

밥 식이와 빵 식이가 지구성 운동 후 혈중 중성지방, 인슐린 및 그렐린에 미치는 영향

유동훈¹ · 하태열² · 안지윤² · 정현령¹ · 강호울^{1*}

¹경북대학교 운동대사 실험실
²한국식품연구원

Effects of Rice Diet and Bread Diet on Plasma Triglyceride, Insulin and Ghrelin Level after Endurance Exercise

Dong-Hun Yoo¹, Tae-Yeol Ha², Ji-Yoon Ahn², Hyun-Lyung Jung¹, and Ho-Youl Kang^{1*}

¹Exercise Metabolism Laboratory, Kyungbook National University, Daegu 702-701, Korea

²Korea Food Research Institute, Gyeonggi 463-746, Korea

Abstract

In this study, the effects of a rice diet and bread diet on plasma triglyceride, insulin and ghrelin levels during low-intensity endurance exercise and recovery were investigated. Ten male students randomly received 2 different treatments: the rice diet and bread diet. On the first day, the participants performed 2 hours of treadmill running with 6% uphill at 50% VO_{2max} after breakfast and then each consumed lunch and dinner. Blood samples were drawn 120 min before exercise and, right before exercise and, 60 min and 120 min after the start of exercise. On the second day, blood samples were drawn prior to breakfast, immediately after breakfast and, 60 min, 120 min, and 180 min after breakfast with no exercise treatment. Plasma triglyceride, ghrelin, glucose, and insulin levels were not significantly different between the two treatment groups on the first day. In addition, there was no difference in the carbohydrate and fat oxidation rate between the two treatments groups. However, plasma triglyceride levels in subjects that received the rice diet were significantly reduced by 14% when compared to subjects that received the bread diet at 180 min after consuming the breakfast diet on the second day. Ghrelin levels were significantly higher for subjects that received the rice diet than subjects that were given the bread diet. However, insulin in participants that consumed the rice diet was significantly lower than those that received the bread diet at 60 min and 120 min after consumption of the breakfast diet on the second day. Glucose levels in the subjects that were given the rice diet were significantly reduced by 10.3% when compared with participants that received the bread diet at 60 min. Therefore, the results of the study showed that a rice diet may be more effective in preventing cardiovascular diseases than a bread diet when combined with exercise.

Key words: rice diet, bread diet, plasma triglyceride, insulin, ghrelin

서 론

보건복지부는 2010년 국민건강영양조사에서 남성 비만율이 36.3%로 역대 최고치를 기록했다고 보고하였다(1). 서구 식 생활의 증가로 인해 일일 평균 동물성 식품 섭취량이 1969년 32 g에 비해 2005년 278.6 g으로 8.7배 증가하였고, 지방섭취량은 2.7배 증가하였다(2). 지방의 과다 섭취는 비만증 유발과 고혈압, 당뇨, 동맥경화증 등과 같은 심혈관질환 위험인자의 유병률을 증가시키는 원인으로 전 세계적으로 심혈관 질환은 사망원인 1위이며 우리나라의 경우 악성 종양 다음으로 높은 순위를 차지하고 있다(3,4).

콜레스테롤과 중성지방은 심혈관질환의 중요한 위험인자

이며 콜레스테롤 이외에 식후 중성지방 농도가 심혈관질환의 예측에 밀접한 관련이 있다(5). Nordestgaard 등(6)은 식후 중성지방의 위험성에 대하여 남성 7,587명, 여성 6,394명을 대상으로 하여 조사한 결과, 식후 중성지방 수치가 높은 경우에 심혈관 질환 발생 및 사망률은 1.3~3.3배 높은 것으로 나타났다. 중성지방은 장시간의 운동 시 당이 에너지원으로 부족할 때 에너지원으로 작용하기 때문에 총에너지소비량이 증가할 뿐만 아니라 지질이 혈중 유리지방산으로 분해되어 에너지원으로 참여하는 비율이 높아진다(7). Thompson 등(8)은 규칙적인 운동으로 혈중 중성지방 수준을 16~19% 정도 감소할 수 있다고 보고하였으며, Katsanos 등(9)도 정상인 13명을 대상으로 저, 중강도의 운동 시 중성지방의 감

*Corresponding author. E-mail: hokang@knu.ac.kr
Phone: 82-53-950-5945, Fax: 82-53-955-4235

소를 보고하였다. 따라서 규칙적인 운동과 잘못된 식습관의 개선을 통한 복부비만과 체중의 감소는 중성지방을 감소하며 심혈관질환을 예방할 수 있다(10).

