

정상 성인의 슬관절 진자검사

연세대학교 의과대학 재활의학교실 및 재활의학연구소

김성우 · 전중선 · 박창일 · 최은희

= Abstract =

Pendulum Test on the Knee Joint in Normal Adults

Seong Woo Kim, M.D., Joong Son Chon, M.D., Chang Il Park, M.D.
and Eun Hee Choi, M.D.

Department of Rehabilitation Medicine, Research Institute of Rehabilitation Medicine,
Yonsei University College of Medicine

This study was performed to establish the normal values of the relaxation index and angular velocity through the pendulum test on the knee joint using an electrogoniometer. Fifty normal subjects participated in the study. The age ranged from 21 to 67 years old with 25 males and 25 females. Each subject was placed in a supine position and the electrogoniometer was attached to their knee joint. The leg was then dropped and the knee was allowed to swing passively.

The relaxation index was 1.678 ± 0.090 . The first angular velocity was 3.873 ± 0.622 rad/s and the second angular velocity was 3.076 ± 0.551 rad/s. There was no difference in parameters according to age or gender.

For more precise measurement of spasticity, analysis of the electromyographic signals recording simultaneously with pendulum test would be needed.

Key Words: Pendulum test, Electrogoniometer, Relaxation index

서 론

중추신경계 손상으로 인해 발생되는 경직(spasticity)은 운동장애를 가지고 있는 환자의 재활치료에 있어서 큰 장애가 되고 있으며, 이러한 경직을 정량적으로 평가하는 것은 참으로 어려운 일이다. 현재까지 이용되는 방법들은 경직이 있는 관절을 수동적 혹은 능동적으로 움직였을 경우 발생되는 토크(torque)와 근전도 신호를 분석하는 생역학적 방법(biomechanical investigation), H-reflex, T-reflex, F-wave 등을 이용하는 전기생리학적 방법과 진자검사(pendu-

lum test) 등이 있다.

이 중 진자검사는 1951년 Wartenberg²⁰⁾가 환자를 의자에 앉히고 하자를 수평으로 들어 올린 후 떨어뜨려 발생되는 진자운동을 관찰하면서 처음 소개되었고, Bajd와 Vodovnik⁸⁾, Bajd와 Bowman⁷⁾은 전기 측각기(electrogoniometer)를 사용하여 슬관절에서의 진자운동을 관측함으로써 경직의 정량적 평가의 한 방법을 제시하였다. 그 후 이 방법을 이용하여 여러 연구자들에 의해 정상인의 슬관절 운동에 대한 연구¹¹⁾, 경직이 있는 환자를 대상으로 경직의 평가에 대한 연구^{12, 15, 16)}들과 경직에 대한 전기치료의 효과에 대한 연구^{9, 17, 18)}들이 진행되어 왔다. 이외에도 1985년 Knuts-

son¹⁴⁾, Bohannon¹⁰⁾ 등은 각속도 300°/sec 에서의 등속성 역량계(Isokinetic Dynamometer)를 이용한 진자검사를 시도한 바 있고, 최근에는 컴퓨터를 이용한 비데오 동작분석기기를 이용하여 전기측각기없이 진자검사를 시도한 연구¹⁵⁾도 시행되었다. 국내에서는 1989년 장등³⁾이 등속성 역량계를 이용하여 경직이 있는 환자에서의 연구를 시행한 이후로 다양한 방법으로 진자검사를 이용하여 여러 연구들^{1,2,4~6)}이 진행되었다.

그러나 등속성 역량계를 이용한 진자검사는 자유로운 슬관절의 움직임을 방해할 수 있고, 슬관절의 축과 기계의 축이 일치하지 않는다는 몇가지 문제점이 있다. 이에 저자들은 한국 정상성인의 슬관절에서의 진자운동을 전기측각기를 이용하여 관측하고, 성별 연령 별에 따른 이완지수 및 각속도를 구하여 향후 경직성 하지마비 환자들의 경직의 평가와 치료효과 판정의 기준으로 삼고자 한다.

