

## 저주파 전기자극의 주파수가 인체대사에 미치는 영향

안산1대학 물리치료과 교수

김 순 자

서울대학교병원 재활의학과 물리치료실 실장

정 진 우

경기대학교 물리학과 교수

임 종 수

## The Effect of variation in low frequency electrical stimulation on human metabolism.

Kim, Soon - Ja

Department of Physical Therapy Ansan College

Chung, Jin - Woo

Department of Physical Therapy Seoul National University Hospital

Lim, Jong - Soo

Department of Physics Kyonggi University

### < Abstracts >

Study the variation of low frequency electrical stimulation on human metabolism which serum to test the increasement of creatine- kinase, myoglobin, lactate ,and pyruvate.

The results were as followed :

1) Creatine kinase increasement showed significant difference between 200Hz stimulation group and control group, and also between 300Hz stimulation group and control group, but no significant increasement difference showed in 50 Hz stimulation group compared to control group.

2) Lactate increasement showed significant difference in 200Hz stimulation group and 300Hz stimulation group compared to control group, but no significant difference showed in 50Hz stimulation group.

3) Pyruvate increasement showed significant difference in 50Hz stimulation group and 200Hz stimulation group compared to control group, but no significant increasement difference showed between 50 Hz stimulation group and control group. (P < 0.05)

4) Myoglobin increasement showed significant difference in 50Hz stimulation group and 200Hz stimulation group compared to control group, and also in 200Hz stimulation group and 300Hz stimulation group compared to 50Hz stimulation group. ( P < 0.05 )

## I. 서 론

최근 산업사회의 발전으로 교통사고, 산업재해 등과 같은 불의의 재난이 많이 돌출되고 있는 것이 사실이다. 이러한 재난으로 인해 운동이나 감각신경의 손상으로 사회생활과 일상생활에 지장을 초래하는 사례가 늘고 있다.

임상적으로 많은 물리치료실에서 흔히 사용되는 전기 치료기인 저주파 전기자극치료기(EST)가 전통적으로 사용되었으며 저주파 치료에 이용되는 파형은 초기에는 감응전류(faradic current) 정현파전류(sinuosoidal current) 등이 사용되어왔으나 최근에는 생체에 흐르는 전류를 줄이는 방법으로 고압직류전류를 이용한 맥동전류를 이용하고 있다.(박래준1983, 박래준 1999) 역학적 자극을 목적으로 하는 저주파 치료의 대상은 신경근이 변성된 경우에 즉 탈신경근에 근육의 흥분성이 소실되어 수의적으로나 반사적으로 수축을 하지 못하게 됨에 따라 구조적, 기능적 변화를 막기 위하여 근 재교육, 근 위축방지 등의 목적으로 사용되고 있다. 인체에 신경과 근육을 자극하기 위해 Dubois-Reymond와 Nernst의 의하면 자극의 강도, 자극시간 전류강도의 변화가 자극의 3대 조건이라고 했다.(민경옥2001) 그러나 사람에 따라 개개인의 피로 저항이 다르기 때문에 영양상태와, 연령, 체중을 고려하지 않고 적용할 경우 근 피로로 인한 근육통(muscle soreness), 근육강직(muscle stiffness) 등이 유발되며 이에 따른 근수축 반응의 감소로 젖산 축적과 에너지 저장력 감소에 의한 근수축 기전의 장애가 될 수 있으며, 근피로는 최대 힘의 감소를 일으키고 근육내의 좋지 못한 감각 혹은 통증 및 경련과도 관련되어 있어 근육이 피로하게 될 때에는 근육반응은 더욱 느려지게 되고 피로가 있는 근육에 의해 수행되는 능동관절 가동범위도 줄어들게 된다.(이재형, 1995)

