

## 등속성 운동 후 양측 대퇴부의 피부 온도 변화

김선미, 오영수, 이지은  
연세대학교 보건과학대학 재활학과  
권혁철  
대구대학교 재활과학대학 물리치료학과

### Abstract

### Bilateral Skin Temperature Change of the Anterior Thigh Following Unilateral Isokinetic Exercise

Kim Seon-mi, B.H.Sc., R.P.T  
Oh Young-soo, B.H.Sc., R.P.T  
Lee Ji-eun, B.H.Sc., R.P.T  
*Dept. of Rehabilitation, College of Health Science,  
Yonsei University*

Kwon Hyuk-cheol, M.P.H., R.P.T., O.T.R.  
*Dept. of Physical Therapy, College of Rehabilitation Science,  
Taegu University*

The purpose of this study was to measure and compare the skin temperature over the exercised muscle and corresponding non-exercised muscle after unilateral isokinetic exercise using digital thermography. Thirty-two young healthy volunteers with no history of knee injury were tested. After isokinetic exercise at 60 degree per second angular velocity using the right leg in a climatic chamber at ambient temperature of 23-26°C, skin temperature of the anterior thigh was tested. After exercise, the skin temperature of both the right and left leg had fallen significantly. The skin temperature of the exercised leg fell less than that of the non-exercised leg. The fall in skin temperature after work was not due to increased evaporative cooling, but was the result of segmental vasoconstriction probably caused reflexly in the spinal cord by non-thermal afferents from exercising muscle or moving tissues. The effect of thermoregulatory vasodilation was reduced by reflex vasoconstriction caused by non-thermal factors such as catecholamine.

**Key Words** : Skin temperature; Isokinetic exercise; Thermoregulation; Thermographics.

## I. 서론

체온의 항상성과 체표면 온도의 조절은 시상하부에 의해 되먹임기전(feedback mechanism)을 통하여 유지된다. 이러한 항상성과 온도 조절은 신체의 양쪽에 균일하고 동시에 영향을 받으므로 온도의 대칭적 분포는 정상임을 나타내고 비대칭적 분포는 비정상임을 나타낸다.

피부는 그 내부의 많은 혈관망을 통하여 작용하는 신체의 주요 열 조절기의 하나이다. 이것은 또한 신체 표면의 단위 면적 내에서 혈류를 조절하는 신경섬유 복합체와 연결되어 있다. 표면의 혈류량은 교감신경계에 의해 많은 영향을 받는다. 신경근이나 말초 신경이 자극을 받았을 때, 교감신경계는 혈관 수축을 일으키고 피부 온도를 감소시킨다. 반면 부분적 혹은 완전한 신경 손상은 혈관 확장을 일으키고 피부 온도를 증가시킨다(Feldman, 1991).

이러한 체표열의 변화는 컴퓨터 적외선 체열 촬영기를 통하여 인체의 체표면에서 발산되는 적외선 에너지를 감지하여 일정한 온도 차이에 따라 색을 달리 하여 나타나며, 컴퓨터 적외선 체열 촬영은 촬영 화면을 컴퓨터와 연결함으로써 특정 부위의 체표면 온도를 수치화하여 신체 대응 부위간의 온도 불균형 정도를 정확히 측정할 수 있는 검사법이다. 따라서 컴퓨터 적외선 촬영 검사는 자율신경계에 영향을 받는 체표면 온도의 변화를 알아보는 데 유용하며 생리학적인 유해가 없는 안전한 방법이다. 이 도구는 눈에 보이지 않는 신체 표면 온도를 볼 수 있도록 감지, 측정, 전환하여 영구적인 기록을 한다. 또한 주어진 시간에 일정한 신체 부위의 온도를 그래프로 보여줌으로써 직접 혹은 간접적으로 피부 온도에 영향을 주는 비정상적인 생물학적 열 조절 연구에 사용되어 왔다.

운동 초기에 피부 혈류의 일시적 감소는 Christenson과 Nielsen(1942)에 의해 처음 언급되었다. 그들은 대상자들이 능력에 맞는 힘든

운동을 하는 동안 손가락 혈량계(finger plethysmography)를 사용하여 혈류량의 지속적인 감소를 관찰하였다. 운동의 시작 단계에서 혈류가 감소함에 따라 피부 온도의 더욱 점진적인 감소가 동시에 기록되었다. 혈류가 즉각적으로 감소하는 것으로 보아 혈관 축소의 원인은 순수하게 신경에 기인한(nervous origin) 것으로 보고 하였다.

