

운동 강도의 차이가 제2형 당뇨병 환자와 비만인의 초과산소 섭취량, 안정 시 대사량 및 생화학적 변인에 미치는 영향

곽이섭* · 구우영 · 유병인 · 진영완¹ · 최경석² · 조준용³ · 우진희⁴ · 황혜진⁵

동의대학교 체육학과, ¹동의대학교 특수체육학과, ²동의대학교 태권도학과, ³한국체육대학교 운동생화학실
⁴동아대학교 체육학과, ⁵동의대학교 식품영양학과

Received October 1, 2008 / Accepted October 24, 2008

Effects of Different Exercise Intensity on Excess Post Exercise Oxygen Consumption (EPOC), Resting Metabolic Rate (RMR), and Biochemical Variables in Obese and NIDDM Patients. Yi-Sub Kwak*, Woo-Young Ku, Byung-In Yoo, Young-Wan Jin¹, Kyung-Suk Choi², Joon-Yong Cho³, Jin-Hee Woo⁴ and Hye-Jin Hwang⁵. Department of Physical Education, Dong-Eui University, Busan 614-714, Korea, ¹Department of Special Physical Education Dong-Eui University, Busan 614-714, Korea, ²Department of Tae Kwon Do, Dong-Eui University, Busan 614-714, Korea, ³Lab of Exercise Biochemistry, Korea National Sports University, ⁴Department of Physical Education, Dong-A University, Busan 604-714, Korea, ⁵Department of Food and Nutrition, Dong-Eui University, Busan 614-714, Korea - The purpose of this study was to evaluate the effect of various exercise intensity on Excess post exercise energy expenditure (EPEE), Resting Metabolic Rate (RMR), thyroid hormonal changes and biochemical variables in obese and NIDDM patients. The subject of the present study were divided into four groups and four periods: trained (T; n=10), control (C; n=10), obese (O; n=10) and NIDDM (N; n=10) group. And the periods were divided as follows; Resting (RE), Maximal (MA), High intensity (HI), and Low intensity (LI). There was significant difference in RMR among different intensity of exercise. in the T ($p<0.05$) not in the C, O, and N groups. however, there was no significant different percent body fat among all groups. In the energy expenditure, there was significant different among C, O, N groups compare to T in HIEE (high intensity exercise energy expenditure), LIEE (low intensity exercise energy expenditure), HIEEPE (high intensity exercise energy expenditure post exercise) and LIEEPE (low intensity exercise energy expenditure post exercise). In the hormonal level, there was significant different in T4 level in the T group at LI period and there was also significant difference in T4, Free T3, & Free T4 levels in T group at LI period, however there was no significant different in the O and N groups except LI period. In the fatigue variables, there was significant different in lactate and ammonia levels in the N group in the period of HI compare to C. The present cross-sectional study was design to investigate the relationship between exercise intensity and RMR in four groups. The focus of this investigation was to compare RMR in aerobically trained (T), control (C), obese (O) and NIDDM (N) group. The relationship among RMR, exercise intensity and percent body fat would best be investigated using Meta Lyzer 3B, MMX3B and body composition analyzer. Each subject completed measurement of percent body fat, RMR, hormone in the period of maximal oxygen uptake exercise (MA), high intensity exercise (HI), and low intensity exercise (LI). From the results, High and Low intensity of exercise, there was a trend for an increased RMR (kcal/day) in the trained groups and control group (in case of LI) not for the obese and N groups. This is best explained not by the reduced percent body fat but by the highly induced energy expenditure (during exercise and post exercise energy expenditure) and increased T4, Free T3, and Free T4 hormonal levels in the low intensity exercise for the T group and sometimes C group.

Key words : Resting metabolic rate (RMR), excess post exercise oxygen consumption (EPOC), NIDDM

서 론

안정 시 대사량은 일일 에너지 소비량의 60~70%를 차지하므로 안정 시 대사량의 증가는 비만을 포함하는 성인병 예방과 치료에 중요한 변인으로 여겨져 왔다. 안정 시 대사량

은 여러 가지 변인 등에 의해 변화하는데 이 중 운동이 큰 영향력을 주는 것으로 알려져 있다[13].

운동이 대사량에 미치는 영향에 대해선 많은 결과들이 알려져 있는데, 규칙적인 운동이 체지방량을 줄이고 체지방량을 늘려 대사량을 증가시킨다는 연구[16], 연령변화에 따른 근력운동이 안정 시 대사율의 증가에 영향을 미친다는 연구[10], 대사량 변화에 대한 운동과 다이어트의 복합작용이 안정 시 대사량 증가에 대한 연구[1], 일상 생활 습관의 변화가

*Corresponding author

Tel : +82-51-890-1546,2156, Fax : +82-51-890-2157
E-mail : ysk2003@deu.ac.kr

안정 시 대사량에 미치는 영향에 관한 연구, 근력운동을 포함하는 저항운동이 음식의 열량효과에 미치는 효과에 대한 연구보고, 활동적인 남성에게 있어 연령의 증가에 따른 대사량의 감소가 통제군에 비해 더디게 일어난다는 연구보고와 여성에게 있어 운동의 방법과 강도가 안정 시 대사량에 미치는 데에 관한 연구보고가 있었으며, 이 연구 결과 수행된 운동의 형태보다는 운동의 강도가 안정 시 대사량에 더 많은 영향을 미치는 것으로 보고하고 있다.

이 외에도 안정 시 대사량에 영향을 주는 요인으로는 질병, 스트레스, 외상, 감염 등은 대사항진 반응을 촉진하는데 이는 정도에 따라 촉진시키며, 외상의 경우 외상의 정도에 따라 대사반응 강도는 증가된다.

운동 활동 중에 나타나는 산소 소비량은 식이섭취에 비해 상대적으로 적은 값이지만 운동 후에 나타나는 초과산소 섭취량과 증가된 안정 시 대사량 값을 포함하여 적용한다면 상당한 양이 되고 비만과 당뇨병 환자에게서 나타나는 대사값이 일반인 및 운동선수들과는 다르게 나타나므로 운동 활동에 따른 대사적 차이에 대한 연구가 절실히 요구된다.

