

트레드밀 운동이 고지혈증 흰쥐의 혈액 성분과 항산화효소 및 활성산소에 미치는 영향

정병옥 · 장상훈¹ · 방현수[†]

김천대학교 물리치료학과, ¹대구대학교 물리치료과

The Effects of Treadmill Exercise on Blood Components, Antioxidant Enzymes and Reactive Oxygen in Hyperlipidemic Rats

Byeong-Ok Jung, PT, PhD, Sang-Hun Jang, PT1, PhD¹, Hyun-Soo Bang, PT, PhD[†]

Department of Physical Therapy, Gimcheon University, ¹Department of Physical Therapy, Daegu University

Received: October 18, 2012 / Revised: November 20, 2012 / Accepted: November 20, 2012

© 2013 Journal of the Korean Society of Physical Medicine

| Abstract |

PURPOSE: The purpose of this study was to investigate the effects of treadmill exercise on blood components and antioxidant system in hyperlipidemic rats.

METHODS: Three weeks old male rats were randomly assigned into General diet(GD, n=10), High fat Diet(HD, n=10), and High fat diet+Treadmill exercise(HDT, n=10) groups. Treadmill exercise consisted of the treadmill running 5 times per week during 6 weeks(30 min/time for first 3 weeks and 60 min/time the other 3 weeks).

RESULTS: The levels of triglyceride and total cholesterol were increased in HD group compared with GD group, and recovered to level of GD group by treadmill exercise(p<.05). Plasma glucose and insulin concentrations were increased in HD group compared with GD group, and recovered to level

of GD group by treadmill exercise(p<.05). Glutathione(GSH) and glutathione reductase(GRD) concentrations were decreased in HD group compared with GD group, and these decreases returned to the level of GD group by treadmill exercise(p<.05). Xanthine oxidase(XO) and malondialdehyde(MDA) concentrations were increased in HD group compared with GD group, and these increases returned to the level of GD group by treadmill exercise(p<.05).

CONCLUSION: This study showed that treadmill exercise application were effective treatment strategy on hyperlipidemia. Therefore, it could be considered as a treatment method in the patients with hyperlipidemia disease. Treadmill exercise, Hyperlipidemia, Blood components

Key Words: Treadmill exercise, Hyperlipidemia, Blood components

[†]Corresponding Author : 76044860@hanmail.net

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서론

최근 한국인의 동물성 지질 섭취 증가와 같은 서구화된 식생활 습관과 다양한 전자매체 발달과 바쁜 일상생활로 인한 운동부족은 혈중 콜레스테롤 농도를 위험수준까지 증가시키고 이는 고지혈증 인구를 급속하게 증가시키는 요인으로 지적되고 있다. 고지혈증은 동맥경화증을 유발시키는 위험요인 중의 하나로서 혈중 콜레스테롤의 농도 증가는 관상동맥질환의 발병률을 증가시키고 이로 인해 심부전 등의 심장질환으로 인한 사망률도 증가시키고 있다. 특히 고지혈증은 성인병 중 심장질환의 중요한 원인임에도 불구하고 다른 성인병에 비해 특별한 사전 증상이 나타나지 않기 때문에 일반적으로 고지혈증에 대한 위험성을 크게 걱정하지 않게 되고, 고지혈증에 대한 진단 역시 혈액검사를 통해서만 진단이 가능하기 때문에 고지혈증에 대한 조기 관리는 중점적으로 이루어지지 않고 있는 것이 현실이다. 때문에 고지혈증의 예방과 함께 이미 고지혈증의 진단은 받은 환자의 합병증을 예방하기 위해서는 주기적인 혈중 콜레스테롤 검사와 저지방 식이, 그리고 규칙적인 운동은 필수적이라고 할 수 있다(Moon, 2006; Pathan 등, 2008; Turner 등, 2007).

