고강도 운동 시 식이형태가 근육부상에 미치는 영향

이규락¹⁾, 정현령¹⁾, 강호율^{1)*}

¹⁾경북대학교

Kyu-Lark Lee, Hyun-Lyung Jung, Ho-Youl Kang (2015). The effects of different diet patterns on muscle injuries due to high-intensity exercise. *Exercise Science*, 24(2): 133-141.

PURPOSE: The purpose of this study was to determine the difference between the traditional Korean and western diet on muscle injuries induced by high-intensity resistance exercise.

METHODS: Eight healthy males were voluntarily participated in this study. All subjects were randomly received both the Korean diet (KFT) and the Western diet (WFT) were provided for 4 days with 2-week interval between treatments. Daily caloric content was about 3,500 kcal (carbohydrate: protein: fat; 70%: 15%: 15%, KFT; 34.5%: 16.7%: 48.3%, WFT). High-intensity leg press exercise with 2 sets at each 8 RM, 6 RM, and 4 RM was performed at Day 1 and Day 2. Fasting blood samples were drawn from forearm vein and analyzed for glucose, insulin, lactate, creatine kinase, cortisol, and IL-6.

RESULTS: Plasma glucose and insulin concentrations were not significantly different between KFT and WFT. Plasma creatine kinase activity at Day 5 was significantly different between KFT (213.3 ± 26.2 U/L) and WFT (348.7 ± 37.6 U/L) ($p=0.010$). Resting lactate levels in KFT (1.8 ± 0.2 mM) was significantly higher than those in WFT (1.1 ± 0.1 mM) at Day 5 ($p=0.010$ mM). IL-6 and cortisol levels were significantly lower in KFT (4.5 ± 0.2 pg/mL, 447.2 ± 26.0 ug/dL) than WFT (6.0 ± 0.5 pg/mL, 548.4 ± 16.9 ug/dL) at Day 5 ($p=0.017$, IL-6; $p=0.006$, cortisol, respectively).

CONCLUSIONS: The results of the current study suggested that the KFT like the high carbohydrate meal could attenuate the muscle injury induced by high intensive resistance exercise in the comparison to high fat WFT.

Key words: diet, IL-6, muscle injury, cortisol, lactate

주요어: 식이, IL-6, 근육부상, 코티졸, 젖산

I. 서론

오늘날 스포츠 현장에서 운동선수의 적절한 영양 섭취는 경기력 향상에 크게 영향을 미치는 중요한 요소로 1960년대 이후로 탄수화물 섭취에 대한 연구는 활발히 이루어졌으며, 운동 전 많은 양의 글리코겐 저장(glycogen loading)이 장시간 운동 시 발생하는 피로 시간을 지연시키고, 운동 수행력 향상에 효과가 있다고 보고하였다 [18,24]. 또한, 1990년대 이르러 운동선수의 경기력과 관련하여 고지방식(fat loading) 연구가 활발히 이루어졌으며, 장기간 고지방 섭취는 운동 시 지질대사를 활성화시켜 글리코겐의 절약효과를 가져와 운동수행력이 향상된다고 보고하였다 [8,14,30].

스포츠 과학 분야의 영양 섭취에 대한 선행 연구를 살펴보면, 스포츠 현장에서 운동선수의 훈련량(training volume)과 훈련 강도(training intensity) 등을 증가시켜 운동수행력뿐만 아니라 경기

력을 향상시킬 수 있었다 [4,18,24]. 미국 여자 조정 선수의 훈련량은 1965년에 2,300 km/year에서 1980년에 6,800 km/year로 약 200% 증가하였으며 [4], 오늘날 엘리트 조정선수들의 훈련량은 약 7,000~8,000 km/year로 유지되고 있다. 그러나 스포츠 영양 연구는 운동선수의 훈련량과 훈련 강도를 증가시키는데 효과적이었으나, 지속적인 고강도 훈련으로 인해 지연성 근통증(delayed onset muscle soreness; DOMS)을 유발하고, 해당 부위의 근력과 관절가동범위 감소, 근육통 등을 발생시켜 일반인이나 운동선수 모두에게 경기력을 저하시키거나 부상의 위험을 증가시키는 주요 요인이 되고 있다 [16,27]. 그러므로 성공적인 운동수행력의 향상을 위해서는 트레이닝 기간 중 근육부상의 예방은 매우 중요하다고 할 수 있다. 근육부상의 예방과 관련된 연구는 탄수화물과 단백질 섭취 [28,36], 텍사메타손 투여 [17], BCAA [42], 카페인 [12], 홍삼 섭취 [21], 녹용분말 [23] 등 다양한 Ergogenic aid에 관한 연구가 이루어지고 있지만, 운동선수들이 평소 섭취하는

식이형태와 고강도 운동 시 근육부상에 대한 연구는 매우 부족한 실정이다.

