

원 저

인체에서 방사되는 생물광자(生物光子)에 대한 소고

이승호^{1,2)}, 김진수²⁾, 박하준^{1,2)}, 양준모³⁾, 소광섭³⁾, 임사비나^{1,2)}
경희대학교 동서의학연구소 경희비전2000 통증및신경의학연구팀¹⁾
경희대학교 한의과대학 경혈학교실²⁾
서울대학교 자연대학교 물리학부 한의물리연구실³⁾

Review of Biophoton of Human Beings - Domestic Papers

Seung-Ho Yi^{1,2)}, Jin-Soo Kim²⁾, Hi-Joon Park^{1,2)}, Joon-Mo Yang³⁾,
Kwang-Sup Soh³⁾, Sabina Lim^{1,2)}

Research Group of Pain and Neuroscience in Vision 2000 Project, East-West Medical Research Institute, Kyung Hee University¹⁾
Dept. of Meridian and Acupoint, College of Korean Medicine, Kyung Hee University²⁾
Biomedical Physics Lab, School of Physics, Seoul National University³⁾

Objectives : The purpose of this study is to review research papers published by Korean research groups on biophoton of human beings based on experiment subject and methodology.

Methods : In order to review human biophoton research executed in Korea, all the papers published in Korean and international journals by Korean research groups were selected. Several key foreign papers were also reviewed for clarification of this study. Based on experiment subjects, experiment methodology, and interpretation of experiment results were analyzed. On each experiment, its original interpretation was directly quoted. Issues on the experiment methodology and interpretation were expressed at the end of each subject.

Results and Conclusions : We found that experiments on human biophoton were compelling. However it seemed that more experiments, especially on their sample sizes, are needed to demonstrate its clinical application. Interpretations based on Korean traditional medicine also need to be elaborated more. In order to do accomplish clinical application of biophoton, interdisciplinary works are required.

Some suggestions on biophoton experiments were made.

Key Words: biophoton, human, PMT, Yin/Yang, balance, biophoton health index.

緒 論

생물광자(生物光子, biophoton)는 살아있는 생체에서 나오는 자외선 영역에서 근적외선 영역에 걸친 파장영역을 가진 살아있는 생명체에서만 방출된다고 알려진 빛이다.^{1,2)} 그 빛의 세기는 매우 미약하여 육안으로 관찰이 불가능하며, 암실과 같이 외부 광원이 차단된 곳에서 고감도 광측정 장치를 사용

· 접수 : 2005년 8월 22일 · 논문심사 : 2005년 11월 28일
· 채택 : 2005년 12월 21일
· 교신저자 : 임사비나, 서울 동대문구 회기동 1번지 경희대학교 경혈학교실 (Tel: 02-961-0324, Fax: 02-961-7831 E-mail : lims@khu.ac.kr)
· 이 논문은 2003년도 한국학술진흥재단과 경희대학교의 지원에 의하여 연구되었음 (KRF-2003-005-E00002).

하여 관찰할 수 있다. 생물광자에 대한 연구를 시작한 이래로, 생물광자의 기원에 대한 여러 학설들이 제시되었으며, 이들의 공통적인 주장에 따르면 생물광자는 생물상태에 대한 정보를 가지고 있다고 한다.

빛은 지구상에 생명체가 존재한 이래로 생명현상과 밀접한 관계를 유지하고 있으며, 한의학에서도 빛은 인체가 살아가고 생명을 유지하는 데 있어서 매우 중요한 개념임을 강조하고 있다.³⁾ 한의학분야에서 광치료를 이용한 예는 많으며, 대표적으로 빛을 특정 부위에 집중 조사하는 레이저 침과 주로 표피를 자극하는 적외선 요법을 들 수 있다. 레이저의 의학적 적용은 레이저가 발명된 1960년 이후 시작되었으며, 레이저와 침을 결합한 레이저 침은 1990년 이후 많이 사용되기 시작하였다. 레이저 침 치료는 표피를 자극하는 저출력 레이저 치료(LLLT)^{4,5)} 혈관 속의 혈액을 직접 자극하는 혈관내 레이저 치료(IBIL)^{6,7)} 나눌 수 있다. 이 외에도 탄소봉치료법이나 색채 요법 등도 광치료의 일종으로 사용되고 있다.

빛의 치료뿐만 아니라 진단에 이용하는 것은 한의학에서 전통적으로 중요시 되어 왔다. 한의학에서 말하는 사진(四診)중의 하나인 망진은 가시광선을 이용하여 형색을 관찰하는 방법으로 아주 중요한 진단 기능을 한다. 황제 내경에⁸⁾ 의하면 색과 맥을 관찰하는 것(察色按脉)을 진단의 요체로 삼았으며, 색의 상태에 따라 생사를 판단할 수 있다. 따라서 훌륭한 진단자(善診者)는 빛을 진단에 이용하는 사람을 의미했다. 진단에 중요한 수단인 빛을 이용하려는 서양 기술은 짧은 기간동안에 급속하게 발전되어 왔으며, 진단에 사용하는 빛의 파장대별로 구분하면 대략 X선, 가시광선, 적외선 등 세 부류로 나누어진다. X선은 자외선보다 더 짧은 파장을 가졌으며 X선 촬영기에 사용되며, 체열진단기는 긴 파장대인 적외선을 이용한다. 적외선보다 더 긴 파장을 가지는 원적외선을 이용하여 피부 깊숙이 있는 조직을 관찰할 수 있는 진단기기는 개발 중이다. 가시광선을 이용한 진단기기중 가장 오래된 기기는

현미경인데, 현재는 가시광선뿐만 아니라 자외선, 적외선을 사용하는 현미경도 개발되었으며, 내시경도 대부분 가시광선을 이용한다. 그러나 상기의 여러 기기들은 한의학적 진단 수단으로서의 조건을 충족시키지 못했다.

본고에서 소개하고자 하는 생물광자 연구는 1930년대에 식물을 대상으로 시작하여, 측정 장치의 발달에 기인하여 1980년대 이후 본격적으로 진행되어 왔다.^{8,9)} 이 연구들의 주목적은 생물광자를 진단수단으로 이용하는 것인데 주로 독일, 소련, 중국, 일본 등에서 연구가 이루어져 왔다. 생물광자가 한국에 소개되어 국내에서 연구가 시작 된지는 4년 정도 되었으며, 인체 생물광자에 대한 체계적인 연구의 대부분은 국내에서 이루어져왔다. 생물광자 연구는 초기의 여러 가지 회의론을 불식시키면서 생물광학(biophotonics)의 한분야로 입지를 굳히고 있으며, 그 해석 방법론에 있어서 한의학과 접목되는 요소가 많다. 따라서 생물광자의 연구는 한의학적 진단 기기의 원리를 제공할 가능성이 높으며, 국내에서 인지도가 낮은 현실을 고려하여 본고에서는 국내에서 진행된 연구를 중심으로 생물광자 연구결과를 소개하고 생물광자 연구가 내포하고 있는 한의학적 응용 가능성을 제안하고자 한다.

材料 및 方法

1. 생물광자의 출발

1-1. 생물광자의 발전

소련의 생물물리학자인 구르비치(Alexander Gurwitsch)가 1930년대 양파의 유사분열 현상에 관한 연구를 통하여 생물광자가 존재한다는 가설을 발표함으로써 최초로 생물광자가 소개되었다.¹⁰⁾ 그는 한 양파의 뿌리 끝이 다른 양파 뿌리 측면을 향하도록 놓아 두 양파의 서로 수직이 되게 배치하여, 각 양파들이 서로의 성장에 미치는 영향을 연구하였다. 현미경으로 한 양파의 끝에 가까운 다른 양파 뿌리 측면에서 세포분열이 증가되고, 뿌리 끝을 향하

지 않는 면에서는 그렇지 않음을 확인하였다. 또한 이 현상은 두 뿌리 사이에 일반 유리판을 두었을 경우 발견되지 않으며, 석영유리판(quartz)을 사용한 경우에만 관찰 되었다. 일반 유리와 석영유리간의 광학적 차이는 자외선의 투과여부에 있는데, 유리판은 자외선을 거의 투과 시키지 않는다. 그는 다른 몇몇의 실험을 통하여 양파의 유사분열 유도는 다른 양파 뿌리 끝에서 나오는 아주 미약한 자외선이라고 결론짓고 이 자외선을 유사분열방사(mitogenetic radiation)라고 명명하였다. 그의 실험 연구는 생물장(生物場, biofield)존재를 보여준 최초의 연구로 소련을 중심으로 한 동구권의 1930년대 생물학 연구의 주분야 중 하나가 되었다. 그러나, 이 접근법은 2차대전이 끝난 후 당시 생물학의 주 연구 분야였던 유전학과 분자생물학자들에 의해 비판의 대상이 되었으며, 비과학적이라는 비난을 받게 된다. 그들의 반론 내용은 유사분열방사가 전혀 존재하지 않고, 설령 있다라도 생물학적 상관성은 전혀 없다는 것이다. 실제로 구르비치 시대에는 세포로부터 방사되는 미약 광자(ultraweak photon)를 직접 측정할 수 있는 기술이 개발되지 않았다. 이 기술은 1950년대 현재의 구조에 가까운 광전자증배관(photomultiplier)이 개발됨에 따라 비로소 가능해졌다.¹⁰⁾이 장치로 나뭇잎, 콩 같은 생물 시료를 관찰하였을 때, 약하지만 항상적으로 빛이 방출됨이 확인되었다. 그러나 한의학계에서 신기술로 많이 사용되고 있는 저출력레이저 치료법(LLLT)의 창시자의 한명인 구소련의 인유신(Inyushin VM)¹¹⁾등에 의해 연구가 재개되긴 하였으나 동구권에서만 국한된 연구가 되었으며, 곧 잊혀지게 되었다. 1970년대에 독일의 이론물리학자 겸 생물물리학자인 Fritz Popp이 암 연구 동안, 매우 강한 발암물질의 광학적으로 특이한 성질을 발견함으로써 이 연구가 재개되었다.¹²⁾ 실질적인 생물 광자의 연구는 이 연구로부터 시작되었으며, 이후의 측정기술의 발달과 더불어 지난 30년 간 급속한 발달을 이루며 생물광자에 대한 새로운 사실들이 밝혀지고 있다. 생물광자의 특성에 따라 생물, 물리, 화학, 의학 및 동양의학까지 학제간

연구가 이루어지고 있는데, 내략 20개 이상의 연구 그룹이 생물광자에 대한 연구를 진행하고 있으며, 이 중 독일의 포프(Popp FA) 그룹, 일본의 이나바(Inaba H) 그룹, 러시아의 벨로소프(Belousov) 교수 그룹, 중국의 장진주 교수 그룹 등이 대표적이다. 국내의 현황을 보면 서울대 물리학부의 소광섭 교수팀이 생물광자 연구를 주도 하고 있으며, 경희대 한의학대 경혈학교실, 한서자기원에서 연구를 진행 중이다.

1-2. 생물광자 발생 기작

생물광자는 그 발견 초기부터 당시 기술로는 측정 불가능하였고, 생물학이 지속적으로 발달하여 생물현상의 많은 부분을 설명할 수 있게 됨에 따라 생물광자의 실체에 대한 의문이 지속적으로 제기되었었다. 그러나 측정 기술의 발달에 따라 생체에서 방사되는 미약한 광자의 존재가 증명된 후에는 생물광자가 생물학적으로 무의미한 현상이라는 주장이 주류 생물계의 대표적인 입장이었다. 또한 일부는 생물광자는 흑체복사(black body radiation)에 기인하기 때문에 생물학적 의미가 없다는 주장도 제기 되었다. 물리 법칙에 따르면, 절대온도 이상의 온도를 지니는 물체는 반드시 그 온도에 상응하는 전자기파를 방출하는 것이 흑체 복사인데, 인체도 평균 36.5도 정도의 온도를 유지하는 흑체로 가정할 수 있다. 따라서 인체가 이에 상응하는 빛을 방사하는 것은 자명하며 생물광자도 이에 속한다는 주장이다. 그러나 가시광선 영역에서 그 세기는 생물광자의 세기에 비해 10^3 에서 10^2 정도로 낮으므로 그 영향은 무시할 수준이다. 생물발광(bioluminescence)에 의한 가시광선 영역의 빛의 방출도 있다. 반딧불이 대표적인 예인데 같은 효소의 반응에 의해 방출되며 그 세기는 대략 생물광자에 비해 10^4 정도 강하다.

