

L-arginine 섭취가 고강도 훈련 프로그램에 따른 카누선수의 근 손상 지표, 피로 물질 및 경기력 향상에 미치는 영향

정종환^{1*} · 강은범² · 김창환^{2†}

¹대한카누연맹

²대전대학교 건강운동관리학과

(2019년 7월 29일 접수: 2019년 9월 27일 수정: 2019년 9월 28일 채택)

Effects of l-arginine supplementation with high-intensity training on muscle damage and fatigue index and athletic performance in Canoe Athletes

Jung, Jong-Hwan^{1*} · Kang, Eun-Bum² · Kim, Chang-Hwan^{2†}

¹*Korea Canoe Federation*

²*Department of Health and Exercise Management, Daejeon University*

(Received July 29, 2019; Revised September 27, 2019; Accepted September 28, 2019)

요약 : 본 연구는 L-arginine 섭취가 고강도 훈련 프로그램에 따른 카누선수의 근 손상 지표, 피로 물질 및 경기력 향상에 미치는 영향을 확인하는데 목적이 있다. 이를 위해 고등학교 카누 선수 7명을 대상으로 고강도 훈련 프로그램을 적용하였으며, 고강도 훈련 프로그램은 주 2회의 유산소 운동(화, 목), 주 3회의 무산소 운동(월, 수, 금) 그리고 주 5회의 유연성 운동을 실시하였다. 고강도 훈련 프로그램을 진행하는 6주 과정 중에 처음 2주는 약물섭취(L-arginine or 위약)를 실시하고 다음 2주는 wash out, 그리고 마지막 2주도 약물섭취(L-arginine or 위약)를 실시하였다. 모든 연구대상자들이 L-arginine 섭취(시험군)와 위약 그룹(대조군)으로 배정되는 교차설계로 디자인하였다. L-arginine은 하루 총 3g으로 섭취하였다. 채혈을 통해 L-arginine 섭취에 따른 근 손상 지표, 피로 지표, 항산화력을 확인하였으며, 혈관내피세포기능 분석을 위해 FMD, 그리고 카누 에르고미터를 활용하여 카누 경기력을 분석하였다. 본 연구결과 L-arginine 섭취에 따른 Ammonia, IP, CK의 수준의 직접적인 효과는 나타나지 않았으며, LDH의 수준은 L-arginine 섭취로 인해 PLA 그룹보다 ARG 그룹에서 더 감소하는 것으로 나타났다. L-arginine 섭취에 따른 Total NO, d-ROMs, BAP, 그리고 FMD의 수준도 통계적으로 유의한 차이는 없는 것으로 나타났다. 마지막으로 카누 경기력 향상을 확인하기 위해 실시한 500M 카누 에르고미터 결과에서 총시간, 스트로크 거리, 평균 속도 분석에서 L-arginine의 운동수행능력 향상의 직접적인 효과는 나타나지 않았다. 하지만 L-arginine 섭취로 인해 근 손상 지표, 피로 지표, 항산화력, FMD, 그리고 카누 경기력 수준이 개선되는 경향은 나타났다. 따라서 L-arginine 섭취의 잠재적인 운동능력 향상 보조제 효과에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

주제어 : 카누, L-arginine, 근 손상 지표, 피로 물질, 경기력

[†]Corresponding author
(E-mail: epckim@dju.kr)

Abstract : The objective of this study was to evaluate the effects of L-arginine supplementation on muscle damage and fatigue indices and athletic performance improvement of canoe athletes after conducting a high-intensity training program. To achieve the objective, this study applied a high-intensity training program to seven high school canoe athletes. The high-intensity training program is composed of aerobic exercise sessions (twice per week; Tuesday and Thursday), anaerobic exercise sessions (three times per week; Monday, Wednesday, and Friday), and flexibility exercise sessions (five times per week). During the 6 week high-intensity training program, drug ingestion (L-arginine or placebo) was conducted in the first two weeks, wash out (two weeks) followed it, and drug ingestion (L-arginine or placebo) was carried out again in the last two weeks. The crossover design was used for the experiment so all study subjects were assigned to either the L-arginine intake group (the treatment group) or the placebo group (the control group). Each subject ingested 3g per day. This study confirmed the significant effects of L-arginine supplementation on muscle damage indices, fatigue indices, and antioxidants using blood samples. Additionally, FMD was analyzed to evaluate vascular endothelial cell functions and canoe performance was examined using the canoe ergometer. The results of this study showed that L-arginine intake did not have direct effects on the levels of ammonia, IP, and CK. The level of LDH decreased significantly more in the ARG group than in the PLA group due to L-arginine supplementation. Moreover, L-arginine supplementation did not change total NO, d-ROMs, BAP, and FMD significantly. Lastly, the results of the 500m canoe ergometer, which was conducted to evaluate the canoe performance, revealed that L-arginine did not have direct effects on total time, stroke distance, and mean velocity. However, L-arginine supplementation significantly improved muscle damage indices, fatigue indices, antioxidants, FMD, and canoe performance. Therefore, it is believed that additional studies are needed for examining the potential effects of L-arginine supplementation athletic performance enhancement.

