36.22	-1.041	0.315
Horizontal Distance(mm)	4.34±0.29	4.90±0.42	-1.531	0.147	4.34±0.29	5.13±0.41	-2.031	0.060

표 5. 그룹 간 전후 균형능력 비교

(unit: mm)

N			M±SE	Sig.	Post hoc
Patients	16	Non Dominant	218.33±47.67	0.003**	
		Dominant	247.28±36.22		non paretic, paretic - non dominant*
Control	16	Paretic	385.03±48.12		Non paretic - dominant*
		Non Paretic	411.58±37.89		

*p<.05,**<.01

골근(tibialis anterior)의 전기적 근피로 유발 시 마비측이 비마비측에 비해 상대적으로 국소적 근피로에 대한 저항이 강하다고 보고하였다. 이는 뇌졸중 환자들의 근 수축 특성 변화에 따른 Ⅱ형 섬유의 위축으로 인한 Ⅰ형 섬유의 비율이 상대적으로 높기 때문이라고 주장하였다. 이는 결국 마비측은 큰 힘을 낼 수 없기 때문에 피로에 대한 저항이 높다고 추정하였다. 하지만 Horstman 등 (2010)은 마비측 Ⅱ형 섬유의 위축으로 인해 Ⅰ형 섬유 비율이 높지만 모세혈관 및 혈류장애와 낮은 산소 대사 능력 저하로 인하여 마비측 무릎 신근이 쉽게 피로를 야기시킨다고 보고하였다. 이러한 이유는 뇌졸중 환자들의 근피로는 신경학적으로 이상이 없는 정상인들에게 일반적으로 발견되지 않는 지근피로운동단위(slow twitch fatigable motor units)들 때문에 Ⅰ형 섬유 비율이 우세함에도 불구하고 급성 및 아급성 환자들이 더 쉽고 빠르게 근피로를 유발하게 된다고 보고하였다(Horstman, 2010). 본 연구 결과 만성 뇌졸중 환자들의 무릎 신근 피로는 마비측에서 더 빨리 근피로가 유발되어 Horstman 등 (2010)의 연구 결과를 지지한다. 하지만 본 연구에서 만성 뇌졸중 환자의 비마비측의 피로 유발 시간은 정상인과 비교하여 더 오래 걸렸는데 그 이유는 만성 뇌졸중 환자들은 비마비측 무릎신근을 오랜 시간동안 비대칭적 보행 학습 및 훈련한 결과 비마비측의 과사용으로 인한 근력이 강화된 것으로 추측된다<그림 1>.

무릎신근의 국소적 근피로는 많은 연구에 의해 위치감각과 상호 연관성에 대해 진행되었다. 이러한 국소적 근피로는 근방추의 Ⅰa 구심성 섬유에 민감성을 감소시키며, 구심성 되먹임의 시스템에 교란을 주어 중추 신경계의 정보전달 능력을 저하시킨다(Gribble과 Hertel, 2004; Bellew와 Fenter, 2006). 최종덕과 이충휘(2003)의 연구에 따르면 정상인을 대상으로 무릎 신근의 피로가 운동 강도에 따라 무릎 관절 위치감각에 부정적인 영향을 미친다고 하였으며, Miura 등(2004)은 무릎 신근의 국소적 피로는 근육의 역학적 수용기(mechanoreceptor)의 기능 이상으로 인한 고유수용성 감각변화가 원인일 것이라고 추정하였다. 결국 국소적 근피로는 관절과 근육 수용기에 영향을 주며 이는 곧 고유수용성 감각의 변화 및 운동 조절에 장애를 야기시킨다(Himestra 등, 2001). 피로에 의한 고유수용성 감각이 영향을 받으면 결과적으로 근육의 반응이 감소하고 균형 유지 능력 또한 저하될 수 있다고 보고하였다(Hiemstra 등, 2001; Gribble과 Hertel, 2004). Bellwe와 Fenter(2006)은 노인 여성을 대상으로 무릎 신근의 근피로 시 하지 뻗기 검사(lower-extremity reach test) 결과 균형능력이 피로 전보다 무릎 신근의 피로 시 전방으로 체중이동 능력이 현저히 저하되었다고 보고하였다. 이는 무릎 신근 피로에 의한 운동 감각 및 고유수용성 위치감각의 구심성 정보 교란이 자발적 움직임에 협응 능력 및 신체 관절의 유지 능력을 저하시킬 수 있다.