고강도 운동 시 근육의 피로를 최소화하고, 근육부상을 예방하기 위해서는 적절한 훈련 방법도 중요하지만, 영양 섭취는 매우 중요한 요소이다 [2]. 최근 고도로 훈련된 10명의 에티오피아 장거리 육상 선수들을 대상으로 고강도 훈련 시 7일 동안의 영양소 섭취 비율을 분석한 결과, 탄수화물 64.3±2.6%, 지방 23.3±2.1%, 단백질 12.4±0.6%로 고탄수화물식 위주의 섭취를 보고하였다 [2]. 그러나 우리나라 엘리트 운동선수 식단의 섭취 에너지 비율을 조사한 결과, 탄수화물 48.6%, 지방 33.4%, 단백질 18.0%로써, 지방섭취 비율이 높게 나타났으며, 국외 선수들의 영양소 섭취비율인 탄수화물 33~57%, 지방 29~49%, 단백질 12~26%와 유사하게 나타났다 [25]. 전통적으로 우리나라는 탄수화물 위주의 식이 섭취를 하였으나, 산업화 사회 이후 경제 성장으로 국민 소득이 증대됨에 따라 우리의 식생활 형태는 지방함량이 높은 방향으로 많이 변화되었다. 쌀, 김치, 콩, 채소 등을 중심으로 한 식생활 패턴에서 빵, 육류, 유제품 등의 서구식 식생활 패턴이 더해져 지방 섭취가 증가하고 있다. 식생활 패턴은 변화하였지만, 식이 형태와 근육부상에 관련된 연구는 부족한 실정으로 고강도 운동 시 식이 형태와 근육부상의 관련성 연구는 운동 선수들의 경기력 향상에 매우 중요하다고 생각되어 진다. 그러므로 본 연구에서는 고강도 운동 시 4일간 고탄수화물 식단인 전통적인 한국식 식이형태(traditional korean dietary pattern)와 고지방식단인 전통적인 서양식 식이형태(traditional western dietary pattern)의 섭취가 근부상지표인 사이토카인 IL-6 [33], creatine kinase [5], 그리고 혈중 코티졸의 변화 [35]에 미치는 영향을 조사하고 근육부상 예방에 효과적인 식이형태를 알아보고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상

본 연구는 D 광역시 K 대학교에 재학 중인 신체 건강한 남자 대학생 8명을 대상으로 하였다. 연구 대상자에게는 연구 전 연구의 내용과 실험 방법에 대하여 설명을 하였으며, 실험 참가

Table 1. Characteristics of subjects

Variables	Subjects
Age (yrs)	23.9±0.4
Height (cm)	177.1±3.3
Weight (kg)	69.5±1.5

Values are mean±SE, n=8.

동의서에 서명하고 자발적으로 참여한 학생을 대상으로 실시하였다. 실험 처치는 한식단 처치(korean food treatment, KFT)와 서양식단 처치(western food treatment, WFT)로 나누어 무작위로 실시하였으며 실험처치 간 간격은 14일로 하였다. 신체적 특성은 (Table 1)과 같다.

Table 2. Diet treatment

Treatment	Breakfast	Lunch	Dinner
KFT	Cooked rice	Cooked rice	Cooked rice
	Dried pollack & daikon soup	Tofu jjigae	Bean sprouts & kimchi soup
	Braised tofu	Braised spicy chicken	Jeyuk bokkeum
	Grilled seaweed	Seaweed & cucumber with vinegar dressing	Lettuce, Green chilli, Doenjang
	Kimchi	Kimchi	Chonggak kimchi
	Apple juice	Bread	Cooked white rice
WFT	Croissant 5	Hamburger	Pizza 3 slice
	Sausage 2	Cola	Cola
	Cola		

Korean food treatment, KFT; western food treatment, WFT

Table 3. Composition of the experimental diet

Treat ment	Calorie (kcal)	CHO (g)	Protein (g)	Fat (g)
Cooked rice*3	278	45.8	1.7	1.2
Dried pollack & daikon soup	267	2.2	5.4	6.2
Braised tofu	215	3.0	5.0	7.6
Grilled seaweed	3.8	0.3	0.6	0.1
kimchi*2	9.5	0.7	1	0.3
Apple juice	68	17	0	0
Tofu jjigae	369	3.3	5.6	7.2
Braised spicy chicken	445	4.3	6.9	6.7
Seaweed & cucumber with vinegar dressing	16	2.3	2.8	0.8
KFT Bread	140	5.5	2.3	2
Pear*2 slice	5.1	1.0	0.05	0.02
Cooked white rice	300	53	5	1.9
Bean sprouts & kimchi soup	231	3.3	4.4	5.3
Jeyuk bokkeum	557	4.7	5.2	9.0
Lettuce	1.8	0.3	0.1	0.03
Green chilli	1.9	0.3	0.1	0.03
Doenjang	10	0.9	0.6	0.5
Chonggak kimchi	7.7	0.8	0.7	0.2
total	3496	242 (70%)	51.9 (15%)	51.8 (15%)
Croissant*5	95.8	3.4	1.4	5.6
Sausage*2	210	1.0	3.0	20.0
Cola*3	112	28	0	0
WFT Hamburger	1012	3.2	18	28
Pizza*3	415	3.0	8	21
total	3492	115.2 (35%)	55 (16.7%)	159 (48.3%)

Korean food treatment, KFT; western food treatment, WFT; carbohydrate, CHO.

