

사람에 있어서 단기간의 절식이 운동에너지원의 이용양상에 미치는 영향

영남대학교 의과대학 생리학교실
김종연 · 이영만 · 이석강

서 론

1920년대에 최대 산소소비량이 운동수행능력의 주 제한요소라는 보고¹⁾ 이래, 운동수행능력의 향상을 위한 많은 노력이 이루어져 왔으며 특히 최근에는 운동에너지원의 대사에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

운동시 사용되는 에너지원로서는 1940년대 초기까지만 해도 골격근내 글리코겐이 주된 것으로 인식되어 왔으나²⁾ 연구방법의 개선 등으로 지방의 중요성이 점차 강조되고 있다.^{3~5)} 탄수화물과 지방의 대사정도는 운동의 강도, 종류, 기간, 운동수행자의 영양상태, 운동에 대한 적응 정도에 따라 다르다고 하며⁶⁾ 단기간의 심한 운동시에는 골격근내 글리코겐이 가장 중요하며⁷⁾ 중등도이하의 운동시에는 지방이 많이 소모된다⁸⁾ 고 한다. 지방의 주에너지형인 유리지방산은 장시간 운동시 점차로 증가하여 골격근내의 미토콘드리아에서 산화과정을 거쳐 주에너지원으로 쓰이는 바,^{9~11)} 혈중유리지방산의 활발한 이용은 골격근내 글리코겐 절감효과(glycogen sparing effect)를 나타내게 된다.^{12~14)} 그러므로 유리지방산의 이용은 지구력의 주 제한요소인 골격근내 글리코겐의 최종이용율을 높여 운동수행 능력을 증대시킬 수 있다.^{15~17)}

혈당은 운동시 주요한 에너지원이 되며, 운동 초기에 오히려 증가하거나^{18,19)} 또는 변화가 없다고 하며,^{8,20)} 장시간 운동시에는 간장내 글리코겐의 고갈로 인하여 점차로 감소되어 피로의 원인이 된다고 한다.^{21,22)}

혈중 중성지방은 식후 유미미립(Chylomicron)이 주된 성분이고 절식시에는 간장에서 분비되는 VLDL(very low density lipoprotein)이 주성분이며²³⁾ 장시간 운동시에 약간 감소되거나^{24,25)} 별 변화가 없다는 보고^{26,27)}가 있다. 혈중 콜레스테롤은 지속적인 체력단련을 받는 운동선수에서 감소하나²⁸⁾ 운동중의 농도변화는 없다²⁹⁾고 한다.

한편, 절식이 운동에너지원 대사에 미치는 영향은 지방조직에서의 지방산 유리를 증가시키며^{5,11,29)} 중성지방은 오히려 감소시킨다.^{26,27)}고 한다. 이 등³⁰⁾은 절식시 혈중유리 지방산의 증가가 흰쥐에서 운동시 골격근내 글리코겐 절감효과를 나타낸다고 하였고 Dohm 등²⁹⁾은 단기간의 절식이 흰쥐의 지구력을 증가시켰다고 하였다.

이상과 같은 이론적 배경을 바탕으로 하여 사람에게 있어서 단기간의 절식이 운동중의 탄수화물 및 지방대사에 미치는 영향을 규명하기 위하여 혈중 유리지방산 및 혈당을 측정하였다. 아울러 고도의 훈련을 받는 장거리 육상선수의 에너지원 대사를 비운동선수의 그것과 비교하여 효과적인 에너지원의 이용양상은 어떤 것인지 알고자 본 연구를 시행하였다.

대상 및 방법

대 상

본 연구는 19~22세의 건강한 남자 총 15명을 대상으로 하였다. 이 중 9명은 규칙적인 훈련을 받은 경험이 없는 대학생(비운동선수군)이었으며 나머지 6명은 고도의 훈련을 받은 전국대회 출전경력의 장거리 육상선수(운동선수군)였다.

* 본 연구는 1986년도 영남대학교 기초의학연구소 연구보조비로 이루어졌음.

각군의 일반적인 신체조건을 알기 위하여 신장, 체중 및 체지방량을 측정하였다.

방 법

실험은 동일대상에서 정상식이후 및 18시간의 절식후 시행하였으며 먼저 정상식이후 실험을 한후 1주일의 간격을 두고 절식 실험을 하였다. 여기서 정상식이라 함은 실험전일 오후 4시에 일정한 메뉴의 가벼운 저녁식사를 하게 하고 실험일 오전 8시에 빵과 우유로 아침식사를 한 것을 말하며 운동부하는 오전 10시에 시행하였다. 절식은 정상식이와 같은 저녁식사를 한 후 실험일 오전 10시까지 절식시킴으로 총 18시간 절식시켰다. 각 군은 실험전 충분한 사전교육을 받았으며 주어진 음식과 식수이외의 모든 음식물 및 음료는 금하였다.

