

지구력 향상 식품의 평가방법에 관한 연구

임 기 원

건국대학교 체육교육과

서 론

인류는 자연에서 영양을 공급받아 생명을 유지하는 일반 동물과 동일한 방법으로 살아가고 있다. 이를 위하여 인류는 곡물을 생산하기 위하여 작물을 재배하는 경작법을 도입하거나 동물을 효과적으로 생산하는 목축 등의 기술을 발전시켜왔다. 또한 경작지를 확보하기 위하여 산림을 개간하거나 해안이나 하안을 매립하여 새로운 토지를 확보하거나 유전공학을 이용한 새로운 품종을 개발하는 등으로 과거 어느 시대보다도 많은 식량을 생산하는 기술을 확보하고 있다.

한편 이러한 과학기술의 발달은 기아에서 포만의 시대를 만들었고, 인류는 과거 경제적으로 식품을 만들며 또한 보다 “맛있는 식품”을 만드는 기술개발 단계에서 이제는 “건강에 도움이 되는 식품”을 기대하기에 이르렀다. 이러한 개념은 1980년부터 기능성 식품(Functional foods)이라는 새로운 식품에 대한 개념으로 발전하였다. 최근에는 특히 건강증진을 위한 식품을 기대하는 소비자의 욕구와 식품산업계의 움직임으로 많은 건강증진을 위한 기능성식품이 시장에 등장하고 있다. 이 식품의 종류는 혈당을 조절하는 식품, 배변기능을 촉진하는 식품, 혈압에 효과적인 식품, 골다공증을 예방하는 식품, 체중조절에 효과적인 식품 등 매우 다양하여 최근에는 운동선수 또는 일반인의 운동기능에 효과적인 식품이 시장에 등장하고 있다. 그러나 이들 식품의 기능을 평가하는 방법은 통일되어 있지 않을 뿐만 아니라 일부는 비과학적인 평가방법을 이용함으로써 일반 소비자로부터 외면당하는 경우도 있다.

따라서 건강기능성 식품개발을 위해서는 과학적이고 효과적인 평가방법의 개발이 절실히 요구되고 있으며 이것은 운동기능성 식품개발 현장도 동일하다. 본 발표에서는 지구력을 중심으로 운동기능향상을 위한 식품개발의 예를 소개하고자 한다.

지구력 증강을 위한 식품 평가방법

피로도달 운동시간(All-out) 측정

① 운동선수의 경우

인체의 지구력 능력은 단위시간당 인체내에 섭취할 수 있는 산소의 양을 측정하여 표시하여 단위는 L/min으로 표기한다. 운동강도가 높을수록 산소섭취량은 증가되나 일정수준에 도달하면 더 이상 증가하지 않는 지점이 나타나고 이 강도에서의 산소섭취량을 최대산소섭취량(Maximal oxygen uptake; VO₂max)이라고 한다. 그러나 동일한 VO₂max라고 하여도 체중이 무거운 사람이 가벼운 사람에 비하여 운동수행능력이 낮을 수밖에 없기 때문에 체중은 운동능력에 부정적 요인이 된다. 따라서 운동수행능력을 고려한 최대산소섭취량은 체중을 보정한 mL/kg/min으로 표시하는 경우가 대부분이다.

체중이 상이한 피검자의 체중보정 VO₂max를 측정하고 %VO₂max로 표기하면 운동능력이 차이가 있다하여도 상대적 운동강도는 동일하게 표시할 수 있다. 일반적으로 조깅 정도의 운동강도는 40~50%VO₂max이고 마라톤 경기의 경우에는 80~85%정도로 알려져 있다.

그림 1은 운동군과 비운동군에서 상대적 운동강도에 따르는 평균 운동지속시간을 나타낸 것이다. 운동선수는 60%VO₂max 강도에서 5~6시간 운동을 지속할 수 있으나 일반인은 1시간 이상 운동을 지속하는 것이 불가능한 경우가 많다. 한편 운동강도가 80%VO₂max인 경우에는 운동지속시간은 운동선수가 2시간 미만, 일반인은 30분 미만으로 운동 트레이닝 여부와 운동강도에 따라 운동지속시간은 변화한다.