연구 대상 및 방법

1) 연구 대상

중추 및 말초신경계질환이나 근골격계 질환이 없고 슬관절 기능에 장애가 없는 정상성인을 20대에서 60대까지 각 연령별의 남녀 5명씩 총 50명을 대상으로 하였다(Table 1).

2) 검사 방법

피검자를 앙와위 자세로 검사대위에 눕힌 다음 슬관절 이하 부분은 검사대 밑으로 떨어뜨린 상태에서 충분히 이완할 수 있게 하였다. 측정판에 대퇴부를 고정시키고, 전기측각기(Penny & Giles 회사 제품)는

슬관절에 평행하게 부착시켰다. 검사자가 피검자의 우측 발을 잡고 슬관절을 신전시켜 침대와 평행이 되는 위치까지 들어올렸다가 자연스럽게 떨어뜨려 단지 중력에 의해서만 움직여지는 슬관절의 진자운동을 측정하였다(Fig. 1).

측정치로는 경직의 평가에 가장 의미있다고 밝혀진 이완지수(R. I.=relaxation index)와, 첫 번째와 두 번째의 각속도(angular velocity)를 구하였다. 이완지수는 Bajd와 Bowman, Bajd와 Vodovnik 의 방법대로 구하였는데, 슬관절을 자연스럽게 떨어뜨렸을 때 처음 일어난 굴곡 각도(ϕ_1)를 초기 신전된 각도(ϕ_0)로 나눈 값으로 하였다(Fig. 2). 처음 슬관절이 굴곡될때의 최대각속도를 첫 번째, 그 후 다시 신전될때의 최대 각속도를 두 번째 각속도라 정의하였다(Fig. 3).

정상인에서의 이러한 측정치들은 진자검사를 30초 간격으로 10회씩 반복하여 그 평균값을 구하였는데, 각각의 값이 평균값의 표준편차의 2배를 벗어날 때는 그 값을 제외한 나머지 값으로만 평균을 다시 구하였다.

3) 자료 분석

(1) 전기측각기로 슬관절의 진자운동을 측정하여 A/D converter와 증폭기를 거쳐 컴퓨터에 내장된 소프트웨어 프로그램(일본 전기제작 판매주식회사 제품)으로 입력이 되고 이를 분석하여 각도와 각속도 등을 구하였다.

Table 1. Age & Sex Distribution in Normal Persons

Age	Sex		Total
	Male	Female	
20~29	5	5	10
30~39	5	5	10
40~49	5	5	10
50~59	5	5	10
60~69	5	5	10
Total	25	25	50

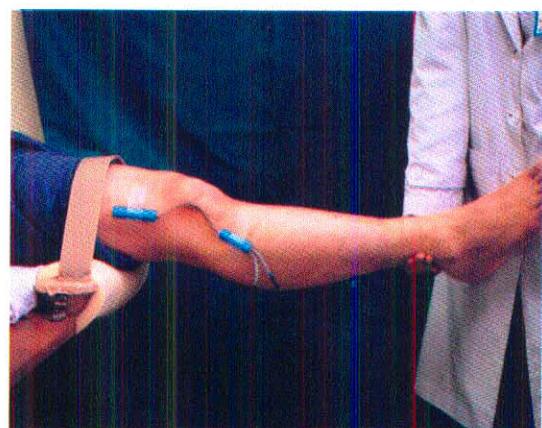


Fig. 1. Starting position of pendulum test.

