韓國營養學會誌 36(7) : 711~719, 2003

타우린, 카르니틴 또는 글루타민 섭취가 운동선수의 지구력운동 수행능력 및 혈중 피로요소에 미치는 영향*

이해미 · 백일영* · 박태선§

연세대학교 식품영양학과, 연세대학교 체육교육학과*

Effects of Dietary Supplementation of Taurine, Carnitine or Glutamine on Endurance Exercise Performance and Fatigue Parameters in Athletes*

Lee, Hae Mi · Paik, Il Young* · Park, Tae Sun§

Department of Food and Nutrition, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea
Department of Physical Education, Yonsei University, Seoul 120-749, Korea*

ABSTRACT

The effects of taurine, carnitine or glutamine supplementation on endurance exercise performance along with related fatigue factors were evaluated in male college students in the Department of Physical Education, who's maximal oxygen consumption rates (VO_2max) were equivalent to those of endurance athletes. Twenty four subjects were randomly divided into 4 groups (n = 6), and given placebo, taurine (4 g/day), carnitine (4 g/day), or glutamine (4 g/day) tablets for 2 weeks. Subjects could run 6.9 min or 9.0 min longer until exhausted on a treadmill at the intensity of 75% VO_2max following taurine or carnitine supplementation for 2 weeks, respectively, compared to the value measured prior to each supplementation. Glutamine or placebo supplementation did not improve the endurance exercise performance based on the running time until exhausted on a treadmill. Serum lactate concentrations measured 1 hr after the initiation of the endurance exercise, as well as at all-out state tended to be decreased by taurine, carnitine, or glutamine supplementation, and were significantly lowered (43% decrease) by carnitine supplementation ($p < 0.05$). Taurine supplementation significantly reduced the serum inorganic phosphorus concentration measured at all-out state (14% decrease, $p < 0.05$), while carnitine supplementation significantly lowered the resting state serum inorganic phosphorus level (20% decrease, $p < 0.05$). Taurine (32% reduction) or carnitine (23% reduction) supplementation significantly decreased serum ammonia concentration measured at all-out state ($p < 0.05$). From these results, 4 g/day of taurine or carnitine supplementation appears to improve the endurance exercise performance and related human fatigue factors. (*Korean J Nutrition* 36(7) : 711~719, 2003)

KEY WORDS : taurine, carnitine, glutamine, endurance exercise performance, human fatigue parameters.

서 론

잠재력있는 운동선수의 육성은 국가경쟁력 향상과 밀접한 관계가 있고, 국제적 수준의 경기력을 달성하기 위하여는 운동선수들의 훈련효과를 극대화할 수 있는 한국인의 체질에 맞는 영양관리가 시급하다. 운동수행능력 향상을 위해 이용되는 다양한 영양보조제는 도핑테스트에 저촉되지 않고 부작용없이 선수들의 경기력 및 체력 향상에 도움을 줄 수 있다는 점에서 그 중요성이 강조되나, 한국 운동선수를 대상으로 한 이 분야의 연구는 미약한 실정이다.

타우린은 담즙산의 포합기능이외에도 망막의 광수용체 활성, 심장근육의 수축, 생식 및 성장발달, 두뇌발달 및 신경전달, 콜레스테롤 및 중성지방 저하효과, 항산화활성 등을 나타냄이 지난 30여년간 새로이 보고되고 있다.[1] Takekura 등[2]은 지구력 운동을 실시하는 흰쥐를 대상으로 한 실험에서 타우린보강이 glycolysis 대사에 관련된 효소활성및 TCA 회로 활성을 증가시키고, 운동 후 근육의 글리코겐 재충전에 긍정적인 영향을 미쳤음을 보고한 바 있다.

접수일 : 2003년 3월 14일
채택일 : 2003년 7월 21일
*This study was supported by the research fund of Posyko Corporation.
§To whom correspondence should be addressed.

© 2003 The Korean Nutrition Society

육류 및 우유에 다량 함유되어 있는 카르니틴은 간 및 신장에서 lysine과 methionine으로부터 합성되어 진다. 정상인의 경우 충분한 양의 카르니틴이 체내에서 합성되나, 생합성능력이 미성숙한 신생아, 그리고 운동 시와 같이 에너지 요구량이 증가하는 상황에서는 카르니틴의 체내 요구도가 증진된다. 지구력운동 수행능력을 향상시키기 위하여는 근육내 글리코겐 저장량을 증가시키는 것[3]외에 체지방의 산화가 효율적으로 이루어져야 한다.[4] 카르니틴은 장사슬지방산을 미토콘드리아 내막으로 이동시켜 지방산의 β-산화를 촉진시키고,[5] acetyl CoA/CoA의 비율을 저하시킴으로써 pyruvate dehydrogenase의 활성을 높이고 포도당의 산화를 증가시키는 것으로 알려져 있다.[6] 운동 중인 근육에서 지방산의 산화를 촉진시키기 위해서는 간 및 신장에서 합성된 카르니틴만으로는 부족하고, 외인성 카르니틴이 공급되어져야 할 필요성이 제기되었다.[7] 아울러 장시간의 지속적인 운동은 근육의 카르니틴 함량을 감소시킨다는 연구결과[8,9]가 발표된 바 있으나, 카르니틴의 보충섭취가 지구력운동 수행능력에 미치는 효과에 관하여는 상반된 결과가 제시되고 있다.[10,11]