고지혈증은 말초조직의 인슐린 저항성을 증가시키고 각종 대사성 질환 및 혈관의 합병증을 유발시키는 요인으로 고지혈증을 예방하기 위한 가장 중요한 부분으로 식이조절과 운동이 제시되고 있다. 특히 운동은 고지혈증과 비만치료를 위한 효과적인 치료방안으로 제시되고 있는데, 고지혈증 예방 및 치료를 위한 다양한 방법은 운동 적용은 혈중 지질성분을 유의하게 감소시킬 뿐만 아니라 규칙적인 운동은 골격근 대사 능력과 미토콘드리아의 수 및 산화적 기능의 증가를 통해 근육 대사촉진을 유도하여 대사 장애를 효과적으로 개선한다고 보고하였다(Lee 등, 2002; Davis 등, 2008; Hulver와 Hournard, 2003; Lee 등, 2002).

그러나 강도 높은 운동을 실시할 경우 발생하는 활성산소는 세포의 항산화 기전에 큰 영향을 미치게 되고, 이러한 변화는 신체에 장기간 스트레스를 유발시키고, 지속적인 적응 현상을 유발시키게 된다. 이때 항산화 효

소의 적응 현상은 골격근 운동을 지속적으로 유발시키게 해주고 미토콘드리아의 산화 효소 적응에 중요한 역할을 담당하게 된다. 특히 트레드밀 운동과 같은 지구성 운동은 조직의 항산화 능력에 긍정적 영향을 미치게 되고, 골격근과 심장근과 같은 조직의 항산화 능력을 향상시키며 이를 통해 고강도 운동시 산소섭취량의 증대에 의해 유발되는 활성산소에 대한 세포의 중요한 보호 작용을 증가시킨다고 보고되고 있다(Ji, 1993; Jenkins, 1988).

또한 지속적이고 규칙적인 운동은 골격근 내 기질사용과 효소 활성의 변화, 세포질 내 다양한 대사 관련 단백질 및 유전자의 발현 변화 등과 같은 세포의 다양한 생화학적 기전에 긍정적으로 작용한다고 보고되어 고지혈증 환자들을 위한 다양한 방법의 운동은 그 중요성이 높아지고 있는 것이 현실이다(Moon, 2006; Lee 등, 2002). 그리고 지구력 운동은 골격근에서 SOD와 GPx의 활성도(activity)를 증가시키는 것으로 알려져 있다. 그리고 SOD와 GPx의 활성도 그리고 Catalase의 경우에도 트레이닝에 의한 골격근 내 활성도가 감소되는 것으로 알려져 있다(Zembron-Lacny 등, 2008; Laughlin 등, 1990). 이처럼 선행 연구에서 골격근 내 항산화 효소의 활성과 관련하여 지구력 운동이 효과적인 항산화효과를 가져온다고 보고하였고, 또한 항산화 효소의 활성도가 증가하지 않더라도 그 효소의 발현(protein expression)이 증가하거나 또는 항산화 효소의 발현이 증가하지 않더라도 그 효소의 활성도가 증가하면 항산화 방어체계는 그만큼 증가하기 때문에 골격근 내 항산화 효소의 발현 정도를 분석하는 것은 항산화 방어체계에 대한 운동의 역할을 알아보는 데 더 많은 도움을 줄 것이라 보고하였다(Kim 등, 2011).

기존의 많은 선행 연구들에서 고지혈증 환자를 위한 운동과 이에 따른 혈액 성분의 변화, 항산화 효소 및 활성 산소에 미치는 효과와 운동에 따른 변화를 보고하였지만, 선행 연구들에 대한 이론적 정리와 함께 고지혈증이 유발된 흰쥐를 대상으로 한 트레드밀 운동 적용이 고지혈증 관련 혈액 성분, 항산화 효소와 활성 산소에 어떠한 영향을 미치는 지를 관찰하여 트레드밀 운동의 고지혈증 개선효과에 대한 기전을 설명하는데 보다 명확한 기초자료를 제공하고자 연구를 실시하였다.