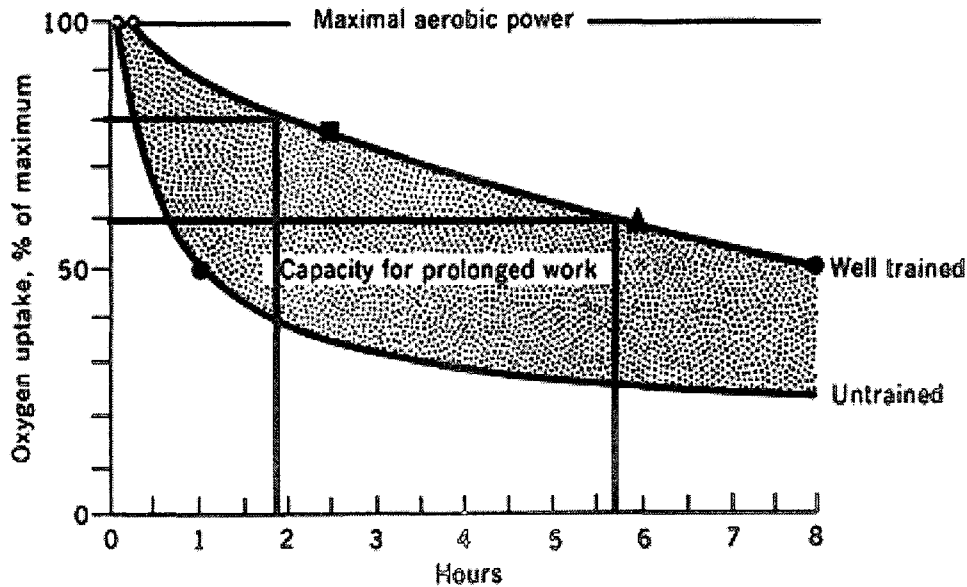


그림 1. 운동그룹과 비운동그룹에서의 운동강도에 따르는 운동지속시간(Austrand & Rodahl, 1970).

커피의 주성분인 카페인을 섭취하면 지방분해를 촉진하여 지구력(운동지속시간)을 연장한다는 사실이 실험동물을 이용한 실험에서 잘 알려져 있다(Ryu 등, 2001).

이러한 연구결과를 인체에서 검증하기 위하여 운동선수를 대상으로 운동개시 전 카페인을 5 mg/kg 섭취시킨 후, 60%VO₂max 운동강도에서 45분간 운동부하하고 운동강도를 80%VO₂max를 증가시켜 피로에 도달하는 시간을 측정하였다(Ryu 등, 2001). 실험설계는 그림 2와 같다.

60%VO₂max 운동강도로 45분간 자전거 에르고미터 운동을 부하한 후 운동강도를 80%로 높여 부하하였다. 또한 운동강도 60%일 때에는 호흡가스중의 산소/이산화탄소 농도를 연속적으로 측정하여 운동중 호흡상을 측정하여 탄수화물과 지방 산화율을 계산하였다(그림 2). 운동중 탄수화물 산화율은 운동초반에 증가하였다가 운동 후반에는 감소하였으며 지방산화율은 운동초반에 비하여 운동후반에 증가하는 결과를 나타내었다. 또한 위약군에 비하여 카페인 5 mg/kg 섭취군에서 지방산화율이 유의하게 증가되었다. 이 사실은 동물실험에서 증명된 사실을 인체실험에서 확인하는 것으로서 카페인의 지구력향상에 미치는 영향은 상대적 운동강도가 60%VO₂max가 타당한 것으로 사료되었다.

한편, 운동강도 60%VO₂max 수준에서는 운동을 더 이상 지속할 수 없는 피로에 도달하는 시간은 운동선수의 경우 5시간을 초과하는 것이 일반적이다(그림 1). 운동시간이 지나치게 장시간인 경우에는 심리적 요소

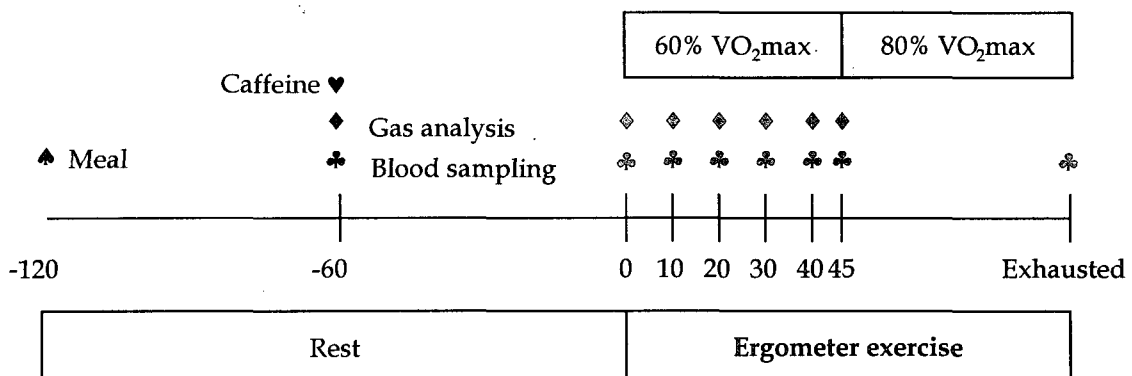


그림 2. 카페인 섭취 실험 디자인 (Ryu 등, 2001)

등의 타 요인이 운동수행능력에 작용할 가능성이 많아지고 실험실에서의 측정효율을 고려하더라도 운동시간은 가능한 한 2시간 이내가 적절하다. 그러나 운동강도가 너무 지나치면 운동중 지방산화에 의존하지않고 글리코젠 등의 탄수화물에만 의존하는 결과를 초래하므로 운동강도를 두단계로 설정하는 것이 바람직할 수 있다.