또한 전신 피로는 혈당치 감소, 근육과 간에 저장된 글리코겐의 감소, 포타슘(potassium)의 고갈 등이므로 본 실험은 실제로 인체에 저주파인 직각파로 각각의 다른 주파수를 전 경골근(ant. tibialis)에 자극을 하여 신체의 생리학적인 변화들이 어떠한 반응으로 나타나는지를 알아보기로 한다. 생리적 대사에서 에너지 대사와 관련지어 연구함으로써 전기치료 시에 도움을 주고자 한다. 에너지 대사를 간단히 살펴보면 인체가 외계로부터 영양분을 받아들여 이것을 신체의 구성성분으로 합성하고, 또 이를 분해하여 에너지를 얻으며 필요치 않은 물질

을 외계로 배출하는 일련의 과정에서 인체는 탄수화물, 지방, 단백질이 연소될 때 유리되는 에너지를 직접 에너지원으로 사용할 수 없기 때문에 음식의 소화흡수 과정의 결과로 생산된 모든 에너지는 일단 ATP에 농축시키놓고 ATP의 농축에너지를 생체에서 통용되는 일종의 에너지로 사용된다.

포도당이 분해되서 ATP가 생성되는 과정은 무산소해당과정을 통한 경우와 유산소해당과정을 통한 경우 두 가지가 있다. 해당작용(glycolysis)이란 포도당이 피루브산으로 되는 과정을 지칭하는데, 산소가 없을 시에는 다음과 같은 무산소 해당작용을 거침으로써 결과적으로 산화물인 알콜, 젖산같은 중간대사 산물을 생성된다.

무산소해당과정은 포도당 → 피루브산 + 2ATP(무산소해당-5%) → 시트로산화로X → 불완전 산화물인 젖산같은 중간대사 산물을 생성된다.

반면 산소가 있을 시에는 아래와 같이 유산소 해당작용을 거침으로써 불필요한 중간대사 산물이 생성되지 않으며 보다 풍부한 ATP를 얻을 수 있다.

유산소해당과정은  $(6O_2 + )$  활성아세트산(아세틸CoA)를 통해 → 시트로산화로 →  $36ATP + 8H_2O + 6CO_2$ (유산소해당-95%) 따라서 많은 에너지를 얻으려면 산소가 풍부하여 포도당이 완전 산화되는 과정을 거쳐야 한다. (이귀영, 1988,) 이 점은 인체에서 피로물질이 생기는 중요한 기전이 된다. 근 운동후에 피로를 느끼게 되는 것은 근육이 오랫동안 강력한 수축을 지속한 결과 근육에 많은 젖산이 축적되고 글리 코겐과 ATP가 고갈됨으로써 마침내 피로가 오게 되는 것으로 이해할 수 있을 것이다.

전기자극으로 근수축 유발시 에너지 소모와 산소소비의 관계를 연구하기 위해 마이오글로빈(myoglobin), 젖산, 피루브산, Creatine Kinase (CK)등 물질의 상태를 혈액과 소변검사를 통해 조사하여 봄으로써 저주파 전기자극이 인체대사에 미치는 영향을 고려하여 적절한 물리치료를 함으로써 환자들에게 많은 공헌이 될 것으로 사료된다.

## II 실험방법

### 1. 실험대상선정

본 실험은 마이오글로빈(myoglobin), 젖산, 피루브

산, 크레아친 키나제 (CK)등은 연령, 체중, 성별, 간기능과 신장기능등에 영향을 받기 때문에 연령은 22세-26세 체중평균 67.9kg 평균 키 174.4 cm 간기능과 신장기능등이 정상이며 소변에서 WBC, protein, blood 등이 음성(negative)인 신체 건강한 남자 13명을 선발하였고 1차 실험대상자와 2차, 3차, 4차, 실험 대상자는 동일인으로 본 실험에 참여시켰다.