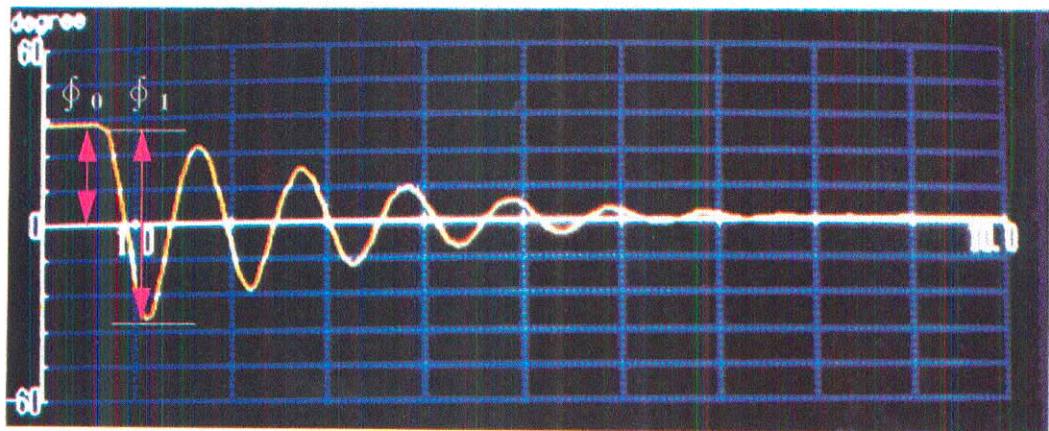


Fig. 2. Relaxation index $= \phi_1/\phi_0$.

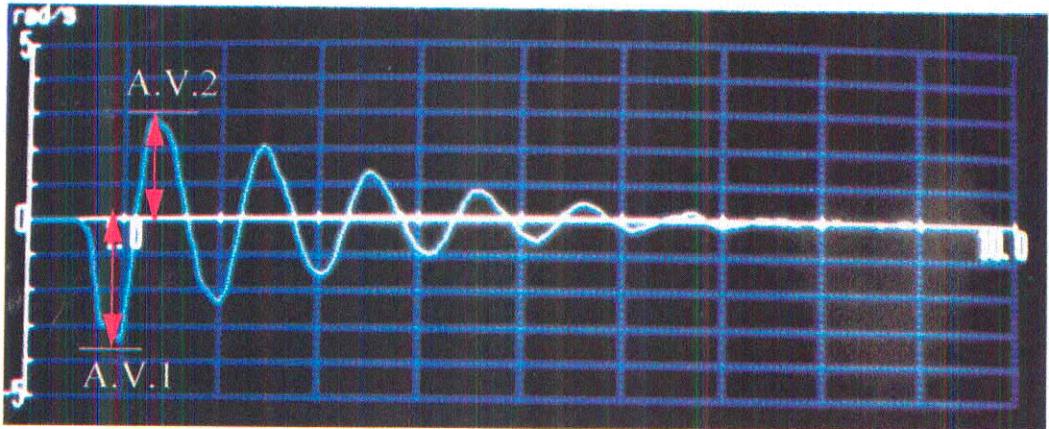


Fig. 3. A.V.1: Angular velocity at the first swing.
A.V.2: Angular velocity at the second swing.

(2) 통계방법은 SPSS를 이용하였는데, 성별에 따른 각 측정치들의 비교는 independent t-test를 이용하였고 연령과 측정치간에는 상관관계를 구하였다.

결 과

1) 정상 성인 50명에서 실시한 슬관절의 진자검사에서, 성별에 따른 이완지수는 남자에서 1.689 ± 0.091 , 여자에서 1.667 ± 0.090 로 남녀간에 통계학적으로 유의한 차이를 보이지 않았으며 ($p > 0.05$), 첫 번째 각속도와 두 번째 각속도는 남자에서 각각 $3.763 \pm$

0.696 rad/s , $2.976 \pm 0.655 \text{ rad/s}$ 이고 여자에서 각각 $3.984 \pm 0.63 \text{ rad/s}$, $3.175 \pm 0.411 \text{ rad/s}$ 으로 역시 남녀간에 통계학적으로 유의한 차이는 없었다($p > 0.05$)(Table 2).