Keywords : canoe, L-arginine, muscle damage index, fatigue factors, athletic performance

1. 서론

대한민국 카누의 경기력은 2014, 2018 아시안 게임에서 괄목할 만한 선전을 펼치긴 했지만, 세계 기록과 비교하면 상당한 격차가 존재한다. 물론 외국 지도자 영입을 통해 선진화된 트레이닝 방법을 도입하고 있지만, 아직까지 카누 경기력 향상에 뚜렷한 개선은 나타나지 않고 있으며, 축구, 야구, 농구와 같은 인기종목에 비해 카누 종목에 대한 학계의 관심도 저조한 수준이다.

카누는 상대선수와의 신체적 마찰이 없는 레이싱 종목이고 200M, 500M, 1000M의 세부 종목으로 구분된다. 대부분 5분 이내에 승부가 결정되기 때문에 선수들에게는 기본적으로 높은 수준의 근력과 근지구력, 전신 지구력과 같은 체력이 요구되고 있다[1, 2]. 육상, 수영 종목과 마찬가지로 카누 경기도 초반에 파워풀한 스타트(start)와 중반부의 스퍼트(spurt)를 위해 무산소성 능력과 유산소

성 능력이 요구되는 특성을 갖고 있다[3]. 이러한 종목 특성상 카누 선수들에게는 고강도의 유·무산소성 복합운동 적용이 필수적이다.

대부분의 스포츠 경기에서 좋은 기록을 수립하고, 상대방과의 경쟁에서 이기기 위해 감독, 코치들은 선수들에게 다양한 훈련프로그램을 적용한다. 이런 상황에서 선수들은 경기력 향상을 위해 강도 높은 훈련을 지속적으로 받게 된다. 물론 선수들에게 적용되는 훈련 프로그램의 구성이 체계적이고 충분한 휴식과 회복과정이 보장된다면 경기력 향상을 기대할 수 있다. 반대로 훈련 프로그램이 체계적이지 못하고 충분한 휴식과 회복과정이 보장되지 못한다면 피로도 증가[4], 산화 스트레스 증가[5], 글리코겐 감소[6]와 같은 현상이 나타나고 경기력이 저하되는 과훈련 증후군 현상을 겪게 된다[7]. 또한 감독과 코치가 선수들을 훈련시키는 과정에서 이를 발견하거나 진단하는 일은 쉽지 않기 때문에 충분한 휴식과 회복과정을 제공

하거나, 영양섭취 과정에 예방하는 것이 매우 중요하다.

L-arginine(L-ARG)은 산화질소(Nitric oxide, NO)의 전구체로 NO 합성에 있어 원료물질로 작용하기 때문에, 경기력 향상을 위한 보조물로 많은 관심을 받고 있다. 현재까지 보고된 NO의 혈관 확장작용과 항산화 기능으로 인해 운동 시 골격근으로 이동하는 혈류량과 산소이용률을 증가시켜 운동 수행력이 개선된다고 알려져 있다[8, 9]. 하지만 L-ARG의 운동수행력 개선에 있어서는 다양한 결과들이 보고되고 있다. Burtscher 등[10]은 운동선수에게 장기간 L-ARG-L-aspartate를 투여하면 지방산 산화를 촉진하고 젖산축적을 줄이며 총 산소 소비를 감소시키고 운동 효율을 높인다고 보고하였으며, McConell 등[11]은 운동 중 L-ARG 공급은 근육의 글루코스 이용을 증가시키고 지방산의 산화를 촉진시킨다고 보고하였다. 하지만, Liu 등[12]은 잘 훈련된 선수의 간헐적 운동 수행에 있어 단기간(3일)의 L-ARG 섭취는 NO 생산, 대사에 있어 효과가 없다고 보고하였으며, Alvares 등[13]도 4주간의 아르기닌 섭취는 훈련된 달리기 선수를 대상으로 4주간의 아르기닌 섭취는 혈액생화학 및 호르몬 반응에 있어 차이가 없었다고 보고하였다. 이처럼 NO를 생성하는 원료 물질인 L-ARG의 운동수행력 향상 효과에 대해선 상반되는 연구결과들이 보고되고 있으며, 에너지 기질과 관련된 연구는 많이 보고되고 있지만, 근 손상과 피로, 항산화력과 관련된 연구는 미비한 실정이다. 이러한 이유로 추가적인 연구가 필요한 실정이다.

