

원저

## 온침의 열특성과 온침기기 개발에 관한 연구

김정우<sup>1</sup> · 이혜정<sup>2,3</sup> · 안창범<sup>4</sup> · 이승호<sup>2</sup>

<sup>1</sup>경희대학교 동서의학대학원

<sup>2</sup>경희대학교 침구경락과학연구소

<sup>3</sup>경희대학교 한의과대학 경혈학교실

<sup>4</sup>동의대학교 부속한방병원 침구과

### Abstract

## Study of the Thermal Properties of Warm Needle and the Development of Warm Needle Apparatus

Kim Jung-wo<sup>1</sup>, Lee Hye-jung<sup>2,3</sup>, Ahn Chang-beohm<sup>4</sup> and Yi Seung-ho<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Graduate School of East-West Medicine, Kyung Hee University

<sup>2</sup>Acupuncture and Meridian Science Research Center, Kyung Hee University

<sup>3</sup>College of Oriental Medicine, Kyung Hee University

<sup>4</sup>Department of Acupuncture and Moxibustion, Oriental Medicine Hospital, Dong-eui University

**Objectives** : To understand the strength and weakness of traditional warm needle acupuncture based on existing research outcomes in Korea mostly and to suggest how to build the desirable warm needle acupuncture apparatus by overcoming demerits of traditional and currently existing ones.

**Methods** : We searched warm needle relating papers in Korean with the key words of ‘온침, 화침, 열자극’ by using DBpia, *Journal of Korean Oriental Medical Society*, *Journal of Korean Acupuncture & Moxibustion Society* and *Journal of Society for Meridian and Acupoint*. Degree dissertations in Korean were also searched with the same words through the search engine of Library of Kyung Hee University. We also searched with words of ‘warm, thermal, heat, needle, acupuncture, temperature’ via *Pubmed* and found a small number of English written papers and large number of Chinese written ones. To find english translated version of those papers, we googled with the same words with no success.

**Results** : About 20 papers on warm needle acupuncture written in Korean were found and analyzed with respect to experimental factors that affected the thermal properties or the amount of heat stimulus of the acupuncture. More rigorous descriptions seemed to be required on the insertion depth, duration and manipulation

\* 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2005-0049404)

· 접수 : 2010. 12. 6. · 수정 : 2010. 12. 18. · 채택 : 2010. 12. 18.

· 교신저자 : 이승호, 서울 동대문구 회기동 1번지 경희대학교 침구경락과학연구소(AMSRC)

Tel. 02-961-0377 E-mail : shyi@khu.ac.kr

of warm needle treatment. A basic heat transfer model was presented for the clarification of heat loss through the needle of warm needle acupuncture. Environmental factors such as air flow on the properties seems to be considered for the warm needle acupuncture.

**Conclusions** : Papers on warm needle acupuncture were reviewed and analyzed based on their thermal properties and tools such as needles and moxa cones. Several suggestions were made on the descriptions relating the properties. Necessary specifications were introduced to aim modernized warm needle systems.

**Key words** : warm needle, fire needle, thermal properties, apparatus development

## I. 서 론

한의학에서 침, 뜸, 그리고 약은 주요한 치료법이다. 이 중 침과 뜸은 경혈과 같은 특정 부위에 물리적 자극을 가하기 위한 것으로 침은 기계적 자극, 뜸은 열자극을 통해 주된 치료 효과를 달성한다. 반면 약은 화학적 자극을 통해 치료효과가 나타난다. 역사적으로 치료의 수준이 높아지면서 각각의 치료법이 가진 장점들을 융합하여 새로운 치료법을 고안해 왔는데 이러한 융합치료법 중 역사가 가장 오래 것이 침과 뜸의 효과를 결합시킨 溫鍼과 火鍼이다<sup>1)</sup>. 그 역사는 2천 년 전의 黃帝內經 시대까지 거슬러 올라간다. 과학 기술이 발달함에 따라 전통적인 치료법에 더하여 전기와 침을 결합한 전침이 등장하였고<sup>2)</sup>, 레이저의 소형화를 가능케 한 레이저 다이오드(laser diode)의 개발<sup>3)</sup>로 최근 레이저 침이 급속도로 발전하고 있다. 또한 최근에는 약과 침을 결합하여 한약추출제재를 경혈부위에 자입하는 약침<sup>4)</sup>이 임상에서 많이 사용되고 있다.

2008년 11월 기준으로 뜸에 관한 1,200편 이상의 논문이 발표되었는데 이 중 대다수는 중국어로 발행되었다<sup>5)</sup>. 검색 방법을 달리하면 변동이 있을 수 있으나, 본 연구를 위해 Pubmed로 찾아본 온침 관련 논문은 이보다 훨씬 적어 영어로 출판된 것이 대략 10편 정도 되었고(검색어 : warm, thermal, heat, needle, acupuncture, temperature), 국문으로 된 것 역시 20여 편으로(검색엔진 DBpia, 검색어 : 온침, 화침, 열자극) 그 수가 뜸에 관한 논문에 비해 현저히 부족하다. 이는 온침의 효과와 활용 가능성에 비해 그 연구가 크게 미진함을 보여준다. 오늘날 火熱을 이용한 한방 치료법은 치료 효능에 비해 그 사용빈도가 낮은데 뜸의 경우 설문 조사를 통해 그 이유가 밝혀진 바 있다<sup>6,7)</sup>.

뜸 연소 시 발생하는 연기와 화상의 위험성, 시술의 불편함, 그리고 시술하는 동안 시술자가 계속 관찰해야 하는 현실적 어려움이 임상에서 뜸의 선호도를 떨어뜨린다. 침과 함께 뜸을 활용해야 하는 온침 시술에도 이와 비슷한 어려움이 있을 것이다. 따라서 전통적이고 경험적으로 시술되는 온침요법을 현대적인 방법으로 발전시켜 보다 효율적이고 경제적인 치료방법을 개발하기 위해서는 앞으로 보다 많은 노력이 축적되어야 할 것이다.

현재까지 축적된 연구 결과를 크게 나누어 보면 문헌 고찰연구, 온침의 온도 측정을 통한 열특성 연구, 동물실험, 임상연구, 개량온침기기연구 등으로 나눌 수 있다. 온침의 특장과 시술상의 제약이 대부분 화열의 활용과 관련이 있는 바, 향후 이를 보다 편리하고 효과적으로 발전시키기 위해서는 열특성에 보다 깊게 주목할 필요가 있다. 이에 외국 논문들을 포함하여 《대한한의학회지》, 《대한침구학회지》, 《경락경혈학회지》 등에 발표된 논문과 학위 논문을 참고로 하여 그동안 누적된 성과를 온침의 열특성 관점에서 조망하고 향후 온침기기 개발 시 필요한 사항을 제안하고자 하는 취지에서 본고를 작성하였다.

## II. 본 론

전술한 대로 온침은 한의학에서만 사용하는 독특한 치료법으로 주목받고 있다. 따라서 전통온침이 가지는 임상적 효과를 극대화하면서 사용상의 불편함을 개선한 현대적인 온침기기 개발은 한의계뿐만 아니라 서양의학계에도 많은 영향을 미칠 것으로 사료된다. 현대적 온침기기가 임상에 도입되기 위해서는 기존 온침과 동등하거나 우수한 효과를 보이면서도 사용이

더욱 간편해야 한다. 이런 목적에 부합하는 온침기기 개발에 앞서 최근 온침의 열특성, 치료기전에 대한 연구가 진행되고 있고, 동물 또는 인체 임상 연구 결과가 축적되었다. 따라서 온침의 열특성을 중심으로 이에 대한 분석을 시도하였다.

## 1. 온침의 열특성 연구

### 1) 뜸의 열특성

온침의 熱源은 주로 艾柱이므로 애주의 열특성 이해가 온침의 열특성을 이해하는 기초를 이룬다. 침의 재질은 역사적으로 많이 변하여 金·銀·銅·鐵에서 근대의 스테인리스강으로 기술의 진보에 따라 그 종류가 다양해지고 있다<sup>8)</sup>. 침의 가공방법이나 형태의 변화는 이루어졌지만 뜸의 주 재질로는 아직 艾絨을 그대로 사용하는 경향이 있다. 애주의 열특성에 대한 기존의 많은 연구들은 이런 면에서 온침 연구와 신규 온침 개발에 중요한 의미가 있다고 할 수 있다.

물리적 관점의 애주 연소특성 연구는 박 등<sup>9)</sup>에 의해 보고된 뜸의 중량에 따른 연소온도의 시계열적 변화 유형에 관한 연구에 의해 본격적으로 시작되었다. 이 연구에 의하면 연소과정중 최고온도와 평균온도는 일반적으로 애주의 밀도가 증가할수록 낮아지고, 최대승온속도와 평균승온속도 역시 애주의 밀도가 증가할수록 대부분 감소하였다. 뜸에 의한 열자극의 질은 연소온도와 연소시간에 의해서만 결정되는 것이 아니고 연소과정중 평균온도, 승온속도 등 시계열적 특성에 크게 좌우된다. 따라서 뜸에 의해 도달하는 최고온도 개념만으로 그 열자극의 내용을 해석하기에는 충분치 못하다는 의견을 제시하고 있다. 뜸의 연소 열특성을 시계열적으로 분석한 다른 연구<sup>10)</sup>에 따르면 애주의 밀도가 작을수록 모든 시점이 빨라지나 어느 정도 이상이면 애주밀도가 영향을 미치지 않는다고 보고하였다. 그리고 단위 시간당 열자극량을 극대화하기 위해서는 애주의 밀도를 작게하여 이용하는 것이 바람직하다고 결론지었다. 뜸의 크기 형태별 연소온도를 시계열적으로 분석한 다른 연구<sup>11)</sup>에서는 애주는 크기가 증가할수록 가열기와 보온기 시간이 연장되고 최고온도가 증가하는 경향성이 있다고 한다. 뜸의 연소특성이 주로 연소온도의 고저와 승온속도, 연소시간의 장단 등에 의해 결정되므로, 연소특성을 좀더 심도 있게 이해하기 위해서는 이에 대한 계량적 해석이 요구되며, 연소특성에 따른 임상적 효능과의 상호 관련성을 지속적으로 연구해야 한다고 제시하고 있다.

