

## 뇌졸중에 의한 편마비 환자의 정중신경 체성감각유발전위의 임상적 관련성

부산대학교 의과대학 재활의학교실

박병규 · 신용범 · 이현충

- Abstract -

### Clinical Relevance of Median Nerve SEP among Hemiplegic Patients with Stroke

Byung Kyu Park, M.D., Yong Beom Shin, M.D., Hyun Choong Lee, M.D.

*Department of Rehabilitation Medicine, Pusan National University College of Medicine*

**Objectives:** To describe the relationship between median nerve somatosensory evoked potential (SEP) and clinical measures of motor and sensory impairments in hemiparetic upper extremity.

**Methods:** Twenty-two stroke patients underwent SEP assessments by stimulations of proximal and distal parts of both median nerves. SEPs were recorded over 5 sites over both hemispheres. Absolute latencies of N1, P1 and amplitude of N1/P1 were measured. Upper limb motor impairment was assessed with the Fugl-Meyer Motor Assessment (FMA). Sensory function measure includes proprioception and light touch sense in proximal and distal segments of the upper limb.

**Results:** Time interval after stroke onset was  $4.3 \pm 7.2$  months on the average. Distal SEP amplitude significantly correlated with proprioception of distal segment of upper limb. There were wide differences of the distribution of recording sites showing significant correlation according to dominancy of affected hemisphere. However, there was no significant correlation between SEP parameters and FMA score of the affected upper extremity. Presence of proximal SEPs correlated with level of light touch sense of proximal arm, but not proprioceptive function.

**Conclusion:** Close relationship of SEP to proprioception was apparent and can be affected by hemisphere dominancy. These results demonstrate that asymmetry of neural generator distributions between hemisphere can be presumed.

**Key Words:** Somatosensory evoked potential, Stroke, Clinical relevance

### 서 론

뇌졸중은 선진국뿐만 아니라 국내에서도 높은 이환율과 사망률을 나타내는 중요한 질환이다. 인지기능 뿐만 아니라 운동 및 감각기능이 손상될 수 있기 때문에 일

상생활동작 수행에 지장을 초래하게 된다. 그 중 상지의 기능 이상은 편마비 환자가 일상생활동작을 수행하는데 있어 가장 큰 장애의 원인이 된다. 이는 상지의 기능 회복이 하지에 비해 불량하기 때문인 것으로 생각된다.<sup>1</sup> 전대뇌동맥 경색에 비해 중대뇌동맥 경색이 흔하여 상지를 지배하는 대뇌 영역이 더 쉽게 손상될 수 있

Address reprint requests to **Hyun Choong Lee, M.D.**

Department of Rehabilitation Medicine, College of Medicine, Pusan National University College of Medicine

1-10 Seu-gu, Ami-dong, Busan, 602-739, Korea

TEL: 82-51-240-7485, FAX: 82-51-247-7485, E-mail: loflight@medimail.co.kr

고 서 있거나 걷는 동작으로 하지의 반복적 운동 및 자극의 빈도가 높아 뇌의 재조직화를 촉진시킬 기회가 많다. 그러므로 상지의 운동 및 감각 기능 장애는 오랜 시간동안 회복되지 않고 잔존할 수 있을 것으로 생각된다.

뇌졸중 이후 기능회복은 뇌의 감각-운동피질의 기능적 재조직화를 통하여 이루어지며 그 과정에서 구심성 신경계가 중요한 역할을 담당한다고 생각되고 있다.<sup>2,3</sup> 이에 대한 평가를 위하여 체성감각유발전위 검사가 뇌졸중 환자의 예후평가나 뇌 병변 부위와의 상관관계를 규명하고자 시도되기도 하였다.<sup>4,6</sup>