II. 연구 방법

1. 실험 대상

본 실험에 사용한 실험동물은 생후 3주, 체중 50g의 Spraque-Dawley계 웅성 흰쥐를 사용하였다. 실험을 위해 일반 고형사료를 섭취하는 정상식이군(General diet; GD, n=10), 전체 칼로리의 51%를 차지하는 고지방식이를 만든 후, 고지방식이군(High fat Diet; HD, n=10)과 고지방식이군+트레드밀 운동군(High fat diet+Treadmill exercise; HDT, n=10)의 3군으로 나누어 실험을 실시하였다. 각 실험군은 고지방식이로 사육하기 전 1주일간 고형배합사료로 적응시킨 후 8주간 고지방식이로 다시 사육하였다. 사육기간 동안 매일 충분한 양의 물과 식이를 무제한 공급하였고, 사육실의 온도는 $25\pm 2^{\circ}\text{C}$, 습도는 $65\pm 5\%$ 로 유지하고 표준 사육장 내에서, 일정한 조도와 광주기 및 암주기를 12시간으로 조절하여 흰쥐의 생활 주기에 맞추어 주었다.

2. 트레드밀의 적용

실험동물에 적용된 운동은 소동물용 treadmill (JD-A-09 type, JEUNGDO Bio & Plant Co., Ltd., 한국)을 이용하였고, HDT군의 경우 처음 3주간은 트레드밀 상에서 경사도 0%로 초기 10분간 10m/min 속도로 달리게 하였고, 그 후 20m/min 속도로 20분간 총 30분 동안의 트레드밀 운동을 실시하였다. 그리고 마지막 3주간은 트레드밀 상에서 경사도 0%로 초기 10분간 10m/min 속도로 달리게 하였고, 그 후 20m/min 속도로 50분간 총 60분 동안의 트레드밀 운동을 실시하였다. 그리고 실험 기간 동안 적용된 운동의 빈도는 주당 5회로 동시간대에 적용하였다(Power 등, 1993).

GD군과 HD군의 경우에는 HDT군의 트레드밀 운동 시간대에 동일한 트레드밀 위해서 트레드밀의 작동 없이 자유롭게 활동하도록 두었다.

3. 혈액 성분, 항산화 효소 및 활성 산소의 측정 및 분석방법

6주간 트레드밀 운동이 끝난 실험동물을 CO_2 gas로 마취시킨 후 복부정중선을 따라 개복한 후 복부대동맥

으로부터 혈액을 채취한 후 즉시 4°C 에서 3,000rpm으로 20분간 원심 분리하여 혈장을 분리한 후 분석 전까지 -80°C 에 냉동보관 하였다.

혈당, 유리지방산, 중성지방 및 콜레스테롤은 효소법을 이용한 kit (Sigma Chemical Co, MO, 미국)를 사용하였으며, 인슐린 농도는 Enzyme immuno-assay ELISA 분석용 kit (Mercodia AB, Uppsala, 스웨덴)으로 측정하였다.

혈청 지질과산화(lipid peroxide)의 함량은 혈청에 1/12N H_2SO_4 와 10% 인텅스텐산(phosphotungstic acid)을 가하여 20°C 에서 5분간 사전배양한 후 원심분리하여 침전물인 혈청단백질만 취하여, 그 함량을 혈청 1ml 당 말론디알데하이드(malondialdehyde, MDA) nmole로 표시하였다. 크산틴 산화효소(xanthine, XO) 활성의 측정은 0.1M 인산칼륨 완충액(pH 7.5) 3.0ml에 효소액 0.4ml를 가하여 기질인 $60\mu\text{M}$ 크산틴 나트륨(sodium xanthine) 0.1ml를 가하여 37°C 에서 반응시킨 후 표준검량선에 준하여 활성도를 산출하였고, 효소 활성의 단위는 1분당 1ml 단백질이 생성하는 요산(uric acid)의 양을 nmole로 나타내었다. 글루타티온 리덕테이스(glutathione reductase, GRD) 활성의 측정은 반응액 중 0.1M 인산칼륨 완충액(pH 7.5)에 0.94mM EDTA, 4.6mM 산화형 글루타티온(oxidized glutathione), 0.16mM NADPH 및 효소액을 가한 후 37°C 에서 10분 동안 반응시켜 감소되는 NADPH의 양을 34nm에서 흡광도를 측정하고 표준검량선에서 산정하였고, 효소활성의 단위는 1분당 1mg 단백질이 생성하는 환원형 글루타티온(reduced glutathione)의 양을 nmole로 표시하였으며, 간조직 중 글루타티온(glutathione, GSH) 함량 측정은 간조직 균등액(homogenate) 0.5ml에 4% 설포살리실산(sulfosalicylic acid) 0.5ml를 가하고 2500rpm에서 10분간 원심분리 한 후 상정액 0.3ml를 취하여 이황산염 시약(disulfide reagent) 2.7ml를 넣고 20분간 방치한 후 412nm에서 흡광도를 측정하고 표준검량선에 준하여 산정하였다(Ko, 2002).

