

New Portable System for Measuring the Spasticity of Injury in Central Nervous System

송철규* · 서정환[†] · 한상형** · 김거식*** · 안양수***
(Chul-Gyu Song · Jeong-Hwan Seo · Sang-Hyung Han · Keo-Sik Kim · Yang-Su An)

Abstract - Spasticity is a velocity-dependent stretch reflex disorder of the body motor system developing after the injury of the central nervous system, in which certain muscles are continuously contracted involuntarily. Conventional methods such as the modified Ashworth scale, Spasm frequency scale, pendulum test and isokinetic dynamometer had some disadvantages: limitation in discriminating the increase of resistance, immovable and expensive device, not enough study parameters. Therefore, it is necessary to introduce clinically more useful instrument, which can produce objective data and are more convenient on spasticity measurement. Spasticity measuring methods were reviewed and a new measuring instrument was designed and introduced. The new measuring system is a portable spasticity-measurement system, which encompass various scopes of spasticity-related human signals such as electrophysiologic, kinematic and biomechanical data. Our device was designed in order to measure the joint angle, angular velocity, electromyographic signals and force. We suggest that this new system can diagnose the spasticity of the muscles, objectively.

Key Words : Spasticity, Portable system, Central nervous System, Stretch reflex

1. 서론

경직, 혹은 팔 다리 근육의 뻣뻣함은 중추신경계의 손상 즉 뇌졸중이나 척수 손상 이후에 흔히 따르는 합병증의 하나로써 운동 속도가 증가할수록 경직의 정도가 심해지는 양상을 보이며 일상생활 동작 및 보행의 심한 장애를 초래한다. 따라서 이러한 경직 증상의 분포 부위 및 경직(spasticity)의 정량적 측정은 환자의 진단과 재활치료에 있어서 매우 중요하다. 경직의 존재 유무는 임상적으로 환자의 호소 및 의사의 이학적 검사에 의하여 쉽게 알 수 있다. 하지만 경직의 정도를 정량적으로 측정하는 것은 쉽지 않다. 그러므로 본 논문에서는 경직 측정에 현재까지 사용된 방법들 즉, 임상에서 흔히 사용되는 수기 검사와 연구 목적으로 흔히 사용되는 생체 역학적(biomechanics) 방법, 전기생리학적(electrophysiology) 방법 등을 장점 및 단점을 살펴본 다음, 현재 저자들이 연구하고 있는 경직의 새로운 이동형 측정 시스템의 특징에 대해 고찰하였다.

2. 경직의 정의

경직은 상부운동신경원 증후군의 한 요소로써, 신장반사의 과항진으로 초래된 심부 건반사 항진과 함께, 속도에 비례하는 긴장성 신장반사(tonic stretch reflex)의 특징을 갖는 운동 질환으로 정의된다[1]. 임상적으로 증가된 근육 긴장, 심부 건반사 항진 등도 내포한다. 이러한 경직은 속도 의존적이라는 정의에서 알 수 있듯이, 파킨슨병에서의 강직(rigidity) 또는 구축(contracture) 등 관절에서 보일 수 있는 수동적 운동에 대한 저항 변화와 구별된다.

경직은 임상적으로 부정적 증상과 긍정적 증상을 보여주고 있다. 부정적 증상으로는 위약, 수의적 운동 기능의 상실, 조화 운동 기능의 상실, 섬세 운동 기능의 상실 등이 있으며, 긍정적 증상으로는 신장 반사의 항진, 피부 자극에 의한 근육 반사 등을 통하여 항 중력근의 근 긴장도 증가로 인하여 체중 부하를 더 잘 견디게 하여 근 위축, 골다공증, 심부 정맥 혈전증의 방지 및 심폐 기능 유지 등이 알려져 있다[2]. 그러므로 치료할 때에는 경직의 경감이 과연 환자의 기능 및 합병증 예방 등에 도움이 되는지 아니면 오히려 해가 될 지를 판단하여 치료 유무 결정해야 한다[3].

3. 평가 방법

경직의 평가를 위하여 여러 가지 평가 방법이 존재한다[4]. 최근까지 소개된 경직의 평가 방법으로는 임상적(clinical), 생체 역학적, 신경생리학적(neurophysiology) 방법 등이 있다[5-7].