최근, 유병기간 6개월 이상의 만성 뇌졸중 환자 28명을 대상으로 체성감각유발전위와 운동기능과의 단면적인 상관관계가 조사된 바 있다.<sup>7</sup> 기록전극을 통상적인 기록부위인 C3'/C4' 과 이를 기준으로 내측 2 cm 및 외측 2 cm, 4 cm 부위에 각각 부착하고 완관절에서 정중신경을 자극하여 기록되는 체성감각유발전위를 기록하였다. 28명 중 16명의 환자에서 전위가 유발되었고 운동기능점수가 전위가 유발되지 않았던 12명에 비하여 통계학적으로 유의하게 높았다. 그리고 전위가 유발된 16명의 환자만을 대상으로 조사한 결과, C3'/C4' 및 이보다 2 cm 외측부에서 기록된 전위의 진폭이 운동기능과 유의한 상관관계 보였다. 그러나 이 연구에서는 전후 방향으로의 체성감각계 및 운동계의 기능적 재배치를 고려하지 않았고 상지 근위부를 자극하여 발생하는 전위를 분석하지 않았다. 원위부만 자극할 경우 근위부를 지배하는 신경분지들이 활성화되지 않기 때문에 근위부의 기능과 관련된 뇌 영역의 상태가 잘 반영되지

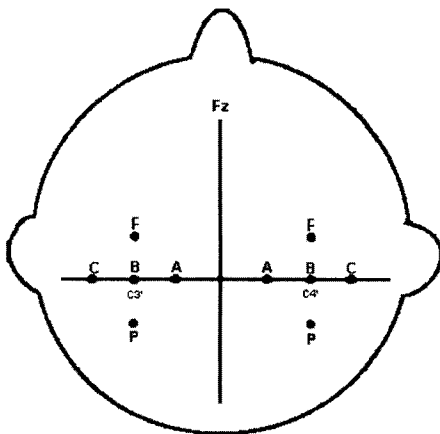
않을 수도 있다고 생각된다. 그리고, 이 연구에서는 만성 뇌졸중 환자들만을 대상으로 하였기 때문에 기능회복이 진행되는 시기의 단면적 상관관계를 분석할 수 없었다. 본 연구에서는 이와 같은 한계점들을 보완하여 뇌졸중 환자들을 대상으로 정중신경 체성감각유발전위와 상지의 운동기능 및 감각기능과의 상관관계를 조사하고자 한다.

## 연구 대상 및 방법

27세에서 66세까지(평균 49.6±11.9세)의 내과적, 신경학적으로 안정화된 뇌졸중 환자 22명으로 남자 12명, 여자 10명이었다. 손상 반구별로는, 우성반구 손상이 10명이었고 비우성반구 손상이 12명이었다. 뇌졸중의 분류별로, 출혈성 뇌졸중이 9명이었고 허혈성 뇌졸중이 13명(피질 9명, 피질밑 4명)이었다. 뇌졸중 발병 후 평균 유병기간은 4.3±7.2개월로 이중 15명의 경우 3개월 이하이었다. 대상 환자들은 모두 2단계 이상의 명령을 수행할 수 있었고 운동 및 감각기능 평가에 협조 가능하였다.

검사실의 온도를 22~24℃로 일정하게 유지하면서 Synergy (Oxford-Medelec, UK) 근전도기기를 사용하였고 양측 정중신경을 각각 자극하여 유발된 체성감각유발전위를 기록하였다. 자극의 강도는 단무지의 경미한 움직임이 육안으로 보이기 시작하는 정도로 하였고, 빈도는 초당 3회, 자극지속시간은 0.1 msec, 주파수 폭은 3 Hz~3 KHz, 기록속도는 5 msec/division, 기록감응도는 5 μV/division으로 설정하였다. 기록전극은 1 cm 길이의 표피 침전극을 이용하여 국제 뇌파 10~20 시스템에 입각한 Fz 지점에 참고기록전극을 삽입하였다. 활성기록전극은 통상적 부위 즉, C3'/C4' 에 삽입하였고 이 부위를 B 지점으로 정의하였다. 이를 기준으로 내측 및 외측 2 cm 부위에 각각 삽입하고 각각 A 및 C 지점으로 정의하였다. B 지점을 기준으로 전방 및 후방 3 cm 부위를 각각 F 및 P 지점으로 정의하였다. 완관절부 및 근위부 내측 상완부의 정중신경을 각각 자극하여 유발되는 체성감각유발전위를 기록하였다(Fig. 1).

400회 반복 자극 후 통합·평균하는 과정을 2회 시행하여 얻어진 체성감각유발전위의 N20과 P22, P27 전위를 조사하여 기록부위에 따른 잠시 및 진폭의 변화를 분석하였다. 모든 검사는 환측에서 먼저 시행 후 정상측에서 같은 방법으로 시행되었다. 진폭의 경우 N20 정점을 기준으로 그 이후에 유발되는 양성파형들 중 선택하여 환측의 최대진폭을 계산하였고, 정상에서도 환측 진폭 계산에 이용되었던 양성전위와 동일한 정상측 양성전위와 N20간의 진폭을 측정하였다.