이제까지 운동과 안정 시 대사량 및 운동과 초과산소 섭취에 대한 일반인에 대한 연구는 대부분 이루어 졌고, 고령자를 대상으로도 이루어 졌는데, 일반적으로 고령화된 피험자들 사이의 안정 시 대사량 차이가 적다는 최근 연구결과에도 불구하고[7], 실제로 운동은 연령의 증가에 따라서 감소하는 안정 시 대사량을 회복시켜주는 역할을 하고[13], 신체활동 수준은 체중과 역의 상관관계가 있어, 규칙적인 활동으로 체중을 유지하는 것이 대사량 증가에 기여한다고 한다[5].

하지만 무엇보다도 운동에 의한 제지방량을 늘리는 것이 안정 시 대사량 증가에 50~70% 정도 기여한다고 하는 많은 연구들이 보고되고 있다[14,17,18].

한편, 제2형 당뇨병은 성인형 또는 인슐린 비의존형 당뇨병(Non-insulin dependent diabetes mellitus, NIDDM)으로 비만이 원인인데, 이 질환은 인슐린이 제대로 작용을 하지 않거나 인슐린 감수성(insulin sensitivity)이 둔화되어 당대사의 장애를 초래하는 것으로 알려진다[8].

인슐린 저항성과 간에서의 글루코스 과다 분비는 제2형 당뇨병의 주된 특징인데, 특히 간에서의 글루코스 과다 분비는 고혈당증(hyperglycemia)의 원인이 된다. 이는 콜레스테롤 대사 장애와도 관련되어 VLDL, TG, LDL의 증가와 HDL의 감소를 보이며, 요산과다혈증과 통풍과도 연관되어 있다[2].

당뇨병 환자에게 있어 규칙적인 운동은 치료와 관리에 있어 중요한 부분이며 당뇨 중 특히 제2형 당뇨병에 있어서 더욱 중요하다. 규칙적인 운동은 당뇨병 환자에게 있어 인슐린의 도움 없이 탄수화물을 사용할 수 있는 능력을 증가시키므로 제2형 당뇨병 환자 치료에 있어서는 반드시 필요한 것으로 알려져 있다[8].

특히 고강도 보다는 낮은 강도의 운동이 제2형 당뇨병 환

자들에게 인슐린 저항성을 증가시켜 당뇨병 치료에 효과적인 것으로 알려져 있다. 결과적으로 당뇨병 환자에 대한 운동 강도의 변화에 따른 에너지 소비량과 운동 후 EPOC 및 안정 시 대사량의 변화를 과학적으로 규명하는 것이 운동처방의 중요한 근거를 마련한다고 본다. 당뇨병자에게 있어 규칙적인 운동은 당뇨병의 치료와 관리는 물론 예방에 있어서도 중요한 부분이며 당뇨 중 특히 제2형 당뇨병에 있어서 중요하게 고려되는 요인이다. 규칙적인 운동은 당뇨병 환자에게 있어 추가적인 인슐린 호르몬의 처치 없이 조직에서 탄수화물을 사용할 수 있는 능력을 증가시키므로 제2형 당뇨병 환자 치료에 있어서는 반드시 필요한 것으로 알려져 있다.

운동 중에서도 고강도운동 보다는 저강도의 운동이 제2형 당뇨병 환자들에게 인슐린 저항성을 증가시켜 당뇨병 치료에 효과적인 것으로 알려져 있다. 결론적으로 당뇨병 환자에 대한 운동 강도의 변화에 따른 에너지 소비량과 운동 후 EPOC 및 안정 시 대사량의 변화를 훈련군, 비만군과 함께 비교 분석하여 비만군을 포함하는 제2형 당뇨병자에게 운동을 이용한 운동처방에 중요한 근거를 마련하는 것이 연구의 목적이라 할 수 있다.

재료 및 방법

연구 대상

본 연구를 수행하기 위해 5년 이상 규칙적인 운동을 수행하고 현재에도 꾸준히 운동 중인 체육계열 전공출신의 성인 남성 10명(체지방율, 최대산소섭취량 등을 함께 고려함)과 비슷한 연령과 조건을 가진 규칙적인 운동에 참여하지 않는 성인남성 10명, 비슷한 연령과 조건의 비만인 10명 및 비슷한 연령과 조건의 당뇨병 환자 10명 총 40명을 대상으로 연구를 수행하였다(Table 1).

사용 도구

본 연구의 목적을 수행하기 위해 다음과 같은 실험도구를 이용하였다.

1. 항온·항습 장치가 겸비된 운동생리학 실험실
2. CAS 전자식 저울: 피험자들의 0.01 kg까지 측정되는 이

Table 1. The Subjects

Group	Year (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	Percent body fat (%)	Muscle mass (kg)
T	25.3±1.39	174.8±2.31	66.7±2.93	12.1±3.08	55.1±3.34
C	25.8±1.52	171.3±2.74	70.2±3.56	22.7±4.23	51.3±4.56
O	24.5±1.24	172.4±3.31	81.4±4.54	31.4±3.63	46.5±3.18
N	26.7±2.64	166.7±4.66	84.5±5.58	35.7±5.81	41.2±5.29

Values are Mean±SD.

T: Trained, C: Control, O: Obese, N: NIDDM

저울을 이용하여 신장 및 체중을 측정하였다. 여러 번 측정 후 평균치를 산정하여 사용하였다.

3. InBody 720: 체성분 검사인 InBody 720을 이용하여 체 성분을 검사하고 본 연구에 필요한 체지방율(%)을 조사하였다.

4. 본 연구에서 시기마다 측정되는 갑상선 호르몬(T3, T4, Free T3, Free T4, & TSH)을 측정하기 위해 PACKARD사의 γ -counter (COBRA 5010 Quantum, USA)를 사용하여 RIA 방법으로 분석하였다.

5. MMX3B: 본 실험에서 가장 중요한 자료인 운동 시 및 운동 후 대사량의 측정을 이 장비로 실시하였으며, 최대산소 섭취량은 본 장비에 Bruce protocol을 입력하여 트레드밀이 자동 제어되도록 하여 이용하였다.

