

자기자극에 의한 하지 운동유발전위*

계명대학교 의과대학 신경과학교실

김광수 · 임정근 · 이동국 · 이상도 · 박영준

서 론

운동유발전위(motor evoked potentials: MEP)는 인간의 피질척수로의 병태생리를 이해하고 구조적 이상여부 및 전도특성등을 검사하는데 유용한 방법이다(Merton과 Morton, 1980; Berardelli, 1991). 1980년 Merton과 Morton이 최초로 인간의 뇌운동 피질을 경두개적으로 전기자극하여 MEP를 유발하였으나 통증이 심하여 임상적으로는 응용되지 못하였다. 그후 1985년 Barker등에 의해 통증이 없는 자기자극 방법이 개발되어 다양한 중추신경계 병변에서 임상적으로 이용되게 되었다(Cowan등, 1984; Ingram과 Swash; Thompson등, 1987).

자기자극을 이용한 초기의 연구들은 주로 상지의 MEP반응을 통해서 뇌와 경부척수의 운동신경계 병태생리에 관해 알아보고자 하는 것들이 많았으나(Cowan등, 1984; Barker등; Berger등, 1985; Hess등; Hess와 Mills, 1986; Day등; Mill등; Rothwell등, 1987; Ingram등, 1988) 하지의 MEP는 적절하게 묘기하기 위한 기술적 어려움 때문에 상지의 MEP에 관한 연구보다는 늦은 편이었다(Chokroverty등; Chu; Ugawa등, 1989^b; Claus, 1990; Booth 등; Jones등, 1991). 그러므로 저자들은 본 교실의 전경골근(tibialis anterior muscle) MEP의 정상치를 수립하고 또한 소통(facilitation)에 따른 MEP의 변동, 좌우측 MEP의 잠복시간 및 진폭의 차이, 성별, 연령 및 신장에 따른 MEP의 변동등을 알아보기 위하여 본 연구를 시행하였다.

재료 및 방법

연구대상은 병력과 이학적 및 신경학적 검사상

피질척수로의 이상소견이 없는 것으로 생각되는 건강한 성인 50명(남자 25, 여자 25)으로 심장박동기나 기타 생체의학적 장비를 부착하지 않는 사람들이었다. 연령분포는 22-68세로 평균은 44.1±14.5세였으며, 평균신장은 163.2±8.96cm (147-183cm)였다.

실험방법은 모든 연구대상을 실내온도 섭씨 20-24도로 유지된 조용한 검사실에서 침대에 편안히 복과위로 눕게 하고 완전히 이완된 상태에서 Magstim 200 자기자극기기를 이용하여 자극하였으며 기록은 Medelec ER 94a/Sensor 기기를 이용하여 전경골근에서 MEP를 묘기하였다. 자기자극기의 최대 자장강도는 2.6 Tesla였으며 자기코일의 직경은 70mm로 1msec 이하의 순간적인 자극을 주었으며 이때 유도되는 최대 전압은 2900V였다. 자극부위는 두정부와 제 4-5요추간부로 뇌자기자극은 뇌파기록시 통용되는 국제적 10-20 방식의 Cz가 자기자극기코일의 중심부에 위치하도록 하여 자극하였으며 요추부자극은 제4-5요추간부가 자극기코일의 중심부에 위치하도록 하여 자극하였다. 만약 처음 자극부위에서 MEP가 유발되지 않는 경우에는 자극부위를 사방으로 조금씩 옮겨 가면서 수차례 반복하여 자극하였으며 반복 자극시 유발된 MEP의 진폭이 다소 차이가 있을 때는 진폭이 가장 큰 MEP를 선택하여 묘기하였다. 두정부 자극은 허용된 최대 강도인 100%에서 자극하였으며 제 4-5요추간부 자극은 최대 강도의 80%에서 자극하였다. 기록은 양측 하지의 전경골근에서 각각 복합근육활동전위를 묘기하였다. 기록전극은 슬관절과 족관절사이의 상방 1/3 되는 곳에 부착하였으며 기준전극은 기록전극에서 하방 4cm되는 곳에 부착하였고 접지전극은 기준전극 하방에 부착하였다.

모든 연구대상에서 두정부와 제 4-5요추간부 자

* 이 논문은 1993년도 계명대학교 율증연구비 및 동산의료원 조사연구비로 이루어졌음.

Table 1. TA-MEP in 50 normal subjects (Age 22-68 years, mean 44.1 years, height 147-183cm, mean 163.2cm)

	Latency(ms)		CMCT(ms)	Amplitude(μ V)	
	Vertex	L4-5		Vertex	L4-5
Mean \pm SD	31.2 \pm 2.68	13.3 \pm 1.62	17.9 \pm 2.26	749.0 \pm 424.6	526.0 \pm 261.0
Range	24.9-38.5	10.3-18.5	13.9-23.8	190-2200	230-1450

TA-MEP: Tibialis anterior motor evoked potentials.
CMCT: Central motor conduction time.

극시 전경골근 MEP가 특별한 부작용없이 용이하게 유발되었으며, 소통에 따른 MEP의 변동을 알아보기위해서는 족관절을 최대 근력의 약 10-20%로 배측 굴곡시킨 상태에서 검사하였다. 묘기된 MEP에서 잠복시간과 진폭을 구하였으며, 두정부를 자극하여 묘기되는 MEP의 잠복시간에서 제 4-5요추간부를 자극하여 묘기되는 MEP의 잠복시간을 뺀 차이로 중추운동전도시간(central motor conduction time : CMCT)을 구하였다. 또한 소통에 따른 MEP의 변동, 좌우측 전경골근 MEP의 잠복시간 및 진폭의 차이, 성별, 연령 및 신장에 따른 MEP의 변동 등도 알아 보았다.

본 연구에서 두군간 성적의 통계학적 분석은 Student's t검사를 이용하였으며 연령, 성별 또는 신장의 변화에 따른 각각 MEP의 변동은 단순회귀분석(univariate regression analysis)을 이용하였고, 연령, 성별 및 신장 모두를 변수로 할때 MEP의 변동은 다중회귀분석(multivariate regression analysis)을 이용하였다.

성 적

전경골근에서 기록된 MEP의 평균잠복시간은 두정부와 제4-5요추간부 자극시 각각 31.2 \pm 2.68 msec, 13.3 \pm 1.62 msec였으며, CMCT의 평균치는 17.9 \pm 2.26 msec였다. 그리고 평균진폭은 두정부와 제 4-5요추간부 자극에서 각각 749.0 \pm 424.6 μ v, 526.0 \pm 261.0 μ v였으며, 범위는 각각 190.0-2200.0 μ v, 230.0-1450.0 μ v였다(Table 1).