## 2. 실험환경

본 실험에서 피실험자는 부모의 동의를 얻어서 합숙으로 2000년 11월 13일부터 12월 5일까지 매주 토요일 4차례로 실시하였으며 실험실 환경의 온도는  $22 \pm 1$ 도온도를 유지시키고 아침은 금식하여 아침9시부터 하루에 두차례씩 전기자극을 하고 2차 자극후 5분이내에 혈액을 채혈하고 점심과 저녁은 성인1일 1800-2400cal 이내로 똑같이 급식을 하게 하였으며 운동을 전혀하지 않도록 낮에는 실습실에서 책을 보거나 비디오를 보는 정도였으며 저녁에는 실험자의 지도하에 실험자의 집에서 합숙으로 지내게 되었고, 소변은 24시간 요를 채취하는 것으로 하였다. 실험 간격은 일주일 간격으로 하였다.

처음의 대조군은 전기자극을 하지 않은 상태이지만 실험 조건은 자극군과 같은 실험환경을 갖추고 식사와 운동상태등도 자극군과 같은조건을 갖추었다.

## 3. 전기자극 방법

인체 전기자극기는 Enraff 회사의 endomed 581model을 사용하였으며 활성 전극은 전 경골근(ant. tibialis)의 운동점 (motor point) 위에서 가장 반응이 좋은 부위에 놓았고 비활성 전극은 발목의 앞부위에 놓았다. 직각파를 이용하여 첫주의 자극군에게 주파수(frequency) 50Hz, 둘째주에는 200Hz, 셋째주에는 300Hz로 하루에 두번, 1차에 20분 2차에 20분씩 하루에 총 40분의 자극을 실시하였으며 맥동 간격은 1000μs로 정하였다. 전류의 강도(intensity)는 사람에 따라 약간의 차이는 있었지만 평균으로 20.7mA 였으며 가시적인 수축으로 족관절(ankle jt.)이 등쪽굴곡(dorsi flexion)이 나타나고 피실험자가 통증을 느끼는 상태까지 강도(intensity)를 주었다.

## 4. 혈액 채취방법과 분석

채혈은 전기자극 직후에 임상병리사에 의해 실시 하였고 좌측 median cubital vein에서 혈액 5ml를 채혈한 후 원심분리기를 이용하여 혈액을 분리한 후 혈청 분리관에 담아 영하 18°C에서 보관하였다.

피루브산의 검체 처리법은 WB 2ml+8% perchloric acid 4ml 를 넣고 3000rpm에서 15분간 원심분리한 후 맑은 상층액을 분리하였다 보관은 냉동보관 하였다.

보관된 검체를 녹십자의 전문 분석회사에서 분석하게 하였다.

## 5. 소변 채취 방법과 검사

화학적 정량검사는 24시간뇨을 받아서 검사하며 오전 8시에 첫소변은 보고난후 첫소변은 버리고 그다음 소변부터 소변통에 채취하여 다음날 첫소변 까지 채취하였는데 대부분 1800ml- 2000ml정도가 되었다. 이것을 녹십자에서 분석하게 하였다.

24시간 뇨가 잘 받았겠는지는 뇨중 크레아티닌의 배설이 1.6g/24hr 정도로 일정함으로 이것을 검색하면 정확히 알 수 있다.(이창규, 1994)바. 통계처리 통계처리 SAS를 이용하여 평균과 표준편차를 구하였고, 유의성 검정은 5%의 유의 수준 하에서 하였으며 Creatine kinase, 마이오글로빈( myoglobin), 젖산, 피루브산을 Paired-T test로 무자극군(대조군)과 50Hz자극군, 무자극(대조군)과 200Hz자극군, 무자극(대조군)과 300Hz자극군, 50Hz 자극군과 200Hz자극군, 50Hz 자극군과 300Hz자극군을 비교 분석하여 처리하였다.

