
뇌졸중 후 강직 평가를 위한 진자검사 측정값의 상관관계

Relationship Between Pendulum Test Measurements of Post-Stroke Spasticity

김용욱

전주대학교 대체의학대학 물리치료학과

Yong-Wook Kim(ptkim@jj.ac.kr)

요약

본 연구의 목적은 뇌졸중 후 발생하는 강직을 평가하는데 사용되는 진자검사에서 세 가지 정량적 측정값 사이의 상관관계를 알아보는 것이다. 세 가지 측정값은 이완 지수, 진동 횟수, 그리고 진동 시간이다. 뇌졸중 환자 26명이 본 연구에 참여하였고, 측정값들 사이의 상관관계를 검증하기 위하여 피어슨 상관계수를 사용하였다. 본 연구의 결과 이완 지수와 진동 횟수 사이에서 통계적으로 유의한 양적 상관관계를 보였다($r=.881, p<.01$). 또한 이완 지수와 진동 시간 사이에서도 유의한 양적 상관관계를 보였으며($r=.896, p<.01$), 진동 횟수와 진동 시간 사이에서도 유의한 양적 상관관계를 보였다($r=.938, p<.01$). 진자검사를 통한 강직의 정량적 측정치인 진동 횟수와 진동 시간은 복잡한 계산 과정을 통해 구해지는 이완 지수보다 비교적 쉽고 간단히 구할 수 있다. 따라서 간단하면서도 객관적인 측정값으로서 진자검사의 진동 횟수와 진동 시간의 사용이 향후 임상에서 강직의 정량적인 측정방법으로 유용할 것으로 사료된다.

■ **중심어** : | 진동 | 진자검사 | 이완 지수 |

Abstract

The purpose of this study was to investigate the relationship between three quantitative measures of the pendulum test for spasticity in strokes: The relaxation index, the number of oscillations, and the duration of oscillations. Twenty-six stroke subjects participated in the study. Correlations among these measures of spasticity used Pearson's correlation coefficient. There was a statistically significant positive correlation between the relaxation index and number of oscillations in strokes ($r=.881, p<.01$). In addition there was significant positive correlation between the relaxation index and duration of oscillations ($r=.896, p<.01$), and between the number of oscillations and duration of oscillations ($r=.938, p<.01$). Thus, it is possible to use the number of oscillations and duration of oscillations as quantitative measures of spasticity, rather than the relaxation index, which is more complicated to obtain. According to the result of this study, the use of the simple and objective measurements of the number of oscillations and the duration of oscillations are required clinically in the quantitative measures of spasticity in the future.

■ **keyword** : | Oscillations | Pendulum Test | Relaxation Index |

I. 서론

뇌혈관이 터지거나 막혀서 발생하는 뇌졸중(stroke)은 심각하고 장기적인 장애를 동반하며, 미국내에서 세 번째로 높은 사망 원인으로 알려져 있다[1]. 뇌졸중 후에 회복기를 거치는 환자들은 근력 약화, 감각 저하, 정위 반사(righting reflex)의 손상, 그리고 시각적 공간 인식의 저하 등을 종종 보이며[2], 1/3 이상의 환자가 불수의적으로 골격근의 근긴장도(muscle tone)가 증가되는 강직(spasticity)을 경험하게 된다[3]. 강직은 아직까지 그 발생 기전이 명확하지 않아 다양하게 정의되고 있다[4-7]. 이 중 Lance [7]의 정의가 일반적으로 사용되며[6], Lance[7]는 강직을 상운동신경원손상증후군(upper motor neuron syndrome)의 한 원인으로 신전반사(stretch reflex)의 항진과 함께 관절 가동 속도에 의존하여 근긴장이 증가하는 특징을 보이는 운동장애로 정의하였다.

강직은 운동을 방해하고 뇌졸중 후 기능적 회복을 방해하는 요소로 알려져 있어 이를 감소시키는 치료가 임상에서 보편적으로 시행되고 있다. 강직의 치료법으로는 근 긴장도를 낮추는 다양한 물리치료[8][9]와 근육이완을 위한 약물치료[10], 강직근에 대한 주사요법[11][12], 그리고 수술적 치료법[13] 등이 있다. 강직에 대한 치료 효과를 검증하기 위해서는 강직에 대한 정량적이고 객관적인 평가가 필요하다[14][15].