운동수행 중 체내 글리코겐이 고갈되면, 아미노산이 포도당 전구체로 동원되며 TCA 회로를 통한 ATP 생성에 중요한 역할을 한다. 운동 중인 근육에서 아미노산은 이와 같이 긍정적인 효과를 나타내기도 하지만, 말초 또는 중추성 피로를 유발하는 암모니아를 생성하므로서 부정적인 영향을 미칠 수 있다. 운동 시 근육피로의 원인으로 작용하는 젖산 및 암모니아 농도를 감소시키기 위해서는 아미노기전이반응에 기질로 이용되는 glutamate의 공급이 필수적이나, glutamate은 세포막을 통한 이동이 상대적으로 제한되어 있고 신경독성을 유발할 수 있는 문제점이 있다. 인체의 근육과 혈장에서 발견되는 아미노산 중 양적으로 가장 풍부한 glutamine은 소장에서 쉽게 흡수되어 혈액으로 이동된 후, 손쉽게 포도당신생의 기질이 되는 alanine과 glutamate을 형성하게 된다. Glutamine 결핍은 면역능력의 저하를 유발하고, 같은 맥락에서 과운동 스트레스 상황에서 나타나는 면역능력 저하와 glutamine 농도 저하현상과의 상관성이 최근 논의된 바 있다.[12,13]

본 연구팀은 선행연구에서 유산소성 운동훈련을 실시하는 흰쥐를 대상으로 타우린, 카르니틴 및 가시오갈피의 병행섭취가 지구력운동 수행능력에 미치는 영향을 평가한 바 있다. 그동안 인체를 대상으로 타우린 또는 글루타민 보충이 지구력운동 수행능력에 미치는 영향을 평가한 연구는 국내외적으로 보고된 바가 없었고, 따라서 본 논문에서는 운동선수를 대상으로 타우린, 카르니틴 또는 글루타민의 단독 투여가 지구력운동 수행능력에 미치는 효과, 그리고 혈중 피로요소로 알려진 물질들의 농도에 미치는 영향을 연구하므로서 경기력 향상을 위한 ergogenic agents로서 이들 기능성식품소재의 이용 가능성을 타진하고자 하였다.

연구방법

1. 연구 대상자 선정 및 기초사항 측정

본 연구는 체육을 전공하면서 주당 10시간 이상의 정기적인 운동에 참가하는 남자대학생 중 본 실험에 참여할 의사를 밝힌 24명을 대상으로 하였다. 모든 피험자들을 대상으로 전기저항법에 입각한 Body Composition Analyzer (Model #310, Biodynamics, USA)를 이용하여 체지방을 측정하였으며, 키와 체중을 측정하였다. Bruce 프로토콜[14]에 준해 트레드밀 (Medel #Q65, Quinton 사, USA) 상에서 운동을 수행시키면서 CPX System (MedGraphics 사, USA)을 이용하여 피험자의 최대산소섭취량 (VO_2max)을 측정하였으며, 이를 바탕으로 최대 산소섭취량의 75% 값을 산정하여 각 피험자들의 운동강도로 정하였다. 피험자의 신체적 특성은 Table 1과 같다.

기초사항 측정이 끝난 후 피험자를 무작위로 네군 (n = 6)으로 나누어, 각기 위약군,타우린군, 카르니틴군, 그리고 글루타민군으로 배정하였다. 맹검법에 의해 정제형태의 위약 (4 g/day), 타우린 [4 g/day, (주)동아제약연구소 제공, 순도 98% 이상], 카르니틴 (4 g/day, Daily Manufacturing, Inc., Rockwell, NC, U.S.A. 제공, 순도 98%) 또는 글루타민 (4 g/day, Daily Manufacturing, Inc., Rockwell, NC U.S.A. 제공, 순도 99%)을 총 2주동안 하루 세번 물 (180 ml)과 함께 식후에 복용하도록 하였다.

Table 1. Anthropometric characteristics and maximal oxygen consumption rate of the subjects

Group	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	Body fat content (%)	VO_2 max (ml/kg/min)
Placebo	21.2 ± 0.4	172.9 ± 2.6	65.9 ± 3.5	13.4 ± 0.9	59.2 ± 2.9
Taurine	20.2 ± 0.6	173.1 ± 3.5	67.1 ± 1.7	13.4 ± 0.5	56.3 ± 2.5
Carnitine	21.1 ± 0.5	169.5 ± 3.9	65.8 ± 1.9	12.9 ± 0.7	57.4 ± 3.0
Glutamine	20.6 ± 0.7	170.5 ± 2.9	70.4 ± 2.6	13.9 ± 1.7	56.9 ± 2.1

Values are mean ± SEM of 6 subjects

2. 지구력운동 수행능력 테스트 및 혈액 채취

지구력운동 수행능력 테스트는 앞에서 제시된 보충제 또는 위약 섭취를 시작하기 전과 2주간 보충제 또는 위약 섭취를 실시한 후, 두차례에 걸쳐 실시되었다. 이른 아침 약 12시간의 공복상태로 피험자가 실험실에 도착하면 20분동안 휴식을 취하게 한 후, 가스분석을 위한 마우스피스와 헤드기어를 장착하고 의자에 앉아 안정 시의 상태가 되기를 기다리도록 하였다. 안정상태가 확인되면 채혈을 실시하고, 운동부하실험에 들어가기 전 트레드밀에서 간단한 걷기로 준비운동을 1~2분 정도 실시케 하였다. Bruce 프로토콜[14]로 운동을 시작하면서 미리 산정해 놓은 VO_2max의 75% 수준에 도달하면, 트레드밀의 경사와 속도를 조절하여 운동강도 (75% VO_2max)를 유지하면서 탈진 시 (all-out)까지 운동을 지속하도록 하였다. 운동이 진행되는 동안 피험자가 스스로 자각하는 피로의 정도 (ratings of perceived exertion, RPE)를 Borg의 15 자각도지수[15]를 이용하여 매 10분마다 측정하였다. 안정 시, 운동부하실험 종료 시, 그리고 운동을 종료하고 30분간 휴식을 취한 상태에서 피험자의 직장에 온도계 (DUOTEMP TM101, Fister & Paykel, USA)의 probe를 12~15 cm 깊이로 삽입하여 직장온도를 측정하였다. 아울러 안정 시, 운동시작 1시간 후, 운동부하실험 종료 시 및 안정 30분 후, 총 4회에 걸쳐 전완정맥으로부터 각 3 ml 씩 채혈을 하였으며, 채취된 혈액을 곧바로 1,000 × g에서 15분동안 원심분리하여 혈청을 분리하였다.