상기의 실험에서 운동강도가 60%VO₂max 강도로 45분간 운동한 다음, 운동강도를 80%로 증가하여 피로에 도달하는 시간을 측정하였다(그림 4). 운동지속시간은 45분간의 60% 강도의 운동시간을 포함하여, 위약군의 경우에는 평균 60분 정도이며 카페인 투여군에서는 평균 70분 정도로 유의하게 운동을 지속하는 것으로 나타났다. 이것은 운동강도를 60%로 설정하여 운동부하한 후 강도를 80%로 증가시키면 운동지속시간을 단축시키면서 운동기능을 향상시키는 식품의 영향을 검증할 수 있는 방법이라고 사료된다.

운동시간이 1시간을 초과하게 되면 운동중에도 에너지를 공급하는 것이 지구력을 유지하는데 도움이 된다고 한다(ACSM, 1996). 운동중의 에너지 공급은 기본적으로 소화흡수가 빠른 탄수화물을 이용하는 것이 많다. 탄수화물중에도 가장 흡수가 빠른 포도당(글루코스)을 5~8% 농도로 공급하는 것이 일반적이며 대부분의 스포츠음료도 이 범위에 해당된다. 그러나, 글루코스의 경우에는 Glycemic index (GI)가 높아 인슐린 분비 자극 정도가 매우 높다. 인슐린이 높은 상태에서 운동하면 지방 분해와 산화가 억제되어 운동후반에 지방

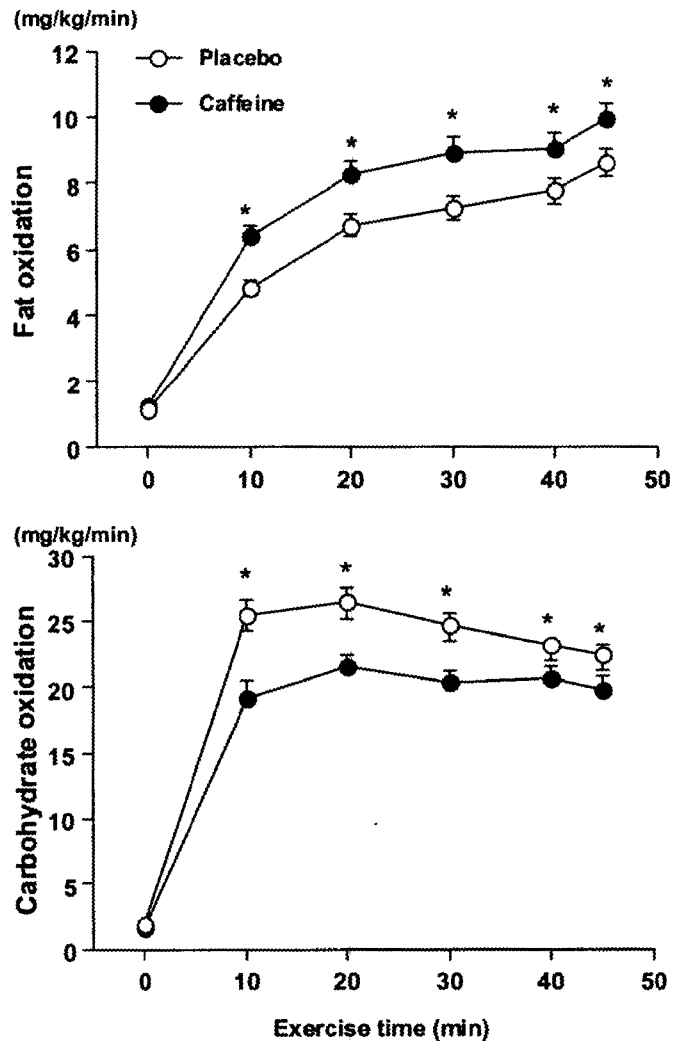


그림 3. 카페인(5 mg/kg) 섭취후 60%VO₂max 강도의 자전거에르고미터 운동중의 탄수화물 및 지방산화를 (Ryu 등, 2001)