[†] 교신저자, 정회원 : 전북대 의학전문대학원 재활의학교실 교수
E-mail : vivaseo@chonbuk.ac.kr

* 정 회원 : 전북대 공대 전자정보공학부 부교수

** 준 회원 : 전북대 의학전문대학원 재활의학교실

*** 정 회원 : 전북대 공대 대학원 전자정보공학부

접수일자 : 2009년 4월 16일

최종완료 : 2009년 5월 15일

3.1 임상적인 측정

3.1.1 The Ashworth and modified Ashworth scale

임상에서 가장 흔히 경직 평가 도구로 사용되는 것은 Ashworth 척도(표 1)와 수정 Ashworth 척도(표 2)이다 [8-9]. Ashworth 척도는 간결하며, 평가에 필요한 도구가 없어서 쉽고 빠르게 평가를 수행할 수 있으며 이에 대하여 여러 연구가 진행되었다. Bohannon 등은[9] '걸림(catch)'과 '풀림(release)' 용어의 임상적 또는 생체역학적인 정의가 모호하고, 관절가동범위 끝에서의 걸림과 풀림이 '수동적 움직임에 대한 작은 저항(minimal resistance to passive movement)'와 같다고 볼 수 있어 새로운 등급(1+)을 추가하고 수정 Ashworth 척도를 제시하였다. Sloan 등은[10] 수정 Ashworth 척도가 상지 경직 평가에서 평가자간의 (inter-rater) 신뢰도가 있다고 하였으나 하지에 대해서는 실험을 실시하지 않았다. Allison 등은[11] 발바닥 굴근(plantar flexor)에서 경직 평가의 평가자간의 신뢰도가 Bohannon 등의[9] 팔꿈치 굴근에서의 평가자간의 신뢰도보다 의미 있게 낮다고 보고하였다. 또한, 발목에서의 지레 길이가 짧아서 움직임 동안의 저항을 측정하기 어렵고, 수정 Ashworth 척도에서의 등급 간의 정의에서 모호한 묘사가 평가자간의 불일치를 가져와서, 외상성 뇌손상 환자에서 발바닥 굴근 경직 평가에서 수정 Ashworth 척도를 이용할 근거가 없다고 주장하였다. Gregson 등은[12][13] 뇌졸중 환자를 대상으로 평가자간, 한 평가자의 평가 간(intra-rater) 수정 Ashworth 척도 신뢰도가 좋다고 하였다. 특히 팔꿈치, 손목, 무릎 관절에서 좋으나 발목에서는 만족스러운 결과를 얻지 못했다고 하였다. Blackburn 등은[14] 뇌졸중 환자에서 한 평가자의 평가 간에서는 만족스러운 수정 Ashworth 척도 신뢰도를 얻었으나, 평가자간의 신뢰도는 좋지 않다고 보고하였다. 이는 정상인 등급 0이나 낮은 등급의 수정 Ashworth 척도에서는 비교적 신뢰도가 있었으나 높은 등급일수록 신뢰도가 떨어졌기 때문이라 하였다. 연구 목적일 때에는 경직 평가를 실시하기 전에 평가자는 충분한 훈련과 Pandyan 등이 [15] 제시한 검사 회수, 1회 왕복시간, 속도 등의 평가방법 표준화가 필요하며, 이것이 평가자간, 한 평가자의 평가 간에 변이성을 줄이기 위하여 필수적으로 필요할 것으로 생각된다.

즉, 이러한 측정방법은 측정 장비 없이도 임상에서 손쉽게 자주 쓰이기는 하나 검사자의 주관이 많이 개입되어 객관성이 부족한 것이 단점이다.

