



## Cold Stress Dynamic Thermography for Evaluation of Vascular Disorders in Hand-Arm Vibration Syndrome

(손팔진동증후군에서 나타나는 혈관계질환 평가를 위한 한냉스트레스 역동성 자기온도분포도)

출처 *J Occup Health* 2008, 50, 423-425

저자 Srdjan JANKOVIC, Stevan STANKOVIC, Srdjan BORJANOVIC, Lazar TENJOVIC and Milka BOGDANOVIC

### 서론

손공구를 장기간 특히 추운 환경에서 많이 다루게 되면 손으로 전도되는 진동에 노출되어 종종 손팔진동증후군(HAVS: Hand-Arm Vibration Syndrome)으로 알려져 있는 여러 가지 질환이 유발될 수 있다. 먼저 신경혈관계 질환을 초래하는 외상성 혈관경련 증후군(VWF: Vibration-induced White Finger)을 들 수 있고, 다음으로 레이naud드유형(RP:secondary Raynaud's phenomenon)을 들 수 있는데, 한냉 자체에 반응하여 손가락이 창백해지는 것이 특징이다.

이런 조건과 반응으로 인해 산업보건의가 창백해진 것을 관찰한 경우 가끔, 외상성 혈관경련 증후군을 RP원인으로 알려진 다른 것들을 배제하거나 직업상 진동에 노출되었

다는 환자의 경력에만 근거해 진단한다<sup>1)</sup>.

외상성 혈관경련 증후군의 사정에는 한냉스트레스에 반응하여 나타나는 손가락피부온(FST: finger skin temperature)과 손가락 수축기혈압(FSP: finger systolic blood pressure)이 가장 널리 쓰인다<sup>2-4)</sup>.

손가락 수축기혈압의 사정 원칙은, 냉각됨에 따라서 나타나는 측정치에 따르는데, 그것은 한냉으로 인해 손가락에서의 말초혈관이 수축되는 정도를 뜻한다<sup>5)</sup>. 회복되는 중에 손가락 수축기혈압이 상승한다면 그것은 측정하는 피부영역에서의 혈류의 증가를 의미한다. 비정상적인 '다시 따뜻해지기' 양상은 냉각으로 수반된 혈관확장반응과 다른 혈관계 팽창 양상을 나타낸다<sup>6)</sup>. 좀 더 낮은 손가락피부온을 보이면 그것은 손팔진동증후군이 있는 환자의 혈류에 지속적으로 비정상적인 것이 있다는 것을 예상할 수 있

다<sup>2-7)</sup>.

Merla 등<sup>8)</sup>은 적외선영상을 사용한 열회복기록기법 즉, 다시 ‘다시 따뜻해지기’ 과정을 개인 픽셀의  $\tau$ 시간으로 모형화하여 영상 지수로 만들고 시각화한 것을 서술 한 바 있다( $\tau$ 총 온도변화의 63%가 다시 따뜻해지는 데 필요한 시간). 손상부위는 천천히 회복되며 긴  $\tau$  시간이 걸린다. 역동적이고 기본적인 영상기법으로 도입되는 새로운 방법이지만, 투입된 모든 원 값 즉 ‘다시 따뜻해지기’ 자료로부터가 아닌 절단값(cutoff-value)으로부터 추론한다. 비영상 적외선 근거 장치의 사용은 Foerster 등<sup>9)</sup>이 보고하는 것처럼 ‘다시 따뜻해지기’가  $\tau$ 값으로 서술될 수 있다.

Darton 과 Black<sup>10)</sup>에 따르면 손의 온도 분포 영상과 한냉자극 이후의 ‘다시 따뜻해지기’ 곡선은 일차 및 이차 RP가 있는 환자 및 정상 환자 간에 특징적인 차이를 나타낸다.

저자들은 ‘다시 따뜻해지기’ 기간 중의 미세 혈액순환에 대한 역동적인 반응을 사정하고자 새 방법인 역동적 적외선 자기온도분포도를 제안한다.

## 방법

대상에 대한 검사과정은 실온  $22 \pm 1^\circ\text{C}$ 로 통제된 환경에서 한냉자극(CP:cold provocation)후 ‘다시 따뜻해지기’ 과정을

자기온도분포로 기록하였다.

고무장갑 낀 손을 손목까지  $8^\circ\text{C}$  수온의 물속에 5분간 담갔다가 장갑을 벗기는데, 이 때 검사 대상자의 손에는 특별히 고안된 접지가 카메라와 이동형 컴퓨터에 연결되어 있어서 촬영한 변화과정이 자기온도분포로 연속적으로 그려져 출력되었다. 자기온도분포도는 30분 간격으로 매회 30초간씩 기록했다. 적절한 접지란 기록 중 손을 고정된 자세로 유지하는 것이며, 여기서 얻은 자기온도분포는 개인별 ‘다시 따뜻해지기’를 픽셀로 직접 재구성했다. 기록된 자료의 이입 과정 시각화를 위해 Mathcad<sup>®</sup> 환경으로 적었다.