생물광자는 그 기원에 대한 가설에 따라 생물광자(biophoton), 미약발광(low light luminescence), 화학발광(chemiluminescence)등의 표현이 사용된다. 현재 생물광자의 발생 기작으로 인정받고 있는 대표적인 가설들로 생체 신진대사의 불완전성(imperfection)에

기인한다는 학설과 이와 반대로 생물체의 결맞음성(coherence)의 결과라는 서로 상반된 학설이 제시되었다. 일본의 이나바(Humio Inaba)가 제안한 불완전성이론(imperfection theory)에 의하면,^{13,14)} 생물광자는 임의적이면서 드문 비정상적 대사활동에 의해서 일어나는 약한 발광현상인 광생화학 현상에 기인한다. 일반적으로 이 대사활동은 활성산소(reactive oxygen species:ROS)가 생성되는 산화 작용과 관계가 있다. 여기 상태에 있는, 전자적으로 불안정한 HO₂ 등의 활성산소가 열적 평형로 돌아가기 위해 지속적으로 여분의 에너지를 빛의 형태로 방출하는데 이 것이 생물광자의 기원이다. 활성산소는 세포간 대사활동의 signaling에 중요한 역할을 하나, 그 양이 적정수준을 넘을 경우 세포기능 장애, 노화, 세포사 같이 생체에 나쁜 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.¹⁵⁾ 즉, ROS에 의한 산화 스트레스(oxidative stress)가 피질, 단백질, 핵산과 효소 같은 세포구성성분이 산화되어 변성됨에 의해 발생하는 여러 가지 종류의 질병에 관계된다. 따라서 생물광자는 세포나 조직의 병리학적 상태, 즉 건강 상태를 나타낼 수 있으며, 이런 관점에서 연구가 진행 중이다.

또 다른 가설인 결맞음성 이론(coherence theory)은 1970년대 포프(F. A. Popp)가 이끄는 독일 그룹에서 제안하였으며, 건강한 생체는 모든 세포와 조직이 아주 잘 조화된 결맞은 상태(coherent state)이며 이 상태를 이루는 결맞음장(coherent field)에서 생물광자가 방출된다는 것이다.^{9,16-19)} 이 가설에 의하면 생체에서 생물광자의 주광원은 세포내의 DNA로 여겨지며, DNA가 어떤 자극에 의해 레이저 광선같이 결맞은 빛(coherent light)을 방출한다. DNA를 이루는 염기들에 대한 연구에 의하면 주로 자외선 영역의 생물광자를 방출하며, 이는 실험적으로 증명되었다. 여기서 DNA에서 방출되는 생물광자는 정해진 시간 간격에 따라 특정한 장소에서 신진대사를 촉발하는 등의 세포내의 영구적인 조절 활동과, 성장과 분화를 조절하는 등의 세포간 조절활동을 한다.

생물광자의 기원에 대한 상반된 설명에도 불구하고, 상기의 두 가설의 공통점은 생물광자는 실존하

며, 생물에서 방사되는 생물광자는 생명체의 상태에 대한 정보를 가지고 있다는 것이다. 따라서 생물광자의 검출과 이에 대한분석은 생명체의 건강 상태에 대한 자료로 활용할 수 있으며, 나아가서는 새로운 진단기기에 대한 이론적 토대를 제공한다.

1-3. 생물광자의 특징

생물 광자의 광학적 특징은 그 세기가 매우 낮아 단광자계측(single photon counting)으로만 검출될 정도로 약하다는 점이다.^{13,14,18)} 육안으로 식별 가능한 별빛의 세기에 비해 그 세기가 대략 백만 배 정도 낮은 10^{-16} Wcm²이며, 이런 이유로 해서 존재가 예측된 후 거의 20년이 지나서 실험적으로 직접 검출되었다. 또한 현재까지도 실험시 많은 주의를 하지 않으면 배경 복사 잡음(noise)때문에 무의미한 결과를 얻을 때가 많다. 생물광자의 파장은 약 250-800nm 정도로 자외선에서 근 적외선에 걸치는 영역에 있으며,¹⁶⁾ 자외선 쪽인 400nm 이하의 파장을 가지는 생물광자의 세기가 가장 높다. 일반적으로 생물광자는 발생 기작에 따라 자발광(spontaneous emission)과 지연광(delayed luminescence)으로 나누어진다.^{9,16,17)} 외부 자극 없이 나오는 생물광자인 자발광은 파장이 자외선 영역에 좀 더 치우쳐 있으며, 그 세기가 거의 안정적이다. 그러나 외부 자극 특히 빛에 의해 발생하는 지연광은 생물체에 자극이 시작된 이후부터 방사되며 자극이 끝나면 그 세기가 급격히 감소하는 현상(decay)을 보인다. 생물체와 그 자극 방법(시간, 세기)에 따라 지연광이 완전히 사라지는 시간은 다르며, 이 시간이 지난 후 자발광만 방출된다. 지연광의 세기는 대략 자발광의 수백 배에서 수천 배 정도 되므로 상대적으로 측정이 용이하다. 이 생물광자들의 통계적 특징은 생물광자의 발생 기작과 밀접한 관계가 있어, 생물광자 기원 가설에 의해 상이하게 나타난다. ROS에 의해 발생한다는 불완전성이론에 따르면 생물광자의 세기와 파장만이 중요한 요소이나, 결맞음성 이론에 의하면 양자역학적인 특징을 보인다. 즉, 결맞음성 이론에 따르면 생물광자가 통계적으로 양자역학적인 통계를 따라야 하

며, 불완전성이론에 근거한 설명에 의하면 일반 고전 통계를 따른다. 자발광이 단위 시간당 일정한 양의 빛이 나오는 포아송분포(Poisson distribution)를 지니며, 지연광의 감소 정도가 일반적인 방사능 물질에서 방출되는 광자가 보이는 지수 감소(exponential decay)가 아닌 hyperbolic 감소(hyperbolic decay)를 보여야 된다는 주장이 결맞음성 이론에 근거한다. 많은 실험 결과들이 결맞음성 이론을 지지하였으나^{9,16,17,19)} 불완전성이론에 대한 여지를 남겨놓고 있다. 생물광자만이 가지는 특징 중의 하나는 생체조직내의 투과정도이다. 일반적으로 생체는 광학적으로 상당히 조밀한 물질로 여겨지며, 이 생체를 통과하는 빛은 생체물질에 산란됨에 따라 그 투과 거리가 짧다. 그러나 생물광자는 일반적인 빛에 비해 훨씬 더 멀리 나아갈 수 있음이 실험적으로 밝혀졌다.²⁰⁾

1.4. 생물광자 측정법

생물광자 실험은, 생물광자의 주요 특징 중의 하나인 매우 낮은 세기(ultraweak intensity)에 기인한 여러 가지 실험상의 애로점들을 가지고 있다. 그 중 하나는 단일광자를 측정할 수 있을 만큼 예민한 장치를 이용해야 한다는 점이다. 이를 위하여 거의 유일하게 사용되는 장치는 광전자증배관(photomultiplier tube)이라는 입력된 광자를 백만 배 정도 증폭하여 측정 가능한 전압이나 전류로 바꾸는 장치를 사용한다. 생물광자의 파장대가 250 - 800nm 로 상당히 넓은 점을 고려하여 검출영역이 이에 해당되는 광전자 증배관을 선택해야 되는데, 거의 대부분 광전자증배관이 감도가 일정하지 않고 특정파장에 대한 높은 감도를 보이며, 이렇게 넓은 영역의 파장의 빛을 적절한 감도를 가지고 검출하지 못한다. 따라서 실제적으로, 생물광자 파장대의 전체 영역 중 일부를 측정할 수 있는 장치를 구성하는 방법을 사용하고 있다. 생물광자 이외의 외부 빛이 잡음으로 섞이는 것을 막기 위해서, 실험시, 잘 만들어진 이중 암실과 암상자를 사용하여야 한다. 외부의 빛이 차단되는 완벽한 암실이나 암상자를 만드는 작업은 대단히 어려운 작업이며, 특히 대부분의 물질이 외부 빛

에 의해 생성된 빛을 방사한다는 점을 고려할 때, 암상자를 구성하는 물체의 성분을 잘 선택하여야 한다. 이는 높은 잡음과 낮은 세기의 신호에 의해 신호대 잡음비가 현저히 낮아지는 현상을 방지하여, 측정값의 신뢰도를 향상시킨다. 또한 측정 중, 장치의 온도가 변함에 따라 발생하는 잡음의 증가를 방지하기 위한 온도 유지 장치가 필요하다. 인체를 대상으로 하는 실험의 경우, 피검자에게 어떤 불편을 느끼지 않도록 충분히 넓은 공간이 필요한데, 보통 $2 \times 2 \times 2\text{m}^3$ 정도의 온습도 조절장치가 설치된 암실내에 생물광자 측정 장치를 설치한다. 생물광자가 자외선과 가시광선, 그리고 근적외선에 걸쳐 있으므로, 광학계의 설치에도 많은 주의를 요한다. 예를 들어 일반적인 유리는 자외선을 투과시키지 못하므로, 광학계는 자외선 투과가 용이한 재질의 유리로 구성되어야 하며, 생물광자가 유리를 투과할 때 발생하는 반사에 의한 손실을 최소화하기 위한 코팅(antireflective coating)도 특별한 기술을 요한다. 인체, 특히 사람의 손에서 나오는 생물광자를 측정하기 위해, 손이 생물광자에 영향을 주는 물질로 오염되지 않도록 손 피부를 청결하게 해야한다. 화장품이나 땀이 주로 문제를 야기하며, 소독 목적으로 사용된 과산화수소는 실험에 치명적인 오류를 범하게 한다. 인체생물광자 측정시 주의할 점은 외부 활동시 받은 태양광선에 의한 지연광 효과를 최소화하는 것이 중요하다. 경험적으로 그 효과는 경우에 따라서 두 시간 이상 지속되며, 측정 전 최소 한 시간 이상의 실내 생활을 요한다. 암실내에서 주로 붉은 색 계통의 최소 세기의 조명을 사용하여 측정을 위해 대기할 때 생기는 외부 빛 노출에 의한 효과를 최소화 하여야 한다. 측정을 위해 암상자에 들어간 후 최소 10분 이상을 암적응과 심신의 안정화 목적으로 대기하여 생물광자의 외부 요인에 대한 효과를 제거한다.

1.5. 생물광자의 응용 가능분야

생물광자는 생체의 DNA에서 방출된다는 학설이 가장 유력하며, 이의 입증과 확립은 유전자 제어와

기능의 이해에 새로운 영역을 열 것으로 기대되고 있다. 생물광자는 세포내(intracellular), 세포간(intercellular), 세포와 조직 간의 신호(signaling)에 관여함으로써, 생물체의 발생과 성장, 손상조직의 재생, 세포사에 중요한 역할을 수행한다. 현재 이분야에서 가장 주목받은 주제는 암세포와 조직에 관한 연구로 암 조직은 정상조직에 비해 생물광자를 현저히 많이 방출하는 것으로 알려져 있다. 현실적으로 사용되는 예는 식품의 질을 평가하는 방법으로 사용된다. 우유, 달걀등과 같은 식품의 질을 결정하기, 빛을 쬐 후 나오는 지연광의 세기를 측정한다. 또한 식물류의 질을 결정하는 방법으로도 사용된다.¹⁹⁾ 지연광은 일반적으로 햇빛에 노출된 후 많이 나온다는 점을 고려하여, 화장품이나 태양광선 차단물질에 대한 연구에 생물 광자를 이용하기도 한다. 최근 생물의 질을 측정한다는 의미에서 발아가능성 정도를 파악하여 씨앗의 품질을 결정하고자 하는 실험도 진행되었으며,^{21,22)} 이럴 응용하기 위한 연구가 진행 중이다. 마지막으로 생물광자가 생체 신호의 수단으로 사용되며, 양자 결맞음(quantum coherence)특성을 가지고 있으므로, 이에 대한 연구를 통해 양자생물통신(quantum bio-communication) 분야에 응용하려는 시도가 진행 중에 있다.

