

말초신경병의 적외선 체열촬영

장 호 열

국민건강보험공단 일산병원, 연세대학교 의과대학 신경외과학교실

Infrared Thermography in Peripheral Neuropathy

Ho-Yeol Zhang, MD

Department of Neurosurgery, National Health Insurance Corporation Ilsan Hospital,
Yonsei University College of Medicine, South Korea

This review article was made for the understanding of the usefulness of infrared thermography in peripheral nerve diseases. This article was composed of 4 parts, i.e., carpal tunnel syndrome, peripheral nerve injuries, thoracic outlet syndrome and research for peripheral neuropathy.

Thermal regulation of the skin can be changed by the peripheral nerve lesion and it can recover along with the recovery of the peripheral nerve lesion. This study about the peripheral nerve diseases can also contribute the development of the infrared thermographic studies.

Key Words: Infrared thermography · Carpal tunnel syndrome · Thoracic outlet syndrome · Peripheral nerve injury

서 론

적외선 체열촬영이란 사람의 체표(피부)로 부터 나오는 적외선을 감지하고, 기록하여, 우리의 눈으로 볼 수 있는 이미지로 만들어내는 일련의 과정을 거쳐 만들어진 영상이다. 피부의 온도는 일일 변화, 계절적 변화, 식사 유무 등에 의하여 측정 시 마다 달라진다. 또한 성별, 연령, 체중, 피하 지방의 정도에 따라서 각 개인별로 온도의 차이가 있다.

피부 온도의 결정 요인은 내적 요인과 외적 요인으로 나뉜다. 내적 요인은 국소의 혈류량, 조직의 열 생산, 조직의 열전도가 있고, 외적 요인은 열의 전도, 대류, 기화, 외부로의 방사가 있다. 이들에 따라서 피부의 일정 부위에서의

온도가 결정된다.

인체에서 피부는 가장 큰 기관이다. 피부의 중요 역할 중 하나가 체온의 항상성을 유지하는 것이다. 피부는 자율 신경계의 지배를 받는 미세혈관 신경의 네트워크를 포함하고 있어 이를 통해 체온을 조절한다. 따라서 자율 신경의 조절을 받는 특성 때문에 체온과 체표 즉 피부의 온도는 인간의 의지로 조절될 수 없으며, 반사작용에 의해서만 변화가 가능하다.

체온 조절의 기전은 일반적 기전과 자율신경계 관련 기전이 있다. 일반적 기전을 국소적인 근육의 활동에 의한 것, 감각 신경의 역행성 자극에 의한 것, 척추동 신경(sinu-vertebral nerve)의 활성화에 의한 것이다. 자율신경계와 관련된 기전은 척추 부교감 신경의 자극, 교감성 혈관 이완체계의 자극, 교감성 혈관 수축, 체성 교감성 반사의 분할자극에 의하여 이루어 진다.

대부분의 말초신경은 운동신경섬유와 감각신경섬유, 그리고 자율신경섬유를 포함하고 있기 때문에 분포 부위의

교신저자: 장 호 열
411-719, 경기도 고양시 일산동구 백석동 1232
국민건강보험공단 일산병원 신경외과
Tel: 031-900-3362, Fax: 031-900-0589
E-mail: hoyeolzhang@gmail.com

근육의 움직임, 감각 및 피부 혈관의 조절을 담당하게 된다. 특정 말초신경의 손상이나 병변이 있을 경우, 이 신경이 분포하는 조직의 변화가 일어날 것이고, 또한 혈관의 수축과 이완을 담당하는 교감신경의 영향으로 피하 혈류의 변화가 일어날 것이다. 이러한 변화가 국소의 열생산의 증가나 감소를 가져올 것이며, 피부 온도를 변화시킬 것이다.

