

혼합곡 식이의 지구력 향상 효과

오흥근¹ · 박정우¹ · 강영례¹ · 김정훈¹ · 서민영¹ · 김민걸² · 두재균³
신동화³ · 정은수³ · 채수완² · 김옥진⁴ · 이학용^{1†}

¹㈜휴벳, ²전북대학교병원 기능성식품 임상시험 지원센터
³동릉RPC, ⁴원광대학교 애완동물학과

Improving Effects of Multigrain Feed on Endurance

Hong-Geun Oh¹, Jung-Woo Park¹, Young-Rye Kang¹, Jung-Hoon Kim¹, Min-Young Seo¹,
Min-Gul Kim², Jae-Kyun Doo³, Dong-Hwa Shin³, Eun-Soo Jung³,
Soo-Wan Chae², Ok-Jin Kim⁴, and Hak-Yong Lee^{1†}

¹Huvet Co. Ltd., Jeonbuk 570-749, Korea

²Clinical Trial Center for Functional Foods, Chonbuk National University Hospital, Jeonbuk 634-18, Korea

³Deungryong RPC, Jeonbuk 579-843, Korea

⁴Center for Animal Resources Development, Wonkwang University, Jeonbuk 570-749, Korea

Abstract

This study evaluated the effect of multigrain supplementation on exercise-related changes in running time and glycogen storage capacity of male SD rats engaged in treadmill exercise. Thirty-six 6-week-old rats were divided into six groups: normal (Nor) fed normal feed, control (Con) fed with 20% normal feed and 80% milled rice, test group one (GI) fed with multigrain feed I, test group two (GII) fed with multigrain feed II, test group three (GIII) fed with multigrain feed III, and test group four (GIV) fed with multigrain feed IV. Endurance tests by treadmill machine were administered after 24 days of multigrain feed supplementation and adaptive training. Running time was extended and glycogen storage capacity increased in the multigrain-treated group compared to the non-treated group. Also, the fatigue indicators of inorganic phosphorous, CPK, and lactate concentration were all reduced in the multigrain feed group compared to the control group after 25 min and/or exhausted exercise. But there was no difference in GOP, GTP, lactate, or LDH concentrations between the groups. Our results demonstrated that endurance improved with multigrain feed in rats. Specifically, running time, glycogen storage capacity, inorganic phosphorous, CPK, and lactate serum concentration increased. Importantly, the improvements in endurance brought about in the GII group fed with waxy barley was the greatest among the experimental groups.

Key words: multigrain feed, endurance, anti-fatigue, glycogen, lactate

서 론

지구력은 근육 내 미토콘드리아의 대사 활성화와 creatine phosphokinase(CPK)나 adenosine triphosphate(ATP) 등의 에너지 대사 물질의 빠른 재생을 통하여 근수축력을 회복 시킴으로써 향상시킬 수 있다(1,2). 근육의 지속적인 운동은 ATP가 가수분해 되면서 근육섬유를 반복적으로 수축시킴으로써 이루어지며 근육섬유의 cross-linkage가 약화되면서 근력이 저하되는 것으로 알려져 있다(3,4).

운동 지속시간을 결정하는 주된 요인으로 glycogen 함량이 중요하다. 운동에 이용되는 근육의 glycogen이 고갈되면 탈진 상태가 되며(5), 근육 내의 glycogen 함량이 증가되면

운동 지속능력이 향상되는 것으로 보고되었다(6,7). 근육 glycogen 고갈을 지연시키는 방법으로 운동 전 식이요법에 의해 근육 glycogen 함량을 증가시키거나(8) 운동 중 혈중 유리지방산 이용률을 증가시켜 근육 glycogen 고갈을 지연시키는 방법이 있다. 특히, 운동 중에 혈중 유리지방산의 농도를 증가시키는 heparin(9)이나 caffeine(10)을 투여하거나 혈중 유리지방산 이용을 증가시키는 carnitine을 투여하여 glycogen 고갈을 지연시키게 된다(11). 그러나 heparin은 출혈 위험성이 있으며, 운동선수에서의 고용도의 caffeine은 약물로 규제되어 지구력 운동 능력을 증가시키는 목적으로 이용하기는 어렵다.

탄수화물의 주요 기능은 신체활동에 필요한 에너지를 공

†Corresponding author. E-mail: leeapf@hotmail.com
Phone: 82-63-851-7061, Fax: 82-63-850-7459

급하는 것으로 근육 수축뿐만 아니라 다른 형태의 생물학적인 에너지로도 사용되며 혈당, 포도당 및 근육이나 간에 저장된 glycogen을 이용한다. 탄수화물은 운동 시 지구력을 위해 중요할 뿐만 아니라 운동 후 에너지 보충을 위해서도 필요하다(12,13).

백미는 세계 대부분의 지역에서 중요한 기본 식량자원으로 안정성과 소비자 기호에 따른 이유로 전통적으로 도정된 백미의 형태로 생산, 소비되어 왔다. 쌀은 왕겨만을 제거한 현미의 형태가 있으며, 현미의 쌀겨와 쌀눈을 포함한 전체 무게의 약 8%를 도정하면 백미가 된다(14). 쌀겨 층을 제거함으로써 지방, 단백질, 무기질, 비타민, 비전분 다당류와 같은 중요 영양소가 소실된다.

현미는 다양한 비타민, 무기질, lycine, 비타민 B6, 마그네슘, 망간, 인, 셀레늄, 비타민 E를 포함하고 있다. 현미는 소량의 단백질을 포함하지만 백미에 비해 상대적으로 제한 아미노산인 lycine의 함량이 높다. 현미를 정백미로 도정 시 부산물로 생성되는 쌀겨는 혈중 콜레스테롤 농도를 낮추준다고 알려진 오리자놀, 단백질, 사이토스테론, 식이섬유 성분들이 포함되어 있다(14).