뜸의 화학적 측면이 열특성에 미치는 영향도 연구되었다. 열분석기법과 구조분석기법을 이용하여 애유의 열에너지 함량에 대해 연구한 보고<sup>12)</sup>가 있었는데, 강화쑥 및 여러 상용화된 뜸쑥에 따른 열분해온도, 열에너지 함량 및 열의 안정성에 차이가 있음을 관찰하여, 제조 과정이 뜸쑥의 품질에 관여함을 시사하고 있다. 뜸 재료에 따른 연소 특성에 대한 연구<sup>13)</sup>도 제안되었는데, 艾絨, 桑枝, 桃枝로 동일한 밀도의 뜸을 만들어 연소특성을 단계별로 분석한 바에 의하면<sup>14)</sup> 재료에 따른 구간별 연소시간이 뚜렷하게 차이가 나며, 이를 통해 각 재료의 적응증이 다른 이유를 일정부분 설명할 수 있다고 하였다. 해당 연구자들은 뜸의 재료에 따라 다른 열특성이 그 효능에 미치는 영향과 각 재료별 임상적 활용 방법에 대한 지속적인 연구가 필요하다고 제안하고 있다.

### 2) 침의 열특성

온침의 열특성에 관한 직접적이며 기초적인 연구의 일환으로 침 재질이 온침의 온도변화에 미치는 영향에 관한 총설이 최 등<sup>8)</sup>에 의해 발표되었다. 이 논문에서는 온침과 화침에 대한 문헌 고찰과 함께 여러 침 재질 간 최고온도를 비교하였으며, 화침과 온침의 열특성이 서로 다르다고 주장하고 있다. 근래에는 금·은·스테인리스강과 같은 임상활용이 가능한 다양한 온침 소재의 화학조성분석 및 열전달 속도를 측정하여 그 가능성을 타진하는 연구도 발표되었다<sup>15)</sup>. 전반적으로 침의 재질에 대한 연구는 뜸에 비해 그 수가 적는데 이것은 침의 재질이 SS304와 SS316L 등과 같은 금속으로 제한된 것과 관련이 있을 수 있다. 최근 발표된 온침기기용 침은 그 재질이 duplex stainless로 되어 있는데 생물학적 안전성이 기초실험을 통해 검증되었다<sup>16)</sup>.

### 3) 온침의 융합적 열특성

기존 뜸에 침이 추가적인 연소열 이동경로로 작용하는 온침의 구조적 특성상, 시계열적인 온침 온도측정이 열특성 연구에 필수적이다. 이에 뜸을 장착한 상태에서 직접 온침의 온도를 측정하는 시도가 최근에 이루어지고 있다. 최초로 온침의 온도를 직접적으로 측정한 연구는 이 등<sup>17)</sup>에 의해 이루어졌다. 이들은 침병이 순은으로 된 합금침(0.53×35mm, 금 95%, 백금 5%)과 SS304 침(0.25×40mm, silicone coated)을 각각 사용하여 두 온침의 각 침체 부위별 온도를 측정하였다. 이때 온침에 사용한 뜸은 애유(강화뜸쑥 0.5g)을

직경 20mm의 구형으로 성형하여 사용하였다. 침병의 하단과 뜸의 하단이 일치하도록 뜸을 설치하여 항상 동일한 위치에 오도록 하였으며, 점화는 뜸의 상단에 하였다. 온도는 침병에서 10mm, 20mm 떨어진 침체부에 단일단자 열전쌍 온도측정기를 사용하여 1 Hz로 측정하였다. 측정에 따르면 최대온도는 합금침이 110℃, SS304 침은 60℃ 정도로 상이하였으나 최대온도 도달 시간은 침의 재질에 관계없이 일정하였다. 온도곡선 분석에 따르면 합금 온침의 온도 상승률과 하강률이 SS304 온침보다 높았으며 침체 위치에 따라 온도차이가 심하였다.

김 등<sup>18)</sup>은 애주 점화 부위에 따른 온침의 온도 변화를 비교하였다. 0.2~1.0g의 강화뜸쑥을 애주로 만들어 일회용 호침의 침병 下 1cm, 2cm 부위의 최고 온도, 최고온도 도달시간, 유효 자극시간 및 복사 온도를 열전쌍으로 측정하였다. 이 연구에서 온침 애주의 점화 부위에 따른 열특성 차이를 확인할 수 있었다. 이 결과를 바탕으로 효과적인 온열자극을 위해서는 시술 결과의 통일성 및 자극 조건의 정량화 및 효과적인 표준 온침법 확립의 필요성을 강조하고 있다. 후속된 애주의 밀도에 따른 온도 측정 연구<sup>19)</sup>를 통해 애주의 밀도가 높을수록 유효자극시간은 길고 그 평균온도는 낮음을 보고하였다.

온침효과 연구를 위해 사용된 온침의 열특성을 측정하는 연구<sup>20)</sup>에 의하면 침병 하단부에서 7mm 떨어진 침체의 최대온도는 45℃이었으며 침병과 침체가 만나는 곳의 온도는 100℃를 상회하는 온도차를 보여주었다. 이 결과는 타 실험<sup>17,18)</sup>에서 얻어진 침체 부위별 온도측정 결과와 그 경향성이 유사하였다. 이 실험에서 짧은 침(0.25×15mm, 스테인리스강)과 쑥재질을 원통형 모양(직경 7mm, 길이 8mm)으로 성형한 무게 1.5g의 상용 애주를 사용하였다.

생체 모형을 고려한 온침의 열특성 연구도 보고되었다. 동물모형을 이용한 자극효과 연구<sup>21)</sup>에서 온침온도 측정을 위해 구형 뜸쑥(봉래쑥분, 봉래구관사) 30mg을 침(0.18×8mm)의 침병 말단에 올려놓고 애주 하단에 점화한 후 적외선온도계를 사용하여 측정하였다. 그들에 의하면 연소 시작 후 45~60초 경과하면서 뜸쑥의 온도가 700℃ 근처까지 상승하며 이후 급격히 감소하여 90초에 연소가 종료되었다. 최고온도에 도달했을 때의 피부온도는 약 55℃ 정도였으며 연소가 끝난 후에도 잔열에 의한 피부 열자극이 계속 진행되었다. 비슷한 방법으로 豚肉 내에 삽입된 온침의 온도 변화를 애주 무게에 따라 적외선 온도계를 사용하여

측정한 보고<sup>22)</sup>도 있다. 이 실험에서 절단면 0.5~1mm 두께로 자른 돈육을 고정하고, 침체(0.3×40mm, 동방침구사)의 10mm가 공기에 노출되도록 삽입하였다. 여기에 침병 상부의 3/4~2/3 부분까지 무게가 다른 뜸(0.1~5.0g)을 삽입하였으며, 애주 상단부의 침단에 점화하였다. 침단부 및 침단 상부 1cm, 2cm 위치에서 침체 온도 변화를 적외선 온도계로 관찰하였는데 애주의 무게에 따라 19℃에서 28℃로 그 온도가 증가하였다. 뜸의 내부 연소온도가 600~700℃ 정도임을 고려할 때 온침의 온도가 9℃ 정도 증가한 것은 침체의 열전도 효율이 생각보다 높지 않음을 보여준다. 이러한 열전도율을 향상시키는 방법과 열변화가 치료효과에 미치는 영향에 대한 연구가 필요함을 저자들은 제기하고 있다.

#### 4) 열특성의 환경 요인

기존연구에서 고려되지 않았던 실내 환경요인이 뜸의 열특성에 미치는 영향에 대한 연구결과가 보고되었다. 李<sup>23)</sup>는 직접구와 간접구의 열특성 연구를 통해, 뜸 시술 환경에 의해 열특성이 유의하게 변함을 관찰하였다. 그의 연구에 따르면 대표적인 環境要因인 일상생활에서 발생하는 기류에 의해서 직접구 뜸의 연소특성이 바뀌며, 그 직접구와 마늘 절편을 사용한 隔蒜灸의 특성도 바뀐다. 직접구의 최고온도는 기류가 증가함에 따라 함께 증가하였으나, 간접구는 그 반대로 감소하는 등 그 변화양상은 서로 상이한 점이 있었는데 그 원인이 마늘절편의 온도조절성에 기인한다고 추정했다. 뜸 시술에 기류 이외의 환경 인자가 있을 수 있으므로 이에 대한 추가적인 연구가 필요함을 제기하였다. 이 결과가 온침 자극에 대해 시사하는 바는 기류에 영향을 받는 뜸을 사용해야 하는 온침의 열특성 또한 환경요인에 따라 변할 수 있다는 점과 시술시 이에 대한 고려가 행해져야 한다는 것이다.