**Fig. 1.** Placement of recording electrodes for somatosensory evoked potentials. One electrode was placed over C3'/C4' and was designated position B. Position A and C were located 2 cm medial and lateral to position B, respectively. Position F and P were apart 3 cm from position B anteriorly and posteriorly, respectively. Common reference electrode was placed over Fz.

상지의 운동 및 감각기능이 각각 체성감각유발 전위 시행 3일 전후에 평가되었다. 운동기능의 경우 상지의 Fugl-Meyer 운동기능평가를 이용하였다.<sup>8</sup> Fugl-Meyer 운동기능평가는 그 타당성과 신뢰성이 입증된 바 있고 특히 임상적으로 의미 있는 변화를 민감하게 반영하는 장점을 가지는 것으로 알려져 있다.<sup>9-12</sup> 감각기능의 경우, 고유감각 및 가벼운 촉각의 기능을 상지 근위부 및 원위부에서 각각 측정하였다. 점수 체계는 완전히 소실된 경우를 0점으로 하였고 부분소실을 1점, 정상인 경우를 2점으로 정하였다.

통계학적인 검정을 위하여 마이크로소프트 윈도우용 SPSS 10.0을 이용하였다. 전위 발생 유무에 따른 비교는 Mann Whitney U 검정으로 하였고 상관관계는 Spearman rank 상관계수를 이용하여 분석하였다. 각

분석 결과 P 값이 0.05 미만이면 통계학적으로 의미 있다고 정하였다.

## 결 과

정중신경을 완관절에서 자극한 경우 체성감각유발전위가 유발된 예는 22명 중 13명이었다. 체성감각유발전위의 발생 유무에 따른 상지의 Fugl-Meyer 운동평가 점수는 유의한 차이를 보이지 않았다(Table 1). 한편, 상지 원위부(수부 및 완관절)의 고유감각 및 가벼운 촉각의 기능의 수준은 전위가 유발된 경우 통계학적으로 의미 있게 높았다. 전위가 유발된 환자들만을 대상으로 분석하였을 경우 상지 원위부의 고유감각기능은 F, B,

**Table 1.** Comparison of Clinical Measures According to Presence of Distal SEP<sup>1</sup>

Measures	SEP (+)	SEP (-)	p
FMA <sup>2</sup> score	34.4±21.1	23.3±18.4	NS <sup>3</sup>
Proprioception - distal			< 0.05
0 (absent)	3	6	
1 (partial)	8	3	
2 (normal)	2	0	
Light touch - distal			< 0.05
0 (absent)	0	3	
1 (partial)	7	5	
2 (normal)	6	1	

Values are number of case or mean ± S.D.

1. SEP: Somatosensory evoked potential
2. FMA: Fugl-Meyer motor assessment
3. NS: Not significant

**Table 2.** Correlation of Distal SEP1 Amplitude with Distal Sensory Function

SEP	Affected Hemisphere	Proprioception		Light touch	
		Rho	p	Rho	p
	Amplitude - F	0.59	0.04	-	NS <sup>2</sup>
	Amplitude - B	0.64	0.02	-	NS
	Amplitude - C	0.64	0.02	-	NS
	Amplitude - P	0.67	0.01	-	NS
	Amplitude ratio - F	0.60	0.03	-	NS
	Amplitude ratio - A	0.57	0.04	-	NS
	Amplitude ratio - B	0.64	0.02	-	NS
	Amplitude ratio - C	0.71	0.01	-	NS
	Amplitude ratio - P	0.58	0.04	-	NS

1. SEP: Somatosensory evoked potential
2. NS: Not significant

C, P 부위에서 기록된 체성감각유발전위의 진폭 및 5 개 전체 기록 부위에서의 양측간의 진폭비와 통계학적으로 유의한 상관관계를 보였다(Table 2). 그러나 가벼운 촉각의 기능의 수준은 전위의 진폭과 의미 있는 상관관계를 보이지 않았다.