표 1 Ashworth 척도

Table 1 The Ashworth scale

Grade	Description
0	No increase in tone
1	Slight increase in tone give a 'catch' when the limb was moved in flexion or extension
2	More marked increase in tone but limb easily flexed
3	Considerable increase in tone - passive movement difficult
4	Limb rigid in flexion or extension

표 2 수정 Ashworth 척도

Table 2 The modified Ashworth scale

Grade	Description
0	No increase in muscle tone
1	Slight increase in muscle tone, manifested by a catch and release or by minimal resistance at the end of the range of motion when the affected part(s) is moved in flexion or extension
1+	Slight increase in muscle tone, manifested by a catch, followed by minimal resistance through the remainder(less than half) of the range of motion
2	More marked increase in muscle tone through most of the range of motion, but affected part(s) is easily moved
3	Considerable increase in muscle tone, passive movement difficult
4	Affected part(s) is rigid in flexion or extension

3.1.2 Spasm frequency scales

본래의 Penn spasm frequency scale [16]은 다발성 경화증, 척수 손상 환자를 대상으로 경막 내 항 경직제 투입의 효과를 알아보기 위하여 만들어 졌다. 그러므로 다른 목적으로는 약간 적절한 평가 방법이 아닐 수 있다. 연속(spasm) 정도를 하루 기준으로 평가하는 다른 연속 점수가 제시되었다 [17]. 이 논문에서는 Ashworth 척도와 연속 점수에 따른 근육 긴장의 정도를 점수화하여 경직의 정도를 평가하였는데 2명의 평가자가 10명의 환자를 대상으로 일정한 연관성이 있다고 하였다. 그러나 Priebe 등은[18] 85명의 척수 손상 환자를 대상으로 경직을 측정하여 연구하여 다양한 임상 변수와의 연관성이 적다고 하였고, 현재에도 이 평가 방법의 신뢰도가 있다는 연구 결과는 부족한 편이다.

표 3 Penn spasm frequency scale

Table 3 Penn spasm frequency scale

Grade	Description
0	No spasms
1	Mild spasms at stimulation
2	Irregular strong spasms less than 1 time/h
3	Spasms more often than 1 time/h
4	Spasms more than 10 time/h

표 4 Spasm frequency scale

Table 4 The spasm frequency scale

Grade	Description
0	No spasms
1	One or fewer spasms per day
2	Between 1 and 5 spasms per day
3	Five to less than 10 spasms per day
4	Ten or more spasms per day, or continuous contraction

3.2 생체 역학적인 평가

등속성 근력계(isokinetic dynamometer)가 경직 평가를 위해 흔히 많이 사용된다[19]. 이는 이 기기를 이용하여 측정하려는 관절을 수동으로 일정한 각속도로 움직이면서 이때 발생하는 저항을 근력계를 이용하여 측정하는 것이다. 신장(stretching)의 속도 및 크기를 표준화 할 수 있다는 장점이 있으며, 이를 통하여 근육에 수동적 운동을 가하여 발생하는 속도-의존적 저항을 정량화 할 수 있다.

Firoozbakhsh 등은[20] 무릎 관절에서 초당 30도, 60도, 120도 속도로 수동적 신전과 굴곡 운동의 총 저항을 측정하였으며, 척수 손상 환자에서 정상인에 비하여 의미 있게 총 저항 회전력(torque)의 증가, 회전력-속도 회귀선에서 더욱 큰 경사도, 신장 속도에 비례하여 더욱 큰 탄감도를 보여주는 것을 확인하였다.

이러한 기존의 생체 역학적인 방법을 이용한 경직 측정 장비들은 너무 큰 공간을 차지하고 또한 이동할 수 없어서 임상에서 의사가 손쉽게 이용할 수 없었고 따라서 주로 연구 목적으로만 이용되었다. 또한 필요한 생체 신호 측정 변수가 부족한 단점이 있었다.

