

한냉물리치료기의 개발

김 영호, 양 길태, 임 승학, 장 윤희, 유 진상*, 김 중성*, 박 시복**, 백 승석**, 정 우성**
재활공학연구센터, *(주)경원세기, **한양대학교 재활의학과

Development of the Cryotherapy System

Y. H. Kim, G. T. Yang, S. H. Lim, Y. H. Chang,
*J. S. Ryu, *J. S. Kim, **S. B. Park, S. S. Baek, and ** W. S. Chung
Korea Orthopedics and Rehabilitation Engineering Center, *Kyungwon-Century Co.,
**Department of Rehabilitation Medicine, Hanyang University Hospital

Abstract

A cryotherapy system using the low temperature air was developed. The developed cryotherapy system had superior low temperature characteristics and many safety devices. For a clinical evaluation, skin and intra-articular temperatures of the knee joint were measured during and after the cryotherapy. After 5-minute therapy, skin and intra-articular temperature decreased by $23.3 \pm 4.7(^{\circ}\text{C})$ and $4.1 \pm 1.0(^{\circ}\text{C})$ respectively. A 5-minute cryotherapy therapy is good enough to maintain low intra-articular temperatures for 2-3 hours.

서론

동통은 의학이 해결해야 할 가장 기본적인 과제이나 아직까지 그 기전이 확실하게 밝혀지지 않은 상태이다. 한냉치료는 흔히 얼음이나 냉습포 등을 이용하여 치료적 목적으로 국소를 냉각시키는 것을 말한다. 한냉치료는 표재열(superficial heat)치료의 일종이지만 일반적으로 같은 강도의 표재열치료에 비하여 생리적 효과가 더 오래 지속되며 근육의 연축 혹은 강직, 물리적 외상, 화상, 동통의 감소, 관절염 등에 다양하게 사용되어지고 있다. 한냉치료는 혈류를 감소시키고, 신체 대사 활동을 감소시키며 근육의 긴

장도를 감소시켜 진통효과를 나타낸다[1-4]. 또한 경련성을 억제시키고[1,4], 위장관의 운동성을 증가시키고[2], 신경전도속도를 느리게 한다[3,5].

국내에서도 최근들어 외국에서 수입된 한냉치료기가 매우 각광을 받고 있어서 국내 개발의 중요성이 시급히 요구되고 있다. 본 연구의 목적은 저온공기를 이용한 한냉물리치료기를 개발하고, 피부 및 관절강의 온도저하를 측정하고자 한다.

한냉치료기의 개발

한냉치료기는 급속 냉각기류를 형성할 수 있는 열교환기 시스템으로, 자연제상시스템을 사용하여 예열 시간을 최소화시켜야 한다. 또한 냉기를 환부에 직접 분사할 경우 얼음알갱이가 나오지 않도록 냉기의 제습율을 80% 이상 유지시켜야 한다.

본 연구에서 개발한 한냉치료기는 저온 특성이 우수하고 경제성 및 환경문제를 고려하여 오존층 파괴 지수(ODP)가 전혀 없는 안전한 신냉매인 R-404A를 사용하였다. 그림 1은 개발된 한냉물리치료기의 개략도로, 제품의 경량화를 위하여 외부 케이싱 및 내부 후레임은 알루미늄으로 되어 있으며, 압축기 및 기타 장치들에 대한 안전장치와 온도제어 시스템은 내부에 마이크로컴퓨터를 내장하여 제어하도록 하였다. 외관과 상부 커버는 플라스틱 사출물로 제작하여 토출헤드걸이 및 고정, 교환노즐의 보관, 이동손잡이 등을 수용하도록 하였다. 사용의 편리성을 도모하기