6. Meta Lyzer 3B: 각 운동 처치 후 안정 시 대사량을 측정하는데 사용되었다.

연구 절차

본 실험에 앞서 피험자 교육과 실험 기간 중의 식이, 약물, 운동 등의 통제를 철저히 하였으며, 예비 실험을 거쳐 본 실험에 맞는 피험자를 확정하였고, 예비 실험 과정과 본 실험 준비 과정 동안, MMX3B 장비의 소모품 구입 및 점검과 calibration을 철저히 실시하였으며, 채혈 시 필요한 간호사 선정과 원심분리 및 검체분석 업체를 선정하였다.

본 연구를 수행하기 위해 연구 대상 40명을 체지방과 안정 시 산소섭취 수준 및 안정 시 대사량을 측정하였고(Day 1), 최대산소 섭취량을 측정하여 근육에서 필요한 산소 섭취의 한계와 무산소 역치를 분석하여 체력수준을 파악하고, 최대산소 섭취량 테스트가 운동 후 산소섭취량 및 동원되는 에너지 기질과 다음날 아침 안정 시 대사량에 미치는 효과를 분석하였다(Day 2).

특정 기간 후(최소 일주 후) 최대산소 섭취량의 75%의 고강도로 운동했을 경우 운동 후 초과산소섭취량 및 동원되는 에너지 기질과 다음날 아침 안정 시 대사량에 미치는 효과를 규명하였고(Day 3), 일주 후 최대산소 섭취량의 40%의 저강도로 운동하였을 경우 운동 후 초과산소섭취량 및 동원되는 에너지 기질과 다음날 아침 안정 시 대사량에 미치는 효과를 일반인, 훈련군, 비만군 및 당뇨군에서 규명하여(Day 4), 서로 다른 강도의 달리기 운동이 체력수준이 서로 다른 일반인, 훈련군, 비만군 및 당뇨군에서 운동 후 초과산소 소비량과 호흡성분에 미치는 영향과 다음날 아침 안정 시 대사량에 미치는 효과를 비교 분석하여 훈련 상태와 운동 강도의 차이가 비만과 당뇨군의 운동 후 초과산소 소비량과 에너지 기질 동원 및 안정 시 대사량에 미치는 효과를 분석하여 비만과 당뇨의 처치와 치료에 미치는 운동 강도를 과학적으로 규명하고자 하였다.

그리고 매 시기마다 에너지 기질과 피로와 관계되는 생화

학 성분을 분석하고자 하였다. 각 운동 강도별 통제군의 30분간 에너지 소비량 값을 기준으로 훈련군, 비만군 및 당뇨군에게 같은 에너지 소비량 값이 나오도록 운동을 부여 한 후 시기별 초과산소 섭취량 및 에너지 대사량 값을 비교 분석하고자 하였다.

연구 방법

측정 항목 및 실험 절차

본 연구를 수행하기 위하여 우선 In Body 720으로 매 시기마다 골격근 양, 체지방량, BMI, 체지방률, 복부 지방량, 예측 기초 대사량 및 골밀도를 측정하였다.

또한 Meta Max 3B (휴대용가스분석기) 및 트레드밀을 이용하여 안정 시 산소섭취량, 최대산소 섭취량, 젖산역치, 운동 후 초과 산소 소비량과 동원되는 에너지 기질을 분석하였고, Meta Lyzer 3B를 이용하여 안정 시 대사량 및 안정 시 대사량 측정 시 동원되는 에너지 기질을 분석하였다. 그리고 매 시기마다 에너지 기질과 피로와 관계되는 생화학 성분을 분석하였다.

모든 연구는 온도, 습도 및 조명이 제어된 운동생리학 실험실에서 실시하였고 본 실험실에서 안정 시 대사량, 최대산소 섭취량, 운동 후 초과 산소 섭취량 및 관련변인 등을 측정하였다.

안정 시 대사량의 측정은 전문 분석 기기인 Meta Lyzer 3B를 실험실에 대하여 운동부여 다음날 이른 아침에 피험자를 실험실에서 수면하게 한 후 측정하였으며, 측정된 값이 기초대사량인긴 하나 기초대사량 값에 영향을 주는 요인들이 많아서 안정 시 대사량 값으로 산정하였다.

그리고 모든 대상자에게 연구의 목적과 의도를 충분히 설명하였고, 피험자 모두는 실험 기간 동안 특정 식이 요법에 참가하지 않도록 하였으며, 약물의 복용과 다른 신체적 활동은 제한하였다. 특히 실험 기간 중에는 다른 특성의 운동을 못하도록 실험 통제하였으며 기간 중에 음주와 흡연도 금지하도록 하였다.

운동 실험 전 실험 기구에 대한 전반적인 적응훈련을 실시하였으며, 본인이 원할 경우 얼마든지 실험을 그만두어도 좋다는 제반사항이 포함된 실험 참가 동의서를 받았다.

최대산소 섭취량, EPOC, 안정 시 대사량, 체구성비 및 호르몬 측정

최대산소 섭취량은 본교 실험실에서 보유하고 있는 Meta Max 3B를 이용하여 Breath-by breath 방법으로 측정하였고 (Bruce protocol), 다른 관련 자료들이 컴퓨터에 제어되어 있어, 실험 후 입력된 자료를 분석하였다.

상대 강도 실험은 고강도에서 최대산소 섭취량의 75%, 저강도 운동에서 최대산소섭취량의 40%를 유지하게 경사도와 속도를 제어하여 30분간의 운동을 부여하였다.

운동 후 초과산소섭취량(EPOC)은 운동 종료 후 피험자가

바로 의자에 앉은 후 측정하였고, 측정 종료 시기는 이미 측정된 심박수와 산소 소비량을 고려하여 실험하였다. 측정하는 동안 호흡수(RR), 호흡상(RER), 에너지 소비량(Energy expenditure) 등의 호흡가스성분 및 EPOC의 양과 지속시간 등을 비교 분석하였다.

아울러 같은 운동량 부여 시 그룹별 대사량 값을 비교 분석하기 위해 각 운동 강도별 통제군의 30분간 에너지 소비량 값을 기준으로 훈련군, 비만군 및 당뇨병군에게 같은 에너지 소비량 값이 나오도록 운동을 부여 한 후 시기별 초과산소 섭취량 및 에너지 대사량 값을 비교 분석하였다.

