

뇌졸중 환자의 상지에서 근육협응 패턴과 관절협응 패턴의 유사성에 관한 연구

이정아

연세대학교 대학원 재활학과

신화경

가야대학교 보건과학대학 작업치료학과

정이정

연세대학교 대학원 재활학과

조상현

연세대학교 보건과학대학 물리치료학과 및 보건과학연구소

Abstract

A Study of Symmetry in the Patterns of Muscle Coordination and Interjoint Coordination in the Upper Limb Activity Among Subjects With Stroke

Jung-ah Lee, M.Sc., P.T.

Dept. of Rehabilitation Therapy, The Graduate School, Yonsei University

Hwa-kyung Shin, M.Sc., P.T.

Dept. of Occupational Therapy, College of Health Science, Kaya University

Yi-jung Chung, M.Sc., P.T.

Dept. of Rehabilitation Therapy, The Graduate School, Yonsei University

Sang-hyun Cho, Ph.D., M.D.

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

Institute of Health Science, Yonsei University

This study aimed to compare movement patterns of shoulder joints between the right and left symmetry in stroke patients and control subjects. This study proposes use of the voluntary response index (VRI) calculated from quantitative analysis of surface electromyographic (sEMG) and motion data recorded during voluntary movement as a feeding task. The VRI is comprised of two numeric values, one derived from the total muscle activity recorded for the voluntary motor task (magnitude), and the other from the sEMG distribution across the recorded muscles with the similarity index (SI). Five stroke patients and five age-matched healthy controls were recruited. Feeding motion was performed using the provided spoon five times with rests taken on a chair in between tasks. EMG data were digitized and analyzed on the basis of the root mean square (RMS) envelope of activity. The average amplitude of responses was calculated. Responsiveness and clinically meaningful levels of discrimination between stroke patients and control for EMG magnitude and SI were determined. The similarity index of the results from two successive examinations of both sides apart for stroke patients and control subjects were .86 and .95 in motion analysis and .84 and .99 in electromyographic analysis. The SI of sEMG data and motion data was significantly correlated in stroke patients. The data suggest that SI is a sensitive program for

comparing and analyzing the symmetry of muscle activity and motion in both sides. This analysis method has a clinical value in grading muscular activity and movement impairment after brain injury.

Key Words: Motion analysis; Similarity index; Surface electromyography.

I. 서론

뇌손상으로 인한 뇌졸중이나 외상성 뇌손상 환자들은 강직(spasticity) 및 근약화(muscle weakness)와 움직임 협응(movement coordination)의 결함과 같은 상위 운동신경원 증후군이 나타난다(김종만과 이충휘, 1997). 전형적으로 뇌졸중의 재활은 강직과 비정상적인 연합운동(synergistic movement)을 감소시키고, 무엇보다 운동 능력상의 현저한 저하를 보이므로 운동기능의 변화를 정확히 평가하는 것이 중요하다. 일상생활에서의 움직임은 신경계, 근육계, 환경 등과의 상호작용에 의해 이루어지며(Cooper 등, 1993), 이들 영역에 손상이 발생할 경우 인체에는 비정상적인 움직임이 유발된다. 식사하기, 옷입기, 개인 관리 등 대부분의 일상생활 동작은 상지에 대한 의존도가 높으므로 기능 상실시 심각한 장애를 초래한다(Cooper 등, 1993; Tong과 Mak, 2001). 따라서 치료사는 일상생활을 수행하는데 필요한 상지의 정상적인 관절의 움직임과 근활성도(muscle activity)에 대한 이해가 필요하며, 이들 요소를 동작에 따라서 정확하게 분석하는 것은 손상된 움직임에 대한 전략을 세우는데 도움이 될 수 있다(Cooper 등, 1993).

상지의 어깨 관절(shoulder joint) 움직임은 3도의 자유도(degrees of freedom)로 단순한 먹기(feeding) 동작에서도 3개 이상 관절의 각도 변화가 나타나며, 어깨관절을 움직일 때 근육들간의 협응이 변화될 수 있다. 즉, 관절의 동작패턴을 3차원에서 효과적으로 비교할 수 있는 방법이 점차 요구되고 있으나, 기존의 분석기법은 개별 근육이나 개별 관절각도 변화를 비교하는 수준을 넘지 못하고 있다.