족관절 배측 굴곡에 의한 소통에 따른 MEP의 변동은 두정부자극에서만 관찰되었으며, 소통후 두정부자극시의 평균잠복시간은 29.8 \pm 2.41 msec였고 평균진폭은 1294.1 \pm 609.8 μ v로 완전히 이완된 상태에서 측정된 MEP에 비해 잠복시간은 유의하게 단축되었으며(p<0.01), 진폭은 유의하게 증가되었다

(p<0.01) (Table 2).

Table 2. TA-MEP differences between relaxed and contracted states

State	Vertex stimulation	
	Latency (ms)	Amplitude (μ V)
Relaxed	31.2 \pm 2.68	749.0 \pm 424.6
Contracted	29.8 \pm 2.41	1294.1 \pm 609.8
P-value*	<0.01	<0.01

Values are given as mean \pm SD.
*Significance relaxed vs. contracted.

두정부와 제 4-5요추간부 자극시 MEP의 좌우측간의 비교에서 평균잠복시간은 두정부 자극시 우측 31.0 \pm 2.68 msec, 좌측 31.4 \pm 2.96 msec였고, 제 4-5요추간부 자극시에는 우측 13.2 \pm 1.86 msec, 좌측 13.4 \pm 1.70 msec였으며, 평균 CMCT는 우측 17.8 \pm 2.20 msec, 좌측 18.0 \pm 2.74 msec였다. 그리고 평균진폭은 두정부 자극시 우측 752.8 \pm 487.6 μ v, 좌측 745.2 \pm 555.7 μ v였고, 제 4-5요추간부 자극시에는 우측 587.2 \pm 353.1 μ v, 좌측 464.8 \pm 271.0 μ v로서 두정부와 제 4-5요추간부 자극시 평균잠복시간, CMCT 및 진폭은 좌우측 사이에 차이가 없었다(Table 3).

성별에 따른 MEP의 비교에서 평균잠복시간은 두정부 자극시 남자 32.6 \pm 2.40 msec, 여자 29.8 \pm 2.40 msec였고, 제 4-5요추간부 자극시 남자 13.6 \pm 1.81 msec, 여자 13.0 \pm 1.68 msec였으며, 평균CMCT는 남자 19.1 \pm 2.35 msec, 여자 16.8 \pm 1.98 msec였다. 그리고 평균진폭은 두정부 자극시 남자 741.6 \pm 532.9 μ v, 여자 756.4 \pm 501.6 μ v였으며, 제 4-5요추간부 자극시 남자 627.6 \pm 369.8 μ v, 여자 424.4 \pm 210.3 μ v였다. 두정부 자극시의 평균잠복시간과 CMCT는 남자가 여자에 비해 유의하게 연장되었으며 (p<0.01), 제 4-5요추간부 자극시의 평균진폭도 남자가 여자에 비해 유의하게 증가되었으나 (p<0.05), 제 4-5요추간부 자극시의 평균잠복시간과 두정부 자극시의

Table 3. TA-MEP differences between right and left sides

Side	Latency(ms)		CMCT(ms)	Amplitude(μ V)	
	Vertex	L4-5		Vertex	L4-5
Right	31.0 \pm 2.68	13.2 \pm 1.86	17.8 \pm 2.20	752.8 \pm 487.6	587.2 \pm 353.1
Left	31.4 \pm 2.96	13.4 \pm 1.70	18.0 \pm 2.74	745.2 \pm 555.7	464.8 \pm 271.0
P-value*	NS	NS	NS	NS	NS
Right-Left difference	1.51 \pm 1.04	1.02 \pm 1.11	1.68 \pm 1.16	458.8 \pm 396.3	267.2 \pm 257.1

Values are given as mean \pm SD.
 *Significance right vs. left.
 NS: not significant.

Table 4. TA-MEP differences between Genders

Sex	Latency(ms)		CMCT(ms)	Amplitude(μ V)	
	Vertex	L4-5		Vertex	L4-5
Male	32.6 \pm 2.40	13.6 \pm 1.81	19.1 \pm 2.35	741.6 \pm 532.9	627.6 \pm 369.8
Female	29.8 \pm 2.40	13.0 \pm 1.68	16.8 \pm 1.98	756.4 \pm 501.6	424.4 \pm 210.3
P-value*	<0.01	NS	<0.01	NS	<0.05

Values are given as mean \pm SD.
 *Significance male vs. female.

평균진폭은 남녀간에 서로 유의한 차이가 없었다 (Table 4).

연령변화에 따른 MEP의 변동에서 두정부와 제 4-5요추간부 자극시의 잠복시간은 연령이 증가할수록 유의한 증가를 보였으며($p<0.01$), CMCT도 연령이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였으나 통계학적 유의성은 없었다. 그리고 두정부 자극시의 진폭은 연령변화에 따른 유의한 증감이 없었으나, 제 4-5요추간부 자극시에는 연령이 증가할수록 유의한 감소를 보였다($p<0.05$) (Figure 1-5).

신장변화에 따른 MEP의 변동에서 두정부 자극시의 잠복시간은 신장이 클수록 유의한 증가를 보였으나($p<0.01$), 제 4-5요추간부 자극시의 잠복시간은 신장에 따른 유의한 증감을 보이지 않았으며, CMCT는 신장이 클수록 유의한 증가를 보였다($p<0.01$). 그리고 두정부 자극시 진폭은 신장변화에 따라 유의한 증감을 보이지 않았으나 제4-5요추간부 자극시의 진폭은 신장이 클수록 유의한 증가를 보였다($p<0.05$) (Figure 6-10).

연령, 신장 및 성별을 변수로 하여 이들이 MEP의 잠복시간, CMCT 및 진폭에 미치는 영향을 알아보기 위해 다중회귀분석을 실시하였다. 두정부 자극시의 잠복시간에는 연령과 신장이 통계학적으로 유의한

변수로 선정되었으며 ($R^2=0.61$, $p<0.01$), 제 4-5요추간부 자극시의 잠복시간에는 연령만이 유의한 변수로 선정되었고, ($R^2=0.39$, $p<0.01$), CMCT에는 연령과 신장이 유의한 변수로 선정되었다($R^2=0.33$, $p<0.05$). 그리고 두정부 자극시의 진폭에서는 연령, 신장 및 성별 모두 유의한 예측변수로 선정되지 않

Table 5. Multiple regression analysis predicting TA-MEP according to age, sex and height

