대한 근전도 · 전기진단의학회지 1(2):201~206, 1999.

정상 성인에서 피부온도가 교감신경피부반응에 미치는 영향

아주대학교 의과대학 재활의학교실

박형구 · 임민정 · 문혜원 · 이일영 · 나은우 · 임신영

– Abstract –

The Influence of Skin Temperature on Latency and Amplitude of the Sympathetic Skin Response(SSR) in Normal Subjects

Hyoung Koo Park, M.D., Min Jeong Lim, M.D., Hae Won Moon, M.D., Il Young Lee, M.D., Ueon Woo Rah, M.D. and Shin Young Yim, M.D.

Department of Physical medicine and Rehabilitation, Ajou University School of Medicine

Objectives : This study was designed to assess the influence of skin temperature on sympathetic skin response(SSR) latency and amplitude, and to determine the relative roles of unmyelinated postganglionic sympathetic C fibers and neuroglandular junctions in the modification of these SSR parameters.

Methods : We studied the influence of skin temperature on latency and amplitude of the SSR in 20 normal subjects. SSRs were recorded from right palm and sole after stimulation of left median nerve at wrist. To determine the effect of skin temperature on SSR, we were examined SSR after cooling of right upper extremity, right lower extremity and left upper extremity. To determine the relative roles of unmyelinated postganglionic C fiber and neuroglandular junctions, we were examined SSRs after cooling of the right upper arm except hand and the right hand only.

Results : At low temperature, the SSR latency was prolonged($p<0.05$) and the amplitude was decreased($p>0.05$). Latency and amplitude were linearly correlated with skin temperature. With regard to the skin temperature of the upper extremity, a temperature correction factor of 0.0515 sec/℃ was calculated for latency. In lower extremity, a temperature correction factor of 0.0486 sec/℃ was calculated for latency.

Conclusion : The latency was prolonged after cooling of skin temperature. But, no significant change in amplitude after cooling. The latency was similarly prolonged after cooling of the upper arm except hand and the hand only. This suggests that not only the postganglionic sympathetic C fibers, but also the neuroglandular junction were responsible for latency modifications. We conclude that skin temperature is a mandatory measurement in the study of the SSR.

Key Words : Sympathetic skin response, Skin temperature

아주대학교 의과대학 재활의학교실

Address reprint requests to **Hyoung Koo Park, M.D.**

Department of Rehabilitation, Ajou University School of Medicine, #San 5 Wonchun-dong, Paldal-ku, Suwon, 442-721, Korea

Tel : 82-331-219-5507, 5508, Fax : 82-331-219-5799, e-mail : redeye77@hanmail.net

서 론

교감신경피부반응(sympathetic skin response, SSR)은 교감신경의 기능을 검사하는 간단하면서도 유용한 전기생리학적 검사 방법이다.[1-3] 이는 여러 종류의 외부, 내부적 자극에 의하여 반사적으로 유발된 피부 전위의 순간적인 변화로써 주로 한선-운동신경(sudomotor nerve)의 발한 기능을 반영한다고[4,5] 알려져 있다. 교감신경피부반응의 경로는 아직 정확하게 밝혀져있지는 않았지만, 피부의 감각정보를 전하는 구심성 섬유로는 유수신경섬유(myelinated Group II, III fiber), 전달된 정보를 처리하는 중추신경계, 원심성 섬유로는 짧은 유수신경인 신경절전 신경섬유(short preganglionic myelinated B fibers)와 긴 무수신경인 신경절후 교감신경섬유(unmyelinated postganglionic sympathetic C fibers), 그리고 신경-선 접합부위(neuroglandular junction)로 이루어 진 것으로 알려져 있다.[6]