#### 5) 생체조직 온도측정

쑥뜸이 인체에 미치는 영향을 열특성 측면에서 고찰하기 위해 피부와 유사한 열특성을 가진 寒天皮膚模型을 사용한 연구<sup>24)</sup>가 발표되었다. 이 연구에서 한천 두께별(1.2mm) 뜸에 의한 온도 변화를 열전쌍으로 측정하고 기존 방식<sup>9-11)</sup>으로 분석하여 뜸 자극으로 인한 생체 내부의 온도 변화 양상을 나타내는 중요한 결과들이 나타났다. 온도 측정은 일정한 온도를 유지하는 열판과 시료 사이에서 이루어졌는데, 열판 위에 뜸만 있을 경우, 1mm 스테인리스강 고리와 뜸이 있

는 경우, 1mm 한천과 뜬이 있는 경우, 그리고 2mm 한천과 뜬이 있는 경우의 최고온도는 각각 473°C, 391°C, 303°C, 83°C였으며, 이에 상응하는 평균승온속도는 각각 1.41°C/s, 1.44°C/s, 0.67°C/s, 0.14°C/s였다. 한천의 두께에 따른 온도 감소 정도는 뜬과 같은 외부 열자극이 인체에 미치는 깊이에 대한 경향을 예상하게 하며, 승온속도의 감소는 유효열자극시간에 대한 것을 시사해준다. 온침도 이와 유사할 것으로 예상되는데 만약 이와 같은 피부모형 연구가 지속되었다면 현재 온침기기개발에도 많은 도움이 되었을 것이다.

한편 온침의 적외선 온도 측정을 통하여 간접적으로 온침 열자극에 의한 생체 모형의 온도 변화 양상을 관찰한 연구도 있다. 이 연구<sup>22)</sup>에서 豚肉에 온침을 삽입하고 적외선 온도계를 사용하여 침체에 접한 0.5~1mm 돈육의 온도를 측정하였는데, 이는 온침 자체의 온도보다는 온침의 열자극에 의해 데워진 주변 돈육의 온도를 측정한 것으로 온침열이 생체조직에 미친 영향을 측정한 연구라고 간주할 수 있다. 이 실험과 비슷한 온도측정 방법을 사용한 다른 연구도 보고되었다<sup>25)</sup>.

## 2. 온침의 효능효과 연구

현재까지 발표된 국내 논문들은 주로 면역기능에 미치는 영향이나 슬관절염에 대한 효과에 대한 동물 실험<sup>20,21,26-30)</sup>이나 임상결과<sup>31-33)</sup>를 다루었다. 본고는 온침의 열자극 특성에 관한 연구로 온침효과 뿐만 아니라 연구에 사용한 온침 시술방법 및 조건에 대해 살펴보고자 한다.

### 1) 동물실험

임상이나 동물실험 보고는 주로 免疫機能과 膝關節炎을 대상으로 하였는데 최초의 논문은 송 등<sup>26)</sup>에 의한 생쥐의 면역기능 활성화에 관한 것이었다. 免疫抑制劑인 Methorexate(MTX)를 투여하여 면역기능을 저하시킨 후, 온침 시술로 면역 기능의 활성화 정도를 확인함으로써 온침의 효능을 보여주었다. 실험을 위해 임의혈과 腎俞는 양측에 1壯, 中腕은 2장씩 주 3회, 총 7회에 걸쳐 온침 시술을 행하였다. 이때 금 95%와 백금 5%의 합금으로 된 침(15×0.4mm)을 사용하였고 그것의 침병을 100% 은으로 깊이 2.5mm, 직경 5.4mm로 제작하여 재반이 역할을 수행할 수 있도록 하였다. 애주는 경희의료원에서 사용하는 뜬쪽 가운데 양질의 것을 정선하여 麥粒大의 2배(약 14mg) 크기

로 만들어 사용하였다. 그 결과 온침치료가 細胞性 면역반응 및 體液性 면역반응을 증가시켜 MTX로 유발된 면역기능저하 상태를 개선함을 확인하였다.

이 연구 이후 1990년대에 발표된 온침의 효과 관련 동물실험은 실질적으로 거의 같은 온침기기를 사용하였기 때문에 열자극 측면에서는 거의 동일하다고 할 수 있다<sup>27-30)</sup>. 이 실험들은 동일한 온침용 합금침을 사용한 것으로 추정되는데, 재반이에 관한 표현이 조금씩 다르고 사용한 뜬의 재료, 무게 및 형태 또한 조금씩 다르거나 설명이 되어 있지 않았다. 그 중 膽石形成食을 투여하여 생쥐에게 담석을 유발시킨 후 鍼, 電鍼, 溫鍼 및 草籠膽水鍼을 사용하고 각각의 효과를 비교한 연구가 있다<sup>27)</sup>. 이 연구에서 사용된 온침은 기존 연구<sup>26)</sup>와 동일하였으나 시술방법은 상이하였는데, 陽陵泉 兩側에 자침하여 득기 후 30초간 1장, 격일로 총 8회를 실시하였다. 담석의 크기와 혈액검사 등으로 담석형성 정도를 파악하였는데 모든 침 방법이 유효하였으며, 이 중 침과 초롱담수침이 현저한 효과를 보였다. 이 결과에 따라 사용한 모든 침 시술이 담즙분비를 촉진시킴으로써 담석의 용해 및 생성을 제어하는 기능이 있는 것으로 추정하였다.

주 등<sup>28)</sup>은 선행연구<sup>26)</sup>에서 보여준 온침의 면역기능에 미치는 영향을 보고 하였는데, 온도를 낮추는 寒冷刺戟을 생쥐에게 주는 방식으로 면역기능 저하를 야기한 후 온침을 시술하였다. 이 연구에서도 기존연구<sup>26)</sup>와 같은 동일한 형태의 침을 사용하였는데, 침병 형태를 半球形이라고 구체적으로 설명하며 무게가 약 15mg 정도의 애주를 사용한 점이 다르다. 온침시술은 각각 氣海 2장, 양쪽 足三里 1장, 임의혈 1장(肩部) 등 혈 자리에 따라 달리 하였으며 1일 1회, 총 4회를 실시하였다. 遲延性過敏反應, 赤血球凝集素價, Interleukin-2(IL-2) 生産性 등을 측정하여 그 효과를 검증하였는데 그들의 결과에 의하면 온침이 한냉자극으로 인한 면역기능저하를 개선하는데 효능이 있으며, 자극 혈 자리 중 足三里가 가장 유효하다고 하였다. 이에 따라 온침이 이와 관련된 병증의 예방과 치료에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 추정하였다.

이 밖에 송<sup>29)</sup>은 선행연구<sup>27)</sup>와 비슷한 방법을 사용하여 寒冷刺戟으로 저하된 생쥐의 免疫機能에 미치는 영향을 조사하였다. 기존 연구<sup>26-28)</sup>에서 사용한 것과 동일한 온침을 사용하여 足三里相應部位 骨度法으로 양측 취혈하여 1일 1회, 1장씩 자연 연소시킴으로써 온침자극을 실시하여 接觸性過敏反應, 遲延性過敏反應, 赤血球溶液素價, 抗體產生細胞 등에 유의한 결과를 얻

었다. 또한 방사능 피폭에 의해 저하된 면역기능이 온침시술을 통해 회복되었다는 결과도 발표되었다<sup>30)</sup>. 생쥐에게 방사선을 조사하고 腎俞·足三里에 온침시술을 실시하여 백혈구 수, T세포와 B세포의 함량, 림프구증식능, NK세포의 활성화도 및 IL-2의 생성도를 관찰하였는데, 그에 따르면 모든 혈자리에서 면역기능 강화 효과가 있었으며 특히 足三里의 경우 모든 지표 측정에서 효과를 보였다. 온침시술은 실험쥐를 방사선에 노출시킨 후 24시간 후에 매일 1회 좌우측을 번갈아 총 10회를 실시하였다.

그 동안 주류를 이루었던 면역기능에 관한 온침의 효능 이외에 통증과 관절염 등과 같은 다른 질환에도 그 효능이 있음을 보여주는 연구가 2006년 이후 발표되었다. 먼저 통증연구를 위해 김 등<sup>20)</sup>은 포르말린을 rat의 앞발에 주사하여 통증을 유발시킨 후 風市穴에 침, 뜸 및 온침을 각각 시술하였다. 온침에 사용한 침에 대한 구체적인 설명은 없으나 그림을 통해 유추할 수 있었는데 침의 직경 및 길이는 각각 0.2, 15mm였다. 뜸은 직경 7mm, 길이 8mm, 무게 1.5g의 쪽으로 만든 원통형 모양의 상용 애주를 사용하였으며, 자침 위치의 온도곡선상 최대 온도는 45℃ 정도로 완만한 기울기임을 후속 연구<sup>20)</sup>에서 확인하였다. 그들이 실시한 rat의 행동 및 척추의 Fos expression 평가에 의하면 단순한 침치료나 뜸치료보다 온침이 더 효과가 좋았다. 이 실험에 사용한 침은 기존 연구와는 다른 것으로 합금에 비해 전기 전도도가 현격히 떨어지는 스테인리스강 재질로 그 굵기도 반밖에 되지 않아 열전도량이 매우 낮았을 것으로 추측된다. 이에 관한 논의는 고찰 부분에서 다시 다룰 예정이다.

Rat에 λ-carrageenan을 주입하여 급성 슬관절염을 유발시킨 후 足三里(建側·患側)·陰陵泉(건측·환측)·鶴頂(환측)·合谷(건측)에 온침을 시술하여 관절염 치료 효과를 관찰한 연구<sup>21)</sup>도 보고되었다. 고분자 물질인 carrageenan이 급성 및 만성염증을 일으키는 실험적 모델로 이용되는데 소량으로 주입된 관절에서만 염증성 관절염을 일으키며, 유도된 관절염은 대략 24시간 경과 후 정상과 비슷한 상태로 돌아오는 가역성 관절염이다. 그들의 결과에 의하면 陰陵泉, 건측 合谷 및 환측 鶴頂에 온침의 효과가 있었으며 특히 合谷과 鶴頂에 대한 온침효과가 가장 유의하게 관찰되었는데, 이를 內在陣痛系에서 opioid와 α-adrenoceptor가 함께 활성화됨으로써 얻은 효과로 결론내렸다.

