열과 일이 연관된 공학기초교육 실험으로써 Elliptical Trainers(ET) 생체역학 - 역학적 에너지 소비량 및 대사 소비량

Biomechanics of Elliptical Trainer As an both Heat and Work - Related Experiment of a Fundamental Engineering Education : Energy Expenditure and Metabolic Cost

황 운 학*

Un-Hak Hwang*

요 약

ET 헬스기구에서 적용되는 이론은 공학교육에 좋은 예제가 될 수 있다. 물리교육학적 고찰에 의한 역학적 및 열적 에너지 소비량을 측정하여 에너지 소비량과 근육활성도의 관계, 운동량과 에너지 소비량의 관계, 그리고 에너지 소비량과 대사 소비량의 관계를 알아보았다. 에너지 소비량과 근육활성도의 조사에서 단시간동안 체중감량을 위해서는 고속으로 운동하는 것이 효과적이지만 근육활성도를 높여 기초 대사량을 높이기 위해서는 저속도 운동이 효과적이었다. 운동량과 유산소 에너지 소비량의 조사에서는 ET를 사용하여 유산소운동을 할 경우 효과가 높음을 알 수 있었고 유산소운동을 함으로써 체중을 줄이는 것이 효과적임을 알 수 있었다. 에너지 소비량과 대사 소비량의 조사에서는 고속으로 ET운동하여 체중은 더 줄어든다 하더라도 역학적에너지 소비율은 저속일 때와 별로 차이가 없었다.

Key Words : Elliptical Trainers, Health Training Biomechanics, Exercise Physiology

ABSTRACT

The physics theory applied to the elliptical health trainers can be a good example in engineering education. From the point of view of the physics education the measurement of mechanical and thermal energy expenditure in elliptical trainers can be related to the muscle activity, quantity of motion, and metabolic cost.

We realized that the low speed training is effective for high basal metabolism due to increasing the muscle activity even if the high speed training is effective for training down. Elliptical Trainer may provide an effective oxygen exhaustion and thus effective training down. However, the metabolic cost does not have much relation to the amount of training under the high speed of trainer.

* 한국기술교육대학교(uhhwang@kut.ac.kr)
제1저자(First Author) : 황운학
교신저자 : 황운학
접수일자 : 2010년 3월 22일
수정일자 : 2010년 5월 20일
확정일자 : 2010년 6월 01일

Ⅰ. 서 론

Elliptical Trainer(ET) 운동기구는 강약조절 가능하고 동시에 상체 및 하체 근육운동이 가능할 뿐 아니라 누구에게나 선택적으로 극대 근육강화와 열량연소가 가능한데 15단계의 저항 중에서 선택하여 체력, 근력, 및 근육 세우기의 향상을 연속적으로 달성할 수 있다. 또한, 관절에 과대한 부하 없이 충격상해를 감소시키며 걷기와 뛰기를 하는 지면에 고정된 운동기구이며 저항강도를 조절함으로써 심혈관계에 부하를 주지 않는 운동을 할 수 있다.

ET는 최초로 1990년대에 상업적으로 등장하였지만 Larry와 Miller가 더욱 작게 개선하여 2004년에 미국 특허를 출원하였다.[1]대부분의 ET는 상체와 하체를 다 사용하는 운동기구이고 근육 만들기 운동기구라기보다는 심혈관계 운동기구인데, 가장 큰 장점은 최소의 충격을 가하면서도 체중이 실리는 자세를 갖는 운동이라는 것이다.

ET는 세가지 형태가 있는데 가장 고전적인 것이 후미 구동형이고 그 뒤에 나온 형태가 전방 구동형이며 가장 최신 기구는 중간 구동형이다. 어떤 형태는 패달부분을 조절하여 경사를 다르게 하도록 되어 있어 다리의 여러 근육에 걸리는 부하를 다르게 하도록 고안 되었다. 일부 메카트로공학적 모델은 경사도, 저항력, 왕복거리 등을 조절하는 프로그램이 장착되기도 하며 전방진행 뿐 아니라 후방진행하기도 한다. 대부분의 ET는 발에 의해 구동되지만 양팔로 핸들을 저어 팔운동뿐만 아니라 제2차 구동력을 주도록 되어 있다.