따라서 본 연구는 카누 선수들의 경기력 향상을 위해 고강도의 훈련 프로그램을 실시하고, 이러한 과정에서 L-ARG를 섭취하여 근 손상 지표, 피로 물질을 효과적으로 감소시켜 경기력 향상을 유도할 수 있는지 그 효과를 알아보려고 한다.

2. 연구방법

2.1. 연구대상

이 연구의 대상자는 대전 H고등학교 카누 선수(남자 7명)를 대상으로 실시하였다. 실험참가 전에 연구의 목적과 절차에 대해 설명하였으며, 법적대리의 동의와 선수 자발적 의사로 실험에 참여할 것을 서면 동의하였다. 본 실험은 대전대학교 생명윤리위원회의 승인(1040647-201810-HR-005)을

받아 실시하였다. 실험에 참여한 선수들의 일반적 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. General Characteristics of Subjects

Variable	Canoe Athletes
Age(yr)	14.86±0.26
Height(cm)	169.83±1.94
Weight(kg)	68.74±3.58
%Fat	13.03±2.27
BMI(kg/m ²)	23.83±1.15

Values are Mean±SD.

2.2. 연구설계

총 실험기간은 6주로 이 기간 동안 고강도 훈련 프로그램을 실시하였다. 고강도 훈련 프로그램을 진행하는 6주 과정 중에 처음 2주는 약물섭취(L-ARG or 위약)를 실시하고 다음 2주는 wash out, 그리고 마지막 2주도 약물섭취(L-ARG or 위약)를 실시하였다. 모든 연구대상자들이 L-ARG 섭취(시험군)와 위약그룹(대조군)으로 배정되는 교차설계로 디자인하였다.

2.3. L-ARG 섭취

L-ARG(L-arginie 1000 mg, NOW FOODS, USA)의 투여량은 선행연구를 바탕으로 투여효과에 대한 근거와 안전성, 그리고 피험자의 연령을 고려하여 매일 아침(1g), 점심(1g), 저녁(1g)으로 총 3g으로 선정하였다[14]. 투여방법은 식후 30분에 물과 함께 섭취하였다. 위약은 L-ARG 섭취 시 사용했던 동일한 캡슐에 일반적인 전분(1g)을 같은 방법으로 섭취하였다. L-ARG 섭취 기간은 2주이며, 위약도 동일한 기간 동안 섭취한다.

2.4. 고강도 훈련 프로그램

본 연구에서 활용한 고강도 훈련 프로그램은 선행연구[1]에서 제시된 훈련 프로그램을 연구책임자와 고등학교 학생 선수 지도자가 해당 선수들의 실정에 맞게 수정하여 적용하였다. 고강도 훈련 프로그램은 임상실험을 진행하는 6주간(2주간 식품섭취, 2주간 wash-out, 2주간 식품섭취) 주 5회의 빈도로 실시하였으며 무산소 훈련, 유산소 훈련, 유연성 훈련으로 구성하였다. 고강도 훈련 프로그램의 핵심은 무산소 훈련 프로그램으로, 기존

1RM의 퍼센트(%)를 나누어 훈련하던 방식과는 달리 횡수에 대한 100%의 중량을 가지고 하는 훈련이며, 유산소 훈련과 유연성 훈련은 보조적인 개념으로 실시하였다. 구체적인 훈련 프로그램 구성은 Table 2와 같다.