비타민은 인체 내 탄수화물, 지방, 단백질의 대사 및 적혈구 조성, 산화·환원반응 및 생리적 반응을 조절하는 역할을 한다. 특히, 비타민 B군이 결핍되었을 때 비타민 B군을 보충해 주면 지구력에 영향을 주어 운동수행능력이 향상된다(15). 이처럼 혼합곡에는 운동능력에 도움이 되는 여러 가지 성분이 포함되어 있으나 지구력에 대한 연구는 미비하다.

따라서 본 연구에서 이용된 혼합곡은 동일 열량 내에서 탄수화물, 비타민, 무기질 아미노산 등의 함유량을 고려하여 지구력에 도움을 줄 수 있도록 곡류를 혼합하였으며, 4주간 투여 후 운동 지속시간을 측정하였다. 또한 지구력의 지표로 알려진 glycogen의 함량 및 운동 지속 시 발현되는 피로 지표인 무기인산, CPK, lactate 등에 대한 영향을 관찰하여 지구력 개선에 도움이 되는지 관찰하였다.

재료 및 방법

시험물질

시험에 사용된 물질은 등룡RPC사(전북, 한국)로부터 당해 연도 생산된 곡류를 이용하여 동일 열량 내에서 탄수화물,

비타민, 무기질 아미노산 등의 함유량을 고려하여 지구력에 도움을 줄 수 있도록 곡류를 Table 1과 같이 혼합하여 식이를 원광제분소(전주, 한국)에서 제분한 후 자유 급식하였다.

실험동물

Specific-pathogen free(SPF) 상태의 6주령 male Sprague-Dawley rats 36마리는 ㈜오리엔트(경기, 한국)로부터 구입하여 원광대학교 동물자원개발연구센터 실험동물사육실에서 1주일 동안 순화 사육한 후 실험에 사용하였다. 사육 기간 중 온도는 23±1°C, 습도 50±5%, 소음 60 phone 이하, 조명시간 08:00~20:00(1일 12시간), 조도 150~300 Lux, 환기는 시간당 10~12회의 환기를 유지하였다. 본 연구에 사용된 동물실험에 관련된 모든 실험과정과 절차는 원광대학교 동물실험윤리위원회의 사전심의와 윤리 규정을 준수하여 수행되었다(Approval No. WKU 10-012).

운동부하 및 시료의 투여

실험동물은 1주간 적응기간 후 6군으로 임의배정 하였다. 시험군 구성은 정상군(Nor, 정상식이), 대조군(Con, 일반식이 20%+백미 80%), GI(multigrain feed I), GII(multigrain feed II), GIII(multigrain feed III)와 GIV(multigrain feed IV)로 Table 1과 같이 혼합하였으며, branched chain amino acid(BCAA)는 Table 2와 같이 혼합하여 투여하였다. 운동부하는 treadmill 방법을 이용하여 1주(15 m/min, 10°, 10 min, 3 time/week), 2주(20 m/min, 12°, 15 min, 3 time/week), 3주(25 m/min, 14°, 20 min, 3 time/week), 4주(25 m/min, 14°, 탈진 시까지, 1 time/week)로 운동부하 및 적응을 하였으며, 1주일 후에 다시 5주(25 m/min, 14°, 25 min, 1 time/week) 동안 운동부하를 수행하였다. 이후 마취하여 혈액과 조직을 얻어 분석하였다. 4주차 탈진 시까지 treadmill(Omnipacer model LC-4, Omnitech Columbus, OH, USA)을 이용한 운동부하를 시킨 후 총 주행시간을 측정하였으며 체혈하였다. 탈진에 대한 판정은 treadmill의 기저부에서 머무는 동안 3회 전기 자극에도 반응이 없는 경우 탈진으로 간주하였다.

혈액 분석

혈청 중 lactate, creatine phosphokinase(CPK), glutamic oxaloacetic transaminase(GOT), γ-glutamic pyruvic tran-

Table 1. Contents of multigrain feed

Multigrain feed I (GI)		Multigrain feed II (GII)		Multigrain feed III (GIII)		Multigrain feed IV (GIV)	
Contents	Concentration (%)	Contents	Concentration (%)	Contents	Concentration (%)	Contents	Concentration (%)
Normal feed	20	Normal feed	20	Normal feed	20	Normal feed	20
Wheat	56	Waxy barley	56	Giant embryonic rice	56	Waxy barley	20
Yellow soybean	8	Yellow soybean	8	Yellow soybean	8	Brown rice	20
Peanut	8	Peanut	8	Peanut	8	Millet	16
Wheat germ	8	Corn germ	8	Wheat germ	8	Yellow soybean	8
						Peanut	8
						Wheat germ	8

Table 2. Concentration of branched chain amino acid (BCAA)

Groups	BCAA (mg)/100 g sample			
	Leucine	Isoleucine	Valine	Total
Control	512.8	230.4	222.4	965.6
GI	464.8	273.5	330.2	1068.5
GII	830.4	397.8	527.5	1755.8
GIII	465.4	273.8	330.6	1069.7
GIV	584.1	314.0	394.4	1292.5

saminase(GPT), inorganic phosphorus 농도를 측정하였다. 분석은 4주차 탈진 시까지의 운동부하 실험 후 미정맥에서 채혈한 혈액과 5주차 25 min의 운동부하 실험 후 마취하여 복대정맥에서 채혈하여 혈청을 분리하였다. 혈청분석은 Hitachi: 7150 automatic analyzer(Hitachi Co, Tokyo, Japan)을 이용하여 측정하였다.

Glycogen 함량 측정

가자미근과 간 조직 내 glycogen 함량 분석을 위해 조직 10 mg을 5 min homogenization하여 10,000×g에서 5 min 원심분리 하였다. 원심분리 후 상층액을 얻어 glycogen assay kit(BioVision, San Francisco, CA, USA)를 이용하여 ELSA Reader를 이용하여 570 nm 파장에서 측정하였다.