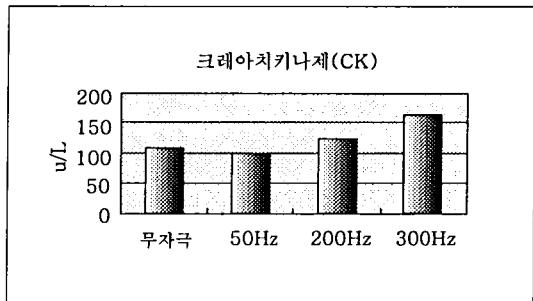
## III. 실험 성적

실험후 13 명의 혈액과 소변에서 검사상 사용할 수 없는 검체는 제외 시키고 9명의 검체를 분석결과 평균상태와 편차를 보면 다음과 같다. 참조(표1)

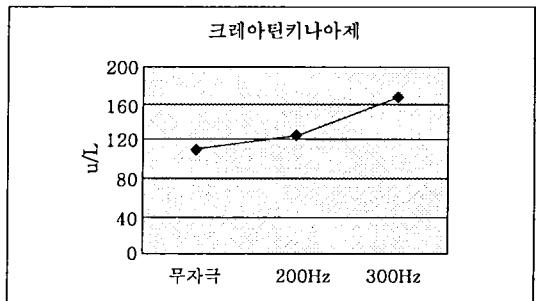
### 1. 평균 및 편차

평균 편차	젖산(lactate)	피루브산(pyruvate)	마이오글로빈(myoglobin)	크레아친키나제(CK)
무자극	6.177±2.048	0.298±0.094	3.377±0.471	111.3±56
50Hz	6.831±1.806	0.265±0.076	2.769±0.642	102±37.2
200Hz	8.654±1.557	0.395±0.080	5.554±1.331	125.6±55.4
300Hz	12.100±7.327	0.338±0.202	7.931±2.876	167±56

### 1) Creatine Kinase(CK)

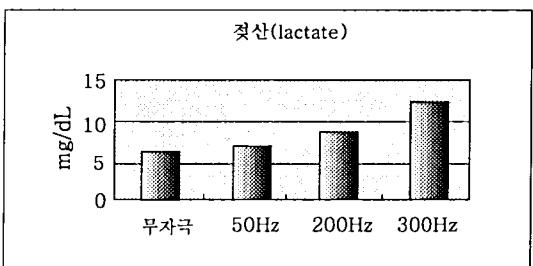


CK는 무자극과 50Hz자극군의 비교에서는 큰차이가 없었고, 무자극군과 200Hz자극군과의 비교에서, 무자극

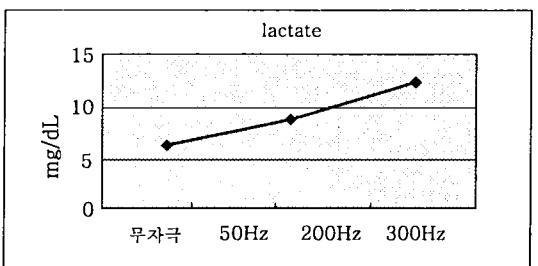


군과 300Hz자극군비교에서는 증가한 것으로 보인다 ( $P < 0.05$ )

### 2) 젖산

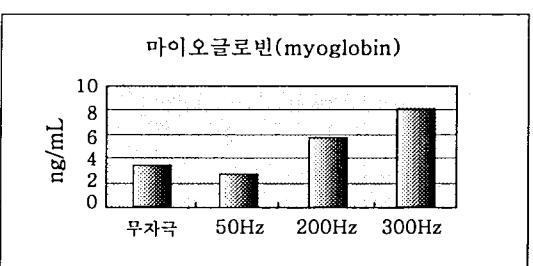


젖산은 무자극군과 50Hz자극군의 비교에서는 큰차이가 없고 200Hz자극군과 300Hz자극군 비교에서는 증가

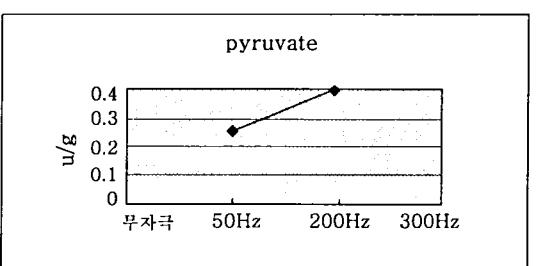


한 상태를 보였다 ( $P < 0.05$ )