## 2) 임상연구

기존의 동물실험과 별도로 인간을 대상으로 한 기초적인 임상실험보고는 최근 민<sup>32)</sup>에 의해 발표되었다. 퇴행성 슬관절염에 대하여 온침과 침의 효과를 비교하기 위해 70명의 환자를 대상으로 연구를 실시하였는데, 4곳의 OA 효능 혈자리와 10개의 다른 혈자리 선택하고 온침과 일반침의 효능을 KWOMAC SF-36, Patientglobal Assessment를 통해 비교하였다. 온침시술은 주당 2회 8주간 실시하였으며 2~8mm로 자침한 후 수기법을 쓰지 않고 뜸을 7~8분 연소시키면서 총 20분간 유침하였다. 이 연구에 사용한 침에 관한 설명은 없었으나 사용한 뜸은 원주에 가운데 구멍이 있는 형태로 피부에 부착하는 상용 간접구였다. 그의 연구에 의하면 KWOMAC은 양쪽 모두 효과가 있었으나 온침이 더 좋았으며 SF-36는 둘 다 효과가 없는 것으로 나타났다. 그리고 patient global assessment는 온침이 더 효과가 있는 것으로 밝혀져, 전체적으로 침에 비해 온침이 퇴행성 슬관절염에 나은 효능을 보인다고 하였다.

요통에 대한 온침 치료효과 증례도 이 등<sup>33)</sup>에 의해 보고되었다. 6명의 환자를 온침치료군과 침치료군으로 나누어 실시한 실험으로 兩側 腎俞에 자침하였고 통각계와 VAS를 사용하여 요통을 평가하였다. 온침은 스테인리스강 호침(0.30×50mm)에 직경 2cm, 높이 2.5cm의 원뿔형태 뜸을 침병에 부착하여 연소시켰다. 시술은 일주일에 1일 1회, 총 7회 실시하였다. 치료기간 동안 양 치료군 모두에 약물, 부항치료 및 물리치료를 병행하였다. 비록 실험대상군의 크기가 작으나 가장 급격히 호전된 증례가 온침 시술군에서 관찰된 점을 고려하여 온침이 더 유효하다고 결론지었다.

온침의 임상 연구 정도를 고찰한 시도도 최근 보고되었다. 정 등<sup>34)</sup>은 국내 6개의 논문 검색엔진과 중국 침구저널, Medline을 통해 '온침, warming acupuncture, warming acupressure, warming needle with moxibustion'을 검색단어로 총 13편의 RCT 논문을 찾았으며 이 중 통증성 질환에 관계되는 6편의 RCT에서 modified JADAD scale로 연구방법에 대한 평가를 실시하였다. 선택된 논문 중 1편은 앞에 언급한 민 등<sup>33)</sup>의 논문이며, 나머지는 중국에서 작성된 논문이었다. 이 중 5개의 논문이 JADAD scale상 0~1점을 받았고 하나의 논문이 5점의 고득점을 받았으나 논문의 질과 결과는 상관관계가 없었다. 결론적으로 온침이 침에 비해 통증감소 및 기능개선 측면의 효과에 관한 근거는 있으나 randomization의 부적절함과 맹검 과

정이 없음으로 인해 해외 학회에서 그 효과를 제대로 인정받지 못하는 경향이 크다고 하였다. 따라서 향후 온침의 질환치료 효과에 대해 신뢰할 수 있는 근거 확립을 위한 임상연구의 필요성을 강조하고 있다. 이 고찰에서는 온침 시술 시 사용한 침이나 뜸과 같은 기기 부분이나 시술방법에 대한 분석은 이루어지지 않았다.

최근 발행된 영어논문을 살펴보면, Tan 등<sup>35)</sup>은 슬관절염에 관한 연구를 통하여 온침시술의 분자수준 기전이 대사관련 유전자의 조절 그 경로에 관련되어 있다는 것을 보여주었다. 關元·氣海·足三里(兩側), 膝眼(양측)·陽陵泉(양측)에 온침자극을 가한 후 침(0.35×40mm)을 자침하여 득기감 후 침을 균일하게 천천히 1~2분간 돌려준다. 이후 연소중인 2cm 애주를 침병에 삽입하여 온침자극을 시작하는데 한 뜸의 연소가 종결되면 새것으로 대체하여 총 40분 정도 계속 실시하고 침이 완전히 식은 후 발침 하였다. 2주에 걸쳐 매일 이 치료를 실시한 후 그 효과를 측정하였다.

한편, 온침을 이용한 기초 실험으로 온침 시술 후 자극부위 근방의 여러 가지 생리적 변화를 관찰한 결과<sup>5)</sup>가 보고되었다. 스테인리스강 침(0.30×50mm, silicone coated)과 온침용으로 원판형태(지름 11.1mm 두께 5.0mm)로 성형한 썬숯(0.19g)을 사용하였는데, 스테인리스강 재질의 침병에 탈부착이 가능한 재반이로 사용할 수 있도록 원판 중심에 직경 3.7mm의 구멍이 형성되어 있다. 자극부위의 온도변화로써 관찰한 온침효과를 보면 氣海穴의 온도가 자극 전에 비해 온침 자극 과정과 그것이 종료된 7분 후까지 상승하였다. laser Doppler flowmetry나 laser Doppler imaging을 통해 온침 시술중 관류가 증가함을 확인하였다. 또한 heart rate variability(HRV)의 세 가지 주요 인자들의 변화가 온침 시술 후 관찰되었다.

### III. 고찰 및 제언

융합치료법인 溫鍼과 火鍼은 침자의 기초 위에 화열을 이용한 경혈 자극법으로 침을 이용하여 열을 인체 깊숙이 전달하여 열자극을 실시하는 데 목적이 있다. 온침에 관한 문헌적 고찰<sup>1)</sup>에 따르면, 온침과 관련한 내용이 최초로 언급되어 있는 원전은 《黃帝內經》이다. 《黃帝內經·素問·調經論》에서 “병이 근육에 있을 때는 燔鍼을 쓰고 병이 뼈에 있을 때는 焠鍼을

쓰라(病在筋 燔鍼劫刺 病在骨 焠鍼藥慰)”고 되어 있다. 여기서 여러 학자들의 주해에 의하면 燔鍼이 오늘날 온침에 속하며 焠鍼은 오늘날의 화침에 해당하는 것으로 알려져 있다<sup>1)</sup>. 溫鍼이라는 용어가 처음 언급된 문헌은 《傷寒論》으로서 “태양병 3일에 이미 發汗시키고 난 후, 吐法 혹은 下法 혹은 온침 등의 치법을 사용한다(太陽病三日 已發汗 若吐 若下 若溫鍼)”고 하였다. 그러나 《상한론》에서의 온침은 燒鍼, 즉 오늘날의 화침에 해당한다고 해석하기도 한다. 또한 후대의 《동의보감》에서는 위의 “《황제내경》에서 언급된 燔鍼이 火鍼에 해당한다(內經有燔鍼法即火鍼也)”고 하여 일반적인 주해가들과 다른 견해를 취하고 있다. 이를 종합하면 고대 문헌에서는 화침과 온침의 개념과 용어가 명확하게 구분되지 않고 상호 혼용되어 사용되어 온 것으로 보인다<sup>1)</sup>. 그러나 이후 《鍼灸聚英》에서 “침을 놓고 뜸으로 뜨겁게 한다(套鍼上, 以艾蒸溫之)”고 하여 오늘날과 동일한 온침의 개념을 처음 명확하게 서술하였으며, 이후의 문헌에서는 화침과 대별되는 온침 시술에 대하여 灸溫鍼, 灸頭鍼, 溫鍼灸法 등의 명칭으로 비교적 뚜렷하게 구분하여 표현하고 있다.

열을 이용한 자침요법의 관점에서는 온침과 화침 모두 刺鍼과 溫熱의 효과를 동시에 나타내는 자극요법으로 공통적으로 외부 열을 이용해 침의 온도를 높이는 점은 같으나, 현재까지 개념이 정립된 두 치료법은 가열방법이나 시술방법에 있어서 서로 명확하게 구분이 된다. 즉 온침은 자침 후에 뜸을 연소시키는 반면 화침은 침을 불에 가열 후 자침하는 것으로 서로 반대된다. 온침의 경우 자침 후 뜸을 점화하고 15~20분의 유침 시간을 갖기 때문에 부착된 뜸의 연소가 진행되는 동안 연소열에 의해 상당한 시간 동안 열의 공급이 이루어진다. 반면 화침은 알코올램프 등으로 침을 붉게 가열한 후 즉시 자침하고 유침없이 발침하므로 열의 추가적인 공급이 이루어지지 않고 짧은 시간 열충격을 주게 된다<sup>36-38)</sup>. 예외적으로 인대손상 치료 시 가열식 화침을 사용하여 지속적인 열을 공급하는 경우는 있다<sup>31)</sup>. 양 치료 간의 열특성에 따른 적응증에도 차이가 있는데 온침은 溫通經脈, 氣血宣行의 작용으로 一切 痺疽 질환과 虛寒性 질환에 주로 적용하고, 화침은 活血祛瘀, 消腫止痛의 작용으로 외과질환에 적용하거나 溫補散寒, 活血祛邪의 작용으로 피부질환에 많이 응용한다<sup>1)</sup>. 열원을 피부 가까이 놓고 상대적으로 장시간 연소시키는 뜸에 비해, 온침은 뜸이 침병에 위치하여 화상의 위험성이 상대적으로 적

고 비교적 짧은 유침 시간으로 연기 발생의 불편도 줄일 수 있다. 고온으로 달구어진 화침과 비교해서도 안전성이 높으며 바로 발침하여 열전달 시간이 짧은 화침에 비해 열을 표적 부위에 보다 장시간 전달할 수 있으므로 융합치료법으로서의 장점이 더 크다고 할 수 있다. 따라서 온침은 일부 사용상의 불편함을 개선하면 뜸이나 화침의 제한점을 극복하는 훌륭한 대안이 될 것이라 사료된다.