운동부하는 일본 후지전자 회사제 Walking trainer Hope I treadmill을 이용하여 경사 3%에서 시간당 8Km의 속도로 30분간 달리게 하였으며 운동부하 직전, 운동부하 15분 및 30분에 전완맥을 통하여 5ml의 혈액을 채취하여 혈중 유리지방산 및 글루코스를 측정하였으며 중성지방, 콜레스테롤 및 헤마토크리트도 동시에 측정하였다. 운동부하의 양적평가에 중요한 지표가 되는 심박동수도 운동부하 직전 및 운동부하 15분과 30분에 측정하였다. 이때 혈중 유리지방산, 글루코스, 중성지방 및 콜레스테롤은 일본 Nissui회사제 효소분석법 Kit를 사용해 분석하였으며 심박동수는 Narco Bio System제 MK-IV-P Physiograph를 이용하여 Photoelectric pulse transducer로 식지에서 1분간 측정하였다.

체지방량은 안정상태에서 caliper를 이용하여 Jackson과 Pollock의 방법³¹⁾에 따라 body density를 구한 후 Siri equation(% body fat = 495/body density-450)으로 측정하였으며 헤마토크리트는 microhematocrit centrifuge법으로 분석하였다.

실험결과와 통계학적 처리는 paired 또는 non-paired two tailed t-test로 하였다.

성 적

실험대상자는 비운동선수군 9명과 운동선수군 6명으로 총 15명 이었으며 연령, 신장, 체중 및 헤마토크리트치는 양군에서 비슷하였으나 체지방량은 운동선수군이 $6.3 \pm 1.09\%$ 로 비운동선수군의 $8.2 \pm 0.6\%$ 보다 유의하게 낮았다.

운동전 정상식이군에 있어서 혈중 유리지방산, 글루코스, 중성지방 및 콜레스테롤은 비운동선수군과 운동선수군에서 비슷한 수치를 보였으며, 분당 심박동수는 운동선수군에서 56 ± 4.6 회로서 비운동선수군의 73 ± 5.6 보다 현저하게 낮았다. 절식시 역시 혈중 유리지방산, 글루코스, 중성지방 및 콜레스테롤은 비운동선수군과 운동선수군에서 차이가 없었으며 분당 심박동수는 정상식이군과 비슷하게 운동선수군에서 낮았다.

혈중 유리지방산($\mu\text{Eq/l}$)은 비운동선수 식이군에서 운동부하전 232 ± 46.3 , 운동부하 15분 및 30분에 각각 322 ± 75.4 , 418 ± 93.7 로서 운동부하 시간에 따라 유의한 증가를 보였으며 운동선수군 역시 비슷하게 증가하였다. 절식의 경우 비운동선수군은 운동부하전 587 ± 137.9 , 운동부하 15분 및 30분에 각각 675 ± 166.8 , 816 ± 175.5 로서 시간이 경과함에 따라 증가하였으나 운동선수군은 운동부하전 588 ± 78.3 에 비하여 시간에 따른 변화는 없었다. 정상식에 있어 비운동선수군과 운동선수군의 차이는 없었으며 절식에 있어서는 운동부하직전과 운동부하 15분에는 양군이 비슷했으나 운동부하 30분에는 운동선수군이 비운동선수군 보다 유의하게 낮았다. 절식시는 정상식에 비하여 양군 모두 2.5배나 증가하였다.

혈당(mg%)은 정상식이시 비운동선수군에서 운동직전 78 ± 7.1 , 운동부하 15분 및 30분에 각각 85 ± 5.7 , 89 ± 4.3 으로 운동부하 시간의 경과에

Table 1. Physical characteristics of the subjects

	Age (year)	Body weight (kg)	Height (cm)	Body fat (%)
Non-athletes, n=9	19.8 ± 0.93	63 ± 8.1	175 ± 5.8	8.2 ± 0.60
Athletes, n=6	20.5 ± 1.05	59 ± 6.7	172 ± 7.0	$6.3 \pm 1.09^*$

Values are means \pm S.D. ; n indicates number of cases

* $P < 0.01$

Table 2. The comparisons of plasma free fatty acid(FFA), glucose, triglyceride(TG) and cholesterol concentrations between non-athletes and athletes