본 연구 결과, 무릎 신근의 근력 상실은 전·후 방향으로 자세 동요가 더욱 크게 나타났으며 이는 하지 뻗기 검사 시 전방으로 신체 중심이동의 어려움을 뒷받침한다<그림 2>. Gribble과 Hertal(2004)은 젊은 정상인을 대상으로 한 연구에서 무릎 근육의 국소적 근피로 시 원위부 발목 근육 근피로 시보다 더 큰 정적 균형능력의 상실을 초래한다고 보고하였다. 본 연구는 더 나아가 정상 대조군 집단과 뇌졸중 환자 집단의 무릎 신근 피로 시 정상 대조군보다 뇌졸중 환자 집단에서 더 큰 자세 동요를 일으키는 것을 확인할 수 있었다. 이는 곧 균형능력의 저하를 의미하며 특히 마비측 피로보다 비마비측 근피로 시 뇌졸중 환자들은 더 많은 자세 동요를 일으킨다는 것을 입증하였다. 또한 본 연구에서는 뇌졸중 환자의 비마비측 무릎 신근 피로 시 전 후방 속도에서 더 큰 자세 동요를 일으키는 것을 확인하였다<그림 2, 그림 3>. 결과적으로 뇌졸중 편마비 환자들의 비대칭적 체중지지는 비마비측 하지의 체중 분배율이 58.7%였고, 이는 편마비 환자의 기립 시 전체 체중의 50% 미만을 마비측 하지에 부하하며 이러한 비대칭적인 체중지지는 무릎 신근의 피로 시 더 큰 균형 장애를 나타낸다(권혁철과 정동훈, 2000).

황병용(2002)은 뇌졸중 환자의 마비측이 비마비측에 비해 절반 이하의 안정성 한계와 마비측 방향으로 무게중심 이동 능력이 어려워 보행능력 저하의 원인이 된다고 보고하였다. 즉, 체중의 많은 부분을 손상받지 않은 하지쪽으로 지지하게 되면 잘못된 비대칭적 보행형태로 인해 무릎신근의 국소적 피로를 야기시키는 원인이 된다. Canning 등(1999)은 뇌졸중을 가진 환자들의 근육은 수축과 이완이 느리게 발생하는데, 특히 6개월이 지난 후에도 마비측 사지의 움직임은 정상보다 여전히 느리다고 보고하였다. 이는 뇌졸중 환자들이 보행 시 힘을 만들어 내기 위해서는 정상보다 2배에서 3배 정도 더 오래 걸리기 때문이라고 설명하였다. 또한 뇌졸중 환자들은 산소 대사(oxidative metabolism) 능력의 저하로 인한 운동 능력과 근지구력 그리고 피로에 대한 내성이 떨어져 기능적 이동 능력을 더 약화시킨다(Horstman, 2010). 이는 뇌졸중 환자들은 스스로 효율적인 보행 속도를 원활하게 유지할 수 없기 때문이다. 따라서 높은 에너지 소비와 근 지구력 상실이 기능적 수행능력을 더 악화시킨다는 것을 의미한다(Refshauge 등, 2005).

Dean 등(2001)은 14명의 만성 뇌졸중 환자 집단에서 지구력 부족을 설명하였는데, 이들은 같은 신체 특성을 가지고 있는 정상인이 걸을 수 있는 거리의 약 50%만을 뇌졸중 환자들이 걸을 수 있다고 하였다. 뇌졸중 환자들은 정상인에 비해 체중을 옮기는 데 80% 정도 비마비측 다리를 통해 지지했고, 서 있을 때 마비측 하지에 전체 체중의 50% 미만을 지지하는 것으로 나타났다(노미혜 등, 1998). 이러한 뇌졸중 환자들의

보행 특성은 두발 지지 단계(double support phase)에서 정상 대조군보다 2배의 시간이 소요되며, 이는 환자들이 균형을 유지하는 데 더 많은 시간이 소요된다. 따라서 보행 중 마비측 다리 지지 조건에서 입각기(stance phase) 시간이 가장 적게 소요되었다는 것은 균형과 관련된 동요가 더 많이 일어날 수 있음을 의미한다(Refshauge 등, 2005). 이와 유사한 연구로 Den Otter 등(2007)은 편마비 환자의 보행 시 대퇴이두근(biceps femoris) 및 대퇴직근(rectus femoris)의 하지 근 활성도를 연구한 결과, 한발 지지 단계(single support phase)에서 정상 대조군(대퇴이두근, 대퇴직근)에 비해서 뇌졸중 환자군의 마비측(대퇴이두근, 대퇴직근 $p<.05$) 및 비마비측(대퇴이두근, 대퇴직근 $p<.05$) 모두 보행 시간이 유의하게 감소하였다. 또한 한 발 지지 단계에서 뇌졸중 환자군의 대퇴이두근 및 대퇴직근의 동시수축 시간이 유의하게 증가하였다($p<.05$). 이는 뇌졸중 환자들의 보행 시 마비측 및 비마비측 하지에 체중 부하의 어려움을 나타낸다. 결과적으로 뇌졸중 환자들은 보행 시 한 발 지지 단계보다 두 발 지지 단계에 소요되는 시간이 증가하며 마비측 및 비마비측 하지의 추진력을 감소시켜 비정상적인 보행 패턴을 초래한다(Den Otter 등 2007).