2. 생물광자의 국내 연구 현황

국내의 생물광자에 대한 연구는 2001년 서울대학교 물리학과 소광섭 교수팀에 의해 시작되었다. 생물학과 물리학 특히, 양자동력학과 접목된 생물광자 연구가 물리학자에 의해 시도되었다는 것은 생물광자의 연구에 양자역학의 이해와 최신 물리실험 기기에 대한 지식을 요구하다는 점에서 수궁이 가는 점이다. 독일이나 일본에서 진행되고 있는 생물광자가 주로 식물과 세포, 특히 암세포를 대상으로 하고 있는 반면, 국내의 연구는 주로 인체를 대상으로 하였으며, 그 연구 결과를 한의학적 관점에서 해석하고자 하였다. 인체 생물광자의 측정은 1980년 이후 산발적으로 진행되었으며, 1997년 포프(Popp FA) 등에 의해 최초로 체계적인 연구가 수행되었

다.^{23,24)} 현재까지 가장 많은 인체 생물광자 측정 결과를 가지고 있는 곳은 소광섭 교수의 서울대 한의학 물리연구실로, 전세계의 많은 생물광자 연구자들이 주목하고 있다. 현재 한의학계의 화두 중의 하나인 한의학의 과학화 및 객관화를 목표로 한 그의 연구는, 최신 물리학적 지식과 장치를 사용하여 경락과 경혈의 광학적 성질을 규명하고자 하는 실험을 진행하고 있으며, 국내 생물광자의 연구결과의 대부분은 이 연구실의 결과물이다. 경락관련 생물광자 연구는 1990년대 말 중국과학원 생물물리 연구소(Institute of Biophysics)의 엄지강(嚴智強)팀에 의해 최초로 시도되어, 중국 내 학술지에 발표해왔다. 그러나 논문에는 실험의 상세한 조건과 같은 재현성 및 객관성을 위한 정보가 공개되지 않았으며, 초미약 생물광자를 측정하는 광전자증배관의 성능이 미흡하여, 국제적으로 신뢰할만한 결과를 내지 못했다. 이에 반해 국내의 연구는 생물광자를 측정하기 위해 특별히 선택된 광전자 증배관을 사용하여, 신뢰도가 높다. 경락의 생물광자 특성을 조사하기 위한 기초 연구로 서울대 한의학 물리연구실과 삼성종합기술원에서 예비실험을 실시하였다.²⁰⁾ 이에 따르면 경락이라고 추정되는 경로로 외부에서 보내준 빛이 더 잘 전파됨을 알 수 있었다.

2-1. 기초 실험

① 손에서 방출되는 생물광자에 관한 연구가. 연구개요

본격적인 인체 생물광자 연구에 앞선 기초 실험개념의 실험이 중국과학아카데미, 생물물리 연구소의 장진주 교수 등과 협력하여 실시되었다.²⁵⁾ 이 연구는 14 세에서 56 세 사이의 건강하다고 자신이 생각하는 지원자 20명(남성: 15명, 여성: 5명)을 대상으로 하여 오른손등/손바닥(수렴습포경인 노궁 부위)에서 나오는 생물광자의 분포를 조사한 것으로 연구 방법론 측면에서 추후 실험에 많은 도움이 되었다. 이 실험에 사용된 기본적인 프로토콜은 다음과 같다.

1) 피검자가 암실에 들어가서 알콜이 묻는 솜으로

오른손을 깨끗이 닦은 후 5분정도 말린다.

- 2) 암상자에 오른손을 넣기 전, 암잡음(dark noise)를 1분간 측정한다.
- 3) 암상자에 오른손을 넣은 후, 측정기 옆이나 밑에 손을 두어 1분간 암잡음을 측정한다.
- 4) 오른손을 측정기에 대고 1분간 생물광자를 측정한다.
- 5) 3)과 4)의 과정을 반복한다.
- 6) 암상자에서 오른손을 뺀 후, 암잡음을 1분간 측정한다.

연구결과에 따르면 PMT 자체의 잡음인 암잡음은 30 cps(count per second)정도로 측정동안 안정하였으며, 손을 옆에 두었을 경우 측정되는 암잡음도 거의 유사하였으나, 오른손바닥에서 나오는 생물광자의 양은 평균 42 cps 정도였다. 따라서 대략 생물광자는 잡음에 비해 34 % 정도 더 많이 검출됨을 알 수 있었는데, 건강하지 못한 사람의 생물광자 방출량이 높다는 점을 고려하면,²⁹⁾ 이 결과는 건강한 사람의 생물광자 방출량의 기준이 될 가능성을 제시한다고 해석했다. 또한, 손등과 손바닥에서 방출되는 생물광자의 비는 대략 1.05 정도였는데 이 값 또한 한의학에서 말하는 음과 양에 관계되는 객관적인 건강진단지표로 사용될 수 있다고 주장하였다. 연령별 생물광자의 평균량은 10 대 42.4 cps, 20 대 39.7 cps, 30 대 이상 44.4 cps로 확실한 연령의존성이 없다고 결론 지었다. 성별에 따른 생물광자의 양은 남녀 각각 41.4 cps, 42.7 cps 정도로 표준 편차를 고려했을 경우 성별의존성 역시 없다고 결론 내렸다.²⁹⁾ 생물광자의 결맞음 정도를 알 수 있는 광자 통계(photon count statistics)를 적용하면, 암잡음 특성은 다른 연구결과와 유사하였으나 전술한 생물광자의 특징인 포아송 분포 (Poisson distribution) 정도가 적었다. 이 이유로 생물광자 측정 부위가 직경 44mm 로 너무 넓고, 측정동안 진동과 손떨림 등에 의해 발생한 잡음 영향을 지목했다. 그리고 이 문제를 해결하기 위해, 측정 부위의 축소, 측정 파장대의 축소와 손 움직임에 제약할 수 있는 방법의 도입을 고려하였다. 이 연구 동안 행해진 중요한 실험은 파장이 800nm 이상인 적

외선을 차단할 수 있는 필터를 손과 측정기 사이에 설치하여 행한 실험이다. 이 실험은 온도를 지니는 모든 물체가 방출하는 흑체 복사에 의해 발생한 적외선이 검출기로 입사되는 것을 막아 순수한 생물광자만을 측정하기 위해서 실시되었다. 비록 검출기는 300-650nm 파장의 빛을 검출하기 위해서 고안되었지만, 장치 특성상 상대적으로 아주 낮은 측정 효율이지만 이 범위 밖의 빛을 측정할 수 있어 생물광자 파장대 이외의 빛을 원천적으로 차단할 필요가 있기 때문이다. 실험 결과, 적외선 차단 필터의 유무에 상관없이 일정하여, 실험에서 생물광자만을 측정함을 확인하고, 열적 방사 가 아닌 생명현상에 의해 생물광자가 발생함을 증명하였다.

나. 분석

이 실험 결과는 측정장치, 부위, 주변환경 등이 상이하여 타 생물광자 실험들과 직접적인 비교를 할 수 없었으나, 생물광자의 양은 비슷하였으며, 더 많은 실험 결과를 바탕으로 건강평가나 진단에 사용될 수 있는 가능성을 보였다. 이 연구는 국내 최초의 본격적인 인체 생물광자 연구로 그 의의가 있으나, 밑에서 소개될 몇몇의 방위상이나 해석상의 문제를 가지고 있었으며, 이 실험 이후 실시된 실험에는 이 문제들이 해결되어 진행되었다.

먼저, 실험 장치와 환경에 관한 기술 부분이 취약하였다. 실험기구 중 가장 중요한 광전자증배관(photomultiplier tube)의 설명에 있어서 측정 파장대와 그 효율, 그리고 최대 효율을 가지는 파장에 대한 정보가 제공되지 않았다. 이 실험에 사용된 광전자증배관은 전술한 대로 300-650nm 까지 측정할 수 있는데 생물광자의 파장은 250 -800nm 이므로, 생물광자의 일부분만 측정할 수 있다. 또한 일반적으로 입사된 빛을 전부 측정 신호로 변환할 수 있는 측정장치는 존재하지 않으며, 그 변환 효율은 장치 특성으로 취급된다. CR120 은 420nm에서 27 % 정도의 최대 변환 효율을 가지게 설계되어 있으므로, 이 영역에서 벗어난 신호는 원래 입사된 양에 비해 적게 측정된다. 이걸 보정하기 위해 여러 가지 방법을 사용하고 있으나 신호가 극히 미약한 생물광자 측정시

에는 보정방법을 사용하기에 난해한 요소들이 있다. 실험 환경을 고려해 보면, 실험에 사용된 암실의 온도가 일반적인 인체 실험에 적합지 못함을 알 수 있다. 논문에 따르면, 이틀에 걸쳐 낮에 실험이 실시되었는데, 실내 온도가 10 도였으며, 습도에 대한 언급은 없다. 일반적으로 인체 실험은 20 도 정도에 행해짐을 고려하면 10 도는 피검자에게 상당한 스트레스를 유발할 가능성이 높다.

두번째는 실험 프로토콜상의 문제이다. 진술한 대로 생물광자의 특성상 지연광이 존재하며, 햇빛을 직접적으로 받는 야외활동을 한 경우 최소 1 시간 이상 암실에서 암적응을 하여 그 효과를 제거해야 한다. 그러나 실험 프로토콜에 의하면, 알콜로 손을 세척하고 실제 생물광자 측정 전까지의 암적응 시간은 10분이 되지 않으며, 이 시간은 지연광 효과를 없애기엔 부족한 시간이다. 따라서 자발광 측정에 지연광 효과가 영향을 미쳤을 가능성이 있다. 측정 시간은 각 단계별 1분으로 구성되어 있으나, 추후 연구에 따르면 신뢰할 만한 결과를 얻기 위해 최소 3분의 측정시간을 요한다.²⁶⁾ 생물광자가 암잡음에 비해 그 세기가 충분히 높지 않아 항상 변화하는 암잡음에 의해 영향을 받게 되는데, 이 효과를 제거하려면, 충분히 긴 시간 동안 측정하여야 한다. 또한 생물광자는 기본적으로 생체 신호를 측정하므로, 다른 생체 신호와 상관관계를 가질 가능성이 큼에도 불구하고, 일반적인 인체 실험시 반드시 측정되는 체온, 맥박, 혈압, 체중 같은 기본적인 생체정보를 측정하지 않았다. 생체는 계절적, 시간적 주기성을 띄는 경우가 많은데, 실험시 조건 기술 중에 계절이나 시기를 알 수 있는 날짜에 대한 설명이 없으며, 실험 시간은 낮이라는 다소 애매한 표현을 사용하였다. 추후 실험을 통해 생물광자는 계절적인 주기성을 보이며, 또한 시간에 따른 변화가 관찰되었다.