심혈관질환 위험요소인 비만의 예방을 위해 운동요법, 식이요법에 대한 관심과 더불어 식욕조절 호르몬에 대한 연구들이 많이 보고되었다(11,12). 그렐린(ghrelin)은 위점막 세포에서 분비되며(13) 식욕을 증진하고 지방의 사용을 감소시켜 비만을 유발하는 등 에너지 대사에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다(14). 그렐린 농도는 식전 공복상태에 2배 이상 증가하였다가 식후 1시간 이내에 최저치로 감소하며 인슐린 농도에 반비례하며(15) 운동 중 에너지 소비와 운동 후 안정 시 대사율의 상승으로 인한 체내 에너지 소비량의 증가는 그렐린의 변화에 영향을 미치는 것으로 보고되었다(16). De Souza 등(17)은 여성들을 대상으로 저강도의 걷기 운동 후 그렐린이 증가, Christ 등(18)도 사이클 선수와 트라이애슬론 선수들의 지구력 운동에서 운동 후반부와 안정 시에 그렐린 분비 수준의 유의한 증가를 보고하였다.

Erdmann 등(19)과 Sakuma 등(20)의 보고에 의하면 밥 식이와 감자, 파스타 등 탄수화물 섭취의 식이 간 비교 연구는 이루어지고 있지만 지구성 운동을 병행한 연구는 부족한 실정이다. 따라서 본 연구는 밥 식이의 섭취가 저강도 지구성 운동 시 중성지방, 인슐린 및 그렐린에 미치는 영향을 알아보고, 운동 시 밥의 영양·기능적 우수성의 효과를 증명하여 쌀 소비 촉진에 기여하고자 시도하였다.

대상 및 방법

연구대상

본 연구는 D광역시 K대학교의 신체 건강한 남자 대학생 10명을 대상으로 하였다. 모든 피험자에게 실험에 관한 모든 내용을 충분히 설명하였으며 각 피험자의 동의를 받아 실험을 실시하였다. 피험자의 신체적 특성은 Table 1과 같다.

식이 처치

밥(Ottogi Co., Anyang, Korea)의 1회 제공량은 210 g, 열량 305 kcal로 일일 영양소 기준치에 대한 비율은 탄수화물 21%(68 g), 단백질 10%(6 g), 지방 2%(1 g)이다. 빵(Kirin Co., Busan, Korea)의 1회 제공량은 70 g, 열량 175 kcal로 일일 영양소 기준치에 대한 비율은 탄수화물 10%(33 g), 단백질 8%(5 g), 지방 5%(2.3 g)이다. 본 연구는 집단 내 비교(within-subject) 실험 설계로 식이 처치는 4명은 밥 식이 처치

Table 1. Physical characteristics of subjects

Variables	Subjects (n=10)
Age (yrs)	26.2±0.4
Height (cm)	175.1±2.6
Weight (kg)	72.1±1.7
Body fat (%)	20.2±2.1

Values are mean±SE.

Table 2. Experimental treatment (standard: 70 kg weight)

Treatment	Intake (g)	
	Breakfast	Lunch/ Dinner
Rice diet+Exercise (RE)	210 g=305 kcal	420 g=610 kcal
Bread diet+Exercise (BE)	122 g=305 kcal	244 g=610 kcal

Rice: 1 g=1.45 kcal, Bread: 1 g = 2.5 kcal.

시 밥만 총 4끼를 섭취하였으며 나머지 4명은 빵만 4끼를 섭취하였다. 7일 후에 교대 실시하였으며 각 처치는 무작위로 실시하였다. 밥과 빵의 제공량은 Table 2와 같다.

실험절차

첫째 날, 피험자들은 실험 실시 1일 전 저녁식사 후 12시간 동안 금식을 하였으며 실험 당일 운동 2시간 전 식이를 섭취시켰다. 운동은 VO_{2max} 50%의 운동 강도로 트레드밀에서 2시간 운동을 실시하였으며 이후 13시, 18시에 점심과 저녁 식사를 제공하였다. 둘째 날, 실험 당일 8시에 도착하여 아침 식사를 제공하였다. 혈액 채취는 첫째 날, 음식 섭취 전, 운동 직전, 운동 중 60분, 120분, 둘째 날, 음식섭취 전, 섭취 후 60분, 120분, 180분에 피험자의 우측 상완정맥에서 각각 10 mL씩 채취하였다. 채취한 혈액은 응고를 방지하기 위해 30 μL의 헤파린으로 처리한 다음 원심분리 하여 혈장만을 분리시켜 분석 전까지 -70°C에서 보관하였다. 운동처치 중에 실험실의 온도는 21±1°C, 습도는 75%를 유지하였다(Fig. 1).

측정항목 및 분석방법

중성지방은 Sigma사(Sigma-Aldrich Co., St. Louis, MO, USA)의 중성지방(GPO-Trinder) 시약을 이용하여 효소분석법으로 분석하였으며, 유리지방산은 혈장의 지질을 추출(rapid extraction)하여 color reagent를 첨가한 후 실온에서 10분간 배양하여 흡광도 430 nm에서 측정하였다(21). 혈중 글루코스는 자동혈당분석기(YSI 1500, Yellow Springs Instrument Co., Springfield, IL, USA)로 측정하였다.