ET는 전동걷기기구(Treadmill=TM)와 맞먹는 다리와 심장운동을 요한다. 제자리자전거타기와 TM사이 중간 정도의 다리운동을 하는 기구로 알려져 있다. 다리뿐 아니라 손 운동까지 병행하기 때문에 열량을 더 많이 소모하는 기구라는 주장도 있다. 더 많은 종류의 근육을 더 짧은 시간에 사용하기 때문이다. 보통 ET는 오감인지도(PRE)가 더 낮다고 가정하지만 이 운동의 효과는 열량소비율, 산소보존력, 유산생성, 심장박동, 오감인지력, 그리고 생리적 반응에 있어서 TM과 거의 비슷한 효과가 있는 것으로 알려져 있다.

최근 들어 ET운동이 활발히 보급되고 있는 이유는 TM처럼 발바닥을 기구에서 들어서 걷거나 달리지 않고 같은 효과를 가지면서도 발바닥을 패달에 붙인 채 양팔로 안전하게 핸들을 앞뒤로 저어 우아하게 운동하고 또한 이 때 소음이 발생하지 않아 다른 사람에게 전혀 피해를 주지 않기 때문이다. ET는 용접된 금속골격이라 비록 딱딱한 구조라 하더라도 운동모습은 부드럽고 편안함을 주는데 이것은 크고 쿠션 있는 인체공학적패달이 관절 식으로 우리인체처럼 움직이기 때문이다.

모든 ET의 기본구성은 구동시스템, 저항시스템, 그리고 수평왕복대이다. 구동시스템은 전방구동과 후방구동의 두 개로 구성되어 있다. 전방구동장치는 부드럽게 회전하는 원형회전체가 관성모멘트를 제공하며 후방 구동체는 마찰이 거의 없이 금속바퀴가 다른 금속 위를 미끄러지며 왕복운동을 한다.

오늘날 저항시스템은 3가지 형태가 있는데 저가격대인 수동식과 중간가격대인 모터브레이크식, 그리고 고가이며 정확하고 부드러운 eddy current brake system으로 되어 있다. 수평왕복대 (Stride length)는 저 가격대에서는 공장에서 이미 확정되어 출고되지만 중간가격대나 고가의 제품인 경우 수시로 이용자가 바꿀 수 있도록 하여 최대의 유연성을 갖는다.

그밖에 고가의 ET의 경우 입력기능, feedback기능, 모니터링기능, 그리고 운동안내 기능까지 갖는 제어판을 단 기기가 있으며 이것은 보통 건전지로 작동된다. 개인의 조건에 맞도록 운동프로그램을 짤 수도 있으며 이미 짜여 저장되어 있는 여러 개의 프로그램을 수시로 선택하며 운동할 수 있도록 되어있다. 심지어 모니터를 통해 심장박동수를 보며 최대효과 운동영역을 유지하며 운동이 가능하고 손바닥으로 쥐었을 때 심장박동세기를 알려주고 집게식 고정핀을 통해 귀, 손목관절와 ET를 연결되어 있다.

인체생물학적 연구를 위해 TM처럼 수동식 또는 전동식으로 경사도를 조절하여 운동 강도를 측정할 수 있고 수평 왕복대(stride length=SL) 거리를 임으로 늘이거나 줄이며 극대운동효과를 측정하기도 한다.

ET운동은 “충격없는” 체중지탱운동기구인데 이 같은 체중지탱운동은 중요한 골다공증 예방운동이다. 즉 체중지탱운동은 골밀도를 증가시키는 운동인 것이다. 정확한 체중지탱운동의 정의는 몸을 떠받치고 있는 중력에 대항하여 몸을 솟구치는 운동을 말한다. 이런 의미에서 수영이나 자전거타기 운동에 비해 ET, 걷기, 달리기, 등산, 줄넘기운동 등은 좋은 체중지탱운동이고 골밀도를 높이며 따라서 골다공증 예방에 좋은 운동이 된다. ET운동 시 골밀도 증가는 달리기 때의 골밀도 증가량과 비슷한 것으로 알려졌다. 운동생리학자들에 따르면 뼈는 압력이 가해지면

조골세포(뼈를 형성하는 세포)를 생성시켜 골밀도를 높이는 것으로 알려졌다. 나이가 들수록 조골세포의 형성은 어렵기 때문에 가능하면 나이가 적을 때 관련운동을 많이 하여 골밀도를 높이는 것이 중요하다. 골다공증 정도는 폐경기 여성에 가장 큰데 폐경직후부터 5년~ 7년 내에 뼈 질량이 20%나 감소하는 것으로 알려져 있다(미국 골다공증 국가재단).