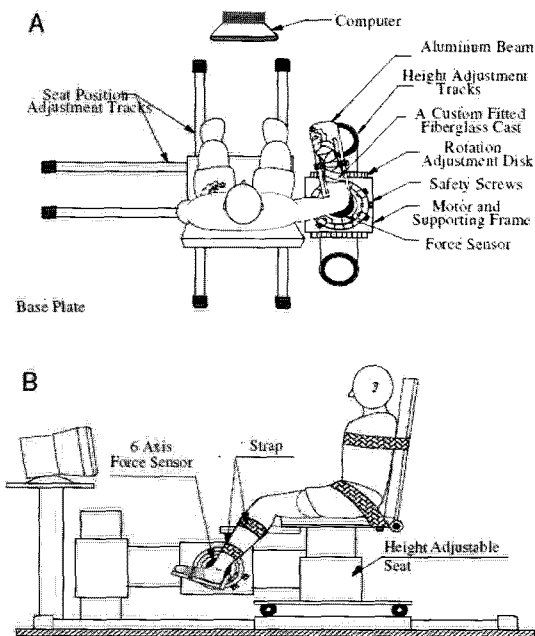


그림 1 등속성 근력계를 이용한 상지(A)와 하지(B)의 경직 평가 장치

Fig. 1 The example of the upper(A) and lower(B) extremity apparatuses in isokinetic dynamometer

3.3 진자 검사

진자 검사는 Wartenberg 등에[21] 의하여 1951년 소개되었다. 이 검사에서 환자는 앉거나 누운 자세에서 하지의 무릎 이하부위를 침대 가장자리에 걸쳐 늘어뜨린다. 다음에 평가자가 무릎 관절을 수동으로 신전시켰다가 갑자기 떨어뜨리면 중력에 의하여 하지가 아래로 떨어지면서 발생하는 진자운동을 관찰하는 것이다. 일반적으로 컴퓨터에 연결된

전자각도계를 이용하여 무릎 관절에 대하여 하지의 진자운동을 평가하게 되며, 경직이 있는 환자에서는 일반적으로 진자운동의 크기 및 횟수가 감소하는 것으로 알려져 있다. 정량적 평가를 위하여 무릎 관절의 첫 굴곡 위치와 마지막 위치사이의 각도 비를 측정하는 것이며, 이 비는 Ashworth 척도로 평가한 경직의 심한 정도와 연관성이 있는 것으로 알려져 있다[22].

이러한 장점에도 불구하고 몇 가지 단점이 존재하는데, 실험자를 긴장이 없는 상태로 유지하기 힘들며 무릎 관절에서만 사용이 가능하다는 것과 측정 변수가 너무 단순하여 경직의 정량화에 필요한 다양한 변수 측정이 어렵다는 것이다.

3.4 전기 생리학적 평가

지난 40-50년간 경직 정도나 경직 환자에서 보이는 과항진된 반응을 평가하기 위하여 근전도(electromyography, EMG)를 통하여 근육의 신장반사, 인대 타격(T-reflex), 근육을 지배하는 말초 신경의 전기 자극(H-reflex) 검사 등을 시행하여 전기 생리학적으로 경직과 관련된 반응을 측정하려 하였다.

그러나 이들 방법에는 몇 가지 문제점이 있다. 반응의 크기를 측정하는데 있어서 EMG는 전극을 붙이는 위치, 피부 저항, 피부 밑 지방, 근육 위축 등이 반응의 크기에 영향을 미친다. 그러므로 같은 실험자가 하여도 서로 다른 피검자의 절대적 반응 크기를 비교하는 것은 쉽지 않다. 또한 반응의 크기는 검사하는 손발의 다양한 관절의 위치[23], 전정기관(vestibular system)에 영향을 줄 수 있는 머리 위치[24] 등에도 영향을 받음이 밝혀졌다. 따라서 전기 생리학적 평가 시에는 관절 및 몸의 위치를 일정하게 유지하는 것이 중요하다.

또한 앞에 언급된 점들이 전부 제어되어도, 건강한 정상 성인에서도 EMG 반응의 크기는 다양한 H-반사 검사는 그 반응의 크기가 0-100%까지 나타날 수 있다[25]. 이러한 다양성에도 불구하고, 완전 안정적인 상태에서 경직이 있는 환자는 일반적으로 연령이 일치하는 정상 성인들에 비하여 더욱 큰 반응 크기를 보여주고 있다[26-29].

비록 전기 생리학적인 평가가 경직 평가에서 제한점이 있지만, 앞으로도 계속 중요한 기여와 역할을 할 것으로 생각된다. 그 이유는 첫째, 비교적 쉽고 정확하게 신장 반사 역치를 결정할 수 있으며[30-31], 둘째는 전기 생리학적 기술로 이미 경직의 병태생리와 관련하여 척추 신경세포 회로의 경직에 따른 변화된 전도의 정도를 연구할 수 있다는 점이다[32-33].