강직을 객관적으로 평가하는 방법은 관절을 움직였을 때 일어나는 토크(torque) 등을 분석하는 생체역학적인 방법, 근전도 신호를 통한 전기생리학적 방법, 그리고 근육의 이완을 통해 관절의 자연스런 움직임 측정하는 진자검사법 등이 있다[16]. 이 중 진자검사는 무릎 관절의 자유 움직임을 통해 강직을 정량화하여 하지의 이완 정도를 파악하는 검사법이다[17][18]. 진자검사를 통해 구해지는 이완지수가 강직의 정량적 평가로 많이 사용되고 있으나, 이를 구하기 위해서는 Cybex와 같은 고가의 장비와 복잡한 계산과정을 거쳐야 한다. 반면에 진자검사를 통한 진동시간과 진동횟수는 비디오 카메라와 초시계 등으로 비교적 간단히 구할 수 있다. 기존의 많은 연구에서 진자검사에 대한 측정자간 신

뢰도 검증이 있었다[19-21]. Bohannon[19]은 30명의 뇌손상 환자를 대상으로 Cybex II Dynamometer를 통한 진자검사를 실시하여 최대가능무릎굴곡(maximum possible knee flexion)과 반대 신전(reversed direction toward extension)각도 사이의 비율로 강직을 평가한 결과 측정자 간 급간내 상관관계수(Intraclass correlation; ICC)가 $r=.96$ 으로 높은 상관관계를 보였다. 또한 Smith 등[20]의 연구에서도 22명의 대상자를 통해 7회 진자검사의 측정 간 신뢰도를 검증한 결과 급간내 상관관계수가 $ICC=.92$ 로 높은 상관성을 보고하여 진자검사가 강직의 정량적이고 객관적인 측정도구로서 적합하다고 알려져 있다. 그러나 아직까지 국내에서는 강직에 대한 객관적이고 정량적인 측정방법들에 대한 연구가 부족하고, 그 중 특히 진자검사를 통해 얻어지는 다양한 측정값에 대한 연구는 활발하지 않은 실정이다.

따라서, 본 연구의 목적은 고기능 장비와 복잡한 계산 과정을 통해 얻어지는 진자검사의 이완지수와 진자검사를 통해 비교적 쉽게 구할 수 있는 진동횟수, 그리고 진동시간 사이의 상관관계를 알아보고 진동횟수나 진동시간이 임상에서 강직의 객관적이고 정량적 평가 방법으로 적합한지를 검증하는데 있다.

II. 연구방법

1. 연구대상자

뇌졸중으로 진단 받은 환자 26명을 연구대상자로 정하였으며, 선정 조건은 다음과 같다. (1) 수정된 Ashworth Scale을 통한 강직 평가에서 넵다리네갈래근(quadriceps muscles)의 강직이 grade 1 이상인 자; (2) 무릎 관절의 근골격계에 이상 증상이 없는 자; (3) 발병 후 최소 6개월 이상 경과된 자; (4) 실험자의 지시 사항을 충분히 이해하고 수행할 수 있는 자; (5) 강직에 영향을 미치는 약물치료 등의 의학적 치료를 받지 않는 자.

연구대상자들은 연구에 대한 전반적인 내용과 진행 과정에 대한 설명을 실험자로부터 충분히 전해 들었으며, 연구 참여에 자발적으로 동의하였다.

2. 실험 도구

2.1. N-K 테이블 (Noland-Kuckhoff table)

진자검사를 위해 하지의 다양한 근육에 대한 근력 강화 훈련을 위해 개발된 N-K 테이블을 이용하였다. 환자의 종아리를 하퇴 고정지지대에 고정하고 무릎관절의 자유로운 낙하를 유도하여 진자검사를 실시하였다. 플라스틱 하퇴 고정지지대의 무게가 진자검사에 영향을 미치지 않도록 0.45 kg인 플라스틱 재질의 지지대를 제작하여 사용하였다[그림 1].