교감신경피부반응 검사에 영향을 미치는 인자로는 내, 외적 환경 변화, 정서, 습성화, 근전도 기기 설정(표면전극의 성분, amplifier's time constant, stimulation frequency), 연령 및 체온 등이 있으며 교감신경피부반응의 지표해석에 있어서 고려되어야 할 사항들이다.[1,7] 사지의 말단 부분은 외부온도의 변화에 지속적으로 노출되어 있고 피부조직의 온도는 계속 변화하게 된다. 피부온도의 변화는 신경전도 검사에 상당한 영향을 미친다고 알려져 있고, 유수신경섬유(myelinated nerve fiber)의 전도속도에 미치는 영향에 대해서는 많은 연구들이 있다.[8-10] 즉, 사지의 온도가 낮아지는 경우에 신경전도 속도는 일정하게 느려진다고 알려져 있으며 신경전도 속도의 측정시 2~3m/s/℃의 온도 교정 공식을 적용하고 있다.[9] 하지만, 뇌졸중과 반사성 교감신경병증(reflex sympathetic dystrophy, RSD)환자에서 피부온도의 변화가 교감신경피부반응에 미치는 영향을 다룬 일부 연구들은 있으나,[5,6,11,12] 정상인에서 피부온도의 변화가 교감신경피부반응에 미치는 영향에 대한 연구는 아직 미흡한 실정이다.

국내에서는 1999년 김상규 등[1]이 피부온도 상승에 따라서 교감신경피부반응의 잠시가 빨라지고, 진폭은 감소하였다고 보고하였다. 그러나, 온도 저하에 따른 보고는 없었으며 교감신경피부반응의 변화에서 신경절후 교감신경섬유와 신경-선 접합부위의 역할에 대한 연구는 없었다. 이에 저자들은 젊은 연령의 정상 성인을 대상으로 온도 변화가 교감신경피부반응의 잠시와 진폭의 변화에 미치는 영향을 알아보고자 하였으며, 신경절후 교감신경섬유와 신경-선 접합부위가 잠시와 진폭의 변화에 어떠한 역할을 하는지 알아보고자 하였다.

연구 대상 및 방법

1. 연구 대상

자율 신경계나 중추 및 말초 신경계의 질환이 없으며, 신경학적 검사상 이상 소견이 없는 21~31세 사이의 건강한 젊은 성인 남녀 20명(남자 12명, 여자 8명)을 대상으로 하였다. 연구 대상자들은 모두 당뇨병의 기왕력은 없었으며, 복용 중인 약도 없었다. 이들의 평균 연령은 26±2.9세, 평균 신장은 170±6.8cm 이었다.

2. 연구 방법

실내 온도 25~28℃가 유지되는 조용한 검사 실에서, 대상자들은 검사 시작 전 적어도 30분 동안 앙와위로 누워서 안정을 취한 뒤 검사를 시행하였다. 검사는 4채널을 이용하여 우측 손바닥과 발바닥에 표면 활성 전극을 부착하였으며, 접지 전극은 우측 상박부에 부착하였다. 자극은 좌측 정중신경을 완관절 부위에서 자극하여 교감신경피부반응을 기록하였으며, 잠시는 처음 음극상이 시작되는 부위에서 측정하였고 진폭은 음극의 정점에서 양극의 정점까지 측정하였다. 사용된 근전도 기기는 Sapphire Premier기종(Medelec사, England)을 사용하였으며, 기기의 설정은 Table 1과 같이 하였다.

Table 1. Setting for Procedure

EMG machine: Medelec Sapphire premier
Stimulation intensity: 100~200V
Stimulation duration: 0.5msec
Frequency filter: 0.1~3000Hz
Amplification sensitivity: 500μV/division
Sweep speed: 500msec/division
Recording electrode: disposable, surface electrode

검사 첫날, 실내온도 상태인 기준체온에서 교감신경피부반응을 시행하여 기준치를 기록하였다. 기준 검사 후 기록부위인 우측상지와 우측하지 그리고 자극부위인 좌측상지를 피부온도가 약 24~26℃가 되도록 약 10~15분간 냉각한 뒤에 같은 방법으로 검사를 시행하여 기록하였다. 피부온도가 기준체온으로 상승하는 동안 3~4℃ 간격으로 2차례 검사를 반복하였다. 다음날, 다시 같은 검사 실에서 기준 체온으로부터 피부온도가 약 6~8℃ 낮아지도록 손을 제외한 우측 상지만을 냉각시킨 후에 교감신경피부반응 검사를 시행하여 기록하였다.