본 연구 결과, 마비측 무릎 신근의 피로 시보다 비마비측 무릎 신근 피로 시 더 큰 균형 장애를 초래한 이유 또한 보행 시 뇌졸중 환자들이 정상인보다 두 발 지지 단계에 소요되는 시간이 길며, 뇌졸중 환자군은 마비측보다 비마비측 다리 지지 조건의 의존도가 더 크기 때문에 비마비측 무릎 신근 피로 시 보행 능력에 장애를 초래할 것으로 사료된다. 따라서 향후 비마비측의 무릎신근 근피로가 뇌졸중 환자의 보행능력에 어떠한 영향을 미치는지에 대한 연구가 향후 필요할 것으로 생각된다.

본 연구는 뇌졸중 환자의 무릎 신근의 피로가 균형에 있어서 어떠한 영향을 미치는지 알아보고자 인위적으로 무릎 신근에 국소적 근피로를 유발하였다. 이는 일상생활을 영위하는 데 나타나는 자연적인 피로가 아니기 때문에 연구 결과를 일반화하기에 어렵다는 제한점이 있다. 또한 회복 단계별(급성, 아급성, 만성)로 집단화하지 못하고 만성 뇌졸중 환자를 대상으로 시행하였기 때문에 본 연구 결과를 모든 뇌졸중 환자에게 해석하는 데 제한이 있다.

V. 결론

본 연구는 뇌졸중 환자군 16명, 정상 대조군 16명을 대상으로 무릎신근의 국소적 근피로가 균형에 미치는 영향에 대해 알아보기 위해 시행되었다. 본 연구 결과, 뇌졸중 환자군의 마비측 무릎 신근의 피로 유발 근 수축 횟수는 정상 대조군에 비해 유의한 차이가 있었으며($p<0.05$), 뇌졸중 환자군의 비마비측 무릎 신근 피로 시 A-P speed, A-P direction, Horizontal distance의 균형능력에 차이가 있었다($p<0.05$). 또한 A-P direction의 그룹 간 균형능력 비교 시 마비측, 비마비측-비우세측 및 비마비측-우세측 간의 유의한 차이가 있었다($p<0.05$). 이는 만성 뇌졸중 환자는 특징적으로 마비측이 비마비측보다 근피로가 빨리 유발되지만 마비측보다 비마비측 근피로 시 기능상으로는 더 큰 균형 장애를 초래한다. 뿐만 아니라 뇌졸중 후 환자는 운동기능, 감각기능, 그리고 고위중추 인식능력 손상으로 인해 자세조절 및 보행 장애를 초래한다. 이는 곧 자세동요의 증가, 비대칭적인 체중지지, 체중이동 능력의 손상을 일으키며 지속적인 잘못된 보행패턴 및 보행학습은 비마비측 과사용으로 인한 국소적 근육 피로를 야기시킨다. 결과적으로 비마비측 국소적 근육 피로는 환자의 균형능력 감소를 초래하며, 이차적으로 균형능력의 감소는 낙상 위험 증가로 이어질 수 있다. 따라서 향후 뇌졸중 재활에 있어서 이러한 요인들을 고려한 접근이 필요할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. 김종만. 치료사를 위한 임상신경학. 정담출판사, 2003.
2. 권혁철, 정동훈. 편마비 환자의 비대칭적 체중지지가 기립균형 안정성 한계에 미치는 영향. 한국전문물리치료학회지. 2000; 7(2):1-19.
3. 김원호. 만성 뇌졸중 환자의 임상적 특성이 보행 시 생리적 부담지수에 미치는 영향. 한국전문물리치료학회지. 2006;13 (1):32-37.
4. 노미혜, 이충희, 조상현, 김태우. 편마비 환자의 환측 하지 체중부하율 향상을 위한 효과적인 외적 되먹임 빈도. 한국전문 물리치료학회지. 1998;5(3):1-10.
5. 최종덕, 이충휘. 운동강도에 따라 유발된 근피로가 슬관절 위치감각 인지에 미치는 영향. 한국전문물리치료학회지. 2003; 10(4):61-66.
6. 황병용. 편마비 환자의 안정성 한계와 신체 요동의 특성. 용인대학교학회지. 2002;7(1):135-140.
7. Gjelsvik BE. The bobath concept in adult neurology. 2008.
8. Refshauge Kathryn, Ada Lousise, Ellis Elizabeth. Science-based rehabilitation theories into practice. Elsevier, 2005.
9. Barrett DS. Proprioception and function after anterior cruciate reconstruction. J Bone Joint Surg Br. 1991;73(5):833-837.
10. Bellew JW & Fenter PC. Control of balance differs after knee or ankle fatigue in older women. Arch Phys Med Rehabil. 2006;87:1486-1489.
11. Berger L.L, Regueme S.C, Forestier N. Unilateral lower

