

## 원적외선이 대장균의 생존율과 돌연변이에 미치는 영향

대구대학교 대학원 재활과학대학 물리치료전공

김 재 윤

대구대학교 재활과학대학 물리치료학과

박 래 준

### The effect of Far-infrared on survival rate and genetic mutation of *Escherichia-coli*

Kim, Jae Yoon, P.T.

Major in physical therapy, Graduate school of Taegu University

Park, Rae Joon, Ph.D., P.T.

Dept. of physical therapy, Rehabilitation science, Taegu university

#### < Abstract >

Hershel found out Infrared for the first time, in the Industrial Revolution the Infrared and FIR had been begun to use making products. FIR with low temperature can deeply penetrate on the human body composed things without troublesome, since FIR has effectively operated on the human body at low temperature (35-40 ℃). When FIR penetrated on the human body, it would inhibit the abnormal genes and cells expression, and then information of DNA and RNA would be reexpressed for arranging DNA and RNA abnormal state. As FIR's receptors in the body, it could be presumed that N-glycosyl linkage of purine and deoxyribose, RNA splicing process, and Heat shock protein. To radiate optimized FIR, in this study, we made the FIR radiation compound and instrument for unharmed biological things.

According to the results, the FIR radiation to *E. coli.*, it did not induce genetic mutations and change the survival rate of *E.coli.*

#### I. 서 론

원적외선(Far-infrared)의 영역은 적외선파장 중에서 멀리 부분(Far)의 파장대를 말하는데, 태양광선 중에서 열에너지를 공급하는 것은 이 FIR로 지구상에 살고 있는 생물체는 직간접적으로 태양의 복사에너지에 받으면서 생명을 유지하면서 살고 있다. 열의 전달 방법 중에서 가장 효율적인 방법은 복사인데, 그 이유는 FIR은 전도와 대류보다는 주로 중간 매개체를 필요로 하지 않고 열을 전달하기 때문이다. 특히 공진할 수 있는 진동수를 가

진 물질이 분자에 닿을 경우 그 분자에 공진을 일으켜서 활동을 활발하게 하여 내부에서 열을 내도록 하는 성질을 가지고 있기 때문에 생물체의 파장과 같은 FIR은 생물체의 분자들을 공진시켜 내부에서 열을 내도록 하게 한다(백우현, 1997; 山崎梅子, 1996, 1998; Ralph, 1993; 김재훈 외, 1993; 조순탁, 1992). 위 설명한 바와 같이 FIR은 인체에 같은 파장대를 가지고 있어서 공명흡수작용으로 인하여 인체 깊숙히 침투할 뿐만 아니라 세포형성하는 분자에 흡수되어 생리, 화학적인 변화를 일으키게 한다. 위의 이러한 원리는 생물체에 흡수된 파

장과 빛 만이 생리화학적인 변화를 일으킬 수 있다는 Grotthus Draper의 법칙에 의하여 뒷받침되어진다(박래준와 박찬의, 1997).

FIR은 특히 생물체에서 유해인자에 의하여 잘못 발현되거나, 변화가 일어난 RNA와 DNA를 다시 원래의 정상적인 상태로 복원시키는 작용을 하는 것으로 연구되어지고 있는데, 이 열파열 반응이 일어나는 곳은 바로 N-glycosyl linkage이며, Hsp인자 생성에 영향, RNA Splicing 단계에 영향을 주는 것으로 추정되어지고 있다.

저온에서 효율적인 것이 중요한데, 이것은 바로 인체가 단백질로 형성되어져 있기 때문에 FIR은 생물체 구성물질들을 변형시키지 않고 심부에 도달하여 생리적인 효과를 가져올 수 있기 때문이다.

그러므로 FIR에 대한 위의 열거한 작용에 의하여 비정상적인 세포의 지속적인 발현을 정지시키고, 다시 DNA 및 RNA의 올바른 정보로 다시 재발현 하게끔 하여 비정상세포의 비정상활동 원인이 되는 잘 못된 DNA 배열 및 RNA 배열을 정상화시켜 병적상태에 있는 부위를 정상적으로 만들어 주는 것이다.