그림 1. N-K 테이블과 플라스틱 하퇴 고정지지대

2.2. 전기측각기

무릎관절의 자유로운 낙하 운동에 따른 실시간의 각도 변화를 알아보기 위해 전기측각기(Autogon II, Jtech Corp. U.S.A.)를 사용하였다. 전기측각기의 가동자(moving arm)는 N-K 테이블의 하퇴 고정지지대에 연결하였고, 고정자(fixed arm)는 가동자와 수직이 되도록 고정하였다. 따라서 하퇴의 움직임에 따라 무릎각도의 실시간 변화를 측정할 수 있었다.

2.3. MP150WSW

전기측각기로부터 실시간으로 전달되는 무릎 움직임 각도의 아날로그 신호는 다용도 기록계의 일종인 MP150WSW(Biopac System Inc. CA. U.S.A.)에 입력되어 디지털 신호로 변환되고 시간에 따른 각도 변화 그래프로 컴퓨터 화면에 표시된다. MP150WSW는 생

체에서 발생하는 근전도, 심전도, 뇌파, 신경전도속도, 관절가동각도 등의 신호를 측정하여 기록, 분석할 수 있는 다기능 생체 변화 측정기이다.

3. 진자검사 과정

진자검사를 위해 환자를 N-K 테이블에 앉히고 종아리를 플라스틱 하퇴 고정지지대에 고정하였다. 검사자가 환자의 하퇴 고정지지대를 들어 올려서 거치대에 받쳐 놓고, 환자에게 긴장을 풀고 이완하도록 요청한 후, 거치대를 밀어내어 무릎관절의 자유로운 진자운동이 일어나도록 하였다[그림 2].



그림 2. 진자검사 자세

진자검사에 의한 강직의 정도는 이완지수, 진동횟수, 그리고 진동시간을 통해 구하였다. 진자검사에서 가장 많이 사용하는 이완지수는 강직이 전혀 없는 경우 1.6이었으며, 이완지수가 1이하일 때 강직이 심한 것으로 평가된다[22]. 진자검사는 습성화 등을 피하기 위해 30초 이상의 간격을 두고 10회 실시하여 구하였으며, 10회 측정값 중 $\pm 2SD$ (standard deviation)를 벗어난 측정값은 버리고, 나머지 측정값의 평균을 구하여 자료 분석 시 사용하였다[18].

4. 분석방법

진자검사를 통해 얻어지는 강직 측정값 사이의 상관관계를 알아보기 위해 피어슨 상관계수(Pearson's product correlation coefficient)를 사용하였다. 상관관

계 분석을 위한 각 변수들의 정의는 다음과 같다. (1) 이완지수; 시작각도와 처음 진동각도의 차이를 시작각도와 안정각도의 차이로 나눈 값으로 정의한다. 즉, [그림 3][그림 4]에서 A_0/A_1 으로 구해진다. (2) 진동횟수; 무릎관절이 진자 운동을 하는 동안 발생하는 굴곡과 신전의 반복횟수로 정의한다. (3) 진동시간; 무릎관절의 진자 운동이 실제로 일어난 시간으로 정의한다[그림 3][그림 4].