	FFA (uEq/l)	TG (mg%)	Cholesterol (mg%)	Glucose (mg%)
Non-athletes, n=9				
Fed	232 ± 46.3	99 ± 25.7	150 ± 29.9	78 ± 7.1
Fasted	587 ± 137.9	50 ± 16.3	156 ± 32.0	74 ± 7.3
Athletes, n=6				
Fed	219 ± 31.3	89 ± 10.5	140 ± 16.0	77 ± 3.1
Fasted	558 ± 78.3	54 ± 10.3	143 ± 13.1	74 ± 4.1

Values are means ± S.D.
n indicates number of cases

Table 3. Changes of FFA concentration during treadmill running

	Duration of running (min.)		
	0	15	30
Non-athletes, n=9			
Fed	232 ± 46.3 (100)	322 ± 75.4* (139)	418 ± 93.7* (180)
Fasted	587 ± 137.9# (100)	675 ± 166.8* (115)	816 ± 175.5* (139)
Athletes, n=6			
Fed	219 ± 31.3 (100)	304 ± 52.6* (139)	378 ± 62.1* (173)
Fasted	558 ± 78.3# (100)	558 ± 50.1 (100)	569 ± 48.9 (102)

Values are means ± S.D.; n indicates number of cases;
() indicates percent changes during treadmill running;
* P < 0.001(0 VS. 15, 15 VS. 30 min.)
P < 0.001(Fed VS. Fasted)

따라 점차로 증가하였고 운동선수군 역시 비슷하게 증가하였다. 절식의 경우는 비운동선수군에서 운동직전의 74 ± 4.1에 비하여 운동 15분 및 30분에 각각 78 ± 3.2, 79 ± 3.9로 유의하게 증가하였다. 정상식이시 비운동선수군은 운동선수군에 비하여 운동직전과 운동부하 15분에는 차이가 없었으나 운동부하 30분에는 더 높았다. 절식시는 양군사이의 유의한 차이는 없었으며 운동선수군에서 운동부하시 시간에 따른 증가의 정도가 다소 낮았다. 절식시는 정상식이에 비하여 양군 모두 차이가 없었으나 절식시 다소 낮은 경향을 보였다.

혈중 중성지방(mg%)은 정상식이시 비운동선수군 및 운동선수군에서 운동부하에 의한 차이는 없었으나 운동선수군이 다소 낮은 경향을 보

여 주었다. 절식시는 양군 모두 운동부하에 의한 차이가 없었다. 비운동선수군과 운동선수군 사이의 비교에 있어서는 정상식이 및 절식시에 유의한 차이가 없었다. 절식시는 양군 모두 정상식이의 1/2로 감소하였다.

혈중 콜레스테롤(mg%)은 정상식이시 비운동선수군 및 운동선수군에서 운동부하 시간에 따른 차이는 없었으며 절식시 역시 양군 모두 차이가 없었다. 운동선수군에서 비운동선수군과 비교하여 식이 및 절식시에 유의한 차이는 양군 모두 없었다.

헤마토크리트는 비운동선수군 및 운동선수군에서 운동부하에 따른 차이는 없었으며 절식에 의한 변화도 없었다.

분당 심방동수(회)는 정상식이시 비운동선수군

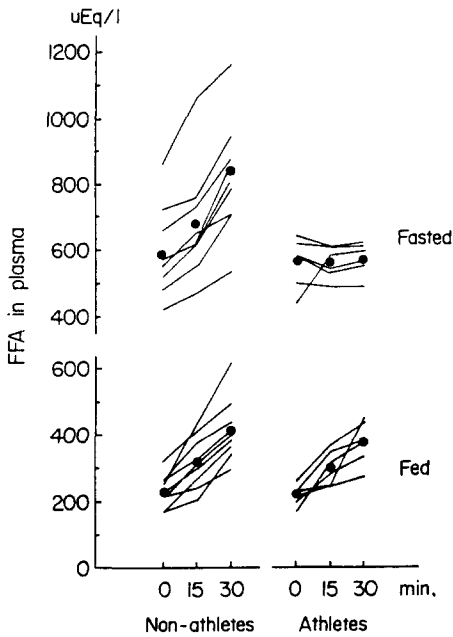


Fig. 1. Changes of FFA concentration during treadmill running.

에서 운동직전 73 ± 5.6 에 비하여 운동 15분 및 30분에 각각 128 ± 5.7 , 145 ± 6.3 으로 2배정도 증가하였으며 절식시도 비슷하게 증가하였다. 운동

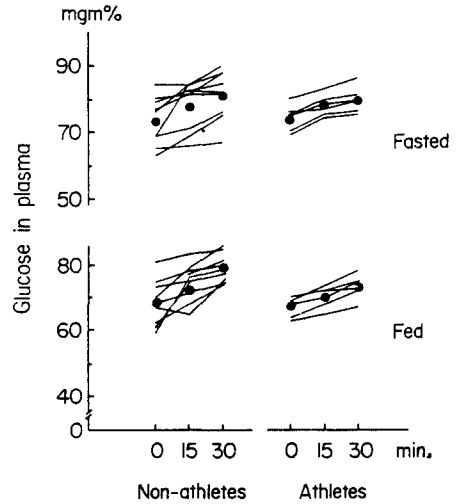


Fig. 2. Changes of glucose concentration during treadmill running.