위의 여러 가지 자료들에 비추어 볼 때 FIR은 우리가 인체에서 느끼지 못하는 체내자유활동에너지에 가장 근접한 형태의 물리적인 요소일 것이다. 특히 인체가 가장 건강할 때 발생하는 빛의 파장이 바로 FIR이고 우리가 매일 받는 태양 빛의 반이상은 FIR로 특히 공해가 없는 나라에 FIR의 양이 UV(Ultra Violet)보다 많이 포함되어져 있는 것으로 볼 때 환경적인 요인과도 많은 관련이 있다(山嶠梅子, 1998).

따라서 위의 여러 가지 FIR이 지금까지 알려져 있는 바와 같이 생물체에 무해하면서 긍정적인 효과를 주는지를 확인해 보고자 삼성전자연구소의 논문에 실린 실험방법을 참고하여(단, 실험재료의 선택과 실험대상의 코딩을 달리함) 동국대학교 한의과대학에서 실험하였다.

## II. 연구재료 및 방법

### 1. E.coli의 생존율에 미치는 영향

#### 1) 실험재료

Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiO<sub>2</sub>, ZrO<sub>3</sub>를 주재료로 하는 산화물로 구성된 FIR 복사체에 단일 산화물로 상온에서 FIR의 복사효율을 좋게 하기 위하여 CaO, MgO, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO<sub>2</sub>, 그리고

TiO<sub>2</sub>를 첨가한 FIR 방사 가루를 제조하여 실험에 응용하였다. 위의 재료들은 모두 각각의 파장대가 5-18 μm에 집중되는 재료들로 파장중에 인체에서 가장 많이 방출되고 흡수되기 쉬운 8-14μm가 많이 포함되어져 있다.

대장균의 종류는 E. coli (RecA)로 pBR322 플라스미드를 함유한 것을 사용하였다. 그 외의 실험조건은 일반적인 미생물 배양조건과 같이 하였으며, 인큐베이터의 온도는 생물체의 온도와 비슷한 36.5도씨로 셋팅하였다. 대장균의 성장률을 관찰하기 위한 방법으로 B사의 적외선분광광도계(Spectrophotometer)를 사용하여 데이터를 산출하였는데 공식은 아래와 같다.

$$A = \log (I_0/I) \text{ where,}$$

A = absorbancy

I<sub>0</sub> = initial intensity of light

I = intensity of light transmitted

### 2) 실험방법

이 실험의 목적은 일정량을 배양한 E. coli에 FIR이 방출되는 파우더를 배지에 같이 섞어서 FIR이 직접적으로 조사되게끔 하는 방식으로 기존의 방식을 벗어나 대장균에 직접 FIR이 영향을 미칠 수 있도록 하였다.

대조군의 경우에는 배지의 FIR 첨가여부만 다를 뿐 기타 다른 조건은 모두 같도록 설정하였다. 이 실험은 FIR이 생물체에 직접적으로 생존에 관련된 인자에 적용되어졌을 때 유해한자 또는 무해한가를 알아보고자 함이다. Ampicillin이 있는 배지에 배양이 가능토록 하면서 다른 균들이 성장하지 못하게 하여, 우선 37℃에서 Luria Bertani-Ampicillin(LB/AP)에서 배양하였다. 1.0×10<sup>8</sup>개의 세포가 되게 하였다.

따라서, 5ml의 배양세포액을 원심분리하여 세포를 분리하고 10ml의 0.1M MgSo<sub>4</sub>로 희석하여 대장균수가 5.0×10<sup>8</sup>/10ml가 되도록 하였다. 이러한 과정 후 적외선분광광도계(Spectrophotometer)에 넣어 세포수를 체크하는 광도를 설정하고 나머지는 10<sup>2</sup>, 10<sup>3</sup>, 10<sup>4</sup>, 10<sup>5</sup>, 10<sup>6</sup>으로 희석하여 세포수를 5.0×10<sup>6</sup>/10ml, 5.0×10<sup>5</sup>/10ml, 5.0×10<sup>4</sup>/10ml, 5.0×10<sup>3</sup>/10ml, 5.0×10<sup>2</sup>/10ml 라는 이론적인 수치가 나오는데 이러한 것으로 모두 적외선분광기(Spectrophotometer)에 넣어 그 분광정도를 체크하여 설정하여 빛의 분광정도만으로 쉽게 세균의 양을 알아볼 수 있도록 하였다. 그리고 그 수에 따라 0.2ml씩을 채취하여 MacConkey/AP plate