안정 시 대사량의 측정은 매 시기마다(이른 아침) 피험자들이 식후 10-12시간이 경과하면 활동을 최대한으로 자제한 후 실험실에 도착하여 충분히 휴식을 취하고 침대에 누워서 안정을 취한 후 Meta Lyzer 3B (실내전용 breath by breath 방식의 호흡가스분석기)를 이용하여 측정을 하였다.

본 컴퓨터에 장착된 기자재는 안정 시 대사량 측정 시 다른 요인 등에 의하여 변동이 있을 경우 자동 측정이 되지 않도록 되어 있어 대체로 정확한 값을 측정할 수 있는 장점이 있다.

위에서 제시한 실험절차에 따라서 안정 시 대사량을 전체적으로 2번 측정할 것이며, 두 번의 대사량 측정이 ±5%의 오차범위를 넘을 때는 다시 측정하여 근사치 두 값을 취하였다.

Meta Lyzer 3B를 이용하여 안정 시 대사량을 측정하면, 안정 시 환기량 중 탄수화물, 지방, 단백질의 동원을 비교할 수 있고 평균 산소섭취량과 이산화탄소 배출량 값을 알 수 있으며, 안정 시 대사량의 예측값과 실측값을 알 수 있을 뿐만 아니라 정확한 값을 얻을 수 있는 장점이 있다.

모든 피험자의 체구성비는 실험 최초 측정하여 그룹을 구분하는 데에 참고하였고, 실험 후 매 시기마다 실시하였으며 골격근 양, 체지방량, 제지방량, BMI, 체지방률, 복부 지방률 및 예측 기초 대사량을 측정하였다.

피험자는 체구성비를 측정하기 전에 48시간이상 금주를 하게 하였고, 12시간 전부터는 운동을 삼가게 하였다. 그리고 측정 전 음료수나 물의 섭취를 금지 시켰으며, 30분전에 배뇨를 하도록 하여 가능한 한 정상적인 체내 수분 상태를 유지하도록 하였다.

각 피험자의 안정 시 대사량 측정이 끝난 즉시 5ml vacutainer와 22 gauge needle을 사용하여 전문 간호사가 전완정맥에서 혈액을 추출하였다.

채취한 혈액은 곧바로 원심분리한 후, 혈청부분만을 추출하여, deep freezer에 냉동보관하여 대사량에 영향을 미치는 여러 관련 호르몬 중 T3, T4, Free T3, 및 Free T4를 분석 의뢰하였다.

호르몬 분석은 Diagnostic Products Corporation(DPC)사의 IMMULITE 전자동 CHEMILUMINESCENT IMMUNOASSAY SYSTEM을 사용하여 T3와 Free T4를 분석하였고, 각각의 호르

몬은 항체가 있는 polystyrene bead IMMULITE test unit을 사용하였다.

호르몬에 따라서 phosphatase와 alkaline phosphatase를 중합시켜 test unit에 넣고 37°C의 온도의 30분에서 60분간 배양시키고, 이 동안 bead에 있는 제한된 수의 항체 결합 부위에는 호르몬과 enzyme-labeled 호르몬이 경쟁적으로 결합하게 된다.

자료 처리

본 연구에서 얻어진 자료는 SAS 통계 package를 이용하여 기술통계량과 운동 강도에 따른 체지방률의 변화, 안정 시 대사량의 변화, 운동 강도에 따른 운동 중 & 운동 후 평균 에너지 소비량의 변화, 갑상선 호르몬 및 생화학변인에 대한 자료를 반복 측정법에 의한 변량분석(ANOVA)을 이용하여 분석하였으며, DUNCAN의 사후 검증법으로 평균치를 검사하였다(p<0.05).

결 과

운동 강도에 따른 체지방률의 변화

4그룹에서의 운동 강도별 피험자의 체지방률의 변화는 Table 2에 나타나 있다. Table 2에 나타나 있는 것 같이 훈련군(T)과 일반군(C)에서 운동 시기별 측정값의 통계적 유의한 차이는 나타나지 않았으나, T 그룹에서 시기별 체지방률이 감소하였고, 저강도 운동인 LI 시기에 가장 낮은 값을 나타내었다. 반면에 C 그룹에서는 시기별 감소는 하였으나, 통계적인 차이를 나타내지 않았다. 비만군(O) 그룹에서와 당뇨병군(N)에서도 시기별 체지방이 감소는 하였으나, 통계적인 차이를 나타내지 못하고 비슷한 값을 보였다(p>0.05).

운동 강도에 따른 안정 시 대사량의 변화

서로 다른 훈련 상태를 나타내는 4그룹에서의 운동 강도별 피험자의 안정 시 대사량의 변화는 Table 3에 나타나 있다. Table 3에 나타나 있듯이, 안정 시 대사량의 변화는 그룹별 용이한 비교를 위하여 체표면적으로 나눈 값으로 표기하였다. T 그룹에서는 운동 강도의 변화에 따라 안정 시 대사

Table 2. The Change of percent body fat (%)

Group	RE	MA	HI	LI
T	12.1±3.08	11.37±3.26	10.96±3.11	9.78±2.33
C	22.7±4.23	21.9±4.69	21.4±3.26	20.9±4.16
O	31.4±3.63	30.8±2.41	30.2±3.32	29.7±5.17
N	35.7±5.81	35.1±6.32	34.8±4.86	34.6±5.33

T: Trained, C: Control, O: Obese, N: NIDDM
RE: Resting, MA: Maximal, HI: High intensity, LI: Low intensity

Table 3. The change of resting metabolic rate (Kcal/day/m²)

Group	RE	MA	HI	LI
T	1178.8±25.4	1194.2±32.8	1244.8±11.3*	1262.0±17.1*
C	966.2±31.2	960.7±21.6	1009.7±53.6	1021.5±61.3*
O	923.5±20.6	918.3±11.3	951.1±28.2	980.5±31.6
N	870.3±41.3	866.8±30.3	891.4±26.8	902.3±34.2

T: Trained, C: Control, O: Obese, N: NIDDM
 RE: Resting, MA: Maximal, HI: High intensity, LI: Low intensity
 * p<0.05, compare to RE.