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 Ⅱ장에서는 ET 운동학에 대하여 알아본다. 제 Ⅲ장에서는 실험결과에 대해 알아본다. Ⅳ장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

Ⅱ. ET 에너지 운동학과 기구 소개

메카트로닉스를 활용하는 주요 장비 중의 하나인 의학용 헬스기구에서 적용되는 이론은 공학교육에 좋은 예제가 될 수 있다. 물리교육학적 고찰에 의한 역학적 및 열적 에너지 소비를 식으로 쓰면[2],

$$E = Mgd + \mu(M/2)gd + (1/2)I\omega^2 + Q, \quad (1)$$

여기서 Mgd (=Wg)는 신체가 수평으로 이동하는 동안 (그림1의 A) 체중이 한 일이고, μ(M/2)gd (=Wμ) 는 후방의 레일 위에 놓인 작은 도르레 (그림1의 C)의 마찰에너지이며, (1/2)Iω2 (=Wω)는 커다란 앞 회전체 (그림1의 B)의 회전운동에너지이며, 마지막으로 Q는 기기의 각종 관절부에서 소모되는 비보존력에 의한 마찰열에너지를 의미한다. 제Ⅲ장에서 실제 측정을 위해 식(1)에 적용되는 운동 거리와 각속도는 각각

$$d = vt\ , \quad (2)$$
$$\omega = v/r\ , \quad (3)$$

이며 열의 일당량 (熱一當量 mechanical equivalent of heat)은[2]

$$1\ cal = 4.186\ J \quad (4)$$

2009년9월1일부터 12월13일까지 총40회에 걸쳐 연구자가 매회 1시간동안 그림1의 elliptical 헬스기구를 이용하여 실험을 수행하여 (식1)에 포함된 여러 가지 물리량들을 전자식(그림1의 D)으로 측정하였다. 기구 저항도는 매번 최고 등급인 15에 맞추었다. 기구명은 Horizon FitnessTM 인데 이 기구의 특징은 그림1의 B 내부에 내장된 Ceramic Magnetic Resistance (CMR) 시스템이 내마모성이고 마찰이 없으며 22파운드의 질량을 갖는 중력회전체로써 최고의 작동과 반복성을 갖도록 고안되었다. 또한 Silence SpinTM이라는 동력전달 시스템이 왕복운동에 도입되어 정교하게 운동하도록 하였고 체인형에 비해 벨트 또한 부드럽고 조용하며 깨끗하게 작동된다. 강철로 된 구조물과 쿠션 있는 고무 패드는 강도 있는 운동이 진행되는 동안에도 안정감을 준다. 아래 그림1에 연구에 사용된 ET의 사진이 나타나 있다.

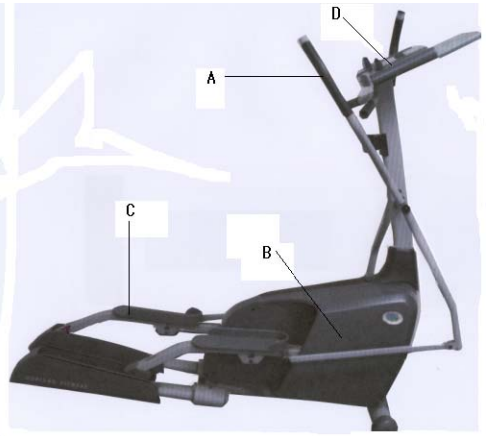

그림 1. 실험에 사용된 ET의 제원. 기호 A는 상체운동용 핸들, B는 중력회전체 박스, C는 수평 운동 전달 장치, D는 전자계기판
Fig. 1. Various Parts of the Elliptical Trainer Used for Experiments. 기호 A는 상체운동용 핸들, B는 중력회전체 박스, C는 수평 운동 전달 장치, D는 전자계기판

Ⅲ. 실험 결과

1. 에너지 소비량과 근육활성도

기초대사량을 늘려주는 근육강화운동은 여러 가지 성인병을 예방하는 중요한 필수운동이다. 근육강화운동으로써 ET운동이 얼마나 역할을 할 수 있는지 측정하였다.

아래 그림2는 여러 가지 운동속도일 때 근육활성도를 (식1)에 근거하여 알아본 것이다. 실제로 운동속도 단위가 시속km이므로 매번 한 시간씩 실험운동을 수행하였으므로 식(2)에서 운동거리가 곧 평균속도이어서 측정량은 매우 정확하다고 볼 수 있다. 이 이유 때문에 매회 한시간씩 실험운동을 수행하였으며 기구 저항도는 매회 최고등급인 15단계를 유지하였다. 또한 식(1)에서 기기의 각종 관절부에서 소

모되는 비보존력에 의한 마찰열에너지를 의미하는 Q는 다른 소모에너지에 비해 미미하여 생략하였다.