LDH와 lactate 함량 측정

근육 내 lactate dehydrogenase(LDH)와 lactate의 함량은 조직 100 mg을 cold assay buffer를 첨가하여 homogenization 하였다. 4°C, 10,000×g에서 15 min 원심분리 후 상층액을 취해 LDH quantatification assay kit(BioVision)와 lactate assay kit II(BioVision)을 이용하여 ELSA Reader를 이용하여 450 nm 파장에서 측정하였다.

통계처리

실험결과와 그룹 간 유의성 검정은 One-way ANOVA Duncan 사후검정 비교를 실시하여 p<0.05일 때 유의한 것으로 판정하였다(SPSS V12, New York, NY, USA).

결 과

음수, 식이섭취량 및 체중 변화

총 4주간 음수와 식이섭취량은 군간 유의적인 차이가 나타나지 않았다(Table 3). 체중의 변화는 3주차에 GIV군이 대조군에 비하여 감소하는 경향은 나타났으나 유의적인 차

Table 3. Effects of multigrain feed on food intake and water intake in endurance model

Groups	Water intake (mL/day)	Food intake (g/day)
Normal	51.98±8.32	25.10±1.86
Control	37.48±8.46	19.35±2.61
GI	36.60±6.17	22.05±1.53
GII	37.18±6.97	19.60±2.67
GIII	39.10±5.81	20.68±2.50
GIV	40.00±5.09	18.15±3.11

Data are mean±SE values (n=6).

이는 없었으며, 4주간 체중의 변화 역시 군 간의 차이는 나타나지 않았다(Fig. 1).

지구력 변화

Treadmill에 의한 탈진 시까지의 운동 시간은 정상군과 대조군 간의 차이는 나타나지 않았다. 그러나 혼합곡 식이를 섭취한 GIII, GIV군에서 탈진 시 운동시간은 대조군에 비하여 증가하는 경향을 보였다. 더욱이 GII군의 탈진 시 운동시간은 대조군에 비하여 유의하게 증가하였다(Fig. 2).

무기인산(inorganic phosphorus) 농도 변화

지구력 운동에서 나타나는 무기인산 농도는 25 min 운동 시에 GII군에서 대조군에 비하여 유의하게 감소하였다(Fig. 3A). 그러나 탈진 시까지 운동에서 GII군은 대조군에 비해 농도가 증가하는 경향이 관찰되었다. 이는 탈진 시까지의 운동 후 운동량 증가로 인해 대조군에 비해 실험군에서 무기인산이 증가했기 때문으로 생각된다. 따라서 탈진 시까지의 운동량을 고려했을 때, 무기인산의 혈중 농도는 오히려 대조군에 비하여 실험군에서 감소하는 경향은 있었으나, 유의적인 차이는 없었다(Fig. 3B). 더욱이 GII군과 GIII군의 무기인산의 농도는 대조군에 비하여 통계적으로 유의하게 감소하였다.

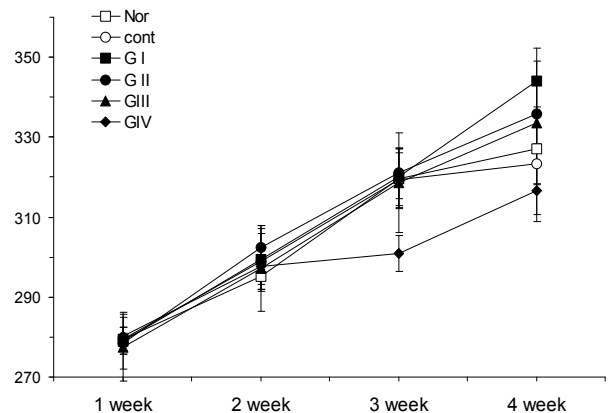


Fig. 1. Effects of multigrain feed on body weight for 4 weeks in endurance model. Data are means±SE (n=6).

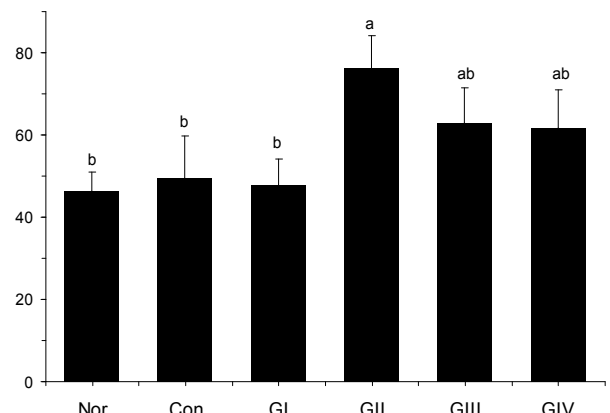


Fig. 2. Effects of multigrain feed on exhausted time of running in endurance model. Data are means±SE (n=6). Bars with different letters are significantly different (p<0.05).

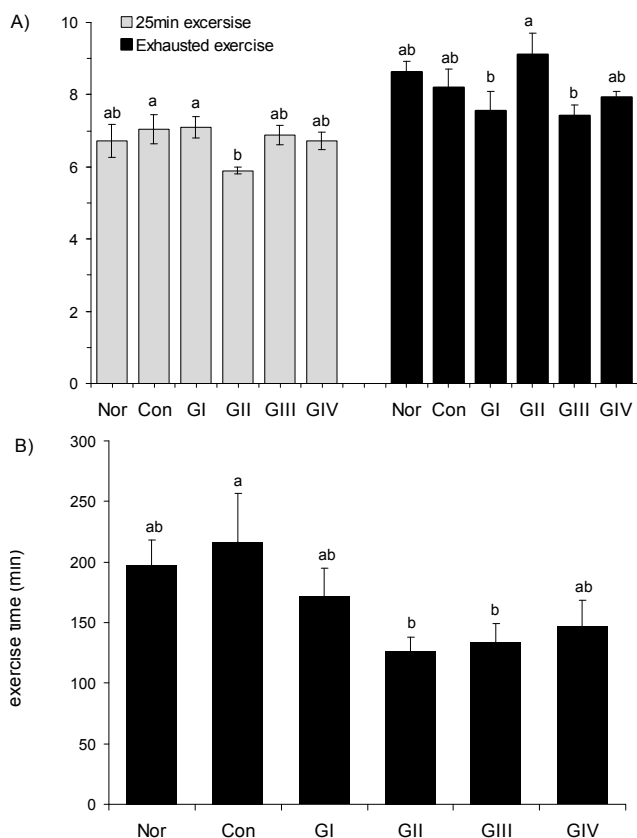


Fig. 3. Effects of multigrain feed on absolute of inorganic phosphorous (A) and inorganic phosphorous per exercise time at the exhausted exercise (B) in endurance model. Data are means±SE (n=6). Bars with different letters are significantly different (p<0.05).