3. 생화학적 분석

혈청 젖산농도는 상업용 분석 kit (#735, Sigma, St Louis, MO, USA)를 사용하여 측정하였으며, lactate reagent 1 ml에 혈청 또는 젖산표준용액 10 μl을 넣고 반응시킨 후 10분이내에 540 nm에서 흡광도를 측정하였다. 혈청 무기인산염 농도는 분석 kit (#MF1701, BCS Co., Korea)를 이용하여 650 nm에서 흡광도를 측정하여 구하였고, 암모니아 (#277-14401, Wako, Japan)와 요소농도는 (#E31542, Bayer, New York, USA) 전자동 혈액분석기 (Express Plus, Chiron Diagnostics Co., USA)를 이용하여 측정하였다.

4. 통계 처리

모든 분석수치는 SPSS/PC 10.0 프로그램을 이용하여 mean ± SEM으로 표시하였으며, 보충제 복용 전과 후에 측정된 평균값의 차이에 대한 유의성은 paired Student's t-test를 이용하여 $p < 0.05$ 수준에서 검증하였다.

결 과

1. 운동수행 시간 및 자각적 피로도

VO_2max의 75% 강도에서 탈진 시까지의 운동지속시간을 측정한 결과가 Table 2에 제시하였다. 탈진 시까지의 운동지속시간은 타우린복용군의 경우 85.2 ± 4.3분으로 복용 전에 비해 6.9분 증가하였으며, 카르니틴복용군의 경우

Table 2. Effect of taurine, carnitine, or glutamine supplementation on maximal capacity of endurance excercise

Group	Control	Supplemented
	(Min)	
Placebo	81.5 ± 4.9	83.3 ± 9.5
Taurine	78.3 ± 7.2	85.2 ± 4.3
Carnitine	83.5 ± 13.8	92.5 ± 21.1
Glutamine	80.2 ± 6.3	77.5 ± 9.6

Values are mean ± SEM of 6 subjects

Table 3. Effect of taurine, carnitine, or glutamine supplementation on perceived exertion ratings during exhaustive endurance excercise

Min	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95
Placebo										
C	9.5 ± 0.9	10.2 ± 1.2	11.9 ± 1.3	12.9 ± 1.1	13.7 ± 1.0	13.9 ± 1.2	14.2 ± 1.0	14.5 ± 0.8		
S	9.5 ± 1.4	9.9 ± 0.9	12.1 ± 1.1	12.5 ± 0.9	13.1 ± 1.1	14.3 ± 1.3	14.0 ± 0.8	15.0 ± 0.6		
Taurine										
C	10.6 ± 1.7	12.0 ± 1.4	12.6 ± 1.1	13.0 ± 0.7	13.8 ± 1.0	14.0 ± 1.0	14.8 ± 1.5	15.3 ± 0.6		
S	9.6 ± 1.3	11.4 ± 1.5	12.0 ± 1.0	12.2 ± 1.1	12.8 ± 1.5	13.2 ± 1.5	13.6 ± 0.9	14.8 ± 1.5	15.3 ± 0.6	
Carnitine										
C	10.2 ± 1.1	12.4 ± 0.9	12.6 ± 0.9	14.0 ± 1.0	14.0 ± 1.0	14.4 ± 0.1	14.8 ± 1.1	14.8 ± 1.3	15.5 ± 0.7	16.0 ± 1.4
S	8.8 ± 1.1	10.8 ± 0.4	11.6 ± 0.9	12.2 ± 1.1	13.0 ± 0.7	13.0 ± 0.7	1.32 ± 0.4	13.5 ± 0.4	14.7 ± 1.5	16.0 ± 1.0
Glutamine										
C	9.8 ± 1.1	11.6 ± 1.3	12.0 ± 1.0	13.2 ± 1.1	13.8 ± 1.1	14.0 ± 1.0	14.2 ± 1.1	14.8 ± 1.1		
S	8.8 ± 1.8	11.0 ± 2.3	12.2 ± 2.3	13.2 ± 1.1	14.2 ± 1.6	14.6 ± 1.7	14.8 ± 1.5			

Values are mean ± SEM of 6 subjects
C: control, S: supplemented

92.5 ± 21.1분으로 복용 전에 비해 9.0분 증가하였다 (Table 2). 한편, 글루타민복용군에서는 복용 전에 비해 운동지속시간이 오히려 2.7분 단축된 것으로 나타났으며, 위약군의 경우에는 운동지속시간이 1.8분 증가하였다. 영양제 또는 위약 복용에 따른 운동지속시간 평균값의 차이에 대한 통계적 유의성을 평가한 결과, 표준편차가 비교적 큰 관계로 어느 군에서도 유의성이 관찰되지 않았다. 하지만, 다른 일반적 생물학적 지표와는 달리 몇분의 일초 차이에서 순위가 바뀌는 운동선수의 경기력 향상 측면에서 볼 때, 지구력운동 수행능력 향상 효과를 판정하는데 있어서 통계적 유의성이 의미하는 비중은 상대적으로 적을 것으로 사료된다.

타우린, 카르니틴 또는 글루타민 복용이 VO_2max의 75% 강도에서 지구력운동을 수행하면서 피험자가 느끼는 자각적 피로도에 미치는 영향을 평가한 결과가 Table 3에 제시되어 있다. 타우린복용군의 경우 통계적 유의성은 나타나지 않았으나 복용 전에 비해 자각적 피로도가 전반적으로 낮게 나타나는 경향을 보였으며, 카르니틴복용군에도 유사한 결과가 초래되었다. 한편 글루타민복용군 또는 위약군에서는 자각적 피로도가 복용 전과 같거나 약간씩 증가하는 현상을 보여, 운동수행시간 결과와 어느 정도 일치하고 있다.