그림(2)에서 우선 저속도 운동에 비해 고속으로의 운동 시 에너지가 점진적으로 늘어나는 것을 볼 수 있다. 이는 (식1)에서 고속일수록 회전운동에너지가 늘어나는 것은 물론이고 총 거리d가 늘어남에 따라서 이에 비례하는 중력이 한 일, 마찰에너지, 및 마찰열이 커져 실험 참가자가 그만큼 에너지를 썼다는 것을 의미하며 운동을 그만큼 많이 했다는 의미이다. 그림1에서 A구룹은 근육활성도가 B구룹보다 크고 반면 B구룹은 A구룹보다 신진대사량이 크다고 볼 수 있다. 그 이유는 고속회전 시 가속도가 붙어서 근육운동보다 회전체의 회전력이 더 큰 역할을 하기 때문이다. 저속운동은 마치 계단오르기를 하는 것과 같은 이치이고 고속회전 시는 전동 평면뛰기 기구(Treadmill이라 함)와 같은 효과를 갖는다. 단시간동안 체중감량을 위해서는 고속으로 운동하는 것이 효과적이지만 근육활성도를 높여 기초대사량을 높이거나 골다공증 예방을 위해서는 저속도 운동이 효과적이라 볼 수 있다.

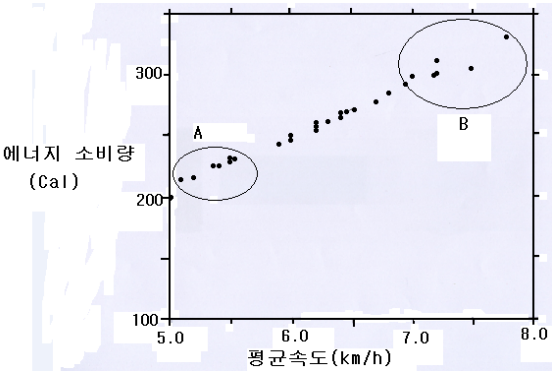

그림 2. 저항도 15(최대)로써 운동시간 60분을 하는 동안 여러 가지 속도일 때 에너지 소비량. A구룹은 저속운동으로 에너지 소비가 작으며 B구룹은 고속운동으로 에너지 소비가 크다

Fig. 2. Energy Expenditure for 60 Minutes of Excercise under the Maximum Resistance of the level 15. A 구룹은 저속운동으로 에너지 소비가 작으며 B 구룹은 고속운동으로 에너지 소비가 크다

달리기 운동에서는 발목관절이 그리고 ET 동에서는 무릎관절이 힘의 근원이다. 발목관절에 의해 전체 일률을 상당부분 전방 추진력으로 쓰이는 달리기와는 다르게 ET 운동은 무릎관절이 힘의 원천이므로 이 운동은 몸매 가꾸기와 건강회복용 실내기구로써 상당한 기여를 하고 있다.[3]

ET 운동 시 근육운동 모습은 무릎관절을 살펴보면 알 수 있는데 ET 이용 시 경사가 큰 상태에서 압축력이나 모멘트(속도*체중)가 증가한다 해도 무릎관절에 고부하나 큰 모멘트를 발생시키지 않는다. ET 이용 시 무릎관절에 걸리는 부하나 모멘트는 달리기, 걷기, 계단오르내리기, 자전거 타기 같은 운동과 비슷하다.[4]

최하단부 근육운동과 관련된 관절 부하를 알아보기 위해 하단부 사지운동론과 동력학을 알아보는 것은 매우 중요한데, 엉덩이 대규모 굴근력과 무릎관절 신근 모멘트 세기가 수직성분의 소규모 패달복원력과 부하강도를 제공하는지 먼저 알아보는 것이 중요하며 따라서 헬스운동이나 재활의학 운동을 위한 ET 사용 시 사용자의 부상을 방지하기 위해 특별히 무릎에서 관절기능과 근력을 중시해야 한다.[5]