### 3) 피루브산

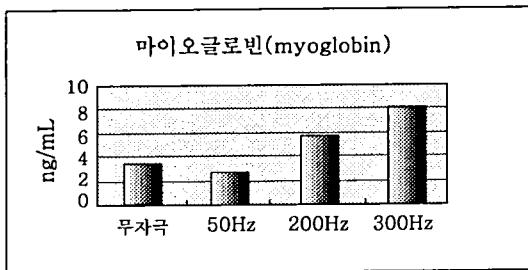


무자극군과 50Hz 자극군의 비교에서는 별다른 차이가 없었고 50Hz 자극군과 200Hz 자극군 비교에서는

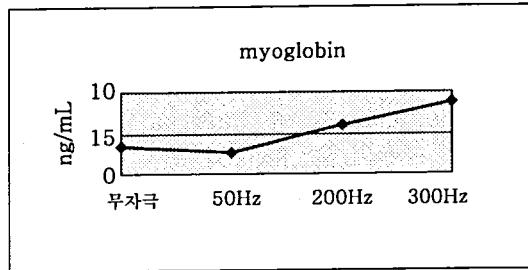


많은 차이가 있음을 나타내었다. ( $P < 0.05$ )

#### 4) 마이오글로빈(Myoglobin)



myoglobin은 무자극군과 50Hz자극군 비교에서는 큰 차이가 있었고, 무자극군과 200Hz 자극군비교에서, 차 이를 보였으며 50Hz자극군과 200Hz자극군비교 , 50Hz



자극군과 300Hz자극군비교에서 많은 증가를 보였다( $P < 0.05$ )

## IV. 고 칠

인체대사에서 혈중 CK의 활성도는 전기자극이나 특수자극시 혈중에 분비되어 증가하는 효소로서, 근육조직의 세포막 투과성 변화와 세포막의 파괴현상을 일으키는 질병에서도 볼 수 있으며, 혈중 CK의 활성도도 증가하게 된다. 따라서 운동수행 후 발생하는 운동성 피로현상은 근육조직을 중심으로 한 조직손상을 분석하기 위한 지표로서 활용되어 왔으며 (Rose et al., 1970 : Agner et al., 1988), 특히 24시간 후의 자연성 근육통증의 발현시 그 분석지표로 이용되어 왔다(Armstrong, 1984).

장시간 운동후 혈중 CK의 활성도 연구에서 조성봉의 5인(1977) 등은 운동후 회복기의 혈중 CK 활성도의 변화는 운동직후 및 회복기 15분에서 안정시보다 유의한 ( $p < 0.05$ ) 증가를 나타냈다고 보고하였다.(조성봉 1977)

Pyruvic acid의 혈중농도는 영양소의 섭취량, pyruvic acid 생성이용의 효소활성, 조직의 산소분압등의 총화로써 결정된다. 임상에서는 Lactic acid와 함께 평가한다. Pyruvic acid는 비정상적으로 고농도를 보이는 경우는 중증 간장애, 순환부전 요독증, Glycogen storage disease 1형 (Von Gierke 병), Vt B1 결핍 등이다. 뇌척수증, 운동실조증, 무도증, 현저한 지능장애 등을 보이는 환자중에는 Pyruvic acid 대사에 관여하는 효소결손으로 인하여 고 Pyruvic acid 혈증을 초래하는 경우가 있다(녹십자 자료 ).

Robert B. Dunn and Jerry B. Critz 등은 꿀격근 자극후에 지방산 대사에서 Lactic acid가 증가됨이 보고되었다.(J Richard coast 1995 )

Myoglobin은 산소와 친화성이 큰 heme 단백으로 주로 심근, 꿀격근세포의 세포질에 존재하며 혈중산소를 근육조직으로 운반한다. 근세포가 장애를 받으면 myoglobin은 혈중에 유출하고 요증에도 myoglobin 형태로 배설된다. 따라서 근 장애를 초래하는 급성심근경색증 또는 근이영양증, 근염등의 신경근 질환에서 고농도를 나타낸다.