	B	Beta	T	P-value
Latency of cortical MEP ($R^2=0.61$)				
AGE	0.11	0.61	6.44	0.00
SEX	0.93	0.18	1.36	0.18
HEIGHT	0.14	0.45	3.44	0.00
Latency of spinal MEP ($R^2=0.39$)				
AGE	0.07	0.62	5.35	0.00
SEX	-0.06	-0.02	-0.01	0.92
HEIGHT	0.05	0.25	1.54	0.13
CMCT ($R^2=0.33$)				
AGE	0.05	0.29	2.39	0.02
SEX	0.93	0.21	1.23	0.23
HEIGHT	0.09	0.37	2.15	0.04
Amplitude of cortical MEP ($R^2=0.02$)				
AGE	-4.16	-0.14	-0.96	0.34
SEX	57.74	0.07	0.34	0.74
HEIGHT	-3.66	-0.08	-0.37	0.71
Amplitude of spinal MEP ($R^2=0.28$)				
AGE	-4.81	-0.27	-2.10	0.04
SEX	188.30	0.36	2.08	0.04
HEIGHT	2.75	0.09	0.53	0.60

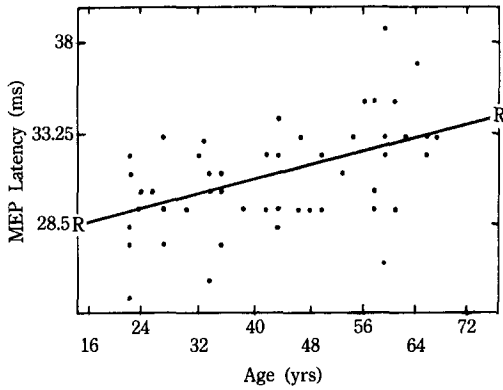


Fig. 1. Correlation between age and latency of cortical MEP. The line is expressed by $Latency = 0.09549 \times Age + 26.98901$. R value is 0.51684 and P value is < 0.001 .

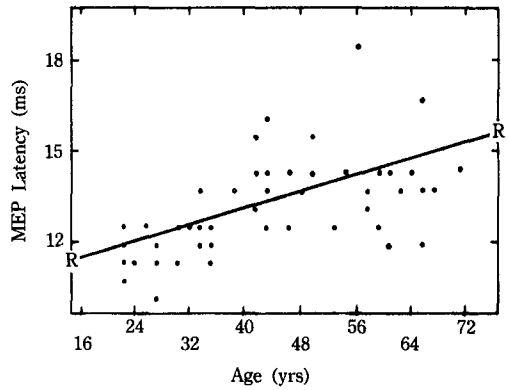


Fig. 2. Correlation between age and latency of spinal MEP. The line is expressed by $Latency = 0.06498 \times Age + 10.42370$. R value is 0.58120 and P value is < 0.001 .

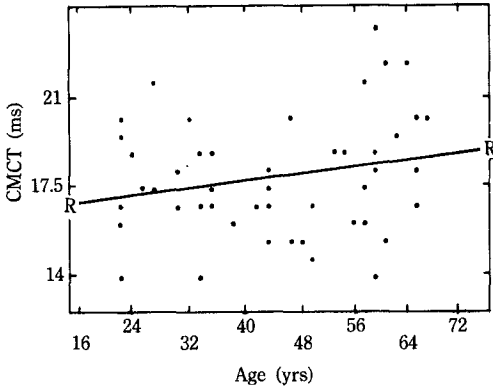


Fig. 3. Correlation between age and CMCT. The line is expressed by $CMCT = 0.03371 \times Age + 16.43592$. R value is 0.21589 and P value is > 0.05 .

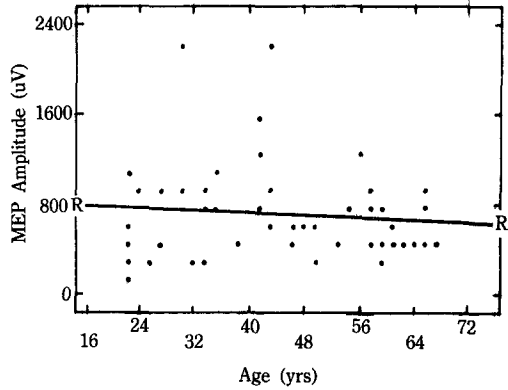


Fig. 4. Correlation between age and amplitude of cortical MEP. The line is expressed by $Amplitude = -3.90550 \times Age + 921.38879$. R value is -0.13319 and P value is > 0.05 .

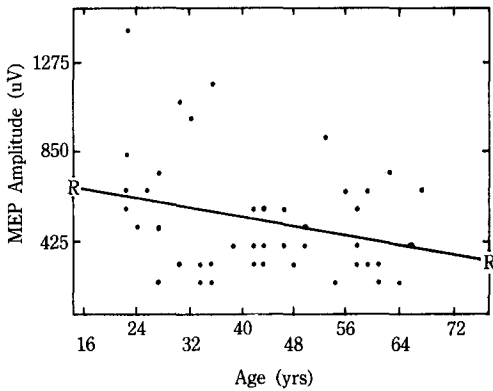


Fig. 5. Correlation between age and amplitude of spinal MEP. The line is expressed by $Amplitude = -5.55974 \times Age + 771.40693$. R value is -0.30843 and P value is < 0.05 .

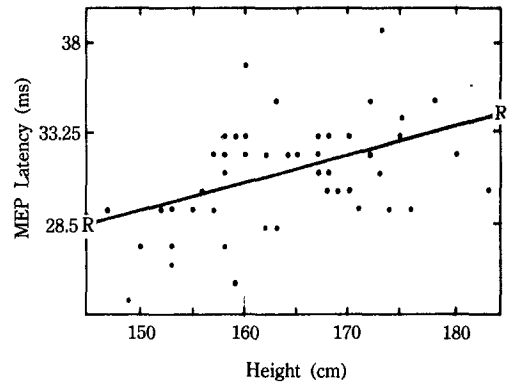


Fig. 6. Correlation between height and latency of cortical MEP. The line is expressed by $Latency = 0.14032 \times Height + 8.30030$. R value is 0.46987 and P value is < 0.001 .

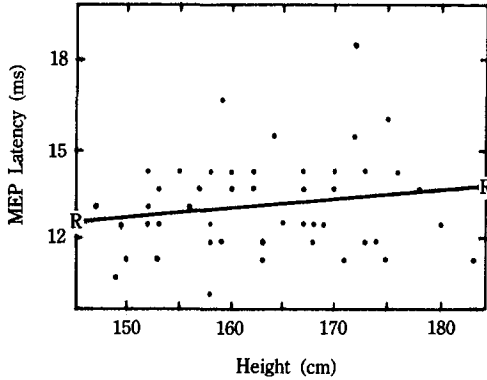


Fig. 7. Correlation between height and latency of spinal MEP. The line is expressed by $Latency = 0.02364 \times Height + 9.43306$. R value is 0.13082 and P value is >0.05 .