일정 시간이 지나서 피부온도가 회복된 후 기준체온

에서 피부온도가 약 6~8℃ 낮아지도록 우측 손만을 냉각시킨 후에 다시 교감신경피부반응 검사를 시행하여 기록하였다.

피부 냉각은 cold pack을 이용하였으며, 피부온도는 TC-550 Digital thermometer(Line Seiki사, Japan)를 사용하여 측정하였다. 손에서는 무지구의 온도를, 손을 제외한 상지는 주관절와 에서 5cm 아래 부분의 온도를 측정하였고, 하지는 발바닥의 온도를 각각 측정하였다.

3. 통계 처리

자료의 통계 분석은 SPSS 7.5 for Windows 프로그램을 이용하였으며, 온도 저하에 따른 교감신경피부반응의 잠시와 진폭의 변화는 Paired Student's t-test를 이용하여 비교하였다. 손을 제외한 우측 상지의 냉각 시와 우측 손만을 냉각시킨 후의 결과도 역시 Paired Student's t-test를 이용하여 비교하였다. 피부온도의 변화와 교감신경피부반응의 상관관계는 회귀분석을 이용하여 분석하였다.

결 과

1. 기준체온시의 교감신경피부반응 검사

기준체온에서 우측 손바닥의 평균 온도는 33.5±0.47℃, 우측 발바닥의 평균 온도는 32.89±0.47℃이었다. 측정된 교감신경피부반응 검사의 잠시는 우측 손바닥에서 1.29±0.28sec, 우측 발바닥에서 1.70±0.29sec이었고, 진폭은 우측 손바닥에서 5.84±3.83mV, 우측 발바닥에서 4.18±2.68mV이었다(Table 2).

2. 피부온도의 냉각 후 잠시와 진폭의 변화

자극 부위와 기록부위를 모두 냉각시킨 후에 우측 손바닥의 온도는 25.14±1.51℃, 우측 발바닥의 온도는 24.96±0.47℃로 기준 피부온도에 비해서 약 8℃ 낮았다(Table 2). 교감신경피부반응의 잠시는 우측 손바닥에서 1.85±0.25sec, 우측 발바닥에서 2.26±0.20sec이었으며, 진폭은 우측 손바닥에서 5.73±3.51mV, 우측 발바닥에서 4.11±2.10mV이었다(Table 2). 손, 발바닥 모두에서 교감신경피부반응의 잠시는 기준체온의 검사에 비해서 피부온도를 냉각시킨 후에 유의하게 느려졌다($p<0.05$).

교감신경피부반응의 진폭은 피부온도를 냉각시킨 후에 작아졌으나 통계학적으로 유의한 차이는 없었다($p>0.05$).

Table 2. Comparison of SSR Latency and Amplitude at Room Temperature, after Cooling of Extremities

	Baseline study	Test 1
Palm temperature(℃)	33.54±0.47	25.14±1.51
Sole temperature(℃)	32.89±0.57	24.96±1.86
Palm latency(sec)	1.29±0.28*	1.85±0.29*
Palm amplitude(mV)	5.84±3.83	5.73±3.51
Sole latency(sec)	1.70±0.29*	2.26±0.20*
Sole amplitude(mV)	4.18±2.68	4.11±2.10

Values are mean standard deviation, * $p<0.05$

Test 1: Cooling of right upper extremity, right lower extremity and left upper extremity

3. 손을 제외한 상지의 냉각과 손만을 냉각한 후 잠시와 진폭의 변화

우측 손만을 제외하고 상지를 냉각 한 경우 피부온도는 25.3±1.47℃이었고, 교감신경피부반응의 잠시는 1.81±0.32sec, 진폭은 4.18±3.84mV이었다. 우측 손만 냉각 한 경우 피부온도는 24.7±1.63℃이었고, 잠시는 1.89±0.28sec, 진폭은 5.51±4.18mV이었다(Table 3). 잠시와 진폭의 변화정도는 냉각부위와 상관없이 통계학적으로 유의한 차이가 없었다($p>0.05$).