본론에서 그동안 온침을 구성하는 뜸과 침의 소개적 특성과 열특성에 대한 기초적인 연구 결과와 동물 실험 등을 통해 온침의 치료 효과를 확인한 내용을 간단히 살펴보았다. 그러나 온침의 열특성이 생체에 영향을 미치는 기전이나 온침의 온도가 치료 정도에 어떤 상관관계가 있는가에 대한 이해에는 미치지 못한 상황이다. 또한 기류 변화가 뜸의 보사에 미치는 영향에 대한 기존 연구에서 유추할 수 있듯이 기류와 같은 외부 환경요인이 온침의 열효율에 미치는 영향은 매우 심대할 것이다. 그러나 현재까지 외부 환경변수가 온침의 열특성에 미치는 영향에 대한 기초 연구가 진행되지 않아 온침의 안전성이나 치료효과의 재현성을 담보하기 어려운 실정이다. 아래에서 보듯이 현재까지 온침 사용이 편리하도록 구조를 개량하거나 뜸을 대체할 새로운 열원을 찾으려는 노력이 진행되어 왔다. 그러나 여기서 한걸음 더 나아가 환경변수가 미치는 간섭을 최소화하면서 치료효과를 안정적으로 극대화할 수 있는 방향으로 신규 온침 기기 개발의 초점을 맞추어야 할 것이다.

## 1. 기존 온침 열특성 연구 정리

온침의 동물모형이나 임상연구에 관한 논문에서 열 특성에 영향을 미치는 요인들을 Table 1에 정리하였다. 온침용 침의 측면에서 재질, 침체 직경, 자침 깊이로 나누고, 애주 측면에서 성분, 형태 및 크기, 무게로, 온침시술 방법 측면에서 시술당 사용하는 뜸 수(壯) 및 총 시술 횟수, 뜸 연소시간, 그리고 유침 시간을 각각의 항목으로 나누었다. 침의 재질을 보면 온침용 굵은 합금침에서 0.25mm 이하 스테인리스강 침을 사용하는 경향을 봐서 비록 설명은 되어 있지 않지만(NC) 재질을 예측할 수 있다. 자침 깊이에 대한 언급은 한 논문에서<sup>35)</sup> 기술되어 있었다. 애주에 대해서는 대부분 잘 기술되어 있었는데 최근의 온침은 상용 애주(moxa roll)를 많이 사용하였다. 이는 사용이 간편한 것이 이유인 것 같다. 분석결과를 보면 온침 시술 방법을 보완해야 할 것으로 보인다. 모든 논문에서 자극한 경혈자리에 대한 설명은 잘 이루어졌으나 열자극시간을 알려주는 연소시간(combustion time)과 유침 시간(duration)에 대한 설명은 거의 이루어지지 않았다. 또한 모든 연구에서 자침 후 수기법 실시 여부에 대한 언급이 없고 두 논문<sup>27,32)</sup>만 이를 언급하였다. 이 분석에 의하면 후속 연구를 통해 수기법의 온침효과에 미치는 영향에 대한 연구가 필요할 것으로 사료된다.

## 2. 현재 온침기기 개발 상황

기존의 온침연구를 살펴보면 현재까지 발표된 개

Table 1. Descriptions of the Needle, Moxa Cone and Method of Warm Needle Acupuncture

Ref	Needle			Moxa			Method		
	Material	Diameter	Depth	Mat.	Shape	Mass	# of cone(total)	Burn. time	Duration
26	Au.	0.4mm	NC	Moxa	Barley×2	14mg	1, 2 (7)	NC	NC
27	Au.	0.4mm	NC	Moxa	Barley×2	14mg	1 (8)	NC	30s
28	Au.	0.4mm	NC	Moxa	Barley×2	15mg	1, 2 (7)	NC	NC
29	Au.	0.4mm	NC	Moxa	Barley×2	14mg	1 (5)	NC	NC
30	Au.	0.4mm	NC	Moxa	Barley×2	14mg	1 (5)	NC	NC
20	NC	Figure	NC	Moxa roll	7×8mm(D×H)	1.5g	NC	NC	5min
32	NC	Figure	2~10mm	Moxa roll	Figure	NC	1 (16)	7~8min	20min
21	NC	0.18mm	NC	Moxa roll	Sphere	30mg	1 (2)	90 s	Burn+1 min
33	SS	0.30mm	NC	Moxa	Cone	NC	1 (7)	NC	Burn

NC stands for no comment. Figure means there were figures to explain needles or moxa used for their study.

Barley × 2 means the size of twice larger than a barley. # of cone indicates the number of moxa cones used consecutively in a session and total does total number of warm needle sessions for a subject.



신 방안은 크게 두 가지 방향으로 진행되고 있다. 하나는 뜸 연소 중 발생하는 연기나 재를 최소화하여 사용의 편리함을 높일 수 있도록 온침의 구조를 변경하고 뜸을 개량하는 것이고, 다른 하나는 전통적인 뜸을 대신해서 온도를 보다 더 쉽게 조절하고 열전도율을 높일 수 있는 새로운 열원을 도입하려는 노력이다.

### 1) 개량 艾柱를 열원으로 사용하는 온침 기기

기존 온침의 불편함을 해결하기 위한 방안으로 애용 대신 썩숯(charcoal)을 사용하여 연기를 거의 발생하지 않으면서 연소하는 온침용 뜸이 개발되었다. 예를 들면 침병에 탈착이 가능한 스테인리스강 재반이에 놓이는 썩숯을 원관형태로 성형한 것 등이다. 이 뜸을 사용한 온침의 온도는 침의 종류에 달려 있는데 현재 가장 많이 사용되는 스테인리스강 침을 사용한 결과는 전술한 바와 같다<sup>5)</sup>. 이를 이용하여 온침의 효과에 관한 기본적인 임상실험을 실시하였는데 적외선 영상장치에 의한 온도 측정에 의하여 氣海穴의 자극 전 온도가 33.0℃였던 것이 자극중 37.6℃, 그리고 자극이 끝난 후 7분에 35.1℃로 증가된 채로 있었다. 또한 같은 부위의 혈류가 온침시술 중에 증가하였고 heart rate variability 측정을 통해 온침 시술 후 세 가지 주요인자 변화가 관찰되었다. 이 방법은 시판되고 있는 온침용 애주를 사용하는 것과 유사하나, 숯은 연기를 거의 발생시키지 않고 연소 후에도 재반이에서 그 형태를 유지하고 있어 별다른 문제를 야기하지 않는다. 또한 재반이의 위치가 일정하여 동일한 침을 사용하는 경우 항상 일정한 온도를 형성하는 장점이 있다. 시판되는 뜸 중에는 연기가 거의 나지 않는 황토를 첨가한 무연뜸이 있는데, 이는 간접구용으로 제조된 것으로 이를 적절히 성형하면 온침에 활용이 가능할 것으로 보인다. 다만 안전을 위해 재반이는 반드시 부착되어야 할 것이다. 미니 뜸<sup>20)</sup> 또는 간접구용으로 나온 원통형 애주<sup>32)</sup>에 침병을 삽입하여 온침으로 사용하는 경우가 있는데 만약 연기나 재가 적절히 제어될 수 있도록 개량된다면 이들 또한 사용 가능하다. 다만 실제 임상에 사용하기 전에 이러한 개량 온침들의 열특성을 충분히 파악해야 할 것이다.

### 2) 전자기파 에너지를 열원으로 사용하는 온침 기기

뜸이나 기타 물체의 연소열을 사용하지 않고 외부

에서 인가된 전자기파의 에너지를 열에너지로 변환하여 온침의 열원으로 사용하는 방법이 최근 국내 연구진에 의해 제시되었다. 듀플렉스 스테인리스강(duplex stainless steel, DSS) 등과 같은 자성천이형 발열체는 고주파 교류자기장에 노출되면 전자기 유도가열현상에 의해 열을 발생하는 성질이 있으며 온도를 임의로 조절 및 유지할 수 있다. 따라서 이런 소재로 제작된 침은 외부에서 인가된 자기장에 의해 열을 발생하는 온침이 될 수 있다. 이 온침은 온도 조절이 용이하며 화상이나 냄새 같은 단점을 극복할 수 있다. 다만 새로운 침 소재 및 고주파의 안전성 여부가 검증되어야 하는데 육 등<sup>16,39)</sup>은 DSS 재질의 침에 100kHz의 교류자기장을 가하는 온침기기의 안전성에 대한 연구를 실시하여 DSS침 용출액의 pH시험, 중금속시험, 세포독성시험에서 식품의약품안전청의 1회용 주사침 기준을 만족하였으며 자외선흡수스펙트럼 측정 및 용혈성 시험에서 스텐트 기준을 만족하여 SS304 침에 준하는 안전성을 확인하였다. 고주파의 안전성 검증은 쥐를 이용한 동물실험을 통해 실시하였는데 전자기장에 노출된 실험군들은 대조군과 비교하여 체중 변화, 먹이 섭취 변화, 혈액학적 변화, 운동능력 변화, 간장의 무게 변화 및 간장의 표면색상 변화에 있어 유의성 있는 차이가 나타나지 않아 100kHz 교류전자기장의 식이, 행동, 혈액학적 측면 등에서 안전함을 확인할 수 있었다. 현재 이 온침기기는 전력소모, 좁은 시술 범위, 소음 등의 문제가 있으나, 그 한계는 극복될 수 있는 것으로 사료된다.

