

Heat-stress 온도 적용이 교감신경활동에 미치는 영향

임 영 은

(동신대학교 대학원 물리치료학과)

양 은 영

(효인병원 물리치료실)

김 태 열

(동신대학교 물리치료학과)

Influence of Heat Stress Temperature on Sympathetic Nerve Activities

Lim Young-Eun, P.T.

(Dept. of Physical Therapy Graduate School, Dongshin University)

Yang Eun-Young, P.T.

(Dept. of Physical Therapy, Hyo-in Hospital)

Kim Tae-Youl, P.T., Ph.D.

(Dept. of Physical Therapy, Dongshin University)

ABSTRACT

The purpose of this study were to investigate influence of heat stress temperature on sympathetic nerve activities. Subjects were 8 normal adults (4 men, 4 women, 21.36 years old). First sympathetic nerve activities were measured at the point that increase of core temperature stops at the state of applying normal thermic temperature (NTT; 34°C). After

measurement, temperature of bathtub was increased to heat stress temperature (HST; 46°C) and sympathetic nerve activities were remeasured at the point that temperature increase stops. Sympathetic skin response (SSR) were analyzed using EMG, IR thermometer, and auto stethoscope. SSR latency showed significant differences at both palms by electrical stimulation to median nerve ($p<.05$). Electrical stimulation to forehead showed significant difference at left palm ($p<.05$) and electrical stimulation to navel showed significant difference at right palm ($p<.05$). Median nerve in changes of SSR amplitude showed significant differences at both palms in HST ($p<.01$). Electrical stimulation to navel showed significant difference at left palm ($p<.05$). Ts of forehead and xiphoid process showed significant differences ($p<.01$). Tc of oral ($p<.05$) and inner ear ($p<.01$) showed significant differences. Pulse rate showed significant difference ($<.05$). This study showed that immersion in HST had significant decrease of excitability in sympathetic nervous system compared to immersion in NTT.

Key Words : Heat stress temperature, Sympathetic nerve activities

I. 서론

인체에 높은 온도와 낮은 온도를 적용하는 동안 서로 다른 반응을 나타내고, 온도 차이가 클수록 더 크고 다양한 반응을 보인다(Tikuissis, 1999). 온도의 변화는 혈관 평활근을 수축하게 하는 성질과 교감신경의 흥분성에 관여한다고 알려져 있다(Vanhoutte 등, 1981). 고온적용은 피부 혈류량, 발한률, 그리고 피부 교감신경계 활성을 증가시킨다(Cui 등, 2004; Wilson, 2001; Bini 등, 1980). 이러한 반응은 열을 적용하는 동안 발한운동과 혈관운동 작용의 활성으로 인해 나타나는 것으로 이해될 수 있으며(Halliwill, 2000; Bini 등, 1980; Crandall, 2000)에 따르면 전신 고온열 적용은 심박수

와 혈압을 감소시킨다고 하였다. 또한 체표면 온도와 심부온도, 심박수가 증가하며, 근교감신경활성(muscle sympathetic nerve activity)이 활성화 되는 것으로 보고되었다(Cui 등, 2004). 그러나 전신 열적용에 따라 심박수는 증가하나 혈압의 변화는 없다는 결과도 보고되었다(Cui 등, 2006). 전신 열적용에 따른 교감신경계의 활성화는 심박수와 근교감신경활성(muscle sympathetic nerve activity)의 증가로부터 증명되고 있다(Cui 등, 2004; Rowell와 O'Leary, 1990; Niimi 등, 1997). 국소 열적용에 대한 연구로는 Cooke 등(1984)은 국소 열적용 시 동물의 하지 정맥 수용기의 민감도가 감소되며, 백서의 혈관 반응이 감소된다고 보고하였다(Kregel와 Gisolfi, 1990; Massett 등, 1998).

또한, 국소 열적용은 전신 열적용과 마찬가지로 피부 혈류량을 증가시킨다고 보고하였다(Cui 등, 2004).