4. 피부온도와 교감신경피부반응과의 상관관계

좌측 정중신경을 자극하고 우측 손, 발바닥에서 기록한 교감신경피부반응의 잠시와 온도의 상관관계를 분석한 결과, 피부온도가 낮아질수록 잠시는 느려지는 경향을 보였으며(Table 4), 손바닥과 발바닥에서 모두 통계학적으로 유의한 상관관계가 있었다($p<0.05$). 상지의 경우는 잠시의 온도에 따른 변화는 회귀 방정식 Y(*laten - cy*) = 3.124 - 0.0515X(*skin temperature*)를 따르며 통계적으로 유의하였다($p<0.05$)(Fig. 1). 하지의 경우는 Y(*laten - cy*) = 3.427 - 0.0486X(*skin temperature*)를 따르며 역시 통계적으로 유의하였다($p<0.05$)(Fig. 2).

진폭의 경우 피부온도가 낮아질수록 진폭은 작아지는

Table 3. Comparison of Skin Temperature, SSR Latency and Amplitude between Cooling of the Right Upper Limb and Hand

	Test 2	Test 3
Temperature(℃)	25.3±1.47	24.7±1.63
SSR latency(sec)	1.81±0.32	1.89±0.28*
SSR amplitude(mV)	4.18±3.84	5.51±4.18*

Values are mean standard deviation, * $p > 0.05$

Test 2: Cooling of right upper extremity except hand,

Test 3: Cooling of right Hand

경향을 보였으나(Table 4), 손바닥과 발바닥에서 모두 통계학적으로 유의한 상관관계가 없었다(p>0.05).

고 찰

교감신경피부반응(SSR)은 여러 내적, 외적 자극에 의해서 유발되는 피부저항 전위의 순간적인 변화로써 교감신경기능을 간단하게 평가하는 유용한 검사 방법이다.[3,5,7] 피부저항반응이란 교감신경계의 활성도를 나타내는 것이며, 이 현상은 혈관수축과 발한이 조화를 이루어 나타나는 것이라고 Carmichael 등[13]이 처음 보고하였다.

교감신경피부반응(SSR)의 기전은 아직 정확하게 밝혀지지 않고 있지만, 피부의 감각정보가 직경이 큰 구심성 유수신경섬유(myelinated Group II, III fibers)를 통해 척수의 측주(lateral column)로 전달되어 중추신경계에서의 정보 처리 과정을 거친 후 직경이 작은 신경절전 신경섬유(preganglioinic B fibers)와 신경절후 교감신경섬유(postganglionic sympathetic C fibers)를 통해서 신경-선 접합부위(neuroglandular junction)와 한선(sweat gland)로 전달되는 경로를 가진 것으로 알려져 있다.[6] 또한, 연수망상체(medullary reticular activating system), 중뇌(midbrain), 시상하부(hypothalamus), 변연체(limbic structures) 등의 중추 조절이 중요한 것으로 알려져 있다. 신경절전섬유는 짧고, 유수신경섬유이기 때문에 무수 신경섬유인 신경절후교감신경과 신경-선 접합부위가 SSR 잠시의 결정에 중요하다.