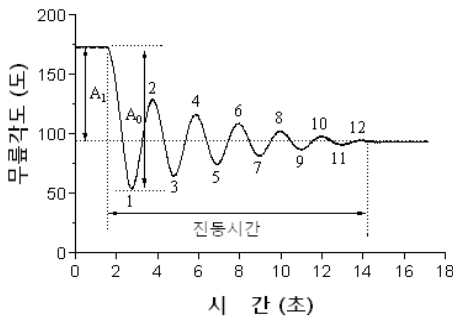


그림 3. 강직이 없는 정상 진자검사 그래프

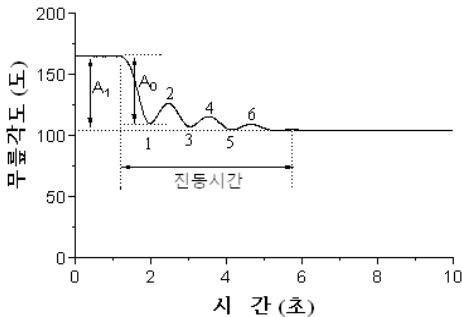


그림 4. 강직 환자의 진자검사 그래프

III. 결과

1. 연구대상자의 임상적특성

연구 대상자 26명 중 남자는 16명(61.54%), 여자는 10명(38.46%)이었다. 마비의 형태는 양쪽 마비가 3명(11.54%)이었고, 편마비가 23명(88.46%)으로 대부분의 연구대상자가 전형적인 뇌졸중 마비의 형태를 보였다.

연령 분포는 17세에서 74세까지였으며, 유병기간은 평균 17.96개월 이었다[표 1].

표 1. 연구대상자의 의학적 특성과 일반적 특성

구 분		명	%
성 별	남	16	61.54
	여	10	38.46
마비유형	양 쪽	3	11.54
	오른쪽	13	50.00
	왼 쪽	10	38.46
연 령(세)		60.42±10.73*	
유병기간(개월)		17.96±8.07*	

각 대상자별로 측정된 이완지수, 진동횟수, 그리고 진동시간에 대한 평균±표준편차는 각각 1.20±0.18, 10.31±2.54회, 5.01±1.46초 이었다[표 2].

표 2. 대상자 별 진자검사를 통한 강직 측정값

대상자	이완지수	진동횟수(회)	진동시간(초)
1	1.22	12.00	6.57
2	1.25	11.00	5.16
3	1.30	11.00	6.01
4	1.20	14.00	6.66
5	1.29	11.00	6.15
6	0.92	7.00	3.01
7	1.35	12.00	6.18
8	0.94	7.00	2.84
9	1.26	11.00	5.44
10	1.31	13.00	5.15
11	1.23	9.00	4.67
12	0.82	6.00	2.31
13	1.10	8.00	3.51
14	1.19	7.00	3.55
15	1.23	10.00	5.46
16	1.39	13.00	6.65
17	1.40	13.00	5.87
18	1.47	14.00	6.63
19	1.28	12.00	5.18
20	1.32	12.00	6.41
21	1.33	12.00	6.34
22	0.89	7.00	3.41
23	0.90	6.00	2.5
24	0.97	8.00	3.22
25	1.28	10.00	5.17
26	1.31	12.00	6.15
평균± 표준편차	1.20±0.18	10.31±2.54	5.01±1.46

2. 진자검사 측정값 사이의 상관관계

강직이 있는 뇌졸중 환자 26명을 대상으로 진자검사를 통한 이완지수와 진동횟수 사이의 상관관계는 통계적으로 유의했으며, 높은 양적 상관관계를 보였다($r=.881, p < .01$)[그림 5]. 이완지수와 진동시간 사이의 상관관계에서도 $r=.896$ 으로 높은 양적 상관관계를 보였으며 통계적으로 유의하였다[그림 6]. 또한 진동횟수와 진동시간의 상관관계도 통계적으로 유의했으며 높은 양적 상관관계를 보였다($r=.938, p < .01$)[그림 7]. 즉, 고기능 장비와 복잡한 계산과정으로 얻어지는 진자검사의 이완지수와 비교적 쉽게 구할 수 있는 진동횟수와 진동시간 사이에는 모두 통계적으로 유의한 상관관계를 보였다.