4. 제안된 경직의 새로운 이동형 측정 시스템

지금까지 설명한 현재까지의 경직 측정 시스템의 단점 즉, 측정 장비가 너무 커서 연구 목적으로만 사용이 된다가나 필요한 측정 변수가 부족한 점을 보완하기 위하여 저자들은 경직 측정 시스템을 새로 고안하였다.

새로 고안 제작된 이동형 근 경직 측정 시스템은 검사자의 힘을 이용하여 경직이 있는 피검자의 관절을 굴곡 및 신전시킬 때 발생하는 경직에 따른 반응을 그 때의 관절각도,

각속도, 근전도 반응 및 응력을 측정할 수 있도록 설계되었다. 관절 운동 시 각도는 검사자의 의도에 따라서 다양하게 할 수 있고, 2축의 각도 변화를 동시에 감지할 수 있는 전자 각도계(SG150, Biometrics, U.K.)를 이용하여 관절 각도를 측정하며, 각속도는 측정된 각도를 시간을 기준으로 미분하여 기록하였다. 수동 관절 운동 중 굴곡근 및 신전근의 근활성도를 측정하기 위해 직경이 10mm인 일회용 Ag-AgCl 전극(Meditrace, U.S.)을 사용하였으며, 경직 발생 시 피검자의 관절에 발생한 응력을 측정하기 위해 응력 센서(FlexiForce A201, Tekscan, U.S.)를 사용하였다.

장치는 크게 센서 모듈과 제어 모듈로 구성되며, 관절 운동 시 측정된 각도(1 채널), 근전도(2 채널), 응력(2 채널)의 총 5가지의 신호를 수집한다. 근전도와 응력 신호는 각 2채널로 측정되는데, 이는 관절 굴곡 운동과 신전 운동 시의 근육이 각각 다르므로, 각 운동 사이클 동안에 발생하는 경직 근육의 활동성(activity)을 개별적으로 진단할 수 있도록 하였다. 센서 모듈은 센서에서 측정된 신호의 잡음을 제거하고 신호를 증폭하기 위한 아날로그 필터 회로와 증폭 회

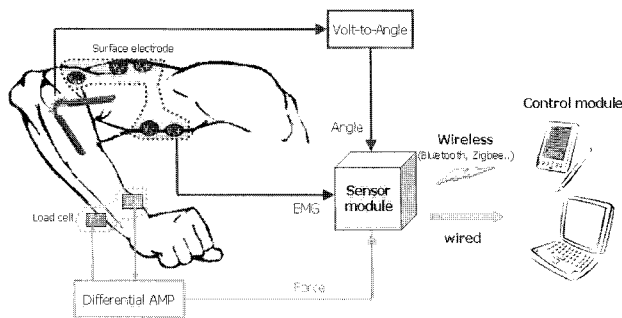


그림 2 제작된 장치의 블록도
Fig. 2 Block diagram of the constructed system

로 구성된다. 아날로그 필터 회로는 전원 잡음을 제거하기 위한 60Hz 노치 필터와 위신호 효과(aliasing effect)를 방지하기 위한 250Hz 저역통과 필터로 구성된다. 또한, 각도와 응력 신호는 30Hz 아날로그 버터워스 저역통과 필터를 이용하여 고주파 잡음을 제거하였으며, 근전도 신호는 20Hz 고역통과 필터를 사용하여 환자의 움직임이나 호흡 등으로 인해 유입된 동 잡음(motion artifact noise)을 제거하였다.