세번째는 신호대잡음비(signal to noise ratio)가 낮은 생물광자 결과 해석상의 문제이다. 논문에 따르면, 암잡음은 30 cps, 손에서 방출되는 생물광자는 대략 42 cps 되나, 생물광자의 세기와 PMT의 동작원리를 고려해보면 생물광자 결과에는 암잡음이 포함

되어 있음을 알 수 있다. 즉, 42 cps의 생물광자는 30 cps의 암잡음과 12 cps의 순수 생물광자 신호로 구성되고 있으며, 이 경우 암잡음의 변화에 따라서 생물광자의 무의미한 변화가 야기된다. 따라서 암잡음에 대한 정확한 보정이 필요한데, 본 논문에 제시된 실험결과표에 의하면, 이에 대한 적절한 조치가 취해지지 않은 것으로 추정된다. 가장 간단한 보정으로, 평균 암잡음 값인 30 cps를 생물광자 값에서 빼는 방법을 고려해보면, 남녀간의 생물광자의 양은 각각 11.4 cps, 12.7 cps 가 된다. 저자들은 성별의 차가 없다고 주장했지만, 보정후의 결과를 보면 여성에서 남성에 비해 대략 10 % 더 많은 생물광자가 방출됨을 알 수 있다. 평균연령이나 신장의 남녀 성비차가 10 % 가 되지 않는 점을 고려하면 상당히 큰 차임을 알 수 있다. 하지만 암잡음 보정 전에는 2 % 정도 차가 나며 표준편차를 고려하면 유의차가 없다는 저자들이 주장이 타당하다. 이와 비슷한 경우인 생물광자의 연령상관성이 없다는 해석도 잡음 보정을 통해서 타당성이 결여됨을 알 수 있다. 여기서 강조하고 싶은 것은 생물광자의 성별차의 존재유무가 아니라 잡음에 대한 적절한 보정의 중요성이다. 생물광자의 건강지표나 진단기능에 대한 해석 또한 추후 밝혀진 실험결과에 따라 수정될 필요가 있었다. 손바닥 생물광자와 암잡음에 관한 비교를 통해 1.34 정도의 비를 건강을 나타내는 기준으로 제시하였지만 추후 실험에 의해 손바닥이나 손등에서 나오는 생물광자는 계절적인 주기성을 가진다고 밝혀졌다.^{27,28)} 따라서 손바닥/ 손등 생물광자 비 또한 계절적으로 변하므로 이 값 자체를 지표로 쓰기엔 부적당하다.

네번째, 결맞음성의 결여에 대한 해석이다. 손등과 손바닥에서 방출되는 생물광자가 결맞지 않은 이유로 생물광자 광원, 즉 측정영역이 너무 넓음, 측정시간동안 손의 진동이나 움직임에 의해 발생하는 효과를 들고 있다. 그러나 생물광자가 결맞은 상태의 결과물이란 관점에서 44mm 정도의 영역이 넓다는 것은 설득력이 떨어지며, 약간의 진동이나 움직임은 생물광자 양에 거의 영향이 없다는 것이 추후

실험을 통해 밝혀졌다. 오히려, 전술한 지연광 효과나 암잡음 미보정 등에 의한 결과라고 추정할 수 있다. 이 실험에 의해 밝혀진 실험절차상의 문제나 해석상의 문제는 그 후 행해진 실험들에 반영되었다.

② 인간의 지문과 손톱에서 나오는 생물광자에 관한 연구

가. 연구 개요

침술, 오무라의 O-ring 시험등 손가락과 손에 관계되는 치료법과 이론을 생물광자 관점에서 연구하기 위한 예비실험으로 손끝의 지문과 손톱에서 나오는 생물광자를 PMT를 사용하여 측정하였다.²⁹⁾ 이 연구에 앞서 일본의 PMT 생산회사인 하마마추사의 연구 결과에 따르면 손톱에서 더 많은 생물광자가 방출됨이 보고되었는데, 이 결과에 대한 생리적 설명은 이루어지지 않았다. 사용한 PMT(H6180-01, Hamamatsu, Japan)의 측정 영역의 직경은 15mm 이나, 지문이 손톱의 크기를 고려하여 직경 8mm 되는 구멍이 뚫린 판을 측정기 앞에 부착하였다. 20-32세의 건강한 대학생을 대상자로 하였으며, 암실 입실 후 손을 세척하고 말린 후, 측정실로 들어가서 10분간 암적응을 하였다. PMT 암잡음은 대략 13 cps로 양호 하였으며, 생물광자 값은 손톱과 지문에서 각각 평균 22 cps, 17 cps 정도 되었으며, 모든 손가락에서 항상 손톱 부위에서 많이 나옴을 확인했다.

실험에 따르면 손가락에 따른 방출량에는 일정한 경향이 없으나 다섯 손가락 중 가장 많이 나온 헛수만 고려하면 각각 엄지 10 회, 검지 4 회, 중지 1 회, 넷째 손가락 5 회로 일반적으로 엄지손가락에서 가장 생물광자가 많이 나옴을 알 수 있었다. 그 이유로 손톱의 세포가 더 잘 자라므로, 더 많은 에너지 신진대사가 이루어져서 생물광자가 지문부위에 비해 더 많이 나온다고 설명하였다. 생물광자가 세포분열이 활발한 곳에서 많이 방출된다는 점에 일치되는 설명이나 이에 대한 더 많은 연구가 필요하다고 저자들은 결론지었다. 또한 한의학적 관점에서는 각 손가락 끝에 도달하는 경락이 다르므로, 손가락마다 생물광자의 방출량이 이 경락의 활성도를 나타낼

수 있으므로, 이 가설을 검증하기 위해 경혈점과 비경혈점에 따른 생물광자 방출량에 대한 연구가 필요하다

나. 분석

본 연구의 결과를 살펴보면, 손끝의 형태와 크기를 고려해 볼 때, 손바닥이나 손등에 비해 실험을 실시하기가 곤란하고, 측정 시 딱딱한 손톱과 부드러운 지문부위의 압착되는 정도가 다르다. 이럴 경우, 완벽한 암실이 아니라면, 주위의 잡광(noise light)이 들어올 가능성이 있다. 그들의 결과에 의하면 손톱 생물광자의 평균량이 30% 정도 높으나 표준편차는 지문 부위에 비해 두 배 이상 큰 현상에 대해선 설명이 이루어지지 않았다. 실험시 이런 문제를 검증하는 방법은 동일한 실험 조건에서 외부에서 좀더 강한 빛을 조사하여 측정결과와 변화를 관찰하는 것이다. 만약 측정치가 증가한다면 어딘가에서 빛이 스며들어온다는 것을 의미하므로, 실험 장치에 빛을 차단하는 장치를 보강하고 재 실험하여 빛차단 정도(light tightness)를 검사할 수 있다. 또한 전장에서 지적인 생체 신호나 측정실의 온습도 조건에 대한 언급이 없다. 일반적으로 암실은 외부로부터 완전 차폐되므로, 온습도 조절력이 떨어지는 곳에서는 내부에 있는 인원과 실험 시간에 따라 조건이 바뀌며, 이는 PMT의 성능변화를 야기 시킨다. 일반적으로 PMT는 적정온도에서 조금만 벗어나도 암잡음이 지수적으로 올라가는 특징이 있어, 측정환경 유지에 대한 특별한 주의를 요한다.

③ 경혈점을 따라 전파되는 빛에 관한 연구

가. 연구 개요

경혈점의 광학적 특성이 비경혈점의 광학적 특성, 특히 빛의 전파정도가 다르다는 소련의 실험결과를 확인하고, 인체 생물광자 측정을 통해 경락현상을 파악하려는 기초 연구 목적으로 수행된 실험이다.²⁰⁾ 수혈음심포경의 내관(內關, PC6)에 PMT를 설치하고, 광섬유를 통해서 극문(郗門, PC4)와 간사(間使, PC5), 그리고 두 경혈점간의 간격이 일촌이 되는 중간지점 등 세 점에 텅스텐 할로겐(Tungsten-Halogen)

램프에서 나오는 빛을 조사하였다. 그리고 비 경혈 점과 비교하기 위해, 대조군으로 내관에서 팔 방향과 수직인 방향으로 1cm 정도 떨어진 곳에 PMT를 설치하고, 극문, 간사, 중간지점에서 1cm 떨어진 곳을 대조점으로 정하고 빛을 조사하여 그 결과를 비교하였다. 총 14명의 건강한 남녀를 대상으로 한 이 실험에 의하면, PC5 과 중간지점에서 대조점에 비해 각각 20%, 69% 정도 많은 빛이 검출되었으며, PC4에서는 대조점에 비해 좀더 많이 검출되었지만 신호 잡음 수준에 가까웠다. 따라서 이 실험을 통해, 대조점으로 연결된 대조선에 비해 빛이 경락을 따라 더 많이 전파됨을 알 수 있었다. 그러나 이런 결론의 진위를 파악하기 위해선 대조선과 경락의 해부학적 구조와 이에 수반되는 조직, 내액등에 관한 연구가 더 필요하고, 경혈 경락의 객관적인 연구에 광학적 연구가 유용한 수단임을 보였다고 저자들은 결론을 내렸다.

나. 분석

이 연구 방법은 현재 생물물리학에서 많이 사용하는 생체조직광학(tissue optics)의 일부로 이와 유사한 많은 연구가 진행 중이다.³⁰⁻³²⁾ 그러나 한의학 개념을 도입하지 않기 때문에 임의의 점을 측정점으로 선택하고, 광자극점 또한 임의로 선택한 후 거리에 따른 광전파 정도만을 연구하여, 진단기기의 기초 원리로 사용하고 있다. 본 연구는 한의학적 원리에 따라 경락경혈점을 측정, 자극점으로 사용하고, 비경혈점을 대조군으로 사용한 실험방법이 여타실험에 비교해서 우수한 점이다. 그러나 광학실험 측면에서는 다소 미진한 점이 있다. 첫째, 실험에 대한 설명이 부족하다. 텅스텐-할로겐 램프를 사용하였으나 이 램프에서 나오는 빛의 파장과 세기에 대한 언급이 없으므로, 다른 실험자에 의한 재현 실험이 불가능하다. 그리고, 광섬유의 재질에 따라 투과할 수 있는 빛의 파장이 제한적인 점이 고려되지 않은 등, 광섬유에 대한 기술이 광학에 의거하여 되어 있지 않다. 예를 들어, 가장 많이 사용되는 유리광섬유는 자외선을 투과 시키지 못하고, 자외선을 투과시키기 위해선 석영유리(quartz)나 다른 특수 재질의 광섬유

를 사용한다. 만약 본 실험에서 사용된 광섬유가 유리 성분이었으면, 400nm 이하 파장의 자외선은 애초부터 경혈을 자극하지 못한다. 직경이 1mm 인 광섬유를 사용하여 자극하였다고 하지만 자극영역의 크기가 자세하게 기술되지 않았다. 일반적으로 광섬유를 통과하여 나온 빛은 퍼지게 되고, 또한 자극시 피부와 어느 정도 간격이 유지되므로 실제 빛이 자극한 영역은 1mm 보다 커지게 된다. 저자들이 토의에서 지적했듯이 빛의 세기에 따른 광전파 실험이 필요하며, 이를 위해선 광세기에 대한 명확한 정의가 필요하다. 단위 면적당 빛의 세기를 알기 위해선 빛의 세기와 빛의 크기에 대한 정보가 필요하나 본 실험에선 이를 제공하지 않았다. 둘째, 빛 자극 부위에 대한 기술이 전혀 없다. 생체조직광학에 의하면, 피부의 상태, 즉, 멜라닌 색소, 각질, 지방, 혈액 등에 의해 입사되는 빛의 반사율이 결정된다. 즉, 동일한 빛을 입사시킨다 하더라도 피부에 의해 반사되는 빛의 양이 달라 결국, 피부를 투과하여 전파되는 빛의 양이 다르다. 따라서 피부 상태에 대한 명확한 연구 없이는 서로 다른 피부 부위의 빛 전파율을 비교할 수 없다. 마지막으로, 측정위치와 개수의 선정이다. 경혈점 결정은 고도의 한의학적 지식을 요구하는 작업이고, 이런 실험에는 측정점의 정확한 선택이 아주 중요한 요소이다. 그러나 본 실험에 숙달된 한의사가 경혈점을 결정하지 않아, 그 정확도를 신뢰하기 어렵다. 또한 세 개의 측정점을 사용하였는데, 실험의 성격상 최소 다섯 점을 사용하는 것이 타당하다고 사료된다.