선수군에서는 정상식이시 운동전 56 ± 4.6 에 비하여 운동후 15분 및 30분에 각각 68 ± 3.0 , 72 ± 8.2 로 증가하였고 절식군에서도 운동전의 56 ± 7.0 에 비하여 운동 15분에 63 ± 8.8 로 증가하였으나 운동 30분에는 15분에 비하여 차이가 없었다. 운동

선수군은 비운동선수군에 비하여 안정시 심박동수가 낮았으며 같은 량의 운동부하시 심박동수의 증가의 정도도 낮았으며 단기간의 절식은 운동전후의 심박동수에 아무런 영향을 끼치지 않았다.

Table 4. Changes of glucose concentration during treadmill running

	Duration of running (min.)		
	0	15	30
Non-athletes, n=9			
Fed	78 ± 7.1 (100)	$85 \pm 5.7^*$ (109)	$89 \pm 4.3^{**}$ (114)
Fasted	74 ± 7.3 (100)	$78 \pm 7.0^*$ (105)	$81 \pm 7.5^{**}$ (109)
Athletes, n=6			
Fed	77 ± 3.1 (100)	$80 \pm 3.0^{**}$ (104)	$83 \pm 3.7^{**}$ (108)
Fasted	74 ± 4.1 (100)	$78 \pm 3.2^{**}$ (105)	$79 \pm 3.9^{**}$ (107)

Values are means \pm S.D. ; n indicates number of cases ;
 () indicates percent changes during treadmill running ;
 * $P < 0.05$ (0 VS. 15, 15 VS. 30 min.)
 ** $P < 0.01$ (0 VS. 15, 15 VS. 30 min.)

Table 5. Changes of plasma concentration(mg%) of TG during treadmill running

	Duration of running (min.)		
	0	15	30
Non-athletes, n=9			
Fed	99 ± 25.7 (100)	101 ± 26.2 (102)	106 ± 23.8 (107)
Fasted	50 ± 16.3* (100)	49 ± 15.8 (98)	48 ± 15.4 (96)
Athletes, n=6			
Fed	89 ± 10.5 (100)	87 ± 5.9 (98)	86 ± 5.5 (97)
Fasted	54 ± 10.3* (100)	52 ± 9.7 (96)	50 ± 9.2 (93)

Values are means ± S.D. ; n indicates number of cases ;
 () indicates percent changes during treadmill running ;
 * P < 0.001 (Fed VS. Fasted)

Table 6. Changes of plasma concentration(mg%) of cholesterol during treadmill running

	Duration of running (min.)		
	0	15	30
Non-athletes, n=9			
Fed	150 ± 29.9 (100)	161 ± 24.5 (107)	156 ± 21.3 (104)
Fasted	156 ± 32.0 (100)	152 ± 24.1 (97)	149 ± 21.8 (96)
Athletes, n=6			
Fed	140 ± 16.0 (100)	144 ± 22.8 (103)	158 ± 26.0 (113)
Fasted	143 ± 13.1 (100)	148 ± 10.6 (103)	144 ± 12.1 (101)

Values are means ± S.D. ; n indicates number of cases ;
 () indicates percent changes during treadmill running ;

Table 7. Changes of heart rates during treadmill running

	Duration of running (min.)		
	0	15	30
Non-athletes, n=9			
Fed	73 ± 5.6 (100)	128 ± 5.7* (175)	145 ± 6.3* (198)
Fasted	74 ± 6.6 (100)	129 ± 12.0* (174)	140 ± 11.2* (189)
Athletes, n=6			
Fed	56 ± 4.6** (100)	68 ± 3.0* (121)	72 ± 8.2* (129)
Fasted	56 ± 7.0** (100)	63 ± 8.8* (113)	64 ± 8.2 (114)

Values are means ± S.D. ; n indicates number of cases ;
 () indicates percent changes during treadmill running ;
 *P < 0.001 (0 VS. 15, 15 VS. 30 min.)
 **P < 0.001 (Non-athletes Vs. Athletes)