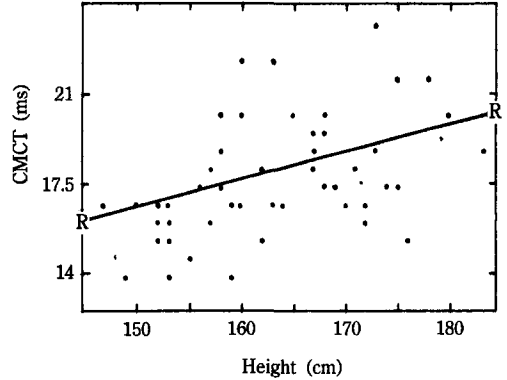


Fig. 8. Correlation between height and CMCT. The line is expressed by $CMCT = 0.11675 \times Height - 1.13189$. R value is 0.46253 and P value is <0.001 .

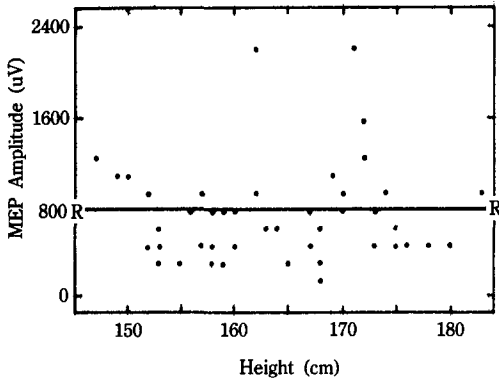


Fig. 9. Correlation between height and amplitude of cortical MEP. The line is expressed by $Amplitude = -0.22476 \times Height + 785.68537$. R value is -0.00474 and P value is >0.05 .

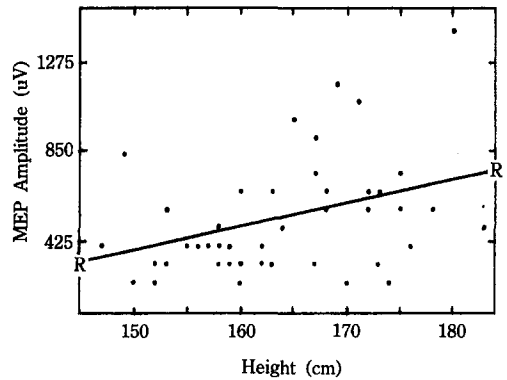


Fig. 10. Correlation between height and amplitude of spinal MEP. The line is expressed by $Amplitude = 11.50854 \times Height - 1352.4235$. R value is 0.39498 and P value is <0.05 .

았으며 제 4-5요추간부 자극시의 진폭에서는 연령과 성별이 통계학적으로 유의한 변수로 선정되었다 ($R^2=0.28, p<0.05$) (Table 5).

고 찰

운동유발전위란 대뇌 운동피질 및 척수신경근이 자극되어 말초근육에서 기록되는 복합근육활동전위로 이에 관한 연구는 1937년 Penfield와 Boldrey가 수술중 노출된 인간의 대뇌에 전기적 자극을 가하여 운동피질 영역을 처음으로 도시한 이래 Gualterotti와 Patterson(1954)은 인간에서 노출되지 않은 운동피질에 경두개적으로 반복적인 전기자극을 가하여 반대측 수족의 움직임을 관찰하였으며, 그후 Millner-Brown등 (1975)은 신경외과적 수술중 노출된 인간의 운동피질을 전기적으로 자극하여 수부 근육

에서 MEP를 기록하였다. 1980년 Merton과 Morton은 의식이 명료한 인간의 대뇌운동피질을 경두개적으로 전기자극하여 반대측 상지의 말초근육에서 MEP를 기록하였으며, 1982년 Marsden등은 경추부와 요추부에 경피적으로 전기자극을 가하여 상지와 하지의 근육으로부터 MEP를 각각 기록하였고, Mills와 Murray (1986)는 척추 전기자극시 운동신경근의 근위부가 주로 자극된다고 하였고 Maertens de Noordhooft등 (1988)도 같은 결과를 보고하였다. 또한 이러한 대뇌피질과 척추에 대한 자극으로부터 중추운동전도시간(CMCT)을 계산할 수 있었으며 CMCT의 측정은 임상신경생리연구에 중요한 검사가 되었다(Marsden등; Merton등, 1982). 1985년 Barker등은 인간의 운동피질을 경두개적으로 자기자극하여 말초근육으로부터 MEP를 기록할 수 있었는데 전기자극에 비해 자기자극은 통증이 거의 없

어서 MEP의 임상적 이용을 용이하게 하였으며 운동피질과 척수신경근에 대한 자기자극으로도 CMCT를 구할 수 있었다(Hess등, 1987^b; Claus, 1990; Ravnborg와 Dahl, 1991).

한편 Rossini등이 1985년 운동피질을 경두개적으로 전기자극하여 하지근에서 MEP를 기록하였으며, Barker등 (1988)은 자기자극으로 하지근에서 MEP를 기록하였다. 하지 MEP에 대한 연구가 상지 MEP에 대한 연구보다 늦은 이유는 대뇌피질의 하지정위가 비교적 작은 부위이고 더구나 대뇌반구의 내측 표면의 심부에 위치하고 있기 때문에 경두개적 자극에 의한 하지 MEP의 유발이 비교적 어렵기 때문이다(Kasai등, 1992).

자기자극은 피부수용체를 자극하지 않고 심부조직까지 투과할 수 있어서 통증이 거의 없으며, 자기전극을 피부에 부착시킬 필요없이 자극기를 쉽게 옮겨가면서 자극할 수 있고, 완전히 이완된 근육에서도 전위를 유발시킬 수 있기 때문에 대상근육을 수의적으로 수축시킬 필요가 없는 등의 장점이 있으나 (Barker등, 1986; Cracco, 1987)유발된 전류가 주위 조직에 전도되므로 국한된 부위를 정확하게 자극할 수 없고(Cracco, 1987), 인공 심장박동기나 뇌동맥류 clip등 강한 자장에 영향을 받을 수 있는 장치를 부착한 사람에게는 자극을 할 수 없다는 단점이 있다. 그러나 뇌 자기자극은 안전한 검사로서 자극 전후에 실시한 뇌파, 혈중 prolactin치 및 인지기능검사에서 아무런 변화도 관찰되지 않았고 (Bridgers와 Delany, 1989) 통상적인 뇌자기자극으로는 경련유발이나 중추신경장애가 없다고 하였으며(Kandler등 ; Tassinari등, 1990) 장기간 반복자극한 동물실험에서도 자극빈도가 3Hz이하라면 자극횟수에 관계없이 장기간 반복자극해도 경련이 유발되지 않는다고 하였다(Barker등, 1986). 이 연구에서도 뇌운동피질과 요추부에 대한 자기자극에 따른 특별한 부작용은 없었다.