에서 배양시 FIR이 방사되도록 제조된 파우더를 같이 첨가하여 실험군에 적용시켰고, 나머지는 대조군으로 FIR방사 파우더를 첨가하지 않은 상태로 비교실험을 하였다. 위의 실험으로 나타난 대장균 군집의 숫자를 결과로 정리하였다.

## 2. E.coli의 genetic mutation에 미치는 영향

### 1) 실험재료

FIR방사용 특수재료를 위와 같은 재료를 사용하여 실험하였다. 측정 방법 또한 위에 열거한 측정장비들로 각각의 다른 설정을 통일화하여 일정한 하나의 기준으로 대장균의 수를 셀 수 있도록 하였다.

### 2) 실험방법

이 실험은 FIR 방사용 특수재료를 배양배지와 함께

사용하였을 때, 대장균에 있는 특정 유전자에 돌연변이 발생여부를 알아보기 위한 연구로 FIR이 자외선과 같이 돌연변이원으로 작용하는지를 알아보고 함이다.

사용된 균주는 앞서 제시한 E. coli DH1(RecA-)으로 Lactose operon은 wide type이며 pBR322 플라스미드를 포함하고 있어서 Ampicillin이 있는 배지에서도 배양될 수 있으므로 다른 균주에 의한 감염으로 실험에 저해요인이 될 수 있는 것을 최소한으로 줄일 수 있다. MacConkey/Ap plate에서 야생형은 적색군집으로 자라게 되는데 만약에 Lactose operon에 돌연변이가 나타나  $\beta$ -Galactosidase를 생산되지 못하면 백색군집으로 성장하게 되는데, 위에서 실험한 방법으로 실험을 하여 white colony의 생성을 관찰하여 FIR에 의한 mutation 여부를 판정하였다.

## Ⅲ. 연구결과

Table 1. Survival rate of E. coli

Survival rate of E. coli		
Test group (FIR radiated)	30 min.	100%
	90 min	100%
	150 min	100%
Control group	30 min.	100%
	90 min.	100%
	150 min.	100%

실험군과 대조군의 세포수가 적외선분광광도계(Spectrophotometer)로 그 양적인 관계를 좀더 자세히

측정한 결과 FIR 조사를 위한 특수제조배양액을 첨가하여도 아무런 변화없이 두 그룹의 세포수가 동일하였다.

Table 2. Lac mutation rate of E. coli

Lac mutation rate(%)		
Test group (FIR radiated)	30 min.	0%
	90 min	0%
	150 min	0%
Control group	30 min.	0%
	90 min.	0%
	150 min.	0%

FIR이 조사되도록하는 특수제조 배양배지인 실험군에서 white colony가 전혀 출현되지 않았고, 대조군과

결과가 동일하였다.

## IV. 고 찰

지구상에 유기화합물은 20만정도인데 이러한 유기화합물의 에너지흡수 파장대는 6-12 마이크로대에 집약되어 있다. 이것은 인체에서 방사되는 원적외선의 파장이고, 인체가 잘 흡수하는 파장의 흡수대이기도 하다.

진화론적으로 지구상에 도달하는 파장대는 7-14마이크로이므로 오랜세월 유기체들은 이 파장영역에 대하여 감수성이 높은 것은 당연하다(지철근, 2001). 인체 피부로부터 방사되는 IR의 파장은 3-50마이크로이며, 이 중에서 8-14마이크로의 파장의 IR이 인체로부터 방사되는 전방사에너지의 46%를 차지한다. 인체의 피부는 3.0마이크로, 6.0마이크로, 10.0마이크로, 12마이크로 이상의 FIR 영역에 있는 전자파에너지를 잘 흡수하며, 이러한 파장대의 전자파는 반사되지 않는다. 그렇지만 예외적으로 가시광선은 피부에서 반사한다.