근육 활성도가 높아짐에 따라 Adam는[6] 빨리걷기와 4개상품의 ET 운동 시 발앞꿈치와 발뒤꿈치에서의 압력을 비교하여 ET 운동 시 발앞꿈치에 부하되는 최대압력은 지속적으로 낮은 반면에 누적압력(DOS)은 높다는 연구결과 얻었고 오랜 시간동안 긴 왕복거리(SL) 운동을 하는 것은 당료환자 같은 발앞꿈치 보호를 요하는 자에게는 조심하여야 한다고 하였다. 이에 대한 또 다른 연구는 Judith[7]가 수행한 심장혈관 운동으로써 ET 운동 시 낮은 평면압력 변화이다. 이 연구에 따르면 ET 운동 시 발앞꿈치의 최고압력은 213kPa로써 걸을 때(253)나 뛸 때(251)보다 낮았고 발바닥중간 아치부에서의 102kPa였으며 뒷꿈치에서의 압력은 94kPa로써 걸을 때(215)나 뛸 때(188kg)에 비해 충격이 매우 작음을 알 수 있었다. (참고로 가장 낮은 운동은 기대어 자전거타기(RB)로써 25kPa이었다.) 따라서 발앞꿈치의 보호가 필요할 때 (당뇨에 의한 발 염증 방지) ET운동은 뒷꿈치에 힘을 가하지 않을 경우 걷기나 뛰기에 비해 계단 오르기와 누워서 자전거타기와 더불어 좋은 운동이 될 수 있다

또한 상체근육 운동을 알아보기 위해 Hajiefermides[8]는 ET기구에서 전방패달밟기와 후방패달밟기를 하는 동안 핸들을 고정시켰을 때와 움직일 때 차이에 대해 연구하였는데 그의 연구결과에 따르면 저항도를 증가시키면 생리적 값과 인지발휘율 (RPE=Ratings of Perceived Exertion) 값이 증가하지만 전방패달밟기와 후방패달밟기를 하는 동안에 핸들 사용 여부에 상관 없이 생리적 그리고 인지적 반응상의 차이는 거의 없었다. 게다가 패달 방향을 바꾸어도 생리적 그리고 인지적 반응상의 변화는 없었다.

종합적으로 ET운동은 훌륭한 근육 활성화 운동이고 이 근육활성화를 위해 기구의 항력과 방향을 바꾸어 특정 근육을 훈련을 할 수 있다. 저항도 뿐만 아니라 왕복회전거리(stride length ,SL)를 변화시킬 경우 특정 근육에 대한 유연성을 향상시킬 수 있다. 즉, ET기구는 항력, 왕복회전방향, 그리고 왕복회전거리를 조절함으로써 하단의 말단근육에 대한 다각도의 활성화를 유도할 수 있다.[9]

2. 운동량과 유산소 에너지 소비량

앞 절(1)에서 보았다시피 ET 기구는 충격이 적고 다양한 운동 강도를 갖는 근육강화운동이어서 기초대사량을 늘림으로써 여러 가지 성인병을 예방하는 운동일 뿐만 아니라 저항을 조절함으로써 다단계 운동 대사를 배출하는 유산소 운동기구이기도 하다. 먼저 ET 운동 시 신진 대사는 최대산소 소비량(VO2 max)으로 알 수 있다.

유산소운동을 알아보기 위해 Armour[10]가 3분마다 강도를 상향시킴과 동시에 (단계 당 21-25와트씩), 분당 100회씩 회전하여 최대산소소비량(VO2 max)에 대해 얻은 식은

$$VO2\ max = 71.14 - 11.875*X + 2.362*Y - 0.273*Z, \quad (5)$$

이고, 여기서 X는 성별을 나타내며(남성이면 1 여성이면 2), Y는 종료 시 강도 단계를, 그리고, Z는 몸무게(kg)를 나타낸다.

에너지를 소비하기 위해 저항을 이용하여 리듬율동을 하는 ET 운동은 산소소비량뿐만 아니라 다른 측정으로부터 운동 대사를 알아볼 수 있다. ET 운동과 심폐기능 향상 관계를 알아보기 위하여 Dolny[11]는 다양한 왕복길이(SL)와 저항 등급(RL)이 산소소비량(V02, ml/kg/min), 호흡교환률 (RER), 심장박동률 (HR, bpm), 및 인지발휘율 (RPE)에 미치는 영향을 연구하였다. 이를 위해 Dolny가 쓴 방법은 3단계의 저항, 4단계의 왕복거리, 55-60rpm의 기구회전율을 선택하고 각 단계에서 6분간 운동한 다음 3분 휴식을 하도록 하였다. 그 결과 저항단계를 1단에서 3단까지 올리는 동안에 왕복거리와 무관하게 HR, VO2, RPE, 및 RER은 각각 증가하였다. 한편 저항을 일정하게 유지할 때 HR와 VO2 (ml/kg/min)는 왕복거리가 증가할 때 각각 증가하였지만 그러나 RPE 와 RER는 왕복거리와 거의 무관하였음을 알았다.