Table 4. Effect of taurine, carnitine or glutamine supplementation on rectal temperature of subjects undergoing exhaustive endurance exercise

	Rest	All-out	Recovery
		(℃)	
Placebo			
C	37.1 ± 0.2	39.1 ± 0.3	37.8 ± 0.3
S	37.2 ± 0.1	39.0 ± 0.2	37.9 ± 0.4
Taurine			
C	37.1 ± 0.2	39.2 ± 0.4	37.9 ± 0.5
S	37.2 ± 0.1	39.0 ± 0.2	37.8 ± 0.2
Carnitine			
C	37.2 ± 0.1	39.0 ± 0.5	37.7 ± 0.2
S	37.2 ± 0.2	39.2 ± 0.5	37.8 ± 0.4
Glutamine			
C	37.2 ± 0.2	39.2 ± 0.4	38.0 ± 0.4
S	37.2 ± 0.3	39.0 ± 0.3	37.6 ± 0.3

Values are mean ± SEM of 6 subjects
C: control, S: supplemented

2. 직장온도

타우린, 카르니틴 및 글루타민 복용이 운동수행에 따른 직장온도 변화에 미치는 효과가 Table 4에 제시되어 있다. 지속적인 운동수행을 위해 에너지를 공급하는 과정에서 열이 발생하여 체온상승 및 탈수현상이 유발되며, 따라서 직장온도의 상승은 장기간의 운동수행 시 피로상태의 진전을 파악하는 지표로 이용된다.[16] 운동부하실험을 시작하기 전 안정상태에서 측정된 직장온도는 37.1~37.2℃의 범위를 보였고, 탈진 시까지 운동을 수행한 후 측정된 직장온도는 39.0~39.2℃로 안정 시보다 약 1.8~2.0℃ 증가하였으며, 회복 30분 후에는 다시 정상체온에 가깝게 감소하였다. 한편, 탈진 시까지 지구력운동을 수행한 직후 측정된 직장온도는 타우린, 카르니틴 또는 글루타민 복용에 의해 영향을 받지 않았다.

3. 혈중 피로요소 농도

타우린, 카르니틴, 또는 글루타민 복용이 안정 시, 그리고 지구력운동 수행 시의 혈중 젖산농도에 미치는 영향이 Fig. 1에 나타나 있다. 복용제를 섭취하지 않은 대조상태에서 혈중 젖산농도는 안정 시 1.3~1.4 mmole/l의 범위를 나타냈으나, 지구력운동 수행 1시간 후에는 2.5~2.7 mmole/l로 안정 시보다 약 79~93% 증가하였고, 탈진상태에서는 안정 시보다 약 93~100% 증가하였다. 운동 종료 30분 후에 측정된 혈중 젖산농도는 1.5~1.6 mmole/l로 나타나, 안

Table 5. Effect of taurine, carnitine or glutamine supplementation on plasma ammonia and urea concentrations of subjects undergoing exhastive endurance exercise

	Placebo		Taurine		Carnitine		Glutamine	
	C	S	C	S	C	S	C	S
				(μmol/L)				
Ammonia								
Rest	31.7 ± 2.5	28.5 ± 3.1	40.0 ± 8.2	38.2 ± 2.5	36.5 ± 4.0	41.1 ± 5.7	35.5 ± 2.9	35.8 ± 3.9
All-out	138 ± 16.1	113 ± 15.3	151 ± 16.1	103 ± 9.8*	142 ± 20.1	110 ± 9.9*	126 ± 15.1	137 ± 15.7
Urea					(mg/dL)			
Rest	17.2 ± 2.9	18.5 ± 3.1	15.1 ± 2.3	16.5 ± 4.5	18.6 ± 3.2	18.2 ± 2.8	16.9 ± 2.5	21.5 ± 3.0
All-out	20.5 ± 3.5	21.7 ± 3.1	18.0 ± 3.1	25.7 ± 4.6*	22.1 ± 3.0	21.4 ± 2.5	16.5 ± 2.9	24.3 ± 3.5*

Values are mean ± SEM of 6 subjects
C: control, S: supplemented
*: Significantly different by Student's t-test from the control value at $p < 0.05$

정 시와 거의 비슷한 수준으로 회복되었음을 알 수 있다. 한편, 타우린, 카르니틴 또는 글루타민 복용이 혈중 젖산농도에 미치는 영향을 평가한 결과, 안정 시 및 운동종료 30분 후에 측정된 젖산농도에는 영향을 미치지 않았으나, 운동수행 1시간 후, 그리고 탈진상태에서 채취된 혈액의 젖산농도는 복용 전에 비해 감소하는 경향을 보였으며, 특히 카르니틴 복용은 복용 전에 비해 탈진상태의 혈중 젖산농도를 43% 유의하게 감소시켰다 ($p < 0.05$).

운동수행, 그리고 타우린, 카르니틴, 또는 글루타민 섭취에 따른 혈 중 무기인산염 농도의 변화가 Fig. 2에 제시되어 있다. 복용제를 섭취하지 않은 대조상태에서 운동수행에 따른 혈 중 무기인산염농도의 변화를 살펴보면, 모든 군에서 일률적인 패턴을 보여주고 있다. 즉, 혈 중 무기인산염 농도는 안정 시 3.7~4.0 mg/dl이었고, 지구력운동을 1시간 지속한 후에는 3.9~4.5 mg/dl로 5.4~22% 증가하였다. 탈진상태의 경우 무기인산염 농도가 4.5~4.9 mg/dl로 안정 시보다 15~32% 증가하였다가, 회복 30분 후에는 다시 안정 시 수준에 근접하게 감소하는 경향을 보였다. 타우린, 카르니틴 또는 글루타민을 복용시킨 결과 안정 시, 운동수행 1시간 후, 탈진 시 및 회복기 혈청 무기인산염 농도가 복용 전에 비해 더 낮은 경향을 보였다. 특히 타우린 복용군의 경우 탈진상태의 혈청 무기인산염 농도가 복용 전에 비해 14% 유의하게 감소하였고 ($p < 0.05$), 카르니틴 복용군의 경우 안정 시 혈청 무기인산염 농도가 복용 전에 비해 20% 유의하게 감소하였다 ($p < 0.05$).