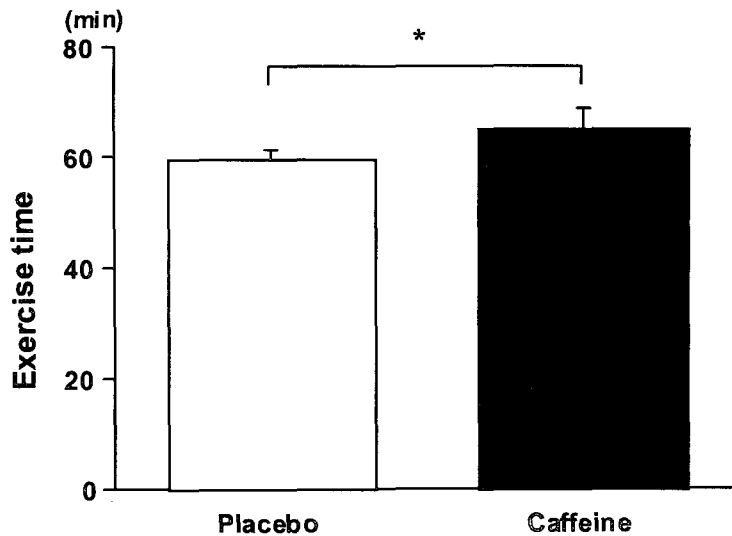


그림 4. 카페인(5 mg/kg) 섭취후 60%VO₂max (45분간) 및 80%VO₂max 강도에서의 자전거에르고미터 운동지속시간(Ryu 등, 2001)

산화가 촉진되는 마라톤과 같은 지구성 운동종목에는 부적절할 수도 있다. 따라서 글루코스에 비하여 GI가 낮은 과당(fructose)은 글루코스에 비하여 흡수가 늦으며 인슐린 분비자극이 적어 운동중 탄수화물 공급원으로서 글루코스에 비하여 효과적일 수 있다.

그림 5와 같이 남자 고등학교 축구선수를 대상으로 운동전 15분부터 운동중 150ml의 물, 10% 글루코스용액, 10% 과당용액을 각각 섭취하면서 60% 강도의 자전거 에르고미터 운동을 하고 각각 호기가스를 측정하였다.

운동중의 호흡상은 글루코스를 섭취하였을 때가 가장 높아 글루코스 섭취는 탄수화물의 산화를 촉진시키는 것으로 밝혀졌다(그림 6). 과당섭취는 물섭취와 거의 비슷한 호흡상을 나타내어 운동중 탄수화물 산화를 억제하는 것이 밝혀졌다. 동일 강도의 운동중 탄수화물 산화가 억제되고 지방산화가 촉진되는 것은 체내 축적량이 적은 글리코겐 등의 산화를 억제하는 것으로 운동후반의 지구력에는 도움이 될 수 있다.

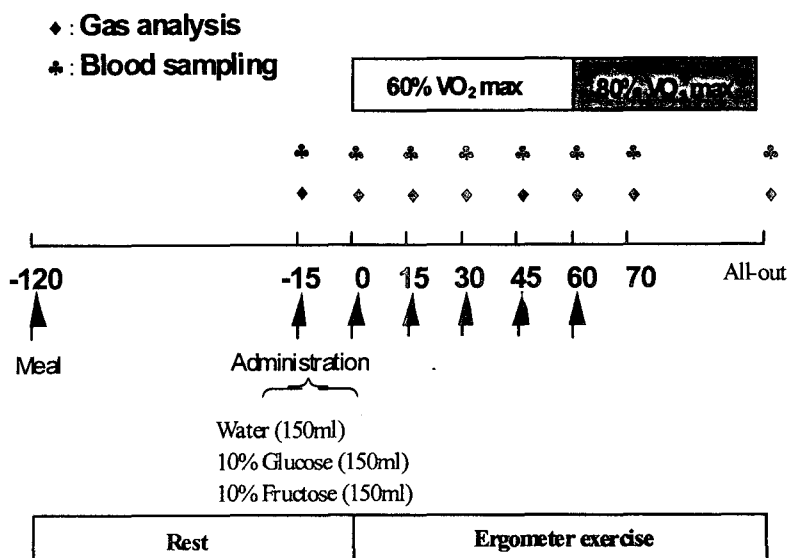


그림 5. 과당섭취가 지구력을 향상시키는 효과에 관한 실험디자인(Lim, 1999)