2. 식이처치

본 연구 식단은 한식 식단(3496 kcal)과 서양식 식단(3492 kcal)으로 나누어 섭취하였고, 하루 약 3500 kcal로 4일간 1일 3식 12회 제공하였으며, 식이는 본 실험실에서 제공하는 식단으로만 통제하였다. 일일 식단의 영양소 비율은 한식단 탄수화물 70%, 단백질 15%, 지방 15%를 제공하였고, 서양식단 탄수화물 34.5%, 단백질 16.7%, 지방 48.3%를 제공하였다. 한식과 서양식 식단 구성과 함량은 <Table 2>, <Table 3>과 같다.

3. 운동처치

본 실험 전 연구 대상자는 직접 측정법을 이용하여 1 RM (one-repetition maximum)을 측정하였다. 실험 1주일 전 운동 기구 및 운동 방법에 대한 적응기간을 제공한 다음 1 RM을 측정 후 48시간 이상 휴식을 취하였다. 1 RM 직접 측정법은 적정 무게(하체: 자신의 체중)로부터 시작하여 점차 무게를 증가시켜 1회 들어 올릴 수 있는 최대 무게를 측정하였고, 1 RM을 기준으로 8 RM(1 RM의 85%)을 추정한 후 피험자의 개별성을 고려하여 8 RM을 직접 측정하였다. 측정 과정 중 근피로에 의한 1 RM 측정에 미칠 수 있는 영향을 줄이기 위해 모든 측정은 5세트 이내에 이루어지도록 하였다 [9].

운동 종목은 레그 프레스(leg press)를 6세트 실시하였고, 근부상 유발을 위해 1~2세트는 8 RM, 3~4세트는 6 RM, 5~6 세트는 4 RM으로 실시하였으며 세트 간 휴식 시간은 1분으로 하였다. 운동은 실험 1일, 2일차 때 실시하였으며 실험 프로토콜은 <Fig. 1>과 같다.

4. 측정항목 및 방법

1) 신장과 체중

신장 및 체중은 신장·체중계(DS-103, Dong Sahn JENIX Co., Korea)를 이용하여, 바닥에서 두 정점까지의 수직 최단거리를

0.1 cm 단위로, 체중은 0.1 kg 단위로 측정하였다. 신장과 체중 측정은 하루의 편차를 고려하여 오전 10시를 전·후한 실시를 기본으로 하였다. 피검자는 가벼운 복장으로 자연스럽게 직립 자세를 취하며 귀와 눈이 수평이 되게 하며, 양발 끝은 약 30~40도 벌리고 무릎은 펴며 엉덩이와 등을 가볍게 뒤에 접촉한 자세에서 움직이지 않도록 하였다.

2) 혈액채취

연구 대상자는 혈액채취 하루 전날 10~12시간 이상 공복 후 실험 1일(D1), 실험 3일(D3), 실험 5일(D5)에 걸쳐 피험자의 상완 정맥에서 각각 10 mL씩 혈액을 채취하였다. 채취한 혈액은 응고를 방지하기 위해 헤파린 튜브에 담아 원심분리(3000 g × 20 min) 후 혈장만을 분석 전까지 -70 °C 초저 냉동고에 보관하였다.

3) 혈당과 젖산(Plasma glucose and insulin)

혈당과 젖산은 자동 혈당 분석기(YSI 2300, Yellow Springs Instrument Co., Springfield, IL, USA)를 이용하여 분석하였다.

4) 인슐린과 코티졸(Insulin and cortisol)

인슐린과 코티졸은 Coat-A-Count Kit(Diagnostic Products Co., Los Angeles, CA, USA)를 이용하여 방사선면역측정법(radioimmunoassay)으로 분석하였고 γ -counter(1470 Wizard, Wallac, automatic counter, Wallac OY, Turku, Finland)를 이용하여 1분 동안 측정하였다.

5) 혈당내성검사(Oral glucose tolerance test, OGTT)

혈당내성검사는 식이 섭취 4일 후 실험 5일(D5)째에 실시하였다. 연구 대상자는 검사 1일 전 10~12시간 공복 후 실험 당일 혈액 채취한 다음 포도당(glucose) 75 g이 포함된 진단시약을 마시게 하였다. 혈액 채취는 섭취 전(0), 섭취 후 30분(30), 60분(60), 90분(90)에 걸쳐 채취하였으며, 채취한 혈액은 응고를 방지하기 위해 헤파린 튜브에 담아 원심분리(3000 g × 20 min) 후 혈장만을 분석 전까지 -70 °C 초저 냉동고에 보관하였다.

Fig. 1. Experimental procedure.

6) 크레아틴 키나제(Creatine kinase, CK)

혈중 CK는 Elitech Kit(ELI Tech Group, France)를 이용하여 분석하였으며, 형광분석기(Thermo, England)를 이용하여 340 nm에서 판독하여 측정하였다.