상기의 지적에도 불구하고, 국내 최초의 경혈의 광전파 특성을 측정하고자 방법론을 제시하였다는 측면과, 한의학적 현상에 대한 현대 물리적 접근법은 높이 평가할 수 있다.

2-2. 인체 생물광자의 연주기성에 관한 연구가. 연구 개요

중전의 연구에서 경락이나 경혈의 광학성질이 비경혈점에 비해 다를 가능성에 대해 실험적 검증과

노궁을 중심으로 한 손바닥에서 나오는 생물광자 분포에 대한 사전 연구가 진행되어, 한의학의 주요 관심사중의 하나인 사계에 따른 변화를 관측하고자 일년 동안 건강한 성인(남 2, 여 1)을 대상으로 생물광자의 변화량을 측정하였다.^{27,28)} 2002년 9월 1일부터 2003년 8월 말까지 실시된 실험으로, 매주 금요일 오전 9시부터 18시까지 진행되었으며 일일 6회에 걸쳐 측정이 실시되었다. 종전의 연구에서 제기된 문제와 이에 따른 개선점을 바탕으로 실험 장치의 개선 및 실험 프로토콜이 변경되었으며, 현재 대부분의 연구는 이 실험 프로토콜에 의거하여 진행되고 있다. 변경사항은 다음과 같다.

실험실은 태양광선이 완전 차단되었으며, 공조와 온습도가 일정하게 유지되도록 변경되었다. 또한 실험실 내에 설치된 암실에 음향 기구를 설치하여, 피검자와 원활한 의사소통을 가능케 하였고, 필요시 적당한 음악을 틀어 심신이 안정되도록 하여 암실에서 받을 피검자의 스트레스를 최소화 하였다. 배경에 의한 잡광을 감소시키기 위해, 시장에서 구할 수 있는 재료 중 가장 지연광이 적게 나오는 것을 실험을 통해 선정하였다. 생물광자 측정에 사용된 광전자 증배관은 R331-05S(Hamamatsu, Japan)로 미세 생물광자 측정시 신호대잡음비를 개선할 목적으로 같은 모델 중에 잡음이 가장 작은 것을 골라 사용하였다. 두 개의 광전자증배관을 사용하여 양쪽 손에서 나오는 생물광자를 동시에 측정하여, 총 측정 시간을 단축하여, 피검자의 불편을 최소화 하였다. 측정시 인체 접촉에 의한 측정기 온도변화 및 인체에서 나오는 땀 등의 수분에 의해 기기가 손상되는 것을 막기 위해, 장치와 측정부위 사이에 quartz 판을 설치하여 이 둘을 격리시켰다. 암실의 공간은 2 × 3m × 2m로 한 시간 이상의 장시간 측정에도 불편을 없도록 하였으며, 필요시 간이침대를 두어, 암실에서 휴식을 취하게 하였다. 실험전 피검자의 준비사항은 엄격하게 관리되었다. 실험전날 저녁부터 피검자들은 자극적인 음식이나 특이한 음식을 섭취하는 것을 금하였으며, 기타 약물이나, 음주, 과격한 운동을 하지 않았고, 실험 중 점심은 일정한 음식으

로 통일하였다. 실험 시작 전 1시간 동안 암실에서 암적응을 실시하여 외부광에 의한 지연광 효과를 최소화하였으며, 실험이 끝날 동안까지 실험실에 머물러 외부광 효과와 운동에 따른 신진대사의 변화를 최소화 하였다. 실험이 사용된 프로토콜은 다음과 같다.

- 1) 실험실에서 한 시간 동안 암적응을 한다.
- 2) 측정전 체온, 맥박, 혈압을 측정 기록한다.
- 3) 알콜이 묻은 솜으로 측정부위를 세척하고 건조시킨다.
- 4) 암실에 들어가서 이차 암적응과 안정을 위해 10분 정도 편안히 앉는다.
- 5) 그 동안 실험자는 측정기의 암잡음을 3분 동안 측정하여 추후 교정에 사용한다.
- 6) 마이크를 통해 실험자가 실험 시작을 지시하면 양손바닥을 측정기에 삽입하고 피검자가 실험자에게 실험준비완료료를 알린다.
- 7) 실험자는 측정을 시작하고 3분 동안 측정한다.
- 8) 피검자가 측정기에서 손을 뺀 후, 실험자는 암잡음을 재측정 한다.
- 9) 측정부위를 손등으로 바꾸고 6)에서 8)의 과정을 반복한다.
- 10) 측정이 완전히 끝난 후, 실험자가 암실의 문을 열어 피검자를 인도하여 나오도록 한다.

실험시 프로토콜대로 피검자 측정이 이루어지며, 측정은 피검자가 순번에 따라 피검자당 하루 총 6회에 걸쳐 실험이 행해져, 총 18회의 측정이 이루어졌다. 이 실험은 인체 생물광자 실험들 중 주기에 관계되는 가장 긴 실험으로, 9년 변화 경향에 대한 많은 중요한 정보를 제공하고 있다. 이 실험 결과에 대한 완전한 분석은 이루어지지 않고 있으나, 현재까지 나온 분석결과는 다음과 같다.

손등과 손바닥의 생물광자의 연중 경향성은 서로 다르며, 개인간 차를 가지고 있다. 손바닥은 일년 동안 비슷한 경향을 보이지만 손등은 많은 변화를 가지며, 계절에 따라 손등과 바닥이 반대 경향을 보였다. 계절적으로 가을에 가장 생물광자 양이 작았으며 6월부터 11월까지 손등의 방출량이 더 작았다.^{27,28)}

상호관계와(correlation)과 부위별 생물광자의 결맞음 정도에 대한 분석에 의하면, 좌우손 생물광자의 상관관계가 크고 손등/바닥 상관관계는 작았다. 또한 손바닥 생물광자의 결맞음 정도가 손등보다 높았다. 저자들은 손등이 외부조건에 더욱 민감하게 반응할 수도 있으나, 계절적인 추세를 가지고 있는 것으로 보아 다른 이유가 있는 것으로 가정하고 한의학적 해석을 시도하였다.²⁸⁾

나. 분석

본 연구 결과는 음양(陰陽)의 시간성과 공간성의 작용으로 해석할 수 있다. 공간적인 관점에서 손의 음양은 손바닥이 음, 손등이 양이라 할 수 있다. 양은 능동적이고 음은 상대적으로 수동적인 성질을 가지고 있으므로, 그 변화 양상이 다를 수 있다. 따라서 손등 생물광자의 변화는 손바닥 생물광자에 비해 그 변화가 심하리라 예상할 수 있다. 손등 생물광자의 분포 넓이는 손바닥에 비해 두 배 정도 큰 것으로 관찰되었는데, 이는 손등의 양적인 작용 성질을 반영한 결과라고 할 수 있다.

시간상으로 볼 때 12월의 동지에서 6월의 하지에 이르는 시기는 양의 시기이고, 하지에서 동지에 이르는 시기는 음의 시기이다. 12월(동지)에서 5월에 이르는 시간은 양기가 생기기 시작하여 절정에 이르는 시기로서 양의 시기이다. 그러므로, 양의 시기에는 양경이 분포하고 있는 손등의 생물광자 방출이 증가하여 손바닥보다 많은 분포를 이루고, 음의 시기에는 양경의 기능이 점차 감소하여 음경이 분포하고 있는 손바닥의 역할이 상대적으로 커지는 것으로 생각된다.

본 연구는 생물광자를 이용하여 한의학적인 생리 및 진단 정보를 얻을 수 있는 가능성을 보여준 흥미로운 결과이다.

2.3. 기타 응용 연구

① 중풍환자와 생물광자

가. 연구개요

2003년 20명의 건강한 사람과 2명의 중풍환자를 대상으로 한 실험이 실시되었는데,³³⁾ 건강인과 환자

간의 차는 일반적인 분석 시 명확치 않았다. 그러나 결맞음성을 나타내는 지표의 정밀분석을 통해 차가 있음을 확인하였는데, 환자의 결맞음성이 건강인에 비해 떨어짐을 알 수 있었다. 부가적인 분석을 통해 생물광자의 분포가 결맞음성 또는 열적 임의성 여부를 조사하였는데, 압잡음은 열적 임의성, 생물광자는 결맞음성을 더 많이 가진다는 것을 확인 하였다.

나. 분석

본 연구는 정상인이 아닌 환자를 대상으로 한 최초의 연구라는 점에서 한의학적인 진단 정보를 줄 수 있는 매우 중요한 실험이지만, 환자의 숫자가 상대적으로 매우 적어 일반화시키기 어렵고 체계적인 분석을 할 수 있을 만큼 크지 않으므로, 추후 체계적인 대규모의 연구가 필요하리라 사료된다.

② 중풍으로 인한 반신불수 환자와 생물광자

가. 연구개요

7명의 중풍으로 인한 반신불수 환자를 대상으로 연구가 진행되었다.³⁴⁾ 7명 중 4명은 일반인보다 손등/손바닥 생물광자의 비대칭성이 컸으며, 불수인 쪽에 빛이 적게 나왔다. 이 점에 대해 저자들은 대상자 숫자는 적으나 의미 있는 결과라고 간주했다. 이들을 대상으로 침치료를 시행한 결과, 생물광자 분포가 더 대칭적으로 변하였음을 관찰하였다. 이 실험은 한의학적인 치료방법에 의한 생물광자의 변화를 연구한 최초의 연구로, 이 실험 결과에 따르면 침치료는 생물광자 방출량에 영향을 주는 효과를 인체에 발생시킨다고 볼 수 있다. 그리고 그 변화의 양상이 건강인에게서 나타나는 좌우대칭으로 변화되는 경향을 보였다는 것은 침치료가 환자에게 긍정적인 영향을 미쳤다고 가정할 수 있다. 이는 생물광자를 관찰하여 치료 효과도 검증할 수 있는 가능성을 제시한다고 볼 수 있다. 특히, 환자 한명의 경우 예외적으로 손등 생물광자의 변화만 관찰되었는데, 저자들은 손바닥 생물광자의 변화를 줄 수 있는 특정 환자에 맞는 치료법이 필요함을 뜻한다고 해석하였다.

나. 분석

이 실험은 반신불수 환자처럼 신경이나 근육에 심

각한 질병으로 인해 좌우음양이 깨어진 환자의 불균형 상태와, 한의학적 중재를 통해 좌우음양의 균형을 유도할 수 있다는 가능성을 보여, 생물광자의 진단기기 가능성을 잘 보여준 좋은 실험이라고 볼 수 있다. 그러나 반신불수 환자 특징상 양손을 동일한 조건으로 측정기에 접촉시키기 힘들고 손과 측정기기의 상대적 위치에 따라 결과가 달라질 수 있다는 점을 고려하면, 손의 위치 변화에 따른 생물광자 측정치의 변화 정도를 보여주는 실험결과가 부가적으로 첨부되었어야 한다. 추후 행해진 기초 실험을 통해, 약간의 손 형태와 위치 변화는 생물광자 측정량에 변화를 주지 않는다는 것이 밝혀졌다. 여기서 문제는 논문에서 침치료에 대한 자세한 설명을 하지 않았는데, 이는 각 환자의 증상에 맞는 다양한 치료법을 실시하여 논문에 기술하기 어려운 점을 고려하더라도, 실험의 재현성 측면에서 가능한 정보를 제공했어야 할 것이다.

중풍은 흔히 편측의 마비를 유발한다. 좌우의 균형이 깨진 전형적인 경우라 할 수 있다. 따라서 반신불수가 있는 중풍환자의 경우 좌우의 편차가 생기는 것은 당연할 것이고, 그 편차의 대소로 병의 경중과 예후를 판단할 수 있다. 침치료를 통해 경맥의 기혈소통이 이루어져 원인되는 장부나 병소의 기능이 개선된다면 그 본래의 건강상태로 회복할 수 있을 것이다. 상기 중풍과 반신불수의 환자의 경우 침치료를 받은 뒤에 생물광자를 측정하기까지의 과정과 시간이 측정량에 오차를 유발할 수 있다는 것이 문제점으로 생각되는데, 가능한대로 침치료 직후에서부터 적어도 1시간(이상) 자유로이 생물광자의 방출량을 연속 측정할 수 있는 측정장치를 개발한다면 그 변화를 더 자세히 파악할 수 있을 것이다.