뇌졸중 환자나 다른 신경학적 결함이 있는 환자들의 수의적인 사지 움직임 조절에 대한 평가는 신경학적으로 손상되지 않은 사람들과 비교되어야 한다. 최근 운동기능 상태를 정확히 측정하고 객관적으로 평가할 수 있는 방법들이 운동기능 회복에 적용되고 있다(Lee, 2004; Priebe 등, 1997). 근전도(electromyography)는 근 활동의 양과 패턴을 분석함으로써 비교적 용이하게 임상에서 운동평가 방법으로 응용될 수 있다(김영호 등, 2005).

척수손상환자의 보행 시 기록된 표면근전도의 분석

은 운동기능 수행을 평가하는 좋은 방법이며, 보행기능은 하지의 운동조절을 평가하는 신경학적 변화의 결과이다. 보행에서 측정된 운동조절의 분석은 근육 활성화의 시간, 순서, 근육 패턴의 변화로 측정한다(Arsenault 등, 1986; Chen과 Shiavi, 1990; Dubo 등, 1976; Fung과 Barbeau, 1989). 이러한 연구들이 양적인 분석을 적용하였지만, 보행의 질적 분석에 대한 결과를 점수화시키는 시도는 거의 없었다. Perry와 Bogey등(1993)은 보행 평가에 대한 컴퓨터 알고리즘을 제안했다. 그러나 수의적인 운동조절에서 얻어진 표면 근전도의 수량적 분석은 이용하지 못하였다. 표면 근전도는 척수손상 환자의 다양한 임상적 상태의 변화를 평가하고, 변화된 운동조절을 평가하는 합리적 방법이다(Sherwood 등, 1996). 불완전한 척수손상을 가진 환자들의 기능을 평가하기 위하여 미국 척수손상 협회(American Spinal Injury Association: ASIA)에서 사용한 손상 척도가 운동 조절의 유용한 평가로 사용되고 있다. 그러나 이 방법은 주관적이고 운동조절의 민감성이 떨어진다. 이러한 단점을 보완하기 위하여, Sherwood 등(1997)은 척수손상 환자의 수의적인 움직임 동안에 다중 채널(multi-channel) 표면근전도의 데이터를 분석하여 뇌의 변화된 운동조절의 특성을 수량적으로 표현하였다. Lee 등(2004)은 척수손상환자의 하지기능 수준 평가를 다중채널 표면 근전도를 이용하여 운동전후나 강직 약의 효과에 따른 뇌의 운동 조절의 변화를 점수화하였다. 이러한 방법은 수의적인 움직임 동안 표면근전도 수량적 분석을 수의적인 반응 지수(voluntary response index: VRI)로 계산하였다. 수의적인 반응 지수는 두 개의 숫자의 값으로 나타나며, 하나는 유사성 지수(similarity index)로, 다른 하나는 수의적인 운동 수행을 위해 기록된 총 근육 활성화도로부터 얻어진 값으로 이루어졌다(Lee 등, 2004).

Lin 등(2005)은 정상인과 어깨관절 장애를 가진 환자에서 기능적 움직임을 수행하는 동안 변화된 여러 근육 활성화도의 변화를 유사성 지수로 표현하였다. 이러한 운동기능 상태를 객관적으로 평가하기 위하여 유사성 지수가 운동조절 능력의 평가 방법으로 적용되고 있다. 그러나 아직까지 뇌졸중 환자와 정상인과의 기능적 움직임에 따른 어깨관절의 여러 근육들의 패턴을 정량화하는 객관

적이고 양적인 평가가 적용되지 못하였다. 따라서 본 연구에서는 뇌졸중 환자와 정상인을 대상으로 어깨관절 움직임에서 일어나는 협응 패턴의 좌·우 대칭성을 비교하기 위하여 식사동작 수행의 유사성을 알아보았다.