4. 통계 처리

본 실험의 자료에 대한 통계처리는 PASW statics windows (ver 18.0)를 이용하였고, 각 군의 측정 변인별 평균과 표준편차를 산출하였다. 그리고 각 군 간의 유

의성 검증을 위해 일원배치 분산분석(one-way ANOVA)을 실시하였고, 각 군 간에 유의한 경우 사후검정으로 Duncan's multiple range test를 실시하였다. 유의수준 α 는 .05로 하였다.

III. 결 과

1. 고지혈증 관련 혈액 성분 분석

본 연구에서 고지방식이에 의한 고지혈증 유발과 규칙적인 트레드밀 운동이 혈중 지질, 포도당 및 인슐린 농도에 미치는 영향을 살펴본 결과는 다음과 같다.

고지혈증 관련 혈액 성분 분석 결과, 혈장 중성지방 농도는 고지방식이군이 정상식이군에 비해 높게 나타나 고중성지방혈증의 유도가 확인되었고($p<.05$), 트레드밀 운동에 의하여 정상식이군의 수준까지 개선되었다($p<.05$). 혈장 총콜레스테롤 농도에서는 고지방식이군이 정상식이군에 비해 높은 수치를 나타내어 고콜레스테롤혈증의 유도가 확인되었고($p<.05$) 트레드밀 운동에 의해 정상식이군에 비해서는 높은 수치지만 정상식이군에 가까운 수준까지 고콜레스테롤혈증이 개선되었다($p<.05$).

혈장 포도당 농도에서는 고지방식이군이 정상식이군에 비해 높은 수치를 나타내었고($p<.05$) 트레드밀 운동에 의하여 정상식이군의 수준까지 개선되었다

($p<.05$). 혈장 인슐린 농도는 고지방식이군이 정상식이군에 비해 높은 수치를 나타내었고($p<.05$) 트레드밀 운동에 의해 정상식이군에 비해서는 높은 수치지만 정상식이군에 가까운 수준까지 개선되었다($p<.05$).

2. 항산화효소 및 활성산소 분석

본 연구에서 고지방식이에 의한 고지혈증 유발과 규칙적인 트레드밀 운동이 항산화효소와 활성 산소의 생성에 미치는 영향을 살펴본 결과는 다음과 같다.

항산화효소와 활성산소 분석 결과, 항산화효소의 반응과 관련된 GSH와 GRD의 변화에서 GSH는 고지방식이군이 정상식이군에 비해 낮은 수치를 나타내었고($p<.05$), 트레드밀 운동에 의하여 정상식이군의 수준까지 개선되었다($p<.05$). 그리고 GRD에서는 고지방식이군이 정상식이군에 비해 낮은 수치를 나타내었고($p<.05$) 트레드밀 운동에 의해 정상식이군의 수준까지 개선되었다($p<.05$).