③ 손등/손바닥 생물광자에 관한 연구

가. 연구개요

손등과 손바닥에서 방출되는 생물광자의 상관정도분석에 따르면,³⁵⁾ 좌측과 우측 손에서 나오는 생물광자 사이에 상당한 교차상관관계(cross-correlation)를 보이나, 같은 쪽 손바닥과 손등사이에는 이 관계

가 미약함을 알 수 있었는데, 이 결과는 1998년 코헨(S. Cohen)등의 발표와 유사하다.³⁶⁾

나. 분석

본 연구에서 관찰된 좌우의 상관관계가 높음은 한의학적 진단기기 응용관점에서 매우 중요하다. 또한 동일 부위에서 매우 측정된 생물광자 값들의 상관성을 분석하는 자기상관(autocorrelation) 분석에 의하면, 임의의 측정 시점 기준으로 시간적인 전후에 따라 개인별로 다른 자기상관관계를 보였다. 이는 생물광자의 변화는 개인 특성 또는 계절적 의존성을 나타낼 수 있다는 가정을 가능하게 하였다.

한의학에서는 좌우의 상대적인 조절을 중시하여 왔다. 침치료 시에 다용되고 있는 左病右治 右病左治의 무자법, 거자법 등은 二 병증을 풀어내는 힘(치유력)에 있어서 반대측의 선택이 동측보다 더 치료의 중요한 열쇠가 될 수 있음을 밝히고 있다. 이러한 관점에서 볼 때, 좌우의 생물광자의 상관성을 관찰하는 것이 환자의 병증 상태 뿐 아니라 치료 예후를 판단하는데 있어서도 중요한 지표가 될 수 있을 것으로 생각된다.

④ 감기환자

가. 연구개요

정상인과 감기환자의 생물광자를 비교한 결과에 의하면, 감기환자의 손등에서 비교적 높은 생물광자가 검출되었으며, 양손등과 손바닥 생물광자분포는 절대량은 경향성을 보이지 않았으나, 상대적인 산포는 감기환자에서 더 넓음을 확인하였다. 이는 좌우 음양의 균형이 감기의 경우 많이 깨짐을 알 수 있는데, 이에 대한 해석은 한의학적 해석과 동일하다.

나. 분석

감기는 일반적으로 상한(傷寒)의 범주에 속하며, 寒邪는 음사(陰邪)로서 陽의 경락에 침범하면 발열 두통 신체통 등을 유발하고, 陰經을 침범하면 복통 설사 등의 리증(裏證)을 유발한다. 음양의 부조화에 기인하여 외부의 사기가 피부 표피(양)을 통해서 들어오며, 그 정도가 심해지면 속(음)으로 침투하는 질병으로, 감기가 완치되면 음양의 조화가 회복된다.

따라서 양손 측정 장치를 이용하여 생물광자의 경향을 감기 병증에 따라 측정함으로써, 음양의 부조화 관련성을 연구할 수 있다.³⁷⁾

그러나 이 연구에서 감기 증세나 완치에 대한 결정은 한의사가 아닌 환자 주관에 의존하였으며, 감기 환자가 아닌 일반 건강인에게도 가끔씩 생물광자의 균형이 깨진다는 점을 고려하면 심도 깊은 연구가 필요하다. 우리가 보통 경험하는 외감성 감기는 陽經에 침범하는 급성상태를 가리키며, 이러한 상태에서 침이나 약을 써서 적당한 치료가 이루어진다면 원래대로 회복되는 것이 간단하지만, 체력이나 기타 상황에 따라서 병발증이나 전변증 등을 유발하거나 장기간 지속되기도 하므로 치료시기를 놓치지 않는 것이 중요하다. 그것에 대한 판단에 생물광자의 측정은 아주 중요한 단서가 될 것이다.

⑤ 자석 실험

가. 연구내용

한서자기원에서 실시하는 생체자석경락 치료법(Han-Seo Bio-magneticmeridian therapy)에 의해 총 13명의 남녀를 대상으로 시술 직전과 직후의 생물광자를 측정 비교하였다.³⁸⁾ 일반적으로 생물광자의 양은 상당히 안정된 것으로 인위적으로 그 변화를 발생시키기 힘들다, 본 실험에선 총 74회 실험 중 17번의 실험에서 시간에 따른 생물광자가 감소되는 등의 특이한 생물광자 변화를 관찰하였다. 3분간 측정 시, 측정 시작직후의 생물광자의 양의 일반적인 수준에 비해 2-3배 정도 높았고 측정종료시점의 생물광자의 양은 일반적인 수치에 도달함으로써 그 차가 현저하였다. 생물광자의 양이 초기에 감소하여 시간에 따라 증가하여 일반 상태에 도달하는 반대의 경우도 드물게 관찰되었다. 생물광자의 시간에 따른 변화 현상은 손등에서 방출되는 생물광자에서만 관찰되었다. 치료 직후 시간에 따른 생물광자의 변화 양상은 전기회로에서 일어나는 전기량의 변화와 유사하였다. 이 결과는 전혀 예측되지 않은 결과로 자석의 경락 자극 중이나 자석 자극 종료 시점부터 생물광자의 급격한 변화가 일어났다는 것을 뜻

하며, 이에 상응하는 인체의 변화가 발생함을 뜻한다. 이를 설명하기 위해 자석에 의한 자기장이 인체 전기 회로 모형에 어떤 변화를 야기하였고, 그 변화는 개개인의 상태에 따라 달리 나타난다고 설명하였다.

나. 분석

본 실험에서 자석을 제거한 후 측정시작까지 대략 1분 정도의 지연 시간이 소요되는 점을 고려하면, 이 지연 시간 동안 일어난 생물광자의 변화를 측정하여야 그 기작에 대한 설명이 가능할 것으로 사료된다. 자극 직후나 자극 종료 직후의 변화의 측정을 통하여, 특정 자극이 인체에 미치는 영향이 즉시에 발생하는지 아닌지에 대한 연구를 실시 할 수 있다. 그러나 본 실험에선 자석이 측정기기에 미칠 영향을 고려하여 자석을 부착한 체 생물 광자 측정을 할 수 없었다. 이와 비슷한 실험이 침 자극에 의한 생물광자 변화 측정 실험이다. 암실에서 침을 시술하고, 자침한 상태로 생물광자를 측정하기 어렵기 때문에 침 자극 후 침을 제거하고 생물광자를 측정하는 방법을 사용하였다. 따라서 이에 대한 시간이 필요하고, 이 지연시간에 의해 자극 직후의 생물광자를 측정하지 못하고 대신 20분 정도 시간이 소요된 측정을 실시하였다.

⑥ 혈류 변화 실험

가. 연구내용

생물광자에 대한 해석중의 하나인 활성산소기원설에 대한 확인과 심혈관계 질환 진단 응용 목적으로 손의 혈류량 변화와 생물광자 발생량의 상관성을 조사하였다.³⁹⁾ 상박에 부착된 지혈대(tourniquet)의 압력을 외부에서 시간에 따라 변화시키며, 양손 생물광자를 동시에 측정하는 방식으로 실험을 실시하였다. 수축기 혈압에 비해 20% 정도 높은 압력을 지혈대에 가해 혈류를 완전히 차단한 상태에서 3분 동안 생물광자를 측정하였으며, 혈류 변화에 따른 손의 온도 변화를 동시에 측정하였다. 지혈대 압력은 이완기 압력 보다 20% 낮은 압력, 이완기 압력과 수축기 압력 중간값 등을 추가로 실시하였다. 이 실험

결과에 의하면, 최고 압력을 가했을 경우 생물광자량은 천천히 감소되었으며, 압력을 제거한 후 급격히 회복되었다. 온도는 1-2분 정도의 지연 시간을 가지고 비슷한 경향을 보였는데, 경향을 비슷하지만 온도 변화 정도와 생물광자 변화 정도는 상당한 차이가 있었다. 따라서 혈류 감소에 의해 손의 온도가 하강하지만 이 현상이 생물광자의 감소와는 직접 관계가 없는 것으로 결론지었다. 또한 혈류 변화에 의한 세포 산화환원스트레스에 의해 발생하는 활성산소에 의한 생물광자의 증가가^{33,4)} 관찰되지 않았다는 점에서 생물광자의 활성산소기원설이 부정되었다.

나. 분석

본 실험에서는, 실험 과정에서 혈류량의 변화가 온도 변화를 유발함으로써 생물광자 해석상에 어려운 점이 있으므로, 실험 방법의 개선을 통해 온도 변화 없이 혈류량 변화만 유발시키는 방향으로 실험을 진행하여야 한다는 필요가 제기되었다. 본 실험 결과를 통해 생물광자가 혈류 변화를 측정할 수 있다는 사실을 발견하였는데 이는 반 위적 기초실험 결과와도 일치한다.³⁶⁾ 그러나 그 변화 양상은 정성적으로 설명되었으며, 정량화 수준에는 이르지 못해, 심혈관계 질환의 진단에 응용할 수준에 이르기 위해선 많은 실험과 임상결과분석을 요한다.

⑦ 식물에서 방출되는 생물광자 영상 획득 기술. 연구개요 및 분석

측정기술이 발달함에 따라 광자(빛)하나를 측정할 수 있는 PMT의 측정 수준에 근접한 사진기가 90년대 이후부터 개발되어, 최근 이를 생물광자 촬영에 사용하기 시작하였다. 일반적으로 사용되는 디지털 사진기(digital camera)보다 월등한 감도(sensitivity)를 가지는 고감도 CCD(charge coupled device)사진기를 사용하여, 생체에서 나오는 생물광자의 영상을 촬영함으로써, 생물광자의 공간적 분포와 시간에 따른 변화에 대한 연구가 진행되고 있다.^{40,42)} 소광섭 교수팀에서 진행된 고감도 CCD 사진기를 이용한 실험에서 나뭇잎과 싸이 트는 콩을 사

용하여 자발광과 지연광을 측정하였다.⁴³⁾ 지연광 실험을 위해 먼저 메탈 할라이드 램프(metal halide lamp)의 빛을 광섬유를 통해 시료에 일정 시간 조사하고, 그 빛을 제거한 후 지연광을 측정하는 방식으로 실험을 하였다. 나뭇잎의 엽록소가 많이 있는 부분에서 지연광이 많이 나왔으며, 콩의 경우 생장점 근처에서 많이 나왔다. 그러나 모든 시료에서 자발광은 검출되지 않았다. 지연광이 자발광에 비해 수십에서 수천 배 정도 밝고, 광전자 증배관에서 자발광이 검출된 점을 고려해 볼 때, 고감도 CCD사진기의 감도가 자발광을 감지할 만한 수준이 아님이 자발광 미검출의 주요인으로 판단된다. 현재 판매되고 있는 최고 수준의 고감도 CCD 사진기를 사용할 경우 자발광이 검출되었음이 보고된 바 있어,⁴²⁾ 조만간 경혈/비경혈 부위에서 방출되는 생물광자의 이차원분포가 발표될 수 있다고 생각한다.