II. 연구방법

1. 연구대상자

본 연구의 대상자는 뇌졸중 진단을 받은 환자 5명과 건강한 성인 5명을 대상으로 실시하였다. 우세손이 오른손이고, 상지에서 선천적이 기형이 있거나 심각한 외과적 혹은 신경학적 질환이 있는 사람 및 지난 6개월 동안 상지의 외상이나 통증을 경험했던 사람은 대상에서 제외되었다. 모든 대상자는 연구에 대해 충분히 이해하였으며 자발적으로 참여하였다. 팔 길이는 견봉(acromion)에서 손가락 중지의 끝(tip)부분까지로 정의하였다. 연구 대상자의 일반적 특성은 다음과 같다(표 1).

2. 실험기기 및 도구

가. 근전도 신호수집 및 분석 시스템

어깨 관절 움직임시 손가락으로 먹는 자세를 위한 근전도 신호를 측정하기 위한 전극은 앞쪽세모근(anterior deltoid), 중간세모근(middle deltoid), 위팔 두갈래근(biceps brachii), 양쪽 등세모근(trapezius), 큰 가슴근(pectoralis major)에 DE-3.1 이중 차등 전극(Double Differential Electrodes)¹⁾ 6개를 사용하였다. 신호의 표본수집률은 1024 Hz로 설정하였으며, 60 Hz 노치 필터(notch filter)를 이용한 후 RMS(root mean square) 처리를 하였다. 근전도의 신호저장과 신호처리를 위해서 AcqKnowledge 3.7.2 프로그램(Biopack system Inc., Santa Barbara, CA, U.S.A.)을 사용하였다.

나. 동작분석 시스템

어깨관절 움직임 패턴을 알아보기 위하여 식사동작의 변화는 실시간 삼차원 동작분석 시스템인 CMS-HS²⁾를 사용하였다. 모든 각도의 변화는 CMS-HS를 통해 20 Hz의 표본 수집률(sampling rate)로 측정되었다. 윈도우 WinData 2.19 프로그램(Zebris Medizintechnik, GmbH, Isny, Germany.)을 이용하여 측정 장비인 단일 표식자(single marker)와 삼중 표식자(triple marker)를 이용하여 각 표시적자의 정보를 삼차원상 좌표로 전환하여 어깨관절의 움직임 각도를 측정하였다.

3. 실험방법

측정자세는 앉은 자세에서 손으로 손가락을 쥐고 식사동작을 취하였으며, 이를 좌 5회, 우 5회를 각각 실시하였다.

가. 근 활성화도 측정을 위한 전극 부착 부위

위팔 두갈래근(biceps brachii)은 주관절을 회외시킨 상태로 위팔 두갈래근의 근육(belly)에 전극을 부착하였다. 앞쪽세모근(anterior deltoid)은 쇄골에서 어깨 앞쪽으로 4 cm 떨어진 부위에, 중간세모근(middle deltoid)은 견봉(acromion)에서 3 cm 아래 떨어진 상완의 외측면에, 등세모근은 양쪽의 중앙에 부착하였으며, 큰 가슴근은 겨드랑이(axilla)쪽 빗장뼈(clavicle) 끝 2 cm 밑에서 근섬유 방향으로 부착하였다(Cram 등, 1998).

나. 관절가동범위를 측정하기 위한 표식자의 부착 부위

상지의 어깨관절 각도를 측정하기 위해 2개의 삼중 표식자(triple marker)와 1개의 단일 표식자(single marker)가 사용되었으며 피부 표면에 부착되었다. 첫 번째 삼중 표식자는 체간 가쪽 굽힘(trunk lateral bending)을 측정하기 위해 어깨 선과 나란히 척추세움근(erector spinalis)에 부착하였다. 두 번째 삼중 표식자는 어깨관

표 1. 연구 대상자의 일반적 특성

(N=10)

	나이(세)	체중(kg)	신장(cm)	팔 길이(cm)
환자군(n ₁ =5)	57.2±5.23 ^a	71.4±10.20	169.2±7.16	71.1±3.24
정상군(n ₂ =5)	52.4±6.50	66.0±14.07	164.0±8.94	69.8±3.83

^a평균±표준편차

1) Delsys Inc., Boston, MA, U.S.A.