현재까지, 운동 후 피부 온도 변화에 대한 연구는 여러 연구자들에 의해 이루어졌다. Hobbins 등(1988)은 트레드밀을 이용하여, Nakayama 등(1981)은 자전거를 이용하여 하지 운동을 시킨 후, 운동하지 않은 부위인 전완(forearm)과 손바닥에서 피부 온도를 운동 전, 운동 중, 운동 후에 각각 측정하였다. 최근의 연구들은 운동한 근육 위의 피부 온도를 측정하는 것이 아니며 운동하지 않은 부위의 피부 온도 변화에 중점을 두어왔다. 이에 본 연구자들은 컴퓨터 적외선 체열 촬영의 잇점을 이용하여 하지의 한쪽만을 운동시켜서 운동한 근육 위의 피부 온도 변화와 운동하지 않은 다리의 피부 온도 변화를 측정, 비교하고자 한다.

따라서 이 연구의 가설은 다음과 같다.

첫째, 운동한 다리의 대퇴부 표면 온도는 운동 전 온도보다 떨어질 것이다.

둘째, 운동한 다리의 대퇴부 표면 온도 차이는 운동하지 않은 다리의 온도 차이보다 더 클 것이다.

## II. 연구방법

### 1. 대상

1994년 7월 6일부터 동월 13일까지 무릎에 외과적 질환이 없는 건강한 남녀를 대상으로 하였다. 성별 분포는 남자 21명, 여자 11명으로 총 32명 이었고 연령 분포는 만 19세에서 28세로 평균 26.6세이었다.

### 1) Digital Infrared Thermographic Imaging

## 2. 방법

공기의 흐름이 없는 실내에 컴퓨터 체열 촬영기<sup>2)</sup>를 위치시키고, 그 위치를 일정하게 고정시킨 후, 카메라로부터 69 cm 앞에 대상자가 설 수 있도록 표시하였다. 실내 온도는 23°C에서 26°C 사이를 유지하게 하였다.

지원자는 짧은 반바지로 갈아입은 후 실내온도와 체온이 비슷해지도록 10분에서 20분 가량 실험실에 있게 한다. 컴퓨터 체열 촬영기로 피부 온도 변화를 측정할 부위(Region of interest)는 체열 분포도 상의 27번째인 앞쪽 대퇴부였다.

촬영 횟수는 총 4회로 실내온도 적응 후와 그로부터 5-10분 경과 후, 또 두번째 촬영 직후와 운동 후였다. 처음 두 번 촬영은 운동을 하면서 소요된 5-10분의 시간 경과와 비슷하게 촬영 전후의 시간적 간격을 두어, 운동 후 표면 온도 감소 정도와 운동하지 않고 비슷한 시간이 지난 후의 표면 온도 감소 정도를 비교하기 위함이었다.

등속성 운동은 Cybex 340을 이용하여 초당 60도의 각속도에서 오른쪽 다리로 20회 실시하였다. 이때 운동하는 다리의 피부 온도에 외부적 자극을 주지 않기 위하여 대퇴부를 고정시키지 않았다. 한편 운동하지 않은 다리는 반대편 다리의 운동에 의해 받는 영향을 최소화하기 위하여 자연스럽게 늘어뜨려 놓았다. 자세는 허리를 똑바로 편 상태로 Cybex 등받이에 기대며 양손은 손잡이를 잡아 운동시 안정된 상태를 유지할 수 있도록 하였다.

## 3. 분석방법

오른쪽을 운동 전후, 또 왼쪽을 운동 전후로 Minitab을 이용하여 각각 짝비교 t-검정하였다. 운동한 쪽 다리와 운동하지 않은 쪽 다리의 운동 전후간 온도 변화를 측정하여 짝비교 t-검정 하여 어느 쪽이 더 큰 변화를 보이는지 알아보았다. 유의수준은 0.05로 정하였다.

## Ⅲ. 결과

표1. 운동 전후의 양측 대퇴부의 온도 변화

		평균 ±	표준편차
운동 전	오른쪽	30.70 ±	2.04
	왼쪽	30.47 ±	1.96
운동 후	오른쪽	30.33 ±	1.88
	왼쪽	30.03 ±	1.79

양측 대퇴부의 온도는 표 1.에서 보는 바와 같이 운동 후에 오른쪽, 왼쪽 모두 피부 온도가 떨어졌다.