정상적으로 중추운동전도는 직경이 큰 속전도 피질척수로(fast conducting corticospinal tract)를 통해 이루어지며 주로 외측 피질척수로(lateral corticospinal tract)를 통해 전도되나 추체로에 병변이 있을 때에는 피질적핵척수로(corticorubrospinal tract), 전피질척수로(anterior corticospinal tract) 또는 복측 회백질부(ventral gray area)로 전도된다(Ingram과 Swash, 1987; Ingram등, 1988). CMCT는 운동피질자극시의 MEP잠복시간에서 척추부 자극시

MEP의 잠복시간을 감하여 구할 수 있으므로(Hess등, 1987^b; Ingram등, 1988) CMCT에는 피질운동신경원의 활성화시간, 하행피질척수로의 전도시간, 척수운동신경원에서 연결지연시간과 활동전위 발생 시간 및 근위신경근의 전도시간 등이 포함되어 있다(Ingram등, 1988; Britton등, 1990).

이 연구에서 건강한 성인 남녀 50명에서 얻은 전경골근 MEP의 평균잠복시간은 두정부 자극에서 31.2 ± 2.68 msec였고, 제 4-5요추간부 자극에서는 13.3 ± 1.62 msec였으며, CMCT는 17.9 ± 2.26 msec로서 Chu(1989)가 정상인 52명에서 얻은 성적 26.5 ± 1.7 msec, 11.7 ± 1.1 msec 및 14.8 ± 1.1 msec와 Booth등 (1991)이 정상인 18명에서 얻은 성적 30.3 ± 2.2 msec, 14.2 ± 2.5 msec 및 16.2 ± 1.7 msec, 그리고 Jones등 (1991)이 정상인 30명에서 얻은 두정부 자극시의 잠복시간 30.6 ± 2.2 msec, CMCT 16.2 ± 1.7 msec와 비교하여 다소 차이가 있었는데 이는 각 검사실마다 검사대상자의 연령, 성별 및 신장등의 차이, 자기자극의 강도, 자극부위 및 검사대상자의 근이완 상태 등 여러조건의 차이 때문에 의한 것으로 생각된다(Day 등, 1986; Hess등, 1987^b; Starr등, 1988).

대상근육을 수의적으로 수축하면 MEP를 유발시킬 수 있는 피질 자극의 역치가 감소되며 그 결과 일정한 자극강도를 가할때 이완근에 비해 수축근에서 반응의 잠복시간은 짧아지고 진폭은 증가하게 된다(Barker등, 1986; Hess등, 1986, 1987^a; Day등, 1987; Mills등, 1987; Rothwell등, 1987; Ackermann등, 1991). Hess등 (1986)은 소지의전근(abductor digiti minimi)에서 최대 근력의 5-10% 정도의 수의적 수축에 의해서도 MEP 반응이 최대의 소통을 일으킨다고 하였고, Murray (1992)는 최대 근력의 10% 정도의 수의적 수축만으로도 잠복시간을 최대로 단축시킬 수 있다고 하였으며, Hess등 (1987^a)은 자기자극시 대상근육의 반대측 동일 근육을 수축할 때에도 대상근육을 수축할 때와 비슷한 정도의 소통이 일어난다고 하였다. 또한 자기자극과 동시에 대상근육에 진동을 가하거나 전기자극을 가하는 방법으로도 잠복시간이 단축되고 진폭은 증가된다고 하였다(Rossini등, 1987). Day등 (1987)은 뇌피질부 전기자극시 수축근의 MEP잠복시간은 이완근에서보다 2-6 msec 더 단축되는데 이는 근육의 수의적 수축이 뇌피질부 자극에 대한 반응의 크기를 증가시킨 것으로 추측하였다. 수의적 수축에 의한 자기

또는 전기자극에 의한 소통효과의 기전은 아직까지 정확히는 알지 못하나 수의적 수축이 대뇌피질에서 피질 운동신경원의 흥분도를 증가시켜 용이하게 피질척수로를 흥분시킨다는 설과 수의적 수축이 척수흥분도를 증가시켜 척수내 동질 운동신경원들을 더욱 쉽게 흥분시킨다는 두가지 기전으로 추측되고 있다. Alaimo등 (1989)은 수의적 수축에 의해 자극되는 Ia 구심성 신경으로부터 동측 알파 운동신경원으로서의 단연접 및 다연접 입력(input)이 두정부 자극에 의한 MEP를 강화시키는 것이라 주장하였으며, Claus(1990)는 두정부 자기자극후 나타나는 잠복시간의 단축에 직접파(D wave)와 간접파(I wave)의 공간적 가중(spatial summation)이 기여할 것이라 하였다. 한편 두정부를 통한 뇌피질부의 자극과는 달리 척추 자기자극에서는 소통이 일어나지 않는다고 하는데 이는 척추 자기자극으로 척추에서의 소통이 일어나는 곳으로 추측되는 운동신경원이 자극되는 것이 아니라 척수신경근이 자극되기 때문으로 생각되어진다(Rossini등, 1987). Claus (1990)는 대상근육을 수의적으로 수축시킨후 경추부와 두정부에 각각 자기자극을 한 결과 진폭의 증가는 두 자극 모두에서 관찰되었으나 잠복시간의 단축은 두정부 자극에서만 관찰되었다고 하였으며, Ugawa 등 (1989^a)은 대상근육을 수의적으로 수축시킨 후 두정부 자극시에는 잠복시간이 단축되었으나 요추부 자극시에는 잠복시간이 단축되지 않는다고 하였다. 본 연구에서도 족관절 배측굴곡에 의한 하지 전경골근의 수의적 수축시 소통현상은 두정부 자극에서만 관찰되었는데 이는 척추자극시 소통현상이 일어나지 않았다는 Rossini등 (1987), Ugawa등 (1989^a) 그리고 Claus (1990)의 주장과 일치하였다. 그리고 두정부 자기자극시의 평균잠복시간은 29.8 ± 2.41 msec로 완전 이완시의 31.2 ± 2.68 msec에 비해 유의하게 단축되었으며, 평균진폭은 수의적 수축시는 $1294.1 \pm 609.8 \mu\text{V}$ 로 완전 이완시의 $749.0 \pm 424.6 \mu\text{V}$ 에 비해 유의하게 증가하였다.