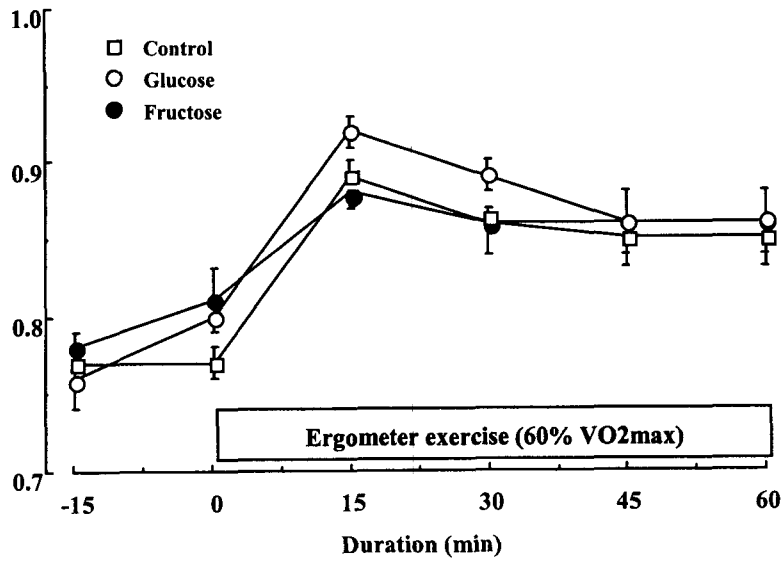


그림 6. 글루코스와 과당 섭취가 운동중 호흡상에 미치는 영향(Lim, 1999)

한편 1시간 동안의 60% 운동강도의 자전거 에르고미터 운동후, 운동강도를 80%로 증가시켜 탈진할 때까지의 운동시간은 과당 섭취군에서 유의하게 증가(그림 7)되어 운동중 탄수화물원은 과당이 적당한 것으로 사료된다.

② 일반인의 경우

일반인의 경우에는 운동선수에 비하여 동일한 상대적 운동강도이더라도 운동지속시간이 짧은 것으로 알려져 있다. 따라서 운동선수에서 실시하는 60%VO₂max 강도는 충분히 지방산화를 촉진할 수 있는 운동시간을 확보하기 어렵다. 그러므로 기본적으로 60%보다 낮은 강도에서 운동부하를 실시하는 것이 바람직하다.

인도 등에서 자생하는 가르시니아(Garcinia) 열매에서 추출한 Hydroxycitric acid(HCA)는 지방산화를 촉진하는 물질로 알려져 있다. HCA 섭취가 일반인의 운동중 지방산화 촉진 작용과 지구력에 미치는 영향을 다음과 같은 방법으로 평가하였다(Lim 등, 2003).

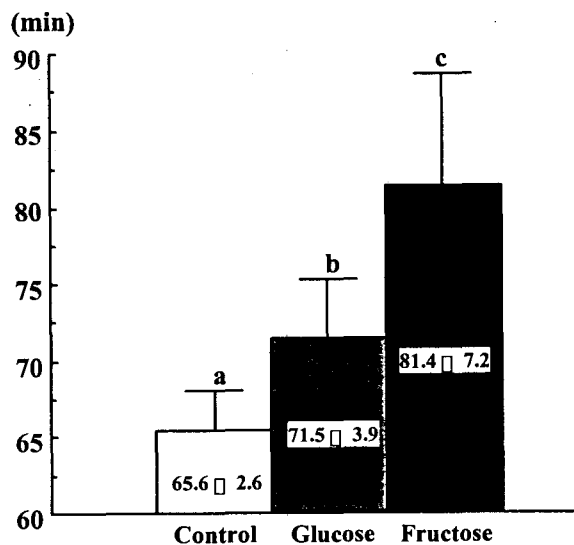


그림 7. 글루코스 및 과당 섭취후 운동지속시간(Lim, 1999)

일반 여자 대학생을 대상으로 VO_{2max} 를 측정 한 다음, 5일간 250 mg의 HCA를 섭취하게 한 다음, 40% VO_{2max} 강도의 자전거 에르고미터 운동을 1시간 부하하여 운동중 지방산화량을 측정하였다. 1시간의 운동을 부하한 다음, 운동강도를 60%로 증가시켜 탈진할 때까지의 운동시속시간을 측정하였다. 실험디자인은 그림 8에 나타낸바와 같다.

운동중에는 15분 간격으로 호기가스를 채취하여 탄수화물 및 지방산화율을 측정하였다(그림 9). 40%의 운

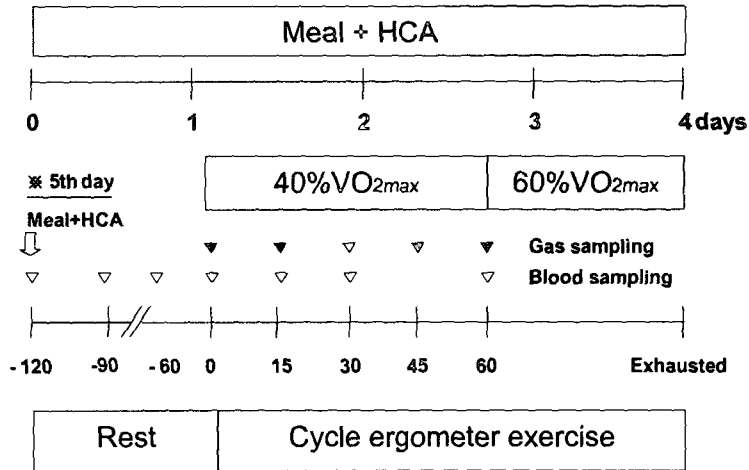


그림 8. 일반인을 대상으로 한 HCA 섭취 효과 검증 실험 디자인(Lim 등, 2003)