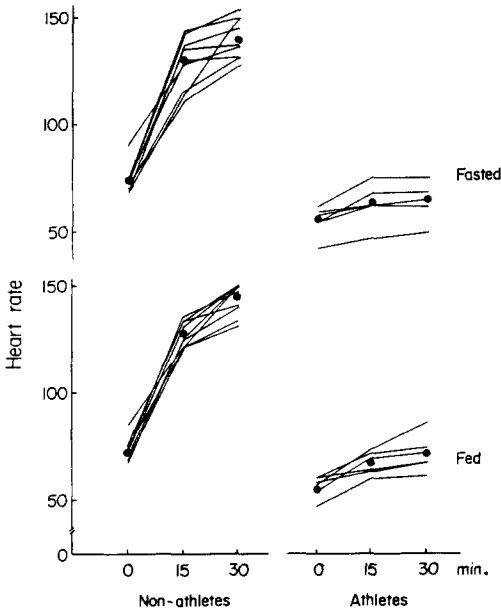


Fig. 3. Changes of heart rates during treadmill running.

고찰

운동수행능력의 중요한 제한 요인으로 알려져 있는 골격근내 글리코겐은 운동에 의해 점차로 고갈되어 피로를 초래한다²³⁾하므로 탄수화물 이외의 에너지원의 활발한 이용은 운동수행능력을 향상시킬 수 있는 좋은 방법이 될 수 있을 것이다.

Saltin 및 Karlsson²²⁾은 체력단련이 운동시 유리지방산의 이용을 증대시킨다고 하였으며 Neely와 Morgan¹²⁾은 운동초기 혈중유리지방산의 증가가 골격근내 글리코겐 소모를 감소시킨다고 하였다. 특히 Dohm²⁹⁾등은 흰쥐에서 단기간의 절식으로 인한 혈중 유리지방산의 증가가 지구력을 향상시킨다는 흥미로운 보고를 한 바 있다.

정상식이군에서 운동부하량에 따라 혈중 유리지방산은 비운동선수군 및 운동선수군에서 다같이 현저히 증가하였으며 이같은 결과는 다른 많은 연구자들의 보고^{10,33)}와 일치하는 것으로 이는 운동에 의하여 골격근과 혈중의 중성지방 및 지방조직에서의 LPL(lipoprotein lipase)활동도의 증가³⁴⁾와 더불어 골격근 및 지방조직으로의 혈류의 증가³⁵⁾에 의해서 혈중으로의 지방산 유리가 증가되는데 반하여 골격근내 유리지방산의

이용은 유리되는 지방산의 양에 비해 소모량이 제한되어 있기 때문이라고 사료된다. 또한 절식시 유리지방산은 정상식에 비하여 비운동선수군 및 운동선수군에서 다같이 현저히 증가했는데 이것은 절식으로 인하여 인슐린의 감소가 조직에서의 지방유리를 촉진하는 반면 에너지원로서의 이용 증가는 미약하기 때문이다.³⁶⁾

절식시는 비운동선수군에서 운동부하시 정상식과 같이 점차적인 증가를 보인 반면 운동선수군에서는 Costill¹⁷⁾의 보고와 같이 운동부하 시간에 따른 차이가 없었다. 이것은 절식으로 인해 증가된 LPL 활동도가 운동부하에 의해 더 이상 증가되지 않아 지방산 유리가 감소한 것인 지 아니면 운동선수군의 유리지방산 산화능력이 비운동선수군 보다 큰 것^{37,38)}에 기인하는지는 확실치 않으나 비운동선수군에선 운동부하량에 따라 증가하는 것으로 보아 후자의 설명이 타당할 것으로 사료된다.

혈당은 비운동선수군 및 운동선수군에서 운동 시간에 따라 증가한 것은 운동초기에 간장의 글루코스 유리가 증가한데 비하여 골격근내 이용도는 운동전과 차이가 없기 때문이다.^{39,40)} 절식에 의한 혈당의 변화는 유의한 차이가 인정되진 않았으나 양군 모두 다소 감소하는 경향을 보였다.

혈중 중성지방은 운동부하에 의한 변화는 없었으며 이는 운동부하시 지방산의 유리증가로 인해 점차 감소한다는 Terjung²⁴⁾의 보고와는 다르나 가벼운 운동시 운동초기에는 운동부하량의 부족으로 운동부하전과 변화가 없다는 Carlson²⁶⁾의 보고와는 일치하는 것이다. 한편 절식시 혈중 중성지방은 식이군의 1/2정도로 감소를 보인 바 이는 절식시 위장관을 통한 유미미립의 흡수가 없기 때문이다.²³⁾

혈중 콜레스테롤은 비운동선수군 및 운동선수군에서 운동부하량에 따른 변화는 없었으며 정상식과 절식시의 차이도 없었으나 운동선수군이 비운동선수군에 비하여 다소 낮은 경향을 보인 것은 장기간의 체력단련이 혈중 콜레스테롤을 낮춘다는 보고²⁸⁾와 상통하는 것이다.