자기자극과 전류의 방향이 MEP에 미치는 영향에 관하여 Ghezzi등 (1991)은 경부자기자극시 자극부위와 전류의 방향이 MEP의 진폭에는 영향을 주나 잠복시간에는 영향을 주지 않는다고 하였다. 즉 자기코일의 중심을 제 5경추 극상돌기에 두고 자극시 전류가 코일에 시계방향으로 흐를때 자극하면 MEP의 진폭은 우측 팔에서 더 크게 나타나며 전류가 코일에 반시계방향으로 흐를때 자극하면 좌측 팔

에서 진폭이 더 커진다고 하였다. 본 연구에서는 환자를 복외위로 두고 제 4-5요추간부 자극시 전류가 자기코일에 시계방향으로 흐를때 자극하였으며 이때 얻은 양측 전경골근 MEP의 진폭에서 우측 $587.2 \pm 353.1 \mu\text{V}$, 좌측 $464.8 \pm 271.0 \mu\text{V}$ 로 Ghezzi등 (1991)의 주장과 일치하였으나 좌우측간에 통계학적 유의성은 없었다. 이와같이 척추 자기자극검사시에는 코일의 전류방향도 염두에 두어야 하리라 생각된다.

자기자극에 의한 MEP의 좌우측간 잠복시간 및 진폭의 비교에서 Chokroverty등 (1989)은 전경골근 MEP의 잠복시간과 진폭은 모두 좌우측간에 유의한 차이가 없었으며 만약 양측 사이의 잠복시간이 1 msec이상 차이가 날때는 비정상이라 하였다. Ravnborg와 Dahl (1991)도 두정부와 요추부를 자기 자극한 후 얻은 MEP에서 잠복시간과 CMCT는 모두 좌우측간에 차이가 없었다고 하였으며, Ugawa등 (1989^a)도 두정부와 요추부를 전기자극한후 얻은 MEP의 잠복시간과 CMCT가 모두 좌우측간에 유의한 차이가 없었다고 하였다. 본 연구에서도 두정부와 요추부를 자기자극한 후 얻은 MEP의 잠복시간, 진폭 및 CMCT에서 좌우측간에 유의한 차이가 없어서 Chokroverty등 (1989), Ugawa등 (1989^a) 및 Ravnborg와 Dahl (1991)의 결과와 일치하였다.

성별에 따른 MEP의 비교에서 Chu (1989)는 건장한 약년 성인 52명을 대상으로 운동피질과 운동신경근을 자기자극하여 얻은 상지의 소지외전근 MEP의 잠복시간에서 두정부와 경추부 자극시에는 남자가 여자에 비해 유의하게 연장되어 있었으나 CMCT는 남녀간에 유의한 차이가 없었다고 하였으며 하지 전경골근의 MEP에서는 두정부와 요추부 자극시의 잠복시간과 CMCT에서 남자가 여자에 비해 유의하게 연장되어 있었다고 하였다. 그리고 신장의 차이에 의한 영향을 배제하기 위해 비슷한 신장을 가진 남녀사이의 비교에서 두정부와 경추부 자극에 의한 상지 MEP에서는 잠복시간과 CMCT의 성별에 따른 차이가 없었으나 하지에서는 잠복시간과 CMCT 모두 성별에 따른 유의한 차이가 있었다고 하였다. 그러나 Ugawa등 (1989^a)과 Claus (1990)는 각각 전기자극과 자기자극에서 두정부와 요추부 자극시의 전경골근 MEP의 잠복시간과 CMCT 모두 남녀간에 유의한 차이가 없었다고 하였다. 본 연구에서는 성별에 따른 MEP의 변동을 조사한 결과 두정부 자극시의 잠복시간과 CMCT는 남자가 여자에 비해 유의하게 연장되어 있었으나 요추부자

극시의 잠복시간은 남녀간에 유의한 차이가 없었으며 진폭은 두정부 자극에서는 남녀간에 유의한 차이가 없었으나 요추부 자극시의 진폭은 남자가 여자에 비해 유의하게 증가되어 있었다. 그러나 이 비교에서는 연령과 신장의 차이에 의한 영향을 배제하지 않았으므로 연령, 성별 및 신장 모두를 변수로한 다중회귀분석에서는 요추부 자극시의 진폭에서 남자가 여자에 비해 유의하게 증가된 것외에는 두정부와 요추부 자극시의 잠복시간, CMCT 및 두정부 자극시의 진폭에서 모두 성별에 따른 차이가 없었다.

연령변화에 따른 MEP의 변동에서 Ugawa 등 (1989)은 두정부와 요추부의 전기자극시 MEP의 잠복시간과 CMCT는 연령변화와 유의한 관계가 없다고 하였으며, Claus (1990)와 Booth 등 (1991)도 두정부와 요추부를 자기자극한 후 전경골근 MEP에서 얻은 CMCT는 연령변화와 관계가 없다고 하였으며, Ravnborg와 Dahi (1991) 또한 연령변화와 자기자극에 의한 MEP의 진폭 및 CMCT 사이에는 유의한 상관관계가 없다고 하였다. 그러나 Eisen과 Shtybel (1990)은 자기자극에 의한 수장근 및 전경골근 MEP의 잠복시간은 나이가 증가할수록 점차 증가되며 CMCT 또한 젊은 층에 비해 노년층에서 더 증가되어 있으나 MEP의 진폭은 나이가 증가할수록 점차 감소된다고 하였다. 이 연구에서는 연령증가에 따른 MEP의 변동에서 두정부와 요추부 자극시의 잠복시간은 연령이 증가할수록 유의한 증가를 보였으며 CMCT도 유의성은 없으나 연령에 따라 증가하는 경향을 보였다. 그리고 두정부 자극시의 진폭은 연령증가에 따른 유의한 증감이 없었으나 요추부 자극시의 진폭은 연령이 증가할수록 감소되는 경향을 보였다. 연령, 성별 및 신장을 변수로한 다중회귀분석에서도 두정부와 요추부 자극시 MEP의 잠복시간, CMCT 및 요추부 자극시의 진폭에서는 연령이 유의한 변수가 되었다.

신장변화에 따른 MEP의 변동에서 Chu (1989)는 자기자극에 의한 두정부와 요추부 자극시 전경골근 MEP의 잠복시간과 CMCT는 모두 신장이 증가할수록 유의한 증가를 보였다고 하였으며, Ugawa 등 (1989)은 두정부와 요추부 자극시 전경골근 MEP의 잠복시간은 신장이 증가할수록 증가되었으나 CMCT는 신장변화와 유의한 관계가 없었다고 하였고, Booth 등(1991)도 CMCT와 신장사이에는 유의한 관계가 없다고 하였다. 그러나 Claus (1990)는

경추부 자기자극에 의해 얻은 CMCT는 신장변화와 관계가 없었으나 요추부 자극에 의해 전경골근 MEP에서 얻은 CMCT는 신장변화와 관계가 있다고 하였다. Ravnborg와 Dahl(1991) 역시 두정부와 요추부 자기자극에 의한 CMCT는 신장이 증가할수록 유의하게 증가되었다고 하였으나 진폭은 신장변화와 관계가 없었다고 하였다. 본 연구에서는 두정부 자극시 MEP의 잠복시간과 CMCT는 신장이 증가할수록 유의한 증가를 보였으나 요추부 자극시의 잠복시간은 신장변화에 따른 증감이 없었다. 그리고 두정부 자극시 MEP의 진폭은 신장과 유의한 관계가 없었으나 요추부 자극시 MEP의 진폭은 신장이 증가할수록 증가하였다. 그러나 연령, 성별 및 신장을 변수로한 다중회귀분석에 의하면 두정부 자극시 MEP의 잠복시간과 CMCT에서만 신장이 유의한 변수였다.