limb muscle fatigue induces bilateral effects on undisturbed stance and muscle EMG activities. J Electromyogr Kinesiol. 2010;20(5):947-952.
12. Canning CG, Ada L, O'Dwyer N. Slowness to develop force contributes to weakness after stroke. Arch of Phys Med Rehabi. 1999;80:66-70.
13. Cohen H, Blatchly CA, Gombash LL. A study of the clinical test of sensory interaction and balance. Phys Ther. 1993;73(6):346-354.
14. Den Otter AR, Geurts ACH, Mulder TH, et al. Abnormalities in the temporal patterning of lower extremity muscle activity in hemiparetic gait. Gait & posture. 2007;25(3):342-352.
15. De Quervain AK, Simon SR, Leurgans S, et al. Gait pattern in the early recovery period after stroke. J Bone Joint Surg Am. 1996;78(10):1506-1514.
16. Dean CM, Richards CL, Malouin F Walking speed over 10 meters overestimates locomotor capacity after stroke. Clin Rehabil. 2001; 15:415-421.
17. Enoka RM & Duchateau J. Muscle fatique: What, why and how it influences muscle function. J Physiol. 2008;586(1):11-23.
18. Gribble PA & Hertel J. Effect of hip and ankle muscle fatigue on unipedal postural control. J Electromyogr Kinesiol. 2004;14:641-646.
19. Gribble PA & Hertel J. Effect of lower-extremity muscle fatigue on postural control. Arch Phys Med Rehabil. 2004;85:589-592.
20. Hiemstra LA, Lo IKY, Fowler PJ. Effect of fatigue on knee proprioception: implications for dynamic stabilization. JOSPT. 2001;31:598-605.
21. Horstman AM, Gerrits KH, Beltman MJ et al. Intrinsic properties of the knee extensor muscles after subacute stroke. Arch Phys Med Rehail. 2010;91:123-128.
22. Horstman AM, Gerrits K, Beltman M et al. Muscle function of knee extensors and flexor after stroke is selectively impaired at shorter muscle lengths. J Rehabil Med. 2009;41:317-321.
23. Jacobs C, Uhi TL, Seeley M et al. Strength and fatigability of the dominant and nondominant hip abductors. J Athl Train. 2005;40(3):203-206.
24. Miura K, Ishibashi Y, Tsuda E et al. The effect of local and general fatigue on knee proprioception. J Arthroscopy Related Surg. 2004;20(4):414-418.
25. Nashner LM.. Fixed patterns of rapid postural responses among leg muscle during stance. Exp Brain Res. 1977;30:13-24.
26. Newham DJ & Hsiao SF. Knee muscle isometric strength, voluntary activation and antagonist co-contraction in the first six months after stroke. Disabil Rehabil. 2001;23(9):379-386.
27. Parijat P & Lockhart TE. Effects of quadriceps fatigue on the biomechanics of gait and slip propensity. Gait Posture. 2008;28:568-573.
28. Salavati M, Moghadam M, Ebrahimi I et al. Changes in postural stability with fatigue of lower extremity frontal and sagittal plane movers. Gait Posture. 2007;26:214-218.
29. Sharpe MH & Miles TS. "Position sense at the elbow after fatiguing contraction." Exp Brain Res. 1993;94:179-182.
30. Taub E, Uswatte G, Elbert T. New treatments in neurorehabilitation founded on basic research. Nature. 2002;3:228-236.
31. Toffola ED. Sparpaglione D, Pistorio A, et al. Myoelectric manifestation of muscle change in stroke patients. Arch Phys Med Rehabil. 2001;82;661-665.
32. Vollestad NK. Measurement of human muscle fatigue. J Neuroscien Methods. 1997;74:219-227.
33. Vuillerme N & Pinsault N. Differential postural effects of plantar-flexor muscle fatigue under normal, altered and improved vestibular and neck somatosensory conditions. Exp Brain Res. 2008;191:99-107.
34. Vuillerme N & Pinsault N. Vestibular and neck somatosensory weighting changes with trunk extensor muscle fatigue during standing. Exp Brain Res. 2010;202(1):253-259.
35. Wojtys EM, Wylie BB, Huston LJ. The effects of muscle fatigue on neuromuscular function and anterior tibial translation in healthy knees. Am J Sport Med. 1996;24(5):615-621.