피부에 분포되는 특정 말초신경에 병변이 있을 경우에는 분포 부위 피부의 온도 변화를 관찰함으로써, 특정 말초신경병이라는 진단을 할 수 있는지, 만성적 병변 인지, 혹은 급성의 병변 인지, 이 병변이 회복 가능한 것인지, 혹은 치료 전, 후의 변화의 평가로 치료의 정도를 평가할 수 있는지 등을 알아보기 위하여 본 연구를 하였다. 본 연구는 기존에 발표된 적외선 체열촬영 논문을 중심으로 정리 요약하여 재검토 하였다.

본 론

1. 수근관 증후군(Carpal tunnel syndrome, CTS)

수근관 증후군은 정중신경(median nerve)이 transverse carpal ligament 아래에서 만성적 압박을 받아서 발생하는 것이다. Brachialgia paresthetica nocturna라고도 하여 밤에 양손이 아픈 것이 특징이다. 여성에게 많이 나타나며, 폐경, 임신 중, 임신 후에 잘 나타난다. 또한 갑상선저하증(hypothyroidism)이나, 급작스런 체중의 증가에도 잘 나타난다. 근전도 검사에서는 손목주위에서 정중신경병증이 나타난다.

저자는 수근관 증후군으로 수술을 하였던 6명, 12측의 근전도 검사와 수술 전 체열촬영과 수술 후 3-6개월 후의 체열촬영을 가지고 연구를 하였다. 방법은 이들의 수술 전 체열촬영 소견과 근전도 검사와의 연관성을 보았고, 수술 후 체열 변화를 분석하였다¹⁰⁾.

양손이 다 수근관 증후군이기 때문에 체열촬영을 분석하는 데에는 양 손의 온도차를 사용하지 못하였다. 수근관 증후군은 손목부위에서 정중신경의 압박으로 손바닥 부위의 온도가 변하는 것이므로, 비교적 정상 온도를 유지할 것이라 기대되는 antecubital area의 온도와 동측의 손바닥 온도를 측정하여 이 두 부위의 온도차를 측정하였다(Fig. 1). 이들 6명의 수술 전 근전도 검사는 모두 실시하였다. 그러나

수술 전 체열촬영은 4명의 환자 8개의 손목만이 촬영되었기 때문에 4명 환자의 8개 근전도만을 가지고 median nerve lesion around wrist가 신경전도 속도에 따라 분리하였다. Mild, moderate, severe compression을 나눌 경우 mild lesion인 군이 1개 손목이었고, ΔT 는 $+0.70^{\circ}\text{C}$, moderate lesion인 군이 2개 손목으로 ΔT 의 평균은 $+0.87^{\circ}\text{C}$, 그리고 severe lesion인 군이 5개 손목으로 이 경우는 3개 손목에서는 palm의 온도가 antecubital의 온도 보다 높은 hyperthermia type로 ΔT 는 평균 $+1.87^{\circ}\text{C}$ 를 나타내었고, 2개 손목은 palm의 온도가 낮은 hypothermia type으로 ΔT 는 평균 -1.68°C 이었다.

수술 후 3개월 혹은 6개월에 이들 6명의 모두에서 체열촬영을 실시하였고, 이들 6명 12개 손목의 체열촬영을 측정하였다. 수술 후에는 ΔT 의 평균은 $+0.94^{\circ}\text{C}$ 였다. 수술 전 군에 따른 수술 후 온도 변화는 mild lesion의 경우는 ΔT 가 $+0.70^{\circ}\text{C}$ 에서 $+1.77^{\circ}\text{C}$ 로 변화하였고, moderate lesion의 경우는 $+0.87^{\circ}\text{C}$ 에서 $+1.42^{\circ}\text{C}$ 로 변화하였다. 그리고 severe lesion의 군 중에서 수술 전 hyperthermia를 보인 군은 $+1.87^{\circ}\text{C}$ 에서 $+1.04^{\circ}\text{C}$ 로 온도차가 줄면서 hyperthermia를 유지하고 있었고, 수술 전 hypothermia를 보인 군은 -1.68°C 에서 $+0.86^{\circ}\text{C}$ 로 변하는 것을 보였다.