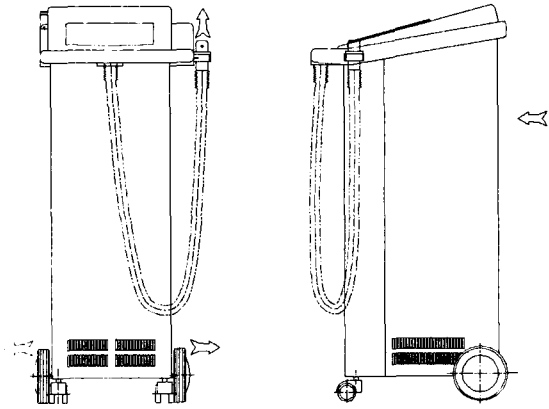


그림 1. 개발된 한냉물리치료기
Fig. 1. The developed cryotherapy system

위하여 토출헤드 고정기능을 부가하였으며, 환부의 위치에 따른 노즐의 다양화(분사구멍의 크기), 조작 인지성 향상을 위한 그림문자(pictogram) 및 문자 혼용 적용, 조작순서에 따른 조작버튼의 배열, 이동의 용이성을 도모하기 위하여 대형 이동바퀴와 이동손잡이 등을 적용하였다. 또한 과부하, 과열, 과충전 현상 발생시 경고음 발생 등의 각종 안전장치를 부과하고 공기토출온도 표시등을 설치하였다. 그림 2는 개발된 한냉물리치료기의 전면 조작패널이다.

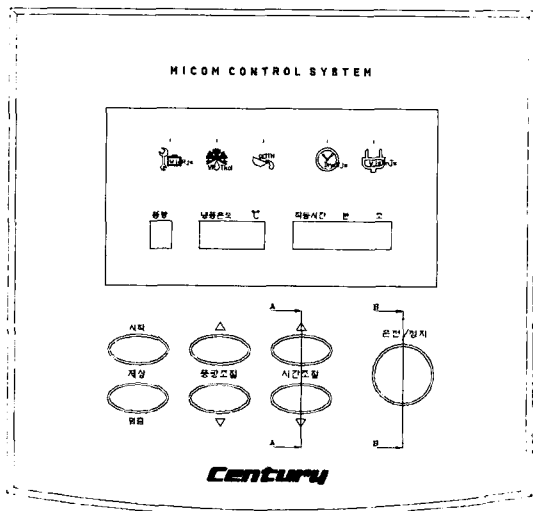


그림 2. 한냉물리치료기의 전면 조작 패널
Fig. 2. The Front control panel of the developed cryotherapy system

표 1은 개발된 시제품의 압축기, 응축기, 증발기 등에 관한 설계사양 및 시험성적표이다. 한냉물리치료기의 전원을 투입하면 재어기가 초기화되며 3초 후에 예열상태로 들어간다. 이 때 증발기 fan은 꺼지고 압축기와 응축기 fan이 작동하게 된다. 약 4분 정도의 예열시간을 지난 후에 증발기온도가 -15°C 미만이 되며 운전자가 운전초기값을 설정하게 된다.

표 1. 한냉물리치료기의 성능시험표
Table 1. Performance table of the developed cryotherapy system

계측항목	단위	기준치	측정치 (풍량제어 1단) 3차(7/28)	
			1차	2차
측정시간(운전시작후)	분:초	-	3:00	6:00
시험실 온/습도	$^{\circ}\text{C}/\%$	25/55	24.8/55	24.8/55
대기압	mBar	1.013	-	-
전 기	전압(1 Ph)	V	220	220
	주파수	Hz	60	60
	운전전류	A	3.8	3.41
	전입력	kW	1.64	0.61
압 축 기	토출가스 압력	Kg/cmG	18.54	-
	흡입가스 압력	Kg/cmG	1.05	-
	토출가스 온도	$^{\circ}\text{C}$	65	88.0
	흡입가스 온도	$^{\circ}\text{C}$	-15	-19.9
응 축 기	챔바온도	$^{\circ}\text{C}$	-	63.9
	응축압력	Kg/cm	18.54	-
	응축압력포화온도	$^{\circ}\text{C}$	42	-
	냉매 출구온도	$^{\circ}\text{C}$	37	34.3
	과냉각도	$^{\circ}\text{C}$	5	-
	공기 입구온도	$^{\circ}\text{C}$	25	26.7
증 발 기	공기 출구온도	$^{\circ}\text{C}$	32.5	33.3
	냉매 입구온도	$^{\circ}\text{C}$	-30	-30.1
	냉매 출구온도	$^{\circ}\text{C}$	-20	-28.1
	증발압력	Kg/cm	1.05	-
	증발압력포화온도	$^{\circ}\text{C}$	-30	-
	과열도	$^{\circ}\text{C}$	8	-
토출 공기온도 (LCD 패널)	입구 공기 온도	$^{\circ}\text{C}$	25	25.1
	출구 공기 온도	$^{\circ}\text{C}$	-15	-17.1
액냉매 흐름상태	-	C/B	C	C
냉매 수분함유 상태	-	D/W	D	D
냉각열량	kJ/h			
에너지 효율	-			
주 기				
1. 냉매 흐름상태(SIGHT FLOW INDICATOR)란은 CLEAR=C, BUBBLE=B로 기록할 것.				
2. 수분함유상태(MOISTURE INDICATOR)란은 WET=W, DRY=D로 기록할 것.				