Creatine phosphokinase(CPK) 변화

지구력 운동실험에서 측정하는 CPK 농도는 25 min 운동 시에는 GIII군과 GIV군에서 대조군에 비하여 유의하게 감소하였다(Fig. 4A). 탈진 시까지 운동에서는 실험군의 CPK 농도가 대조군에 비해 증가하는 경향이 관찰되었다. 이는 탈진 시까지의 운동에서 대조군에 비하여 실험군에서 운동량 증가로 인해 CPK 농도가 증가되었기 때문으로 생각되며, 탈진 시까지의 운동량을 고려한 CPK의 혈중 농도는 대조군에 비하여 실험군에서 감소하는 경향을 관찰할 수 있었으나 통계적으로 유의적인 변화는 없었다(Fig. 4B).

GOP 및 GPT 변화

25 min 지구력 운동에서 GPT와 GOT 농도는 군 간의 차이는 관찰되지 않았다(Table 4). 또한 탈진 시까지의 운동에서 운동량을 고려한 GPT의 혈중 농도는 대조군에 비하여 실험군에서 감소하는 경향을 보였으나 유의적인 변화는 없었다.

Lactate 변화

혈액 내의 lactate의 변화는 25 min 지구력 운동 후 혼합곡 섭취에 의해 감소하는 경향이 나타났다(Fig. 5A). 더욱이 GII군의 lactate는 대조군에 비하여 유의하게 감소하였다. 그

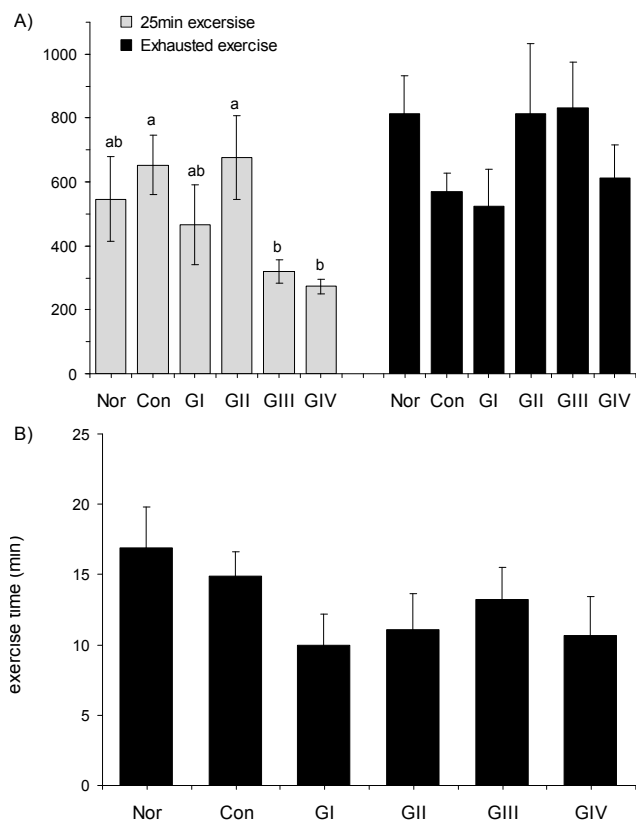


Fig. 4. Effects of multigrain feed on absolute of creatine phosphokinase (CPK) (A) and creatine phosphokinase per exercise time at the exhausted exercise (B) in endurance model. Data are means±SE (n=6). Bars with different letters are significantly different (p<0.05).

러나 탈진 시까지의 운동 후 혈액 내 lactate의 변화는 대조군에 비하여 감소하는 경향만 나타났다. 이는 탈진 시까지의 운동에서 대조군에 비하여 실험군에서 운동량 증가로 인해 lactate 증가의 결과로 생각된다. 따라서 운동량을 고려한 lactate 변화를 관찰하였다(Fig. 5B). 탈진 시까지의 운동 후, lactate 변화는 혼합곡 섭취에 의하여 모든 실험군은 정상군과 비슷한 수준 또는 수준 이하로 감소하는 경향이 나타났으며, GII군은 대조군에 비하여 통계적으로 유의하게 감소하는 결과를 나타내었다. 25 min 지구력 운동 후, 가자미근 내의 lactate와 LDH 농도는 군 간에 차이가 없었다(Table 5).

Glycogen 변화

25 min 지구력 운동 후, 가자미근과 간 조직에서 glycogen의 함량 변화를 관찰하였다(Fig. 6). 간 조직 내 glycogen의 함량은 군 간의 차이는 없었으나, 가자미근 내 glycogen 함량은 GI군, GII군 및 GIII군에서 정상군과 유사하거나 더 높은 함량이 관찰되었다. 특히, GI군과 GII군에서 glycogen의 함량은 대조군에 비하여 통계적으로 유의하게 증가하였다.