운동수행 및 타우린, 카르니틴, 또는 글루타민 섭취에 따른 혈장 암모니아 및 요소 농도의 변화가 Table 5에 나타나 있다. 복용제를 섭취하지 않은 대조상태에서 안정 시 혈청 암모니아농도는 31.7~40.0 μmol/l로 나타났으나, 탈진상태에서는 126~151 μmol/l로 안정 시에 비해 2.5~3.4배 증가하였다. 타우린복용군 또는 카르니틴복용군의 경우 탈진상태에서 측정된 혈청 암모니아농도가 복용 전에 비해 각기 32% 및 23% 유의적으로 감소하였으나 ($p < 0.05$), 글루타민복용군의 경우에는 복용 전에 비해 혈청 암모니아 농도가 오히려 약간 증가하는 경향을 보였다. 대조상태에서 혈중 요소농도는 운동수행에 의해 다소 증가하는 경향을 보였으나, 그 증가폭이 암모니아 농도의 변화에 비해 훨씬 미미하였다. 타우린복용군 또는 글루타민복용군의 경우 탈진상태에서 측정된 혈청 요소농도가 복용 전에 비해 유의하게 증가하였으나 ($p < 0.05$), 글루타민 또는 위약군의 경우는 복용 전과 비교시 유의적인 차이가 관찰되지 않았다.

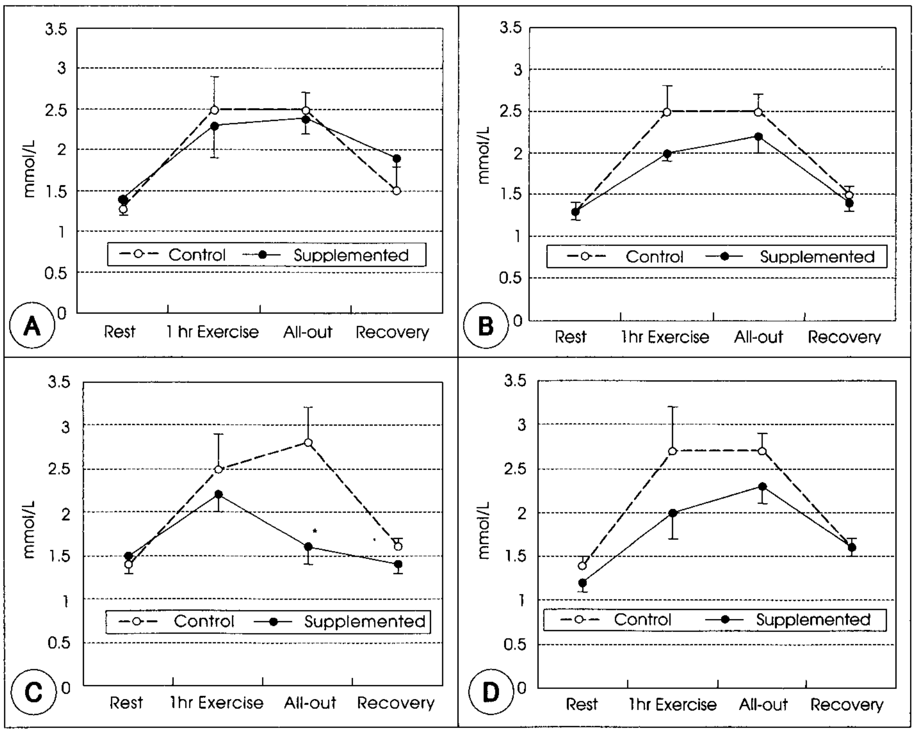

Fig. 1. Effect of taurine, carnitine or glutamine supplementation on serum lactate concentration of subjects undergoing exhaustive endurance exercise Values are mean ± SEM of 6 subjects. *: Significantly different by paired Student's t-test from the control value at $p < 0.05$. A: placebo, B: taurine-supplemented, C: carnitine-supplemented, D: glutamine-supplemented.

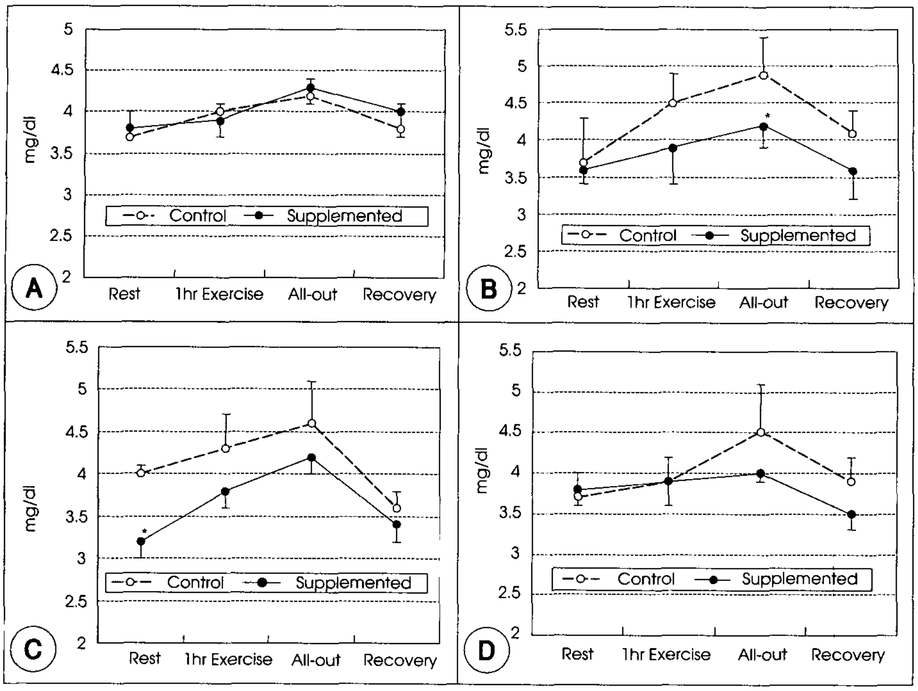

Fig. 2. Effect of taurine, carnitine or glutamine supplementation on plasma inorganic phosphorus concentration of subjects undergoing exhaustive endurance exercise Values are mean ± SEM of 6 subjects, *: Significantly different by paired Student's t-test from the control value at $p < 0.05$. A: placebo, B: taurine-supplemented, C: carnitine-supplemented, D: glutamine-supplemented.