전기 생리적 검사상 neuropathy의 정도와 손바닥의 고온의 정도는 비례한다. 전기생리적 검사상 severe lesion의

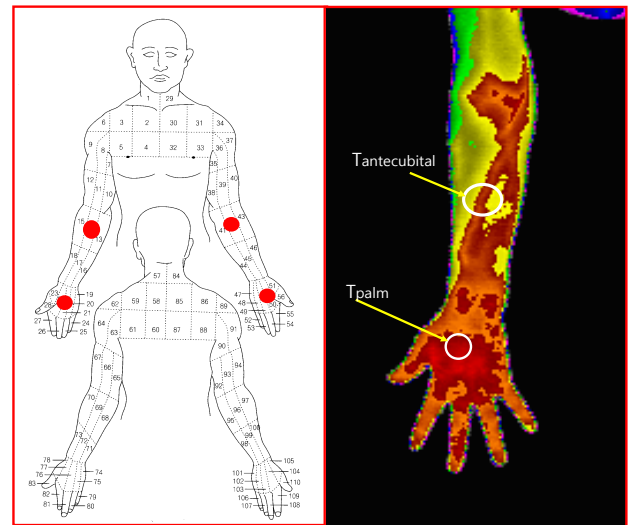


Fig. 1. Temperature measurement points and calculating method of ΔT from thermography. $\Delta T = T_{\text{antecubital}} - T_{\text{palm}}$.

경우는 손바닥의 심한 고온이나 저온을 나타낸다. 수술 후 3-6개월 후 온도 변화는 mild lesion 일 경우는 수술 후 고온화가 가중되고, severe lesion 일수록 고온화가 약화되며, 대조 표준과 가까워진다. 수술 전 체열촬영으로 전완부 증양과 손바닥의 온도차로 정중 신경 압박의 정도를 예측할 수 있다. 수술 후 체열촬영은 손바닥의 혈액순환이 정상화되는 정도를 측정할 수 있다.

Ming 등은⁴⁾ CTS 환자의 비정상적인 혈류 조절의 징후인 피부 온도의 변화와 carpal tunnel release (CTR) 수술의 효과로 CTS의 증상들이 완화되는 것을 연구하였다. 41개의 정상인의 손과 CTR 수술을 받은 CTS 환자 16명의 22개 손을 비교 분석하였다. 수술 전 체열촬영과 수술 후 6개월의 체열촬영을 비교하였다. 온도 측정은 1번 손가락의 끝(D1)부터 5번 손가락 끝(D5)의 온도를 측정하였고, thenar area의 중심(Th)과 hypothenar area의 중심(Ht)의 온도를 측정하였다(Fig. 2). Median nerve index (MI)=(D1-D2) + (D1-D3) + (D2-D3)라고 정의하였고, median nerve 분포 영역과 ulnar nerve 분포 영역간의 온도 차이인 MED. ULN=(D1-D5) + (D2-D5) + (D3-D5) + (Th-Ht)로 정의하여 이를 측정하였다. 양측의 온도 차의 절대값을 취하였다. 결과는 CTR 수술을 한 CTS 환자는 모두 nerve conduction study에서 정상으로 돌아왔고, 증상인 통증과 저린감은 호