운동부하중 탈수의 정도를 알기 위해 측정된 헤마토크리트는 비운동선수군 및 운동선수군에서 차이가 없었으며 절식에 의한 변화도 없었다.

분당 심박동수는 정상식이시 및 절식시에 비운동선수군에서 운동부하량에 비례하여 운동부하전전의 2배까지 증가를 보인 반면 운동부하전

분당 심박수가 비운동선수군 보다 낮은 운동선수군에서는 완만히 증가했다. 절식시에 운동선수군에서의 심박동수 증가양상은 정상식이시에 비하여 유의하게 낮았으며 비운동선수군에서도 낮은 경향을 보인바 이의 기전에 대한 앞으로의 연구가 요망된다.

체지방량은 운동선수군이 비운동선수군에 비하여 낮았으며 이는 지속적인 체력단련의 결과로 사료된다.

이상의 결과에서 단기간의 절식이 운동에너지원의 이용양상에 미치는 영향은 정상식이시에 비하여 운동부하중 유리지방산의 이용을 증대시킴으로써 상대적으로 근 글리코겐 절감효과를 나타낸다고 생각되며 이로 인하여 지구력을 증가시킬 수 있으리라고 기대된다. 또한 운동선수군에서의 혈중 유리지방산, 글루코스 및 분당 심박동수의 운동부하량에 따른 변화 양상이 절식시의 그것과 유사한 것으로 보아 단기간의 절식이 체력단련과 비슷한 효과를 가져오는 것으로 사료되며 이에 관한 앞으로의 연구가 요망된다.

요 약

본 실험의 결과를 요약하면 다음과 같다.

혈중유리지방산은 정상식이시 비운동선수군에서 운동부하시 증가하며 그증가의 정도는 운동부하량과 비례적인 관계를 보였으며 운동선수군에서도 같은 경향이였다. 18시간의 단기간 절식시에는 비운동선수군 및 운동선수군에서 정상식이시에 비하여 2.5배의 증가를 보였으나 비운동선수군은 운동부하량에 따라 증가한데 비하여 운동선수군에서는 변화가 없었다.

혈당은 정상식이시 비운동선수군 및 운동선수군에서 운동부하량에 비례하여 증가했으나 절식시에는 증가의 정도가 완만하였다.

혈중 중성지방 및 콜레스테롤은 비운동선수군 및 운동선수군에서 운동부하에 의한 변화는 없었으며 절식시 중성지방은 정상식이에 비하여 양군에서 현저히 감소하였다.

분당 심박동수는 식이시에 비운동선수군에서 운동부하량에 비례하여 증가하였으며 운동선수군은 비운동선수군보다 완만히 증가하였다. 절식시에는 비운동선수군에서 운동부하량에 비례하여 증가했으나 운동선수군은 운동부하초기에 증가한 후 변화가 없었으며 양군 모두 절식시에

정상식이에 비하여 운동부하량에 따른 증가의 정도가 완만하였다. 운동선수군에서 비운동선수군에 비하여 분당 맥박수가 현저히 낮았으며 운동부하량에 따른 증가율도 낮았다.

이상의 결과에서 단기간의 절식은 운동부하전 및 운동부하시에 정상식이에 비하여 유리지방산의 이용을 증대시켰으며 또한 운동선수군에서의 혈중 유리지방산, 글루코스 및 심박동수의 변화 양상이 절식시의 그것과 유사한 것으로 보아 단기간의 절식이 체력단련과 비슷한 효과를 가져오는 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. Fritz, I.B. : Factors influencing the rates of long-chain fatty acid oxidation and synthesis in mammarian systems. *J.Biol.Chem.*, 41 : 52-75, 1961.
2. Gemill, C.L. : Fuel for muscular exercise. *Physiol.Rev.*, 22 : 32-53, 1942.
3. Carlson, L.A., and Pernow, B. : Studies on blood lipids during exercise. *J.Lab.Clin.Med.*, 53 : 833-841, 1959.
4. Cobb.L.A., and Johnson, W.P. : Hemodynamic relationships of anaerobic metabolism and plasma free fatty acids during prolonged, strenous exercise in trained and untrained subjects. : *J.Clin.Ivest.*, 42 : 800-810, 1963.
5. Havel,R.J., Carlson, L.A., Ekelund, L.G., and Holmgren, A. : Turnover rate and oxidation of different free fatty acids in man during exercise. *J.Appl. Physiol.*, 19 : 613-618, 1964.
6. Cohen, B.E. : *Clinics in sports medicine*. W. B.Saunders company, Philadelphia, 1984, p. 592.
7. Pernow, B., and Saltin, B. : *Muscle metabolism during exercise.*, Plenum publishing corporation, New York, 1971.
8. Jones, N.L., Heigenhauser, G.J.F., Kuksis, A., Matsos, C.G., Sutton, J.R., and Toews, C.J. : Fat metabolism in heavy exercise. *Clinical Science* 59 : 469-478, 1980.
9. Carlson, L.A., and Pernow, B. : *Studies on blood lipids during exercise. II. The arte-*