생물체에 대한 침투력은 파장의 평방근으로써 아래의 식과 같다.

$$\text{Penetration} = \sqrt{\text{Wave length}}$$

즉, 조사되는 방사에너지의 파장이 4배가 되면, 침투력은 2배로 되어 인체에 깊이 들어간다.

그러므로 파장이 짧은 NIR(근적외선)은 파장이 긴 FIR(원적외선)에 비하여 침투력이 떨어진다(지철근, 서울대, 2001). 그런데 유기체인 인체는 체온이 평균 36.5도씨인 일종의 천연열원으로, 천연의 생물학적 적외선 방사원이다. 인체의 피부로부터 방사되는 IR의 파장은 3-50 마이크로이며, 특히 8-14마이크로의 파장대를 많이 방사하고 있다(일본전열협회 1991; 정구영와 백우현, 1998; 지철근, 2001). 빛을 내지 않는 복사체(nonluminous radiator)로 순수한 IR 및 FIR 복사체이다. 신진대사증진, 노폐물배출증진, 모세혈관확장, 근조직의효과, 식근작용, 등이 생리적인 반응이고, IR과 FIR의 통상적 임상적용의 효과는 동통완화, 근이완, 혈액순환증진, 노폐물제거, 적응증은 아급성외상, 염증, 관절염, 류마티즘, 신경염, 신경통, 등을 목적으로 사용되어지며, 전신치료에서는 신진대사나 순환증진에서 경미한 계통적인 열효과를 위하여 진정효과를 위하여 사용한다(박래준와 박찬의, 1996). 적외선과 원적외선 에너지를 산업적으로 처음 이용한 것은 1938년 미국 포드 승용차의 도장 건조에 사용한 것이 시초이다. 19세기이후

신소재가 개발되었는데, 이것은 1960년대 미국우주항공우주국(NASA)에서 최초로 개발하여, 우주선 및 우주복, 산업기기, 의료기기 및 생활용품의 소재로 다양하게 이용되고 있다(지철근, 2000). 대기권의 지구상의 높이는 10-15Km 정도라 한다. 태양광의 색온도는 5800K로 태양에너지의 발산곡선은 파장이 0.4마이크로이하인 자외선(X선, 감마선포함)의 성분비율이 11%, 파장이 0.4-0.7마이크로의 가시광선 40%, 파장이 0.7마이크로 이상의 적외선 49% 비율로 구성되어 있다.

태양방사는 지구의 대기층을 투과하며 지상에 도달하는 사이 대기에 의한 흡수, 산란 등으로 약20-30%정도 에너지가 감소되는데, 단파장인 자외선(X선, 감마선포함)쪽이 장파장인 가시광선, 적외선 보다 많이 감소된다. 예를들면 대기에 의한 직사일광의 파장별 대기의 투과율은 일광이 파장이 짧아질수록 감소율이 많아짐을 알 수 있다. 따라서 태양방사가 대기층을 투과하여 지표에 도달하는 방사에너지는 약 80%가 적외선이다. 이러한 적외선 흡수대를 투과하는 파장영역을 일반적으로 "대기의 창"이라 하며, 이 파장의 적외선에 대하여 대하여 인체는 따스함을 느낀다.

열의 전달 방법 중에서 가장 효율적인 방법은 복사인데, 그 이유는 FIR은 전도와 대류보다는 주로 중간 매개체를 필요로 하지 않고 열을 전달하기 때문이다. 특히 공진할 수 있는 진동수를 가진 물질이 분자에 닿을 경우 그 분자에 공진을 일으켜서 활동을 활발하게 하여 내부에서 열을 내도록 하는 성질을 가지고 있기 때문에 인체의 파장과 같은 FIR은 인체의 분자들을 공진시켜 내부에서 열을 내도록 하게 한다(백우현, 1997; 山崎梅子, 1996, 1998; Ralph, 1993; 김재훈 외, 1993; 조순탁, 1992). 위 설명한 바와 같이 FIR은 인체에 같은 파장대를 가지고 있어서 공명흡수작용으로 인하여 인체 깊숙히 침투할 뿐만 아니라 세포형성하는 분자에 흡수되어 생리, 화학적인 변화를 일으키게 한다. 위의 이러한 원리는