고 찰

장기간 운동을 지속하는 상황에서 운동능력의 저하를 초래하는 생리적 피로요소로 젖산, 암모니아, 무기인산염 등이 제시된 바 있다.[17] 무산소성 운동을 수행하는 근육에 당질대사 산물인 젖산이 축적되면 신체가 산성화되고, 그 결과 glycogen 대사에 관여하는 phosphorylase의 활성이 억제되어 무산소성 운동을 위한 에너지급원인 포도당의 신생 또한 제한된다.[18] 세포내에 무기인산염이 축적되는 것은 myosin과 actin의 친화력을 높이는 단계에서 ATP가 가수분해되어 방출되는 현상으로 볼 수 있으며, 이는 곧 에너지 수준의 저하를 의미한다. 과도한 무기인산염의 축적은 근 수축을 위한 cross-bridge의 비율 및 칼슘에 대한 민감성을 저하시키고, 결과적으로 근수축에 의한 힘발생의 감소를 초래한다.[19,20]

고강도 운동을 수행하는 골격근의 경우 주로 purine nucleotide cycle (PNC)을 경유하여 암모니아가 발생되는 반면, 최대하부하의 지구력운동을 수행하는 근육에서 생성되는 암모니아는 주로 단백질의 이화작용에 의한 것으로 알려져 있다.[21] 이러한 과정을 통해 생성된 암모니아는 독성을 지니며, 운동 시 피로를 유발하는 요인이 된다. 암모니아가 운동수행 중의 피로요소로 작용하는 기전에 관한 설명은 중추적 작용과 말초적 작용으로 구분되어 진다. 중추적 작용기전은 운동 시 혈액에 증가된 암모니아가 혼수상태, 경련 및 운동실조 등을 일으키며,[22] 중추신경계 세포내에서 pH, 전해질농도, 그리고 glutamate, glutamine GABA와 같은 neurotransmitter 수준의 변화를 유발하므로써 운동기능의 장애와 피로를 유발한다는 이론이다.[23] 한편, 암모니아의 말초적 피로유발 작용기전에 대한 설명으로는 근육세포내 축적된 암모니아가 근육의 통증감지와 관련있는 구심성 신경을 자극하므로써 피로를 유발한다는 이론이 제기되고 있다.[21] 그 외에도 세포내에 축적된 암모늄이온이 근육세포막에서 전기적 자극을 변화시키므로써 근육의 장력발생을 저하시키고, TCA 회로 및 당신생작용을 저해하므로서 근육피로를 유발하는 것으로 설명되고 있다.[21] 본 연구에서 사용된 VO_2max의 75% 실험조건은 운동강도 면에서 볼 때 고강도이면서도 지속적인 형태의 운동이기 때문에 PNC와 단백질 이화작용에 의한 암모니아 생성의 영향을 모두 받았을 것으로 사료된다. 따라서, 고강도의 운동시 AMP가 IMP로 전환되는 암모니아 생성경로에서 타우린 또는 카르니틴은 creatine phosphate의 재합성을 증가시키므로서 ADP와 AMP의 축적을 감소시키고, 결과적으로 PNC를 통한 암모니아의 생성을 저하시켰을 가능성을 생각해 볼 수 있다. 한편, 카르니틴 및 타우린이 지방산화 및 지방조직의 lipolysis를 증가시킨다는 연구결과[5,25]를 감

안할 때, 운동에너지를 위한 지방에너지의 비율 증가에 따른 단백질에너지 비율의 상대적 감소 또한 탈진 시의 혈중 암모니아 농도가 감소한 현상에 부분적으로 기여했을 것으로 추측된다.

인체를 대상으로 타우린이 지구력운동 수행능력 향상에 미치는 효과를 실험한 연구결과는 보고된 바가 없어 본 연구의 결과와 비교할 수 없음이 아쉽다. 하지만, Watanabe 등[26]은 저당질, 고단백 및 고지방식사를 섭취하는 성인을 대상으로 타우린 (6 g/day) 또는 placebo를 2주간 투여한 후 장거리달리기를 실시한 결과, 타우린투여군의 경우 지구력 운동에 따른 대사계의 변화가 완화되었음을 관찰하였다. 아울러 흰쥐를 대상으로 한 실험에서 타우린이 지방조직의 lipolysis 활성을 증가시켰으며,[25] 근육에서의 글리코겐 로딩효과를 나타냈음을 밝힌 연구,[2] 그리고 개구리의 골격근에서 타우린이 glycolysis에 관여하는 효소 및 산화효소들의 활성을 증가[27]하였음을 밝힌 선행연구 결과들은 본 연구에서 타우린이 지구력운동 수행능력을 향상시킨 결과를 지지하는 것으로 생각된다.