2) 정상 성인의 연령에 따른 이완지수는 20대에서 1.673 ± 0.090 , 30대에서 1.687 ± 0.073 , 40대에서 1.646 ± 0.096 , 50대에서 1.701 ± 0.125 , 60대에서 1.629 ± 0.029 이었으며, 연령에 따른 상관관계는 통계학적으로 유의하지 않았다. 첫 번째 각속도는 20대에서 60대까지 각각 3.864 ± 0.591 , 4.008 ± 0.655 , 3.701 ± 0.577 , 4.078 ± 0.549 , $3.488 \pm 0.73 \text{ rad/s}$ 이었고, 두 번째 각속도는

Table 2. Parameters According to Gender

Gender(n)	R.I.*	Angular velocity(rad/s)	
		First	Second
Male (25)	1.689±0.091	3.763±0.696	2.976±0.655
Female(25)	1.667±0.090	3.984±0.630	3.175±0.411

Mean±S.D.

R.I.*: Relaxation Index

Table 3. Parameters According to Age

Age(n)	R.I.*	Angular velocity(rad/s)	
		First	Second
20~29(10)	1.673±0.090	3.864±0.591	3.219±0.471
30~39(10)	1.687±0.073	4.008±0.655	3.250±0.465
40~49(10)	1.646±0.096	3.701±0.577	2.981±0.387
50~59(10)	1.701±0.125	4.078±0.549	3.165±0.520
60~69(10)	1.629±0.029	3.488±0.973	2.463±0.999
Total(50)	1.678±0.090	3.873±0.622	3.076±0.511

Mean±S.D.

R.I.*: Relaxation Index

도는 각각 3.219 ± 0.471 , 3.250 ± 0.465 , 2.981 ± 0.387 , 3.165 ± 0.520 , 2.463 ± 0.999 rad/s로 역시 연령에 따른 상관관계는 통계학적으로 유의하지 않았다(Table 3).

3) 정상 성인의 이완지수는 1.678 ± 0.090 이었고, 첫 번째 각속도는 3.873 ± 0.622 rad/s, 두 번째 각속도는 3.076 ± 0.551 rad/s이었다.

고 찰

경직을 평가하기 위한 방법의 하나인 진자검사는 슬관절이 신전된 상태에서 중력에 의하여 하지가 아래로 떨어지면서 발생되는 진자운동을 관찰하는 것으로서, 이러한 진자운동은 하지의 viscoelastic element(점성과 탄성력)에 의해 그 진폭이 점차로 줄어들면서 결국 멈춰지게 되고 이러한 슬관절의 움직임을 운동형상학적인 정보로 구하여 분석하게 된다.

진자검사는 1951년 Wartenberg²⁰⁾가 도입한 후,

전기측각기의 개발과 함께 경직의 진단과 치료 효과의 판정을 위하여 Bajd와 Vodovnik⁸⁾, Bajd와 Bowman⁷⁾이 발전시켜 왔다. 또한 Knutsson¹⁴⁾, Bo-hannon과 Larkin¹⁰⁾은 Cybex II 등속성 역량계를 이용하여 슬관절의 진자검사를 시행하여 그 신뢰성을 입증한 바 있고, 국내에서도 장등³⁾, 한등^{5,6)}이 등속성 역량계를 이용하여 정상인과 편마비환자에서의 슬관절의 경직에 대한 연구결과를 보고하였다.

그러나 등속성 역량계를 이용하여 진자검사를 시행할 때에는 몇 가지 문제점이 발생하게 된다. 등속성 역량계의 묵직한 페딩에 의해 슬관절의 자유로운 움직임이 제한을 받으며, 과도한 슬관절의 굴곡을 막기 위해 제작된 반침에 의해 굴곡운동이 방해를 받게 된다. 또한 등속성 역량계의 회전축은 고정이 되어 있고, 슬관절의 회전축은 움직임에 따라 변하기 때문에 이 두 가지 축이 운동범위동안 일치하지 않아서 슬관절의 운동을 부자연스럽게 만들고 결국은 관절운동에 제한을 주게 되는 것이다. 이러한 문제점은 1995년 Stillman¹⁸⁾이 시행한 것처럼 비데오를 이용하여 동작분석을 하게 되면 해결이 될 것으로 생각되나, 고가의 장비와 특별한 시설이 필요하며 시간이 많이 걸리는 단점이 있다. 전기측각기를 사용하게 되면 등속성 역량계를 사용하였을 때 나타나는 단점이 어느정도 해결되면서, 특별한 시설이 요구되지 않고 침상이나 외래에서도 검사가 가능하며 시간이 많이 걸리지도 않으므로 간편하게 할 수 있는 장점이 있다.