일반적으로 ‘다시 따뜻해지기’ 과정은 방정식을 통해 예측하는데<sup>8,9,11)</sup>, 이 때 사용한 분석법은 비선형 회귀방정식으로  $T(t) = T_0 + \Delta T(1 - e^{-kt})$ 였다.  $T(t)$ 란 측정된 온도이며,  $T_0$ 는 처음 온도이고,  $\Delta T$ 는 총 온도변화이며,  $k$ 란 ‘다시 따뜻해지기’ 비율을 뜻하는데 시간별로 생산되는 각각의 픽셀을 얻게 된다.

측정치  $k$ 는 ‘다시 따뜻해지기’ 과정의 역동성을 수량화한 것( $k$ 값이 클수록 보다 빨리 따뜻해지는 것을 나타낸다)이기 때문에  $k$ 도식이 유용하다. 예컨대 손바닥의 공간적 분포를 시각화하는 것과 같은 것이다. 흑백 분포로 보면 짙은 색은 늦게 ‘다시 따뜻해지기’를 나타내는 반면에, 밝은 색은 빨리 ‘다시 따뜻해지기’ (낮은  $k$ 값)를 나타낸다.

그렇지만 실무에서는 종천연색분포를 쓴다.

## 결과 및 토의

대상에게서는 서면동의를 얻었고 제시하는 k 지도(a, b, c, d, e, f)는 직업 상 진동에 전혀 노출된 바 없는 건강한 사람의 k 지도와 비교했다.

a) 건강한 사람: k 분포 양상은 손가락 끝에서의 빨리 '다시 따뜻해지기' 비율을 나타내듯 손바닥에서도 '다시 따뜻해지기' 비율을 나타낸다. 운동성이 잘 통제되고, 떨림이 없었고, 빠르고 완전하게 열성 회복을 나타냈다.

b) 진동노출에 의한 초기 병리학적 변화를 가진 대상 : '다시 따뜻해지기' 비율이 손가락 마다 달랐다. 직업상 진동에 가장 크게 노출된 손가락은 느린 '다시 따뜻해지기' 비율을 나타내고 있는 두 번째 손가락이었다. 피부 미세순환에서 소위 손상된 혈관 반응인 병리학적 변화가 있음을 보여주었다. Gautherie<sup>12)</sup>는 사람마다 손가락 간 한냉에 대한 반응이 불균형적이어서 손팔진동증후군의 차별화된 감별진단에 유용하다고 했다.

c) 비 가중된 k지도와 d) 가중된 k지도가 진동에 노출된 대상의 조건을 더 잘 이해할 수 있게 해 준다.

비 가중된 k지도에서 다른 손가락들보다 새끼손가락에서 좀 더 빠른 '다시 따뜻해지

기'가 암시되었다. 그러나 전체 온도변화인  $\Delta T$ 는 다른 손가락에서보다도 새끼손가락에서 좀 더 작았다. 가중된 k지도는 기본적으로 k  $\Delta T$  산물의 시각화와 함께 k를 시각화하기 위해 재배치하는 것을 의미한다. 이 대상에 있어서  $\Delta T$ 는 새끼손가락에서 작았고, k  $\Delta T$  산물은 역시 다른 손가락들이 가중된 k지도로서 보였을 때 그것이 크게 다르지 않고 작았다.

e) 말초혈류가 손상된 대상: 느린 '다시 따뜻해지기' 와 경련에 따른 뚜렷한 흰색을 보이고 있는 병리학적 k 지도를 나타냈다. '다시 따뜻해지기' 비율은 손가락 끝에서 좀 더 낮았고, 손바닥에서 다소 높았지만, 일반적으로 낮았고, 반면에 손가락주변에 흰 가공물이 출현했는데 이는 진동 때문이었다.

f) 진동에 노출된 대상의 k 지도로 말초혈관계에서의 주요변화를 보여준다. 느리고 불규칙한 '다시 따뜻해지기' 를 가진 병리학적 사례로 k지도는 느리고 불규칙한 '다시 따뜻해지기' 양상을 말초혈관질환과 양립해서 나타내는 반면에, 손가락의 '다시 따뜻해지기' 사이에서의 불균형이 일차 RP가 원인이 아니라는 것을 암시한다.

이 경우에 k지도는 명료하지 않은데, 진동으로 초래된 손상이 대체로 인지와 중지의 경계가 흰색으로 너털너털한 형태로 보이는데 있다. 그런 경우에 인지와 중지의 원근별 지골을 조사하기 위해 '다시 따뜻해지

기' 과정이 지수로서 모형화되지 않을 수 있다는 것을 찾아내기 위해 '다시 따뜻해지기' 곡선을 점묘하거나 분석한다.