- rial plasma free fatty acid concentration during and after exercise and its regulation. *J.Lab.Clin.Med.*, 58 : 673-681, 1961.
10. Friedberg, S.J., Sher, P.B., Bogdonoff, M.D., and Ester, E.H. : The dynamics of plasma free fatty acid metabolism during exercise. *J. Lipid.Res.*, 4 : 34-38, 1963.
 11. Havel, R.J., Naimark, A., and Borchgrevink, C.R. : Turnover rate and oxidation of free fatty acids of blood plasma in man during exercise. *J.Clin.Invest.*, 42 : 1054-1063, 1963.
 12. Neely, J.R., Morgan, H.E. : Relationship between carbohydrate and lipid metabolism and the energy balance of heart muscle. *Ann.Rev.Physiol.*, 36 : 413-59, 1974.
 13. Paul, P., Issekutz, B., Miller, M.I. : Interrelationship of free fatty acids and glucose metabolism in the dog. *Am.J.Physiol.*, 211 : 1313-1320, 1966.
 14. Rennie, M., Winder, W.M., and Holloszy, J. O. : A sparing effect increased free fatty acids on muscle glycogen content in exercising rat. *Biochem.J.*, 156 : 647-655, 1976.
 15. Hickson, R.C., Rennie, M.J., Conlee, R.K., Winder, W.W., and Holloszy, J.O. : Effects of increased plasma fatty acids on glycogen utilization and endurance. *J.Appl.Physiol.*, 43 : 829-833, 1977.
 16. Ivy, J.L., Costill, D.L., Fink, W.J., and Lower, R.W. : Influence of caffeine and carbohydrate feedings on endurance performance. *Med.Sci.Sports Exercise*, 11 : 6-11, 1979.
 17. Costill, D.L., Coyle, E., Dalsky, G., Evans, W., Fink, W., and Hoopes, D. : Effects of elevated plasma FFA and insulin on muscle glycogen usage during exercise. *J.Appl.Physiol.*, 43 : 695-699, 1977.
 18. John, W., Felig, P., Ahlborg, G., and Jorfeldt, L. : Glucose metabolism during leg exercise in man. *J.Clin.Invest.*, 50 : 2715-2725, 1971.
 19. Coyle, E.F., Coggan, A.R., Hemmert, M.K., Lowe, R.C., and Walters, T.J. : Substrate usage during prolonged exercise following a preexercise meal. *J.Appl. Physiol.*, 59 : 429-433, 1985.
 20. Simonelli, C., and Eaton, R.P. : Reduced triglyceride secretion : a metabolic consequence of chronic exercise. *Am.J.Physiol.*, 234 : 221-227, 1978.
 21. Ahlborg, B., Bergstrom, J., Ekelund, L.G., and Hultman, E. : Muscle glycogen and muscle electrolytes during prolonged physical exercise. *Acta Physiol.Scand.*, 70 : 129-142, 1967.
 22. Pruetz, E.D.R. : Glucose and insulin during prolonged work stee in men living on different diets. *J.Appl.Physiol.*, 28 : 199-208, 1970.
 23. Terjung, R.S., Mackie, B.G., Dudley, G.A., and Kaciuba-Uscilko : Influence of exercise on chylomicron triacylglycerol metabolism : Plasma turnover and muscle uptake. *Med.Sci.Sports.Exerc.*, 15 : 340-347, 1983.
 24. Terjung, R.L., Budohoski, L., Nazar, K., Kobryn, A., and Kaciuba-Uscilko : Chylomicron triglyceride metabolism in resting and exercising feed dogs. *J.Appl.Physiol.*, 52 : 815-820, 1982.
 25. Siegel, W., Blomqvist, C., and Mitchell, J.H. : Effect of quantitated physical training program on middle aged sedentary men. *Circulation*, 41 : 19, 1970.
 26. Carlson, L.A., and Mossfeldt, F. : Acute effects of prolonged heavy exercise on the concentration of plasma lipids and lipoproteins in man. *Acta Physiol. Scand.*, 62 : 51-59, 1964.
 27. Stankiewicz-Choroszuca, B., and Gorski, J. : Effect of decreased availability of substrates on intramuscular triglyceride utilization during exercise. *Eur.J.Appl.Physiol.Occup.Physiol.*, 40 : 27-35, 1978.
 28. Hartung, G.L., Foreyt, J.P., Mitchell, R.E. : Relation of diet to high-density lipoprotein cholesterol in middle-aged marathon runners, joggers and inactive men. *W.Engl.J. Med.* 302 : 357, 1980.
 29. Dohm, G.L., Tapscott, E.B., Barakat, H.A.,