7) Interleukin-6(IL-6)

Interleukin-6는 Human IL-6 ELISA Test Kit(Bioo Scientific Corporation, USA)를 이용하여 효소면역측정법(Enzyme immunoassay)으로 분석하였다.

5. 통계처리

본 연구의 측정항목에 대한 결과는 평균과 표준오차(Mean $\pm$ SE)를 산출하였으며, 통계적 분석은 SPSS 18.0(SPSS Inc., Chicago, IL, USA) 통계프로그램을 이용하였다. 통계처리는 처치 간 시간에 따른 변화를 알아보기 위해 이원반복측정분산분석(two-way ANOVA with repeated measure)을 실시하였으며 시간과 집단 간의 유의성이 있을시 사후검정은 대비검정과 독립표본 t -검정을 실시하였다. 모든 통계적 유의 수준은 $p < .05$ 로 하였다.

III. 연구결과

1. 혈당과 인슐린의 변화

혈당과 인슐린에서는 고강도 운동 시 4일간 한식단과 서양식단을 섭취시킨 결과 두 처치 간 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다($F = .602$, $p = .555$, glucose; $F = .430$, $p = .655$, insulin) (Fig. 2).

2. 혈당내성검사

고강도 운동 시 4일간 한식단과 서양식단 섭취 후 혈당내성검사를 실시한 결과 두 처치 간 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다($F = .341$, $p = .796$, glucose; $F = .219$, $p = .882$, insulin) (Fig. 3).

3. 크레아틴 키나제의 활성도의 변화

혈중 크레아틴 키나제의 결과에서는 고강도 운동 시 4일간 한식단과 서양식단을 섭취시킨 결과 시간과 처치간의 교호작용이 있는 것으로 나타났다($F = 6.527$, $p = .005$). 처치 간 사후검정을 실시한 결과 D1($F = .794$, $p = .595$)과 D3($F = .512$, $p = .109$)에서는 처치 간 유의한 차이가 없는 것으로 나타났으나, D5에서는 KFT(213.3 ± 26.2 U/L)가 WFT(348.7 ± 37.6 U/L)에 비해 유의하게 낮게 나타났다($F = .410$, $p = .010$) (Fig. 4).

Fig. 2. Plasma glucose(A) and insulin(B) concentrations. Korean food treatment, KFT; western food treatment, WFT. Day 1, D1; Day 3, D3; Day 5, D5. Values are mean $\pm$ SE, $n = 8$.

Fig. 3. The change of glucose(A) and insulin(B) concentrations during OGTT. Korean food treatment, KFT; western food treatment, WFT. Values are mean $\pm$ SE, $n = 8$.

Fig. 4. Plasma creatine kinase activity. Korean food treatment, KFT; western food treatment, WFT. Day 1, D1; Day 3, D3; Day 5, D5. Values are mean $\pm$ SE, n=8. * p <0.05 vs WFT.

4. 혈중 젖산 농도의 변화

젖산의 농도 변화에서는 고강도 운동 시 4일간 한식단과 서양식단을 섭취시킨 결과 시간과 처치간의 교호작용이 있는 것으로 나타났다($F=4.056$, $p=.028$). 처치 간 사후검정을 실시한 결과 D1($F=.962$, $p=.899$)과 D3($F=.885$, $p=.111$)에서는 처치 간 유의한 차이가 없는 것으로 나타났으나 D5에서는 KFT(1.8 ± 0.2 mM)가 WFT(1.1 ± 0.1 mM)에 비해 유의하게 높게 나타났다 ($F=.190$, $p=.010$) (Fig. 5).

Fig. 5. Plasma lactate concentration. Korean food treatment, KFT; western food treatment, WFT. Day 1, D1; Day 3, D3; Day 5, D5. Values are mean $\pm$ SE, n=8. * p <0.05 vs WFT.

5. 혈중 코티졸 농도의 변화

혈중 코티졸의 결과에서는 고강도 운동 시 4일간 한식단과

서양식단을 섭취시킨 결과 시간과 처치 간의 교호작용이 있는 것으로 나타났다($F=4.056$, $p=.028$). 처치 간 사후검정을 실시한 결과 D1($F=.181$, $p=.690$)과 D3($F=.231$, $p=.087$)에서는 처치 간 유의한 차이가 없는 것으로 나타났으나 D5에서는 KFT(447.2 ± 26.0 ug/dL)가 WFT(548.4 ± 16.9 ug/dL)에 비해 유의하게 낮게 나타났다($F=.102$, $p=.006$) (Fig. 6).

Fig. 6. Plasma cortisol concentration. Korean food treatment, KFT; western food treatment, WFT. Day 1, D1; Day 3, D3; Day 5, D5. Values are mean $\pm$ SE, n=8. * p <0.05 vs WFT.

6. 혈중 IL-6 농도의 변화

혈중 IL-6의 결과에서는 고강도 운동 시 4일간 한식단과 서양식단을 섭취시킨 결과 시간과 처치간의 교호작용이 있는 것으로 나타났다($F=3.396$, $p=.048$). 처치 간 사후검정을 실시한 결과 D1($F=.841$, $p=.136$)과 D3($F=.491$, $p=.223$)에서는 처치 간 유의한 차이가 없는 것으로 나타났으나 D5에서는 KFT(4.5 ± 0.2 pg/mL)가 WFT(6.0 ± 0.5 pg/mL)에 비해 유의하게 낮게 나타났다($F=.190$, $p=.017$) (Fig. 7).