제어 모듈은 센서 모듈에서 측정된 신호를 모니터링하고 수집된 데이터를 저장하기 위한 것으로써, 각종 신호처리 수행 및 수집된 데이터를 그래프나 문자로 출력하기 위한 컴퓨터와 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하기 위한 A/D 컨버터(USB-6009, National Instruments™, U.S.)로 구성된다. 근 경직 검사 중 측정된 신호를 모니터링하고 저장하기 위해 Labview(ver. 8.6, National Instruments™, U.S.) 기반의 모니터링 소프트웨어를 제작하였다. 모니터링 소프트웨어는 각도, 각속도, 근전도, 응력의 추세를 한 화면상에 그래프와 숫자로 표시하고 동시에 저장하는 기능을 갖는다. 데이터 저장을 위해 아날로그 신호를 디지털 신호로 변환하며, 각 신호의 샘플링 주파수는 500Hz이다. 각도 신호는 센서가 부착된 위치에 따라 출력 값이 달라질 수 있으므로, 센서를 부착하고 팔을 완전히 편 상태에서 측정된 전압을 '0도'에 해당하는 값으로 설정하여, 이 값을 기준으로 관절 운동 시의 전압 변화를 각도 값으로 변환하여 저장한다. 근전도 신호는 원본 데이터의 실효값(root mean square, RMS)을 계산하여 저장한다. 응력 신호의 경우 피검자의 팔을 수동으로 굴곡/신전 운동 시키는 경우, 경직 발생으로 인한 팔의 토크 이외에도, 검사자의 악력 변화가 측정값에 직접적인 영향을 미칠 수 있으므로, 응력 신호의 절대값이 아닌, 두 측정값의 차이가 저장되게 하였다.

5. 결론

경직을 제대로 평가하기 위하여 여러 가지 측면에서 다양한 실험과 측정이 있었다. 그러한 이유는 중추신경 손상에 따른 경직이 임상적으로 반드시 해결되어야 할 과제이기 때문이다. 하지만 이러한 다양한 노력에도 불구하고 임상적으로 쉽게 측정할 수 있는 정량적 측정기기가 아직 없어서 경직에 대한 연구가 제대로 진행되지 않았었다. 이에 저자들은 현재까지의 경직 측정의 다양한 방법을 살펴보고 새로운 이동형 경직 측정 장치를 고안하고 제작하였다. 이러한 측정 장비를 이용하여 경직의 진단 및 치료가 정량적 평가 방법에 의하여 평가되면 경직의 연구 및 치료가 진일보 할 것으로 기대된다.

감사의 글

본 연구는 2008년도 정부(과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원(No.107533)과 2차 BK21 사업의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.