- and Kasperek, G.J. : Influence of fasting on glycogen depletion in rats during exercise. *J. Appl. Physiol.*, 55 : 830-833, 1983.
30. 이석강, 인주철, 안종철, 이영만, 김종연, 이동철 : 절식환쥐에서 운동부하기간의 차이에 따른 체내저장 Glycogen과 유리지방산의 이용양상, *대한스포츠의학회지*, 4(1) : 77-83, 1986.
31. Jackson, A.S., and Pollock, M.L. : Generalized equations for predicting body density of men. *British J. Nutrition*, 40 : 497-504, 1978.
32. Saltin, B. : *Muscle metabolism during exercise*, Plenum, N.Y., 1971. pp. 558.
33. Issekutz, B., Miller, H.I., Paul, P., and Rodhal, K. : Aerobic work capacity and plasma FFA turnover. *J. Appl. Physiol.*, 20 : 293-297, 1965.
34. Borensztajn, J., Roue, M.S., Babirak, S.p., McGarr, J.A., and Oscai, L.B. : Effect of exercise on lipoprotein lipase activity in rat heart and skeletal muscle, *Am. J. Physiol.*, 229 : 394-397, 1975.
35. Feiedberg, S.J., Harlen, W.R., Trout, D.L., and Esters, E.H. : The effect of exercise on the concentration and turnover of plasma nonesterified fatty acids. *J. Clin. Invest.*, 39 : 215-220, 1960.
36. Lefebvre, P. : The physiological effect of glucagon on fat metabolism. *Diabetologia*, 2 : 130, 1966.
37. Rennie, M.J., Jennett, S., Johnson, R.H. : The metabolic effects of strenuous exercise : a comparison between untrained subjects and racing cyclists. *J. Exp. Physiol.*, 59 : 201-212, 1974.
38. Winder, W.W., Baldwin, K.M., Holloszy, J.O. : Exercise-induced increase in the capacity of rat skeletal muscle to oxidize ketones. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 53 : 86-91, 1975.
39. Rowell, L.B., Masoro, E.J., and Spencer, M.J. : Splanchnic metabolism in exercising man. *J. Appl. Physiol.*, 20 : 1032-1042, 1965.
40. Bergstrom, J., and Hultman, E.A. : Study of glycogen metabolism during exercise in man. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, 19 : 218-226, 1967.

- Abstract -

Effect of Short Termed Fasting on the Usage Patterns of Metabolic Energy Sources during Exercise in Man

Jong Y. Kim, Yong M. Lee, and Suck K. Lee

*Department of Physiology
College of Medicine, Yeungnam University
Taegu, Korea*

The purpose of this study was to know the effect of short termed fasting on the usage of metabolic energy sources and the metabolic differences between non-athletic and athletic subjects.

Subjects were divided into non-athletic and athletic group and exercise was loaded on both groups after feeding and fasting. Exercise was loaded by a treadmill running at the speed of 8km/hour for 30 minutes in both groups.

The experiment yielded following results.

In the fed state, the level of plasma FFA increased markedly after 15 and 30 minutes of exercise compared with its level of pre-exercise period in both groups. In the fasted state, the level of plasma FFA in non-athletic group increased steadily according to the duration of exercise, while its level in athletic group showed no changes. At pre-exercise period, the level of plasma FFA was higher in fasted state than fed state.

Immediately before the exercise and 15 and 30 minutes after the exercise, blood for the determination of plasma free fatty acid(FFA), glucose, triglyceride(TG) and cholesterol was sampled from antecubital vein, and simultaneously heart rate was measured.

In the fed state, the level of plasma glucose was increased mildly according to exercise, and in the fasted state its level increased according to exercise in both groups also.

In the fasted state, the level of plasma TG was lower than that in the fed state. The level of plasma TG and cholesterol in the fed state was no changed by the exercise from the pre-exercise period. The level of plasma cholesterol in athletic group had tendency to lower than that in non-athletic group.

Heart rate increased markedly according to exercise in both groups, but the athletic group's increasing rate of heart rate was lower than the non-athletic group's heart rate increased according to exercise and athletic groups heart rate increased early period of exercise, but did not change during late post-period of exercise.