특히 저자들이 사용한 전기측각기(Penny & Giles 회사)의 경우는 그 부피나 무게가 적고 각도의 변화를 인지하는 금속편의 사이는 용수철로 연결이 되어 있어, 관절에 부착한 상태에서 진자운동을 유발시킬 경우 슬관절의 자유로운 운동을 방해하지는 않을 것으로 생각된다.

1982년 Bajd와 Bowman⁷⁾의 연구에 따르면 진자검사에 영향을 미치는 3가지 요소는 첫째 하지가 진자운동을 시작할 때의 슬관절의 굴곡 각도(starting angle), 둘째 피검자의 자세, 셋째 검사의 반복횟수라고 보고하였다. 이미 1970년 Burke¹³⁾이 밝힌 바와 같이 슬관절이 굴곡된 상태에서 진자운동을 시작할 수록 신전반사(stretch reflex)는 감소되어 나타나므로, 이런 경우 경직의 평가가 제대로 이루어질 수가 없다. 본 연구에서는 슬관절을 중립위치로 신전시킨

위치에서 검사를 시작하였으며, 검사자간의 오차를 줄이기 위하여 항상 동일한 검사자가 검사를 시행하였다.

슬관절 진자검사시 피검자의 자세에 대한 연구를 보면, Burke¹³⁾은 앙와위와 좌위를 비교한 결과 앙와위일 때가 검사 초기에 대퇴적근이 길어진 상태이므로 가장 민감하다고 하였고, 1988년 Brown¹²⁾은 결과에는 큰 차이가 없으나 좌위에서 시행할 경우 피검자가 이완하기가 쉽지않다고 하였다. 1989년 장등³⁾도 cybex 등속성 역량계를 이용한 검사에서 앙와위 자세로 검사하는 것이 더 유효하다고 보고하였다. 이에 저자들은 앙와위에서 무릎 이하부분을 검사대 아래로 떨어뜨린 상태에서 검사를 시행하였고 피검자들은 이러한 자세를 유지하는데 특별한 불편감을 호소하지 않았다.

진자검사를 반복해서 시행할 경우 검사 자체가 관절 운동을 유발시키는 결과가 되므로 다음 검사시 경직의 정도에 영향을 미치게 되어 경직이 감소되는 경향이 있기 때문에 검사를 반복할 경우 약 30초 이상의 간격을 두고 시행하여야 하며, 경직이 있는 환자에서는 기침, 재채기, 머리나 반대쪽 다리의 움직임에 따라 경직의 정도가 갑자기 달라질 수 있으므로 검사의 신뢰도를 높이기 위해서 진자검사를 10회 반복하는 것이 이상적이라고 하였다^{8,17)}. 1984년 Bajd와 Vodovnik⁹⁾에 의하면 2~3회 진자검사를 시행한 이후에야 이완지수 값의 변동이 적게 나타나기 때문에, 진자검사를 10회 반복해서 평균값의 표준편차의 2배를 넘어가는 값을 제외한 후에 나머지 값으로 다시 구한 이완지수를 선택하는 것이 좋다고 하였다. 그러므로 향후 진자검사를 경직의 평가에 이용할 때에는 보다 객관적이고 신뢰도 높은 결과를 얻기 위하여 연구자간의 반복횟수의 통일이 필요할 것으로 생각된다.