고찰

본 연구에서는 최대 운동시간의 변화와 최대 운동 후 또는

Table 4. Effects of multigrain feed on GOP and GTP intake in endurance model

Gropus	25 min exercise	Exhausted exercise	Exhausted exercise/min
	GOP (IU/L)		
Normal	82.83±5.79	136.17±16.24	2.99±0.28
Control	95.67±10.90	97.33±12.55	2.33±0.32
GI	91.33±9.78	126.33±30.85	3.38±0.78
GII	100.33±9.88	123.83±9.36	2.03±0.42
GIII	76.67±3.00	118.67±11.05	2.42±0.64
GIV	82.83±5.02	118.17±12.28	2.05±0.26
GTP (IU/L)			
Normal	37.67±1.78	48.33±4.76	1.53±0.36
Control	44.83±4.65	44.33±8.31	1.96±0.83
GI	49.67±4.55	53.33±4.61	2.08±0.41
GII	57.17±4.54	59.00±6.32	1.27±0.32
GIII	46.50±1.43	52.33±3.61	1.17±0.21
GIV	60.67±5.66	61.67±7.40	1.46±0.35

Data are mean±SE values (n=6).

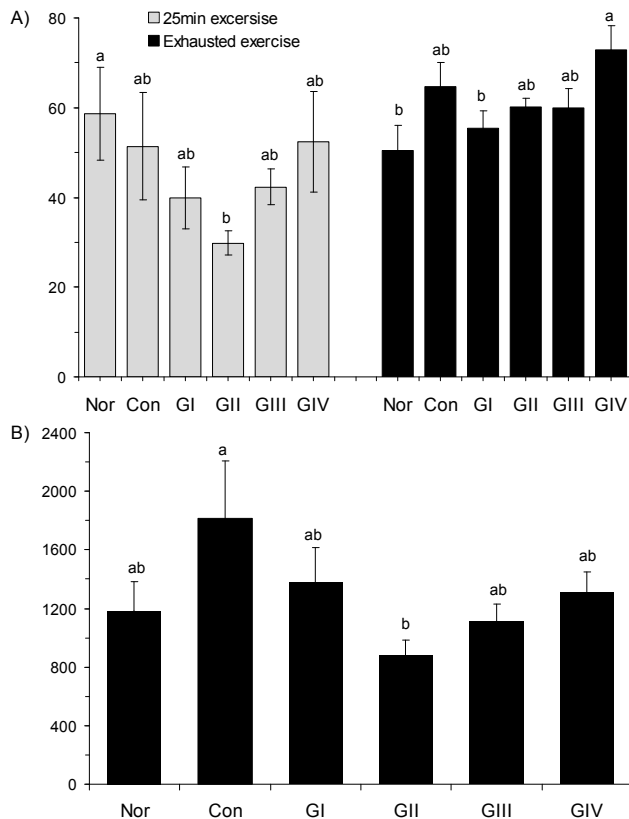


Fig. 5. Effects of multigrain feed on absolute of lactate (A) and lactate per exercise time at the exhausted exercise (B) in endurance model. Data are means±SE (n=6). Bars with different letters are significantly different (p<0.05).

25 min 지구력 운동 시에 나타나는 피로물질과 근육 내 glycogen 함량에 혼합곡 식이가 미치는 영향을 관찰하기 위해 treadmill을 이용한 실험을 수행하였다. 본 실험에서 사용된 혼합곡 100 g 기준의 칼로리와 탄수화물 함량은 각각 정상군 (400 kcal, 64 g), 대조군(362 kcal, 75 g), GI군(379 kcal, 57 g), GII군(372 kcal, 63 g), GIII군(378 kcal, 66 g), GIV군(371 kcal, 61 g)으로서 비슷한 조건으로 혼합되었으며, 대조군의

Table 5. Effects of multigrain feed on lactate and lactate dehydrogenase (LDH) in endurance model

	Lactate (nmol)	LDH (nmol)
Normal	382.79±32.74	45.46±6.97
Control	416.00±35.70	30.99±6.13
GI	331.85±28.24	41.85±4.91
GII	402.63±33.86	40.88±4.61
GIII	350.75±28.99	38.49±2.83
GIV	505.08±43.35	34.02±2.51

Data are mean±SE values (n=6).

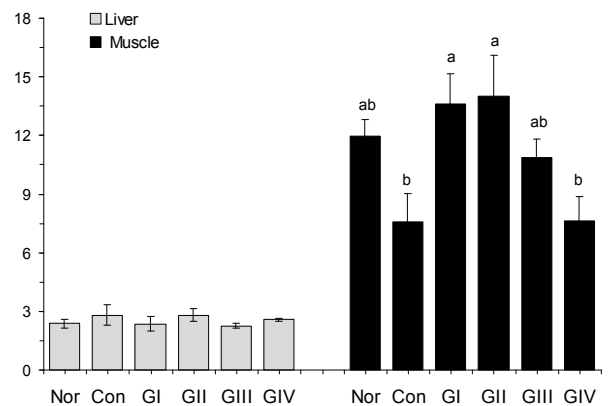


Fig. 6. Effects of multigrain feed on glycogen in endurance model. Data are means±SE (n=6). Bars with different letters are significantly different (p<0.05).

주 곡물인 백미에 비하여 GI군은 통밀, GII군은 찰보리, GIII는 거대배아현미, GIV군은 찰보리, 현미, 조가 혼합된 시료로 같은 칼로리와 탄수화물 내의 각 곡물에서 지구력의 증진 효과를 관찰하고자 하였다. 최대 운동시간은 혼합곡 식이를 섭취한 GII군에서 유의하게 증가하였으며, GIII, GIV군에서도 증가하는 경향을 관찰할 수 있었다(Fig. 2).

과도한 운동 시 근육 피로도의 지표로서 무기인산, lactate, 암모니아 등과 같은 피로물질이 생성된다는 보고가 있다 (16-19). 체내의 인은 당 분해 과정의 효소반응에 필수요소이며, 2,3-diphosphoglycerate 합성의 조절에 관여하여 헤모

글로빈의 산소운반능력에 영향을 미친다. 또한 운동 중인 근육에서는 반복되는 근육 수축에 의해 myosin과 actin의 친화력을 높이는 단계에서 ATP가 가수분해 되어 혈중 무기인산 농도가 급격히 증가하게 된다. 또한 일반적으로 운동 중에 혈청 내 무기인산 농도가 급격히 증가하면 근육섬유의 cross-bridge가 약화되면서 수축력이 저하되는 것으로 알려져 있다. 본 연구에서는 25 min 운동 후 무기인산은 대조군에 비하여 GII군이 유의하게 감소하였으며, 탈진 시까지의 운동 이후 운동시간당 무기인산은 혼합곡을 투여한 모든 군에서 감소 경향이 나타났다. 특히, GII군, GIII군에서 유의하게 감소하였다(Fig. 3).