그렐린과 인슐린은 Human Ghrelin RIA kit(LINCO Co., St. Charles, MO, USA)와 Coat-A-Count Insulin kit(Diagnostic Products Co., Los Angeles, CA, USA)을 이용하여 방사선면역측정법으로 분석하였고, γ -counter(1470 Wallac Wizard automatic counter, Wallac OY, Turku, Finland)로 1분간 측정하였다. 호흡교환율은 호흡가스분석기(MAX

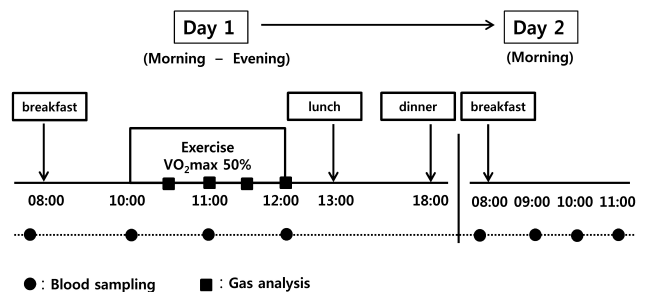


Fig. 1. Experimental procedure.

-2, Fitco Co., Pittsburg, KS, USA)를 이용하였으며 채취된 호흡가스 기록을 바탕으로 Brooks와 White(22)의 호흡상을 이용한 탄수화물과 지방산화율 표를 이용하여 운동 시 탄수화물과 지방산화율을 산출하였다.

자료처리

모든 측정 변인은 평균과 표준오차로 나타내었으며 통계적 분석은 SPSS 18.0 통계 프로그램(SPSS Inc., Chicago, IL, USA)을 이용하였다. 통계처리는 집단 간 처치 후 변화를 알아보기 위해 이원반복분산분석을 실시한 후 대비 검정과 대응표본 t-검정을 이용하여 시간 사이와 처치 간의 차이를 검증하였다. 통계적 유의수준은 $p < 0.05$ 로 하였다.

결과 및 고찰

중성지방

본 연구의 중성지방의 결과는 Fig. 2와 같다. 첫째 날, 운동 시 밥 식이와 빵 식이의 중성지방은 두 처치 간 통계적 유의한 차이는 나타나지 않았다. 둘째 날, 운동 후 회복기의 결과는 밥 식이 처치가 빵 식이 처치보다 감소하는 경향이 나타났으며, 두 식이 섭취 후 180분에서 밥 식이는 빵 식이보다 14% 유의하게 감소하였다($p < 0.05$). 장기간 규칙적인 운동은 대부분의 연구에서 중성지방과 체지방량의 감소에 긍정적인 영향을 미친다(23). 그러나 일회성 운동에 따른 중성지방의 결과는 다양하게 나타난다. Farrell과 Barboriak(24)는 최대산소섭취량 70~85%의 운동 강도에서 중성지방과 LDL-C는 감소하였고, HDL-C의 증가를 보고하였으며 중강도 이상의 운동이 효과적이라 하였다. 이에 반해, Gelecek 등(25)은 일회성 운동은 중성지방, 콜레스테롤 등의 변화를 초래하지 않는다고 보고하였다. 일회성 운동으로 인한 중성지방은 운동 시에는 변화가 없지만, 운동 후 몇 시간이 지난 다음에 중성지방은 저하되며 이러한 저하상태는 24~48시간 동안 지속된다고 하였다(26). 밥 식이는 운동 후 중성지방이 감소하였지만, 빵 식이는 증가하는 경향이 나타났다. 이는 운동

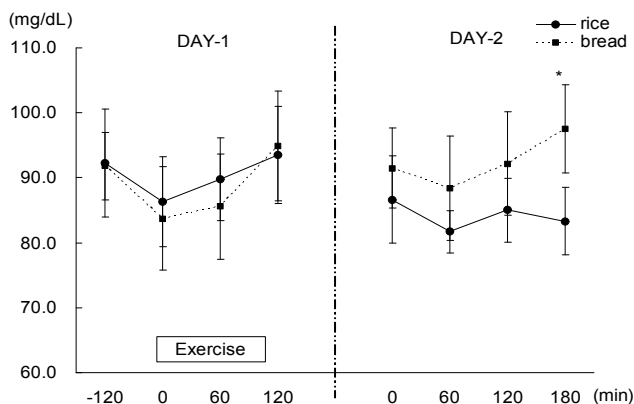


Fig. 2. Plasma triglyceride concentrations. Values are mean \pm SE. *Significantly different from bread ($p < 0.05$).