여기에는 이유가 많은데, 지연된 '다시 따뜻해지기' 에서부터 매우 느린 '다시 따뜻해지기' 중 다양한 모습의 진동에 이르기까지다. 이 이유들은 '다시 따뜻해지기' 곡선에 대한 관찰에 따라 즉시 볼 수 있다.

f)에서 계속된 '다시 따뜻해지기' 곡선은 초기온도와 최종온도 간에 낮은 온도변화율과 곡선불규칙성 등 작은 차이들 있었다. 30분후의 최종온도는 역시 이전 냉각치보다 낮아, 말초혈류체계에서 심한 손상이 있다고 결론짓기에 충분한 근거를 제공하고 있다. 그런 경우 불균형을 관찰하기 위해 각 손가락의 끝과 새끼손가락 및 넷째손가락의 기저에도 곡선 점묘하기를 권장한다.

현재 외상성 혈관경련 증후군에 동반되는 것을 포함해서 어느 것도 순환장애를 위한 제안된 검사가 없고 매우 흡족하지도 않다<sup>5)</sup>. 외상성 혈관경련 증후군 환자상태에 대한

더 나은 병식을 얻기 위해 더 많은 방법의 개발이 필요하다.

자기온도분포도는 손 전체를 동시에 사정할 수 있고 그것은 손팔진동증후군의 감별진단에 유용하다는 것을 발견하였고<sup>11,12)</sup>, 체온계와는 달리 불안정하지 않다. 영상화 목적 때문에 저자들은 파라미터 k를 소개하는데 직접적으로 '다시 따뜻해지기' 비율을 할당하고, 비선형회귀방정식을 통해 얻으며, '다시 따뜻해지기' 과정을 통해 수집된 모든 가용한 온도자료를 이용한다는 장점 때문이다.

이것은 진동에 따른 온도의 범실을 감소하고 시간간격에 따른 오차에도 덜 민감하다. 이 파라미터는 상대적인 온도변화를 특징으로 해서 작은 범실의 오차를 극복한다. 방사성향의 영향과 배경온도 역시 감소된다.

덧붙여 가중된 k값은 최종온도가 사전 냉각치에 도달하지 않는 경우를 다루는데 좋다. 여기에 제안한 방법들은 손팔진동증후군의 개인 진단법에 있어 추후검사로 유용하다. 🍷

제공 | 편집위원 정 문 희

## 참 고 문 헌

- 1) Lindsell CL: Test battery for assessing vascular disturbances of fingers. Environ Health Prev med 10, 314-350(2005)
- 2) Laskar MS and Harada N: Different Conditions of Cold Water Immersion Test for Diagnosing Hand-Arm Vibration syndrome. Environ Health Prev Med 10, 351-359(2005)
- 3) International Organization for Standardization. ISO 14835-1:2005 Mechanical vibration and shock- Cold provocation tests for the assessment of peripheral vascular function - Part 1: Measurement and evaluation of finger skin temperature. Geneva: ISO, 2005
- 4) International Organization for Standardization. ISO 14835-1:2005 Mechanical vibration and shock- Cold provocation tests for the assessment of peripheral vascular function - Part 2: Measurement and evaluation of finger systolic blood pressure. Geneva: ISO, 2005
- 5) Vovenzi M: Finger thermometry in the assessment of subjects with vibration-induced white finger. Scand J Work Environ Health 13, 348-351(1987)
- 6) Olsen N: Diagnostic aspects of vibration-induced white finger. Int Arch Occup Environ Health 75, 6-13(2002)
- 7) Harada N: Cold-stress tests involving finger skin temperature measurement for evaluation of vascular disorders in hand-arm vibration syndrome : review of the literature. Int Arch Occup Environ Health 75, 14-19(2002)
- 8) Merla A, Di Donato L, Di Luzio S and Romani GL: Qualifying the relevance and stage of disease with the Tau image technique. IEEE Eng med Biol Mag 21, 86-91(2002)
- 9) Foerster J, Wittstock S, Fleischanderl S, Storch A, Riemekasten G, Hochmuth O, Meffert B, Meffert H and Worm M: Infrared-monitored cold response in the assessment of Raynaud's phenomenon. Clin Exp Dermatol 31, 6-12(2006)
- 10) Darton K and Black CM: Pyroelectric vidicon thermography and cold challenge quantify the severity of Raynaud's phenomenon. Br J Rheumatol 30, 190-195(1991)
- 11) Dupuis H: Thermographic assessment of skin temperature during a cold provocation test Scand J Work Environ health 12, 352-355(1987)
- 12) Gautherie M: Clinical studies of the vibration syndrome using a cold stress test measuring finger temperature. Cent Eur J Public Health 3(Suppl), 5-10(1995)