그림 3 제작된 장치의 사진
Fig. 3 Photograph of the constructed system

참 고 문 헌

- [1] American Academy of Neurology, "Assessment: the clinical usefulness of botulinum toxin-A in treating neurologic disorders", *Neurology*, Vol. 40, pp. 1332-1336, 1990.
- [2] R. R. Young, "Spasticity: review", *Neurology*, Vol. 44, pp. S12-20, 1994.
- [3] K. M. Zackowski, A. W. Dromerick, S. A. Sahrman, W. T. Thach, A. J. Bastian, "How do strength, sensation, spasticity and joint individuation relate to the reaching deficits of people with chronic hemiparesis", *Brain*, Vol. 127, pp. 1035-1046, 2004.
- [4] S. H. Pierson, "Outcome patterns of clinical motor dysfunction", *Muscle Nerve*, Vol. 20, pp. S36-S60, 1997.
- [5] T. Platz, C. Eickhof, G. Nuyens, P. Vuadens, "Clinical scales for the assessment of spasticity, associated phenomena, and function: a systematic review of the literature", *Disabil Rehabil*, Vol. 27, pp. 7-18, 2005.
- [6] D. E. Wood, J. H. Burrige, F. M. Van Wijck, C. McFadden, R. A. Hitchcock, A. D. Pandyan, A. Haugh, J. J. Salazar-Torres, I. D. Swain, "Biomechanical approaches applied to the lower and upper limb for the measurement of spasticity: a systematic review of the literature", *Disabil Rehabil*, Vol. 27, pp. 19-32, 2005.
- [7] G. E. Voerman, M. Gregoric, H. J. Hermens, "Neurophysiological methods for the assessment of spasticity: the Hoffmann reflex, the tendon reflex, and the stretch reflex", *Disabil Rehabil*, Vol. 27, pp. 33-38, 2005.
- [8] B. Ashworth, "Preliminary trial of carisoprodol in multiple sclerosis", *Practitioner*, Vol. 192, pp. 540-542, 1964.
- [9] R. W. Bohannon, M. B. Smith, "Inter-rater reliability of a modified Ashworth Scale of muscle spasticity", *Phys Ther*, Vol. 67, pp. 206-207, 1987.
- [10] R. L. Sloan, E. Sinclair, J. Thompson, S. Taylor, B. Pentland, "Inter-rater reliability of the modified Ashworth scale for spasticity in hemiplegic patients", *Int J Rehabil Res*, Vol. 15, pp. 158-161, 1992.
- [11] S. C. Allison, L. D. Abraham, C. L. Petersen, "Reliability of the modified Ashworth scale in the assessment of plantarflexor muscle spasticity in patients with traumatic brain injury", *Int J Rehabil Res*, Vol. 19, pp. 67-78, 1996.
- [12] J. M. Gregson, M. Leathley, A. P. Moore, A. K. Sharma, T. L. Smith, C. L. Watkins, "Reliability of the tone assessment scale and the modified Ashworth scale as clinical tools for assessing poststroke spasticity", *Arch Phys Med Rehabil*, Vol. 80, pp. 1-13-1016, 1999.
- [13] J. M. Gregson, M. J. Leathley, A. P. Moore, T. L. Smith, A. K. Sharma, C. L. Watkins, "Reliability of measurements of muscle tone and muscle power in stroke patients", *Age Ageing*, Vol. 29, pp. 223-228, 2000.
- [14] M. Blackburn, P. van Vliet, S. P. Mockett, "Reliability of measurements obtained with the Modified Ashworth scale in the lower extremities of people with stroke", *Phys Ther*, Vol. 82, pp. 25-34, 2002.
- [15] A. D. Pandyan, G. R. Johnson, C. I. M. Price, R. H. Curless, M. P. Barnes, H. Rodgers, "A review of the properties and limitations of the Ashworth and modified Ashworth scales as measures of spasticity", *Clin Rehab*, Vol. 13, pp. 373-383, 1999.
- [16] R. D. Penn, "Intrathecal baclofen for severe spinal spasticity", *N Engl J Med*, Vol. 320, pp. 1517-1521, 1989.
- [17] B. J. Snow, J. K. C. Tsui, M. H. Bhatt, M. Varelas, S. A. Hashimoto, D. B. Calne, "Treatment of spasticity with botulinum toxin: a double blind study", *Ann Neurol*, Vol. 28, pp. 512-515, 1990.
- [18] M. M. Priebe, A. M. Sherwood, J. I. Thornby, N. F. Kharas, J. Markowski, "Clinical assessment of spasticity in spinal cord injury: a multidimensional problem", *Arch Phys Med Rehabil*, Vol. 77, pp. 713-716, 1996.
- [19] L. Alibiglou, W. Z. Rymer, R. L. Harvey, M. M. Mirbagheri, "The relation between Ashworth scores and neuromechanical measurements of spasticity following stroke", *J Neuro Eng Rehab*, Vol. 5, pp. 18, 2008.
- [20] K. K. Firoozbakhsh, C. F. Kunkel, A. M. E. Scremin, M. S. Moneim, "Isokinetic dynamometric technique for spasticity assessment", *Am J Phys Med Rehabil*, Vol. 72, pp. 379-385, 1993.
- [21] R. Wartenberg, "Pendulousness of the legs as a diagnostic test", *Neurology*, Vol. 1, pp. 18-24, 1951.
- [22] G. C. Leslie, C. Muir, N. J. Part, R. C. Roberts, "A comparison of the assessment of spasticity by the Wartenberg pendulum test and the Ashworth grading scale in patients with multiple sclerosis", *Clin Rehabil*, Vol. 6, pp. 41-48, 1992.
- [23] J. Cheng, J. D. Brooke, J. E. Misiaszek, W. R. Staines, "The relationship between the kinematics of passive movement, the stretch of extensor muscles of the leg and the change induced in the gain of the soleus H reflex in humans", *Brain Res*, Vol. 672, pp. 89-96, 1995.
- [24] S. Tracis, G. Rosati, S. Patraskakis, M. Bissakou, G. F. Sau, I. Aiello, "Influences of neck receptors on soleus motoneuron excitability in man", *Exp Neurol*, Vol. 95, pp. 76-84, 1987.
- [25] J. W. Crayton, S. King, "Inter-individual variability of the H-reflex in normal subjects", *Electromyogr Clin Neurophysiol*, Vol. 21, pp. 183-200, 1981.