량이 증가하였는데 특히, 고강도 운동과 저강도 운동 후에는 대사값이 크게 증가하여 통계적으로도 의미 있는 값을 보였다(p<0.05). 그리고 C 그룹에서는 MA 시기에서는 약간의 감소가 나타났고, HI 시기, 및 LI 시기에는 안정 시 대사량의 증가가 나타났으며, 특히 저 강도 운동시기인 LI 시기에 통계적으로 유의하게 증가하였으며(p<0.05), 저 강도 운동에서 가장 높은 값을 나타내었다.

O 그룹에서도 시기별 안정 시 대사량 값이 증가하였으나 통계적인 차이를 나타내지 않았고, N그룹에서도 약간의 증가는 나타났으나 통계적인 차이를 나타내지 못했다(p>0.05).

운동 강도에 따른 평균 에너지 소비량의 변화

서로 다른 훈련 상태를 나타내는 4그룹에서의 운동 강도 별 피험자의 평균에너지 지출량의 변화는 Table 4에 나타나 있으며, 운동중과 운동 후 30분간의 에너지 지출량의 평균값을 나타낸 것으로 시기별 T그룹에 대하여 다른 그룹을 비교하였다.

우선 고강도 운동 시 T 그룹에 비해 C, O, N 그룹에서 낮은 에너지 소비량 값을 보였고, 모든 그룹에서 통계적으로 낮은 값을 보였다(p<0.05). 그리고 이러한 결과는 저 강도 운동에서도 같은 경향을 보이며 나타났는데, 저강도 운동 시 평균 에너지 지출량은 T 그룹에서 13,238.3 kcal/d 의 값을 보인 반면 C, O, N 그룹에서는 각각 9,077.3 kcal/d, 8,213 kcal/d, 7,892 kcal/d 값을 나타내어 모든 그룹에서 통계적으로 낮은 값을 보였다(p<0.05).

Table 4. The change of mean energy expenditure (Kcal/day)

Group	HIEE	LIEE	HIEEPE	LIEEPE
T	15,883.5±1592.3	13,238.3±1021.1	12,134.0±955.1	9,773.6±1250.8
C	12,617.3±1327.4*	9,077.3±1078.1*	8,443.2±931.8*	6,003.5±179.3*
O	9,244±977.6*	8,213±1123.5*	6,556±826.7*	5,338±237.1*
N	8,854±763.8*	7,892±944.1*	6,213±733.2*	5,056±332.5*

T: Trained, C: Control, O: Obese, N: NIDDM
 HIEE: high intensity exercise energy expenditure, LIEE: low intensity exercise energy expenditure, HIEEPE: high intensity exercise energy expenditure post exercise, LIEEPE: low intensity exercise energy expenditure post exercise
 * p<0.05, compare to T.

한편, 운동 후 에너지 소비량을 나타내는 EPOC 시기에서는 고강도 운동 후 T 그룹이 12,134 kcal/d의 값을 보인 반면, C, O, N 그룹에서 각각 8,443.2 kcal/d, 6,556 kcal/d, 6,123 kcal/d 값을 보여 통계적으로도 유의한 차이를 나타내었다. 그리고 저강도 운동후 EPOC에서도 같은 경향을 보여 T 그룹에 비해 모든 그룹에서 낮은 값을 보였다(p<0.05).

특이할 사항은 대사적 기능이 낮은 비만군과 당뇨군에서 운동의 효과가 적게 나타난다는 점과 운동 후 회복기간의 에너지 소비량이 운동 중 에너지 소비량 값의 60% 이상이라는 점을 감안할 때 운동 후 EPOC 시기에 회복처치가 상당히 중요하다고 여겨진다.

운동 강도에 따른 갑상선 호르몬의 변화

서로 다른 훈련 상태를 나타내는 4그룹에서의 운동 강도 별 피험자의 갑상선 호르몬의 변화는 Table 5에 나타나 있다. Table 5에 나타나 있듯이, T 그룹은 안정 시에 비해 고강도 운동시기에서 Free T4가 저강도 운동시기에서 T4와 Free T3, Free T4 호르몬이 통계적으로 유의하게 증가하였다(p<0.05). C그룹은 저강도 운동시기에서 Free T3가 통계적으로 유의하게 증가하였고, 나머지 호르몬은 통계적인 차이가 나타나지 않았다(p>0.05). 한편 비만그룹은 모든 호르몬이 시기별 유의한 차이를 나타내지 않았고, 당뇨그룹은 T3호르몬만 저강도 운동 시기에 증가를 하여 통계적으로 유의한 차이를 나타내었다(p<0.05).

운동 강도에 따른 피로물질의 변화

서로 다른 훈련 상태를 나타내는 4그룹에서의 운동 강도 별 피험자의 피로물질의 변화는 Table 6에 나타나 있다. Table 6에 나타나 있듯이, 안정 시기에 비해 젖산은 당뇨그룹에서 고강도 운동시기에서만 유의한 증가를 나타내었고(p<0.05), 다른 그룹에서는 큰 차이를 나타내지 않았다. 암모니아 역시 안정 시기에 비해 다른 그룹에서는 큰 차이를 보이지 않았으나 당뇨군에서 고강도 운동 시기에 통계적으로 유의한 증가를 나타내었다(p<0.05). 한편, 스트레스를 잘 반영하는 호르몬인 코티졸은 역시 당뇨군에서 고강도 운동 시기에 증가를 하였으나(p<0.05) 통계적인 차이를 나타내지 않

Table 5. The change of thyroid hormone

Group	Hormone	RE	MA	HI	LI
T	T3 (ng/ml)	0.925±0.217	0.956±0.144	1.323±0.412	1.314±0.177
C		0.931±0.162	0.988±0.217	1.129±0.218	1.147±0.256
O		0.934±0.194	0.951±0.165	0.961±0.212	1.052±0.214
N		0.673±0.225	0.634±0.182	0.703±0.197	0.931±0.142*
T	T4 (µg/dl)	8.26±0.326	8.15±0.287	8.93±0.477	9.28±0.711*
C		7.07±0.571	7.15±0.241	7.53±0.323	7.88±0.663
O		6.78±0.456	6.70±0.514	6.92±0.627	7.12±0.331
N		6.17±0.679	6.11±0.384	6.18±0.441	6.57±0.621
T	Free T3 (pg/ml)	1.78±0.966	1.83±0.172	1.83±0.142	2.07±0.199*
C		1.71±0.116	1.73±0.124	1.76±0.189	1.88±0.112*
O		1.72±0.223	1.69±0.218	1.73±0.114	1.77±0.126
N		1.64±0.478	1.65±0.365	1.67±0.415	1.71±0.638
T	Free T4 (pg/ml)	1.71±0.213	1.68±0.217	1.93±0.168*	1.97±0.212*
C		1.57±0.211	1.55±0.226	1.59±0.139	1.57±0.168
O		1.70±0.163	1.68±0.181	1.83±0.255	1.87±0.159
N		1.43±0.188	1.54±0.139	1.45±0.201	1.48±0.133