요 약

운동유발전위(motor evoked potentials: MEP)의 정상치는 각 검사실마다 검사기기, 방법 및 조건 등에 따라 다소 차이가 있으므로 저자들은 병력과 이학적 및 신경학적 검사상 이상이 없는 것으로 생각되는 건강한 성인 50명 (남자 25, 여자 25)을 대상으로 Magstim 200 자기자극기기를 이용하여 전경골근 MEP검사의 정상치를 측정하였다. 측정방법은 두정부와 제 4-5요추간부를 각각 자기자극한 후 양측 하지 전경골근에서 MEP를 기록하였으며 이들 MEP의 잠복시간 차이로 중추운동전도시간(central motor conduction time: CMCT)을 구하였고, 소통에 따른 MEP의 변동, 좌우측 MEP의 차이, 그리고 연령, 성별 및 신장에 따른 MEP의 변동 등을 알아보았다. MEP의 평균잠복시간은 두정부와 제 4-5요추간부 자극시 각각 31.2 ± 2.68 msec 및 13.3 ± 1.62 msec였고 평균진폭은 749.0 ± 424.6 μ v 및 526.0 ± 261.0 μ v였으며 평균 CMCT는 17.9 ± 2.26 msec였다.

측관절 배측 굴곡에 의한 소통(facilitation)에 따른 MEP는 두정부 자극시 평균잠복시간은 29.8 ± 2.41 msec, 평균진폭은 1294.1 ± 609.8 μ v로 완전히 이완된 상태에서 MEP에 비해 잠복시간은 유의하게 단축되었고($p < 0.01$) 진폭은 유의하게 증가되었다($p < 0.01$).

두정부 및 제 4-5요추간부 자극시 평균잠복시간, CMCT 및 진폭에서 좌우측 사이에는 서로 유의한 차이가 없었다.

두정부 자극시 MEP의 잠복시간과 CMCT는 연령과 신장에 의해 영향을 받았으며 요추부 자극시 잠복시간은 연령에 의해서만 영향을 받았고 두정부 자극시 MEP의 진폭은 연령, 성별 및 신장 등 어느 변수에 의해서도 영향을 받지 않았으며 요추부 자극시의 진폭은 연령과 성별에 의해 영향을 받았다.

자기자극은 경한 두통이외에는 특별한 합병증을 초래하지 않는 안전한 검사로 사료되었다.

참고문헌

- Ackermann H, Scholz E, Koehler W, et al: Influence of posture and voluntary background contraction upon compound muscle action potentials from anterior tibial and soleus muscle following transcranial magnetic stimulation. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 1991; 81: 71-80.
- Alaimo MA, Streletz LJ, Raab V, et al: The effects of voluntary and non-voluntary facilitation on motor evoked potentials in the leg from transcranial magnetic stimulation. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 1989; 73: 41P.
- Barker AT, Freeston IL, Jalinous R, et al: Clinical evaluation of conduction time measurements in central motor pathways using magnetic stimulation of human brain. *Lancet* 1986; 1: 1325-1326.
- Barker AT, Freeston IL, Jalinous R, et al: Magnetic stimulation in clinical practice, in: Rossini PM, Marsden CD (eds), *Non-invasive Stimulation of the Brain and Spinal Cord: Fundamentals and clinical applications*. New York, Alan R Liss, 1988, pp 207-218.
- Barker AT, Freeston IL, Jalinous R, et al: Magnetic stimulation of the human brain. *J Physiol (Lond)* 1985; 369: 3P.
- Barker AT, Jalinous R, Freeston IL: Non-invasive magnetic stimulation of human motor cortex. *Lancet* 1985; 1: 1106-1107.
- Berardelli A: Electrical and magnetic spinal and cortical stimulation in man. *Curr Opin Neurol Neurosurg* 1991; 4: 770-776.
- Berger AR, Busis NA, Logigian EL, et al: Cervical root stimulation in radiculopathy. *Neurology* 1985; 35: 68.
- Booth KR, Streletz LJ, Raab VE, et al: Motor evoked potentials and central motor conduction: Studies of transcranial magnetic stimulation with recording from the leg. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 1991; 81: 57-62.
- Bridgers SL, Delaney RC: Transcranial magnetic stimulation: An assessment of cognitive and other cerebral effects. *Neurology* 1989; 39: 417-419.
- Britton TC, Meyer BU, Herdmann J, et al: Clinical use of the magnetic stimulator in the investigation of peripheral conduction time. *Muscle Nerve* 1990; 13: 396-406.
- Chokroverty S, Sachdeo R, Dilullo J, et al: Magnetic stimulation in the diagnosis of lumbosacral radiculopathy. *J Neurol Neurosurg Psychiatr* 1989; 52: 767-772.
- Chu NS: Motor evoked potentials with magnetic stimulation: Correlations with height. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 1989; 74: 481-485.
- Claus D: Central motor conduction: Method and normal results. *Muscle Nerve* 1990; 13: 1125-1132.
- Cowan JMA, Dick JPR, Day BL, et al: Abnormalities in central motor pathway conduction in multiple sclerosis. *Lancet* 1984; 2: 304-307.
- Cracco RQ: Evaluation of conduction in central motor pathways: Techniques, pathophysiology, and clinical interpretation. *Neurosurgery* 1987; 20: 199-203.
- Day BL, Dick JPR, Marsden CD, et al: Difference between electrical and magnetic stimulation of the human brain. *J Physiol* 1986; 378: 36.
- Day BL, Rothwell JC, Thompson PD, et al: Motor cortex stimulation in intact man, 2, Multiple descending volleys. *Brain* 1987; 110: 1191-1209.
- Eisen AA, Shtybel W: AAEM Minimonograph #35: Clinical experience with transcranial magnetic stimulation. *Muscle Nerve* 1990; 13: 995-1011.
- Ghezzi A, Callea L, Zaffaroni M, et al: Study of central and peripheral motor conduction in normal subjects. *Acta Neurol Scand* 1991; 84: 503-506.
- Gualiterotti T, Patterson AS: Electrical stimulation of the unexposed cerebral cortex. *J Physiol (Lond)* 1954; 125: 278-291.
- Hess CW, Mills KR: Measurement of central motor conduction in multiple sclerosis by magnetic brain stimulation. *Lancet* 1986; 2: 355-358.
- Hess CW, Mills KR, Murray NMF: Magnetic stimulation of the human brain: The effects of voluntary muscle activity. *J Physiol (Lond)* 1986; 378: 37P.
- Hess CW, Mills KR, Murray NMF: Responses in small hand muscle from magnetic stimulation of