한편 ET 운동 시 3단계 속도에서 각각의 에너지 소모량을 운동역학적인 (식1) 관점보다는 생체역학적인 측면에서 연구한 Larsen[12]의 결과를 보면 저속 (56 Âcpm=half cycles per min), 중속 (69 Âcpm), 고속 (80 Âcpm)일 때 산소소비량(VO2)이 각각 20.7 ± 2.8; 25.2 ± 3.4; 30.2 ± 4.3 ml/kg/min로써 증가폭이 상당히 컸다. 이 때 심장박동율 비율은 각각 119.3 ± 17.0; 135.7 ± 18.2; 152.7 ± 21.0 beats/min 로써 증가율이 역시 컸다. 결론적으로 Larsen은 ET 운동에서 속도를 증가할수록 예상대로 에너지 소모율이 증가하였음을 알아 본 연구결과(그림1)과 일치함을 알았다. 게다가 Larsen은 저속일 때 평균 산소소모량(VO2)은 전동식 평면뛰기기구(Treadmill)의 저속 3.7 mph일 때 소모량 13.5 ml/kg/min보다는 훨씬 컸으나, 고속일 경우 평균 산소소모량(VO2)은 TM의 고속 5.0 mph일 때 소모량 30.3 ml/kg/min과 거의 비슷하였다. 따라서 ET는 상대적으로 저속에서 안전하고 효과적인 운동기구임을 알았다.

아래 그림3은 이 연구를 위하여 한 시간 동안 ET 운동 후 체중감량을 알아본 실험이다. 실제로 수평축 운동거리는 식(2)로부터 평균속력과 같다. 그림3에서 구룹A 데이터는 유산소 운동 구역이고 구룹B 데이터는 왕성한 대사배출 구역이다. 특이점은 구룹A는 밀집도가 구룹B보다 큰데 이는 ET를 사용하여 유산소운동을 할 경우 효과가 높음을 알 수 있다. 반면에 고속으로 운동하여 대사량을 높일 확률이 50%미만이며 차라리 유산소운동을 함으로써 체중을 줄이는 것이 효과적임을 알 수 있다.

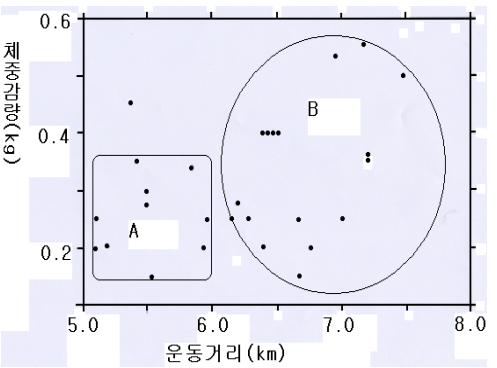

그림 3. 운동거리에 따른 체중감량. 구룹A 데이터는 유산소 운동 구역이고 구룹B 데이터는 대사배출 구역이다
Fig. 3. Weight Loss Versus Exercise Distance. 구룹 A 데이터는 유산소 운동 구역이고 구룹 B 데이터는 대사배출 구역이다

3. 에너지 소비량과 대사 소비량

Picard[13]는 ET에서의 대사소비량을 측정하였는데 그것은 5.3 METS (혹은 5.7 kcal/min) 부터 12.3 METS (혹은 15 kcal/min)까지였다. 이는 고도의 저항도(15단계)를 제외하면 모든 운동상태에서 실제 대사량은 예견된 값에 비해 상당히 작았다. 또한 저항을 바꾸면 운동속도에 따라 에너지소모량이 상당히 달라지지만 경사도를 바꾼다 해도 운동 시 에너지소비율은 괄목할만하게 변하지 않았다는 결론을 얻었다. 그는 또한 에너지 소비율이 125 strides/min 일 때 후퇴방정식은 (METS) = Resistance (.619)+ 2.367으로 주어짐을 얻었다.

아래 그림4는 이 연구를 위해 측정한 체중감량에 따른 에너지 소비량을 나타낸 것이다.. 구룹A데이터는 대사량이 적은 구역이고 구룹B 데이터는 대사량이 큰 구역이다. 그림4에서 얻은 결론은 고속으로 ET운동하여 체중이 크게 줄어든다 하더라도 역학적 에너지 소비율은 저속일 때와 별로 차이가 없다는 것이다. 이 같은 추세는 실제보다 에너지소비가 저평가되었을 가능성이 높은데 그 이유는 고속운동을 할 경우 상체운동이 활발해져서 육체의 내부 및 외부에 의해 마찰열이 체온방출 형태로 사라지기 때문이다. 이 때 체온에 의한 열에너지 방출량은

$$Q_{TH} = mc\ \Delta T \qquad (6)$$

로 주어지는데 m은 체중, c는 인체의 비열, ΔT는 운동전후의 체온 차이이다. 이 열량은 비보존력에 의한 방출열 에너지이어서 측정이 어렵기 때문에 식(1)에서 무시했지만 고속 운동 시에는 역학적 에
너지 소비의 전체 양 중에서 그 역할이 커지게 된다. 마지막으로 그림4에서 대사량이 적을 때 (구룹A) 경우에 따라서는 에너지 소비율이 30%정도 차이가 나 식(1)에 따라 운동시간이 대사량에 미치는 영향이 작다는 것을 알 수 있다.