2) Zebris Medizintechnik, GmbH, Isny, Germany.

절의 굴곡, 외전, 내회전을 측정하기 위해 어깨의 외측방향에 부착하였다. 어깨관절의 상방회전(upward rotation)과 전인(protraction)을 측정하기 위해 두 개의 단일 표식자를 C7과 견봉(acromion)에 부착하였다.

다. 유사성 지수(similarity index)

정상인과 뇌졸중 환자의 상지의 식사 동작 시 근육협응 패턴과 관절협응 패턴의 좌·우측 유사정도를 알아보기 위하여 6개 관절 각도와 6개 근육의 근활성도를 측정하였다. 5회의 연속 데이터 중에 처음과 마지막 동작을 제외한 가운데 3회를 자료 분석으로 정하였다

식사동작시 근활성도는 EMG 신호를 RMS 처리한 후 근전도 채널로부터 6개의 반응요소(response element)를 구한다. 또한 관절 각도로부터 6개의 반응요소를 구하였다. 이들 반응 요소가 모여 하나의 반응벡터(response vector: RV)를 만든다. 요소가 6개인 근활성도에서 유사성 지수를 구하는 과정은 두 단계로 나눌 수 있다.

첫째, 벡터의 정규화(vector normalization) 단계이다. 하나의 반응벡터를 구하기 위해 6개의 반응 요소들을 벡터크기(vector size)로 각각 나누어서 정규화 시킨다. 반응벡터의 정규화는 식사동작 동안 각 근육에서의 상대적인 활동을 양적으로 설명할 수 있다. R_i 는 i 번째 요소를 의미한다.

$$R_{norm} = \frac{[R_1 R_2 R_3 R_4 R_5 R_6]}{\sqrt{\sum_i R_i^2}} \quad \text{----- (1)}$$

둘째, 유사성 지수를 구하는 과정이다. 유사성 지수는 수학적으로 두 반응벡터 사이각의 코사인(cosine) 값이며, 이는 양측의 근육 활성도의 분포에 대한 유사성의 양적 표현이다. $|RV|$, $|PRV|$ 는 벡터 RV를 나타내고, RV_i 는 벡터 RV의 i 번째 요소를 의미한다. RV는 뇌졸중 환자의 마비측, 정상인의 비우세측의 반응벡터를 의미하고 PRV(prototype response vector)는 뇌졸중 환자의 비마비측, 정상인의 우세측의 반응벡터를 의미한다.

$$SI = \frac{\sum_i (RV_i PRV_i)}{|RV| |PRV|} \quad \text{----- (2)}$$

4. 분석방법

뇌졸중 환자와 정상인에 있어서 상지의 식사동작의 어깨 관절 움직임의 패턴의 좌·우 대칭성을 정확하게 표현할 수 있는지를 알아보기 위하여 근전도와 관절 움

직임에 차이를 유사성 지수로 구하였다. 6개 근전도, 또는 관절각 값들을 하나의 정규화된 벡터(normalized vector)로 계산한 후, 비교하고자 하는 두개의 벡터들이 일치하는 정도를 .0~1.0으로 표현하였다. 이 기법은 MatLab 6.5 프로그램(Math Works Inc., MA, U.S.A.)을 이용하여 유사성 지수를 구하였다. 어깨관절 움직임 협응패턴의 좌우측 대칭성에 대한 집단 간의 유사성 지수 차이는 비모수인 맨휘트니 U 검정을 실시하였고, 뇌졸중 환자군의 근전도와 관절 움직임의 상관성은 스피어맨 상관분석을 실시하였다. 자료의 통계 처리는 윈도용 SPSS 11.5 프로그램을 사용하였고 통계학적인 유의수준은 $\alpha=.05$ 로 설정하였다.

III. 결과

1. 어깨관절 움직임 시 관절움직임과 근전도에서 좌·우측 대칭성의 유사성 지수

정상인과 뇌졸중 환자의 상지 어깨관절 움직임과 근전도에서 협응 패턴의 좌·우측 대칭성 유사성 지수는 유의한 차이를 보였다($p<.05$)(표 2).