GPT와 GOT는 세포의 손상이 가벼운 경우 세포막이 파괴되지 않고 효소가 세포 밖으로 유출되며, 세포내의 에너지 공급이 감소되기 때문에, 이온들의 세포내의 농도수송이 정지된다. 따라서 세포내의 칼륨이온이 세포 밖으로 유출되고 나트륨, 칼슘이온 및 수분이 세포 내로 유입된다. 그 결과, 세포는 팽창되고 세포막의 결합이 약해짐으로 세포질에 존재하는 GOT, GPT가 유출된다(20,21). 따라서 혈중으로 유출된 GOT, GPT의 활성을 측정하여 간과 근육조직 손상 정도를 알 수 있다. 본 연구에서 탈진 시까지의 운동 후, GOT와 GPT의 농도는 대조군에 비하여 감소하는 경향이 관찰되었으나 유의적인 차이는 없었으며, 25 min 운동 후 GOP와 GTP의 농도 변화 또한 관찰할 수 없었다(Table 4).

CPK는 무산소 운동 시 ATP 합성에 필요한 creatinine phosphate 합성을 촉진하는 효소로서 무산소 운동 시에 혈중 CPK는 증가하게 된다(22,23). 본 실험에서는 25 min 운동 후 CPK의 함량은 대조군에 비하여 GIII군과 GIV군에서 유의하게 감소하였으며, 탈진 시까지 운동 후에 운동시간당 CPK의 함량은 혼합곡을 섭취한 모든 군에서 감소하는 경향이 관찰되었다(Fig. 4).

혈중 lactate 농도는 포도당의 무산소 대사에 의해서 생성되며, 단시간 강한 운동에 의해 피로가 증가하여 운동이 중단하는 것은 체내에 축적된 lactate가 주된 원인으로 알려져 있다(24). 사람에서는 운동 중에 혈중 lactate 농도가 120% 이상 증가하면 피로가 급증하여 운동을 중단한다고 알려져 있으며, 유산소 운동일 경우 lactate의 축적이 급증하지 않는다(25). 또한 Rennie와 Johnson(26)의 보고에 의하면 glycogen이 과다 저장되었을 경우에 glycolysis가 증가되어 혈중 lactate 농도가 더 증가한다고 보고하였다. 본 연구에서 25 min 운동 후 lactate의 함량은 대조군에 비하여 GII군이 유의하게 감소하였다(Fig. 5A). 탈진 시까지 운동 후 운동시간당 lactate의 함량은 대조군에 비하여 혼합곡을 투여한 모든 군에서 감소하는 경향이 나타났으며, 특히 GII군에서 유의하게 감소하였다(Fig. 5B). 그러나 25 min 운동 후 가자미근 내의 lactate와 LDH의 변화는 없었다(Table 5). Bigard 등(27)의 보고에 의하면, 고도의 지구력 훈련을 받은 흰쥐 실험군에서 골격근육의 LDH의 활성은 감소하고 포도당을 인산

화 시키는 핵소키나제(HK), TCA cycle과 관련된 구연산합성효소(CS), 지방산의 β -산화와 관련된 3-hydroxyacyl CoA dehydrogenase(HAD)의 활성이 증가한다.

Glycogen은 근육의 무산소운동에서 사용되며, 유산소운동에서도 효율적인 지방산 산화를 위하여 필요한 oxaloacetic acid 생성에 glycogen이 이용되기 때문에 간과 근육의 glycogen 축적은 지구력 증진 및 운동효율에 중요하다(28). Azevedo 등의 보고(29)에 의하면, 지구력 훈련을 받은 운동선수들의 근육은 훈련 받지 않은 사람들의 근육보다 근육 glycogen이 천천히 분해된다고 하였으며 또한 생성된 lactate의 함량도 낮다고 보고하였다.

지구력 운동에 대표적인 마라토너들은 글리코젠 로딩(glycogen loading)이라는 식이요법을 이용하여 glycogen을 축적한다. 카보 로딩(cabo loading)으로도 알려져 있는 이 방법은 경기 전 5~6일간에 걸쳐 시행한다. 최초 2~4일간은 탄수화물 식단을 제외한 고지방/고단백 식이로 전환시키고, 고탄수화물 식이 1일전부터 강한 운동을 실시하여 체내 glycogen을 완전히 고갈시킨다. 그 후 경기 전 2~3일간 고탄수화물 중심으로 식이를 전환하여 체내에 glycogen을 두 배 이상 저장시킨다. 본 연구에서 25 min 운동 후 가자미근 내의 glycogen 함량은 대조군에 비하여 혼합곡 식이를 섭취한 군에서 근육 내 glycogen 함량이 증가하는 경향을 보였다. 특히 GI군, GII군에서 유의한 증가를 확인할 수 있었다(Fig. 6). 그러나 간 조직 내의 glycogen 함량의 변화는 없었다. 이는 운동강도에 따라 저장된 glycogen이 이용되는 근육 섬유 유형이 다르기 때문이며, 운동 강도가 낮을 때는 주로 지근(slow twitch) 섬유에 의해, 지근섬유의 피로가 증가하며 운동 강도가 최대 산소 소모량 80% 이상 시 속근(fast twitch) 섬유에 의해 glycogen이 이용된다고 보고되었다(30). 따라서 지구력 운동 시에는 지근섬유에 저장된 glycogen이 감소되며, 이후 속근섬유의 glycogen이 감소된다. 또한, 간 조직은 근육보다 glycogen을 단위조직당 10배 정도 많은 양을 저장하고 있으며, 가벼운 운동 시 간 조직 내의 glycogen 고갈이 나타나는 것으로 보고되었다(31). 따라서 본 연구에서의 25 min 운동 이후 간 조직 내의 glycogen 함량은 운동 초반에 모두 고갈되어서 근육에 비하여 더 감소되었으며, 군간 차이가 없었던 것으로 생각된다.