1단에서 6단까지 풍속을 조절할 수 있으며 3분의 치료시간을 초기값으로 설정하였다. 운전 중에도 풍속 및 치료시간을 자유롭게 조절할 수 있도록 설계하였다. 운전 중에 증발기에서 출력되는 저온공기의 온도가 제어판에 표시된다. 운전을 정지하면 제상상태로 들어가며 이 때 압축기와 응축기 fan이 정지하고 증발기가 작동하게 되며 일반적으로 제상시간은 약 8분 가량 소요된다. 제상이 종료되면 자동으로 다시 초기화 상태로 들어가게 되고 운전준비상태로 들어간다. 치료동안 생성된 물은 한냉치료기 뒷부분의 물받이 통에 저장되고 물이 차게 되면 물넘침 신호가 전면 제어판에 들어온다.

평가 및 고찰

본 연구에서는 개발된 한냉치료기의 시제품을 이용하여 한냉치료효과 및 관절강 내에서의 온도저하 특성을 분석하고자 하였다.

본 연구의 피검자는 슬관절에 국소적으로 종창이나 열이 없는 건강한 성인 14명 (남자 11명, 여자 5명, 나이 36.9 ± 13.3 세)으로 하였다. 대상자를 앙와위 상태에서 슬관절을 굴곡시킨 자세로 한쪽 슬관절을 택하여 20G 주사침과 주사기로 슬개인대 내에서 자입하여 슬관절 내상방으로 약 3cm 정도 깊이로 넣고 생리식염수를 주입하여 관절강 내를 확인하였다. 주사침을 삽입한 채로 주사기를 빼고 주사바늘을 통하여 관절강 내로 K열전대 온도계기를 주사바늘을 통해 관절강 내로 삽입하여 측정하였다. 피부온도측정은 적외선 체열측정기(AGEMA, 스웨덴)를 사용하였다 (그림 3). 한냉은 본 연구에서 개발된 한냉물리치료기를 이용하여, 슬관절 부위에서 1단의 기류속도로 5분 동안 슬관절 전면부위를 약 10cm 상방에서 원을 그리며 통증을 느끼지 않을 정도로 한냉을 가하였다. 슬관절강 내와 피부온도의 측정은 한냉을 가하는 동안은 30초 간격으로, 치료가 끝난 후는 5분 간격으로 총 2시간 동안 측정하였다

한냉치료 전 슬관절강 내의 온도는 33.8 ± 1.2 ($^{\circ}\text{C}$)이었다. 한냉을 5분 가한 시점에서 슬관절 내의 온도변화는 1.1 ± 1.1 ($^{\circ}\text{C}$) 하강이 되었으며, 한냉 후 최저온도는 29.8 ± 1.6 ($^{\circ}\text{C}$)로 한냉치료 전 온도에 비하여 4.1 ± 1.0 ($^{\circ}\text{C}$) 하강하였고 최저온도 도달시간은 37.2 ± 33.0 (min)으로 다양하였다. 2시간 뒤 측정된 온도는 31.0 ± 2.0 ($^{\circ}\text{C}$)로 한냉을 가하기 전에 비해 유의하게 낮은 상태로 유지되었다 ($p < 0.01$).

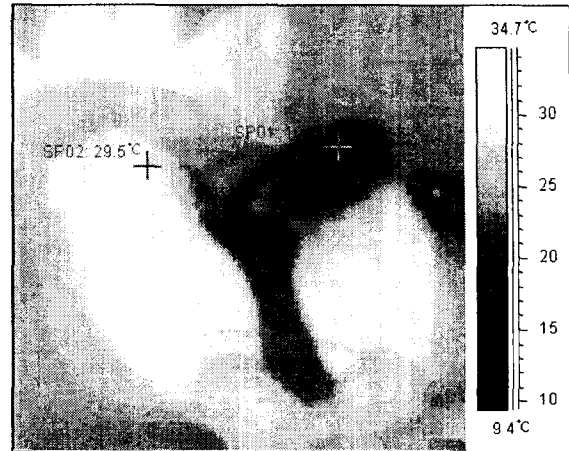


그림 3. 적외선 체열측정기를 이용한 피부온도측정
Fig. 3. Skin temperature measurement using the infrared thermography.