의 효과보다는 식이 급원의 혈당지수 차이로 사료된다. 밥의 혈당지수는 83으로 빵의 혈당지수 101보다 저혈당지수 식품으로 혈당지수가 낮은 식품은 소화·흡수가 천천히 이루어져 혈당반응이 낮아지고(27), 공복감을 늦추는 데 효과적이며 혈중 중성지방의 감소를 유도한다(28). Ha와 Kim(29)은 백미, 현미, 밀과 설탕을 흰쥐에게 급여한 후 옥수수 전분과 비교한 결과 혈액 중의 중성지방과 콜레스테롤 함량은 백미 집단이 다른 네 집단에 비해 유의하게 낮았다고 보고하였다. 따라서 밥의 기능성으로 인해 중성지방 감소를 가져온 것으로 사료된다.

그렐린

본 연구의 그렐린 결과는 Fig. 3과 같다. 첫째 날, 운동 시 밥 식이와 빵 식이의 그렐린 농도는 두 처치 모두 섭취 후 감소하였으며($p < 0.05$) 두 처치 간 유의한 차이는 나타나지 않았다. 둘째 날, 그렐린 농도는 섭취 전, 섭취 후 60분, 섭취 후 120분에서 밥 식이 처치가 빵 식이 처치보다 유의하게 높게 나타났다($p < 0.05$). 이러한 결과는 최대산소섭취량 50%, 70% 및 90%의 운동 강도로 일회성 유산소 운동을 실시한 결과 그렐린 농도 변화가 나타나지 않았다고 보고한 Schmidt 등(30)과 Kim(31)의 연구와 일치한다. Kim(31)은 트레드밀에서 약 10 km/h 속도로 10 km를 달린 후 비교처치, 운동처치, 운동과 포도당처치의 운동 전후 그렐린 농도의 결과, 세 처치 모두 유의한 차이가 나타나지 않았다고 보고하였다. Cummings 등(32)은 음식 섭취와 포도당 부하가 식후 1시간 이내에 혈장 그렐린 농도를 감소시킨다고 보고하였으며 여러 선행연구에서 식후 2~4시간째 그렐린 농도가 최저로 감소한다고 보고하였다(33,34). 따라서 본 연구에서 그렐린은 일정 수준의 일회성 유산소 운동에는 영향을 받지 않고, 에너지 섭취에 대하여 반응한 것으로 사료된다(35). 둘째 날, 밥 식이의 혈당치가 빵 식이보다 낮게 나타난 결과는 그렐린 분비에 관여하는 인자 중 혈당치는 중요한 역할을 하며 경구 및 정맥 내 포도당의 투여는 그렐린 농도를 저하시킨다고 하였다(36). 추후 그렐린 이외에 식욕관련호르몬인 렙틴

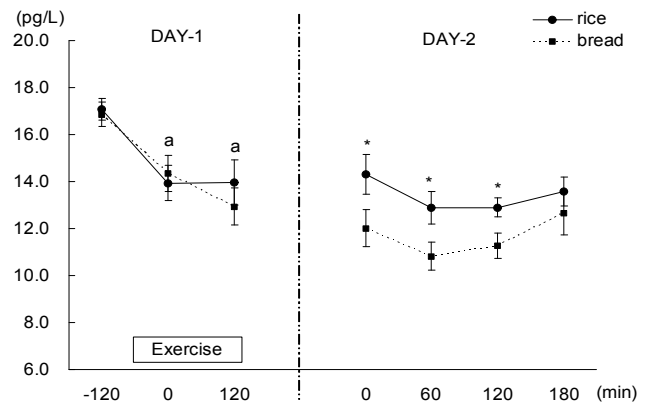


Fig. 3. Ghrelin concentrations. Values are mean \pm SE. ^aSignificantly different from -120 ($p < 0.05$). *Significantly different from bread ($p < 0.05$).

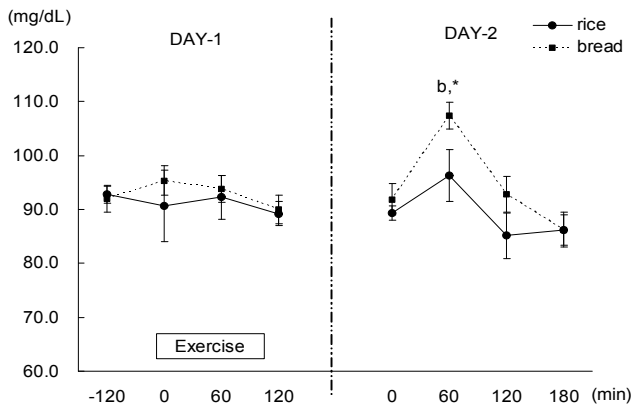


Fig. 4. Glucose concentrations. Values are mean±SE. ^bSignificantly different from 0 (p<0.05). ^{*}Significantly different from bread (p<0.05).