2.4.1. 유산소 훈련

유산소 훈련 프로그램은 주 2회 지속주 훈련(화) 및 파트랙 훈련(목)으로 실시하였다. 지속주 훈련은 총거리 8km(20Laps)를 400m 트랙에서 1Lap에 1분42초의 시간을 부여해 실시하고, 2주 단위로 1Lap에 1초씩 줄이면서 강도를 높였다. 그리고 파트랙 훈련도 총거리 9.6km를 400m 트랙에서 24Laps를 돌며 홀수 Lap은 1분30초, 짝수 Lap에서는 1분45초의 시간을 부여하여 1Lap씩 교차 시간을 갖고 실시하였다. 이러한 유산소 운동의 강도는 휴대용무선 심박수 측정기(Polar H10 HR sensor, Finland)를 이용하여 지속적으로 체크하였으며 70~80% HRR(maximum heart rate

reserve)로 실시하였다.

2.4.2. 무산소 훈련

무산소 훈련 프로그램은 주 3회(월, 수, 금), 1주 단위로 메인(Main) 종목은 횡수의 변화를 주고, 무산소 훈련 프로그램은 주로 패들링 동작에서 요구되는 주동근 근육 강화를 위한 12종목 4Laps으로 구성하여 실시하였다. 실시한 종목의 주동근 여부와 메인 종목 여부는 Table 3에 제시된 바와 같다. 각 주차별 해당되는 반복횟수는 메인 종목만 해당되며 다른 보조 종목들은 동일한 횡수로 실시하였으며, Table 4에 제시하였다. 구체적인 실시 방법으로 1번째 lap은 처음 1번 Bench Pull 실시 후 2번 Bench Press로 순서대로 진행하면서 각각의 종목 실시 후 3분의 휴식 시간을 갖고 마지막 12번 Up and Down with Rotations 실시가 끝나면 5분의 휴식 시간을 갖는다. 2번째 Lap에서는 메인종목인 1번, 2번, 4번, 5번, 7번 5종목만 실시하고, 3번째 Lap과 4번째 Lap은 12종목 다 실시

Table 2. High-intensity training program

구분	Monday	Tuesday	Wednesday	Thursday	Friday
Morning	Flexibility Training	Aerobic Training	Flexibility Training	Aerobic Training	Flexibility Training
Afternoon	Anaerobic Training	Flexibility Training	Anaerobic Training	Flexibility Training	Anaerobic Training

Table 3. Events of an anaerobic training program

Procedure	Event	Agonistic muscle	Note
1	Bench Pull	Latissmus muscle, Biceps muscle	main
2	Bench Press	Pectoralis major muscle, Triceps brachii muscle	main
3	Sit Ups with Rotations	Abdominal muscle	sub
4	Chin Ups	Latissmus muscle, Biceps muscle	main
5	Dips	Pectoralis major muscle, Triceps brachii muscle	main
6	Back Extensions with Rotations Ups	Erector spinae muscle	sub
7	One Arm Pulls	Latissmus muscle, Biceps muscle	main
8	Clean and Jerk	Trapezius muscle, Triceps brachii muscle	sub
9	Squat to Jumps	Femoral muscle, Erector spinae muscle	sub
10	Left and Right Rotations ABS	External oblique abdominal muscle	sub
11	Pull Down	Latissmus muscle, Biceps muscle	sub
12	Up and Down with Rotations	Triceps brachii muscle, External oblique abdominal muscle	sub

Table 4. Repetition and training intensity of major events for each week

Variable	1	2	3	4	5	6
Number of main event repetitions (rp)	10	7	6	7	6	5
Training intensity(%)	70	90	100	90	80	80
Total amount of exercise (%)	100	80	80	90	100	100

Number of sub event repetitions: 3. Sit Ups with Rotations 25 times, 6. Back Extensions with Rotations Ups 25 times, 8. Clean and Jerk 10 times, 9. Squat to Jumps 25 times, 10. Left and Right Rotations ABS 20 times, 11. Pull Down 10 times, 12. Up and Down with Rotations 10 times

Table 5. Composition of gym-ball exercise program

	Contents	repeating (times)	Time(min)
warm up	waist & pelvis stretching	10~15	5
main exercise	Holding kicking the ball left and right twist	30	30
	To cross the foot and pushup	30	
	Forward lean lower body left and right twist	30	
	Drawing circles down to the elbow	30	
	Lie on shoulder and twist left and right	30	
	Dipping on the ball	30	
cool down	waist & pelvis stretching	10~15	5

30-second break between each main event

하였다. 그리고 각 Lap 마다 2종목이 끝나면 근육의 이완과 회복을 위한 점프(Alternative Jumps)를 40회씩 실시하였다.