자율신경계에 대한 검사에는 혈압과 심박동수의 변화 등을 사용하여 교감신경과 부교감신경의 기능을 측정한다. 또한 혈청 내 noradrenaline의 변화, 경구 당부하검사(Tackmann과 Kaeser, 1981), 24시간 심박동수 측정, thermoregulatory sweat test(TST), quantitative sudomotor axon reflex test(Q-SART), sweat imprint test, 교감신경 피부반응검사(sympathetic skin response)가 사용되고 있다.

초기 교감신경계 병변을 진단하기 위해 Fagius(1991), Delius(1972), Vallbo(1979) 등이 침 전극을 사용하였다. Knezevic과 Bajada(1985)은 침전극보다 간편한 표면전극을 이용하여 교감신경 피부반응을 보고하여 현재 자율신경계 검사에서 발한자극신경검사 중 체성교감신경경로의 이상 유무를 간단하게 검사할 수 있는 방법으로 사용되고 있다. skin sympathetic response의 기록은 강한 전기자극에 의해 얻어지며 말초 자율신경섬유기능을 평가하기 위한 비침습적 방법으로써 발한운동신경섬유의 기능을 평가함으로써 교감신경 기능의 지표로 사용되어 진다(Knezevic와 Bajada, 1985; Shahani 등, 1984). Heat stress temperature 적용 시 sympathetic skin response(SSR)의 기록은 normothermia에서 적용할 때와는 다르다고 보고하였다(Cui 등, 2006). 그러나 국소 heat stress temperature 적용 뿐 아니라 국소 부위 열적용에 따른 교감신경계의 반응을 알아본 연구는 많지 않았으며, SSR을 통한 연

구 또한 미미하였다. 따라서 본 연구에서는 국소 부위에 heat stress temperature의 적용에 따른 SSR 변화를 통해 교감신경계에 미치는 영향을 알아보려고 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상

연구의 대상은 본 실험에 자원한 남녀 대학생 8명으로 하였다. 대상자는 실험 24시간 전에 음주, 흡연, 심한 운동을 하지 않는 자로 선정하였으며, 실험에 영향을 주는 선형질환이나 그와 관련된 약물을 복용하는 자는 제외시켰다. 또한, 실험기간 중 물리적, 화학적 자극요인을 최대한 제한시켰다. 동일 대상자에게 normal thermic temperature(NTT)와 heat stress temperature(HST)를 교대로 적용하였으며, 간격은 3일로 하였다. 평균 연령은 22 ± 5 세, 신장은 166 ± 8 cm, 체중은 64 ± 5 kg이었다. 실험실의 온도는 $25 \sim 27^\circ\text{C}$ 로 유지하였다.

2. 실험방법

1) 온도 적용

대상자가 욕조에 앉은 상태에서 비골두 높이 까지 물을 채워 지속적으로 표재온도 변화를 관찰하였으며, 표재온의 상승이 고정되는 시점에서 심부온도, 혈압, 맥박, SSR을 측정하였다. 욕조의 온도는 NTT는 34°C , HST는 46°C 로 고정하여 적용하였다.

2) 측정

표재온도는 이마와 검상돌기에서 thermometer(Center 306, Center Technology Co., Taiwan)를 이용하여 측정하였으며, 심부온도는 구강과 내이에서 체온계(ThermoScan, Braun, Germany)를 이용하여 측정하였다. 맥박과 혈압의 변화는 Auto-stethoscope (Mesmed, Korea)를 이용하였다. SSR은 진단용 근전도(Sierra, Cadwell, USA)를 이용하였으며, 피부교감 신경준비를 전기자극하여 나타나는 활동전위의 잠복기 및 진폭을 기록하였다. 기록을 위해 우측과 좌측 손바닥에 활동전극, 손등에 참고전극을 배치하였다. 전기자극은 이마, 배꼽 중앙부, 기록전극의 반대측 정중신경으로 하였다.

3. 통계방법

통계학적 분석은 윈도우즈용 SPSS 12.0

Table 1. The change of body temperature

	Superficial temperature(°C)		Core temperature(°C)	
	Forehead	Xiphoid process	Oral	Inner ear
NTT	35.44±0.55	35.25±0.72	36.53±0.28	36.60±0.43
HST	36.11±0.56**	36.20±0.26**	36.96±0.31**	36.85±0.34*

All values are mean±SD.