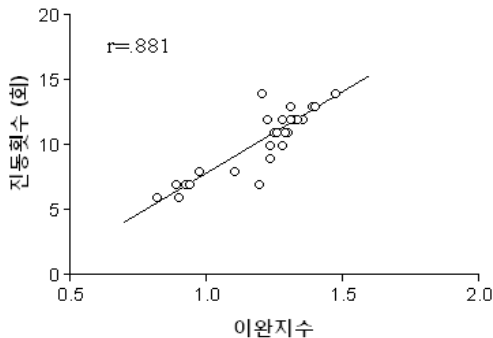


그림 5. 이완지수와 진동횟수 사이의 상관관계 그래프

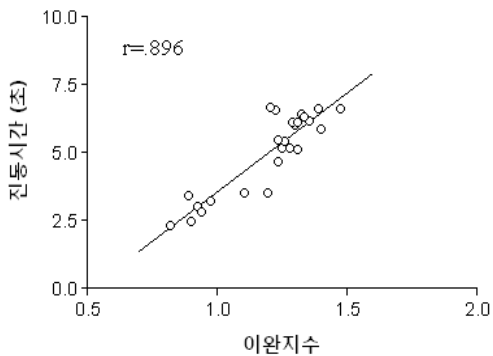


그림 6. 이완지수와 진동시간 사이의 상관관계 그래프

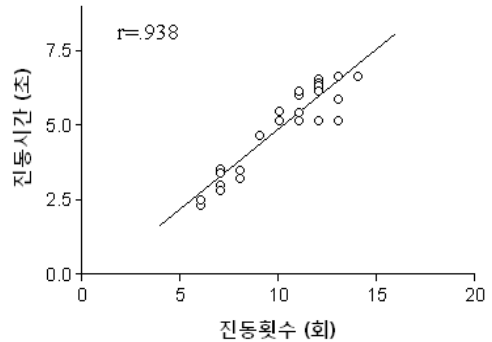


그림 7. 진동횟수와 진동시간 사이의 상관관계 그래프

IV. 고 찰

인체에서 측정되는 객관적이고 정량적인 측정값은 치료의 계획과 치료 효과의 검증을 위해 매우 중요하다[23]. 강직에 대한 객관적이고 정량적인 측정을 위해 매우 다양한 방법이 개발되어 사용되었다[24]. 이러한 방법에는 관절 움직임의 속도에 따라 강직의 특성을 반영하여 관절에서 발생하는 우력(torque)을 분석하는 생체 역학적 방법[25], H reflex 등을 활용하여 근전도(electromyography) 신호의 분석으로 강직을 정량화하는 전기생리학적인 방법[26], 자연스런 무릎관절의 움직임을 통해 강직을 정량화하는 진자검사와 같은 물리적인 방법[27] 등이 있다.

진자검사는 Wartenberg[28]가 환자를 의자에 앉히고 하지를 수평으로 들어 올려 무릎을 신전시킨 뒤 떨어뜨려 무릎관절의 진자운동을 관찰하면서 처음 알려졌다. 그 후 등속성 역량계(isokinetic dynamometer) 이용법, 비디오 기록법, 전기측각기 이용법 등 다양한 방법으로 진자검사가 시행되었다[29]. 등속성 역량계 이용법은 고가의 장비로 임상에서 쉽게 사용하기 어렵고, 또한 각가속도가 초당 300도로 제한되어 있으며, 과도한 무릎굽힘을 방지하는 장치가 있어 무릎의 자유로운 움직임을 방해하는 단점이 있다. 비디오 기록법은 고가의 장비가 갖춰진 시설이 필요하며, 측정에 대한 분석을 위해 시간이 많이 소요된다. 전기측각기를 이용한 방법도 측각기를 직접 피부에 붙여 관절의 움직임을 측정하

는데, 무릎관절의 축(axis)에 맞게 측각기를 부착하는 기술상의 어려움이 있다[16]. 본 연구는 이러한 단점을 보완하여 임상에서 많이 사용하는 N-K table에 직접 전기측각기를 부착하여 하지의 자연스러운 진자운동을 측정하였다.