2.4.3. 유연성 훈련

유연성 훈련을 위해 짐볼운동을 주 5회, 40분씩 실시하며, 주관적 운동강도 인지도(Rating of Perceived Exertion; RPE)를 이용하여 RPE 11-15의 강도로 설정하였다[15]. 짐볼운동 프로그램은 Stanton 등[16]이 제시한 자세안정화 운동을 기본으로 수정 보완하여 6주간 적용하였다. Table 5에 제시된 것처럼 좌우측 근육의 균형과 유연성 강화를 위한 6가지 동작으로 구성하였다.

2.5. 카누에르고미터 검사

이 연구에서 사용할 카누 에르고미터는 카약프로(KAYAK PRO, 2012. USA) 장비이며, 2004년, 2008년, 2012년 하계올림픽 등에서 공식인증을 받은 제품으로 시간(Time), 거리(Distance), 스트로크 수(Stroke Number), 분당 스트로크(Stroke Rate), 스트로크 파워(Watts), 초당 거리(m/s), 스트로크 거리

(Stroke Length) 항목을 분석할 수 있다. 본 연구에서는 카약프로 장비를 이용해서 500M time trial을 실시하였다.

2.6. 혈관내피세포기능 검사

혈관내피세포 기능 검사는 L-ARG 섭취에 따른 혈관내피세포의 기능을 확인하기 위해 실시하였다. 대전광역시 탄방동에 위치한 D병원에서 의사의 관리·감독하에 초음파검사기사에 의해 실시하였다. 혈관 내피세포 기능은 우측 상완동맥으로부터 혈관직경, 혈류량, 혈관 속도를 pulse wave doppler(ClearVue 550, U.S.A)를 이용하여 측정하였다. 혈관직경은 대상자의 상완동맥의 중앙부를 기준점으로 약 2 cm위에 probe를 댄 후, 혈관 내막층(intima layer)이 B-mode영상에서 가장 깨끗하게 보이는 곳을 측정하였다. 안정 시 혈관 직경과 혈류 속도를 이용하여 time average mean velocity (TAMV)를 측정하여 혈류량을 산출하였다. 혈류 의존성 혈관확장반응(flow-mediated dilation; FMD)는 안정 시 혈관 직경과 혈류량을 측정 후 팔에 5분간 혈압계 커프를 200 mmHg의 압력으

로 5분간 폐색 후 커프를 제거하고 약 10초 간격으로 약 2분 동안 상완동맥의 혈류 속도와 혈관 직경을 측정하여 FMD(%)를 산출하였다[FMD(%) = ((peak vessel diameter - rest vessel diameter) / rest vessel diameter) × 100].

2.7. 채혈방법 및 혈액분석

채혈은 녹십자에서 파견하는 전문 간호사에 의해 실시하였으며, 전완주전정맥(Cephalic vein)을 통해 약 8mL의 혈액을 채혈 한 후 4ml은 상온에서 약 1시간 동안 방치한 후 10분 동안 원심분리(Beckman, U.S.A, 3000rpm)하여 상층액 혈청(Serum)을 스포이드를 이용하여 다른 튜브에 옮긴 후 다음 분석 시 까지 -80°C에 보관하고, 4ml의 혈액은 SST-Tube 의 검체용기에 각각 넣어 15회 이상 흔들어 응고되지 않도록 한 후, 10분 동안 원심분리(Beckman, U.S.A, 3000rpm)하여 상층액인 혈장(plasma)을 스포이드를 이용하여 다른 튜브에 옮긴 후 다음 분석 시 까지 -80°C에 보관하였다. 근손상지표로 활용되는 Ammonia, Creatine Kinase(CK), Inorganic-Phosphorus (IP), 활성산소 및 항산화제 지표인 Total NO, d-ROMs (derivatives of reactive oxygen metabolites), BAP(biological antioxidant potential)를 분석하였다. 본 연구에서 L-ARG 섭취에 따른 산화스트레스 및 항산화 테스트를 위해 활용한 d-ROMs과 BAP test는 람베리트-베르의 법칙과 펜폰의 반응과 같은 산화-환원 메커니즘을 근거로 고안된 방법

이다. d-ROMS test는 체내 활성산소의 산화작용으로 형성된 과산화물 생성을 측정하는 원리이며, BAP test는 혈장 sample 중에 Fe+3에서 Fe+2로 환원하는 검사원리를 이용한 측정방법으로 최근 활성산소 관련 연구분야에서 인정받고 있는 효과적인 검사방법이다[17]. 각각의 분석항목은 (주)녹십자에 의뢰하여 분석하였다.