상지의 근위부(근위부 내측 상완)를 자극한 경우 체성감각유발전위가 유발된 예는 22명 중 16명으로 원위부 자극 때보다 3명 더 많았다. 원위부 자극의 경우와는 달리 상지 근위부(견관절)의 고유감각기능은 근위부 자극 체성감각유발전위의 유발 여부에 따른 차이를 보이지 않았고 가벼운 촉각기능 수준만이 전위가 유발된 경우에 통계학적으로 유의하게 높았다(Table 3).

우성반구 손상 환자 12명만을 대상으로 원위부 자극에 의한 체성감각유발전위의 발현 양상을 조사하였는데

전위가 유발된 예는 7명이었다. 상지 원위부의 고유감각기능과 전위의 진폭간에 통계학적으로 유의한 상관관계가 확인된 기록부위는 F 지점을 제외한 A, B, C, P 지점이었다(Table 4). 우성반구 손상 환자 10명의 경우, 원위부 자극에 의해 전위가 유발된 예는 6명이었다. 상지 원위부의 고유감각기능과 전위의 진폭간 상관관계는 F 지점에서만 통계학적으로 유의하였다.

## 고 찰

뇌졸중 이후 운동기능의 회복은 감각운동피질의 재배치와 깊은 연관성이 있다고 보고되고 있다.<sup>2,3,13</sup> 운동기능은 구심성 신경계와 원심성 신경계 사이의 복잡한 상

**Table 3.** Comparison of Clinical Measures According to Presence of Proximal SEP1

Measures	SEP (+)	SEP (-)	P
FMA <sup>2</sup> score	30.1 ± 21.3	29.2 ± 19.4	NS <sup>3</sup>
Proprioception - proximal			NS
0 (absent)	1	1	
1 (partial)	9	4	
2 (normal)	6	1	
Light touch - proximal			< 0.05
0 (absent)	0	1	
1 (partial)	8	5	
2 (normal)	8	0	

Values are number of case or mean ± S.D.

1. SEP: Somatosensory evoked potential
2. FMA: Fugl-Meyer motor assessment
3. NS: Not significant

**Table 4.** Correlation of Distal SEP1 Amplitude with Proprioception According to Affected Hemisphere

SEP	Affected Hemisphere		Non-dominant		Dominant	
	Rho	p	Rho	p	Rho	p
Amplitude - A	0.8	0.03	-		-	NS2
Amplitude - B	0.8	0.03	-		-	NS
Amplitude - C	0.8	0.03	-		-	NS
Amplitude - P	0.8	0.03	-		-	NS
Amplitude ratio - A	0.9	0.01	-		-	NS
Amplitude ratio - B	0.8	0.03	-		-	NS
Amplitude ratio - C	0.8	0.03	-		-	NS
Amplitude ratio - P	0.8	0.03	-		-	NS
Amplitude ratio - F	-	NS	0.85		0.85	0.03

1. SEP: Somatosensory evoked potential
2. NS: Not significant

호작용을 통하여 발현되기 때문에 동작을 실행하는 동안 체성감각피질 및 운동피질의 활동성이 함께 촉진된다.<sup>14,15</sup> 그러므로 뇌졸중 이후의 운동기능 회복은 감각기능, 즉 체성감각기능과 상관성이 있다고 생각되고 있다. 이러한 기능을 전기신경생리학적으로 평가하는 체성감각유발전위를 이용하여 뇌졸중 환자의 예후와 상관성을 조사한 결과들이 보고된 바 있다.<sup>16-18</sup>

이러한 연구보고에서 체성감각유발전위는 잠시와 진폭의 양상을 등급화 하여 임상적인 점수와 연관하여 평가되고 있다. 그러나 만성적인 뇌졸중 환자에서 체성감각유발전위가 유발되는 경우 잠시는 대개 정상범위일 가능성이 높다. 이는 전위가 유발될 정도로 신경 전달 경로가 안정화되기 때문에 다소 지연된다고 하더라도 그 차이를 등급화하기에는 어려움이 있기 때문이다. 그리고 체성감각유발전위를 발생시키는 신호발생기의 기능은 전위의 진폭에 더 잘 반영될 수 있기 때문에 진폭을 정확하게 측정하려는 노력이 필요하다고 생각된다.