* : p<0.05, ** : p<0.01

NTT (normal thermic temperature) HST (heat stress temperature)

2. 혈압의 변화

혈압의 변화를 분석한 결과, 수축기와 이

프로그램을 사용하였으며, 각 측정항목에서 normal thermic과 heat stress temperature의 차이에 대한 검정은, 윌콕슨 부호 순위 검정(Wilcoxon signed rank test)을 실시하였다. 통계학적 유의성을 검증하기 위해 유의수준 α 는 0.05로 하였다.

III. 결과

1. 체온의 변화

체온의 변화를 분석한 결과, 표재온도는 HST 적용 시 이마와 검상돌기에서 유의하게 상승하였으며($p<0.01$), 심부온도는 구강($p<0.05$)과 귀($p<0.01$)에서 유의하게 증가하였다(Table 1).

완기 모두에서 HST 적용 시 증가하는 양상을 보였으나 통계적으로 유의하진 않았다(Fig. 1, 2).

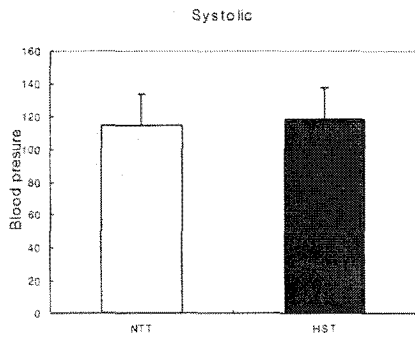


Fig. 1. Comparison of the systole.

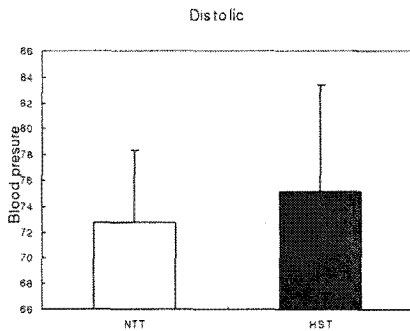


Fig. 2. Comparison of the distole.

3. 맥박의 변화

맥박의 측정 결과를 분석한 결과, NTT 적용 시 보다 HST 적용에서 증가하였으며, 통계적으로 유의하였다($p < 0.05$)(Fig. 3).

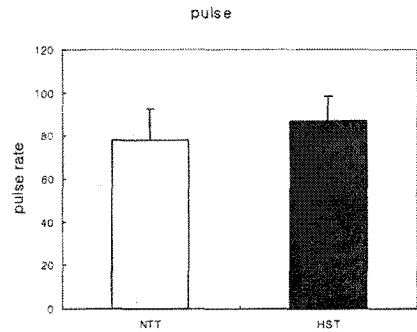


Fig. 3. Comparison of the pulse rate($p < 0.05$).

4. SSR 측정 결과

1) 잠복기의 변화

피부의 교감신경활성도를 알아보기 위해 SSR을 측정한 결과에서 잠복기는 NTT 적용 시 보다 HST 적용에서 더 짧아지는 양상을 보였으며, 자극부위와 기록부위에 따라 유의성에 차이가 있었다. 양쪽 정중신경에서 자극하여 반대편 손바닥에서 기록한 SSR의 잠복기, 이마에서 자극하여 왼쪽 손바닥에서 기록한 잠복기, 배꼽에서 자극하여 오른쪽 손바닥에서 기록한 잠복기는 통계적으로 유의하였다($p < 0.05$)(Fig. 4, 5, 6, 7).

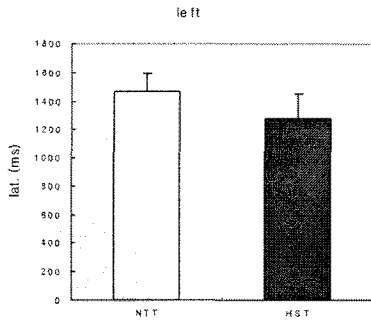


Fig. 4. Comparison of the latency at left palm by electrical stimulation to median nerve($p<0.05$).