Fig. 7. Plasma Interleukin-6 concentration. Korean food treatment, KFT; western food treatment, WFT. Day 1, D1; Day 3, D3; Day 5, D5. Values are mean $\pm$ SE, n=8. * p <0.05 vs WFT.

IV. 논의

본 연구의 결과는 고강도 운동으로 근육부상이 유발되어 상승되는 혈중 creatine kinase(CK) activity와 IL-6 농도가 고탄수화물식이 형태를 취하는 KFT에서 고지방식이 형태를 취하는 WFT보다 유의하게 낮게 나타났다. 이것은 전통적인 고탄수화물 중심의 한식단이 근육부상 예방과 완화에 더 효과적이라고 할 수 있다. 또한, 신체의 염증반응 시 유의하게 증가되는 혈중 코티솔 호르몬의 농도에서도 WFT보다 KFT 섭취 시 유의하게 낮게 나타났다.

높은 강도의 운동으로 인해 근육이 부상을 입게 되면 근육내 부 효소인 CK와 LDH가 혈액 중에 유의하게 상승하는데 [34] 그 중 크레아틴 키나제(creatine kinase; CK)는 골격근 내에 많이 존재하는 효소로서 운동 시 근부상의 지표로 많이 이용하고 있다 [7,41]. 이전에 본 실험실의 신장성 운동인 내리막 달리기 [20]와 고강도 오르막 달리기에서 [21] 운동 후 24시간~48시간에 혈중 CK의 농도가 유의하게 증가한 것으로 나타났다. 또한, Brown et al [6]은 젊은 남녀를 대상으로 하지 신장성 운동을 실시한 결과 운동 후 72시간에서 혈중 CK 농도가 증가하였다고 보고하였다. 본 연구에서는 고강도 저항성 운동 후 혈중 CK의 농도가 두 처치에서 모두 유의하게 높게 나타났지만 4일간 KFT 섭취는 WFT 섭취보다 혈중 CK 농도가 유의하게 낮게 증가되었다. 그러므로 본 연구의 결과는 탄수화물 위주의 한식단이 지방 위주의 서양식단 보다 고강도 운동 시 근육부상 예방 또는 완화에 효과적이라는 것을 제안하고 있다.

본 연구에서는 고강도 저항성 운동 시 4일간의 한식단과 서양식단의 섭취시킨 결과 고탄수화물의 한식단이 혈중 IL-6을 유의하게 감소시키는 것으로 나타났다. IL-6는 면역 반응, 염증 그리고 조혈작용에 중요한 작용을 하는 사이토카인이다. 운동 후 현저히 증가되는 IL-6는 근육의 염증 반응과 관련성이 높으며 [32], 이러한 근육부상으로 인한 염증 반응은 부상이 발생한 조직을 재생시키기 위해 상한 조직을 제거하는 역할을 한다 [7]. 이러한 염증 반응은 부상 근육 조직으로 혈액과 단백질의 투과성을 증가시켜 염증에 관련된 세포들을 증가시키는데 [29], 많은 선행연구에서는 약물, 기능성 보조물,식이 섭취 등을 이용하여 운동 시 발생하는 근육부상과 염증 예방에 대한 다양한 연구가 시도되고 있다 [12,17,20,23,42]. Gliottoni et al [12]은 카페인 섭취 후 $\dot{V}O_{2max}$ 75~77% 자전거 운동을 실시한 결과 사두근의 통증이 완화되었다고 보고하였으며, Jung et al [20]은 남자 대학생을 대상으로 7일간 홍삼 섭취 후 오르막 달리를 실시한 결과 운동 후 2~3시간에서 혈중 IL-6가 감소한 것으로 나타났다. 또한 Jung et

al [21]은 하지 신장성 운동 시 3주간 녹용분말을 섭취시킨 결과 근부상 예방에 효과적이라고 보고하고 있다. 적절한 영양 섭취는 고강도 운동으로 야기된 근육부상을 회복하는데 있어 매우 중요하다. 특히, 적절한 단백질과 아미노산의 섭취는 우선 되어야 하며, 탄수화물과 인슐린도 중요한 역할을 하는 것으로 보고하고 있다 [11,13,26]. Bishop et al [3]의 연구에서는 고강도 인터벌 운동 시 운동 전, 운동 중 탄수화물을 섭취시킨 결과 혈중 IL-6의 농도가 비교집단에 비해 감소하였다고 보고하고 있다. 본 연구 결과 고강도 운동 시 4일간의 KFT 섭취는 WFT 섭취에 비해 혈중 IL-6의 유의하게 낮은 것을 알 수 있었다. 이러한 결과는 고강도 운동으로 인한 염증 반응을 고탄수화물의 KFT 섭취가 완화시키는데 효과적인 것으로 생각된다.