표 2. 관절 움직임과 근전도에서 어깨관절 움직임 패턴의 좌·우측 대칭성 유사성 (N=10)

	유사성 지수		p
	환자군(n ₁ =5)	정상군(n ₂ =5)	
동작 분석	.86(.017)*	.95(.016)	.016
근전도 분석	.84(.047)	.99(.002)	.009

*평균(표준오차)

2. 어깨관절 움직임 시 환자군에서 관절움직임과 근전도의 좌·우측 대칭성 유사성 지수 간의 상관관계

어깨관절 움직임 시 환자군에서 관절움직임과 근전도의 좌·우측 대칭성 유사성 지수는 유의한 상관관계를 보였다($r=.80$)($p<.05$)(표 3).

표 3. 환자군에서 관절움직임과 근전도의 좌·우측 대칭성 유사성 지수 간의 상관관계

분석방법	상관계수
동작 분석	r=.80
근전도 분석	

IV. 고찰

본 연구는 뇌졸중 환자와 정상인에서 상지의 어깨관절 움직임 협응패턴의 좌·우 대칭성을 알아보기 위해 근전도와 동작분석을 통해 유사성 지수로 정규화시켜 비교하였다.

Sherwood 등(1997)은 척추손상환자들의 변화된 운동 조절(motor control)을 다중채널 표면근전도의 기록을 통해 유사성을 평가하였다. 이 평가는 뇌 운동조절 평가(BMCA: brain motor control assessment)의 기준인 프로토콜을 사용하여, 수의적, 비수의적 움직임을 유도하여 중재(intervention) 이후 변화된 운동조절을 숫자화하는 방법을 제시하였다. Lee 등(2004)의 연구에서는 척추손상환자의 보행훈련 변화를 유사성 지수로 표현하여 운동 전·후의 다른 운동조절을 비교하였다. 또 다른 선행 연구에서는 어깨관절 장애를 가진 환자와 정상인간의 근육활성도의 양상을 보여주므로 두 군간의 차이가 있음을 유사성 지수로 평가하였다(Lin 등, 2005).

이러한 연구들을 바탕으로 본 연구에서는 정상인과 뇌졸중 환자에서 상지의 식사동작시 근육협응 패턴과 관절협응 패턴의 좌·우측 대칭성을 비교하여 어깨관절 움직임을 운동조절 능력을 유사성 지수로 간단히 점수화시켰다. 유사성 지수는 수의적인 운동 수행으로 신경학적으로 손상된 환자와 손상되지 않은 환자간의 상지 좌·우측 대칭성을 수량적으로 비교할 수 있다는 이점이 있다.

본 연구 결과 뇌졸중 환자군과 정상인간의 유사성 지수는 유의한 차이를 보였다. 이러한 유사성 지수는 근전도 혹은 관절각 값들을 하나의 표준화되어진 벡터로 계산한 후, 비교하고자 하는 두개의 벡터들이 일치하는 정도를 .0~1.0으로 표현하였는데, 관절움직임에서는 환자군과 대조군이 각각 .86과 .95으로 좌·우패턴의 차이가 있음을 보였고, 근전도에서도 각각 .84과 .99로 차이를 보였다. 이러한 유사성 지수로 뇌졸중 환자들은 상지의 어깨관절 근육 약화와 움직임 협응이 약하다는 것을 알 수 있다. 따라서, 식사동작의 과제를 수행한 결과, 어깨관절 움직임이 모두 정상군과 비교하여 환자군에서 운동결함이 존재하는 것으로 나타났다. Levin(1996)은 뇌졸중 환자의 환측 상지에서 견관절과 주관절 사이의 관절의 협응성이 방해가 되면 견관절과 주관절의 각도 변화에서의 변위가 일어나 운동의 분열성(disruption)을 보인다고 했다. 뇌졸중 후 손 운동 시 환측의 과도한 길항근의 작용과 근육들간의 부적절한

협응으로 인해 비정상적인 동작이 나타났다(Canning 등, 2000; Pisano 등, 2000).