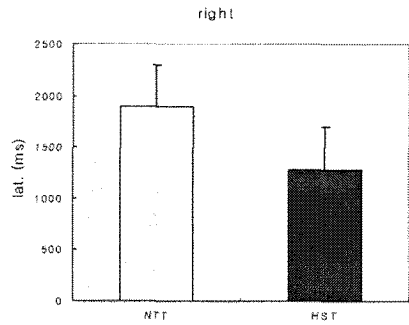


Fig. 7. Comparison of the latency at right palm by electrical stimulation to navel($p<0.05$).

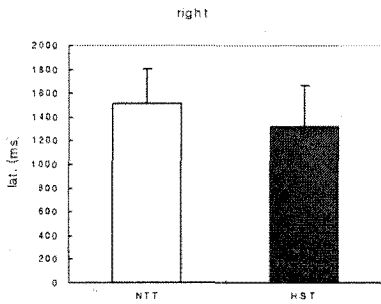


Fig. 5. Comparison of the latency at right palm by electrical stimulation to median nerve ($p<0.05$).

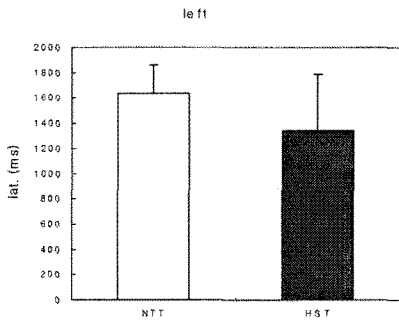


Fig. 6. Comparison of the latency at left palm by electrical stimulation to forehead ($p<0.05$).

2) 진폭의 변화

진폭의 변화는 NTT 적용 시 보다는 HST 적용에서 감소하는 경향을 보였다. 양쪽 정중신경에서 자극하여 반대쪽 손바닥에서 기록한 SSR의 진폭($p<0.01$), 배꼽에서 자극하여 왼쪽 손바닥에서 기록한 진폭이 통계적으로 유의하게 감소하였다($p<0.05$)(Fig. 8, 9, 10).

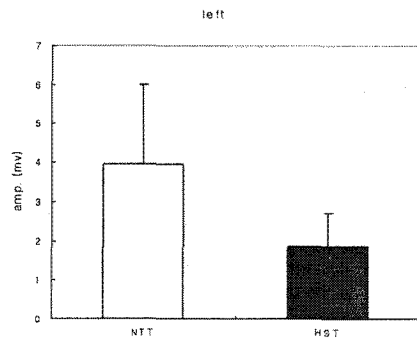


Fig. 8. Comparison of the amplitude at left palm by electrical stimulation to median nerve ($p<0.01$).

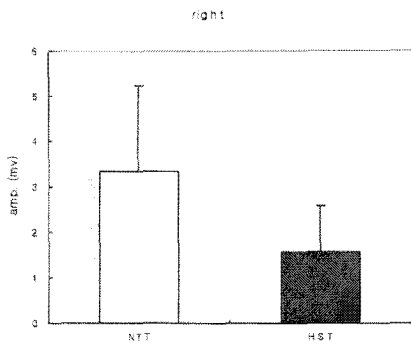


Fig. 9. Comparison of the amplitude at right palm by electrical stimulation to median nerve ($p < 0.01$).

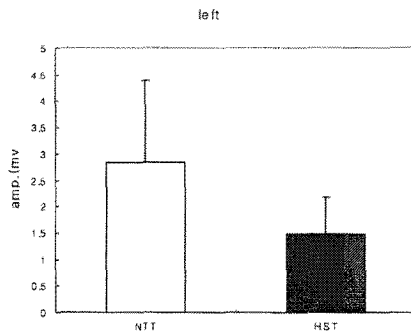


Fig. 10. Comparison of the amplitude at left palm by electrical stimulation to navel ($p < 0.05$).