전자기파의 에너지를 이용하는 또 다른 연구가 이후 소개되었다. 박 등<sup>25)</sup>은 고주파 가열의 일종인 유전가열방식을 이용할 수 있는 침을 고안하고 동물실험을 하였다. 침(0.3×40mm, 스테인리스강)의 침체 말단부 1mm와 침병 상단부 3mm를 제외하고 절연체인 테플론을 도포하여 절연침을 제작한 후, 100kHz~1MHz의 사인파를 출력하는 고주파 출력모듈에 침병 상단부를 연결하는 방식으로 침체 말단부에 열을 생성하는 온침기기를 구성하였다. 생성열에 의한 온도 상승효과를 실험으로 확인하였는데<sup>22)</sup> 가하는 전기의 세기에 따라 온도가 급격히 변화하였다. 또한 이 방법으로 carrageenan 유도 足踝關節炎이 발생한 쥐의 습윤을 자극한 후 그 효과를 검증하여 유의한 결과를 얻었다. 그의 연구에서 절연침 제작에서의 절연물질 도포 문제와 鍼尖에서 발생하는 촉감 문제, 절연층 추가에 따른 침의 두께 증가 등에 대한 해결방안을 제시하였는데, 기술적으로 특별한 어려움은 없을 것으로

사료된다. 이 온침과 유사한 방식으로 인체 내부에 삽입된 전극에 열을 가하는 연구는 서양의학에서도 진행되고 있다<sup>40)</sup>. 또한 온침에 사용되는 절연체와 관련된 연구는 타 연구진에 의해서도 발표되었다<sup>41)</sup>.

### 3. 온침 기기 개발에 관한 제언

전도된 열량에 의해 발생하는 물체온도 변화는 관련된 물체들의 전도율, 비열 등을 포함한 물성과 그 크기에 따라 다르다. 또한 인체와 같은 생물체의 경우, 신진대사 및 혈류를 고려하여야 하기 때문에 그 측정이 대단히 복잡하다. 따라서 온침이나 뜸과 같이 외부의 열원에 의한 인체의 온도변화는 시술 후 직접 측정하는 것이 가장 바람직하나 기술적이거나 윤리적인 문제로 인하여 실행하기 어렵다. 열에 대한 생체의 온도 변화를 계산하기 위해서는 bio-heat equation<sup>42)</sup> 이라는 복잡한 비선형편미분방정식을 사용해야하는데 이것 또한 관련된 상황을 단순화시켜야 어느 정도 근사치 계산이 가능하다. 이 논문에서 다루는 온침에 의해 체내 자극부위의 온도 변화 정도를 예측하거나 직접 측정하는 것은 어렵지만 온침 열원에서 생산된 열이 온침을 매개로 하여 자극부위 피부에 도달하는 대강의 경향은 다음의 식을 통해 예측이 가능하다.

$$Q = k \frac{\Delta T}{d} A \quad \text{식 1}$$

위의 식 1은 단위시간당 단위면적을 통과하는 열량에 관한 식으로 푸리에의 열전도법칙(The fourier law of heat conduction)으로 알려져 있다. 여기서 d는 열경로거리(heat path distance)  $\Delta T$ 는 열경로간 온도차, A는 열경로의 단면적(area) 그리고 k는 열전도도(thermal conductivity)를 각각 나타낸다. 식 1에 따르면 열량은 열 경로의 단면적이 넓을수록, 열전도도가 높을수록, 그리고 이동거리가 짧을수록, 그리고 온도차가 클수록 증가한다. Q는 열경로거리 d에 반비례하므로 열원인 뜸에서 멀어질수록 그 값이 점점 감소하여 침체 부위별 온도차를 유발한다<sup>5,18,20,43)</sup>. 또한 단면적(A)은 직경의 제곱에 비례하므로 동일한 재질의 침을 사용할 경우라도 침의 굵기 선정에 대한 주의가 요망된다. Table 2는 현재 많이 사용되는 직경 0.25mm 스테인리스강 일반침과 기존에 많이 사용되었던 침소재의 상대적 열량 통과량을 20℃ 상온 기준으로 식 1을 이용하여 구한 결과를 나타낸 것이다<sup>44)</sup>.

Table 2. Relative Heat Transfer Rates of Some Materials for Warm Needles with Respect to a Stainless Steel 304(SS 304) Needle

Material	TC(W/mK)	Dia.(mm)	Heat transfer
SS 304	18.8	0.25	1
Gold	318	0.25	17
Gold	318	0.4	43
Silver	429	0.4	58
Copper	401	0.4	55
Iron	80.4	0.4	11

Here, TC and Dia. stand for thermal conductivity of needle material at 293 K and diameter of the needle, respectively.

Note that thermal conductivity is varied with temperature.

예를 들어 동일한 굵기의 침(0.25mm)을 사용한 경우 일반침과 금침은 대략 17배 차이가 나고, 은이나 동침은 그 차이가 더욱 커진다. 그리고 0.25mm 일반침과 0.4mm 금침을 비교하면 43배의 정도 차이가 발생한다. 동물실험에 사용되었던 합금침이나 스테인리스강 침의 열전도도와 직경을 고려하면 각 실험 간 상당한 열량의 차이가 있음을 알 수 있으며 이는 기존의 연구결과에도 잘 나타나 있다<sup>8,43)</sup>. 실제 열전도도는 그 물질의 온도에 따라 변하므로 온도가 변하는 경우에는 식 1과 같이 단순히 계산되지 않는다. 금은 침으로 사용될 만큼 단단하지 못해 합금을 만들어 침을 제작하여 이 또한 열전도도에 영향을 주므로 위의 계산치는 근사치이다. 그러나 재질과 직경이 상이한 침의 대략적인 비교 목적으로는 충분히 사용될 수 있는 방법이다.

위 식은 열전달 방식 중 전도(conduction)만을 고려한 것으로 외부의 다른 요인을 배제한 단순한 모형이다. 열은 온도가 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동하는 속성이 있으므로 침체 外로 열이 빠져나가는 열손실을 고려하여야 더욱 정확하게 열전달량을 예측할 수 있다. 주위로 열손실을 유발시키는 대표적인 요인 중의 하나는 침체 주위에 있는 공기의 흐름이다<sup>24)</sup>. 공기는 열전도도가 낮아 보온의 역할의 할 수 있지만 대류(convection)의 일종인 기류가 형성되면 열손실을 야기하게 된다. 그러나 그 정도를 예측하기는 상당히 어려우므로 일반적으로 기류를 최소화하는 방법을 사용하여 온침의 열전달 정도를 일정하게 하는 것이 유리할 것으로 사료된다. 온침은 열전도율이 우수한 매우 가는 금속침을 매개로 하여 열을 인체에 전달하는 구조인데, 침은 마늘이나 생강절편을 사용하는 간접

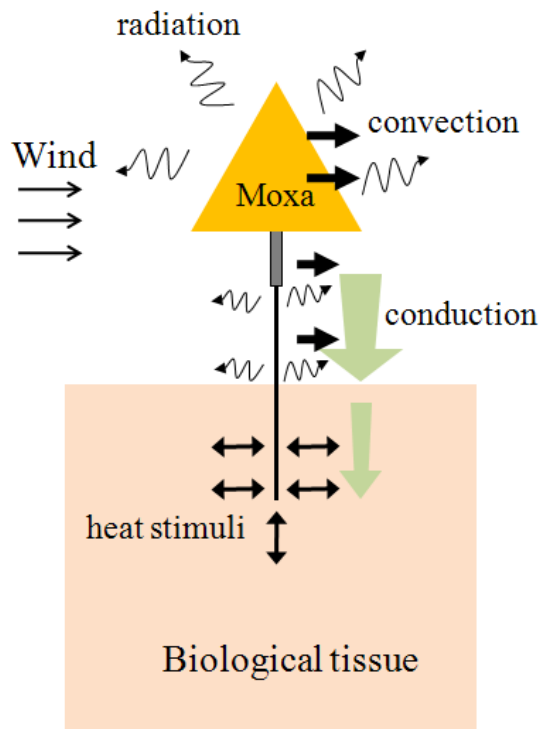


Fig. 1. Simplified description of the heat transfer mechanism occurred in a traditional warm needle acupuncture under external air flow

Curved arrows indicate radiation from a burning moxa (big ones) and a needle body (small ones). Dark and thick arrows mean the energy loss of the burning moxa (big ones) and a needle body (small ones) due to the convection generated by the external wind from its side. Gray arrows illustrate the heat conduction through the needle body outside (big one) and inside (small one) the biological tissue, respectively. Arrows inside the tissue depict complex heat interactions with the tissue, which can be difficult to understand.

구와는 달리 외부에 노출되어 있기 때문에 기류에 영향을 더 받을 수밖에 없다. 따라서 외부에서 기류 변화를 야기하는 경우 위의 식만으로는 그 온도 경향을 설명할 수 없다. 온침의 열특성 이해를 위해 열이 침체에 위치한 열원에서 인체피부와 피하조직에 전달되는 과정과 경로의 개요를 Fig. 1에 묘사하였다.