본 연구 결과 4일간 KFT 섭취는 WFT 섭취보다 체내에서 소화 흡수되는 동안 혈중 글루코스와 인슐린 농도가 높게 유지될 것이다. 이것은 소화 흡수 시 증가된 인슐린이 강력한 anabolic effect 작용으로 단백질 합성을 통해 근육부상 회복을 촉진시킨 결과로 인해 혈중 CK와 IL-6 농도가 유의하게 낮은 것으로 사료된다. 하지만 본 연구에서 소화 흡수기간 혈액 샘플을 통해 혈당과 인슐린을 측정하지 못한 것이 아쉬운 점이라고 사료된다. 그러나 본 연구 결과 안정 시 혈중 젖산의 농도는 KFT가 WFT보다 유의하게 높게 나타났다. 이것은 고탄수화물 식사로 인해 근육내 근육 글리코겐이 충분히 저장되었다는 것으로 생각되며, 이러한 안정 시 혈중 젖산이 높게 나타나는 현상은 일반적으로 고탄수화물 식이에서 자주 나타난다 [10,22]. 그러므로 본 연구 결과 안정 시 혈중 IL-6가 KFT에서 유의하게 낮게 나타나는 것은 근육 글리코겐의 양과 어느 정도 관련이 있다고 생각된다. 혈중 IL-6의 역할에 있어 운동 중 에너지 대사에서 IL-6의 역할에 대해 알아보면, Stouthard et al [40]은 인간을 대상으로 내분비 측면과 대사적인 측면에서 IL-6에 대한 영향을 조사하였는데, 유전적으로 조합된 IL-6의 체내 주입은 안정 시 대사량과 산소섭취량을 증가시키는 것으로 보고하고 있다. 또한, 선행 연구 결과에 의하면 조합된 IL-6의 주입은 혈중 norepinephrine, cortisol, glucagon, FFA 그리고 간에서 글루코스 생산을 증가시키는 것으로 나타났다. 반면, 다른 선행 연구에 의하면 일반적으로 운동하는 근육에서 유의하게 혈중으로 IL-6 방출이 되는데, 이때에 IL-6의 양은 근육의 글리코겐 양과 높은 관련성이 있지만 근육부상 또는 염증 반응과는 관련성이 없다고 보고하고 있다 [38,39]. Steensberg [37]은 운동 시 혈중 IL-6는 근육 글리코겐이 고갈되기 시작하면 증가한다고 보고하였으며, Helge et al [15]의 연구에 의하면 운동하는 근육으로부터 IL-6의 생산은 운동 강도, glucose uptake와 혈중 adrenaline 농도와 정적인 상관성이 있다고 보고하고 있다.

그러므로 본 연구의 KFT가 WFT보다 신체의 탄수화물 보유량을 증가시키므로 인해 IL-6의 농도를 유의하게 낮게 나타나는 데 일정 부분 역할을 할 것으로 생각된다.

고강도 운동 시 혈중 코티솔의 농도는 근육부상과 염증 반응에 의해 유의하게 증가한다고 보고하고 있으며 [31,35], 고강도 운동 시 적절한 탄수화물 섭취는 혈중 코티솔을 감소시킨다고 보고하고 있다 [1,19]. Ihalainen et al [19]은 0%, 1.5%, 7% 농도의 탄수화물을 섭취 후 $\dot{V}O_2\text{max}$ 75~77%에서 18~20 km 달리기를 실시한 결과 0%, 1.5% 탄수화물에 비해 7% 탄수화물 섭취 시 혈중 코티솔의 농도가 유의하게 감소한 것으로 보고하였고, Baty et al [1]은 젊은 남자를 대상으로 고강도 저항성 운동 전과 운동 중 6.2% 탄수화물과 1.5% 단백질이 포함된 음료를 섭취시킨 결과 비교집단에 비해 혈중 코티솔이 유의하게 감소한 것으로 보고하였다. 일반적으로 운동 시 혈중 코티솔의 증가는 근육에 에너지를 공급하는데 기여를 하며, 운동으로 인해 유발되는 근육부상에서 조직을 보호하는 기능이 있는 것으로 보고되고 있다 [35]. 본 연구 결과 한식단 집단이 서양식단 집단에 비해 혈중 코티솔 농도가 유의하게 낮게 나타났다. 이것은 4일간 고강도 운동 시 고탄수화물 식이가 고지방 식이보다 근육부상 정도가 낮았기 때문에 혈중 코티솔의 농도가 유의하게 나타난 것으로 사료된다.

V. 결론

본 연구는 신체 건강한 남자 대학생을 대상으로 고강도 저항성 운동 시 4일간의 한식단과 서양식단의 섭취가 근육부상에 미치는 효과를 알아보기 위해 혈당, 인슐린, 혈당내성검사, 젖산, 코티솔, CK, IL-6를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

4일 간의 한식단 섭취는 근육부상지표인 혈중 CK 농도와 염증지표인 IL-6 농도를 유의하게 감소시키는 것을 알 수 있었다. 이는 지방 식사패턴의 서양식단보다 전통적으로 고탄수화물 식사패턴을 유지하는 한식단이 고강도 운동 시 근육부상을 완화하거나 예방하는데 효과적인 것으로 생각된다. 그러나 본 연구는 within subjects 실험으로 기숙사 생활을 통해 연구 대상자를 관리하였으나 장기간의 실험을 통제하기는 어려워 장기간 섭취를 통한 실험을 못한 것이 아쉬운 점이라 사료된다.