피부온도가 신경전도 검사에 미치는 영향에 대해서는 많은 연구 결과들이 있으며, 피부온도가 낮아질수록 신경전도 속도는 감소하는 것으로 알려져 있다. 일반적으로 신경전도 속도의 측정시 2~3m/s/℃의 온도 교정 공식을 적용하고 있다. 그러나 피부온도가 교감신경피부반응에 미치는 영향에 대해서는 아직 많은 연구가 이루어지지 않았다. 다만, Yokota 등[14]과 Maulsby 등[15]은 낮은 대기온도에서 galvanic skin response(GSR)가 연장되는 것을 보고하였고, Ba M'hamed 등[16]은 고양이에서 피부온도가 낮아지면 교감신경피부반응의 잠시가 느려지고 진폭이 감소함을 보고하였으며, Van den Bergh 와 Kelly[17] 은 사람에서 피부온도와 교감신경피부반응의 진폭은 서로 상관관계가 있다고 보고했을 뿐이다. 비교적 체계화된 연구로는 1998년 Deltombe 등[7]이 10명의 정상인을 대상으로 찬물을 이용하여 한쪽 상지를 냉각시킨 후 교감신경피부반응을 시행하여 피부온도가 낮아질수록 잠시는 연장되고 진폭은 감소하였으며, 냉각을 하지 않은 반대편에서는 변화가 없었음을 보고하였다. 따라서 이런 잠시의 변화는 주로 말초성 경로와 관련이 있고 중추성 경로와는 관련이 없음을 시사한다고 하였다. 반면, 국내에서는 1999년 김상규 등[1]이 적외선 램프를 이용하여 피부온도를 상승시킨 후 교감신경피부반응을 시행하여 잠시는 짧아지고 진폭은 감소한다고 보고하였다.

Table 4. Correlation between Upper Extremity and Lower Extremity Temperature and SSR Latency and Amplitude after Cooling

	Mean	Correlation coefficient	R^2
Palm latency(sec)	1.85	-0.645	0.417**
Palm amplitude(mV)	5.73	-0.106	0.011*
Sole latency(sec)	2.26	-0.680	0.462**
Sole amplitude(mV)	4.11	-0.119	0.014*