(leptin), 아밀린(amylin) 등의 구체적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

혈당

본 연구의 혈당의 결과는 Fig. 4와 같다. 첫째 날, 밥 식이와 빵 식이의 혈당 농도는 두 처치 간 유의한 차이는 나타나지 않았다. 둘째 날, 혈당 농도는 밥 식이가 빵 식이보다 감소하는 경향이 나타났으며 섭취 후 60분에서 밥 식이는 빵 식이보다 10.3% 유의하게 감소하였다(p<0.05). 장시간 지구성 운동수행을 위해서 혈당의 수준을 일정하게 유지하는 것이 중요하며(37) 혈당의 결과는 혈당지수의 차이로 혈당지수가 낮은 식품은 소화·흡수가 천천히 이루어져 혈당반응이 낮아지고(27), 혈중 지질이 개선되며 인슐린 민감성이 향상된다고 보고되고 있다(28).

인슐린

본 연구의 인슐린의 결과는 Fig. 5와 같다. 첫째 날, 밥 식이와 빵 식이의 인슐린 농도는 운동 직전에 두 처치 모두 유의하게 증가하였고(p<0.05), 운동 시 인슐린 반응은 운동 후반부로 갈수록 감소하였다. 둘째 날, 인슐린 농도는 섭취

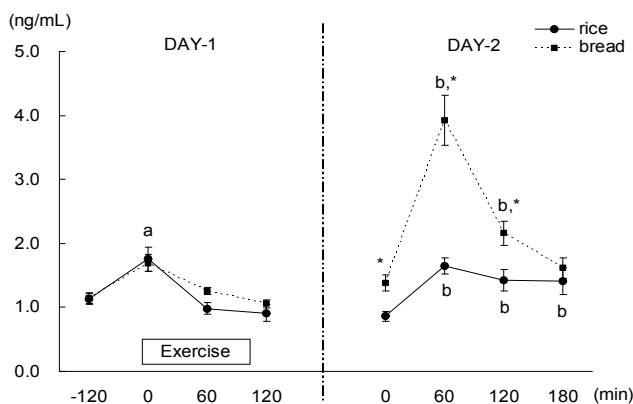


Fig. 5. Insulin concentrations. Values are mean±SE. ^aSignificantly different from -120 (p<0.05). ^bSignificantly different from 0 (p<0.05). ^{*}Significantly different from bread (p<0.05).

전, 섭취 후 60분, 120분에서 밥 식이는 빵 식이보다 유의하게 감소하였다(p<0.05). 저장도에서 장시간 운동 시 일반적인 현상으로 인슐린 농도의 저하가 발생하며 운동 강도가 높을 경우에는 변화가 없거나 다소 상승한다(38). Lancaster 등(39)은 인슐린은 운동 전 식이의 혈당지수와 상관없이 급속히 떨어져 낮은 수준을 유지한다고 보고하였다. 밥 식이와 빵 식이 섭취 후 저장도 운동(VO_{2max} 50%)으로 인하여 인슐린 수준은 감소하였으며 유리지방산 농도는 증가한 것으로 사료된다. 둘째 날의 결과는 빵 식이보다 밥 식이의 낮은 혈당반응으로 낮은 혈당치에서는 인슐린 분비가 저하된다(28).

유리지방산

본 연구의 유리지방산의 결과는 Fig. 6과 같다. 첫째 날, 밥 식이와 빵 식이는 운동 시 두 처치 모두 유리지방산 농도가 운동 후 60분, 120분에 증가하였으나(p<0.05) 두 처치 간에 유의한 차이는 나타나지 않았다. 둘째 날, 회복기에서 밥 식이와 빵 식이는 섭취 후 60분, 120분, 180분에 두 처치 모두 유의하게 감소하였지만(p<0.05) 두 처치 간 유의한 차이는 나타나지 않았다. 이는 식이의 특성보다는 운동 수행에 따른 운동 강도와 시간이 관련 있으며 최대산소섭취량의 50% 이하의 낮은 강도에서는 주로 유리지방산 산화를 통하여 에너지가 공급된다고 보고되고 있다(40,41). 운동에 따른 인슐린은 지방분해 작용의 저해, 간 글루코오스 방출 저해, 에너지의 세포섭취, 지방산화의 저해 등이 나타나며 인슐린 농도의 저하는 지방조직으로부터 유리지방산 동원을 촉진한다(42).