인체에 흡수된 파장과 빛 만이 생리화학적 변화를 일으킬 수 있다는 Grotthus Draper의 법칙에 의하여 뒷받침되어진다(박래준, 박찬의, 1997)FIR은 특히 인체에서 유해인자에 의하여 잘못 발현되거나, 변화가 일어난 RNA와 DNA를 다시 원래의 정상적인 상태로 복원시키는 작용을 하는 것으로 연구되어지고 있는데, 이 열파열 반응이 일어나는 곳은 바로 N-glycosyl linkage이며, Hsp인자 생성에 영향, RNA Splicing 단계에 영향을 주는 것으로 추정되어지고 있다.

위의 여러 가지 자료들에 비추어 볼 때 FIR은 우리가 인체에서 느끼지 못하는 체내자유활동에너지에 가장 근접한 형태의 물리적인 요소일 것이다. 특히 인체가 가장 건강할 때 발생되는 빛의 파장이 바로 FIR이고 우리가 매일 받는 태양 빛의 반이상은 FIR로 특히 공해가 없는 나라에 FIR의 양이 UV(Ultra Violet)보다 많이 포함되어져 있는 것으로 볼 때 환경적인 요인과도 많은 관련이 있다(山嶠梅子, 1988).

인체에는 2종류의 유도성유전자가 있는데, 열충격유전자와 스테로이드성 유전자가 있다. 그런데 열의 상승과 다른 환경적인 변화에 영향을 보이는 것은 열충격단백질이다. 예를들면 입과구에서 적은 온도변화 발생에 의하여 Hsp70이 빨리 유도된다. 이것은 발열반응이 열충격단백질의 상대적 저온역치 때문에 반응을 일으킨 것이다(Stanley, 1994). Hsp의 조절부위는 열충격인자가 결합하여 RNA 중합효소에 의한 전사를 자극하는 열충격요소와 TATA상자로 이루어져 있으므로 FIR이 RNA Splicing 과정에 관여를 하게 된다고 볼 수 있다. 인체에 대한 많은 유해요소가 존재하는데 그러한 환경에 의한 변화 외에도 자연적으로 인체의 DNA는 매일 약 5,000개가 탈퓨린의 반응으로 N-glycosyl linkage가 열에 의하여 파열되어 소멸되고, 또한 탈아미노기 반응으로 많은 DNA가 변화를 일으키게 되는데, 일상생활 속에서 많은 유해인자(Geoffrey, 1997)에 의하여 염기의 배열상태가 인체를 병적인 상태로 만들기를 시도하는데, 이러한 예로는 DNA 퓨린과 피리미딘에서의 알킬화 또는 산화된 염기, 개방된 링의 염기, 염기의 이중탄소결합이 단일결합으로 전환되는 것 등이 그 예이다(Leninger, 1993). 열충격유전자에 의하여 생성되는 열충격단백질의 세포보호작용기전은 유해인자로부터 단백질보호, ATP 수준유지, 정상세포 미세구조유지 및 산화적 손상 매개체에 의한 손상 받은 세포의 사멸 등 세포가 생명을 유지하는데, 필요한 작용을 하며, 역동적인 상태 유지에 기여하게 되고, 고열요법에서도 암치료는 이러한 Hsp 기전과 유사한 방법으로, 체내에 있는 암들과 종양, 그리고 체외배양세포실험에서 형질변형이 안된 세포가 열독성효과에 더욱 민감하게 나타내므로 이것은 변형된 DNA를 가진, 즉 병원성 질환으로 발병 시킬 확률이 높은 세포는 열에 약하다는 것을 보여주고 있다. 그러므로 RNA splicing과정에서 열 및 기타외부의 스트레스에 의하여 Hsp가 생성되어 일반적인 단백질의 발현이 중단되고, 세포질과, 핵, 인과 이들 사이에 위치한 세포골격 상