Branched chain amino acid(BCAA)는 대부분의 아미노산이 간에서 이용되는 것과는 달리 골격근에 산화되기 때문에(32,33), 근육 내 glycogen의 고갈을 초래하는 지구성 운동 시 산화적 연료로서 이용될 수 있을 뿐만 아니라 지구성 운동 시 BCAA의 투여는 혈장 free Trp/BCAA의 농도비 증가를 억제시킬 수 있기 때문에 뇌 세로토닌의 전구체인 트립토판(tryptophan; Trp)이 뇌간막을 통해 뇌로 유입되는 것을 억제시킴으로써 뇌의 세로토닌 합성을 감소시킬 수 있다(34,35). 본 연구에 이용한 혼합물의 특성 중 BCAA(leucine, isoleucine, valine)의 시료 100 g 기준 함량은 GII군이 가장

높았으며(Table 2), 대조군에 비하여 181%가 높았다. 이와 비슷한 결과로 GII군에서 지구력이 가장 높았으며, 무기질이 인산과 혈액 내 lactate가 유의하게 낮았다. 이는 Blomstrand 등(36)은 지구성 운동 시 혈장 free trp/BCAA의 농도비를 증가를 억제시키기 위해 마라톤과 30 km 크로스컨트리 경기에 참가한 선수들에게 각각 16 g, 75 g의 BCAA를 섭취시킨 결과 피로감이 감소되었고, 운동 수행시간이 향상되었다는 보고와 일치한다. 그러나 Vandewalle 등(37)의 보고에 의하면 BCAA 투여는 지구성 운동수행에 영향을 주지 않는다고 보고하였다.

또한 보리는 품종의 따라 약 3~8%의 β -glucan이 함유되어 있으며 찰보리는 메보리보다 함량이 높으며(38), 추출방법에 따라 β -glucan의 함량이나 점성, 순도가 다르다(39). Sung 등(40)의 보고에 의하면 β -glucan의 투여는 5-HT와 TPH을 감소시킴으로써 운동시간을 증가시킨다고 보고하였다.

4주간 혼합곡 투여에 의하여 최장 운동시간이 증가하였다. 또한 25 min 운동 후에는 피로 지표물질인 무기인산, CPK, lactate가 혼합곡 식이에 의해 유의하게 감소하였으며, 탈진 시까지의 운동에서도 운동시간당 무기인산, lactate가 유의하게 감소하였다. 혼합곡 식이는 피로물질을 억제하고, 운동에 대한 에너지원인 glycogen 함량을 증가시킴으로써 지구력 개선에 도움을 줄 것으로 생각된다.

요 약

본 연구에서는 4주간 혼합곡 식이를 공급하여 treadmill을 통한 운동시간과 glycogen 저장능력 변화를 관찰함으로써 지구력 개선에 대한 평가를 하였다. 7주령 SD rats은 정상군(Nor, 정상식이, n=6), 대조군(Con, 20% 정상식이+80% milled rice, n=6), GI(혼합곡 식이 I, n=6), GII(혼합곡 식이 II, n=6), GIII(혼합곡 III, n=6)와 GIV(혼합곡 식이 IV, n=6)으로 임의 군배정을 하였다. 지구력 시험은 24일간의 적응 훈련과 혼합곡 식이 공급을 한 후 실시하였다. 운동 지속 시간과 glycogen 저장능력은 혼합곡 식이 공급에 의해서 증가하였다. 더욱이 25 min 운동 그리고/또는 탈진 시까지의 운동 후에서 혈액 내 무기질 인, CPK와 lactate의 농도는 혼합곡 투여에 의하여 감소하였으나, GOP, GTP, lactate LDH의 농도는 군간 차이는 보이지 않았다. 본 연구에서는 4주간의 혼합곡 식이가 운동 지속 시간과 glycogen 장 능력이 증가되었으며, 피로물질인 무기질 인, CPK와 lactate의 농도가 감소시킴으로써 지구력 개선에 도움을 줄 것으로 생각된다.

감사의 글

본 연구는 농림수산식품부(농업, 식품, 수산) 기술개발사

업의 지원에 의해 이루어진 것으로 이에 감사를 드립니다.