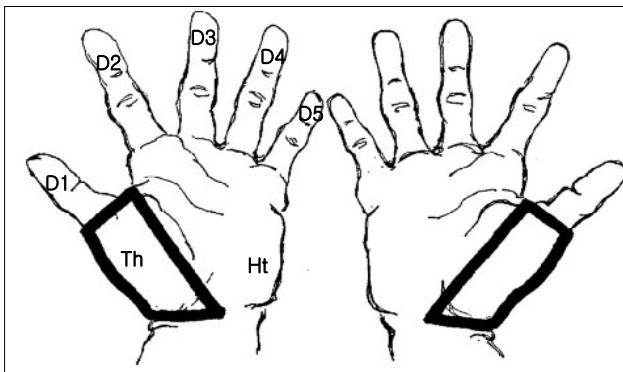


Fig. 2. Temperature measurement points and calculating indices. Median nerve index (MI)=(D1-D2) + (D1-D3) + (D2-D3). ΔT between median nerve and ulnar nerve (MED.ULN)=(D1-D5) + (D2-D5) + (D3-D5) + (Th + Ht) (Copy form the original article of "Ming Z, Siivola J, Pietkainen S, Narhi M, Hanninen O: Postoperative relieve of abnormal vasoregulation in carpal tunnel syndrome. *Clinical Neurology and Neurosurgery* 109:413-417, 2007")

전되었다. MI와 MED.ULN 모두 수술 전 정상인과 CTS의 비교치와 수술 후 비교치는 모두 온도차가 적어졌다(MI: $p < 0.001$, MED.ULN: $p < 0.005$). 또한 수술 전 CTS 환자의 경우는 ulnar nerve 영역을 포함한 모든 손가락 끝의 온도가 차가웠으며, 수술 후에는 모든 손가락 끝의 온도가 상승하였다. 수술 전 CTS 환자의 정상측 손의 온도는 정상인보다 차가웠고(통계학적 의미는 없었지만), 환측의 손을 수술 한 이후에는 건측의 온도도 정상치에 근접하였다. 따라서 이 체열촬영의 결과는 CTS에서 혈류 조절이 비정상인 이유는 교감신경성 vasomotor activity의 장애에 의한 것이고, CTR 수술 후 6개월에 CTS 증상의 호전과 함께 순환이 정상으로 돌아옴을 알 수 있다고 하였다.

Orlin 등⁵⁾의 연구는 다음과 같다. Low grade CTS 환자의 경우는 환자의 증상은 CTS이지만, nerve conduction study에서는 정상인 경우에 진단법에 대한 연구를 하였다. 저자들은 정상인과 low grade CTS 환자들의 손가락을 운동하게 하면서, 손가락 끝의 microvascular perfusion을 측정하고, 손가락의 온도를 측정하는 방법으로 연구를 하였다. Microcirculation의 측정은 photoplethysmography (PPG)와 laser Doppler fluxmetry (LDF)를 이용하였고, 손가락의 온도는 적외선 체열촬영기를 이용하였다. 손가락을 dorsiflexion 시키는 운동을 하면서 이들을 측정한 결과 low grade CTS의 경우 체온은 운동 전에 비하여 운동 후에 의미 있게 감소하였고($p < 0.001$), 반면에 정상인은 운동 전, 후에 변화가 없었다. Dorsiflexion의 각도를 증가시키는(0-75도) 운동을 한 경우 손가락 끝의 skin perfusion은 환자군과 정상군 모두에서 변화가 없었다. 결론은 low grade CTS의 피부 온도 감소는 정상에서 나타나는 vasoconstriction과는 반대로 발한(sweating)에 의한 영향으로 판단되며, 이는 autonomic median nerve dysfunction에 의한 생리적 현상의 결과로 체열촬영으로 low grade CTS를 확진할 수 있다고 하였다.