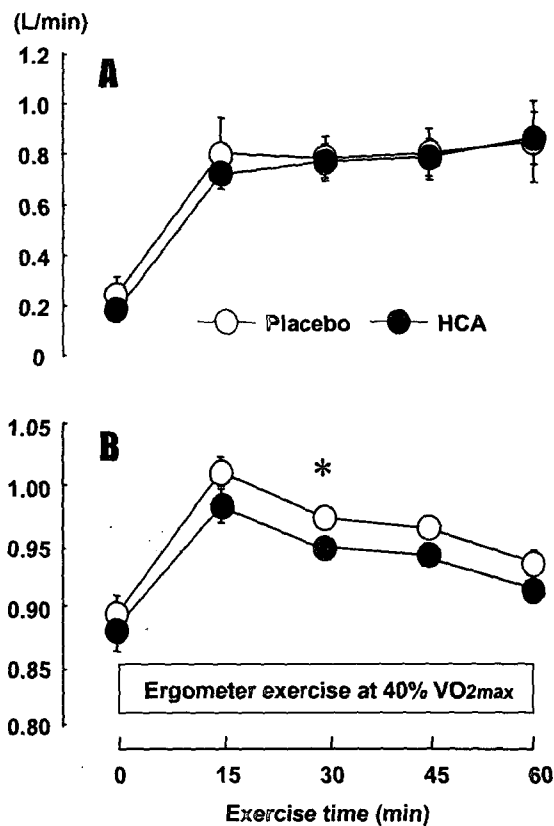


그림 9. 일반인에게 HCA를 5일간 투여한 후, 운동중(40% VO_{2max}) 탄수화물(A) 및 지방(B) 산화율의 변화(Lim 등, 2003)

동강도로 1시간 운동을 부하하면 운동중 탄수화물 산화율은 위약군과 HCA 섭취군과 비슷한 결과를 나타내었지만(그림 9; A), 지방산화율은 HCA 섭취군에서 유의하게 상승하였다. 이 연구결과는 HCA가 운동중 지방산화를 촉진시킨다는 결과를 의미한다. 또한 일반인을 대상으로 식품이 운동능력 향상에 미치는 효과를 검증하기 위해서는 운동선수에 비하여 운동강도가 낮은 40%VO₂max에서 1시간 정도의 운동부하가 적당한 것으로 나타났다.

또한 40%VO₂max 강도 운동을 1시간 부하한 후 운동강도를 60%로 증가시켜 탈진할 때까지의 운동시간을 측정하였다(그림 10). 지방산화가 증가한 HCA 섭취군에서 운동지속시간이 증가하였으며, 카페인과 마찬가지로 지방산화를 촉진하면 지구력이 증가된다는 사실도 확인되었다.

주관적 운동강도 측정

운동수행능력을 향상시키는 식품을 평가하기 위해서는 기본적으로 운동부하장치가 필요하며 운동중 산소 섭취량, 이산화탄소 배출량 등을 측정하는 고가의 가스분석기도 필요하다. 보다 더 실용적으로 운동능력과 식품과의 관계를 알기 위한 방법이 필요하다.

운동생리학 분야에서는 지구력 또는 운동강도 등을 나타내는 지표로서 오래 전부터 보르그 지수(Borg's Index; BI)라는 척도를 사용하고 있다. 이것은 기본적으로 6~20사이의 지수를 설정하고 운동중 피로정도를 피검자가 선택하는 방법을 채택한다. 사람의 심박수는 기본적으로 안정시에는 60 bpm 전후이며 운동중 최고심박수 200 bpm 정도에 달한다. BI는 이를 1/10로 축소하여 6이 가장 편안한 상태이며 20이 더 이상 지속할 수 없는 상태를 의미한다. 이 방법은 어디까지나 피검자의 주관적 피로도를 나타내는 것으로 비과학적인 측면은 있으나, 매우 간편한 방법으로 실제 운동처방 분야에서는 많이 이용되는 방법이다.

BI를 운동기능성 식품 평가방법으로 이용할 수 있는지 여부를 확인하기 위하여 남자 대학생 축구선수에게 5일간 HCA(250 mg)를 섭취시킨 후 60% 운동강도 및 80% 운동강도에서 지방산화율과 BI를 비교하였다(그림 11).

실험설계는 그림 8과 유사하며 운동강도만 60%VO₂max 또는 80%로 하였다(Lim 등, 2002).