그러므로 추후 본 연구의 결과를 바탕으로 피험자 수, 운동 강도, 운동 기간, 섭취 기간 등을 고려한 세부적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

References

- [1] Baty JJ, Hwang H, Ding Z, Bernard JR, Wang B et al (2007). The effect of a carbohydrate and protein supplement on resistance exercise performance, hormonal response, and muscle damage. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(2): 321-9.
- [2] Beis LY, Willkomm L, Ross R, Bekele Z, Wolde B et al (2011). Food and macronutrient intake of elite Ethiopian distance runners. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 8(7): 1550-2783.
- [3] Bishop NC, Gleeson M, Nicholas CW, & Ali A (2002). Influence of carbohydrate supplementation on plasma cytokine and neutrophil degranulation responses to high intensity intermittent exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 12: 145-56.
- [4] Bompa TO, & Jones D (1983). *Theory and methodology of training: the key to athletic performance*. Dubuque, Iowa: Kendall/Hunt.
- [5] Brancaccio P, Maffulli N, & Limongelli FM (2007). Creatine kinase monitoring in sport medicine. *British Medical Bulletin*, 81(1): 209-230.
- [6] Brown SJ, Child RB, Day SH, & Donnelly AE (1997). Indices of skeletal muscle damage and connective tissue breakdown following eccentric muscle contractions. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 75(4): 369-374.
- [7] Clarkson PM, & Hubal MJ (2002). Exercise-induced muscle damage in humans. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 81(11 Suppl): S52-69.
- [8] Conlee RK, Hammer RL, Winder WW, Bracken ML, Nelson AG, & Barnett DW (1990). Glycogen repletion and exercise endurance in rats adapted to a high fat diet. *Metabolism*, 39(3): 289-294.
- [9] Dalton NJ, & Wallance JE (1996). Strength testing protocols for college-age women. *Strength and Conditioning*, 18: 7-10.
- [10] Emhoff C-AW, Messonnier LA, Horning MA, Fattor JA, Carlson TJ, & Brooks GA (2013). Direct and indirect lactate oxidation in trained and untrained men. *Journal of Applied Physiology*, 115(6): 829-838.
- [11] Figueiredo VC, & Cameron-Smith D (2013). Is carbohydrate needed to further stimulate muscle protein synthesis/ hypertrophy following resistance exercise? *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 10(1): 42.
- [12] Gliottoni RC, Meyers JR, Arngimsson SA, Broglio SP, & Motl RW (2009). Effect of caffeine on quadriceps muscle pain during acute cycling exercise in low versus high caffeine consumers. *International Journal of Sport Nutrition*, 19(2): 150.
- [13] Glynn EL, Fry CS, Drummond MJ, Dreyer HC, Dhanani S et al (2010). Muscle protein breakdown has a minor role in the protein anabolic response to essential amino acid and carbohydrate intake following resistance exercise. *American Journal of Physiology - Regulatory, Integrative and Comparative Physiology*,