IV. 고찰

본 연구에서는 고온의 물을 부분 침수시켰을 때 교감신경계의 반응을 알아보려고 하였다. NTT적용에서는 baroreflex 및 피부 교감신경계의 활성화에 변화가 없다는 연구가

있었다(Cui 등, 2004). 따라서 HST적용에서와 NTT적용에서의 반응을 비교하여 NTT적용에서보다 HST에서의 표재온도 및 심부온도가 올라간 것으로 나타났다. 그 결과 혈압과 맥박 모두 증가하였으나 혈압은 유의한 차이를 보이지 않았다. heat stress를 적용하는 동안 피부 혈관은 norepinephrine에 의해 나타나는 adrenergic 기전에 의해 혈관 수축 반응이 감소한다고 하였다(Cui 등, 2004). 일반적으로 혈관은 교감신경 지배만을 받으며 이 신경의 지속적 긴장에 의하여 지속적 수축상태를 유지하게 된다(길원식, 1991). 국소 열적용 시 물의 온도가 37°C 이상 되었을 때 뿐 아니라 심부온도가 증가할 때 피부 혈관 확장은 감소된다. 하지만 혈관의 온도가 41°C에 도달 할 때는 혈관 수축 작용이 감소한다고 하였다(Massett 등, 1998). heat stress를 적용하는 동안 심박출량이 50%로 올라가고 이는 피부에 바로 영향을 준다(Rowell, 1974).

교감신경계의 반응을 알아보기 위한 또 다른 방법으로 SSR을 시행하였으며 교감신경의 흥분성 및 전도성을 분석하였다. 자율신경에 관계된 신경은 무수 신경섬유이며 일반적으로 시행되는 신경전도 검사는 주로 체간신경을 알아보기 위한 검사로 사용되어졌으며, 유수 신경섬유의 반응이 측정되는 것으로써 자율신경에 대한 검사에는 제약이 있어 왔다(Hanson 등, 1992; Ewing와 Clarke, 1982; Guy와 Clark, 1985). 그러나 본 실험에서 교감신경 피부반응은 우리가 흔히 사용하는 진단 EMG로 쉽게 측정할 수 있었다. 말초에 분포하는 baroreflex-governed vasoconstrictor impulses로 구성

되는 근 교감신경계와 감정, 심호흡 혹은 다른 자극에 의한 피부혈관의 수축자극으로 구성되어 피부 체온조절에 관여하는 피부교감신경계(sudomotor impulse)로 나눌 수 있으며 교감신경 피부반응(galvanic skin response)검사는 말초신경에 가해진 전기자극에 의해 sudomotor 신경계가 손바닥 또는 발바닥의 땀샘을 일시적으로 활성화시켜 발생하는 피부전위로 보고 있다. 아직 그 기전에 관하여 정확히 밝혀지지 않고 있으나, 그 경로로는 직경이 큰 구심성 유수신경섬유를 통해 척수의 측각으로 전달되고 절전, 절후의 직경이 작은 원심성 섬유(sympathetic B, C fiber)를 통해 신경선접합부(neuroglandular junction)로 구성된다고 한다(Fagius, 1991; Fagirs, 1982). 교감신경 피부반응검사는 fast component와 slow component로 나뉘지는 biphasic potentials인데 microelectrode를 사용하여 땀샘관내에서 직접전위를 측정할 결과 fast negative component는 땀샘에서 기원하며 땀의 분비와 관련이 있는 반면 slow positive component는 피부의 표층에서 기원하며 땀의 분비와 무관하게 나오며 전기자극이 반복되는 경우 땀샘에서 피로현상이 나타나 땀샘관 내부를 음극으로 유지할 수 있다고 하며 이러한 피로현상이 일어나는 부위는 한선자극신경(sudomotor nerve)이 아니라 땀샘이라는 사실이 밝혀졌다(신정빈과 전중선, 1991).