T: Trained, C: Control, O: Obese, N: NIDDM
 RE: Resting, MA: Maximal, HI: High intensity, LI: Low intensity
 * $p < 0.05$, compare to RE

Table 6. The change of fatigue variables

Group		RE	MA	HI	LI
T	Lactate (mmol/l)	1.90±1.53	1.96±1.61	1.88±0.86	1.98±1.28
C		1.95±1.66	1.98±1.43	1.96±1.47	1.91±1.22
O		1.87±1.33	1.97±1.11	2.15±1.74	2.04±1.87
N		2.06±1.78	2.44±1.38	3.46±2.63*	2.35±1.52
T	Ammonia (µmol/l)	50.2±22.32	52.4±31.25	48.6±28.14	52.5±18.37
C		47.7±18.21	49.3±15.31	46.9±21.33	51.6±16.41
O		54.5±24.15	55.2±26.34	50.2±26.74	56.6±29.45
N		46.5±27.34	49.1±30.21	65.4±32.18*	57.5±15.29
T	Cortisol (µg/dl)	16.7±3.68	15.4±5.26	16.17±3.33	17.2±2.55
C		15.4±3.32	17.6±4.28	16.37±3.28	15.7±4.51
O		16.6±4.23	16.5±3.63	16.68±5.38	17.9±2.73
N		15.3±3.50	17.8±4.20	19.39±6.17	17.46±6.14

T: Trained, C: Control, O: Obese, N: NIDDM
 RE: Resting, MA: Maximal, HI: High intensity, LI: Low intensity
 * $p < 0.05$, compare to RE.

왔고, 다른 그룹에서 다른 시기에 통계적인 차이를 나타내지 않았다.

고 찰

당뇨환자에게 있어 규칙적인 운동은 당뇨병의 치료와 관리의 물론 예방에 있어서도 중요한 부분이며 당뇨 중 특히 제2형 당뇨병에 있어서 중요하게 고려되는 요인이다. 규칙적인 운동은 당뇨병 환자에게 인슐린 호르몬 분비 시 조직에서 탄수화물을 사용할 수 있는 능력을 증가시키므로 제2형 당뇨

병 환자 치료에 있어서는 반드시 필요한 것으로 알려져 있다. 운동이 제2형 당뇨환자에게 좋은 이유는 운동이 인슐린 민감성을 증가시키기 때문인데, 인슐린 민감성이 증가되었다고 하는 것은 조직으로 글루코스를 운반 시 글루코스를 운반단백이 증가되었음을 의미 한다[11].

운동 중에서도 고강도운동 보다는 낮은 강도의 운동이 제2형 당뇨병 환자들에게 인슐린 저항성을 증가시켜 당뇨병 치료에 효과적인 것으로 알려져 있다[3]. 하지만 어느 정도의 운동 강도가 당뇨환자에게 효과가 있는지를 확인하기 위해 본 연구에서는 당뇨병 환자에 대한 운동 강도의 변화에

다른 에너지 소비량과 운동 후 EPOC 및 안정 시 대사량의 변화를 훈련군, 비만군과 함께 비교 분석하여 비만군을 포함하는 제2형 당뇨병환자에게 운동을 이용한 운동처방에 중요한 근거를 마련하는 것이 연구의 목적이라 할 수 있다. 운동처방에서 중요한 점은 일일에너지 소비량 중 활동에 의한 에너지 소비가 30% 정도이고 운동에 의한 초과산소섭취량과 안정 시 대사량이 운동의 효과에 대한 대부분을 차지하고 있어 본 연구에서는 운동 중 에너지 소비량 뿐 만이 아니라 운동 후 에너지 소비량과 다음날 안정 시 대사량을 함께 분석하였다.

안정 시 대사량을 측정하는 방법으로 크게 직접법에 의한 방법과 간접법에 의한 측정방법이 있으며, 간접 측정법은 직접측정법에 비하여 비용이 적게 들고 정확도도 높아 오늘날 널리 이용되고 있는 실정에 있다. 이를 표현하는 방법으로는 체중이나 체 지방 체중으로 나누는 방법이 있고 BSA (체표면적)로 나누어 표현하는 방법이 있으며, 본 연구에서는 대사량 값을 그룹 간, 시기 간 비교하기 용이하도록 각 피험자의 BSA를 나누어 이 값을 사용하였다.

본 연구결과 운동 시기별 안정 시 대사량 값은 훈련군에서는 고강도 운동과 저강도 운동 후 통계적으로 유의하게 증가하였고, 통제그룹에서는 특정한 변화를 보이지 않다가 저강도 운동 후 유의하게 증가하였다. 그리고 비만군에서와 당뇨병군에서는 각 시기별 조금은 증가하였으나 통계적인 차이가 나타나지 않았다. 본 연구의 결과로 일회성의 운동이 다음날 아침 안정 시 대사량에 미치는 영향에 대해 운동의 경험이 없는 비만군이나 당뇨병군에서는 특정의 효과를 주지 않지만 평소 운동 경험이 많은 훈련 그룹에서는 고강도 운동과 저강도 훈련 모두 효과적인 것으로 나타났고 특히, 저 강도의 30분간 운동이 가장 큰 효과가 있는 것으로 나타나 운동이 다음날 아침 안정 시 대사량을 증가시킨다는 다른 선행연구들을 잘 지지하는 것으로 나타났다[12,15]. 그리고 통제군에서는 고강도 운동보다는 저강도 운동이 효과적이어서 일반인들이 일회성의 운동할 때는 저강도 운동이 효과적임을 알 수 있다.