이전의 연구에서 1992년 전⁴⁾은 상지에서의 진자검사상 남녀 사이에 의미있는 차이가 있어 여자에서 관절의 움직임이 더 부드럽다고 하였고, 그후의 연구에서는 성별에 따른 차이가 없다¹⁰⁾고 보고하였다. 하지에서의 진자검사에 관한 연구는 많이 진행되어 왔으나 남녀 성별에 따른 차이에 대한 언급이 없었다. 본 연구에서는 슬관절에서의 진자검사 결과, 정상 성인의 이완지수는 남자에서 1.689 ± 0.091 , 여자에서 1.667 ± 0.090 , 첫 번째 각속도는 남자에서 3.763 ± 0.696 rad

/s, 여자에서 3.984 ± 0.630 rad/s 이었으며 두 번째 각속도는 남자에서 2.976 ± 0.655 rad/s, 여자에서 3.175 ± 0.411 rad/s으로 성별에 따른 이완지수와 각속도의 차이는 없는 것으로 나타났다.

상지에서의 진자검사상 40세를 전후로 비교한 연구에서 그 결과의 차이가 없다고 보고한 바⁴⁾ 있으나, 하지에서의 진자검사에서는 연령에 따른 결과를 비교한 바 없었는데, 청년기보다 노년기에 관절의 퇴행성 변화가 많이 생기고 운동량의 감소에 따른 연조직의 퇴행성 변화가 있을 수 있으므로 이러한 변화가 진자검사의 결과에 영향을 미칠 수도 있을 것이라는 생각이 들었다. 이를 확인하기 위하여 저자들은 20대부터 60대까지의 정상 성인 각 10명씩을 대상으로 진자검사를 실시하였고 그 결과 연령에 따른 이완지수나 각속도의 차이는 발견할 수 없었다.

Bajd^{7,8)}이 하지에서의 진자검사를 시행하였을 때에는 슬관절의 신근과 굴근에 표면형 전극을 부착시켜 진자운동과 동시에 근육에서 기록되는 근전도 신호를 분석하는 방법을 사용하였다. 그들은 진자검사시 발생되는 근전도 신호를 동시에 기록하는 방법이, 전기측각기만 사용하여 시행한 진자검사와 비교하였을 때 더 이상 얻을 수 있는 정보가 없고, 임상에서 빠른 시간 내에 간편하게 사용하기가 어렵다고 결론내렸으므로 근전도 신호를 정량적으로 분석하려는 시도는 하지 않았으며 그 이후 다른 연구자들도 특별히 이를 이용하려는 연구는 없었다. 그러나 앞으로 경직이 있는 환자에서 진자검사를 시행할 때 근전도 신호를 동시에 기록하여 주동근(agonist)과 길항근(antagonist)의 상호 작용, 중력에 따른 변화, 동시수축(co-contraction) 여부 등을 정량적으로 분석할 수 있으면 전기측각기만 사용하였을 때보다 더 많은 정보를 얻을 수 있을 것으로 생각한다. 현재 진자검사를 이용할 때 연구자마다 다른 점은 전기측각기의 사용 유무와 반복 횟수의 차이를 들 수 있다. 전기측각기 대신 등속성 역량계를 사용할 수도 있으나 그 단점은 이미 알려져 있으므로 가능하면 전기측각기를 사용하는 것이 좋을 것으로 생각되고, 반복횟수에 있어서는 경직의 평가에 대한 진자검사 자체의 신뢰성을 높이기 위하여 저자들이 사용한 방법을 쓰는 것이 바람직할 것으로 생각된다.