지질과산화 및 활성산소의 반응과 관련된 XO와 MDA의 변화에서는, XO의 경우 고지방식이군이 정상식이군에 비해 높은 수치를 나타내었고($p<.05$) 트레드밀 운동에 의하여 정상식이군보다 낮은 수준까지 개선되었다($p<.05$). 그리고 MDA에서는 고지방식이군이 정상식이군에 비해 높은 수치를 나타내었고($p<.05$) 트레드밀 운동에 의하여 정상식이군의 수준까지 개선되었다($p<.05$).

Table 1. Effects of treadmill exercise on plasma metabolic chemicals and insulin in high fat diet and treadmill exercise induced hyperlipidemic rats

Group	Triglyceride (mg/dl)	Total cholesterol (mg/dl)	Free fatty acid (μ Eq/l)	Glucose (mg/dl)	Insulin (μ U/ml)
GD	47.00 \pm 2.58	75.80 \pm 4.44	645.50 \pm 74.64	95.00 \pm 7.54	27.90 \pm 7.17
HD	60.70 \pm 2.62	110.20 \pm 7.81	717.80 \pm 41.10	133.70 \pm 12.12	42.40 \pm 7.33
HDT	49.50 \pm 3.02	83.40 \pm 4.57	689.80 \pm 70.66	104.30 \pm 19.48	35.30 \pm 6.42
F	70.245*	96.299*	3.253	38.713*	10.758*
Duncan	GD,HDT<HD	GD<HDT<HD		GD,HDT<HD	GD<HDT<HD

The values are reported as the mean \pm SE. * $p<.05$

Table 2. Effects of treadmill exercise on GSH, GRD, XO and MDA in high fat diet and treadmill exercise induced hyperlipidemic rat

Group	GSH ($\mu\text{mole/g tissue}$)	GRD (glutathione nmole/mg protein/min)	XO (urci acid nmole/mg protein/min)	MDA (nmole/ml)
GD	22.77 \pm 2.03	20.46 \pm 2.93	3.33 \pm .48	30.39 \pm 4.06
HD	14.12 \pm 2.15	13.6 \pm 2.93	3.92 \pm .39	45.35 \pm 6.01
HDT	21.87 \pm 2.40	21.42 \pm 2.69	3.02 \pm .35	33.57 \pm 4.23
F	46.454*	22.186*	12.078*	26.408*
Duncan	HD<HDT,GD	HD<GD,HDT	HDT,GD<HD	GD,HDT<HD

The values are reported as the mean \pm SE. *p<.05

IV. 고찰

본 연구는 흰쥐를 대상으로 고지방식을 통해 고지혈증을 유발시킨 후 트레드밀 운동을 적용하여 혈액 성분과 항산화효소 및 활성산소의 변화에 미치는 영향을 확인하였다.

혈액 성분과 관련된 연구 결과에서는 고지방식이군에서 혈중 중성지방과 총콜레스테롤의 농도가 정상식이군에 비해 높게 나타나 고지혈증이 유발됨을 확인할 수 있었는데, 이는 Lee 등(1994)과 Chen 등(1992)의 선행 연구와 유사한 결과로서 장기간의 고지방식이가 고지혈증을 유발한 것을 알 수 있었다. 그리고 이렇게 장기간 고지방식으로 인해 유도된 고중성지방혈증과 고콜레스테롤혈증은 트레드밀 운동에 의해 정상군과 비슷한 수준으로 개선되었는데 이는 수영 운동 등의 규칙적인 운동 적용이 고지혈증 개선에 효과적이라고 보고한 Ko 등(1998)과 Lee 등(1998)의 연구와 유사한 결과로서 트레드밀 운동이 고지혈증 흰쥐의 혈액 성분 개선에 효과적임을 확인할 수 있었다.