표2. 운동한 다리와 운동하지 않은 다리의 운동 전후 온도 차이 비교 (N=32)

	평균 ±	표준편차	t-값	Prob.
오른쪽 다리	0.37 ±	0.94	2.20	0.035
왼쪽 다리	0.45 ±	0.87	2.92	0.007

2) Digital thermograph, Donam system DS1000

표 2.에서 보는 바와 같이 운동 전후의 평균 다리에서 더 많은 온도 감소를 보였다. 온도 차이는 운동한 다리보다 운동하지 않은

**표 3.** 운동한 다리와 운동하지 않은 다리의 운동 전후간 온도 변화 (N=32)

평균±	표준편차	t-값	Prob.
0.08±	0.23	1.97	0.058

앞의 표 3.을 보면 운동한 다리의 온도 변화에 비해 운동하지 않은 다리의 온도 변화는 그 차이가 유의하지 않지만, 평균적인 온도 감소에 있어서 는 운동하지 않은 다리가 0.08도 더 낮게 나왔다

#### IV. 고찰

신체와 주위환경 사이의 열전도를 조절할 수 있는 주요한 두 가지 구조가 있다. 첫째는 피부에 흐르는 혈류를 변화시킴으로써 신체 표면의 온도를 변화시키는 것이다. 만약 피부 혈관이 열려있다면 몸의 중심에서 따뜻한 피가 피부 표면으로 흘러 발산, 대류, 전도, 증발에 의해 쉽게 열을 잃을 수 있는데, 이는 따뜻한 땀이 찬 땀보다 쉽게 증발하는 것과 같다. 반면, 피부 혈관이 수축되어 있다면 열이 신체의 내부에 머무르게 되고 열을 적게 잃게 된다. 둘째는 땀샘으로부터 땀분비액을 조절하는 것이다. 땀을 많이 분비하면 증발에 의해서 많은 열이 손실되는 경향이 있다(이강평, 1985).

심혈관계는 운동시 탈수 정도, 주위 온도, 나이, 질병 뿐만 아니라 개인의 체력(fitness), 운동의 강도에 따라 다양하게 반응한다(Lemons 등, 1994). 혈류량은 교감성 긴장(sympathetic tone), 자가조절(autoregulation), 호르몬의 순환(circulatory hormone) 및 국소적 대사(local metabolism) 등에 의해 조절되나, 운동 중에 이들 요인들의 상호작용을 규명하기에는 어려운 점이 있다. 특히 이들 요인 중 교감성 긴장은 혈류변화의 가장 큰 비중을 차지한다(강두희, 1992. Thibodeau와 Patton, 1993).

운동하는 근육은 휴식 상태의 100배 까지 혈류가 증가하여 심장이 최대 박출량을 발휘하게 된다. 운동하는 근육내의 혈류 요구량이 증가하는 것을 충족시키기 위해서 피부에서는 운동하는 동안에 우선적으로 혈관 축소가 일어나 표면에서 열을 잃게된다. 따라서 이러한 온도조절, 혈압유지, 그리고 근육 대사 유지를 위한 경쟁적 작용이 어느 정도 조절되어야 한다.

운동 후에, 특히 열은 신장(Gibbons, 1989), 간, 비장 등에서 훨씬 떨어지고 경피 혈류가 감소하게된다. 이에 혈류량이 가장 크게 감소하는 부위는 피부, 비운동근육, 지방조직, 간 등이다. 운동 후 저혈압 효과(postexercise hypotensive effect)는 운동 후 증가된 체온에 의해 야기된 경피 혈관의 확장으로 설명되어져 왔다. 그러나 Hori 등(1978)은 두 실험적 환경(hot environment 35도, neutral environment 23도) 모두에서 운동 후 회복기에 평균적인 피부 온도는 감소했거나 변화가 없음을 증명하였다.

Johnson 등(1974)은 운동하는 동안 전완(forearm)의 혈류를 측정하여, 이것이 운동으로 인한 혈관 축소와 체온 상승으로 인한 혈관 확장 사이의 경쟁적 작용의 결과라고 주장하였다. 그들은 또한 증가된 혈관 축소 물질이 피부로

홀러 들어가 체열 조절성 자극(thermoregulatory stimuli)에 대한 피부의 반응을 감소시켜서 운동시 체온(body temperature)의 증가에 기여할 것이라고 보고하였다.

일반적으로 인간에게는 운동하는 근육의 증가하는 혈류 요구량을 증가시키기 위해 내장 기관과 비운동 근육에서, 그리고 운동 초기에는 피부에서 혈관 축소가 일어난다(Lemons 등, 1994). Torii 등(1992)의 연구에 의하면, 피부 온도는 운동의 시작 단계에서 즉각적으로 감소하기 시작하였고, 운동 강도가 증가하면 피부 온도는 더 많이 떨어졌다. 그 이유는 운동 초기의 피부 온도 감소가 발한의 증가 때문이 아니라 비 체열성 요소(non-thermal factor)에 의해 야기되는 혈관 축소 때문이다.