운동중 BI는 운동개시전 6부터 점증적으로 상승하여 운동개시 1시간후에는 평균 16~18을 나타내었다(그림 11의 좌측). 이때의 지방산화율도 운동중 점증적으로 상승하여 운동개시 1시간후에 지방산화율이 최고점에 도달하였다(그림 11의 우측). 기본적으로 BI와 지방산화량과는 비례하는 것으로 나타났다.

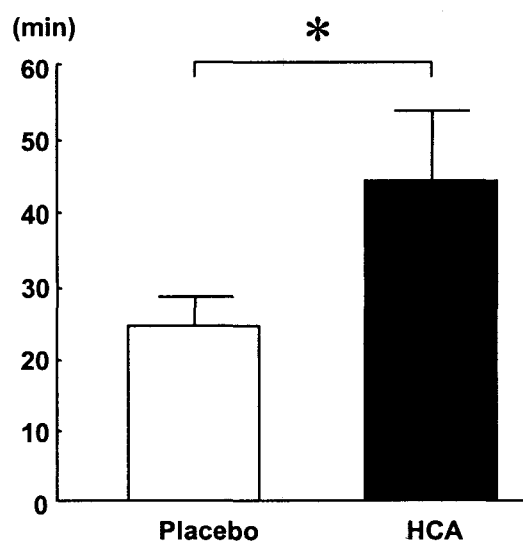


그림 10. 5일간 250 mg의 HCA를 섭취한 후, 60%VO₂max 운동강도에서의 운동지속시간(Lim 등, 2003)

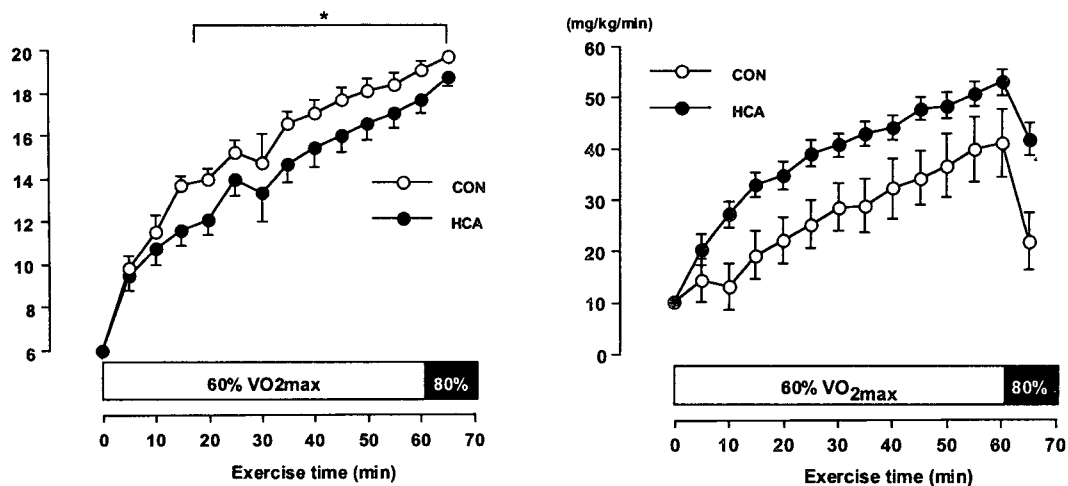


그림 11. Borg's index와 지방산화율과의 관계(Lim 등, 2002)

또한 HCA 섭취군에서는 BI지수가 위약군에 비하여 낮은 것으로 나타났고 이때의 지방산화율은 HCA군에서 높은 것으로 나타났다. 즉 BI지수는 운동중에 증가하며 지방산화율이 높으면 주관적 피로도가 저하하였다. 이것은 지방산화량을 직접적으로 측정하는 것도 매우 과학적인 방법이나, 운동부하중 BI를 측정하는 것도 운동수행능력에 대한 식품의 효과를 간편하게 측정할 수 있는 방법으로 이용될 수 있으나 이에 관한 연구보고는 많지 않아 상세한 연구가 요청된다.

젖산역치 측정

운동강도가 상승하면 해당계(glycolysis)에 의한 에너지 생산이 증가되고 그 결과로 혈중 젖산농도가 상승하게 된다. 혈중 젖산은 근육이나 간에서 에너지원 또는 글루코스 생성(Gluconeogenesis)의 재료로 이용된다. 그러나 젖산이용에도 한계가 있어 생성되는 젖산이 이용되는 젖산보다 많을 경우에는 혈중 젖산농도는 증가된다. 안정시 혈중 젖산농도는 일반적으로 1.0 mM 이하이며 운동을 개시하면 급격히 상승한다. 젖산역치(Lactate threshold; LT)는 급격히 혈액 젖산농도 증가하는 지점을 의미한다. 운동강도를 점증적으로 증가시키면 그림 12 좌측 그래프와 같이 심박수가 증가하며 혈액 젖산농도도 증가한다. 이 그래프에서의 LT는 최