지방과 탄수화물 산화율

본 연구의 지방과 탄수화물 산화율의 결과는 Table 3과 같다. 밥 식이와 빵 식이의 운동 중 지방과 탄수화물 산화율은 두 처치 모두 운동 시간이 경과할수록 지방 산화율은 증가하였으며 탄수화물 산화율은 감소하였다(p<0.05). 운동 중의 호흡교환율은 점진적인 감소를 보이며 이는 탄수화물 산화율의 감소에 기인하는 것으로 운동 중 지방산화를 수반한다고 하였다(43). 두 처치 간에 유의한 차이는 나타나지

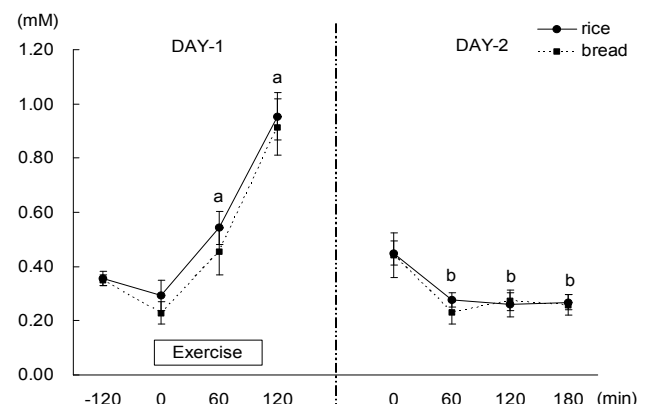


Fig. 6. Free fatty acid concentrations. Values are mean±SE. ^aSignificantly different from -120 (p<0.05). ^bSignificantly different from 0 (p<0.05).

Table 3. Results of fat and carbohydrate oxidation during exercise

(%)

	Fat oxidation (min)				Carbohydrate oxidation (min)			
	25~30	55~60	85~90	115~120	25~30	55~60	85~90	115~120
Rice	36.9±5.4	43.1±3.7	55.9±7.2 ^a	57.4±5.3 ^{a,b}	63.1±5.4	56.9±3.7	44.1±7.2 ^a	42.6±5.3 ^{a,b}
Bread	28.3±4.2	39.2±2.9 ^a	48.9±4.1 ^{a,b}	58.2±4.1 ^{a,b,c}	71.7±4.2	60.8±2.9 ^a	51.1±4.1 ^{a,b}	41.8±4.1 ^{a,b,c}

Values are mean±SE.

^aSignificantly different from 25~30 min (p<0.05). ^bSignificantly different from 55~60 min (p<0.05). ^cSignificantly different from 115~120 min (p<0.05).

않았지만, 모든 시간대에 혈당지수가 낮은 밥 식이가 빵 식이보다 지방 산화율이 높게 나타나는 경향을 보였다. 일부 연구에서는 저혈당지수 식이와 고혈당지수 식이의 실험에서 탄수화물 산화율과 지방 산화율에 차이는 없었다고 보고 하지만(44,45), 대부분의 연구에서는 운동 전 식사 시 저혈당지수 식이가 지방 산화율의 증가와 탄수화물 산화율의 감소를 보고하였다(46-48).

요 약

본 연구는 밥 식이와 빵 식이가 지구성 운동 후 중성지방, 그렐린, 인슐린, 혈당, 유리지방산, 지방과 탄수화물 산화율을 조사하여 두 식이의 차이점을 분석하였다. 중성지방은 지구성 운동 시 두 식이 간에 유의한 차이는 나타나지 않았으며 운동 후 회복기에서 중성지방은 밥 식이가 빵 식이보다 유의하게 감소하였다. 인슐린과 혈당에서도 밥 식이는 빵 식이보다 유의하게 감소된 결과를 나타냈다. 밥 식이와 빵 식이의 유리지방산과 지방 산화율은 운동과 운동 후 회복기에서 통계적 유의한 차이는 나타나지 않았지만 밥 식이가 빵 식이보다 다소 높은 경향을 나타내었다. 운동을 병행한 두 식이 간 비교에서 밥 식이가 중성지방 감소, 낮은 혈당 반응, 인슐린 민감성 향상의 결과가 나타났다. 이상의 결과를 종합할 때 일회성 운동이지만 서구의 주식인 빵 식이보다 우리의 주식인 밥 식이의 섭취가 운동과 병행하였을 경우 심혈관질환 예방 효과의 가능성을 볼 수 있었다.