- 299(2): R533-540.
- [14] Helge JW, Ayre K, Chaunchaiyakul S, Hulbert AJ, Kiens B et al (1998). Endurance in high-fat-fed rats: effects of carbohydrate content and fatty acid profile. *Journal of Applied Physiology*, 85(4): 1342-1348.
- [15] Helge JW, Stallknecht B, Pedersen BK, Galbo H, Kiens B et al (2003). The effect of graded exercise on IL-6 release and glucose uptake in human skeletal muscle. *The Journal of Physiology*, 546(Pt1): 299-305.
- [16] Howatson G, & Van Someren KA (2008). The prevention and treatment of exercise-induced muscle damage. *Sports Medicine*, 38(6): 483-503.
- [17] Huh MD (2004). Effects of dexamethasone supplementations on muscle damage recovery in rats. *The Korean Journal of Physical Education*, 43(2): 537-547.
- [18] Hultman E, & Bergström M (1967). Muscle glycogen synthesis in relation to diet studied in normal subjects. *Acta medica Scandinavica*, 182(1): 109-117.
- [19] Ihalaenen JK, Vuorimaa T, Puurtinen R, Hamalainen, & Mero AA (2014). Effects of Carbohydrate Ingestion on Acute Leukocyte, Cortisol, and Interleukin-6 Response in High-Intensity Long-Distance Running. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(10): 2786-92.
- [20] Jung HL, Kim BS, Lee CD, Na HJ, Kim SS, Kim YC et al (2010). Effects of Red Ginseng Intake on Muscle Injury Due to Eccentric Exercise. *Journal of Food Science and Nutrition*, 15(2): 88-91.
- [21] Jung HL, Kwak HE, Kim SS, Kim YC, Lee CD et al (2011). Effects of Panax ginseng supplementation on muscle damage and inflammation after uphill treadmill running in humans. *The American journal of Chinese Medicine*, 39(03): 441-450.
- [22] Jung SL, Park SW, Kim SH, Kang HY (2004). Effects of various glycemic diets on endurance exercise performance. *Korean Journal of Physical Education*, 43(4): 449-60.
- [23] Jung YG, Choi HM, Kim JK, & Nho HS (2009). Effect of 3 Weeks Intake of Cervus Elaphus Powder on Prevention and Recovery of Muscle Damage Induced by Eccentric Exercise. *Journal of the Korean Society Living Environment*, 16(3): 221-228.
- [24] Karlsson J, Nordesjö LO, & Saltin B (1974). Muscle glycogen utilization during exercise after physical training. *Acta Physiologica Scandinavica*, 90(1): 210-217.
- [25] Kim YS, Choi HM, & Kim HY (2006). A Study on Nutrient Intake Status and Dietary Behavior of Elite Athletes. *Journal of Exercise Nutrition & Biochemistry*, 10(3): 305-313.
- [26] Kimball SR (2014). Integration of signals generated by nutrients, hormones, and exercise in skeletal muscle. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 99(1): 237S-242S.
- [27] Lavender AP, & Nosaka K (2008). Changes in markers of muscle damage of middle-aged and young men following eccentric exercise of the elbow flexors. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 11(2): 124-131.
- [28] Levenhagen DK, Gresham JD, Carlson MG, Maron DJ, Borel MJ, & Flakoll PJ (2001). Postexercise nutrient intake timing in humans is critical to recovery of leg glucose and protein homeostasis. *American Journal of Physiology - Endocrinology and Metabolism*, 280(6): E982-E993.
- [29] MacIntyre DL, Reid WD, & McKenzie DC (1995). Delayed muscle soreness. The inflammatory response to muscle injury and its clinical implications. *Sports Medicine*, 20(1): 24-40.
- [30] Nakamura M, Brown J, & Miller WC (1998). Glycogen depletion patterns in trained rats adapted to a high-fat or high-carbohydrate diet. *International Journal of Sports Medicine*, 19(6): 419-424.
- [31] Nehlsen-Cannarella SL, Fagoaga OR, Nieman DC, Henson DA, Butterworth DE, Schmitt RL et al (1997). Carbohydrate and the cytokine response to 2.5 h of running. *Journal of Applied Physiology*, 82(5): 1662-1667.
- [32] Nishimoto N (2006). [IL-6 targeting therapy for inflammatory immune diseases]. *NihonNaika Gakkai Zasshi*, 95(9): 1795-1800.
- [33] Pedersen M, Bruunsgaard H, Weis N, Hendel HW, Andreassen BU et al (2003). Circulating levels of TNF- α and IL-6-relation to truncal fat mass and muscle mass in healthy elderly individuals and in patients with type-2 diabetes. *Mechanisms of Ageing and Development*, 124(4): 495-502.
- [34] Rodenburg JB, de Boer RW, Schiereck P, van Echteld CJ, & Bar PR (1994). Changes in phosphorus compounds and water content in skeletal muscle due to eccentric exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 68(3): 205-213.
- [35] Sapolsky RM, Romero LM, & Munck AU (2000). How do glucocorticoids influence stress responses? Integrating permissive, suppressive, stimulatory, and preparative actions. *Endocrine Reviews*, 21(1): 55-89.
- [36] Saunders MJ, Kane MD, & Todd MK (2004). Effects of a carbohydrate-protein beverage on cycling endurance and muscle damage. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(7): 1233-8.
- [37] Steensberg A (2003). The role of IL-6 in exercise-induced immune changes and metabolism. *Exercise Immunology Review*, 9: 40-47.
- [38] Steensberg A, Febbraio MA, Osada T, Schjerling P, van Hall G et al (2001). Interleukin-6 production in contracting human skeletal muscle is influenced by pre-exercise muscle glycogen content. *The Journal of Physiology*, 537(Pt2): 633-639.
- [39] Steensberg A, van Hall G, Osada T, Sacchetti M, Saltin B et al (2000). Production of interleukin-6 in contracting human skeletal muscles can account for the exercise-induced increase in plasma interleukin-6. *The Journal of Physiology*, 529(Pt1): 237-242.

-
- [40] Stouthard JM, Romijn JA, Van der Poll T, Endert E, Klein S et al (1995). Endocrinologic and metabolic effects of interleukin-6 in humans. *The American Journal of Physiology*, 268(5Pt1): E813-819.
- [41] Volfinger L, Lassourd V, Michaux JM, Braun JP, & Toutain PL (1994). Kinetic evaluation of muscle damage during exercise by calculation of amount of creatine kinase released. *The American Journal of Physiology*, 266(2Pt2): R434-441.
- [42] Wagenmakers AJ, Coakley JH, & Edwards RH (1990). Metabolism of branched-chain amino acids and ammonia during exercise: clues from McArdle's disease. *International Journal of Sports Medicine*, (11 Suppl 2): S101-113.

K C I