본 연구의 목적은 뇌졸중으로 진단 받은 환자를 대상으로 진자검사를 통해 얻어진 측정값 사이의 상관관계를 알아보는 것이다. 본 연구의 결과 뇌졸중 환자를 대상으로 얻어진 진자검사의 이완지수, 진동횟수, 진동시간 사이에는 통계적으로 유의한 높은 양의 상관관계를 보였다. 본 연구의 결과를 직접으로 비교할 수 있는 선행 연구는 없었다. 다만 각각 10명의 비장애 아동과 뇌성마비 아동을 대상으로 진자검사를 통해 신뢰도를 검증한 연구에서 진자검사의 모든 측정값에서 두 그룹간 유의한 차이가 있었으며 뇌성마비군에서 강직이 높게 나타났다[21]. 또한 각 측정값의 검사-재검사 신뢰도가 뇌성마비군은 ICC=0.60에서 ICC=0.98이었으며, 정상군에서는 ICC=0.71에서 ICC=0.98로 높은 신뢰도를 보였다[21]. 본 연구에서 사용된 측정 변수인 이완지수의 검사-재검사 신뢰도는 ICC=0.92, 진동횟수는 ICC=0.85, 진동시간은 ICC=0.94로 높은 신뢰도를 보였다[21]. 이와같이 진자검사를 통해 얻어지는 측정값은 신뢰할만 하지만, White 등[21]의 연구는 두 그룹간 진자검사를 통한 강직의 차이와 각 변수에서의 검사-재검사 신뢰도를 검증한 연구이었고, 변수 상호간의 관계에 대한 보고가 없어 본 연구의 결과와 직접적으로 비교할 수 없었다.

본 연구의 결과 이완지수와 진동횟수 사이의 상관관계는 통계적으로 유의하게 높은 양적 상관관계를 보였다($r=.881$, $p < .01$). 또한 이완지수와 진동시간 사이의 상관관계($r=.896$), 진동횟수와 진동시간의 상관관계($r=.939$)도 통계적으로 유의했으며 높은 양의 상관관계를 보였다. 진자검사상에서 얻어지는 강직의 정량적 측정값으로 가장 대표적인 것은 이완지수이며, 그 외에 최대 무릎굴곡 각속도(maximum knee flexion angular velocity), 초기 무릎굴곡 각도(first swing excursion angle), 진동횟수, 진동시간, 진동주파수(ascillation frequency) 등이 있다[21][30]. 이 중 무릎굴곡 각속도와

초기 무릎굴곡 각도는 대퇴의 강직 중에서도 전면에 위치한 넵다리네갈래근의 근 긴장도에 영향을 많이 받은 변수로 알려져 있다[30]. 반면에 이완지수, 진동횟수, 진동시간, 진동주파수 등은 넵다리네갈래근과 대퇴의 후면에 위치한 무릎굴곡근(hamstring muscles)의 근 긴장도에 영향을 받는 변수로 알려져 있다[30]. 본 연구의 결과 이완지수, 진동횟수, 진동시간 사이에 높은 양의 상관관계를 보인 이유는 모든 변수가 무릎의 전면부와 후면부에 위치한 근육 모두의 긴장도를 측정하는 변수들이었기 때문으로 생각된다. 그 중에서 진동시간과 진동횟수 사이의 상관관계가 가장 높았던 이유는 이완이 잘되어 초기 진동의 크기가 클수록 그래프에서 얻어지는 진동시간이 길어지고, 잔여 진동의 굴곡이 많아지기 때문으로 생각된다.

진자검사를 통한 이완지수는 초기 무릎굴곡각도, 검사 종료 후의 안정각도 등을 구한 후 복잡한 계산과정을 통해 얻어지며, 본 연구에서와 같이 전기측각기와 MP150 등의 장비가 필요하다. 반면에 진동시간과 진동횟수는 초시계와 간단한 동영상 녹화장비를 통해 쉽게 구할 수 있다. 본 연구의 결과 진자검사의 진동시간과 진동횟수가 그 동안 많이 사용되어온 이완지수를 대신하여 임상에서 쉽게 강직에 대한 정량적 평가 방법으로 사용가능할 것으로 사료된다.

본 연구는 대상자 선정의 어려움 등으로 뇌졸중 환자 26명 외에 강직이 자주 발생하는 다른 상위운동신경원 손상 환자를 대상으로 진자검사에 대한 상관성 검증을 실시하지 못하였다. 또한 강직을 객관적이고 정량적으로 측정하는 다른 측정 도구와 진자검사 사이의 비교 검증을 못한 단점이 있다. 향후 연구에서는 뇌손상 환자, 뇌성마비, 척수손상 등과 같은 다양한 중추신경계 손상 환자를 대상으로 여러 강직의 객관적 측정 도구에 대한 상관성 검증이 필요하며, 강직의 객관적 측정 방법인 진자검사의 진동시간, 진동횟수를 이용하여 강직의 치료 효과를 검증하는 연구가 활발히 이루어질 것 기대한다.