문 헌

- Chen Z, Zhao TJ, Li J, Gao YS, Meng FG, Yan YB, Zhou HM. 2011. Slow skeletal muscle myosin-binding protein-C (MyBPC1) mediates recruitment of muscle-type creatine kinase (CK) to myosin. *Biochem J* 436: 437-445.
- Wei R, Cao Z. 1992. Effects of radix Astragali and radix ginseng in enhancing the metabolism of human myocardial cells in vitro. *Chung Kuo Chung Yao Tsa Chih* 17: 173-175.
- Baranov AI. 1982. Medical use of ginseng and related plants in the Soviet Union. *J Ethnopharmacol* 5: 339-353.
- Millar NC, Homsher E. 1990. The effects of phosphate and calcium on force generation in glycerinated rabbit skeletal muscle fibers. *J Biol Chem* 265: 20234-20240.
- Kuipers H, Hoarill DL, Porter DA, Fink WJ, Morse WM. 1986. Glucose feeding and exercise in trained rats. Mechanism for glycogen sparing. *J Appl Physiol* 61: 859-863.
- Sherman WB, Costill DL. 1984. The marathon: dietary manipulation to optimize performance. *Am J Sport Med* 12: 44-51.
- Costill DL. 1985. Carbohydrate nutrition before, during and after exercise. *Fed Proc* 44: 364-368.
- Elliot DL, Goldberg L. 1985. Nutrition and exercise. *Med Clin N Am* 69: 71-82.
- Rennie MJ, Johnson RH. 1974. Effects of an exercise diet program on metabolic changes with exercise in runners. *J Appl Physiol* 37: 821-825.
- Flinn S, Gregory J, McNaughton LR, Tristram S, Davies P. 1990. Caffeine ingestion prior to incremental cycling to exhaustion in recreational cyclists. *Int J Sports Med* 11: 188-193.
- Trappe SW, Costill PL, Goodpaster B, Vukovich MD, Fink WJ. 1994. The effect of L-carnitine supplementation on performance during interval swimming. *Int J Sport Med* 15: 181-185.
- Bergstrom J, Hermansen L, Hultman E, Saltin B. 1967. Diet, muscle glycogen and physical performance. *Acta Physiol Scand* 71: 140-150.
- Conlee RK. 1987. Muscle glycogen and exercise endurance: a twenty-year perspective. *Exerc Sports Sci Rev* 15: 1-28.
- Saunders RM. 1990. The properties of rice bran as a food. *Stuff* 35: 632-636.
- Virk RS, Dunton NJ, Young JC, Leklem JE. 1999. Effect of vitamin B-6 supplementation on fuels, catecholamines, and amino acids during exercise in men. *Med Sci Sports Exerc* 31: 400-408.
- Holloszy JO, Booth FW. 1976. Biochemical adaptations to endurance exercise in muscle. *Annu Rev Physiol* 38: 273-291.
- Banister EW, Rajendra W, Mutch BJ. 1985. Ammonia as an indicator of exercise stress implications of recent findings to sports medicine. *Sports Med* 2: 34-46.
- Dawson CA, Nadel ER, Horvath SM. 1971. Arterial blood and muscle lactates during swimming in the rat. *J Appl Physiol* 30: 322-327.
- Itaya K, Ui M. 1966. A new micro method for the colorimetric determination of organic phosphate. *Clin Chim Acta* 14: 361-366.
- Amin KA. 2010. Effect of food azo dyes tartrazine and carmoisine on biochemical parameters related to renal, hepatic function and oxidative stress biomarkers in young male rats. *Food Chem Toxicol* 10: 2994-2999.

21. Ennulat D, Maqid-Slav M, Rehm S, Tatsuoka KS. 2010. Diagnostic performance of traditional hepatobiliary biomarkers of drug-induced liver injury in the rat. *Toxicol Sci* 116: 397-412.
22. Paik I, Kim JK, Chun YS, Oho HJ. 1997. Verifying the validity of fatigue elements changes following absolute exercise intensities. *Kor J Physical Edu* 36: 218-223.
23. Rossiter HB, Cannerll ER, Jakeman PM. 1996. The effects of oral creatine supplementation on the 1000-m performance of competitive rowers. *J Sports Sci* 14: 175-179.
24. Costill DL. 1985. Carbohydrate nutrition before, during, and after exercise. *Fed Proc* 44: 364-368.
25. Karlsson J, Saltin B. 1970. Lactate, ATP and CP in working muscles during exhaustive exercise in man. *J Appl Physiol* 29: 596-602.
26. Rennie MJ, Johnson RH. 1974. Effects of an exercise-diet program on metabolic changes with exercise in runners. *J Appl Physiol* 37: 821-825.
27. Bigard AX, Brunet A, Guezennec CY, Monod H. 1991. Skeletal muscle changes after endurance training at high altitude. *J Appl Physiol* 71: 2114-2121.
28. Coyle EF, Coggan AR, Hemmert MK, Ivy JL. 1986. Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *J Appl Physiol* 61: 165-172.
29. Azevedo JL Jr, Linderman JK, Lehman SL, Brooks GA. 1998. Training decreases muscle glycogen turnover during exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 78: 479-486.
30. Desmedt JE, Godaux E. 1977. Ballistic contractions in man: characteristic recruitment pattern of single motor units of the tibialis anterior muscle. *J Physiol* 264: 673-693.
31. Terjung RL, Baldwin KM, Winder WW, Holloszy JO. 1974. Glycogen repletion in different types of muscle and in liver after exhausting exercise. *Am J Physiol* 226: 1387-1391.
32. Goldberg AL, Chang TW. 1978. Regulation and significance of amino acid metabolism in skeletal muscle. *Federation Proc* 37: 2301-2307.
33. Harper AE, Miller RH, Block KP. 1984. Branched chain amino acid metabolism. *Ann Rev Nutr* 4: 409-454.
34. Chaouloff FG, Kennett A, Serurier B, Merino D, Curzon G. 1986. Amino acid analysis demonstrates that increased plasma free tryptophan causes the increase of brain tryptophan during exercise in the rat. *J Neurochem* 46: 1647-1650.
35. Hargreaves KM, Pardridge WM. 1988. Neutral amino acid transport at the human blood-brain barrier. *J Biol Chem* 263: 19392-19397.
36. Blomstrand E, Hassmen P, Ekblom B, Newsholme EA. 1991. Administration of branched chain amino acid during sustained exercise effects on performance and on plasma concentration of some amino acid. *Eur J Appl Physiol* 63: 83-88.
37. Vandewalle L, Wagenmakers AJH, Smets K, Brouns F, Saris WHM. 1991. Effect of branched chain amino acids supplements on exercise performance in glycogen depleted subjects. *Med Sci Sports Exerc* 23: S116.
38. Bhatti RS. 1992. β -glucan content and viscosities of barleys and their roller-milled flour and bran products. *Cereal Chem* 69: 469-471.
39. Temelli F. 1997. Extraction and functional properties of barley β -glucan as affected by temperature and pH. *J Food Sci* 62: 1194-1201.
40. Sung YH, Kim DY, Jung SY, Kim TW, Kim CJ, Seo JH. 2011. β -glucan increases treadmill running time through inhibition of serotonin expression in brains of rats during exhaustive exercise. *JENB* 15: 95-103.

(2011년 9월 26일 접수; 2011년 11월 3일 채택)