Fig. 1에서, 침체와 나란한 회색 화살표는 침병에 가해진 열이 상대적으로 낮은 온도의 침체를 통하여 인체조직으로 전도되면서 점점 감소하는 것을 나타낸다. 이 열은 인체에 작용하여 여러 가지 열자극(양쪽 화살표)을 발생시키는데 그 정도는 인체 조직, 대사 및 혈류 등에 관계된다. 전통온침 구조에 관여하는 대표적인 환경인자로 측면 기류(가는 직선화살표)를 설정하였는데, 이것에 의해 대류(convection)가 발생하여

열손실이 moxa(긴 굵은화살표)와 침(짧은 굵은화살표) 부위에서 발생한다. 곡선화살표는 복사(radiation)에 의한 열손실을 의미하며, 그 발생 정도는 그 물체의 온도와 표면 성질에 따라 다르다. 온침의 온도 측정에서 연소 뜸의 복사에 의한 온도증가도 관찰되었으므로 열자극 측면에서 고려 대상이 될 수 있다<sup>36)</sup>. Fig. 1에서 묘사하였 듯이 기류는 온침에 대해 애주의 연소율을 증가시키면서 동시에 대류에 의한 애주 부분과 침체 부분의 열손실을 증가시킨다. 따라서 온침의 열특성 조절을 위해서는 기류와 같은 환경요인들에 대해 고려할 필요가 있다. 대류에 의한 열손실의 정도는 공기에 함유된 수분의 양에 비례하므로 습도 조절이 또한 고려되어야 한다. 위의 식 1의  $\Delta T$ 는 열전달경로간의 온도차로 현실적으로는 실내온도와 열원간의 온도차와 유사하다. 따라서 실내온도 역시 온침의 열특성에 영향을 미치는 환경 인자가 될 수 있다.

위와 같은 도식은 온침기기개발에 많은 것을 시사해주며, 이 도식에서 드러난 열자극량 조절의 어려움을 해결하면 기기의 완성도를 높여 실제 임상에 많은 도움이 될 것으로 사료된다. 이런 취지에서 온침기기에 대한 향후 개발 방향에 대한 제안을 하고자 한다.

### 1) 적합한 열원의 개발

안정적인 온침 열원의 개발이다. 지금까지 전자기파와 같이 외부에서 공급되는 에너지를 열에너지로 전환하는 방법, 전기를 이용하여 침체를 가열하는 방법들이 제시되었다. 또한 기존의 쑥뜸을 대체하여 연소 시 연기가 나지 않고 재 제거가 용이하며 화상이 일어나지 않는 열특성을 가진 연소소재를 열원으로 사용하는 방법도 제시되었다. 이와 같은 온침 대체 의료기기들이 전통온침과 같거나 더 나은 효과를 내기 위해서는 열원과 무관하게 전통온침이 가진 열특성을 반영하여야 하며, 이 열특성에는 복사열특성도 포함된다. 현재까지 전통온침의 열특성은 지금까지 충분히 연구되어 왔고 필요시 더 많은 정보를 얻을 수 있다. 하지만 열특성 측면에서 조절이 용이한 열원의 개발은 아직 완성되지 않고 있어 이에 대한 연구가 절실히 요구된다.

### 2) 환경요인으로부터 자유로운 구조

환경요인에 영향을 덜 받는 온침 구조의 개발이다. 뜸 시술 환경에 의해 열특성이 유의하게 변한다는 연구결과에 의하면<sup>23)</sup>, 일상생활에서 발생하는 기류에 의

해서도 뜬의 연소특성이 바뀌며, 그 결과 직접구뿐만 아니라 간접구의 시계열적 온도 및 온도치 변화가 일어났다. 이 결과가 시사하는 바는 뜬을 사용하는 온침의 열특성 또한 환경요인에 의해 변할 수도 있다는 것이다. Fig. 1에서 본 바와 같이, 전통온침은 침체가 공기 중에 노출되어 있어 침체를 통한 열손실이 기류의 변화에 민감하게 반응한다. 극단적으로 보면 공랭식 구조를 가지고 있는 기기와 유사하다. 따라서 아무리 우수한 열원이 개발되어도 기존 온침의 구조적 한계에 의해 소기의 목적을 달성하기 어렵다. 이 문제를 극복하기 위해 외기의 영향을 줄일 수 있도록 외기와 침체 간의 직접적인 접촉을 차단하거나 침체의 길이를 줄일 수 있는 구조를 고려해야 할 것으로 사료된다.

### 3) 자극 부위 온도 측정을 통한 온침 온도 조절

자극 부위의 온도 측정이 가능한 온침의 개발이다. 온침을 통해 열자극이 가해진 부위의 온도를 측정하여 열량의 증감을 도모하는 기능이 효과적인 열자극을 위해 필요하다. 일정한 열량이 인체에 공급된다 하더라도 전술한 여러 가지 요인에 의해 열자극 부위의 온도를 예측하기 어렵다. 가장 확실한 방법은 온도측정기를 해당 부위에 삽입하여 직접 측정하는 것이다. 온침은 기본적으로 자침하여 열자극을 가하는 구조이므로 일단 인체에 삽입된 온침을 통해 온도 측정이 가능하도록 하는 것이 바람직하다. 만약 온도측정이 가능하다면 피드백(feedback)을 통해 불완전한 열원이나 환경요인에 의한 열특성 변화를 어느 정도 보완할 수 있다. 이 기능은 최종적으로 가해진 열자극량을 정량화할 수 있다는 점에서 온침을 포함한 기타 열치료법의 효과 연구에 심대한 영향을 미칠 것으로 사료된다. 온침에서 전달되는 열량에 따른 조직 온도 상승 효과는 지방, 단백질, 체액, 혈류 등의 영향을 받기 때문에 부위별로 다르고 또한 피시술자의 열감수성에 의존하지만 이 요인들은 기타 열자극기기에 동일하게 적용되는 것이므로 여기서 논의하지 않기로 한다. 설사 이런 고려들이 기기에 반영된다 하더라도, 남은 문제는 그 열에 의해 자극부위의 온도가 변한 정도를 감지하는 것이다. 온도변화는 자극 부위의 성분, 구조 등과 같은 물리적 특성뿐만 아니라 신진대사 및 혈류에 따라 변하므로 현재 수준으로는 정확하게 예측하기 어려워 비록 정해진 열량을 특정 부위에 투입할 수 있는 기기를 사용한다 하더라도 자극 부위에서의

측정을 통해서만 온도 정보를 얻을 수 있다. 이는 임상효과를 목표로 하는 열치료기기 측면에서 중요한 관점이다. 따라서 이상적인 온침기기는 가열 자극 부위의 온도를 측정하여 기기에 반영하는 피드백 기능을 갖추어야 한다.

### 4) 온침의 열특성과 치료효과 간 상관관계 파악

열치료 기기로서의 온침을 임상적인 관점에서 고려해보면, 온침기기에 요구되는 기능은 정밀한 온도 조절이며 이것은 그 임상효과와 직결될 것으로 추측된다. 그러나 아직까지 열자극과 임상효과 간의 상관관계에 대한 논문이 부족하여 적절한 온침의 열특성 설정이 어려운 점이 있다. 이는 시술 시에 온도제어가 난해함을 의미하기도 하지만 더 중요한 것은 온도 재현성의 난이도이다. 어떤 치료의 효능을 연구하거나 이미 인지된 효능을 재현코자 한다면 반드시 동일한 시술 조건을 유지할 수 있어야 한다. 그렇지 않으면 그 효능을 재현하기도 힘들고 타 연구 집단에 의한 독립적 연구 결과의 비교가 어려워, 그 효능의 객관적 검증이 거의 불가능해진다. 열자극 치료법인 온침도 이 범주에 해당되며, 이런 이유로 온침의 기초 연구나 임상연구에서 온침의 열특성을 밝히는 것이 매우 중요하다. 본문에서 언급한 바와 같이 동일한 온침을 사용하고 동일한 뜬을 사용하는 등의 표준화된 방법은 치료효과의 상대적인 비교에 유용하게 사용될 수 있으며, 온침 시술방법에 대한 상세한 묘사는 재현성을 높일 수 있다. 만약 의료계에서 온침에 대한 적절한 승온율, 감온율, 최고온도, 자극시간 등 열자극 관련 사양을 결정하고 그 필요성을 제기하면 의료기 업체는 시장 상황을 고려하여 개발하고자 할 것이다. 온침은 서양의학에서 존재하지 않는 개념으로 온침의 열특성 연구가 가장 활발한 우리나라에서 한의학계의 임상적 요구가 발생하면, 우수한 전자공학 기술을 가지고 있는 국내 산업계의 기반을 고려할 때 경쟁력 있는 온침기기가 개발될 것으로 사료된다.

## IV. 결 론

기존에 발표된 학술논문과 학위논문을 참고로 하여 침자극과 열자극을 동시에 주는 온침에 관한 연구

를 열특성 관점에서 조망하고 향후 온침기기 개발 시 필요한 사항을 제안하고자 하는 취지에서 이 논문을 작성하였다.

1. 온침의 열특성은 주로 사용한 뜸의 물리·화학적 특성과 침의 재질과 구조에 따라 변한다.
2. 온침의 열특성 및 온침이 자극한 부위의 온도변화는 다양한 요인들이 존재하여 측정에 의하지 않은 채로 예측하기 매우 어렵다.
3. 온침기기는 환경적 요인이 열특성 변화에 미치는 영향을 고려하여야 하며, 자극 부위의 온도 변화에 따른 대처기능이 있어야 한다.
4. 기존온침의 단점을 보완한 조절가능하고 환경의 변화에 둔감한 열원의 개발이 필요하다.
5. 온침의 열특성과 임상효과 간의 상관관계를 찾아 온침기기 개발에 반영하여야 한다.