V. 결 론

본 연구는 하지에 강직이 있는 뇌졸중 환자를 대상으로 진자검사의 이완지수, 진동횟수, 진동시간 사이에 상관관계를 검증한 결과, 이완지수와 진동횟수, 이완지수와 진동시간, 진동횟수와 진동시간에서 유의한 양적 상관관계를 나타냈다. 따라서, 고기능 장비와 복잡한 계산 과정이 필요한 이완지수를 대신하여 매우 높은 상관관계를 보인 진동시간과 진동횟수가 객관적이고 정량적인 강직의 평가로 임상에서 활용될 수 있을 것이다. 강직은 뇌졸중, 외상성 뇌손상, 뇌성마비 등 상운동신경원 손상 환자의 독립적이고 기능적인 활동을 제한하는 것으로 알려져 있다. 향후 이러한 환자를 대상으로 강직의 평가와 치료효과를 검증하는데 진자검사의 진동시간과 진동횟수가 활발히 이용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] P. S. Smith, "Berg balance scale and functional reach: determining the best clinical tool for individuals post acute stroke," *Clin Rehabil*, Vol.18, pp.811-818, 2004.

[2] S. Reyerson, "Hemiplegia resulting from vascular insult or disease," *Neurological Rehabilitation*, Mosby, pp.474-514, 1985.

[3] C. L. Watkins, M. J. Leathley, J. M. Gregson, A. P. Moore, T. L. Smith, and A. K. Sharmal, "Prevalence of spasticity post stroke," *Clin Rehabil*, Vol.16, No.5, pp.515-522, 2002.

[4] 김종만, 최홍식, "강직의 최신 지견과 물리치료와의 관련성", *한국전문물리치료학회지*, 제2호, pp.73-84, 1995.

[5] W. S. Pease, "Therapeutic electrical stimulation for spasticity: quantitative gait analysis," *Am J Phys Med Rehabil*. Vol.77, No.4, pp.351-355, 1998.

[6] J. J. Daly, E. B. Marsolais, L. M. Mendell, W. Z. Rymer, A. Stefanovska, and J. R. Wolpaw, "Therapeutic neural effects of electrical stimulation," *IEEE Trans Rehabil Eng*, Vol.4, pp.218-230, 1996.

[7] J. W. Lance, "Spasticity : disordered motor control," *Symposium synopsis*, Year Book Medical Pub, pp.485-494, 1980.

[8] C. W. Y. Hui-Chen, S. S. M. Ng, and M. K. Y. Mak, "Effectiveness of a home-based rehabilitation programme on lower limb functions after stroke," *Hong Kong Med J*, Vol.15, No.3, pp.S42-S46, 2009.

[9] H. C. Lo, K. H. Tsai, F. C. Su, G. L. Chang, and C. Y. Yeh. "Effects of a functional electrical stimulation-assisted leg-cycling wheelchair on reducing spasticity of patients after stroke," *J Rehabil Med*, Vol.41, No.4, pp.242-246, 2009.

[10] J. E. Gallichio, "Pharmacological risks following stroke," *Phys Ther*, Vol.84 No.10, pp.973-981, 2004.

[11] L. Shaw and H. Rodgers, "Botulinum toxin type A for upper limb spasticity after stroke," *Expert Rev Neurother*, Vol.9, No.12, pp.1713-1725, 2009.

[12] C. G. Canning, "Constraint-induced movement therapy after injection of Botulinum toxin improves spasticity and motor function in chronic stroke patients," *Aust J Physiother* Vol.55, No.4, pp.286, 2009.

[13] M. Rousseaux, N. Buisset, W. Daveluy, O. Kozlowski, and S. Blond, "Long-term effect of tibial nerve neurotomy in stroke patients with lower limb spasticity," *J Neurol Sci*, Vol.278, No.1-2, pp.71-76, 2009.