호간에 변화와 외부의 환경의 정보를 RNA 전사에 도입하여 방어시스템 구축과 DNA손상을 복원하기 위한 조절유전자를 재발현 시켜서 대사를 활발히 해주고 또한 비정상적인 세포는 열파열 반응에 의하여 N-Glycosyl linkage가 파열되어 스스로 열독성에 의하여 사멸되거나, 생산된 방어단백질에 의하여 사멸되는 것으로 메카니즘을 규정할 수 있다(김재운, 2001).

Limbic system은 정서중추라고도 하며, 인체에서 FIR의 조절중추(에너지의 조절)하는 가장 유력한 기관이다. 그것은 바로 정서적인 안정을 통하여 교감신경의 작용으로 안정과 부교감신경의 작용으로 상대적인 기능향진현상과 호흡을 통하여 흡기는 능동적인 기능이고 동시에 교감신경계의 항진 수반, 호기는 수동적이고 부교감신경계의 상대적 항진효과를 근거(Papez, 1961; Davidson, 1972; Forhman, 1971; Dicara, 1975)를 기본으로 하여 심호흡을 통하여 인체의 항상성이 조절되는 것이 유력하고, 따라서 이러한 안정된 호흡으로 항상성이 증가되면 당연히 인체가 정상적으로 되어 건강한 신체에서 많이 발산되는 FIR이 인체에서 더 많이 방출되어진다(정구영, 1998; 지철근, 2001). 체외로부터 조사받은 복사선 중에서 FIR은 저온에서도 매우 효율적인데, 분자의 공명흡수를 통한 심달력에 의하여 세포내의 온도가 적당히 증가하게 되어 DNA에서부터 단백질의 활동성까지 영향을 주는 것으로 추정되고 있다. 저온에서 효율적인 것이 중요한데, 이것은 바로 인체가 단백질로 형성되어져 있기 때문에 FIR은 인체 구성물질들을 변형시키지 않고 심부에 도달하여 생리적인 효과를 가져올 수 있기 때문이다. 그러므로 FIR에 대한 위의 열거한 작용에 의하여 비정상적인 세포의 지속적인 발현을 정지시키고, 다시 DNA 및 RNA의 올바른 정보로 다시 재발현 하게끔 하여 비정상세포의 비정상활동 원천이 되는 잘못된 DNA배열 및 RNA 배열을 정상화시켜 병적상태에 있는 부위를 정상적으로 만들어 주는 것이다(김재운, 2001). 이 실험에서 FIR은 순수하게 그 파장만으로는 미생물에 아무런 side-effect를 초래하지 않는다는 것을 알 수 있었는데, 미생물은 우리 인체에 공생하는 생물체 중의 하나로 (예, 미토콘드리아, 대장균 등) 환경의 변화에 민감한 미생물에 아무런 변화를 주지 않았다는 것은 인간의 인체에도 적절한 강도와 조사량과 시간을 갖춘 FIR은 아무런 돌연변이나, 부작용의 요인이 되지 않는다고 할 수 있다.

## V. 결 론

## 〈참 고 문 헌〉

최적화된 FIR(Far-infrared)로 대장균에 영향을 주기 위하여, 파장대가 5 - 18  $\mu\text{m}$ 에 집중되는 재료들로 실험재료를 만들어 배지 자체에서 방출되는 파장은 건강한 인체에서 가장 많이 방출되고 인체에 흡수되기 쉬운 8-14 $\mu\text{m}$ 가 조사파장에 포함되도록 설정하였다. 대장균의 종류는 E. coli (RecA-)로 pBR322 플라스미드를 함유한 것을 사용하였다. 그 외의 실험조건은 일반적인 미생물 배양조건과 같이 하였으며, 인큐베이터의 온도는 생물체의 온도와 비슷한 36.5도씨로 셋팅하였다. 대장균의 성장률을 관찰하기 위한 방법으로 B사의 적외선분광광도계(Spectrophotometer)를 사용하였다.