운동하는 동안 동맥혈 내에 카테콜라민(catecholamines)이 증가한다(Nielsen 등, 1990). 운동 후 경피 혈관 축소는 카테콜라민의 순환 증가와 이 혈관 축소 물질에 대한 경피 혈관의 민감성으로 설명될 수 있다. 피부 혈관은 카테콜라민의 순환에 아주 민감한데 이 물질은 회복기에도 상승되어 있는채로 남아 있어 경피 혈관 축소의 효과기(effector)로서 작용한다. 카테콜라민의 효과는 피부 온도 감소를 수반하는 전체 피부 표면의 혈관 축소이다(Brown 등, 1993).

Clark 등(1977)은 칼라 체열 촬영기를 이용하여 운동하는 동안 체표면의 피부 온도 변화를 연구하였다. 그들에 의하면 운동의 시작 단계에서 피부 온도가 떨어지기 시작하여 운동 15분 내에는 운동 전 피부 온도의 약 5도 이하로 안정 상태에 도달했고, 근육의 피부 온도가 다른 구조들 보다 더 높게 관찰 되었다.

따라서 우리 연구의 결과는 앞에 제시된 내용으로 설명되어질 수 있을 것이다. 운동한 다리의 대퇴부 표면 온도가 운동하기 전 표면 온도보다 유의하게 떨어진 이유는 운동시 증가된, 혈관 축소 물질로 작용하는 카테콜라민이 운동 직후에도 여전히 높아진 상태로 남아 피부 온도를 떨어뜨리는 효과를 발휘했기 때문이

다. 우리는 운동한 다리가 운동하지 않은 다리 보다 운동 후에 더 많은 피부 온도 감소를 보일것이라 가정하였으나 이와는 반대로 오히려 운동하지 않은 다리에서 더 많이 떨어졌다. 이 결과의 배경은 Lemons 등(1994)의 저서에서 알 수 있듯이 운동하는 근육으로의 혈류량 증가를 충족시키기 위해서 비운동 근육에서는 상대적으로 혈류량 감소가 일어나는 것이라 설명할 수 있다.

본 실험의 결과에서 운동 전 좌,우의 차이가 있었는데 이는 실내온도 적응 시간의 부족과 대상자들이 대퇴부의 피부 온도 변화에 영향을 줄 수 있는 동작을 취하는 것을 통제하지 못했던 점을 들 수 있다. 다시 말하면 본 연구자들이 대상자들에게 실험 준비에 대한 충분한 설명이 부족했다는 것이다. 또한 이론상으로 적응 시간은 10-20분 정도가 충분하다고 하였으나 실험상 더 많은 적응 시간을 주었다면 더 좋은 결과가 나왔을 것이다. 이와 같은 결과는 운동 후 좌우 대퇴 피부 온도 차이에 영향을 주었을 것이다.

실험 환경면에 있어서도 컴퓨터 체열 촬영 실험에 맞는 최적의 환경을 조성하려 하였으나 그렇지 못했던 점이 있었다. 그리고 자세에 있어서는 운동하지 않는 다리를 가장 이완된 자세로 취할 수 있는 방법을 이론적으로 알 수 없어서 간단한 모의 실험상 가장 편한 자세를 취하게 하였으나 운동하는 다리의 영향을 완전히 배제할 수는 없었다. 또한 대상자들이 운동에 얼마나 적극적으로 참여했는지도 여전히 문제로 남아있다.

본 연구를 마치면서 몇 가지 궁금한 점들이 새롭게 제시되었다. 그것은 다음과 같은 것들이다. 만약 상지에서도 한쪽만 운동 시켰다면 양쪽 모두에서 하지에서 일어났던 결과와 같을 것인지, 운동 후에 시간적 간격을 두고 지속적으로 표면 온도 변화를 측정 하였다면 어떤 결과가 나왔을 것인지, 또 우세 지절과 비 우세 지절을 운동시켜 비교하였을 때 그 결과가 어떻게 결과가 나왔을 것인가 등이다.