기타 갑상선기능항진증 또는 Aldosterone증등의 내분비질환에서도 근장애로 인하여 고농도를 보이지만 실제 진료에 myoglobin을 측정하는 경우는 급성 심근경색증이다. 급성 심근경색증에서는 경색 경과를 나타내는 지표로 CK 등의 심근 효소가 이용되지만 myoglobin이 신속하게 혈중으로 유출되므로 보다 조기진단에 유용한 검사이다. Myoglobin은 혈중에 유출과 소실이 현저하게 빠르기 때문에 심근경색에서는 1-3시간에 증가하여 가장 빨리 검출할 수 있는 임상화학적 변화이다. 7-10시간에 최고치에 달하고 증가 지속시간은 1-3일로 짧은 시간에 정상으로 돌아온다. Myoglobin의 일내 변동은 나타나지 않으며 여성에 비해 남성이 고농도를 보인다. 또한 근육주사나 운동으로도 증가하는 경우가 있다. 혈중 농도가 300-2000 ng/mL를 초과하면 myoglobin이 요증으로 배출된다. 주로 꿀격근 장애 그리고 이것에 신부전이 있을때 나타난다.(녹십자 자료, 1999 )

Kunishige등은 이렇게 유출된 myoglobin을 보상하는 기전을 알아보기 위해 myoglobin과 myoglobin mRNA를 측정한 결과 증가로 나타나 유출된 양을 보충한다는 것을 확인하였다. McDonald 등은 철성분의 식이와 운동유무에 대한 비교실험에서 운동군이 비운동군에 비해 myoglobin의 함량이 증가했으며 정상기압 과

저기압상태 비교훈련 실험결과 저기압상태의 낮은 식이 군에서 myoglobin 함량이 증가한 것으로 나타났다. Terrados 등은 정상 기압상태에서 myoglobin의 양이 증가했다고 보고했다.

Terrados 등은 고산지대와 같은 저기압 상황과 평지상황으로 나누어 훈련시킨 결과 평지 상황에서 phosphofructokinase의 활성도가 증가했다고 한다. Walsh 등은 실험동물에 전기로 강축자극(tetanic stimulation)을 적용한 후 phosphofructo-kinase, aldolase, glyceraldehyde -3-phosphate dehydrogenase의 양이 현저히 증가했다고 보고했다.

박래준은 경피신경 전기자극이 근피로에 미치는 영향에서 전기자극후 근력의 변화에서 저빈도- 고강도와 경피신경 전기자극치료 치료 직후 근력이 감소 하였으며 치료 종결후 30분이 지났을 때에도 치료전과 같은 근력을 회복하지 못했다고 했으며 저빈도-고빈도의 강한 근수축이 유발되는 고강도 치료법은 근피로를 유발한다고 보고했다. 김순희 등은 인체에 적용한 전기자극이 Serum myoglobin과 Aldolase에 미치는 영향에 대한 생리학적 효과에서 전기자극시간이 경과함에 따라 myoglobin과 Aldolase가 증가됨을 보고하였다.

본 저자들의 실험연구에서도 전기자극으로 인한 근수축 유발 후 Creatine Kinase, 마이오글로빈(myoglobin), 젖산, 피루브산은 대조군에 비해 유의한 증가양상을 나타났는데, 이는 이제까지 살펴본 자료들과 일치하는 경향을 나타낸다. 본 실험은 22-26세의 정상 성인남자를 대상으로 하였기 때문에 환자의 질병상태나 노년층, 유아층등의 다양한 변수를 모두 설명할 수 없다는 것이 제한점이라 하겠다.