* p > 0.05, ** p < 0.05

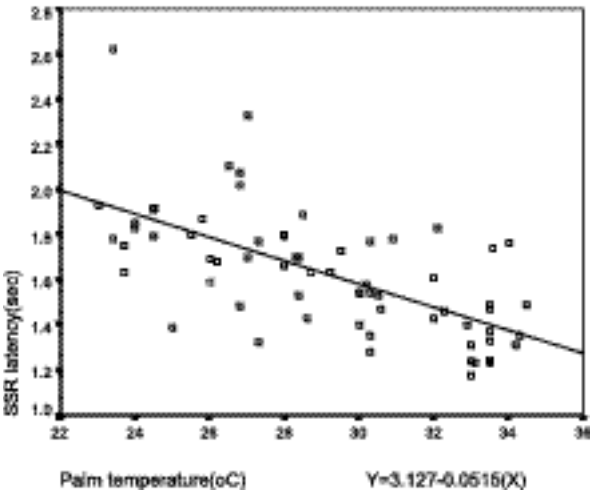

Fig. 1. Correlation between SSR Latency and Temperature in Palm

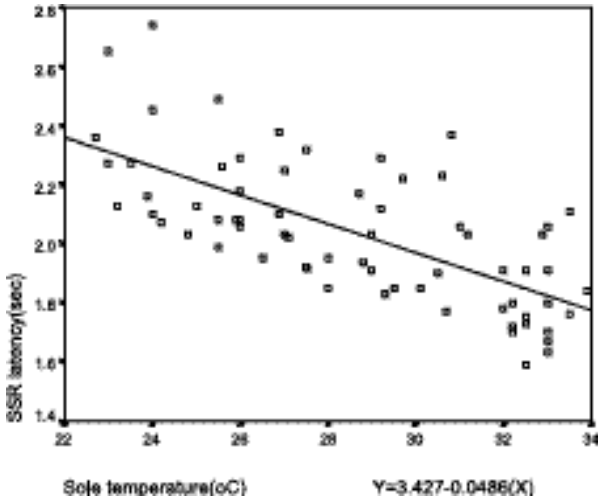

Fig. 2. Correlation between SSR Latency and Temperature in Sole

이번 연구에서 저자들은 피부온도의 감소가 교감신경피부반응에 미치는 영향을 알아보기 위해서 교감신경피부반응이 시작되는 자극 부위(좌상지)와 기록되는 부위(우상지, 우하지)를 Cold pack을 이용하여 냉각한 뒤 검사를 시행하였으며, 피부온도가 낮아질수록 잠시는 유의하게 느려졌고 진폭은 작아졌지만 통계적으로 유의하지 않았다. 따라서 저자들은 피부온도가 낮아질수록 교감신경피부반응의 잠시는 일정하게 느려지는 것을 확인할 수 있었다. 잠시가 연장되는 정도는 피부온도 상지의 경우 0.0515s/℃ 하지의 경우는 0.0486s/℃로 각각 측정되었다. 이런 교감신경피부반응의 잠시의 연장에 대해서 Deltombe 등[7]은 sodium 이온통로(sodium channels)의 활성도 감소와 신경-선 접합부위에서 신경전달물질 분비의 감소가 원인일 것으로 추측하였다. 저자들의 연구에서 피부온도가 낮아질수록 교감신경피부반응의 진폭이 감소하지만 통계학적으로 유의한 감소는 아니었다. 진폭의 감소에 대해서도 Deltombe 등은 한선의 활성도와 아세틸콜린 방출의 감소가 원인일 것으로 추측하였다. 1988년 Baba 등[18], 1990년 Elie와 Guiheneuc[19], 1992년 Hoeldtke 등[2]이 보고 한 것처럼 교감신경피부반응의 진폭은 습성화에 의해서 반복할수록 점차적으로 불규칙하게 감소한다고 알려져 있다. 이번 연구에서 진폭의 감소가 통계적 차이를 보이지 않은 것은 교감신경피부반응의 제한점인 습성화와 연관이 있으리라고 생각된다. 또한, 저자들은 절전후 교감신경섬유와 신경-선 접합부위가 온도저하에 어떠한 영향을 받으며 어느 부위가 더 온도에 민감하게 영향을 받는지 알아보기 위해서 절전후 교감신경섬유가 주로 분포하는 손을 제외한 상지부위 그리고 신경-선 접합부위가 주로 분포하는 손부위만을 각각 냉각한 뒤 교감신경피부반응 검사를 시행하였다. 그 결과 냉각부위에 따른 잠시의 변화 정도는 차이가 없었다. 따라서, 신경-선 접합부위 뿐만 아니라 신경절후 교감신경섬유가 모두 온도 저하에 영향을 받고 교감신경피부반응의 잠시의 지연에 모두 연관되어 있음을 알 수 있었으며 이는 신경-선 접합부위가 주로 연관되어 있다고 주장한 1983년 Low 등[20]의 연구와는 차이가 있었다. 하지만 절전후 교감신경섬유와 신경-선 접합부위의 정확한 역할을 평가하기는 어려우며 이에 대해서는 좀더 연구가 필요하리라 생각된다.

결 론

저자들은 피부온도가 교감신경피부반응(Sympathetic skin response)에 미치는 영향을 알아보기 위해서 21에서 31세 사이의 건강한 성인 남녀 20명을 대상으로 교감신경피부반응 검사를 시행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 피부온도가 낮아질수록 교감신경피부반응의 잠시는 느려졌다.

상지의 경우 Y(latency) = 3.124 - 0.0515X(skin temperature, ℃)의 온도교정 공식을 하지의 경우는 Y(latency) = 3.427 - 0.0486X(skin temperature, ℃)의 공식을 따른다.

2) 피부온도와 교감신경피부반응의 진폭은 상관관계가 없었다.

3) 피부온도가 낮아짐에 따라 신경절후 교감신경섬유(Postganglionic sympathetic C fibers)와 신경-선 접합부위(neuroglandular junction)는 동일하게 영향을 받는다.