결 론

정상성인 50명을 대상으로 슬관절에서 실시한 진자검사에서 이완지수는 1.678 ± 0.090 , 첫 번째 각속도는 3.873 ± 0.622 rad/s, 두 번째 각속도는 3.076 ± 0.551 rad/s로 연령 및 성별에 따른 차이는 없었다. 향후 근전도 신호를 함께 기록하여 이의 정량적인 분석을 위한 시도를 하여 더욱 정확한 경직의 평가에 이용할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- 1) 손혁, 전중선, 이숙자, 이양수, 김경덕: 상지의 주관절에서 진자검사시 근긴장도에 따른 이완지수, 각속도 및 각각속도의 차이. 대한재활의학회지 1993; 17(2): 202-207
- 2) 장기언, 강세윤: 편마비 환자에서 경직성 평가를 위한 진자검사. 가톨릭대학 의학부 논문집 1991; 44: 887-894
- 3) 장기언, 박주현, 안용팔: 정상인과 경련성 편마비 환자에서 Cybex II+ dynamometer를 이용한 진자검사. 대한재활의학회지 1989; 13: 189-194
- 4) 전중선: 상지의 경직을 평가하는데 있어 진자검사의 유용성에 대한 연구. 대한재활의학회지 1992; 16(4): 418-423
- 5) 한태륜, 김진호, 전민호, 김상범: 편마비 환자에서의 경직의 평가. 대한재활의학회지 1993; 17(1): 18-25
- 6) 한태륜, 김진호, 전민호: 편마비 환자에서의 경직의 평가 (II). 대한재활의학회지 1994; 18(1): 68-75
- 7) Bajd T, Bowman B: Testing and modelling of spasticity. *J Biomed Eng* 1982; 4: 90-96
- 8) Bajd T, Vodovnik L: Pendulum testing of spasticity. *J Biomed Eng* 1984; 8: 846-851
- 9) Bajd T, Gregoric M, Vodovnik L, Benko H: Electrical stimulation in treating spasticity resulting from spinal cord injury. *Arch Phys Med Rehabil* 1985; 66: 515-517
- 10) Bohannon RW, Larkin PA: Cybex II isokinetic dynamometer for the documentation of spasticity. *Phys Ther* 1985; 65: 46-47
- 11) Brown RA, Lawson DA, Leslie GC, Part NJ: Observations on the applicability of the Wartenberg pendulum test to healthy, elderly subjects. *J Neurol Neurosurg Psychiatr* 1988; 51: 1171-1177
- 12) Brown RA, Lawson DA, Leslie GC, Macarthur A, MacLennan WJ, McMurdo MET, et al: Does the Wartenberg pendulum test differentiate quantitatively between spasticity and rigidity? A study in elderly stroke and Parkinsonian patients. *J Neurol Neurosurg Psychiatr* 1988; 51: 1178-1186
- 13) Burke D, Gillies JD, James WL: The quadriceps stretch reflex in human spasticity. *J Neurol Neurosurg Psychiatr* 1970; 33: 216-223
- 14) Knutsson E: Quantification of spasticity. In: Strupppler A, Weindl A, editors. *Electromyography and evoked potentials*. New York: Springer-Verlag 1985: 84-91
- 15) Leslie GC, Muir C, Part NJ, Roberts RC: A comparison of the assessment of spasticity by the Wartenberg pendulum and the Ashworth grading scale in patients with multiple sclerosis. *Clin Rehabil* 1992; 6: 41-48
- 16) Lin DC, Rymer WZ: A quantitative analysis of pendular motion of the lower leg in spastic human subjects. *IEEE Trans Biomed Eng* 1991; 38: 906-918
- 17) Robinson CJ, Kett NA, Bolan JM: Spasticity in spinal cord injured patients: 1. Short-term effects on surface electrical stimulation. *Arch Phys Med Rehabil* 1988; 69: 598-604
- 18) Stillman B, Phty D, McMeeken J: A Video-based version of the pendulum test: Technique and normal response. *Arch Phys Med Rehabil* 1995; 76: 166-176
- 19) Vodovnik L, Bowman BR, Hufford P: Effects of electrical stimulation on spinal spasticity. *Scan J Rehabil Med* 1984; 16: 29-34
- 20) Wartenberg R: Pendulousness of legs as a diagnostic test. *Neurology* 1951; 1:18-24