## V. 결론

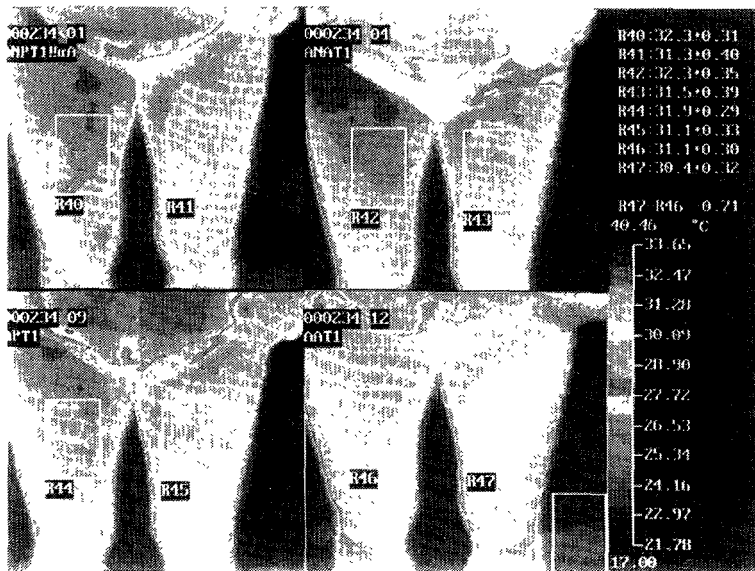
이 연구는 하지의 한쪽 다리만 운동을 시킨 후 양쪽 다리 앞 대퇴부의 피부 온도를 측정, 비교한 결과 운동한 다리와 운동하지 않은 다리의 피부 온도가 모두 유의하게 나타났다. 한편 이 두 다리 사이의 피부 온도 변화 차이가 유의하지는 않지만 운동하지 않은 다리에서 더 많은 피부 온도 감소를 보였다.

이는 운동시 카테콜라민의 작용에 의한 혈관 수축 현상에 의해서 피부 온도가 떨어진 것이며, 운동하지 않은 다리에서 피부 온도가 더 많이 떨어진 것은 운동하는 근육으로의 혈류량 증가를 충족시키기 위해 비운동 근육에서 상대적인 혈류량 감소가 일어났기 때문이다.

## 인용문헌

- 강두희. 운동생리. 생리학. 개정4판, 신광출판사; 1992; 14-9, 20, 21.
- 이강평. 신체 훈련의 생리. 운동생리학. 희문사; 1985; 206-12, 265.
- Brown SP, Li H, Chitwood LF, et al. Blood pressure, hemodynamic, and thermal responses after cycling exercise. *J Appl Physiol.* 1993; 75(1): 240-5.
- Christenson EH, Nielson M. Investigations of the circulation in the skin at the beginning of muscular work. *Acta Physiol Scand.* 1942; 4: 162-70.
- Clark RP, Mullan BJ, Pugh LGCE. Skin temperature during running—a study using infrared color thermography. *J Physiol.* 1977; 267: 53-62.
- Feldman F. Thermography of the hand and wrist: Practical application. *Hand Clinics.* 1991; 7(1): 99-112.
- Gibbons IL. Morphological evidence for regional diversification of autonomic cotransmission in different part of cardiovascular system. *Proc XV VPS Cong.* 1989; 1: 28.
- Hobbins WB, Kleon K, Todd Deric. Thermographic recording of cutaneous blood flow during exercise and cooling. *Ann Sports Med.* 1988; 4(3): 207-9.
- Hori S, Mayuzumi M, Tanaka N, et al. Oxygen intake of men and women during exercise and recovery in a hot environment and a comfortable environment. Folinsbee LJ, ed. *Environmental Stress: Individual Human Adaptations.* Academic. 1978; 39-52.
- Johnson JM, Rowell LB, Brengelman GL. Modification of the skin blood flow-body temperature relationship by upright exercise. *J Appl Physiol.* 1974; 37: 880-6.
- Lemons DE, Doeney JA, Downey JA, et al. *The Physiologic Basis of Rehabilitation Medicine*, 2nd ed. Butterworth-Heinemann. 1994; 354-62.
- Nakayama T, Chnuki Y, Kanosue K. Fall in skin temperature during exercise observed by thermography. *Jap J Physiol.* 1981; 31: 53-62.
- Nielson B, Savard G, Richter A, et al. Muscle blood flow and muscle metabolism during exercise and heat stress. *J Appl Physiol.* 1990; 69(3): 1040-6.
- Thibodeau GA, Patton KT. *Anatomy and Physiology*, 2nd ed. Sally Schrefer Mosby-Year Book. 1993; 142-4.
- Torii M, Yamasaki M, Sasaki T, et al. Fall in skin temperature of exercising man. *Br J Sports Med.* 1992; 26(1): 29-32.

## APPENDIX



**그림1. 컴퓨터 체열 촬영 결과 :** 컴퓨터 적외선 체열 촬영기는 인체의 체표면에서 발산 되는 에너지를 감지하여 일정한 온도 차이에 따라 칼라 모니터로 색을 달리하여 나타내며, 특정 부위의 체표면 온도를 수치화 하여 정확하게 보여준다.