## V. 결 론

인체에 저주파 전기자극을 통한 serum 검사에서 Creatine Kinase, 마이오글로빈(myoglobin), 젖산, 피루브산 변화에 대한 실험연구에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) Creatine Kinase의 변화량은 무자극군(대조군)과 50Hz자극군 비교에서는 큰 차이가 없었고, 무자극군(대조군)과 200Hz자극군 사이, 무자극군(대조군)과 300Hz자극군 사이에서는 증가한 것으로 보인다.

2) 젖산의 변화량은 무자극군(대조군)과 50Hz자극군

사이에서는 큰 차이가 없고 무자극군(대조군)과 200Hz자극군 사이, 무자극군과 300Hz 자극군 사이에서는 증가한 것으로 보인다.

3) 피루브산의 변화량은 무자극군과 50Hz 자극군 사이에서는 별다른 차이가 없었고, 50Hz자극군과 200Hz 자극군 사이에서는 많은 차이가 있음을 나타내었다. ( $P < 0.05$ )

4) 마이오글로빈(Myoglobin)의 변화량은 무자극군과 50Hz 자극군 사이에서는 큰 차이가 있었고, 무자극군과 200Hz 자극군 사이에서도 차이가 나타났다. 또한 50Hz자극군과 200Hz자극군사이, 50Hz 자극군과 300Hz 자극군 사이에서도 많은 차이가 나타난 것으로 보인다. ( $P < 0.05$ )

## 〈 참 고 문 헌 〉

김순희외 2인 : 인체에 적용한 전기작극이 Serum myoglobin과 Aldolase에 미치는 영향에 대한 생리학적 효과, 대한 물리치료사학회지, 6(3), 1999.

김대권, 김현준 : 운동생리학, 현문사, 1999.

녹십자 자료 : 1999.

민경옥 : 전기치료학, 현문사, 2001.

박래준 : 경피신경 전기자극이 근피로에 미치는 영향, 대한 물리치료학회지, 11(1), 1999. 7.

이재형 : 전기치료 대학서림, 1995.

이귀영, 김진구 : 임상화학, 의학출판사, 1998.

이창규 : 임상요화학, 대학서림, 82, 1994.

전엄봉, 조성봉, 서재명, 이상옥, 장재봉, 송문석 : 운동 생리학, 도서출판 흥경, 1998.

조성봉, 이용식, 이수영, 조기정, 이용화, 서재명 : 장시간 운동 후 벨런스 테이핑의 반응시간 및 CPK활성도 변화에 미치는 영향: WCBTS, 1977.

최영덕 김순자 임종수: 인체에 적용한 주파수 변조 은 침 전 전기자극이 Epinephelin과 Norepinephelin에 미치는 효과, 대한 물리치료사학회지, 7(2), 2000.

Agner, H., Kelbaek, H., Fogh-Anderson, and Mork, H. I. Coronary and skeletal muscle enzyme changes during a 14km run. Acta Med. Scand.. 244, 183-186, 1988.

Armstrong, R. B.: Mechanisms of exercise-induced delayed-onset muscular soreness : A brief