피부온도는 교감신경피부반응에 상당한 영향을 미치며 교감신경피부반응 검사시 정확한 검사를 위해서는 피부온도를 고려하여야 한다.

REFERENCES

1. 김상규, 이경무, 오정근: 교감신경피부반응의 피부온도와 연령에 따른 변화. 대한재활의학지 1999: 23: 343-349
2. Hoeldtke RD, Davis KM, Hshieh PB, Gaspar SR, Dworkin GE: Anatomic surface potential analysis: assessment of reproducibility and sensitivity. Muscle Nerve 1992: 15: 926-931
3. Shahani BT, Halperin JJ, Boulu P, Cohen J: Sympathetic skin response-a method of assessing unmyelinated axon dysfunction in peripheral neuropathies. J Neurol Neurosurg Psychiatry 1984: 47: 536-542
4. Shaver BA, Brusilow SW, Cooke RE: Origin of galvanic skin response. Proc Soc Exp Biol 1962: 110: 559-564
5. Uncini A, DiMuzio A, Lugaresi A, Gambi D: Sympathetic skin response in hemispheric lesions. Neurophysiol Clin 1992: 22: 475-481
6. Clinchot DM, Lorch F: Sympathetic skin response in patients with reflex sympathetic dystrophy. Am J Phys Med Rehabil 1996: 75: 252-256
7. Deltombe T, Hansen P, Jamart T, Clerin M: The influence of skin temperature on latency and amplitude of the sympathetic skin response in normal subjects. Muscle Nerve 1998: 21: 34-39
8. Bolton CF, Sawa GM, Carter K: Temperature effects on conduction studies of normal and abnormal nerve. Muscle Nerve 1982: 5:145-147
9. de Jesus PV, Hausmanowa-Petrusewicz I, Barchi RL: The effect of cold on nerve conduction of human slow and fast nerve fibers. Neurology 1973: 23: 1182-1189.
10. Dioszeghy P, Stalberg E: Changes in motor and sensory nerve conduction parameters with temperature in normal and abnormal nerve. Electroencephalogr Clin Neurophysiol 1992: 85: 229-235

11. Aisen ML, Stallman J, Aisen PS: The sympathetic skin response in the shoulder hand syndrome complicating tetraplegia. Paraplegia 1995: 33: 602-605
12. Zimmermann KP, Monga TN, Darouiche TN, Lawrence SA: Poststroke autonomic nervous system function: Palmar sympathetic skin responses thirty or more days after CVA. Arch Phys Med Rhabil: 76: 250-256
13. Carmichael EA, Honeyman WM, Kolb LC, Stewart WK: A physiological study of the skin resistance response in man. J Physiol 1941: 99: 329-337
14. Yokota T, Takahachi T, Kondo M, Fujimori B: Studies on the diphasic wave form of the GSR. troencephalogr Clin Neurophysio 1959: 11: 687-696
15. Maulsby RL, Edelberg R: The interrelationship between the galvanic skin response, basal resistance and temperature. J Comp Physiol Psychol 1960: 53: 475-479
16. Ba-M'hamed, Cianca F, Delerm B, Roy JC, Sequeira-Martinho AH: The influence of skin temperature on latency and amplitude of skin potential response in the cat. Biol Psychiatry 1986: 22: 59-67
17. Van den Bergh P, Kelly JJ: The evoked electrodermal response in peripheral neuropathies. Muscle Nerve: 1986: 9: 656-657
18. Baba M, Watahiki Y, Matsunaga M, Takebe K: Sympahtetic skin response in healthy man. Electromyogr Clin Neurophysio. 1988: 28: 277-283
19. Elie B, Guiheneuc P: Sympathetic skin response: Normal results in different experimental conditions. Electroencephalogr Clin Neurophysiol. 1988: 70: 56-61
20. Low PA, Caskey PE, Tuck RR, Fealey RD, Dyck PJ: Quantitative sudomotor axon reflex test in normal and neuropathic subjects. Ann Neurol. 1983: 14: 573-580