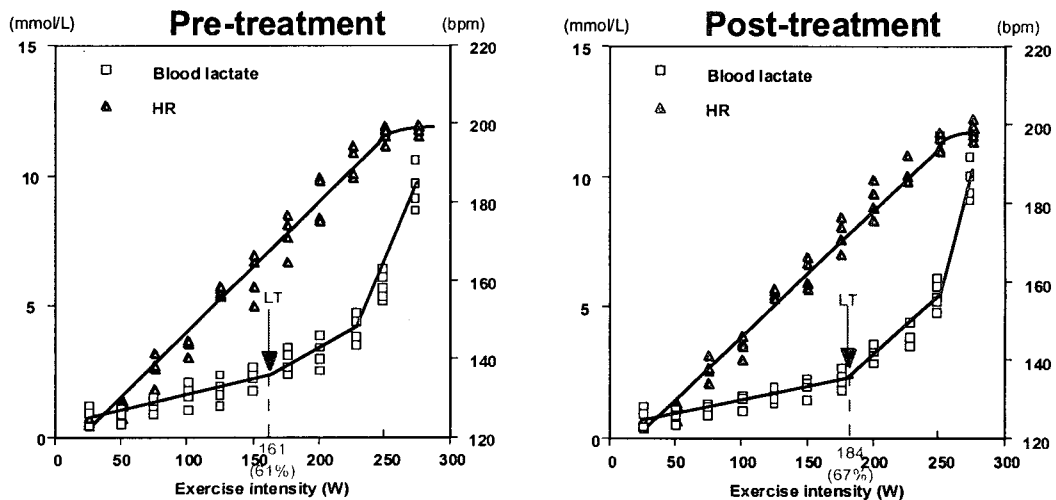


그림 12. 젖산역치 측정의 예

표 1. 보르그 지수

Borg's index	Feelings
20	
19	Very, very hard
18	
17	Very hard
16	
15	Hard
14	
13	Somewhat hard
12	
11	Fair light
10	
9	Very light
8	
7	Very, very light
6	

대운동능력의 61%에 해당하는 161W로 평가된다. HCA 250 mg을 5일간 섭취하여 LT를 측정하면 그림 12의 우측 그래프와 같이 LT가 최대운동능력의 67% 즉 184W로 증가하였다. LT가 61%에서 67%로 증가한 것은 경기력 향상측면에서는 매우 큰 의미를 갖는 것이며 점증적 운동강도 부하방법으로서 식품의 기능을 측정할 수 있는 것은 단시단의 운동부하로서 실험이 종료된다는 장점이 있으나, 아직 그 효용성에 관해서는 많은 연구가 요구된다.

결 론

운동기능 특히 지구력을 향상시키는 식품개발에 관한 사회적 수요는 많을 것으로 예상된다. 그러나 이에 관한 과학적 평가방법은 확립되어있지 않으나, 운동방법으로는 자전거 에르고미터를 이용하며, 운동강도는 운동선수의 경우는 최대산소섭취량의 60%, 일반인의 경우는 40%가 적절하다고 사료된다. 인체내에서 지방산화가 충분히 이루어지기 위하여 운동시간은 1시간 이상이 되어야 한다고 사료된다.

참 고 문 헌

1. ACSM. 1996. ACSM's Guidelines for exercise testing prescription. *Williams & Wilkins*, Baltimore.
2. 임기원, 최성근. 2000. 운동중 과당섭취가 에너지 대사 및 운동지속시간에 미치는 영향. *한국체육학회지* 39(2): 571-580.
3. Lim K. 1999. Effects of fructose ingestion on exercise performance and energy metabolism in athletes. *The 8th Asian Congress on Nutrition, Proceedings* 90.
4. Ryu S, Choi S, Cha YS, Suh H, Lee S, Lim K. 2001. Caffeine as a lipolytic food component increases endurance performance in rats and athletes. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology* 47(2): 138-146.
5. Cha YS, Choi S, Suh H, Cho D, Lim K. 2001. Effects of carnitine coingested caffeine on carnitine metabolism and endurance capacity in athletes. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology* 47(6): 378-384.
6. Lim K, Ryu S, Kwon T, Suh H, Lee WK, Tomi H. 2002. Short-term (-)-hydroxycitrate ingestion

increases fat oxidation during exercise in athletes. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology* 48(2): 128-133.

7. Lim K, Ryu S, Noh H, Choi S, Kwon T, Suh H, So J, Tomita K, Okuhara Y, Shigematsu N. 2003. (-) Hydroxycitric acid ingestion increases fat utilization during exercise in untrained women. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology* 49(3) *in press*.
8. Tomita K, Okuhara Y, Shigematsu N, Lim K. 2003. HCA ingestion on energy metabolism during exercise in untrained men. *Bioscience Biotechnology Biochemistry* *in press*.