그리고 본 연구에서는 8주간의 고지방식이가 정상식이군에 비해 고혈당과 고인슐린혈증의 유발을 확인할 수 있었는데, 이는 Zorzano 등(1986)의 연구에서와 같이 장기간의 고지방식에 의해 말초조직에 인슐린 저항성을 유발시킨 결과라고 생각된다. 그리고 이렇게 유발된 고혈당 및 고인슐린혈증 역시 트레드밀 운동을 통해 정상식이군에 가깝게 개선되었는데 이러한 결과는 말초조직의 인슐린 저항성 감소와 당원합성 효소의 기능

향진 및 당수송체 발현증가로 인해 나타난 것이라 생각된다(Fushiki 등, 1989; Zorzano 등, 1986; Lee 등, 1998).

항산화효소와 관련된 연구 결과에서 GSH와 GRD는 고지방식이군이 정상식이군에 비해 낮은 수치를 나타내었지만 트레드밀 운동을 통해 정상식이군의 수준까지 개선됨을 확인할 수 있었는데, 이는 암컷 개를 대상으로 트레드밀 운동을 55주 동안 실시한 결과, 간과 장딴지근에서 총 글루타티온이 증가하였고 GRD가 모든 다리 근육에서 유의하게 증가한 결과와 유사한 결과라 할 수 있다. 그리고 규칙적인 신체적 운동의 반복이 항산화 능력의 증가를 가져오고 활성산소의 유해 반응을 감소시킨다고 보고한 Sen 등(1992)의 연구와 유사한 결과로서 본 연구 역시 고지방식을 통해 유발된 고지혈증 흰쥐는 신체의 항산화효소의 감소가 발생하였지만, 트레드밀을 통한 지속적인 운동이 항산화효소의 반응을 유의하게 증가시켜 이를 통해 활성산소의 감소가 나타남을 알 수 있었다. 그리고 Ji와 Fu (1992)은 다양한 강도의 트레드밀 운동을 흰쥐에서 적용시킨 후 흰쥐의 근육에서 글루타티온 산화를 측정한 결과, 지속적인 트레드밀 운동이 흰쥐의 가쪽넓은근에서의 글루타티온 산화 증가를 가져온다고 보고하였는데, 이는 본 연구에서 고지혈증이 유발된 흰쥐에서 트레드밀 운동의 적용이 혈액에서 글루타티온의 산화 증가를 가져오고 이를 통해 활성 산소의 감소가 나타난 것과 같은 결과라 할 수 있다.

MDA는 활성산소의 작용에 의해 발생하는 세포 손상 부산물로서 활성산소 증가로 인한 세포막의 손상시에

혈청 유출의 증가로 나타난다(Jenkins, 1988). 활성산소에 의해 세포막에서 생성되는 과산화지질은 세포막을 비특이적으로 공격하고 노화색소의 축적과 최종적으로 세포 사멸을 초래하는데, 이러한 과정에서 발생하는 부산물인 과산화지질은 MDA의 측정을 통해 그 정도를 알아 볼 수 있다고 보고된다(Zima 등, 1997). 본 연구에서는 고지방식이군이 정상식이군에 비해 MDA의 높은 수치를 나타내어 고지혈증 유발 흰쥐가 정상 흰쥐에 비해 활성 산소에 의한 유해 작용이 높게 나타남을 알 수 있었다. 그러나 트레드밀 운동을 적용한 결과, 고지방식이군의 높은 MDA 수치는 정상식이군까지 개선됨을 확인하여 트레드밀을 이용한 규칙적인 운동이 활성 산소에 의한 유해 작용 억제에 긍정적으로 작용함을 알 수 있었다. 그리고 이러한 결과는 Alessio와 Goldfarb (1988)의 수컷 흰쥐를 이용한 18주간의 지구성 트레이닝 운동이 MDA의 감소를 나타낸다고 보고한 연구와 유사한 결과로서 본 연구를 통해 트레드밀 운동이 정상식이 흰쥐뿐만 아니라 고지방식이를 통해 유발된 고지혈증

V. 결론

본 연구에서는 규칙적인 6주간의 트레드밀 운동이 고지혈증과 관련된 혈액 성분과 항산화효소 및 활성산소의 반응에 미치는 영향을 규명하고자 실험을 실시한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

고지방식이는 혈장에서의 중성지방, 총콜레스테롤, 포도당 및 인슐린의 농도를 증가시켰지만, 트레드밀 운동은 중성지방, 총콜레스테롤, 포도당 및 인슐린의 농도를 정상식이 수준까지 개선시켰고, 이러한 결과는 다른 선행연구와도 같은 결과로서 트레드밀 운동과 같은 규칙적인 저강도의 운동은 혈장 혈액성분의 개선에 효과적임을 알 수 있었다.