- the human brain. *J Physiol* 1987^a; 388: 397-419.
- Hess CW, Mills KR, Murray NMF, et al: Magnetic brain stimulation: Central motor conduction studies in multiple sclerosis. *Ann Neurol* 1987^b; 22: 744-752.
- Ingram DA, Swash M: Central motor conduction is abnormal in motor neuron disease. *J Neurol Neurosurg Psychiatr* 1987; 50: 159-160.
- Ingram DA, Thompson AJ, Swash M: Central motor conduction in multiple sclerosis; Evaluation of abnormalities revealed by transcutaneous magnetic stimulation of the brain. *J Neurol Neurosurg Psychiatr* 1988; 51: 487-494.
- Jones SM, Streletz LJ, Raab VE, et al: Lower extremity motor evoked potentials in multiple sclerosis. *Arch Neurol* 1991; 48: 944-948.
- Kandler R: Safety of transcranial magnetic stimulation. *Lancet* 1990; 1: 469-470.
- Kasai T, Hayes KC, Wolfe DL, et al: Afferent conditioning of motor evoked potentials following transcranial magnetic stimulation of motor cortex in normal subjects. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 1992; 85: 95-101.
- Maertens de Noorhoot A, Rothwell JC, Thompson PD, et al: Percutaneous electrical stimulation of lumbosacral roots in man. *J Neurol Neurosurg Psychiatr* 1988; 51: 174-181.
- Marsden CD, Merton PA, Morton HB: Percutaneous stimulation of spinal cord and brain: Pyramidal tract conduction velocities in man. *J Physiol* (Lond) 1982; 328: 6P.
- Merton PA, Morton HB: Stimulation of the cerebral cortex in the intact human subject. *Nature* 1980; 285: 227.
- Merton PA, Morton HB, Hill DK, et al: Scope of a technique for electrical stimulation of human brain, spinal cord, and muscle. *Lancet* 1982; 2: 597-600.
- Millner-Brown SH, Girvin JP, Brown WF: The effects of motor cortical stimulation on the excitability of spinal motor neurones in man. *J Can Neurol Sci* 1975; Aug: 243-253.
- Mills KR, Murray NMF: Electrical stimulation over the human vertebral column: Which neural elements are excited? *Electroenceph Clin Neurophysiol* 1986; 63: 582-589.
- Mills KR, Murray NMF, Hess CW: Magnetic and electrical transcranial brain stimulation: Physiological mechanisms and clinical applications. *Neurosurgery* 1987; 20: 164-168.
- Murray NMF: The clinical usefulness of magnetic cortical stimulation. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 1992; 85: 81-85.
- Penfield W, Boldrey E: Somatic motor and sensory representation in the cerebral cortex of man as studied by electrical stimulation. *Brain* 1937; 60: 389-443.
- Ravnborg M, Dahl K: Examination of central and peripheral motor pathway by standardized magnetic stimulation. *Acta Neurol Scand* 1991; 84: 491-497.
- Rossini PM, Caramia MD, Zarola F: Mechanisms of nervous propagation along central motor pathways: Noninvasive evaluation in healthy subjects and in patients with neurological disease. *Neurosurgery* 1987; 20: 183-191.
- Rossini PM, Marciani MG, Caramia M, et al: Nervous propagation along central motor pathways in intact man: Characteristics of motor responses to bifocal and unifocal spine and scalp stimulation. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 1985; 61: 272-286.
- Rothwell JC, Thompson PD, Day BL, et al: Motor cortex stimulation in intact man, 1. General characteristics of EMG responses in different muscles. *Brain* 1987; 110: 1173-1190.
- Starr A, Caramia M, Zarola F, et al: Enhancement of motor cortical excitability in humans by noninvasive electrical stimulation appears prior to voluntary movement. *Electroenceph Clin Neurophysiol* 1988; 70: 26-32.
- Tassinari CA, Michelucci R, Forti A, et al: Transcranial magnetic stimulation in epileptic patients: Usefulness and safety. *Neurology* 1990; 40: 1132-1133.
- Thompson PD, Dick JPR, Asselman P, et al: Examination of motor function in lesions of the spinal cord by stimulation of the motor cortex. *Ann Neurol* 1987; 21: 389-396.
- Ugawa Y, Genba K, Shimpo T, et al: Physiological analysis of central motor pathways-Simultaneous recording from multiple relaxed muscles. *Eur Neurol* 1989^a; 29: 135-140.
- Ugawa Y, Rothwell JC, Day BL, et al: Magnetic stimulation over the spinal enlargements. *J Neurol Neurosurg Psychiatr* 1989^b; 52: 1025-1032.

= Abstract =

Lower Extremity Motor Evoked Potentials by Magnetic Stimulation

**Kwang Soo Kim, MD; Jeong Geun Lim, MD; Dong Kuck Lee, MD;
Sang Doe Yi, MD; Young Choon Park, MD**

Department of Neurology, Keimyung University, School of Medicine, Taegu, Korea

This study was conducted to acquire normal data of motor evoked potentials (MEP) recorded from the tibialis anterior muscle. Observations were made on 50 healthy adult subjects (25 men and 25 women) ranging in age from 22 to 68 years and height from 147 to 183 cm.

MEP were evoked by magnetic stimulation over the vertex and the L4-5 intervertebral space and were recorded from the tibialis anterior muscle, and central motor conduction time (CMCT) was calculated.

Normal values of the latencies of cortical, spinal MEPs and CMCT were 31.2 ± 2.68 msec, 13.3 ± 1.62 msec and 17.9 ± 2.26 msec, respectively, and the amplitudes of cortical and spinal MEPs were 749.0 ± 424.6 μ v and 526.0 ± 261.0 μ v, respectively.

A contraction of the target muscle reduced the latency and increased the amplitude significantly after transcranial stimulation.

No significant differences of the latency and amplitude were found between right and left side of MEP.

The latency of cortical MEP and CMCT were influenced by age and height, and the latency of spinal MEP was influenced by age. The amplitude of cortical MEP was independent of age, sex and height, and the amplitude of spinal MEP was influenced by age and sex.

There were no serious complications of magnetic stimulation.

Key Words: Lower extremity, Magnetic stimulation, Motor evoked potentials