이상의 논물들을 종합하여 보면 CTS의 진단은 전기생리적 검사가 필수이지만, 이것으로는 autonomic dysfunction만 있는 수초화된 신경섬유만의 기능을 측정하는 것이므로 탈수초 섬유인 c afferent fiber와 postganglionic sympathetic fiber의 기능은 측정할 수가 없다. 다른 방법으로 MRI와 초음파 검사가 있지만, 이들 검사는 수근관 및 내부 구조물의 해부학적 이상을 보여주는 것이다. 교감신경섬유의 기

능을 연구하기 위하여 sympathetic skin response를 사용하는 방법이 있지만, 이 방법은 sudomotor autonomic function을 측정하는 것에 유용하며, vasoactive sympathetic fiber의 기능을 측정할 수는 없다. 수근관 증후군 환자의 손이나 손가락의 온도를 측정하는 것은 손, 손가락의 혈류량을 측정하는 것이므로, 이 부위의 피부 온도를 측정함으로써 autonomic vasoregulation의 이상 여부를 측정할 수 있는 좋은 방법이며, 따라서 병증의 중증도를 평가할 수 있으며, 수술 후에는 혈류 조절의 기능이 정상화되었는지를 측정할 수 있는 것으로 CTS의 수술 전 병증의 정도와 수술 후 환자의 기능의 회복을 측정하는 좋은 장비이다.

Part 2. Peripheral Nerve Injuries

Ya'ish 등⁹⁾에 의하면 체열촬영기는 아니지만, 피부에 liquid crystal thermometer를 접촉시켜서 색의 변화로 온도를 측정하는 장치를 이용할 경우 사지의 열산 환자에서 말초 신경의 손상이 같이 있는지를 알 수 있는 방법을 소개하였다. 말초의 신경 손상이 같이 있는 경우는 손상된 신경의

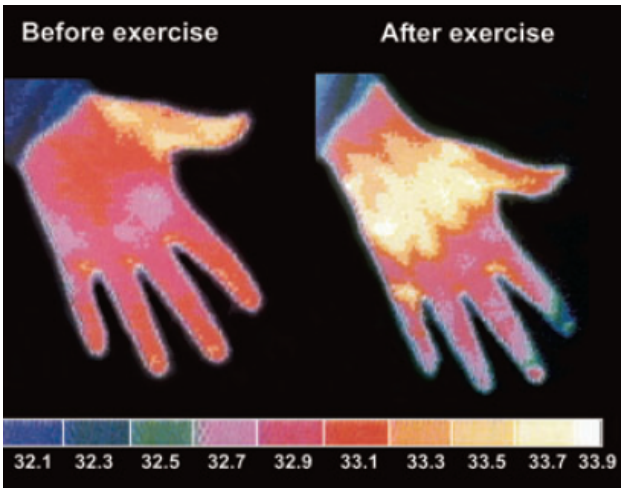


Fig. 3. The results of thermography before (left) and after (right) a manual exercise test in a hand of a patient with low-grade median nerve compression, and normal conduction velocity. Each color in the scale represents a difference of 0.2°C. note the change into green in the area of median nerve innervations, corresponding to a temperature reduction of approximately 1.0°C. (Copy from the original article of "Orlin JR, Strandén E, Slagsvold CE: Effects of mechanical irritation on the autonomic part of the median nerve. *Eur J Neurology* 12:144-149, 2005")

말초 부위의 온도가 정상인 부위에 비하여 1°C 이상 상승하며(sensitivity=100%, specificity=93.8%), 따라서 이를 이용할 경우 surgical exploration을 하여야 하는지 혹은 단순 봉합만으로 되는지를 쉽게 판별할 수 있다고 하였다.

Uematsu는⁸⁾ 체열촬영기를 이용할 경우 온도를 측정하여 신경 손상에 의한 damaged area를 확인할 수 있다고 하였다. 정상인의 경우는 좌우의 온도차가 0.24°C±0.073°C라고 하였다. 반면에 말초신경 손상이 있는 경우는 손상된 신경 분포 지역의 온도가 평균 1.55°C (p<0.001)의 차이가 있다고 하였다. 경제적이고, 법의학적으로 객관적인 검사법이라고 하였다.