최근, 뇌졸중 환자 28명을 대상으로 임상적인 평가방법인 Fugl-Meyer 운동평가 및 여러 부위에서 기록된 체성감각유발전위의 진폭간의 상관관계를 조사한 바 있다.<sup>7</sup> 그 결과 양측간의 진폭비가 Fugl-Meyer 운동평가 점수와 통계학적으로 유의한 상관관계가 있었다 ( $r=0.52-0.65$ ,  $p<0.05$ ). 이 경우 체성감각유발전위가 전두엽(F 지점)에서도 동시에 기록되어 진폭 측정에 이용되었다면 그 상관관계는 더 광범위하게 뚜렷하였을 것으로 기대된다. 그 이유는 이 지점에서 P22 발생 빈도가 높아 P22가 진폭측정에 이용될 가능성이 높아 운동영역의 기능과 연관될 수 있기 때문이다.

그러나 본 연구에서 체성감각유발전위와 운동기능과의 유의한 상관관계는 발견되지 않았다. 이는 대상 환자의 유병기간이 평균 4.3개월로 운동기능 회복이 진행되고 있을 가능성이 높고 그 과정 중에는 구심성 감각기능과 운동기능간의 단면적인 상관관계가 유의하지 않기 때문인 것으로 생각된다. 그리고, 체성감각유발전위와 감각기능간의 유의한 상관관계가 관찰되었던 점을 고려하면 감각계의 상태가 운동계의 병태생리학적 소견을 정확하게 반영하지 못한다고도 생각할 수 있다.

통상적인 쌍극기록 방식에 의해 유발되는 정중신경 자극 체성감각유발전위는 N20, P22, P27, N30 등의 근접부위 유발전위(near-field potential)로 구성된다.<sup>19</sup> N20 이후 나타나는 양성파형인 P22와 P27은 N20을 기준으로 한 진폭측정에 결정적인 영향을 준다. 이는 기록 부위에 따라 P22와 P27의 발현 양상이 다를 것으로 생각되며 경우에 따라서는 서로 융합되어 하나의 양성 파형으로 발현될 수도 있다. 1985년 Desmedt와 Bourguet<sup>20</sup>, 1987년 Desmedt 등<sup>21</sup>은 두정엽과 전두엽에서 기록되는 체성감각유발전위 양상을 칼라 영상으로 재조합하여 지도화하여 분석한 결과 P22는 시상-

피질투사(thalamocortical projection) 섬유를 통하여 전두엽의 제4 운동영역 및 보조운동영역에서 유발되고 P27은 감각피질의 다양한 체성감각 수용체들의 상호작용으로 발생된다고 되는 것으로 보고하였다.

P22와 P27은 서로 다른 성격의 신호발생기에서 유발되는 것이라고 생각되기 때문에 양측의 진폭을 측정할 경우에는 같은 방식으로 측정되어야 할 것이다. 예를 들어, 한쪽에서는 N20-P22의 진폭을 측정하고 다른쪽에서는 N20-P27 진폭을 측정하여 서로 비교한다면 그 타당성이 낮아질 것이다. 본 연구에서는 하나의 양성파형만 유발되어 P22와 P27을 구분할 필요가 없었던 경우가 11명이었고 나머지 11명의 경우에도 양측 같은 방식으로 진폭을 측정하여 양측간 비교의 신뢰성을 높이고자 하였다.

상지 원위부의 고유감각기능이 원위부 자극으로 유발된 체성감각유발전위의 진폭과 유의한 상관관계가 있어 통상적인 방법의 체성감각유발전위 검사의 유용성을 확인할 수 있었다. 그러나 이러한 상관관계는 손상 반구에 따라 많은 차이를 보였다. 감각기능과의 유의한 상관관계는 비우성반구 손상 환자의 경우 F 지점을 제외한 모든 영역에서 입증되었으나 우성반구 손상의 경우에는 F 지점에서만 확인되었다. 이는 양측 반구의 전위 신호 발생기의 분포가 비대칭적일 가능성을 시사한다. 이러한 비대칭성이 체성감각유발전위와 임상적 요소간의 상관관계를 약화시킬 수 있다고 판단되므로 향후 손상 반구별로 나누어 체성감각유발전위와 임상적 평가결과와의 상관관계를 조사해야 될 것으로 생각된다.