본 연구에서는 4 g/day의 카르니틴을 2주간 복용시킨 결과 지구력운동 수행시간이 증가하고, 혈중 젖산 농도가 감소되었음이 관찰되었다. 이와같은 결과는 운동선수들을 대상으로 3~4 g/day의 카르니틴을 2~3주간 복용시킨 결과 VO_2max가 증가되었다는 보고,[10,28] 그리고 카르니틴 보충은 운동수행에 따른 근육 카르니틴농도의 감소를 완화하고, pyruvate dehydrogenase 활성을 증가시키므로서 젖산 축적을 완화시킨 방지하였음을 제시한 선행연구 결과[29,30]와 일치하는 것이다. 반면, 또 다른 연구에서는 3 g/day의 카르니틴을 1주간 복용시킨 결과 VO_2max 에 변화가 초래되지 않았음이 발표되어,[11,31] 카르니틴 보충이 지구력 운동수행능력에 미치는 효과에 대하여는 상반된 의견이 제시되고 있음을 알 수 있다.

Varnier 등[32]은 흰쥐를 대상으로 VO_2max의 70% 강도에서 지구력운동을 실시한 후 회복기 동안 복강으로 글루타민을 투여한 결과, 골격근의 글리코겐 합성이 증가되었음을 밝혔다. Parry-Billings 등[33]은 장기간 과도한 운동훈련을 받은 선수들에서 혈장 글루타민농도가 감소하였음을 보고하였고, Keast 등[34]도 남성을 대상으로 90% 및 120%의 VO_2max 운동강도에서 무산소성 트레드밀운동을 시킨 결과, 혈장 글루타민농도가 현저하게 감소하였음을 관찰하였고, 후자는 과도한 운동을 수행하는 운동선수의 면역력 저하를 초래할 수 있음이 제시되었다.[35] 본 실험에서는 2주간의 글루타민 복용이 지구력운동 수행능력 및 혈중 피로요소에 직접적인 영향을 미치지는 못하였다. 하지만 글루타민 복용이 운동으로 인해 감소된 혈 중 글루타민농도를 증가시키므로서 운동선수의 면역력 증진에 기여하였을 가능성은 배제할 수 없으며, 앞으로 이에 관한 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

본 연구의 결과를 종합해 보면 4 g/day의 타우린 또는 카르니틴 복용은 탈진 시까지의 지구력 운동수행시간을 증가시키는 효과가 있는 것으로 나타났으며, 이는 운동수행에 따른 혈중 젖산 농도의 변화, 무기인산염 및 암모니아 농도의 변화에 대한 결과와 일치하고 있다. 앞으로 타우린 및 카르니틴의 지구력운동 수행능력을 향상시키고, 혈중 피로요소들의 농도를 변화시킨 작용기전에 관한 연구가 지구력 운동훈련에 단련된 동물조직을 대상으로 심도있게 진행되어야 할 것이며, 아울러 이들 기능성식품소재의 병용투여에 의한 시너지효과에 관한 연구 또한 운동선수들을 위한 ergogenic agents 개발을 위해 필요할 것으로 생각된다.

요 약

본 연구에서는 운동선수에 버금하는 VO_2max를 지닌 남자대학생을 대상으로 타우린 (4 g/day), 카르니틴 (4 g/day), 글루타민 (4 g/day), 또는 위약을 2주간 복용시킨 후 지구력운동 수행능력 및 혈중 피로요소와 관련하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) VO_2max의 75% 강도에서 탈진 시까지의 운동지속시간은 타우린복용군의 경우 85.2 ± 4.3분으로 복용 전에 비해 6.9분 증가하였으며, 카르니틴복용군의 경우 92.5 ± 21.1분으로 복용 전에 비해 9.0분 증가하였다. 한편, 글루타민복용군에서는 복용 전에 비해 운동지속시간이 오히려 2.7분 단축된 것으로 나타났다.

2) 운동수행 1시간 후, 그리고 탈진상태에서 채취된 혈액의 젖산농도는 타우린, 카르니틴 또는 글루타민 복용시 복용 전에 비해 감소하는 경향을 보였으며, 특히 카르니틴 복용은 탈진상태의 혈중 젖산농도를 복용 전에 비해 43% 유의하게 감소시켰다 ($p < 0.05$).

3) 타우린, 카르니틴 또는 글루타민을 복용시킨 결과 안정 시, 운동수행 1시간 후, 탈진 시 및 회복기 혈청 무기인산염 농도가 복용 전에 비해 더 낮은 경향을 보였다. 특히 타우린 복용군의 경우 탈진상태의 혈청 무기인산염 농도가 복용 전에 비해 14% 유의하게 감소하였고 ($p < 0.05$), 카르니틴 복용군의 경우 안정 시 혈청 무기인산염 농도가 복용 전에 비해 20% 유의하게 감소하였다 ($p < 0.05$).

4) 타우린 복용군 또는 카르니틴 복용군의 경우 탈진상태에서 측정된 혈청 암모니아농도가 복용 전에 비해 각기 32% 및 23% 유의적으로 감소하였으나 ($p < 0.05$), 글루타민 복용군의 경우에는 복용 전에 비해 혈청 암모니아 농도가 오히려 다소 증가하는 경향을 보였다.

이상의 결과로부터 타우린 또는 카르니틴 복용은 지구력 운동 수행능력을 향상시키고, 혈 중 피로요소 농도를 개선하는 효과가 있음을 알 수 있다.