Lee 등³⁾의 증례 보고에는 한의학의 침 치료를 받으면서 침을 좌측 손목의 median nerve 부위에 맞은 후에 좌측 2번째 손가락의 심한 통증으로 내원한 환자에 대한 것이다. 침을 맞은지 2주일 후에 검사를 하였다. 신경생리학적 검사상 median nerve의 sensory nerve action potential이 없어졌고, 다른 손가락은 정상이었다. Radial nerve와 ulnar nerve function은 검사상 정상이었다. 체열촬영에서는 좌측 둘째 손가락만 심한 저온을 나타냈다. 이후 565일이 지난 후에 환자의 증상은 정상적으로 회복되었고, 체열촬영 검사상에서도 온도는 정상으로 나타났다. 따라서 한 신경(median nerve) 안에서 운동 신경과 감각 신경 중에서 감각 신경의 일부 부분만 미세하게 damage를 받을 수 있으며, 이를 검사하는 방법으로 체열촬영이 유용하다 하였다.

Ulnar and medial nerve의 손상에 의한 cold intolerance는 심각하고 장기적인 문제이지만, pathophysiology는 잘 알려지지 않았다. Ruijs 등⁷⁾은 말초 신경 손상 후에 나타나는 온도 조절에 대한 연구를 체열촬영으로 하였다. 4명의 ulnar nerve injury 환자와 4명의 median nerve injury 환자(외상 후 4-12년이 된 자들)들에게 15°C의 물에 손을 넣을 5분간 담금 뒤에 빼서 체열촬영을 하였다. 그리고 2-4분 간격으로 계속 체열촬영을 하여 손의 온도 회복을 측정 하였다. 최초에는 양손의 온도가 대칭적으로 같았으며, 이후 정상 온도로의 회복이 신경 손상이 있는 부위에서 늦게 나타났으며, cold intolerance의 부위와 같았다. Cold water immersion test는 말초 신경 손상 후의 체온 조절을 측정하는 데에 도움이 된다는 것을 발표하였다(Fig. 4).

이러한 연구를 바탕으로 볼 때에 말초 신경의 초기, 즉, 급성기에는 신경 손상 부위의 혈관 수축을 담당하는 교감

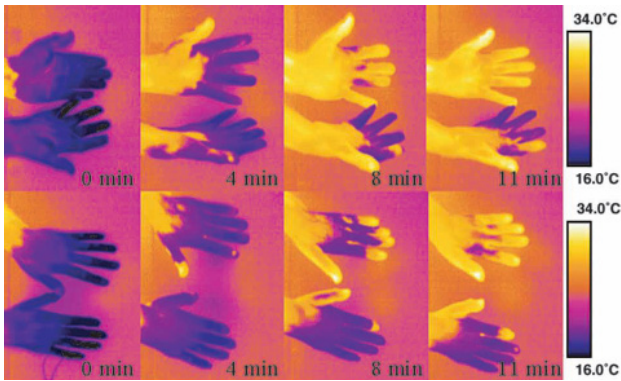


Fig. 4. Thermography of the dorsal and palmar aspects of the hands. IR thermography of a patient with 4 year old injury to the ulnar nerve of the right forearm. IR thermography of 0 minute show the temperature of the hands immediately after removing them from the 15°C waterbath. During rewarming additional scans were taken 4, 8, and 11 minutes. The top figures indicated the palmar side, the bottom figures the dorsal side, of the hands. (Copy form the original article of "Ruijs ACJ, Jaquet NB, Brandsma M, Daanen HAM, Hovius SER: Application of infrared thermography for the analysis of rewarming in patients with cold intolerance. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg* 42:206-210, 2008")

신경 역시 손상을 받기 때문에 손상된 신경의 치부 지배 영역에서 1°C 이상의 고온을 보이며, 시간이 경과된 만성적 경우에는 정상적인 환경에서는 좌우 대칭의 정상적인 온도 분포를 보이지만, cold immersion test 등을 하는 경우 차가워진 손이 정상 온도로 회복하는 데에는 정상적인 부분의 회복에 비하여 현저히 늦게 나타나며, 이는 말초 신경 손상 후에 cold intolerance가 있는 환자에서 잘 나타난다. 그리고 말초 신경의 일부에 partial injury 혹은 reversible injury를 받은 경우는 손상에 의하여 신경 기능이 파괴된 것이 아니라, 신경기능이 자극이 되다면, 교감신경이 활성화되어 이 신경의 피부 영역의 심한 저온을 나타내며, 이러한 경우는 향후 회복이 될 수 있다는 것을 보여준다.