- review. Med. Sci Sports Exerc. 6, 529-538, 1984.
- Belardinelli, R. Barstow, T.J., Porszasz, J., Wasserman, K.: Changes in skeletal muscle oxygenation during incremental exercise oxygenation during incremental exercise measured with near infrared spectroscopy. Eur. J. Appl. Physiol. 70(6), 487-92, 1995.
- Booth, F.W.: Inability of Myoglobin to Increase in Dystrophic Skeletal Muscle during Daily Exercise, Pflugers. Arch. 73(2), 175-8, 1978.
- Clark, B.J., Coburn, R.F.: Mean myoglobin oxygen tension during exercise at maximal oxygen uptake, J. Appl. Physiol. 39(1), 135-44, 1975.
- Clarke, F.M., Shaw, F.D., Morton, D.J. : Effect of electrical post mortem of bovine muscle on the binding of glycolytic enzymes. Functional and structural implications, Biochem. J. 186(1) : 105-9, 1980.
- Cole, R.P. : Myoglobin Function in Exercising Skeletal Muscle, Science, 216, 523-5, 1982.
- Cole, R.P. : Skeletal muscle function in hypoxia : Effect of alteration of intracellular myoglobin, Respir. Physiol. 53(1), 1-14, 1983.
- Cole, R.P. : Sukanek, P.C., Wittenberg, J.B., Wittenberg, B.A. : Mitochondrial function in the presence of myoglobin, J. Appl. Physiol. 53, 1116-24, 1982.
- Doeller, J.E., Wittenberg, B.A. : Myoglobin function energy metabolism of isolated cardiac myocytes : Effect of sodium nitrite [published erratum appears in Am. J. Physiol. 1991 Oct; 261(4 pt 2): following Table of Contents], Am. J. Physiol. 261(1 pt 2), H53-62, 1991.
- Ellis, A. K., Saran, B.R. : Kinetics of myoglobin release and prediction of myocardial myoglobin depletion after coronary artery reperfusion, circulation 80(3), 676-83, 1989.
- Gleeson, N. P. , Reilly, T. Mercer, T. H. , Rakowski, S and Rees, D. Influence of acute endurance activity on leg neuromuscular and musculoskeletal performance. Med. Sci. Sports Exerc. 30(4), 596-608, 1998.
- J Richard coast R. Andrew shanely ,john m. lawer, and Robert A.Herb : Lactic acidosis and Diaphragmatic Function in vitro, Am J. Respir Crit care medvol152, 1648-1652. 1995.
- Kunishige, M., Mitsui, T., Akaike, M., Shono, M., Kawai, H., Saito, S.: Localization and amount of myoglobin and myoglobin mRNA in ragged-red fiber of patients with mitochondrial encephalomyopathy, Muscle. Nerve, 19(2), 175-82, 1996.
- MC Donald, R., Hegenauer, J., Sucec, A., Saltman, P.: Effects of iron deficiency and exercise on myoglobin in rats, Eur. J. Appl. Physiol. 52(4), 414-9, 1984.
- Nakamura, Y. and Schwartz, A.: The influence of hydrogen ion concentration on calcium binding and release by skeletal muscle sarcoplasmic reticulum, J. Gen. Physiol., 59, 22-32, 1998.
- Nilsson, J. , Tesch, P. and Thorstensson, A.: Fatigue and EMG of repeated fast voluntary contractions in man. Acta Physiol. Scand. 101, 194-198, 1977.
- Phillips, W. H.: Influence of fatiguing warm-up exercise on speed of movement and reaction latency. Res. Quart. 34, 370-378, 1963.
- Robert B Dunn and Jerry B. Critz: Effect of circulation FFA on lactate production by skeletal muscle during stimulation. J.Appl. Physiol. ,vol 38, may 1975.
- Rose, L. I., Lowe, S. L. , Caroll, D. R. , Wofson, S. , and Cooper, K. H.: Serum lactate dehydrogenase isoenzyme changes after muscular exertion. J. Appl. Physiol. , 28, 279-281, 1970.
- Terrados, N., Jansson, E., Sylven, C., Kaijser, L.: Is hypoxia a stimulus for synthesis of oxidative enzymes and myoglobin?, J. Appl. Physiol. 68(6), 23, 69-72, 1990.
- Terrados, N., Melichna, J., Sylven, C., Jansson,

- E.. Kaijser, L.: Effects of training at simulated altitude on performance and muscle metabolic capacity in competitive road cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol.* 57, 203-9, 1988.
- Walsh T.P. Masters, C.J., Morton, D.J., Clarke, F.M.: The reversible binding of glycolytic enzymes in ovine skeletal muscle in response to tetanic stimulation, *Biochem. Biophys. Acta*. 675(1), 29-39, 1981.
- Winter. E. M. . and Brookes. F. B. C: Electromechanical respoone times and muscle elasticity in men and women. *Eur. J. Appl. Physiol.* , 63, 124-128 .1991.