뇌졸중 환자에서 나타나는 운동장애는 환측 사지에서 분리운동(fractionated movement)이 일어나는 어려움이 있다. 이러한 독립적인 관절 운동 또는 근육수축의 장애는 전형적으로 나타나는 병적인 협력작용(pathological synergy)을 초래하는데, 뇌졸중 후에 주로 관찰된다(김종만, 1999). 분리운동의 상실은 과제를 행하는데 필수적인 근육의 수축과 이완의 순서나 적절한 선택에 장애가 된다. 뇌졸중 환자는 한 지절을 독립적으로 움직이는데 어려움을 가지므로 섬세한 운동조절의 상실을 초래하고 상지의 기능적 장애를 가져온다. 연합반응은 인체 운동학적인 평형을 이루기 위한 반응 또는 환자가 환경과 관련된 자신의 신체에 대한 병적 지각의 결과에 의해서 발생하는 것으로 해석할 수 있다. 중력중심이 과도하게 이동되어서 정상적인 팔 반응이 유발되는 것을 보상전략이라고 한다. 환자의 상이한 중력중심의 이동이 환자의 상이한 자세와 상이한 운동패턴을 형성한다. 또한 운동패턴은 상지근육들의 비정상적인 동시활성(coactivation)에 의해 발생된다(김종만과 이충휘, 1997).

뇌졸중 환자에서 상지의 원위부에 대한 분절 움직임 능력저하로 인하여 일상생활 수행 시 근위부에 보상 작용이 일어난다. 따라서 정상적인 운동조절 능력을 위해서는 어깨관절과 같은 근위부에서의 근력강화와 관절가동범위 확보는 기초가 되어야 하고, 그 후에 원위부의 부족한 기능 향상을 위해서 근위부의 보상적이고 전략적인 움직임이 이루어져야 할 것이다. 또한 앞으로는 뇌졸중 환자의 상지 재활치료가 어깨관절의 근육협응과 관절협응에 영향을 미칠 수 있기 때문에 함께 고려되어 치료기술이 협력적으로 적용되고 분석되어야 할 것이다.

상지 움직임의 관절협응과 근육협응에 대한 결과는 일상생활과 관련된 움직임 분석과 근육강화 연구의 참고 자료로 사용될 수 있으며 상지의 보상 움직임에 대한 자료로 중요한 역할을 할 수 있을 것이다. 따라서 어깨 관절의 움직임에서 근전도와 움직임 데이터의 기록으로 얻어진 유사성 지수는 뇌졸중 환자와 정상인간의 유사정도를 점수화한 평가의 기록으로 사용하기에 적당하다고 생각한다. 또한 이 분석방법은 뇌졸중 환자와 정상인들의 운동기능 능력의 차이를 측정할 수 있고, 더 나아가 운동기능 회복에 효과를 평가할 수 있다.

이 연구는 어깨관절에서 식사하기 동작 시 나타나는 좌·우측 대칭성을 근육협응과 관절협응의 패턴을 유사

성 지수로 양적 분석할 수 있고 정량화시킬 수 있었다. 또한 유사한 환자 집단에서 치료 후에 운동조절 변화와 관절의 좌·우 대칭성을 비교할 수 있는 평가의 기초가 될 수 있다.

V. 결론

본 연구는 정상인과 뇌졸중 환자들을 대상으로 상지의 식사하기 동작 시 어깨관절의 근육협응 패턴과 관절협응 패턴의 좌·우측 유사정도를 얼마나 정확하게 표현할 수 있는지를 유사성 지수로 알아보았다.

본 연구 결과 상지의 식사동작시 정상인과 환자군에서 어깨관절 움직임과 근육의 패턴에서 좌·우측 유사정도는 유의한 차이가 있었으며($p < .05$). 뇌졸중 환자군의 근전도와 관절 움직임의 상관성은 $r = .80$ 으로 높은 상관관계를 보였다. 뇌졸중 환자에서 식사 동작 시 정상인과 비교하여 어깨관절의 좌·우측의 협응 패턴의 유사성 지수는 낮게 나타났고 운동조절 능력이 손상된 것으로 추정된다.