땀샘은 크게 eccrine, apocrine, sebaceous gland로 나뉘지며 이중 eccrine gland는 전신에 분포하여 온도자극에 의해 체온조절에 관여하거나, 의식(mental stimuli), 감정이나

감각자극에 의해 손바닥, 발바닥, 이마 등에 분포하여 반응하는 것으로 나눌 수 있다. 이중 손바닥이나 발바닥은 감정자극이나 약한 자극에서 가장 먼저 반응하는 곳으로 교감신경 피부반응을 가장 크게 측정할 수 있다(유창현, 1992). 이러한 방법에는 반복자극으로 습성화에 대한 무반응이 문제화 되고 있고 이러한 습성화를 막기위해 10초 이상의 간격을 두고 실험 하는 것이 필요하다고 할 수 있다(Hoeldtke, 1992). 따라서 본 실험에서 전기적인 자극 후 나타나는 반응을 좌우 손바닥에서 기록하였으며, 자극간에 간격을 두고 실시하였다. SSR의 측정 결과 NTT적용에서보다 HST적용에서 잠복기가 짧아졌으며, 진폭이 감소되는 것을 볼 수 있었다. 체온의 상승으로 인하여 교감신경의 전도성은 빨라지는 것으로 보이나 체온이 상승되고 고정되었을 때까지 시간동안 항상성을 위한 교감신경계의 흥분성이 감소되는 것으로 보인다. 하지만 여러 연구결과 고온의 상태에서 피부 혈류량 뿐 아니라 피부 교감신경계의 반응이 크게 증가한다고 보고된다(Cui 등, 2004; Bini 등, 1980; Wilson 등, 2001). 전신 heat stress 적용 시 또한 피부 혈류량, 심박수, 피부 교감신경계의 반응이 증가되는 것으로 보고되고 있다(Cui 등, 2002). 본 연구에서 heat stress적용에 따른 혈압의 변화는 흥미로운 사실이며, 교감신경의 흥분성 및 혈압의 변화에 관한 여러 연구와 부분 열적용에 관한 더 많은 연구들이 필요한 것으로 사료되며, 부분 열적용을 이용한 수치료 분야 뿐 아니라 여러 물리치료 분야에서 교감신경계를 측정할 수 있는 지표로써 SSR의 연구가 필요한 것으

로 사료된다.

V. 결론

본 연구는 국소부위에 heat stress temperature 적용이 교감신경계 활동에 어떠한 영향을 주는지 알아보고자 NTT 적용 시와 HST 적용 시 나타나는 체온, 혈압, SSR의 변화를 평가하였다. 연구 결과에서 HST 적용 시에 NTT 적용 시보다 체온, 맥박, 교감신경의 전도성은 유의하게 증가하며, 교감신경의 흥분성은 유의하게 감소하는 것으로 나타났다.

참고문헌

길원식 : 자율신경계. 고문사, 1991.
신정빈, 전중선 : 교감신경 피부반응의 습성화에 대한 연구. 대한재활의학회지, 15(1):40-46, 1991.
유창현 : 당뇨병자에 있어 교감신경 피부반응검사의 유용성에 대한 고찰. 경희대학교 대학원, 석사학위논문. 1992.
Bini G., Hagbarth KE., Hynninen P. et al. : Thermoregulatory and rhythm-generating mechanisms governing the sudomotor and vasoconstrictor outflow in human cutaneous nerves. J Physiol. 306; 537-552, 1980.
Cooke JP., Shepherd JT., Vanhoutte PM. :

The effect of warming on adrenergic neurotransmission in canine cutaneous vein. Circ Res. 54:547- 553, 1984.
Crandall CG. : Carotid baroreflex responsiveness in heatstressed humans. Am J Physiol Heart Circ Physiol. 279:955-962, 2000.
Crandall CG., Zhang R., Levine BD. : Effects of whole body heating on dynamic baroreflex regulation of heart rate in humans. Am J Physiol Heart Circ Physiol. 279:2486-2492, 2000.
Cui J. & Sathishkumar M., Wilson TE., et al. : Spectral characteristics of skin sympathetic nerve activity in heat-stressed humans. Am J Physiol Heart Circ Physiol. 290(4):1601-1609, 2006.
Cui J., Wilson TE., Crandall CG. : Baroreflex modulation of sympathetic nerve activity to muscle in heat-stressed humans. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol. 282:R252-R258, 2002.
Cui J., Wilson TE., Crandall CG. : Orthostatic challenge does not alter skin sympathetic nerve activity in heat-stressed humans. Auton Neurosci. 116:54-61, 2004.
Cui J., Wilson TE., Crandall CG. : Phenylephrine-induced elevations in arterial blood pressure are attenuated in heat-stressed humans. Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol. 283:R1221-R1226, 2002.
Cui J., Zhang R. Wilson TE., et al. :