그리고 고지방식은 정상식이에 비해 항산화효소와 관련된 GSH와 GRD의 감소, 활성산소의 반응과 관련된 XO와 MDA의 증가를 나타내었지만 트레드밀 운동은 고지방식으로 인해 감소된 GSH와 GRD를 정상식이 수준까지 상승시켰고, 또한 증가된 XO와 MDA를 정상식이 수준까지 낮추어 주는 개선효과를 나타내었고, 이러한 결과는 다른 선행연구와도 같은 결과로서

흰쥐의 MDA 감소에 효과적임을 알 수 있었다.

XO의 경우, Choi (1995)는 실험동물에 수영과 Rota-rod 운동을 적용하였을 때, 급성의 운동부하에 따라 지질과산화의 생성에 관여하는 크산틴 산화효소(xanthine oxidase, XO)의 활성이 증가한다고 보고하였는데, 본 연구에서는 고지방식이군에서 XO의 증가가 나타나는 것으로 보아 고지혈증과 관련된 다양한 신체적 변화 역시 XO의 활성을 증가시키는 것을 알 수 있었다. 그리고 Alessio (1993)는 산화적 스트레스는 운동시 유리기 활성과 관련이 있고 중강도의 규칙적인 훈련을 실시한 피험자에서 XO와 MDA에 대한 내성이 증가한다고 보고하였는데, 이러한 보고는 본 연구에서 6주간의 트레드밀 운동이 고지방식이를 통해 유발된 고지혈증 흰쥐의 XO의 감소를 나타내는 것과 유사한 연구결과이다. 즉 6주간의 규칙적인 트레드밀 운동은 고지방식으로 유발된 고지혈증 흰쥐의 활성산소의 반응과 관련된 XO와 MDA의 감소에 효과적인 운동임을 알 수 있는 결과라 할 수 있다.

트레드밀 운동과 같은 규칙적인 저강도의 운동은 항산화효소의 활성화 증진 및 활성 산소 반응 억제에 효과적임을 알 수 있었다. 이에 트레드밀을 이용한 규칙적인 운동은 고지혈증 흰쥐의 혈액 성분 변화와 항산화 작용의 증진 및 증가된 활성 산소의 억제를 위해 효과적인 운동이라 생각된다.

참고문헌

- Alessio HM, Goldfarb AH. Lipid peroxidation and scavenger enzymes during exercise: Adaptive response to training. *J Appl Physiol.* 1988;64(4):1333-6.
- Alessio HM. Exercise induced oxidative stress. *Med Sci Sports Exerc.* 1993;25(2):218-24.
- Chen MT, Kaufman LN, Spennetta T et al. Effects of high fat-feeding to rats on the interrelationship of body weight, plasma insulin, and fatty acyl-coenzyme A, esters in liver and skeletal muscle. *Metabolism.* 1992;41(5):564-9.