Part 3. Thoracic outlet syndrome (TOS)

Ellis와 Cheng은¹⁾ 123명의 brachial plexus decompression 수술을 받은 thoracic outlet syndrome 환자의 수술 중 monitoring에 대하여 발표하였다. 수술 중 수술 주위의 팔을 외부에 노출시키고, 체열촬영으로 monitoring을 하였다. TOS의 원인은 muscular entrapment, scar, interdig-

tations 등의 여러 원인이 있다. 수술로 brachial plexus를 exploration을 하면서 병변으로 의심이 되는 부위를 dissection, decompression을 할 경우, 수술 전에 팔의 온도가 비정상적이던 부위에서 변화가 일어나며, 확실한 decompression이 되는 경우는 이 부위의 decompression이 끝나면 팔의 온도의 변화를 관찰할 수 있었던 경우가 1/3의 환자에서 가능하였다고 하였다. 따라서 체열촬영으로 monitoring을 하면서 수술을 할 경우 수술의 성공률을 현저히 높일 수 있었다고 하였다.

이 논문을 응용하여 판단한다면, ulnar nerve transposition, carpal tunnel release, direct nerve repair, nerve graft 등의 수술 시에 monitoring을 한다면, 좋은 결과를 가져올 수 있을 것으로 판단된다.

Part 4. Research for peripheral neuropathy

Han 등²⁾은 쥐의 tibial nerve & sural nerve transection (TST)하여 neuropathic pain model을 만들었다. 그리고 쥐의 TST가 sympathetically maintained pain 인지 혹은 sympathetically independent pain 인지를 알아보기 위하여 이 쥐들에게 lumbar sympathectomy를 시행하였다. TST를 하면서 common peroneal nerve는 손상시키지 않았다. 이 쥐들은 sympathectomy 군과 sham group으로 나누었다. Sympathectomy는 TST 일주일 후에 시행하였으며, L3-L6까지 양측 모두 시행하였다. Sympathectomy의 성공 여부는 적외선 체열촬영으로 하지를 촬영하여 증명하였다. 즉, 하지의 온도가 상승하였다. Tactile allodynia는 von Frey filament로 측정하였고, cold allodynia는 acetone을 점적하며 측정하였다. 이들 쥐에서 tactile stimulus와 cold stimulus에 모두 다리를 움츠리는 반응을 보였다. Sympathectomy group과 sham group간에 이들 자극에 대한 움츠림의 차이는 없었다. 즉, TST의 통증은 sympathetic nerve와는 관련 없는 통증으로 결론하였다.

Sympathetic skin response (SSR)는 sudomotor activity를 평가하며, 적외선 체열촬영은 sympathetic nerve의 vasomotor activity의 기능을 평가하는 것으로 알려져 있다. Park 등은 말초신경병증을 가진 환자들의 sympathetic nerve impairment를 평가하기 위하여 SSR과 적외선 체열촬영을 이용하여 35명의 환자를 평가하였다. 24명(68.6%)은 SSR