- Spectral analysis of muscle sympathetic nerve activity in heat-stressed humans. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 286(3);1101-1106, 2004.
- Delius W., Hagbarth KE., Hongell A. et al. : Manoeuvres affecting sympathetic outflow in human skin nerves. *Ada Physiologica Scandinavica.* 84;177-186, 1972.
- Ewing DJ. & Clarke BF. : Diagnosis and management of diabetic autonomic neuropathy. *Br Med J. (Clin Res Ed)* 285;916-918, 1982.
- Fagirs J. : Microneurographic findings in diabetic polyneuropathy with special reference to sympathetic nerve activity. *Diabetologia.* 23;415-420, 1982.
- Fagius J. : Aspects of autonomic neurophysiology in diabetic polyneuropathy : A brief review. *Diabetic Med.* 8;S58-S62, 1991 .
- Guy RJC. & Clark CA. : Evaluation of thermal and vibration sensation in diabetic neuropathy. *Diabetologia.* 28;131-137, 1985.
- Halliwill JR. : Segregated signal averaging of sympathetic baroreflex responses in humans. *J Appl Physiol.* 88;767-773, 2000.
- Hanson P., Schumacker P., Debugne T., et al. : Evaluation of somatic and autonomic small fibers neuropathy in diabetes. *Am J Phys Med Rehabil.* 71;44-7, 1992.
- Hoeldtke RD. : Autonomic surface potential analysis. Assessment of reproducibility and sensitivity. *Muscle & Nerve.* 15;926-931, 1992.
- Knezevic W. & Bajada S. : Peripheral autonomic surface potential. A quantitative technique for recording sympathetic conduction in man. *J Neurol Sci.* 67;239-51, 1985.
- Kregel KC. & Gisolfi CV. : Circulatory responses to vasoconstrictor agents during passive heating in the rat. *J Appl Physiol.* 68;1220-1227, 1990.
- Masset MP., Lewis SJ., Kregel KC. : Effect of heating on the hemodynamic responses to vasoactive agents. *Am J Physiol Regulatory Integrative Comp Physiol.* 275;R844-R853, 1998.
- Niimi Y., Matsukawa T., Sugiyama Y. et al. : Effect of heat stress on muscle sympathetic nerve activity in humans. *J Auton Nerv System.* 63;61 - 67, 1997.
- Rowell LB. : Human cardiovascular adjustments to exercise and thermal stress. *Physiol Rev.* 54;75 - 159, 1974.
- Rowell LB. & O'Leary DS. : Reflex control of the circulation during exercise chemoreflexes and mechanoreflexes. *J Appl Physiol.* 69;407-418, 1990.
- Shahani BT., Halperin JJ., Boulu PJ. et al. : Sympathetic skin response : a method of assesing unmyelinated axon dysfunction in peripheral neuropathies. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 47;536-42, 1984.
- Tackmann W. & Kaeser HE. : Autonomic disturbances in relation to sensorimotor

- peripheral neuropathy in diabetes mellitus. *J Neurol.* 224;273-281, 1981.
- Tikuiss P. & Giesbrecht GG. : Prediction of shivering heat production from core and mean skin temperatures. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* Feb. 79(3);221-229, 1999.
- Vallbo AB. & Hagbarth KE., Torebjork HE., et al. : Somatosensory, proprioceptive, and sympathetic activity in human peripheral nerves. *Physiol Rev.* 59;919-957, 1979.
- Vanhoutte PM., Verbeuren TJ., Webb RC. : Local modulation of adrenergic neuroeffector interaction in the blood vessel wall. *Physiol Rev.* 61;151-247, 1981.
- Wilson TE., Cui J., Crandall CG. : Absence of arterial baroreflex modulation of skin sympathetic activity and sweat rate during whole-body heating in humans. *J Physiol.* 536;615-623, 2001.
- Wilson TE., Cui J., Crandall CG. : Effect of whole-body and local heating on cutaneous vasoconstrictor responses in humans. *Auton Neurosci.* 97;122-128, 2002.