- Choi JW, Kim DY, Kim HY et al. The mechanism of lipid peroxide formation of physical exercise in rats. *Journal of Environmental Science and Technology Research Center*. 1995;5(1):47-54
- Davis J, Murphy M, Trinick T et al. Acute effects of walking on inflammatory and cardiovascular risk in sedentary post-menopausal women. *J Sports Sci*. 2008;26(3):303-9.
- Fushiki T, Wells JA, Tapscott EB et al. Changes in glucose transporters in muscle in response to exercise. *Am J Physiol*. 1989;256(5 Pt 1):E580-7.
- Hulver MW, Hounard JA. Plasma leptin and exercise: recent findings. *Sports Med*. 2003;33(7):473-82.
- Jenkins RR. Free radical chemistry: relationship to exercise. *Sports Med*. 1988;5(3):156-70.
- Ji LL. Antioxidant enzyme response to exercise and aging. *Med Sci Sports Exerc*. 1993;25(2):225-31.
- Ji LL, Fu R. Responses of glutathione system and antioxidant enzymes to exhaustive exercise and hydroperoxide. *J Appl Physiol*. 1992;72(2):549-54.
- Kim SH, Ahn NY, Hong CB et al. The effect of acute and prolonged endurance swim exercise on antioxidant and mitochondrial enzymes in rat skeletal muscle. *Exercise Sci*. 2011;20(4):359-66.
- Ko KJ, Kim TU, Shin GS et al. The response to serum lipids and antioxidant enzymes in hyperlipidemia rats by short-term swimming exercise. *The 98 Seoul International Sport Science Congress Proceedings*. 1998:762-75.
- Ko KJ. The effect of swimming exercise by load on blood components, antioxidant enzymes and reactive oxygen in rats. *Journal of Korean Society for the Study of Physical Education*. 2002;7(3):247-55
- Laughlin MH, Simpson T, Sexton WL et al. Skeletal muscle oxidative capacity, antioxidant enzymes and exercise training. *J. Appl. Physiol*. 1990;68:2337-43.
- Lee JH, Son SH, Kim JY et al. Effect of high-fat diet on the glycogen synthase activity of the different skeletal muscles in rats. *Diabetes & Metabolism Journal*. 1994;18(3):215-21.
- Lee JS, Bruce CR, Spurrell BE et al. Effect of training on activation of extracellular signal-regulated kinase 1/2 and p38 mitogen-activated protein kinase pathways in rat soleus muscle. *Clin Exp Pharmacol Physiol*. 2002;29(8):655-60.
- Lee MN, Kim MY, Ha JW et al. The effect of hypercholesterolemia and hypertension on long-term renal allograft survival. *Journal of the Korean Surgical Society*. 2002;63(6):493-7.
- Lee SK, Kim EJ, Kim YW. Effect of hyperglycemia and hyperlipidemia on cardiac muscle glycogen usage during exercise in rats. *Yeungnam University Journal of Medicine*. 1998;15(1):29-35.
- Moon JH. Effect of aerobic and resistance exercise to hyperlipidemia. *Health and Sports Medicine*. 2006;8(2):137-43.
- Pathan AR, Gaikwad AB, Wiswanad B et al. Rosiglitazone attenuates the cognitive deficits induced by high fat diet feeding in rats. *Eur J Pharmacol*. 2008;589(1-3):176-79.
- Power SK, Criswell D, Lawler J et al. Rigorous exercise training increases superoxide dismutase activity in ventricular myocardium. *AM J Physiol*. 1993;265(6 Pt 2):H2094-8.
- Sen CK, Marin E, Kretschmar M et al. Skeletal muscle and liver glutathione homeostasis in response to training, exercise and immobilization. *J Appl Physiol*. 1992;73(4):1265-72.
- Turner N, Bruce CR, Beale SM et al. Excess lipid availability increases mitochondrial fatty acid oxidative capacity in muscle: evidence against a role for reduced fatty acid oxidation in lipid-induced insulin resistance in rodents. *Diabetes*. 2007;56(8):2085-92.
- Zembron LA, Ostapiuk J, Slowinska LM et al. Pro-antioxidant ratio healthy men exposed to muscle-damaging resistance exercise. *J. Physiol. Biochem*. 2008;64(1):2

7-35.
Zima T, Tesar V, Stipek S et al. The influence of cyclosporin on lipid peroxidation and superoxide dismutase in adriamycin nephropathy in rats. *Nephron*. 1997;75(4): 464-8.

Zorzano A, Balon TW, Goodman MN et al. Glycogen depletion and increased insulin sensitivity and responsiveness in muscle after exercise. *Am J Physiol*. 1986;251(6 Pt 1):664-9.