유사성 지수는 상지에서 환자와 정상인간의 보상적인 움직임이 어느 정도 일어나는지를 표현할 수 있고, 기존의 개별 근육이나 개별 관절각도 변화보다는 3차원으로 움직이는 관절의 협응 패턴과 근육의 협응 패턴을 간결하게 표현할 수 있었다. 이러한 유사성 지수는 수의적인 움직임 동안 중추신경계 운동조절 변화를 평가하는 객관적인 분석방법으로 사용될 수 있을 것이다.

인용문헌

김종만. 치료사를 위한 임상신경학. 정담출판사, 1999.
김종만, 이충휘. 신경계물리치료학. 정담출판사, 1997.
김영호. 태기식, 송성재. 뇌손상 후 상지 운동기능 회복 평가: 임상적 평가 및 운동반응 근전도 분석. 한국전문물리치료학회지. 2005;12(1):91-99.
Arsenault AB, Winter DA, Marteniuk RG. Is there a 'normal' profile of EMG activity in gait? Med Biol Eng Comput. 1986;24(4):337-343.
Bogey RA, Barnes LA, Perry J. Computer algorithms to characterize individual subject EMG profiles during gait. Arch Phys Med Rehabil.

1992;73(9):835-841.
Canning CG, Ada L, O'Dwyer NJ. Abnormal muscle activation characteristics associated with loss of dexterity after stroke. J Neurol Sci. 2000;176:45-56.
Chen JJ, Shiavi R. Temporal feature extraction and clustering analysis of electromyographic linear envelopes in gait studies. IEEE Trans Biomed Eng. 1990;37(3):295-302.
Cooper JE, Shwedyk E, Quandbury AO, et al. Elbow joint restriction: Effect on functional upper limb motion during performance of three feeding activities. Arch Phys Med Rehabil. 1993;74(8):805-809.
Cram JR, Kasman GS, Holtz J. Introduction to Surface Electromyography. Maryland, Aspen, 1998:360-374.
Dubo HI, Peat M, Winter DA, et al. Electromyographic temporal analysis of gait: Normal human locomotion. Arch Phys Med Rehabil. 1976;57(9):415-420.
Fung J, Barbeau H. A dynamic EMG profile index to quantify muscular activation disorder in spastic paretic gait. Electroencephalogr Clin Neurophysiol. 1989;73(3):233-244.
Lee DC, Lim HK, McKay WB, et al. Toward an objective interpretation of surface EMG patterns: A voluntary response index (VRI). J Electromyogr Kinesiol. 2004;14(3):379-388.
Levin MF. Interjoint coordination during pointing movements is disrupted in spastic hemiparesis. Brain. 1996;119:281-293.
Lin JJ, Lim HK, Soto-quijano DA, et al. Altered patterns of muscle activation during performance of four functional tasks in patients with shoulder disorders: Interpretations from voluntary response index. J Electromyogr Kinesiol. 2005;29.
Perry J, Bontrager EL, Bogey RA, et al. The Rancho EMG analyzer: A computerized system for gait analysis. J Biomed Eng. 1993;15(6):487-496.
Pisano F, Miscio G, Del Conte C, et al. Quantitative measures of spasticity in post-stroke patients.

- Clin Neurophysiol. 2000;111(6):1015-1022.
- Priebe MM, Sherwood AM, Graves DE, et al. Effectiveness of gabapentin in controlling spasticity: A quantitative study. Spinal Cord. 1997;35:171-175.
- Sherwood AM, McKay WB, Dimitrijevic MR. Motor control after spinal cord injury: Assessment using surface EMG. Muscle Nerve. 1996;19(8):966-979.
- Sherwood AM, Priebe MM, Graves DE. Consistency of Multi-channel Surface EMG Recordings: Application in spinal cord injured subjects. J Electromyogr Kinesiol. 1997;7:97-111.
- Tong KY, Mak AF. Development of computer-based environment for simulating the voluntary upper-limb movements of persons with disability. Med Biol Eng Comput. 2001;39(4):414-421.

논문접수일	2005년 12월 15일
논문게재승인일	2006년 1월 25일