考 索

생물광자에 대한 결맞음설 이론에 따르면 생물광자에서 얻을 수 있는 정보는 생체의 결맞음성에 대한 것으로, 생체를 구성하는 세포, 조직, 기관등의 전체적인 조화로움에 관한 것임을 알 수 있다. 즉 생체를 구성하는 각각의 요소를 분리하여 원자론적으로 해석하는 환원주의(reductionism)가 아니라, 특정구성요소로 분리하지 않고 전체적인 유기체로서의 생체를 보는 전체주의(holism)전지에서 생체를 이해하려는 방법론이 생물광자의 생물학적 응용의 기저를 이루고 있다. 특히, 생물광자 연구가 재시도되기 시작한 직후인 1970년 말 최초로 인체에서 방사되는 생물광자가 검출된 후, 인체 상태 특히 음양의 조화에 근거하여 생물광자 결과를 해석하려는 시도가 진행되고 있다. 또한 빛을 더 잘 전파한다는 경락 경혈의 광학적 특징을 이용하여, 경락의 실체 규명에 생물광자 개념을 도입한 연구가 실시되었다. 중국 과학원 생물물리연구소의 엄지강(嚴智強)등은 경혈 부위에서 방출되는 생물광자량이 다른 부위에 비해 더 나온다는 실험 결과를 발표하였는데, 그의

실험 시설과 생물광자량 수준을 고려하면 실험 결과의 신뢰도는 떨어지지만 최초의 경혈에 대한 직접적인 측정연구라는 점에서 의의가 있다. 이는 전기적 특성, 자기적 특성, 열전과 특성, CO₂ 방출특성, 해부학적 특성 연구 등 경락의 실체를 규명하기 위한 연구방법 중의 하나로 생물광자 연구가 응용될 수 있음을 보여준다. 한의학에 관계되는 생물광자 응용분야를 크게 다음과 같이 나눌 수 있다.

1. 경락 경혈 연구

전술한 생물광자의 특징중 하나인 생체 내에서 전파율이 높다는 점은 세포나 조직간 통신에 사용될 개연성을 제공한다. 그러나 국소적으로 발생한 생물광자적 신호를 인체 전체로 보내기 위해선, 높은 전파율과 더불어 생물광자신호전달 체계가 필요하다. 이는 외부자극을 뇌에 전달하고 운동 신경에 신호를 보내는 체계인 신경계와 유사한 역할을 수행할 별도의 조직이 필요함을 의미한다. 식물에 대한 연구를 통하여 한 개체내의 광통신에 대한 가능성은 프레스만(A. Presman)에 의해 1970년경에 주장되었으며,⁴⁴⁾ 1982년 만돌리(Mandoli D.)등에⁴⁵⁾ 의해 식물의 광도파관이 실존함이 증명되었다. 동물에서도 이런 유사한 조직이 있을 것으로 사료되며, 인체의 경우 경맥이 바로 그 도파관 역할을 한다는 가설이 제안되었는데 실험적으로 경맥을 따라 빛이 더 잘 전파된다는 보고가 있었다. 러시아의 카즈나치프(Kaznachiev S.)는⁴⁶⁾ 경락과 보통 피부의 빛의 전파 특성에 관한 비교 연구를 통해 경락이 광섬유 역할을 함을 주장했다. 경맥이 단순히 빛을 전파시키는 통로인 도파관 역할을 하는 것이 아니라, 경맥내에 어떤 매질이 있어서 그 매질이 빛을 전파시킨다는 주장도 나왔다. 1960년대에 제기된 경락의 해부학적 실체에 관한 연구인 봉한학설을 현대적 관점에서 재조명하는 연구를 통하여, 경락내에 흐르는 매질의 DNA 함량이 기타 조직에 비해 월등히 높고, 이것들에 의해 양자 생물통신이 가능하다는 DNA 매개설이 소광섭 교수를 중심으로 제기 되었다.⁴⁷⁻⁴⁹⁾ 상기에서 논의된 생체 통신, 제어 기능, 한의학적 개념과

의 관련성 등 특징을 가진 생물광자와 경락이론이 결부됨에 따라 생체에 입사된 빛의 반사, 투과, 흡수 현상에 대한 광학적 연구인 생체조직광학(tissue optics)이 경락의 실제 연구에 중요한 역할을 하기 시작하였다. 이는 현대과학 중 가장 발달한분야중의 하나인 빛에 대한 연구가 한의학적 기초 연구에 응용됨을 의미하며, 연구 방법론 측면에서 대단히 중요한 시도라고 할 수 있다.

또한 각 경락 및 경혈에서 방출되는 생물광자의 양을 측정하여 장부기능과의 상관성을 한의학적 관점에서 축적해 나간다면, 각종 병증이나 개개인의 경향성 연구(사상체질, 팔체질 등)에도 응용할 수 있을 것이다.

2. 한의학적 조기진단기기

임상에 사용되는 진단기기는 거의 대부분 서양의학 관점에서 개발된 것으로 한의학적 근거에 의해 개발된 것은 드물다. 맥진기가 한의학적 관점에서 개발된 대표적인 진단기기이지만, 여러 가지 이유로 그 사용 빈도가 낮다. 현재까지 도입되었거나 도입되고 있는 진단기기는 경락 현상에 대한 직접적인 진단 정보를 제공한다고 보기 어려우며, 한양방이 엄격히 분리된 한국 의료계의 상황을 고려하면 애초부터 한의학적 관점에서 개발된 진단기기의 필요성은 높다.

생물광자는 세포내, 세포간, 조직간의 제어 수단이므로 세포 수준에서 이상이 발생했을 경우 생물광자의 검출을 통하여 그 이상 유무를 알 수 있다. 즉 조직이나 장기 수준의 손상이 있기 전 상태를 파악하여 조기 진단을 가능하게 한다. 생물광자를 이용한 진단기기는 기본적으로 경락현상에 근거하므로 경락의 이상 징후를 포착하여, 질병으로 전이되기 전 단계에서 조치를 취할 수 있게 한다. 예를 들어 음양실조에 의해 발생한 질병의 경우, 환자가 자각하기 이전부터 생물광자 측정으로 음양 부조화를 검출할 수 있으므로, 병증으로 발현되기 이전에 조치를 취함으로써, 비교적 쉽게 질병을 치료할 수 있다. 대부분의 병이 일정 수준에 이르기 전 치료를 실시

하면 치료가 용이하다는 점을 고려하면, 병증의 조기진단은 언급할 필요조차 없을 만큼 중요하다. 따라서 생물광자에 기반한 진단기기는 조기진단을 용이하게 하여 궁극적으로 치료의 효율을 극대화 할 것으로 사료된다.

지금까지의 생물광자 연구는 진단기기 개발의 기본 원리를 제공하는 수준에 도달했으며, 기존 진단 기기에서 얻어진 생체신호와 생물광자의 관련성은 온도를 제외하고는 거의 이루어지지 않고 있으므로 이에 대한 연구가 활성화되어야 한다. 그러나 현재 까지 진행된 실험 결과에 따르면, 한의학적 임상 정보가 결합된 생물광자의 데이터가 계속 축적된다면 인체의 건강상태와 생물광자와의 상관성이 더욱 명확해 질 수 있다. 대부분의 생체 신호를 이용한 진단 기기는 그 원리 규명과 실용화 시기는 상당한 거리가 있어왔다. 예를 들어 현재 나온 진단기기 중에 가장 정밀하다고 평가받는 MRI(magnetic resonance imaging)의 기본 원리인 핵자기공명(nuclear magnetic resonance)이 알려진 것은 1946년이다. 따라서 생물광자가 진단기기로 자리잡기까지 이와 비슷한 경로를 따라 갈 것으로 추론할 수 있다. 그러나 현재 과학 기술의 발달 경향을 보면, 과거와는 비교할 수 없을 정도로 그 수준의 향상이 빠른 속도로 진행되고 있다. 따라서 비록 한국의 인체 생물광자 연구가 세계적인 수준이 도달해 있다 하더라도, 노력을 배가하지 않으면, 타국 연구 기관에 의해 추월당할 가능성은 상존한다. 또한 의료 진단기기의 학제간 관련성과 첨단성을 고려할 때, 다른 기초과학의 지원여부에 따라 실용화의 성공여부가 결정되므로, 경쟁국에 비해 상대적으로 뒤쳐질 가능성이 높다. 이런 상황을 극복하기 위해서, 한의학적 개념에 기반한 생물광자의 연구 및 실용화 과정에서 한의학계의 공동 연구 및 지원이 절실하다고 할 수 있다. 가령, 한 의사가 음양의 부조화에 의한 환자를 대상으로, 생물광자의 상태를 파악하여, 건강인들의 생물광자와 비교하고 그 차이점을 파악하여, 질병 판단 기준을 마련할 수 있을 것이다. 나아가 혈압이나 체중처럼 생물광자의 상태를 주기적으로 파악하여 환자가 자

각하기 전에 이상 유무를 조기 발견하여 치료를 수행할 수 있다. 또한 침 또는 한약 등의 한방 중재에 의한 객관적 증상호전과 아울러 변화되는 생물광자를 측정하여, 치료효과를 객관적으로 검증 또는 예측하는 데에도 활용가능성이 크다고 할 수 있다.

3. 한의학적 건강지표

현재 널리 사용되고 있는 기초건강지표인 혈압, 맥박, 비만지수(BMI)등은, 한의학에 기초하지 않은 단순분류에 불과하며, 한의학적 진단이나 건강상태에 대한 지표로 사용되기엔 부적절하다. 따라서 한의학적 특성을 반영할 수 있는 지표가 필요하며 주로 기(氣)의 허실(虛實)을 건강지표로 사용하는 경향이 있다. 그러나 기는 한의학 비전공자에게는 상당히 주관적인 개념으로 과학적인 설명이 이루어지지 않고 있으며, 가끔 한의학자간에도 다양하게 해석된다. 이는 기 개념이 난해하기 때문이기도 하지만 실체에 대한 정의가 되지 않아서 생기는 문제일 수도 있다. 객체의 유사분열을 촉진한 최초의 생물광자 실험결과에 따르면, 기와 생물광자는 상당히 유사한 개념처럼 보인다. 한의학적 경맥에 따르면 좌우의 손은 같은 경맥에 의해서 그 기능이 제어되므로, 건강한 사람은 좌우에서 나오는 생물광자의 양이 높은 상관성을 가져야 하며 환자는 좌우 경맥의 균형이 깨어진 상태로 보기 때문에 좌우 상관성이 떨어질 수 있다. 이런 관점에서 양손의 생물광자 방출량의 상관성을 처음 조사한 코헨(Cohen S.)의 실험 이후²⁹⁾, 생물광자의 좌우 상관성에 대한 연구를 통해 생물광자의 분포를 건강 지표(biophoton health index, BHI)에 응용할 가능성에 대해 논의가 되고 있다.^{26,28,30)} 전술한 여러 실험결과를 통해 알 수 있듯이, 양손등과 손바닥에서 방출되는 생물광자의 양이나 불균형정도는 병증에 따라 다른 경향을 보였다. 침 치료 효과,³¹⁾ 증풍³⁰⁾ 감기 환자³⁷⁾에 대한 연구에 따르면, 병증에 따라 생물광자의 불균형이 나타나며 환자가 건강을 회복했을 때 그 불균형이 감소하는 등, 생물광자 경향은 건강 상태에 대한 지표로서의 가능성을 보였다. 지금까지 1000 개 정도의 측정 결과

분석에 의하면, 일반인의 손 부위의 생물광자 방출량은 대략 80-120 cps 정도이며, 15% 이하의 불균형은 명백한 건강상 문제가 노출되지 않은 사람에게서 주로 나타났다.³⁷⁾ 그러나 조기진단이란 측면에서 고려하면 생물광자의 절대치와 상대 변화치에 대한 근거를 가지고 있지 못하므로, 건강지표로서의 생물광자 기준치 확립을 위한 많은 실험들이 일반인을 대상으로 행해져야 한다. 현재 심혈관계 질환이나 건강 지표에 가장 기본적인 생체 신호로 여겨지는 혈압도 일반적으로 측정되는데 걸린 기간이 대략 30년 정도 소요되었다는 점을 고려하면 지속적인 연구가 필요함을 알 수 있다.

結 論

생물광자에 대한 소개와 지금까지 국내에서 행해진 인체 생물광자 연구에 대해 분석하였다. 현재까지 조직적이고 대규모의 연구는 시도되지 못했지만 여러 실험적인 연구를 통해 생물광자의 가능성을 짐작하게 되었다.