본 연구에서 근위부 자극에 의한 체성감각유발전위는 가벼운 촉각 기능과 유의한 상관관계를 보였고 운동기능이나 고유감각 기능과는 통계학적으로 의미 있는 상관성을 보이지 않아 그 유용성이 입증되지 못하였다. 근위부의 운동기능과 관련된 신경해부생리학적 소견은 원위부와는 많은 차이가 있기 때문에 통상적인 원위부 자극에 의한 체성감각유발전위와는 다른 양상을 보일 수도 있다고 생각된다. 근위부의 운동기능의 경우 피질척수로 뿐만 아니라 간접 피질-마상-척수 연결을 통해서도 구현 가능하고 반대측 정상 반구에 존재하는 동측 피질척수로 및 피질그물로의 활성화에 의해서도 조절되기 때문에, 감각기능의 경우도 원위부와는 다른 양상을 보일 수도 있을 것이다.<sup>22</sup> 그리고 상지 근위부의 기능은 상지 운동기능에 많은 영향을 미친다. 근위부의 운동기능이 원활하지 못하다면 원위부의 기능만으로는 만족스러운 상지 운동기능을 기대할 수 없기 때문이다. 완관절의 정중신경을 자극하는 통상적인 체성감각유발전위 검사에서는 근위부를 지배하는 신경섬유를 자극할 수 없는 한계가 있고 뇌졸중 후 기능회복이 근위부에서 시작되어 원위부로 반드시 진행되지 않는 않기 때문에 근위부에 대한 평가도 필요하다고 생각된다.<sup>23-25</sup> 본 연구

에서 3예의 환자의 경우 체성감각유발전위가 원위부 자극으로 발현되지 않으면서 근위부 자극으로 유발되었기 때문에 추적관찰을 통한 변화 양상 및 예후와 관련된 연구가 필요할 것으로 생각된다.

향후 운동기능 및 감각기능과 체성감각유발전위간의 상관성에 대한 추적연구를 통하여 예후와 관련된 인자를 분석하고 손상 대뇌반구에 따른 차이를 규명하려는 노력이 필요할 것으로 판단된다.

## 결 론

본 연구에서는 뇌졸중 후 평균 유병기간 4.3개월 환자 22명을 대상으로 통상적인 기록부위를 중심으로 전후방 및 내외측 부위 등 총 5 부위에서 체성감각유발전위를 기록하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 임상적으로 평가된 상지의 운동기능은 정중신경 자극 체성감각유발전위와 통계학적으로 유의한 상관관계를 보이지 않았다.
- 2) 상지 원위부의 고유감각기능은 상지 원위부 정중신경 자극 체성감각유발전위의 진폭과 유의한 상관관계를 보였으나 손상 반구에 따라 차이가 있었다. 비우성반구 손상 환자의 경우 유의한 상관관계가 대부분의 기록 부위에서 관찰되었으나 우성반구 손상환자의 경우 한 부위에만 국한되었다.
- 3) 상지 근위부 자극에 의한 체성감각유발전위는 가벼운 촉각 기능과 유의한 상관관계를 보였고 운동기능이나 고유감각 기능과는 유의한 상관관계가 확인되지 않았다.

이상과 같은 결과를 통하여 뇌졸중 후 기능회복이 진행되는 과정에서는 통상적으로 시행되고 있는 상지 원위부 자극 체성감각유발전위가 운동기능과는 관련성이 미약하지만 상지 원위부의 체성감각기능과는 깊은 연관성을 가지는 것으로 평가된다. 그러나 감각기능과 통계학적으로 유의한 상관관계를 나타내는 체성감각유발전위의 기록부위 분포가 손상 반구에 따라 차이가 뚜렷하였기 때문에 전위 신호 발생기의 분포가 비대칭적일 가능성을 생각할 수 있다. 향후 체성감각유발전위를 이용한 추적관찰을 통하여 예후와 관련된 연구 및 손상 반구별 차이를 평가해야 될 것으로 판단된다.