2.8. 자료처리방법

수집된 자료는 SPSS win 12.0 통계프로그램을 이용하여 기술 통계치(Mean ± SD)를 산출하고 기간(2) 간과 처치(2) 간의 평균 차 검증을 위해 반복측정에 의한 이원변량분석(two-way ANOVA with repeated measure)을 이용하여 분석하였다. 상호작용이 나타나는 경우 그 차이를 구체적으로 확인하기 위하여 독립(independent) t-검증을 이용하였으며, 모든 통계치의 통계적 유의수준(α)은 .05로 설정하였다.

3. 결과

3.1. 혈중 피로 지표 및 근손상 지표

고강도 훈련 프로그램에 따른 L-ARG 섭취가 혈중 피로 지표와 근손상 지표에 미치는 영향은 Table. 6에 제시하였다. 먼저 Ammonia 수준에 미치는 영향을 분석한 결과 기간 및 처치 간에 상호작용효과는 나타나지 않았다. 주효과 검증을 실시

Table 6. Changes in blood fatigue indices and muscle damage indices

Variable	Group	Before	After	F	p
Ammonia(μ g/dL)	PLA	80.57 ± 11.52	64.43 ± 9.88	a: 1.632	.462
	ARG	75.29 ± 15.91	53.86 ± 15.00	b: 29.169 c: .577	.001** .462
Inorganic phosphorus(mg/dL)	PLA	3.81 ± 0.51	3.83 ± 0.39	a: 1.866	.197
	ARG	3.83 ± 0.23	3.42 ± 0.33	b: 1.819 c: 2.153	.202 .168
CK(U/L)	PLA	270.57 ± 76.10	268.57 ± 64.44	a: .419	.530
	ARG	277.57 ± 88.31	222.57 ± 36.33	b: 1.788 c: 1.546	.206 .238
LDH(U/L)	PLA	368.00 ± 27.87	361.29 ± 20.52	a: 14.130	.003**
	ARG	346.71 ± 25.32	285.14 ± 35.01	b: 22.897 c: 14.777	.001** .002**

PLA: Placebo group; ARG: L-arginine group, IP; Inorganic phosphorus, CK; Creatine Kinase a)group, b)time, c)group*time, *p<.05; **p<.01; ***p<.001 *significant main effect and/or interaction

Values are Mean ± SD.

한 결과 기간 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타났다($p<.01$). Inorganic phosphorus 의 경우, 기간 및 처치 간에 상호작용효과는 나타나지 않았으며, 주효과 검증에서도 통계적으로 유의한 차이는 없는 것으로 나타났다. CK의 경우, 기간 및 처치 간에 상호작용효과는 나타나지 않았으며, 주효과 검증에서도 통계적으로 유의한 차이는 없는 것으로 나타났다. LDH의 경우, 처치 및 기간 간에 통계적으로 유의한 상호작용효과가 나타났으며($p<.01$), 사후분석을 실시한 결과 L-ARG 섭취 그룹에서 사전보다는 사후에 통계적으로 유의하게 감소한 것으로 나타났다($p<.01$).

3.2. 항산화력 및 FMD

고강도 훈련 프로그램에 따른 L-ARG 섭취가 항산화력과 FMD에 미치는 영향은 Table. 7에 제시하였다. 먼저 Total NO 수준에 미치는 영향을 분석한 결과 기간 및 처치 간에 상호작용효과는 나타나지 않았다. 주효과 검증을 실시한 결과 기간 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타났다($p<.05$). d-ROMs의 경우, 기간 및 처치 간에 상호작용효과는 나타나지 않았으며, 주효과 검증을 실시한 결과 기간 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타났다($p<.01$). BAP 의 경우, 기간 및 처치 간에 상호작용효과는 나타나지 않았다. 주효과 검증을 실시한 결과 기간 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타났

다($p<.01$). FMD의 경우, 기간 및 처치 간에 상호작용효과는 나타나지 않았지만, 주효과 검증을 실시한 결과 기간 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타났다($p<.01$).

3.3. 카누 에르고미터

고강도 훈련 프로그램에 따른 L-ARG 섭취가 카누 에르고미터 500M의 평균속도, 스트로크 거리, 총 시간에 미치는 영향은 Table. 8에 제시하였다. 평균속도, 스트로크 거리, 총 시간에 미치는 영향을 분석한 결과, 각각의 변인 모두 기간 및 처치간에 상호작용효과는 나타나지 않았다. 주효과 검증을 실시한 결과 평균속도, 스트로크 거리, 총 시간 모두 기간 간에만 통계적으로 유의한 차이가 나타났다($p<.05$).