1. 현재 국제적으로 진행된 생물광자 연구는 세포 수준에서 이루어진 것이 대부분이나 국내의 연구는 애초부터 한의학적 관점에서 접근한 인체 생물광자에 대한 연구로 시작되었다.

2. 좌우 손바닥/손등에서 방사되는 생물광자의 건강인과 병증인에 대한 비교 연구에 따르면 건강인에 비해 병증인의 생물광자의 분포가 넓었다.

3. 기초 실험으로 손바닥/손등, 지문과 손톱에서 방출되는 생물광자와, 경혈점을 따라 전파되는 빛의 특성을 조사하였으며, 경혈을 따라 빛이 더 잘 전파됨을 알았다.

4. 3명의 건강한 남녀를 대상으로 일년동안 생물광자를 측정하여, 연주기성을 연구하였는데, 개인별, 계절별로 특이한 양상을 보임을 확인하였다.

5. 응용 연구로, 중풍환자와 감기환자의 생물광자 양상을 측정하였으며, 침치료 효과 자석자극, 혈류 변화 등의 자극에 의한 특이한 생물광자 방출 변화를 관찰하였다.

6. 환자 대상 임상실험이 되지 않았으며, 생물광자와 일반적으로 측정되는 생체정보간의 상관관계에 대한 면밀한 비교 검토가 이루어지지 않아 체계적인 연구가 필요하다.

7. 생물광자 연구를 통해, 경락경혈 연구, 한의학적 조기진단기기, 한의학적 건강지표의 가능성을 제시하였다.

이상의 결과에 따르면, 한의학적 진단에 따른 환자를 대상으로 한 진단 및, 한의학적 처방에 따라 변화된 환자의 생물광자 상태에 대한 연구가 진행되어야 하며, 물리학과 생물 특히 한의학간의 학제간 연구의 중요성은 여기에 있다고 할 수 있다. 생물광자는 동양의학, 특히 한의학에 생명관에 부합되는 물리량(物理量)으로 이에 기반한 진단기기는 곧 한의학의 과학화 및 객관화에 대한 한 해결책이 될 수 있다.

參考文獻

1. Gurwitsch A. Uber den Begriff des embryonalen Feldes. Wilhelm Roux' Archiv fur Entwicklungsmechanik der Organismen. 1922;51:383-415.
2. Gurwitsch AA. A historical review of the problem of mitogenetic radiation. Experientia. 1988;44:545-50.
3. 홍원식 편집. 황제내경소문. 서울:동양의학연구원 출판부. 1981.
4. Tuner J, Hode L. Low Level Laser Therapy: Clinical Practice and Scientific Background. Grangesberg Sweden : Prima Books. 1999.
5. 장인수, 조기호, 김영석 등. 저단계 레이저 치료에 대한 국내 논문분석 및 한의학 임상 활용 방안. 대한한의학지. 2001;22(3):11-20.
6. Timofeyev VT, Poryadin GV, Goloviznin MV. Laser irradiation as a potential pathogenetic method for immunocorrection in rheumatoid arthritis, Pathophysiology. 2001;8(1):35-40.
7. 김성철. 생혈액분석을 통한 저용량 He-Ne 레이저

- 이저 유침 치료에 관한 임상적 연구. 대한침구학회지. 2001;18(3):23-34.
8. Popp, FA, Ruth B, Bahr W, Bohm J, Grass, P, Grolig G, Rattemeyer M, Schmidt HG, Wulle P. Emission of visible and ultraviolet radiation by active biological systems. *Collective Phenomena*. 1981;3:187-214.
 9. Li KH, Popp FA. Non-exponential decay law of radiation systems with coherent rescattering. *Physics Letters A*. 1983;93:262-266.
 10. Available from: URL: http://usa.hamamatsu.com/assets/applications/ETD/pmt_handbook/pmt_handbook_complete.pdf, PMT handbook Ver2, Hamamatsu.
 11. Inyushin, VM. : The Problem of Biological Activity of Red Radiation(in Russian). Kasakh State University, Alma-Ata 1965.
 12. Popp FA. Biophotons. Background, experimental results, theoretical approach and applications. *Res. Adv. Photochem. & Photobiol*. 2000;1:31-41.
 13. Devaraj B, Usa M, Inaba H. Biophoton: ultraweak light emission from living systems. *Current Opinion in Solid State and materials Science*. 1997;2:188-93.
 14. Inaba, H. (1995)Ultraweak biophoton imaging and information characterization. pp. 632-642, In: T. Sueta and T. Okoshi (eds.) *Ultrafast and Ultra-parallel Optoelectronics*, John Wiley and Sons, Tokyo, Japan.
 15. Bagchi D, Hassoun EA, Bagchi M, Stohs SJ. Chromium-induced excretion of urinary lipid metabolites, DNA damage, nitric oxide production, and generation of reactive oxygen species in Sprague-Dawley rats. *Comparative Biochemistry and Physiology*. 1995;110C(2):177-87.
 16. Popp FA, Yan Y. Delayed luminescence of biological systems in terms of coherent states. *Physics Let. A*. 2002;293:93-7.
 17. Bajpai RP. Coherent nature of the radiation emitted in delayed luminescence of leaves. *Journal of Theoretical Biology*, 1999;198:287-99.
 18. Shen X, Liu F, Li XY. Experimental study on photocount statistics of the ultraweak photon emission from some living organisms. *Experientia*. 1993;49:291-5.
 19. Popp, FA, Chang JJ, Herzog A, Yan Z, Yan Y. Evidence of non-classical (squeezed) light in biological systems. *Physics Letters A*. 2002;293:98-102.
 20. Choi C, Soh KS, Lee SM, Yoon G. Study of Propagation of Light along an Acupuncture meridian. *J. Optical Society of Korea*. 2003;7:244-7.
 21. Ohya T, Kurashige H, Okabe H, Kai S. Early detection of salt stress (damage by biophotons in red bean seedling. *Jpn. J. Appl. Physics*. 2000;39(6A):3696-700.
 22. Yan Y, Popp FA, Rothe GM. Correlation between germination capacity and biophoton emission of barley seeds (*Hordeum vulgare* L.). *Seed Science and Technol*. 2003;31(2):249-58.
 23. Cohen S, Popp FA. Biophoton emission of the human body. *J. Photochem. Photobiol. B Biology*. 1997;40:187-9.
 24. Cohen, S, Popp FA. Low-level luminescence of the human skin. *Skin Research and Technology*. 1997;3:177-80.
 25. Choi C, Woo WM, Lee B, Yang JS, Soh KS, Yoon G, Kim C, Zaslawsky, Chang JJ. Biophoton Emission from the Hands. *Journal of Korean Physics Society*. 2002;41(2):275-8.
 26. Wijk RV, Wijk EV. Ultraweak photon emission of human skin. *Proceedings of International Conference on Biophotons and Biophotonics*. 2003, October 12-16, Beijing, China.
 27. Yang JM, Jung HH, Woo WM, Yi SH, Yang JS,

- Soh KS, Yoon G. Correlation of biophoton emission between left and right hands, and palm and back of hands. *Hankook Kwanghak Hoeji, Optical Society of Korea*. 2004;15(4):355-60.
28. Jung HH, Yang JM, Woo WM, Choi CH, Yang JS, Soh KS. Year-long biophoton measurements, *J. photochem. photobiol. B: Biology*. 2005;78:149-54.
29. Kim TJ, Nam KW, Shin HS, Lee SM, Yang JS, Soh KS. Biophoton Emission from Fingernails and Fingerprints of Living Human Subjects. *Acupuncture and Electrotherapeutics Research, Cognizant Communication Corp*. 2002;27:85-94.
30. Wardell K, Braverman IM, Silverman DG, Nilsson GE. Spatial Heterogeneity in normal skin perfusion recorded with laser doppler imaging and flowmetry. *Microvascular Res*. 1994;48:26-38.
31. Kuzmin SY, Ul'yanov SS, Tuchin VV, Ryabukho VP. Speckle and Speckle-interferometric methods in Cardiodiagnostics" *Proc. SPIE*. 1996;2732:81-92.
32. Kienle A, Forster FK, Hibst R. Anisotropy of light propagation in biological tissue. *Opt Lett*. 2004;29(22):2617-9.
33. Jung HH, Woo WM, Yang JM, Choi C, Lee J, Yoon G, Yang JS, Soh KS. Photon counting statistics analysis of biophotons from hands, *Indian Journal of Experimental Biology*. 2003;41:446-51.
34. Jung HH, Woo WM, Yang JM, Choi C, Lee J, Yoon G, Yang JS, Soh KS. Left-right asymmetry of biophoton emission from hemiparesis patients. *Indian Journal of Experimental Biology*. 2003;41:452-6.
35. Jung HH, Woo WM, Yang JM, Yi SH, Yang JS, Soh KS. Signal characteristics of biophoton emission from human hands. *Key material engineering* 2005;96-101:277-279.
36. Cohen, S, Popp FA. Whole-body counting of biophotons and its relation to biological rhythms. In: Chang JJ, Fisch J, Popp FA eds. *Biophotons*. Dordrecht:Kluwer Academic Publishers. 1998:183-91
37. Lee C, Yang JM, Yi SH, Cho HJ, Kang MJ, Yang JS, Soh KS. Biophoton emission from patients with a cold, *J. International Society of Life Information Science*. 2004;22(2):362-5.
38. Park SH, Koo TH, Kim DH, Yang JM, Yi SH, Yang JS, Koo HS, Lee SM, Soh KS. Effects of Han-Seo meridian magnetic Therapy on Biophoton Emission. *J. International Society of Life Information Science*. 2004;22(2):385-8.
39. Yang JM, Lee C, Yi SH, Yang JS, Soh KS. Biophoton Emission and Blood Flow in the Human Hand, *J. International Society of Life Information Science*. 2004;22(2):344-8.
40. Inaba H, Shimizu Y, Tsuji Y, Yamagishi A. Photon counting spectral analyzing system of extraweak chemi- and bioluminescence for biochemical applications. *Photochem. Photobiol*. 1979;30:169-75.
41. Creath K, Schwartz GE. Biophoton images of plants: revealing the light within. *J Altern Complement Med*. 2004;10(1):23-6.
42. Takeda M, Kobayashi M, Takayama M, Suzuki S, Ishida T, Ohnuki K, Moriya T, Ohuchi N. Biophoton detection as a novel technique for cancer imaging. *Cancer Sci*. 2004;95(8):656-61.
43. Lee C, Yang JM, Park SH, Yi SH, Yang JS, Soh KS. Delayed luminescence imaging system and its application. *J. International Society of Life Information Science*. 2004;22(2):445-9.
44. Presman AS. *Electromagnetic fields and Life*. New York:Plenum Press. 1970.
45. Mandoli, DF, Briggs WR. Optical properties of etiolated plant tissues, *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*.

- 1982;79:2902-6.
46. Kaznachiev S, Mochanova L. Light from living life and human. Russia:Novosibirsk.1998:101-5.
47. Soh KS. Bonghan duct and Acupuncturemeridian as Optical Channel of Biophoton, J. Korean Phys. Soc. 2004;45(5):1196-8.
48. Soh KS. Qi as Life Information of DNA and Quantum Communication of Biophoton in the Bonghan System. J. International Society of Life Information Science. 2004;22(2):287-93.
49. Baik KY, Sung B, Lee BC, Johng HM, Ogay V, Nam TJ, Shin HS, Soh KS. Bonghan Ducts and Corpuscles with DNA-contained Granules on the Internal Organ-Surfaces of Rabbits, J. International Society of Life Information Science. 2004;22(2):598-601.
50. Yang JM, Choi C, Jung HH, Woo WM, Yi SH, Soh KS, Yang JS. Left-right and Yin-Yang balance of biophoton emission from hands. Acupunct Electrother Res. 2004;29(3-4):197-211.