- [26] A. M. Bakheit, V. A. Maynard, J. Curnow, N. Hudson, S. Kodapala, "The relation between Ashworth scale scores and the excitability of the alpha motor neurones in patients with post-stroke muscle spasticity", J Neurol Neurosurg Psychiatry, Vol. 74, pp. 646-648, 2003.
- [27] E. Toft, "Mechanical and electromyographic stretch responses in spastic and healthy subjects", Acta Neurol Scand Suppl, Vol. 163, pp. 1-24, 1995.
- [28] I. Milanov, "Clinical and neurophysiological correlations of spasticity", Funct Neurol, Vol. 14, pp. 193-201, 1999.
- [29] M. F. Levin, C. Hui-Chan, "Are H and stretch reflexes in hemiparesis reproducible and correlated with spasticity?", J Neurol, Vol. 240, pp. 63-71, 1993.
- [30] S. W. Chou, L. D. Abraham, I. S. Huang, Y. C. Pei, C. H. Lai, A. M. Wong, "Starting position and stretching velocity effects on the reflex threshold angle of stretch reflex in the soleus muscle of normal and spastic subjects", J Formos Med Assoc, Vol. 104, pp. 493-501, 2005.
- [31] D. Y. Kim, C. I. Park, J. S. Chon, S. H. Ohn, T. H. Park, I. K. Bang, "Biomechanical assessment with electromyography of poststroke ankle plantar flexor spasticity", Yonsei Med J, Vol. 46, pp. 546-554, 2005.
- [32] R. Katz, "Presynaptic inhibition in humans: a comparison between normal and spastic patients", J Physiol Paris, Vol. 93, pp. 379-385, 1999.
- [33] H. Hultborn, "Changes in neuronal properties and spinal reflexes during development of spasticity following spinal cord lesions and stroke: studies in animal models and patients", J Rehabil Med, Vol. 41, pp. 46-55, 2003.



서 정 환 (徐廷煥)

1962년 11월 11일생
 1987년 연세대학교 의대 의학과 졸업
 1991년/1994년 동대학원 의학과 졸업(석사, 박사)
 2004~2006년 대한재활의학회 감사
 1996년~현재 전북대 재활의학과 교수
 Tel : 063-250-1797
 Fax : 063-250-1797
 E-mail : vivaseo@chonbuk.ac.kr



한 상 형 (韓相榮)

1980년 3월 2일생
 2004년 전북대학교 의과대학 의학과 졸업
 2007년 동 대학원 의학과 졸업(석사)
 2009년~현재 동 대학원 박사과정
 Tel : 063-250-1725
 Fax : 063-254-4145
 E-mail : dynohero@hanmail.net



김 거 식 (金巨植)

1978년 7월 5일생
 2004년 전북대학교 전자정보공학부 졸업
 2006년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사)
 2006년~현재 동 대학원 박사과정
 Tel : 063-270-4317
 Fax : 063-270-4317
 E-mail : keosikis@chonbuk.ac.kr



안 양 수 (安洋洙)

1981년 5월 29일생
 2007년 전북대학교 전자정보공학부 졸업
 2007년~현재 동 대학원 석사과정
 Tel : 063-207-4317
 Fax : 063-270-4317
 E-mail : yangsu@chonbuk.ac.kr

저 자 소 개



송 철 규 (宋哲奎)

1962년 11월 10일생
 1987년 연세대학교 의용전자공학과 졸업
 1991년/1998년 동대학원 전기공학과 졸업(석사, 박사)
 1994~1999년 삼성종합기술원 전문연구원
 1999년~현재 전북대 전자정보공학부 부교수
 Tel : 063-270-4282
 Fax : 063-270-4282
 E-mail : cgsong@chonbuk.ac.kr