3. 고 찰

본 연구는 카누 선수들을 대상으로 혈관의 확장을 촉진하여 혈류의 흐름과 조직에 산소공급능력을 개선하고, 자유 라디칼 제거제 작용을 통해 항산화제 역할을 수행한다고 알려져 있는 NO의 전구체인 L-ARG을 섭취하여 피로 지표, 근손상 지표, 항산화력, FMD 그리고 카누 경기력에 대해 알아보았다.

Table 7. Changes in antioxidant and FMD

Variable	Group	Before	After	F	p
Total NO(μ mol/L)	PLA	29.34 \pm 4.99	40.92 \pm 23.73	a: 3.092	.104
	ARG	37.06 \pm 12.35	59.44 \pm 20.53	b: 9.331 c: 1.089	.010* .317
d-ROMs(CARR.U)	PLA	307.43 \pm 36.33	292.00 \pm 34.13	a: 1.723	.214
	ARG	294.86 \pm 24.85	263.71 \pm 29.18	b: 13.490 c: 1.536	.003** .239
BAP(μ mol/L)	PLA	2411.86 \pm 231.05	2453.29 \pm 212.61	a: 1.088	.317
	ARG	2467.00 \pm 168.69	2604.86 \pm 158.85	b: 7.599 c: 2.198	.017* .164
FMD(%)	PLA	7.68 \pm 1.99	10.24 \pm 3.27	a: 3.657	.080
	ARG	9.35 \pm 2.88	14.77 \pm 4.57	b: 31.412 c: 4.056	.001** .067

PLA: Placebo group; ARG: L-arginine group, a)group, b)time, c)group*time, * $p<.05$; ** $p<.01$; *** $p<.001$ *significant main effect and/or interaction

Values are Mean \pm SD.

Table 8. Changes in canoe ergometer records

Variable	Group	Before	After	F	p
Average velocity(m/s)	PLA	4.45±0.32	4.56±0.23	a: .009	.927
	ARG	4.43±0.27	4.56±0.27	b: 17.560	.001**
				c: .093	.766
Stroke Length(m)	PLA	2.24±0.08	2.20±0.08	a: 4.233	.062
	ARG	2.14±0.13	2.07±0.16	b: 8.884	.011*
				c: .768	.398
Total time(sec)	PLA	112.71±8.90	109.86±6.64	a: .015	.904
	ARG	113.14±7.65	108.43±8.02	b: 12.788	.004**
				c: .769	.398

PLA: Placebo group; ARG: L-arginine group, a)group, b)time, c)group*time, *p<.05; **p<.01; ***p<.001 *significant main effect and/or interaction

Values are Mean±SD.

근 손상은 다양한 기전에 의해서 발생하며, 고강도의 신체활동, 운동과 같은 상황에서 근 허혈 및 손상이 발생하게 된다. 즉 격렬한 운동이나 고강도 트레이닝 후에 나타나는 LDH와 CK 농도의 증가는 골격근의 구조적 손상과 염증을 유발한다고 알려져 있다[18-20]. 근 피로와 관련하여 Ammonia는 젖산 생성을 자극하고 글리코겐 농도를 저하시켜 결과적으로 근 피로를 유발하며[21], IP의 축적은 세포내 에너지 수준의 감소를 의미하고 이는 근 수축의 저하를 가져오는 것으로 알려져 있다[22]. 본 연구는 L-ARG섭취에 따른 근 손상지표인 LDH, CK, IP, Ammonia의 변화를 살펴보았다. LDH의 경우, 처치 및 기간 간에 상호작용효과가 나타났으며, L-ARG 섭취 그룹에서 사전보다는 사후에 통계적으로 유의하게 감소한 것으로 나타나 L-ARG 섭취가 LDH의 수준을 감소시켰다는 직접적인 효과를 찾을 수 있었다. Ammonia, IP, CK의 경우, PLA 그룹과 ARG 그룹 모두 사전보다는 사후에 농도가 낮아졌기 때문에 L-ARG 섭취가 CK의 수준을 감소시켰다는 직접적인 효과는 찾을 수가 없었다. 고강도 훈련 프로그램을 적용하면서 휴식과 회복과정을 따로 측정하거나 수치화하지 않았기 때문에 결과로 제시할 수는 없지만, PLA 그룹과 ARG 그룹 모두 사전보다 사후에 근 손상 및 피로 지표들이 감소했다는 것은 아마도 현장의 감독과 코치가 고강도 훈련 프로그램을 적용하면서 선수들의 휴식과 회복을 위해 짐볼 운동을 실시하면서 마사지를 추가적으로 실시하거나 사우나 처치 등이 영향을 미쳤을 것으로 생각된다. 하지만, PLA 보다는 ARG 그룹에서 그 감소폭이 더 컸다는 사실을 생각해 보면, 고강도 운동에 따른 근