하지만 대부분의 이런 연구들에서는 운동 강도에 따른 안정 시 대사량의 변화는 확인하지 않았다.

30분간의 고강도 및 저 강도 운동을 하는 동안 평균 에너지 소비량의 차이를 보기 위한 실험에서 고강도 운동시 훈련군에 비하여 통제군, 비만군 및 당뇨병군에서 모두 통계적으로 유의하게 낮은 값을 나타내었고, 당뇨병군이 가장 낮은 값을 보였다. 저강도 운동에서도 고강도 운동 보다는 낮은 값을 보였지만 비슷한 패턴으로 나타났다. 역시 당뇨병군에서 가장 낮은 값을 보였다. 한편, 운동 후 회복시기에도 높은 에너지 소비량을 보였는데, 고강도 및 저강도 운동 후 모두 훈련군, 통제군, 비만군, 및 당뇨병군의 순서로 대사량을 보였는데 특이할 점은 회복기간의 에너지 소비량도 운동기간의 60%이상의

에너지 소비량을 보인다는 점이다. 이러한 점으로 미루어 볼 때, 특히 비만군이나 당뇨병군에서 운동 후 회복기동안 동적인 회복을 취하는 것이 대사량 증가에 큰 도움을 줄 것으로 여겨진다. 이 연구를 통하여 같은 강도의 운동을 하더라도 통제군에 비하여 훈련군에서 더 많은 에너지 소모가 일어난다는 사실과 운동 후 에너지 소비도 전체 에너지 소비의 큰 부분을 차지한다는 사실을 알 수 있었다. 운동 강도의 비교에 있어 고강도 운동이 저강도 운동에 대해 더 많은 에너지 지출을 보이지만 그룹 간에는 고강도 운동에서 보다 저 강도 운동에서 평균 에너지 지출의 차이가 더 크게 나타남을 알 수 있었다. 이는 운동 활동에 따라 에너지 지출량이 증가한다는 선행연구와[9], 그룹 간에서도 비 훈련군에 비해 훈련군에서 같은 운동 강도에 대해 에너지 지출이 크게 일어난다는 선행연구[6]를 잘 반영하지만 이제까지 4 그룹에서 서로 다른 강도를 비교한 연구는 없었고, 운동 후 에너지 소비를 함께 비교한 연구는 없어 큰 의의를 지닌다고 여겨진다.

서로 다른 강도의 운동이 안정 시 대사량의 변화를 나타낸다는 연구 결과에 대해 이것이 단순히 체지방의 감소와 체지방량의 증가에 의한 것인지 아니면 호르몬 수준에서 일어나는지를 분석하기 위해 본 연구에서는 갑상선 호르몬을 함께 분석하였다. 선행연구를 통하여 갑상선 호르몬 중 TSH는 차이가 미미하다고 판단하여 본 연구에서는 안정 시 대사량 측정 후 곧 바로 시기별 T3, T4, Free T3, 및 Free T4의 변화를 살펴보았다. 본 연구의 결과로 Free T3가 운동의 따른 변화를 가장 잘 반영하는 호르몬임을 알 수 있었고, 그룹별로는 훈련군에서 저강도 운동 시 T4, Free T3, 및 Free T4 이 통계적으로 유의하게 증가하였고, T4는 저강도 운동 시 당뇨병군에서도 증가함을 알 수 있었다. 따라서 운동시기별 저강도 운동이 갑상선 호르몬의 증가에 영향을 미치는 운동 강도임을 알 수 있었고, 훈련군에서 안정 시 대사량 값이 증가하는 원인이 호르몬에 의한 영향이라는 것을 확인할 수 있었다.

서로 다른 운동 강도의 운동 시 피로물질에 대한 변화를 보기위하여 본 연구에서는 젖산, 암모니아와 운동에 대한 스트레스를 잘 반영하는 코티졸 호르몬을 함께 살펴보았다. 본 연구결과로 젖산은 고강도 운동 시기에 대한 반응으로 당뇨병군에서 증가되어 있었고, 암모니아 역시 고강도 운동 시기에서 증가되어 있었다. 이는 본 연구가 일회성의 운동 반응이라는 점과 다음날 아침의 안정 시에 대한 반응이어서 대부분의 항목이 안정 시에 회복하였음을 알 수 있었고, 특히 당뇨병군에서는 일회성의 고강도 운동도 다소 처음에는 무리한 자극이 될 수 있다는 점을 시사한다고 본다. 하지만 코티졸 호르몬은 모든 시기에서 통계적으로 유의하게 증가하지 않아서, 당뇨병군에서 피로물질의 회복은 완전하게 이루어지지 않더라도 스트레스 상태가 남아 있지 않음을 알 수 있어, 당뇨병군에서도 적극적인 운동이 권장되어 진다고 할 수

있다. 하지만 당뇨병에서의 운동은 앞의 데이터에서 보는바와 같이 고강도의 운동 보다는 저 강도의 운동방법으로 하는 것이 좋다고 할 수 있다. 본 연구결과 체지방율, 안정 시 대사량, 에너지소비량, 호르몬의 변화 및 피로물질 반응까지 고강도의 운동보다는 저강도의 운동이 효과적인 것으로 나타났다.

한편, 운동 활동에 따른 안정 시 대사량 변화를 살펴본 연구는 운동이 안정 시 대사량을 증가시킨다는 연구 결과[12], 증가 시키지 않는다는 연구결과[4]로 의견이 분분한데, 이는 피험자의 연령, 영양상태, 성별, 질환, 스트레스 등에 따라 크게 좌우되지만 무엇보다도 피험자의 훈련 상태와 운동 강도가 안정 시 대사량을 반영하는 주된 요인으로 밝혀졌다.

본 연구의 결과에 따르면 비만군, 당뇨병 및 비 훈련군의 경우 통제군의 저강도 운동 시기를 제외하고는 운동 강도에 상관없이 운동이 안정 시 대사량에 영향을 주지 못했지만, 훈련군의 경우는 최대 운동부하를 제외한 고강도 운동과 저강도 운동시기에서 약간의 체지방 감소와 안정 시 대사량의 증가를 나타내었고, 특히 저 강도 운동에서 가장 큰 증가를 나타냄을 알 수 있었다.