한냉을 가하기 전 슬관절 주위의 피부온도는 32.1 ± 0.6 ($^{\circ}\text{C}$)이었다. 한냉을 가하는 동안 피부온도는 최저 8.8 ± 4.1 ($^{\circ}\text{C}$)로 떨어졌으며 한냉 중지 후 2시간 동안 지속적으로 상승하여 30.3 ± 1.0 ($^{\circ}\text{C}$)까지 상승하였다. (그림 4) 얼음팩에 비하여 저온공기를 이용한 한냉치료시 환부의 표피온도는 급격히 떨어진다. 그러나 피하온도는 서서히 떨어져 체온보다 $3-5^{\circ}\text{C}$ 정도 낮아지게 되며, 심부근육의 온도는 훨씬 더 서서히 떨어지게 된다 [3,5]. 피하지방층은 절연역할을 하게 되는데

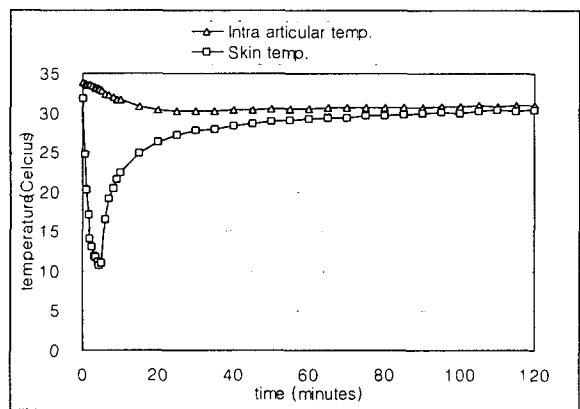


그림 4. 5분의 한냉치료에 따른 슬관절 부위 피부 및 관절강 내 온도변화
Fig. 4. Skin and intra-articular temperature changes of the knee joint by 5-minute cryotherapy

뚱뚱한 사람은 마른 사람보다 지방층이 두텁기 때문에 심부 근육의 온도는 훨씬 더 서서히 떨어지게 된다. 한냉치료시 혈관수축된 지방층이 절연 역할을 하기 때문에 표피로부터 근육의 온도가 다시 상승하는데 시간이 걸리고 혈관수축 때문에 내부에서부터 재가온되기도 어렵다. 한냉치료시 유발되는 혈관 수축은 혈류를 감소시키기 때문에 냉각된 조직이 정상온도로 회복되는 시간은 가온 및 충혈된 조직에 비해 더 오래 걸린다 [3].

개발된 한냉물리치료기의 계속된 보완 및 임상평가를 통하여 근육의 연축 혹은 강직, 물리적 외상, 화상, 동통의 감소, 관절염 등에 효과적으로 사용될 것을 기대한다.

결론

저온특성이 우수하고 경제성 및 환경문제를 고려하여 오존층 파괴지수가 전혀없는 안전한 신냉매인 R-404A를 사용하여 한냉물리치료기를 개발하였다. 각종의 안전장치와 온도제어는 내부 마이크로컴퓨터에서 제어하도록 하였다.

슬관절 부위에 대한 5분 동안의 한냉물리치료에 따른 표피 및 관절강 내 온도변화를 측정된 결과 표피는 $23.3 \pm 4.7(^{\circ}\text{C})$, 관절강 내는 $4.1 \pm 1.0(^{\circ}\text{C})$ 의 온도저하를 보였으며 2-3시간이 경과한 후에도 한냉치료 효과가 지속됨을 알 수 있었다. 임상평가를 통하여 한냉치료는 근육의 연축 혹은 강직, 물리적 외상, 화상, 동통의 감소, 관절염 등에 효과적으로 사용되리라 생각된다.

참고문헌

1. Miglietta O: Action of cold on spasticity. Am J Phys Med 52:198-2-5, 1973.
2. Bisgard JD, Nye D: The influence of hot and cold application upon gastric and intestinal motor activity. Surg Gynecol Obstet 71:172-180, 1940.
3. Abramson DI, Chu LSW, Tuck S Jr, Lee SW, Richardson G, Levin M: Effect of tissue temperature and blood flow on motor nerve conduction velocity. JAMA 198:1082-1088. 1966.
4. Bert JM, Stark JG, Maschka K, Chock C: The effect of cold therapy on morbidity subsequent to arthroscopic lateral retinacular release. Orthopaedic Review 20:755-758, 1991.
5. Basur RL, Shephard E, Mouzas GL: A cooling on H- and T-reflexes in normal subjects. Effects of therapeutic forms of heat and ice on the pain threshold of the normal shoulder. Arch Phys 13:101-1-4, 1974