## 참고문헌

1. DeLisa JA: Rehabilitation Medicine, 3rd ed, Philadelphia: Lippincott-Raven, 1998, pp1176
2. Nudo RJ, Milliken GW: Reorganization of movement representations in primary motor cortex following focal

ischemic infarcts in adult squirrel monkeys. *J Neurophysiol* 1996; 75: 2144-2149

3. Nudo RJ, Wise BM, SiFuentes F, Milliken GW: Neural substrates for the effects of rehabilitative training on motor recovery after ischemic infarct. *Science* 1996; 272: 1791-1794
4. Feys H, Van Hees J, Bruyninckx F, Mercelis R, De Weerd W: Value of somatosensory and motor evoked potentials in predicting arm recovery after a stroke. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 2000; 68: 323-331
5. Gott PS, Karnaze DS, Fisher M: Assessment of median nerve somatosensory evoked potentials in cerebral ischemia. *Stroke* 1990; 21: 1167-1171
6. Vang C, Dunbabin D, Kilpatrick D: Correlation between functional and electrophysiological recovery in acute ischemic stroke. *Stroke* 1999; 30: 2126-2130
7. Park BK, Chae J, Lee YH, Yang G, Labatia I: Median nerve somatosensory evoked potentials and upper limb motor function in hemiparesis. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 2003; 43: 169-179
8. Fugl-Meyer AR, Jaasko L, Leyman I, Olsson S, Steglind S: The post-stroke hemiplegic patient: a method for evaluation of physical performance. *Scand J Rehabil Med* 1975; 7: 13-31
9. Berglund K, Fugl-Meyer AR: Upper extremity function in hemiplegia: a cross-validation study of two assessment methods. *Scand J Rehabil Med* 1986; 18: 155-157
10. Duncan PW, Goldstein LB, Matchar D, Divine GW, Feussner J: Measurement of motor recovery after stroke: outcome assessment and sample size requirements. *Stroke* 1992; 23: 1084-1089
11. Duncan PW, Propst M, Nelson SG: Reliability of the Fugl-Meyer assessment of sensorimotor recovery following cerebrovascular accident. *Phys Ther* 1983; 63: 1606-1610
12. Sanford J, Moreland J, Swanson LR, Stratford PW, Gowlan C: Reliability of the Fugl-Meyer assessment for testing motor performance in patients following stroke. *Phys Ther* 1993; 73: 447-454
13. Kusoffsky A, Wadell I, Nilsson BY: The relationship between sensory impairment and motor recovery in patients with hemiplegia. *Scand J Rehabil Med* 1982; 14: 27-32
14. Nudo RJ, Friel KM, Delia SW: Role of sensory deficits in motor impairments after injury to primary motor cortex. *Neuropharmacology* 2000; 39: 733-742
15. Tach WT: Neural basis of motor control: an overview. *Phys Med Rehabil Clin N Am* 1993; 4: 615-622

16. Minamide H, Onishi H, Yamashita J, Ikeda K: Reversibility of transient focal cerebral ischemia evaluated by somatosensory evoked potentials in cats. *Surg Neurol* 1994; 42: 138-147
17. Steinberg GK, Gelb AW, Lam AM, Manninen PH, Peerless SJ, Rassi Neto A, et al: Correlation between somatosensory evoked potentials and neuronal ischemic changes following middle cerebral artery occlusion. *Stroke* 1986; 17: 1193-1197
18. Zeman BD, Yiannikas C: Functional prognosis in stroke: use of somatosensory evoked potentials. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1989; 52: 242-247
19. Aminoff MJ, Eisen AA: AAEM minimonograph 19: somatosensory evoked potentials. *Muscle Nerve* 1998; 21: 277-290
20. Desmedt JE, Bourguet M: Color imaging of parietal and frontal somatosensory potential fields evoked by stimulation of median or posterior tibial nerve in man. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1985; 62: 1-17
21. Desmedt JE, Nguyen TH, Bourguet M: Bit-mapped color imaging of human evoked potentials with reference to the N20, P22, P27 and N30 somatosensory responses. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1987; 68: 1-19
22. Turton A, Wroe S, Trepte N, Fraser C, Lemon RN: Contralateral and ipsilateral EMG responses to transcranial magnetic stimulation during recovery of arm and hand function after stroke. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1996; 101: 316-328
23. Case-Smith J, Fisher AG, Bauer D: An analysis of the relationship between proximal and distal motor control. *Am J Occup Ther* 1989; 43: 657-662
24. Loria C: Relationship of proximal and distal function in motor development. *Phys Ther* 1980; 60: 167-172
25. 박병규, 양진환: 뇌졸중 환자의 운동기능 회복양상. *대한뇌졸중학회지* 2003; 5: 89-95