문 헌

1. Ministry of Health and Welfare. 2010. Korea National Health and Nutrition Evaluation Survey.
2. Ministry of Health and Welfare. 2005. Korea National Health and Nutrition Evaluation Survey.
3. Reinehr T, Andler W, Denzer C, Siegried W, Mayer H, Wabitsch M. 2005. Cardiovascular risk factors in overweight German children and adolescents: relation to gender, age and degree of overweight. *Nutr Metab Cardiovasc Dis* 15: 181-187.
4. Ministry of Health and Welfare. 2009. Korea National Health and Nutrition Evaluation Survey.
5. Halverstadt A, Phares DA, Wilund KR, Goldberg AP, Hagberg JM. 2007. Endurance exercise training raises high-density lipoprotein cholesterol and lowers small low-density lipoprotein and very low-density lipoprotein independent of body fat phenotypes in older men and women. *Metabolism* 56: 444-450.
6. Nordestgaard BG, Benn M, Schnohr P, Tybjaerg-Hansen A. 2007. Nonfasting triglycerides and risk of myocardial infarction, ischemic heart disease, and death in men and women. *JAMA* 298: 299-308.
7. Seip RL, Semenkovich CF. 1998. Skeletal muscle lipoprotein lipase: molecular regulation and physiological effects in relation to exercise. *Exerc Sport Sci Rev* 26: 191-218.
8. Thompson PD, Cullinane EM, Sady SP, Flynn MM, Bernier DN, Kantor MA. 1988. Modest changes in high-density lipoprotein concentration and metabolism with prolonged exercise training. *Circulation* 78: 25-34.
9. Katsanos CS, Moffatt RJ. 2004. Acute effects of premeal versus postmeal exercise on postprandial hypertriglyceridemia. *Clin J Sport Med* 14: 33-39.
10. Cho HK. 2006. Importance of triglyceride. Korean Society for Health Promotion and Disease Prevention. Fall International Conference. Asan Medical Center. p 334-336.
11. Christ ER, Zehnder M, Boesch C, Trepp R, Mullis PE, Diem P. 2006. The effect of increased lipid intake on hormonal responses during aerobic exercise in endurance-trained men. *Eur J Endocrinol* 154: 397-403.
12. Hagobian TA, Sharoff CG, Braun B. 2008. Effects of short-term exercise and energy surplus on hormones related to regulation of energy balance. *Metabolism* 57: 393-398.
13. Kojima M, Hosoda H, Date Y, Nakazato M, Matsuo H, Kangawa K. 1999. Ghrelin is a growth-hormone-releasing acylated peptide from stomach. *Nature* 402: 656-660.
14. Tschöp M, Smiley DL, Heiman ML. 2000. Ghrelin induces adiposity in rodents. *Nature* 407: 908-913.
15. Cummings DE. 2006. Ghrelin and the short- and long-term regulation of appetite and body weight. *Physiol Behav* 89: 71-84.
16. Cowley MA, Smith RG, Diano S, Tschöp M, Pronchuk N, Grove KL. 2003. The distribution and mechanism of action of ghrelin in the CNS demonstrates a novel hypothalamic circuit regulating energy homeostasis. *Neuron* 37: 649-661.
17. De Souza MJ, Leidy HJ, O'Donnell E, Lasley B, Williams NI. 2004. Fasting ghrelin levels in physically active women: relationship with menstrual disturbances and metabolic hormones. *J Clin Endocrinol Metab* 89: 3536-3542.
18. Christ ER, Zehnder M, Boesch C, Trepp R, Mullis PE, Diem P. 2006. The effect of increased lipid intake on hormonal responses during aerobic exercise in endurance-trained men. *Eur J Endocrinol* 154: 397-403.
19. Erdmann J, Hebeisen Y, Lippel F, Wagenpfeil S, Schusdziarra V. 2007. Food intake and plasma ghrelin response during potato-, rice- and pasta-rich test meals. *Eur J Nutr* 46: 196-203.
20. Sakuma M, Yamanaka-Okumura H, Naniwa Y, Matsumoto D, Tsunematsu M, Yamamoto H. 2009. Dose-dependent effects of barley cooked with white rice on postprandial glucose and desacyl ghrelin levels. *J Clin Biochem Nutr* 44: 151-159.
21. Noma A, Okabe H, Kita M. 1973. A new colorimetric mi-