## V. 참고문헌

1. 방도향, 박영배, 강성길. 열을 이용한 자침요법의 문헌적 고찰. 대한침구학회지. 1994 ; 11(1) : 197-13.
2. Tsuei JJ. Recent developments in clinical acupuncture. Am J Chin Med. 1983 ; 11(1-4) : 150-8.
3. Ceccherelli F, Altafini L, Lo Castro G, Avila A, Ambrosio F, Giron GP. Diode laser in cervical myofascial pain: a double-blind study versus placebo. Clin J Pain. 1989 ; 5(4) : 301-4.
4. Yin C, Park HJ, Chae Y, Ha E, Park HK, Lee HS, Koh H, Kang S, Choi S, Ryu Y, Lee H. Korean acupuncture: the individualized and practical acupuncture. Neurol Res. 2007 ; 29 Suppl 1 : S10-5.
5. Litscher G, Zhang WB, Yi SH, Lu Wang, Huang T, Gaischek I, Tian YY, Wang GJ, The Future of Acupuncture Moxibustion: A Transcontinental Three-Center Pilot Study Using High-Tech Methods. Medical Acupuncture. 2009 ; 21 (2) : 115-21.
6. 한창현, 신미숙, 신선화, 강경원, 박선희, 최선미. 국내 뜸 요법 임상 실태 파악을 위한 전화조사. 경락경혈학회지. 2007 ; 24(3) : 17-31.
7. 김선웅, 홍성준, 박소형, 정찬영, 윤은혜, 이승덕. 국내 뜸요법 사용실태에 관한 표본조사 결과. 대한침구학회지. 2010 ; 27(2) : 115-21.
8. 최귀만, 엄태식. 침재질이 온침의 온도변화에 미치는 영향. 대한침구학회지. 1992 ; 9 : 143-51.
9. 박영배, 강성길, 김갑성, 안창범, 오환섭, 허웅. 애구의 연소특성에 관한 실험적 연구(I)-연소온도의 유형을 중심으로. 대한한의학회지. 1993 ; 14 (1) : 169-78.
10. 방도향, 박영배, 강성길. 애구의 구간별 연소 시간에 관한 실험적 연구. 대한침구학회지. 1995 ; 12 (1) : 243-51.
11. 박영배, 강성길, 김창환, 고희균, 오환섭, 허웅. 애주의 형태별 연소 특성에 대한 연구 : 연소온도의 유형을 중심으로. 대한한의학회지. 1995 ; 16(1) : 370-8.
12. 박영배, 강성길, 김창환, 고희균, 오환섭. 애구의 구간별 연소 시간에 관한 실험적 연구-구간별 발현 시점을 중심으로. 대한한의학회지. 1994 ; 15 (2) : 241-52.
13. 천영실, 김창환, 강성길, 고희균, 박영배, 김용석. 애용의 표준화 작업에 대한 연구동향. 대한침구학회지. 1997 ; 14(1) : 55-69.
14. 김윤홍, 이승호, 여수정, 최일환, 김영근, 임사비나. 구법의 표준화를 위한 온도 측정 연구. 대한침구학회지. 2008 ; 25(2) : 129-38.
15. 정지현. 온침소재의 열전달특성 연구. 경희대학교 일반대학원. 석사학위논문. 2008.
16. 육근영, 이승호, 김영근, 이승현, 홍상민, 임사비나. Duplex Stainless Steel(DSS) 침의 생화학적 안전성. 대한침구학회, 2007 ; 24(6) : 195-206.
17. 이승현. 일회용 침의 온침기술 시 온도변화 및 생물학적 안전성 연구. 경희대학교 대학원 석사학위 논문. 2006.
18. 김윤홍, 이승호, 여수정, 최일환, 김영근, 임사비나. 溫鍼의 표준화를 위한 점화부위별 溫度 측정 연구. 경락경혈학회지. 2008 ; 25(1) : 247-57.
19. 김윤홍, 이승호, 여수정, 최일환, 김영근, 임사비나. 온침의 표준화를 위한 애주의 밀도에 따른 온도 측정 연구. 대한한의학회지. 2008 ; 29(3) : 11-20.
20. Kim H, Shim I, Yi SH, Lee HJ, Lim HS, Hahm DH. Warm needle acupuncture at Pungsi(GB<sub>31</sub>) has an enhanced analgesic effect on formalin-

- induced pain in rats. *Brain Research Bulletin* 2009 ; 78 : 164-9.
21. 장재영, 권오상, 김영선, 김재효, 김유리, 안성훈, 손인철. 흰쥐에서 carrageenan 유발 급성 슬관절염에 대한 혈위별 온침자극의 효과. *경락경혈학회지*. 2009 ; 26(2) : 75-89.
  22. 안성훈, 홍덕, 권오상, 김유리, 김재효, 손인철. 애주 무게별 온침의 침체간부 온도 변화 특성 연구. *경락경혈학회지*. 2010 ; 27(2) : 71-8.
  23. Seung-Ho Yi. Thermal properties of direct and indirect moxibustion. *J Acupunct Meridian Stud*. 2009 ; 2(4) : 273-9.
  24. 천영실, 김용석, 이재동, 최도영, 박영배, 고희균, 안병철, 박동석, 강성길, 김창환, 이윤호. 썩뜸이 한천피부모형에 미치는 연소특성의 연구. *대한침구학회지*. 1999 ; 16(3) : 155-77.
  25. 박상연, 권오상, 최원중, 김재효, 김경식, 손인철, 안성훈. 합곡(合谷)(LI<sub>4</sub>)의 고주파 온침 자극이 흰쥐의 족관관절염에 미치는 효과. *경락경혈학회지*. 2009 ; 26(2) : 61-74.
  26. 송윤희, 김재규, 최용태. 온침이 Methorexate를 투여한 생쥐의 면역 반응저하에 미치는 영향. *경희한의대논문집*. 1989 ; 12 : 301-13.
  27. 권용택, 이윤호. 鍼, 電鍼, 온침 및 草籠膽水鍼이 膽石形成食으로 誘發된 생쥐 膽石에 미치는 영향. *경희한의대논문집*. 1990 ; 13 : 79-102.
  28. 주태청, 최용태. 온침이 한냉자극으로 저하된 생쥐의 면역기능에 미치는 영향. *경희한의대논문집*. 1992 ; 15 : 297-312.
  29. 송윤희, 최용태. 溫鍼, Laser鍼 및 毫鍼이 寒冷刺戟으로 低下된 생쥐의 免疫機能에 미치는 影響. *경희한의대논문집*. 1992 ; 15 : 69-89.
  30. 임사비나. 혈위별 온침이 방사선 피폭에 의한 면역기능저하에 미치는 영향. *대한침구학회지*. 1995 ; 15(2) : 191-206.
  31. 이광호, 유영진, 선승호, 권기록. 가열식 화침을 이용한 외상성 내측측부인대 손상 치험 5례. *대한침구학회지*. 2010 ; 27(1) : 149-55.
  32. 민웅기. 퇴행성 슬관절염에 대한 온침과 침의 비교연구. *경희대학교 한의과대학 박사학위논문*. 2008.
  33. 이주희, 전현정, 이경민, 이봉효, 정태영, 김재수, 임성철. 요통환자의 온침(溫鍼)치료 효과에 대한 증례 보고. *동서의학*. 2009 ; 34(2) : 45-58.
  34. 정지윤, 최도영, 우현수, 강성길. 근골격계 통증성 질환에 대한 온침의 임상 연구 고찰-계통적 고찰-. *대한침구학회지*. 2009 ; 26(4) : 11-8.
  35. Tan C, Wang J, Feng W, Ding W, Wang M. Preliminary Correlation between Warm Needling Treatment for Knee Osteoarthritis of Deficiency-Cold Syndrome and Metabolic Functional Genes and Pathways. *J Acupunct Meridian Stud*. 2010 ; 3(3) : 173-80.
  36. 신용승, 우수진, 임수일, 임재용, 김종훈, 김덕호. 화침요법에 관한 문헌적 고찰. *대한침구학회지*. 2003 ; 20(4) : 192-208.
  37. 박상준, 안수기. 화침 치료의 연구동향과 D. I. T. I 를 활용한 임상적 고찰. *대한침구학회지*. 1998 ; 15(2) : 407-25.
  38. 안수기, 강화정, 송호천, 범희승. 핵의학(SPECT)을 이용한 뇌혈류변화에 대한 침구효과 검증방법의 새로운 모델에 관한 연구. *대한침구학회지*. 2000 ; 17(2) : 247-59.
  39. 육근영, 이승호, 김영곤, 임사비나. 지능형온침자극기의 전자기장 측면의 안전성. *경락경혈학회지*. 2007 ; 24(4) : 69-84.
  40. Cosman E Jr, Cosman E Sr. Electric and Thermal Field Effects in Tissue Around Radiofrequency Electrodes. *Pain Medicine*. 2005 ; 6(6) : 405-24.
  41. Kim MT, Chung HJ, Choi GS, Kim YB, Rhee KY. A Study on the Coating of Acupuncture Needle with Bioceramics to Improve Insulation Performance. *Advanced Materials Research*, 2009 ; 79-82 : 2119-22.
  42. Xuan Y, Roetzel W. Bioheat Equation of the Human Thermal System. *Chem Eng Technol*. 1997 ; 20 : 268-76.
  43. Lim S, Lee S, Yi SH, Son YS, Choi SM, Kim YK. The Biological Safety of Stainless Steel Needles Used in Warm-needling. *eCAM*. 2010 ; 7(2) : 259-64.
  44. For example. <http://www.efunda.com/materials/elements>