Matthew[15]는 ET에서 과대평가된 에너지소비량을 주장하였는데 그의 결론에 따르면 예상되는 열소비량이 산소소비량과 신진대사 운반으로부터 얻은 호흡교환률 데이터에 의해 결정된 열소비량에 비해 33.4 ± 7.7% 만큼 과장되었다. 이 또한 앞에서 언급한 것처럼 인체의 마찰에 의한 (특히 상체운동이 활발할 경우) 체내외 방출열을 감안할 경우 그렇게 과장되지 않을 수도 있다.

한편 Armour[14]는 여러 가지 다른 상표의 ET에 대해 각각의 특정 신진대사 방정식 유도했을 때 출력 일률을 동등하게 유지하며 서로 다른 상표의 ET 기구에 대해 준극대 운동에 대한 생리적 반응에서 차이가 존재함을 알았다. 이 차이점 때문에 각각 서로 다른 상표의 ET에 대한 각각의 신진대사 예상 방정식이 필요함을 주장하였다.

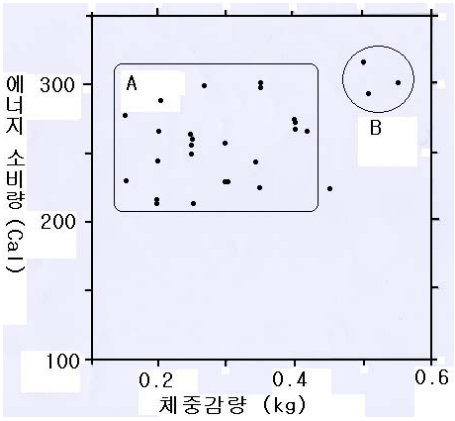

그림 4. 체중감량에 따른 에너지 소비량. 구룹A데이터는 대사량이 적은 구역이고 구룹B 데이터는 대사량이 큰 구역이다
Fig. 4. Energy Expenditure Versus Weight Loss. 구룹 A 데이터는 대사량이 적은 구역이고 구룹 B 데이터는 대사량이 큰 구역이다

다음 연구는 에너지 소비량과 혈압의 변화, 그리고 오감인지도의 변화를 알아볼 예정이고 ET기구와 Treadmill기구(전원공급에 의한 평면이도 운동기구), 그리고 누워서 타는 자전거기구 운동과 비교하여 의료치료 효과와 몸매 가꾸기의 장단점을 알아볼 것이다.

IV. 결과 및 결론

1. 에너지 소비량과 근육활성도

단시간동안 체중감량을 위해서는 고속으로 운동하는 것이 효과적이지만 근육활성도를 높여 기초 대사량을 높이거나 골다공증 예방을 위해서는 저속도 운동이 효과적이라 볼 수 있다.

2. 운동량과 유산소 에너지 소비량

ET를 사용하여 유산소운동을 할 경우 효과가 높음을 알 수 있었다. 반면에 고속으로 운동하여 대사량을 높일 확률이 50%미만이며 차라리 유산소운동을 함으로써 체중을 줄이는 것이 효과적임을 알 수 있다.

3. 에너지 소비량과 대사 소비량

고속으로 ET운동하여 체중이 크게 줄어든다 하더라도 역학적에너지 소비율은 저속일 때와 별로 차이가 없었다. 또한 대사량이 적을 때 경우에 따라서는 에너지 소비율이 30%정도 차이가 나 운동시간이 대사량에 미치는 영향이 작다는 것을 알 수 있다.

참고사항으로 ET 운동에서 다른 기구와 다르게 상체운동을 병행하는데 주의해야 할 것은 오랜 운동시간이 지남에 따라 인지도가 떨어질 때 양손에 의한 헨들의 왕복운동이 자신의 숨쉬기(산소배출)을 따라하는 경향이 있어 숨쉬기가 빨라지면서 혈압이 본인도 모르게 급격히 올라감을 염두해야 한다. 이 같은 현상은 MP3를 들으며 운동할 경우 빠른 비트의 음악일 경우 헨들 진동수가 자신도 모르게 음악처럼 빨라져 고혈압 환자의 경우 주의할 필요가 있다.