서로 다른 강도의 운동이 에너지 소비량에 미치는 영향을 살펴본 연구에서는 모든 그룹에서 저 강도 운동에 비해 고강도 운동 시 에너지 소비량이 크게 나타났으며, 운동 후 에너지 소비량 역시 저 강도 운동에 비해 고강도 운동에서 높게 나타났다. 그룹별로는 운동 강도에 상관없이 같은 운동 강도에 대해 일반군에 비하여 훈련군에서 평균 에너지 소비량이 크게 나타났으며, 서로 다른 4 그룹 간의 차이는 저 강도 운동에서 더욱 현저한 차이를 보였다. 역시 운동 후 에너지 소비량을 분석한 결과 고강도 운동에 비하여 저 강도 운동에서 에너지 소비량의 차이가 더 크게 나타나 훈련군은 통제군에 비해 저 강도 운동에서 더욱 효율적으로 에너지 소비가 일어남을 알 수 있고, 이는 훈련군에서 훈련에 따른 지방의 산화가 더욱 잘 유도된다는 사실을 나타낸다. 반면에 통제군은 저 강도 운동과 운동 후 에너지 소비량이 적게 일어나 저 강도 운동에서 효율적인 에너지 동원을 기대하기 어렵다고 할 수 있다. 이는 비만군과 당뇨병에서 더 심각하게 나타나는 현상으로 비만군과 당뇨병은 운동의 효과를 얻기 위해 저강도로 더 장시간 운동해야 운동의 효과를 얻을 수 있다고 하겠다. 이는 훈련군에서 운동 시 많은 에너지를 더욱 효율적으로 동원한다는 선행연구[4]를 잘 반영하는 것으로 보인다.

감사의 글

이 논문은 2007년도 국민체육진흥공단 체육과학연구원의 체육학술진흥사업비에 의하여 연구되었습니다(KISS-07-A03003). 이에 깊이 감사드립니다.

References

1. Abdel-Hamid, T. K. 2003. Exercise and diet in obesity treatment. *Med. Sci. Sports Exerc.* **35**, 400-413.
2. Adiels, M., S. O. Olofsson, M. R. Taskinen and J. Boren. 2008. Overproduction of very low-density lipoproteins is the hallmark of the dyslipidemia in the metabolic syndrome. *Arterioscler Thromb. Vasc. Biol.* **28**, 1225-1236.
3. Bell, L. M., K. Watts, A. Siafarikas, A. Thompson, N. Ratnam, M. Bulsara, J. Finn, G. O'driscoll, D. J. Green, T. W. Jones and E. A. Davis. 2007. Exercise alone reduces insulin resistance in obese children independently of changes in body composition. *J. Clin. Endocrinol. Metab.* **92**, 4230-4235.
4. Byrne, H. K. and J. K. Wilmore. 2001. The effects of a 20-week exercise training program on resting metabolic rate in previously sedentary, moderately obese women. *Int. J. Sport Nutr. Exerc. Metab.* **11**, 15-31.
5. Di Pietro, L., J. Dziura and S. N. Blair. Estimated change in physical activity level (PAL) and prediction of 5-year weight change in men: the Aerobics Center Longitudinal Study. 2004. *Int. J. Obes. Relat. Metab. Disord.* **28**, 1541-1547.
6. Earnest, C. P. 2008. Exercise interval training: An improved stimulus for improving the physiology of pre-diabetes. *Med. Hypotheses*. Epub ahead of print.
7. Gibbons, M. R., C. J. Henry, S. J. Ulijaszek and H. J. Lightowler. 2004. Intra-individual variation in RMR in older people. *Br. J. Nutr.* **91**, 485-489.
8. Gill, J. M and A. R. Cooper. 2008. Physical activity and prevention of type 2 diabetes mellitus. *Sport Med.* **38**, 807-824.
9. Kunwar, P. S., C. Tudorache, M. Eyckmans, R. Blust and G. De Boeck. 2008. Influence of food ration, copper exposure and exercise on the energy metabolism of common carp(Cyprinus carpio). *Comp biochem. physiol. C Toxicol. Pharmacol.* Epub ahead of print.
10. Lemmer, J. T., F. M. Ivey, A. S. Ryan, G. F. Martel, D. E. Hurlbut, J. E. Metter, J. L. Fozard, J. L. Fleg and B. F. Hurley. 2001. Effect of strength training on resting metabolic rate and physical activity: age and gender comparisons. *Med. Sci. Sports Exerc.* **33**,532-541.
11. Mediano, M. F., J. S. Barbosa, R. Sichieri and R. A. Pereira. 2007. Effects of exercise on insulin sensitivity in obese women submitted to a weight loss program. *Arq. Bras. Endocrinol. Metabol.* **51**, 993-999.
12. Santa-Clara, H., L. Szymanski, T. Ordille and B. Fernhall. 2006. Effects of exercise training on resting metabolic rate in postmenopausal African American and Caucasian women. *Metabolism* **55**, 1358-1364.
13. Short, K. R., J. L. Vittone, M. L. Bigelow, D. N. Proctor and K. S. Nair. 2004. Age and aerobic exercise training effects on whole body and muscle protein metabolism. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* **286**, E92-101.
14. Speakman, J. R. and C. Selman. 2003. Physical activity and resting metabolic rate. *Proc. Nutr. Soc.* **62**, 621-634.

15. Stiegler, P and A. Cunliffe. 2006. The role of diet and exercise for maintenance of fat-free mass and resting metabolic rate during weight loss. *Sports Med.* **36**, 239-262.
16. Stromme, S. B and A. T. Hostmark. 2000. Physical activity, overweight and obesity. *Tidsskr. Nor. Laegeforen.* **120**, 3578-3582.
17. Weyer, C., R. L. Walford, I. T. Harper, M. Milner, T. MacCallum, P. A. Tataranni and E. Ravussin. 2000. Energy metabolism after 2 y of energy restriction: the Biosphere 2 experiment. *Am. J. Clin. Nutr.* **72**, 946-953.
18. Zhang, K., M. Sun, P. Werner, A. J. Kovera, J. Albu, F. X. Pi-Sunyer and C. N. Boozer. 2002. Sleeping metabolic rate in relation to body mass index and body composition. *I. J. of Obes.* **26**, 376-383.