FIR 방사용 특수재료를 배양배지와 함께 사용하였을 때, 대장균에 있는 특정 유전자에 돌연변이가 발생여부를 알아보기 위한 연구로 FIR이 자외선과 같이 돌연변이원으로 작용하는지를 알아보았다. MacConkey/Ap plate에서 야생형은 적색군집으로 자라게 되는데 만약에 Lactose operon에 돌연변이가 나타나  $\beta$ -Galactosidase 생산되지 못하면 백색군집으로 성장하게 되는데, 위에서 실험한 방법으로 실험을 하여 white colony의 생성을 관찰하여 FIR에 의한 mutation 여부를 판정하였다.

1. 실험군과 대조군의 세포수가 적외선분광광도계(Spectrophotometer)로 그 양적인 관계를 좀더 자세히 측정할 결과 FIR 조사를 위한 특수제조배양액을 첨가하여도 아무런 변화없이 두 그룹의 세포수가 동일하였다.

2. FIR이 조사되도록하는 특수제조 배양배지인 실험군에서 white colony가 전혀 출현되지 않았고, 대조군과 결과가 동일하였다.

위의 결과들을 통하여 볼 때, FIR이 방사되는 환경과 FIR이 생물체에 직접적으로 영향을 주는 환경을 만들어 주어도 생물체의 생존률에 변화를 주지 않았고, 돌연변이를 유발시키지 않았음을 알 수 있었다. 따라서 FIR은 위의 실험된 조건에서는 대장균의 치사원이나 돌연변이원으로 작용하지 않는다는 것을 알 수 있다. 따라서 FIR은 생물체에 무해하다고 할 수 있다. 또한 치료적인 측면에서 보면 FIR의 유해성 여부에서 충분히 벗어나 안심하고 치료적으로 응용할 수 있는 결과라 할 수 있을 것이다. 좀더 세부조직학적인 실험과 연구가 이루어지면 좀더 유의한 자료가 산출될거라 사료된다.

김재윤 : 원적외선의 인체작용메카니즘, 대한물리치료학회, 제13권 2호, 2001.

김재훈 외 : FIR의 응용, 국제산업정보연구원, 1993

김현수 : 원적외선의 생물학적 해석의 접근, 삼성전자연구소, 1995.

박래준, 박찬의 : 광선치료, 대학서림, 1996

백우현 : 원적외선복사체의 분광학적 특성, 국립요업연구원, 1995.

백우현 : 천연소재를 이용한 원적외선 응용기술, FIR응용기술연구회, 1997.

조순탁, 박봉상 : 기초물리학, 범한서적, 1992.

정구영, 백우현 : Far-infrared가 Cell metabolism에 미치는 영향, 원적외선협회보, 1998.

정구영 : 원적외선의 효과와 향후과제, 한국전자재시험연구원, 1998.

지철근 : 원적외선의 특징과 응용, 원적외선협회, 2001.

山崎梅子 : 遠赤外線療法科學, 人間史社, 1996.

山崎梅子 : 遠赤外線療法, 人間史社, 1998.

日本電熱協會 : 遠赤外線加熱の理論と實際, 壽國難公 1991.

Davidson, J. M., Levine, S.: Endocrine regulation of behavior, Ann. Rev., 1972.

Dicara, L.: Limbic and Autonomic nervous system, Research, New York Plenum, Publishing, Corporation, 1975.

Forthman, L. A.: The Hypothalamus and metabolic control, Phathbiol, Ann., 1:353, 1971.

Geoffrey M couper : The cell, Sinauer Associates Inc., 1997.

Lehninger, Nelson, Cox : Principles of biochemistry, 2nd, Prentice-Hall, 1993.

Papez, J. W : Comparative Neurology, Hanfer, 1961.

Ralph J.Fessenden, Joan S. Fessenden : Organic Chemistry, 3rd., John Wiley & Sons, 1993.

Stanley R. Maloy : Microbial genetic, 2nd edit, John Wiley & Sons, 1994.