test에서 비정상적이었고, 29명(82.9%)은 적외선 체열촬영에서 비정상이었다. 적외선 체열촬영과 SSR의 관계를 분석하면, 19례(54.3%)에서 두 검사 모두에서 비정상이고, 1례에서 두 검사 모두 정상이었다. 그리고 나머지 25 (42.9%) 명의 환자는 둘 중 하나에서만 비정상이었다. SSR과 적외선 체열촬영의 비정상의 빈도는 말초신경병변의 axonal involvement의 중증도와 비례하였다. 이 실험의 결과는 말초 신경질환의 경우에서 SSR 보다 적외선 체열촬영이 sympathetic dysfunction을 측정하는데 더 민감하다는 것을 보여주었다. 그러나 적외선 체열촬영은 양측성의 말초 신경 질환의 경우에는 sensitivity가 떨어질 수 있다. 그러므로 말초 신경 질환의 교감신경 기능 부전에 대한 평가는 SSR과 체열촬영기를 동시에 사용함으로써 그 정확도를 높일 수 있다고 하였다.

이런 말초 신경 질환의 기초 연구 들을 종합할 경우 인체의 다양한 말초 신경 질환의 병리와 stress test 등의 진단 방법 개발, 치료의 효과 판독에 적외선 체열촬영이 사용 가능하다는 것이며, 동물을 이용한 neuropathic pain research에 이용될 수 있으며, sympathetic mediated lesion의 연구 및 그 외 동물을 이용한 다양한 실험의 경우 의사 소통이 되지 않는 동물에 대한 객관적인 자료를 구할 수 있는 장점이 있을 것이다.

결 론

적외선 체열촬영은 피부 또는 대기에 노출된 부분의 온도 변화를 연구하는 것으로 피부의 온도를 변화시키는 다양한 원인에 의하여 변화가 나타나며, 그 원인의 해결과 함께 피부의 온도가 정상으로 회복되는 것을 관찰 할 수 있는 장비이다.

말초 신경의 변수에 의하여도 피부의 온도가 변하며, 이에 대한 연구는 향후 말초 신경 질환의 병리, 치료 및 회복에 대한 많은 기여를 할 것이 기대된다.

참 고 문 헌

1. Ellis W, Cheng S: Intraoperative thermographic monitoring during neurogenic thoracic outlet decompressive surgery. *Vascular and Endovascular Surgery* 37:253-257, 2003
2. Han DW, Kwon TD, Kim KJ, Lee JS, Chang CH, Lee YW: Does the tibial and sural nerve transection model represent sympathetically independent pain? *Yonsei Medical Journal* 47:847-851, 2006
3. Lee CH, Hyun JK, Lee SJ: Isolated median nerve neuropathy after acupuncture. *Arch Phys Med Rehabil* 89: 2371-2381, 2008
4. Ming Z, Siivola J, Pietkainen S, Narhi M, Hanninen O: Postoperative relieve of abnormal vasoregulation in carpal tunnel syndrome. *Clinical Neurology and Neurosurgery* 109:413-417, 2007
5. Orlin JR, Strandén E, Slagsvold CE: Effects of mechanical irritation on the autonomic part of the median nerve. *Eur J Neurology* 12:144-149, 2005
6. Park ES, Park CI, Jung KI, Chun SI: Comparison of sympathetic skin response and digital infrared thermographic imaging in peripheral neuropathy. *Yonsei Medical Journal* 35:429-437, 1994
7. Ruijs ACJ, Jaquet NB, Brandsma M, Daanen HAM, Hovius SER: Application of infrared thermography for the analysis of rewarming in patients with cold intolerance. *Scand J Plast Reconstr Surg Hand Surg* 42:206-210, 2008
8. Uematsu S: Thermographic imaging of cutaneous sensory segment in patients with peripheral nerve injury. Skin-temperature stability between sides of the body. *J Neurosurg* 62:716-720, 1985
9. Yah'ish FMM, Cooper JP, Craigen MAC: Thermometric diagnosis of peripheral nerve injuries: Assessment of the diagnostic accuracy of a new practical technique: *Journal of Bone and Joint Surgery (Br)* 89:933, 2007
10. Zhang HY: Carpal tunnel syndrome: correlation between thermal differences and severity in EMG study. *Korean Journal of Thermology* 9:113-117, 2009