Literature cited

1) Huxtable RJ. Physiological actions of taurine. *Physiol Rev* 72: 101-163, 1992
2) Takekura H, Tanaka H, Watanabe M, Yoshioka T, Ono M. Effects of taurine on glycolytic and oxidative enzyme activities of rat skeletal muscles. *Sulfur Amino Acids* 9: 125-132, 1986
3) Saito S, Tasaki Y, Tagami K, Suzuki M. Muscle glycogen repletion and pre-exercise glycogen content. *Eur J Appl Physiol* 68: 483-488, 1993
4) Essig DA, Costill DL, Van Handel OJ. Effects of caffeine ingestion on utilization of muscle glycogen and lipid during leg ergometer cycling. *Int J Sports Med* 1: 86-90, 1980
5) Bieber LL. Carnitine. *Ann Rev Biochem* 57: 261-283, 1988
6) Silipran N. Carnitine and its role in metabolism. *Acta Med Rom* 23: 237-250, 1985
7) Arenas J, Ricoy JR, Encinas AR. Carnitine in muscle, serum, and urine of nonp-rofessional athletes: effects of physical exercise, training, and L-carnitine administration. *Muscel Nerve* 14: 598-604, 1991
8) Long CS, Haller RG, Foster DW, McGarry JD. Kinetics of carnitine dependent fatty acid oxidation: implications for human carnitine deficiency. *Neurology* 32: 663-666, 1982
9) Lennon DLF, Stratman FW, Shrago E, Nagle FJ, Madden M, Hanson P, Carter AL. Effects of acute moderate-intensity exercise on carnitine metabolism in men and women. *J Appl Physiol* 55: 489-495, 1983
10) Marconi C, Sassi G, Carpinelli A, Ceretelli P. Effects of L-carnitine loading on the aerobic and anaerobic performance of endurance athletes. *Eur J Appl Physiol* 54: 131-135, 1985
11) Decombaz J, Deriaz O, Acheson K, Gmuender B, Jequier E. Effect of L-carnitine on submaximal exercise metabolism after depletion of muscle glycogen. *Med Sci Sports Exerc* 25: 733-740, 1993
12) Walsh NP, Blannin AK, Robson PJ, Gleeson M. Glutamine, exercise and immune function. *Sports Med* 26(3): 177-191, 1998
13) Mackinnon LT, Hooper S. Plasma glutamine and upper respiratory tract infection during intensified training in swimmers. *Med Sci Sports Exerc* 28: 285-290, 1996
14) Bruce RA, Kusumi F, Hosmer D. Maximal oxygen intake and normorgraphic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. *Am Heart J* 85: 546-562, 1973
15) Borg G, Ljunggren G, Ceci R. The increase of perceived exertion, aches and pain in legs, heart and blood lactate during exercise on a bicycle ergometer. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 54(4) : 343-349, 1985
16) Gisolfi C, Copping J. Thermal effects of prolonged treadmill exercise in the heart. *Med Sci Sports* 6(2) : 120-132, 1973
17) Paik IY, Kim JK, Chun YS, Oho HJ. Verifying the validity of fatigue elements changes following absolute exercise intensities. *Kor J Physiol Edu* 36: 218-223, 1997
18) Ronzoni E, Kerly M. The effects of pH on carbohydrate changes in isolated anaerobic frog muscle. *J Biol Chem* 103: 175-181, 1993
19) Guth H, Potter JD. Effect of rigor and cycling cross-bridges on the structure of troponin C and Ca^{2+} affinity of the Ca^{2+}-specific regulatory sites in skinned rabbit psoas fibers. *J Biol Chem* 262: 13627-13653, 1987
20) Walker JW, Lu Z, Swartz D, Moss RL. Thin filament modulation of cross-bridge transition measured by photogeneation of Pi in skeletal muscle fibers. *Biophys J* 59: 418-421, 1991
21) Banister EW, Cameron BJC. Exercise-induced hyperammonemia: peripheral and central effects. *Int J Sports Med* 11(Suppl 2): S129-S142, 1990
22) Iles JF, Jack JJB. Ammonia: assessment of its action in postsunaptic inhibition as a cause of convulsion. *Brain* 103: 555-578, 1980
23) Koyuncuoclu H, Keyer M, Simsek S, Sagduyu H. Ammonia intoxification: changes of brain levels of putative neurotransmitter and related compounds and its relevance to hepatic coma. *Pharmacol Res Commun* 10: 787-807, 1978
24) Mitchell JH. Neutral control of the circulation during exercise. *Med Sci Spots Exerc* 22: 141-154, 1990
25) Tanaka H, Watanabe M, Takekura M, Ono M. Effects of taurine on lipolytic activity of adipose tissue in rats (in Japanese). *Sulfur Amino Acids* 7: 193-200, 1984
26) Watanabe M, Minato K, Ono M. Effect of taurine on the metabolism under physical exercise. *Sulfur Amino Acids* 10: 183-186, 1987
27) Lehmann A, Hamberger A. Inhibition of cholinergic response by taurine in frog isolated skeletal muscle. *J Pharm Pharmacol* 36: 59-61, 1984
28) Vecchiet L, Di Lisa F, Pieralisi G, Ripari P, Menabo R, Giamberardino MA. Influence of L-carnitine administration on maximal physical exercise. *Eur J Appl Physiol* 61: 486-490, 1990
29) Huertas R, Campos Y, Diaz AE. Respiratory chain enzymes in muscle of endurance athletes: effect of L-carnitine. *Biochem Biophys Res Coomun* 188: 102-107, 1992
30) Arenas J, Huertas R, Campos Y, Daiz AE, Vilalon JM, Vilas E. Effects of L-carnitine on the pyruvate dehydrogenase complex and carnitine palmitoyl transferase activities in muscle of endurance athletes. *FEBS Lett* 341: 91-93, 1994
31) Grieg C, Finch KM, Jones DA, Cooper M, Sargeant AJ, Forte CA. The effects of oral supplementation with L-carnitine on maximum and submaximum exercise capacity. *Eur J Appl Physiol* 56: 457-460, 1987
32) Varnier M, Leese GP, Thompson J, Rennie MJ. Stimulatory effect of glutamine on glycogen accumulation in human skeletal muscle. *Am J Physiol* 269: E309- E315, 1995
33) Parry-Billings M, Blomstrand E, McAndrew N, Newsholme EA.

A communicational link between skeletal muscle, brain, and cells of the immune system. *Int J Sports Med* 11 (suppl 2) : S122-S128, 1990
34) Keast D, Arstein D, Harper W, Fry RW, Mortion AR. Depression of plasma glutamine concentration after exercise stress and its possible influence on the immune system. *Med J Aust* 162 (1) : 15-18, 1995
35) Castell LM, Poortmans JR, Newsholme EA. Does glutamine have a role in reducing infections in athletes? *Eur J Appl Physiol* 73: 488-490, 1996