[14] 전중선, "상지의 경직을 평가하는데 있어 진자검사의 유용성에 대한 연구", *대한재활의학회지*, 제16호, pp.418-422, 1992.

[15] M. Syczewska, M. K. Lebidowska, and A. D. Dandy, "Quantifying repeatability of the

- Wartenberg pendulum test parameters in children with spasticity," *J Neurosci Methods*, Vol.178, No.2, pp.340-344, 2009.
- [16] 김용욱, 감각신경 경로의 치료적 전기자극이 뇌 병변 환자의 경직에 미치는 영향, 연세대학교 석사학위논문, 2001.
- [17] T. Bajd, and B. Bowman, "Testing and modelling of spasticity," *J Biomed Eng*, Vol.4, No.2, pp.90-96, 1982.
- [18] T. Bajd, and L. Vodovnik, "Pendulum testing of spasticity," *J Biomed Eng*, Vol.6, No.1, pp.9-16, 1984.
- [19] R. W. Bohannon, "Variability and reliability of the pendulum test for spasticity using a cybex II isokinetic dynamometer," *Phys Ther*, Vol.67, No.5, pp.659-661, 1987.
- [20] A. W. Smith, C. Kirtley, and M. Jamshidi, "Intrarater reliability of manual passive movement velocity in the clinical evaluation of knee extensor muscle tone," *Arch Phys Med Rehabil*, Vol.81, No.10, pp.1428-1431, 2000.
- [21] H. White, T. L. Uhl, S. Augsburger, and C. Tylkowski, "Reliability of the three-dimensional pendulum test for able-bodied children and children diagnosed with cerebral palsy," *Gait & Posture*, Vol.26, No.1, pp.97-150, 2007.
- [22] T. Bajd, and B. Bowman, "Testing and modelling of spasticity," *J Biomed Eng*, Vol.4, pp.90-96, 1982.
- [23] J. A. Bauer, J. H. Cauraugh, and M. D. Tillman, "An insole pressure measurement system: repeatability of postural data," *Foot Ankle Int*, Vol.21, No.3, pp.221-226, 2000.
- [24] 김용욱, 원종혁, "정상 성인에 대한 정량적 무릎 힘줄반사 검사의 측정시간 신뢰도", 한국전문물리치료학회지, 제14권, 제3호, pp.57-63, 2007.
- [25] B. M. Haas and J. L. Crow, "Towards a clinical measurement of spasticity?," *Physiotherapy*, Vol.81, No.8, pp.474-479, 1995.
- [26] J. Fung and H. Barbeau, "Effects of conditioning cutaneomuscular stimulation on the soleus H-reflex in normal and spastic paretic subjects during walking and standing," *J Neurophysiol*, Vol.72, No.5, pp.2090-2104, 1994.
- [27] M. Jamshidi and A. W. Smith, "Clinical measurement of spasticity using the pendulum test: Comparison of electrogoniometric and videotape analyses," *Arch Phys Med Rehabil*, Vol.77, No.11, pp.1129-1132, 1996.
- [28] R. Wartenberg, "Pendulousness of the legs as a diagnostic test," *Neurology*, Vol.1, No.1, pp.18-24, 1951.
- [29] B. Stillmann and J. McMeeken, "A video-based version of the pendulum test: Technique and normal response," *Arch Phys Med Rehabil*, Vol.76, No.2, pp.166-176, 1995.
- [30] E. G. Fowler, T. W. Ho, A. I. Nwigwe, and F. J. Dorey, "The effect of quadriceps femoris muscle strengthening exercises on spasticity in children with cerebral palsy," *Phys Ther*, Vol.81, No.6, pp.1215-1223, 2001.

저 자 소 개

김 용 욱(Yong-Wook Kim)

정희원



- 1996년 8월 : 연세대학교 재활학과(보건학사)
 - 2001년 8월 : 연세대학교 대학원 재활학과(이학석사)
 - 2009년 2월 : 연세대학교 대학원 재활학과(박사수료)
 - 2009년 3월 ~ 현재 : 전주대학교 물리치료학과 교수
- <관심분야> : 인체 평가도구의 개발, 인간공학