- cro-determination of free fatty acids in serum. *Clin Chim Acta* 43: 317-320.
22. Brooks GA, White TP. 1970. Determination of metabolic and heart rate responses of rats to treadmill exercise. *J Appl Physiol* 76: 839-845.
 23. Cleator J, Wilding J. 2003. Obesity and diabetes. *Nurs Times* 99: 54-55.
 24. Farrell PA, Barboriak J. 1980. The time course of alterations in plasma lipid and lipoprotein concentrations during eight weeks of endurance training. *Atherosclerosis* 37: 231-238.
 25. Gelecek N, Teoman N, Ozdirenc M, Pinar L, Akan P, Bediz C. 2007. Influences of acute and chronic aerobic exercise on the plasma homocysteine level. *Ann Nutr Metab* 51: 53-58.
 26. Dufaux B, Order U, Muller R, Hollmann W. 1986. Delayed effects of prolonged exercise on serum lipoproteins. *Metabolism* 35: 105-109.
 27. Gagne L. 2008. The glycemic index and glycemic load in clinical practice. *Explore (NY)* 4: 66-69.
 28. Livesey G, Tagami H. 2009. Interventions to lower the glycemic response to carbohydrate foods with a low-viscosity fiber (resistant maltodextrin): meta-analysis of randomized controlled trials. *Am J Clin Nutr* 89: 114-125.
 29. Ha TY, Kim HY. 1996. Effect of several carbohydrate sources on lipid metabolism in cholesterol fed rats. *Korean J Nutr* 29: 199-205.
 30. Schmidt A, Maier C, Schaller G, Nowotny P, Bayerle-Eder M, Buranyi B. 2004. Acute exercise has no effect on ghrelin plasma concentrations. *Horm Metab Res* 36: 174-177.
 31. Kim BS. 2008. The effect of acute aerobic exercise and glucose consumption on plasma ghrelin responses. *J Sport Leisure Studies* 33: 1123-1130.
 32. Cummings DE, Purnell JQ, Frayo RS, Schmidova K, Wisse BE, Weigle DS. 2001. A preprandial rise in plasma ghrelin levels suggests a role in meal initiation in humans. *Diabetes* 50: 1714-1719.
 33. Shiiya T, Nakazato M, Mizuta M, Date Y, Mondal MS, Tanaka M. 2002. Plasma ghrelin levels in lean and obese humans and the effect of glucose on ghrelin secretion. *J Clin Endocrinol Metab* 87: 240-244.
 34. Tschop M, Wawarta R, Riepl RL, Friedrich S, Bidlingmaier M, Landgraf R. 2001. Post-prandial decrease of circulating human ghrelin levels. *J Endocrinol Invest* 24: 19-21.
 35. Arvat E, Di Vito L, Broglio F, Papotti M, Muccioli G, Dieguez C. 2000. Preliminary evidence that Ghrelin, the natural GH secretagogue (GHS)-receptor ligand, strongly stimulates GH secretion in humans. *J Endocrinol Invest* 23: 493-495.
 36. Shiiya T, Nakazato M, Mizuta M, Date Y, Mondal MS, Tanaka M, Nozoe S, Hosoda H, Kangawa K, Matsukura S. 2002. Plasma ghrelin levels in lean and obese humans and the effect of glucose on ghrelin secretion. *J Clin Endocrinol Metab* 87: 240-244.
 37. Sherman WM, Costill DL. 1984. The marathon: dietary manipulation to optimize performance. *Am J Sports Med* 12: 44-51.
 38. Mikines KJ, Kjaer M, Hagen C, Sonne B, Richter EA, Galbo H. 1985. The effect of training on responses of beta-endorphin and other pituitary hormones to insulin-induced hypoglycemia. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 54: 476-479.
 39. Lancaster GI, Jentjens RL, Moseley L, Jeukendrup AE, Gleeson M. 2003. Effect of pre-exercise carbohydrate ingestion on plasma cytokine, stress hormone, and neutrophil degranulation responses to continuous, high-intensity exercise. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 13: 436-453.
 40. Huttunen JK, Lansimies E, Voutilainen E, Ehnholm C, Hietanen E, Penttila I. 1979. Effect of moderate physical exercise on serum lipoproteins. A controlled clinical trial with special reference to serum high-density lipoproteins. *Circulation* 60: 1220-1229.
 41. Motoyama M, Sunami Y, Kinoshita F, Irie T, Sasaki J, Arakawa K. 1995. The effects of long-term low intensity aerobic training and detraining on serum lipid and lipoprotein concentrations in elderly men and women. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 70: 126-131.
 42. Campbell PJ, Carlson MG, Hill JO, Nurjhan N. 1992. Regulation of free fatty acid metabolism by insulin in humans: role of lipolysis and reesterification. *Am J Physiol* 263: 1063-1069.
 43. Wu CL, Nicholas C, Williams C, Took A, Hardy L. 2003. The influence of high-carbohydrate meals with different glycaemic indices on substrate utilization during subsequent exercise. *Br J Nutr* 90: 1049-1056.
 44. Jentjens RL, Jeukendrup AE. 2003. Effects of pre-exercise ingestion of trehalose, galactose and glucose on subsequent metabolism and cycling performance. *Eur J Appl Physiol* 88: 459-465.
 45. Trenell MI, Stevenson E, Stockmann K, Brand-Miller J. 2008. Effect of high and low glycaemic index recovery diets on intramuscular lipid oxidation during aerobic exercise. *Br J Nutr* 99: 326-332.
 46. Wee SL, Williams C, Tsintzas K, Boobis L. 2005. Ingestion of a high-glycemic index meal increases muscle glycogen storage at rest but augments its utilization during subsequent exercise. *J Appl Physiol* 99: 707-714.
 47. Wu CL, Williams C. 2006. A low glycemic index meal before exercise improves endurance running capacity in men. *Int J Sport Nutr Exerc Metab* 16: 510-527.
 48. Stevenson EJ, Williams C, Mash LE, Phillips B, Nute ML. 2006. Influence of high-carbohydrate mixed meals with different glycemic indexes on substrate utilization during subsequent exercise in women. *Am J Clin Nutr* 84: 354-360.

(2012년 3월 26일 접수; 2012년 6월 18일 채택)