이 논문은 한국기술교육대학교 교수의 교육연구진흥비의 지원을 받은 것이다.

참 고 문 헌

[1] US Patent 6726600-Compact, *Elliptical exercise device*, July 27, 2004.

[2] 황운학 외, *대학물리학(서울:북스힐)*,8-10장, 2009년 3월

[3] Kathleen M. Knutzen, Wren McLaughlin, Andrew Lawson, Brandi Row, LeaAnn Martin, “Ramp Position Influences Lower Extremity Biomechanics while Exercising on the Elliptical Trainer”, *Medicine & Science in Sports & Exercise 40*, 5, S340, May 2008.

[4] Kathleen M. Knutzen, Andrew Lawson, Lorraine Brilla, Gordon Chalmers, “Knee Joint Loads During Exercise on the Elliptical Trainer”, *Medicine & Science in Sports & Exercise 39*, 5, S154-S155, May 2007.

[5] Tung-Wu Lu, Hui-Lien Chien, Hao-Ling Chen, “Joint Loading in the Lower Extremities during Elliptical Exercise”, *Medicine & Science in Sports & Exercise 39*, 9, pp.1651-1658, May 2007.

[6] Adam P. Taylor, Thad W. Buster, Bethany R. Barber, Judith M. Burnfield, “Comparison Of Forefoot And Heel Pressures Across Fast Walking And Four Elliptical Trainer Conditions”, *Medicine & Science in Sports & Exercise 41*, 5, pp.62-63, May 2009.

[7] Judith M. Burnfield, Amy G. Jorde, Tanner R. Augustin, Tate A. Augustin, Gregory R. Bashford, “Variations in Plantar Pressure Variables across Five Cardiovascular Exercises”, *Medicine & Science in Sports & Exercise 39*, 11, pp2012-2020, May 2007.

[8] G. Hajiefermides, T. Michael, R. Zabi.k, Y. Liu, M. Dawson, D. Carl, “Comparison Between Stationary and Moving Handlebar Use During Forward and Backward Pedaling on An Elliptical Trainer”, *Medicine & Science in Sports & Exercise 35*, 5, S192, May 2003.

[9] K. D. Browder, .D. G. Dolny, “ Lower Extremity Muscle Activation During Elliptical Trainer Exercise ”, *Medicine & Science in Sports & Exercise 34*, 5, S35, May 2002.

[10] A. Armour, T. Michael, R. Zabik, Y. Liu, M. Dawson, D. Carl, “Development of A Submaximal Exercise Test To Predict Vo2 Max Using An Elliptical Trainer ”, *Medicine & Science in Sports & Exercise 35*, 5, S310, May 2003.

[11] Dennis Dolny, Nikki J. Hughes, Ricky Caylor, Kathy Browder, “Energy Expenditure Measurement: Effect of Varying Stride Length on Cardiorespiratory Response during Elliptical Trainer Exercise”, *Medicine & Science in Sports & Exercise 36*, 5, S25, May 2004.

[12] B T. Larsen, E M. Heath, “Energy Expenditure for An Elliptical Trainer At Three Cadences”, *Medicine & Science in Sports & Exercise 34*, 5, S295, May 2002.

[13] G. Picard, S. Andrews, D. Buckley, A. G eorges, J. Wygand,; R M. Otto, “The M etabolic Cost of Elliptical Exercise Vs P redicted Values”, *Medicine & Science in Sports & Exercise 34*, 5, S292, May 2002.

[14] Daniel P. Sweir, Christopher Ray, Mark Ricard, Lance Dalleck, Jennifer Blevins-McNaughton, “Elliptical Trainer Brands And The Development Of A Metabolic Prediction Equation”, *Medicine & Scie nce in Sports & Exercise 41*, 5, pp 261 -262, May 2009.

[15] Matthew J. Schorner, Daniel C. Terracci ano, Robert C. Hickner, Michael R. Mc Cammon, “The PreCor EFX546 Elliptica l T rainer Over Predicts Energy Expen diture”, *Medicine & Science in Sports & Exercise 36*, 5, S249-S250, May 200 4.

황 운 학 (Un-Hak Hwang) 정회원

1981년 2월 : 연세대학교이학사
1985년 12월 : 미국 미주리대학교 이학석사
1989년 8월 : 미국 미주리대학교 Ph.D.(물리학)
1992년 3월~현재 : 한국기술교육대학교 교수

<관심분야> 플라즈마 물리학, 자유전자레이저, Thin Film Dpositions, 핵융합 이론, 공학기초 물리학.