피로와 손상에 있어 L-ARG의 운동능력 향상 보조제 효과를 간과해서는 안 될 것으로 생각된다. 피험자수, 섭취기간을 보강한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다. L-ARG 섭취는 운동 상황에서 발생하여 근 피로를 유발하는 젖산과 암모니아를 감소시켜 운동능력이 개선될 수 있다고 보고되고 있다[23]. 즉 운동상황에서 젖산과 암모니아의 발생으로 혈액이 산성화되지만, 염기성 아미노산인 L-ARG의 완충작용을 통해 감소폭이 증가된 것으로 생각된다[24]. 따라서 충분한 휴식과 회복과정을 모니터링하여 수치화 하거나 정형화된 프로그램을 적용하고 이와 함께 L-ARG의 잠재적인 운동능력 향상 보조제 효과에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

L-ARG은 자유 라디칼 제거제로 작용하고 프로산화 효소(pro-oxidant enzymes)의 활성을 억제하여 항산화제 역할을 하며, 이러한 L-ARG은 NO에 의해 매개된다고 알려져 있다[25]. 결과적으로 L-ARG의 섭취로 인한 NO의 생산력 증가는 내피 의존성 혈관확장[26, 27], 산화스트레스 감소[28]와 같은 유익한 효과가 나타난다는 것이다. 본 연구에서는 L-ARG 섭취에 따른 Total NO, d-ROMs, BAP 그리고 FMD의 변화를 살펴 보았다. Total NO의 경우, PLA 그룹과 ARG 그룹 모두 사전보다는 사후에 농도가 높아졌기 때문에 L-ARG 섭취가 Total NO의 수준을 증가시켰다는 직접적인 효과는 찾을 수가 없었다. 하지만, PLA 그룹 보다는 ARG 그룹에서 그 증가폭이 더 컸다는 사실을 생각해 보면, NO의 전구체인 L-ARG의 섭취로 인한 NO 생산력 증가는 고려할 필요가 있다고 생각된다. 이와 함께 산화스트레

스 지표인 d-ROMs은 PLA 그룹과 ARG 그룹 모두 사전보다는 사후에 농도가 낮아졌기 때문에 L-ARG 섭취가 d-ROMs의 수준을 감소시켰다는 직접적인 효과는 찾을 수가 없었다. 항산화력의 지표인 BAP의 경우에도 L-ARG 섭취에 따른 항산화력 증가의 직접적인 효과는 나타나지 않았다. 하지만 PLA 그룹 보다는 ARG 그룹에서 그 변화량이 컸다는 사실을 생각해 보면, NO 생산력 증가에 따른 항산화력과 관련된 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

FMD는 PLA 그룹과 ARG 그룹 모두 사전보다는 사후에 증가되었기 때문에 L-ARG 섭취가 FMD 수준을 증가시켰다는 직접적인 효과는 찾을 수가 없었다. PLA 그룹과 ARG 그룹 모두에서 사전보다 사후에 증가하는 경향을 나타낸 것은 고강도 훈련 프로그램을 적용하고 있었기 때문으로 생각되며, L-ARG 섭취로 인한 FMD의 증가현상은 통계적으로 유의한 수준을 나타내지 않았다. FMD는 일반적으로 중강도의 운동을 통해서 향상된다고 알려져 있기 때문에[29], 본 연구결과에서 증가하는 경향은 있었지만, 통계적 유의 수준이 나타나지 않은 이유는 아마도 훈련강도가 높았기 때문으로 생각된다.

L-ARG 섭취에 따른 카누 선수들의 경기력 향상을 알아보기 위해 실시한 500M 카누 에르고미터의 총시간, 스트로크 거리, 평균속도를 확인하였다. 카누 경기정의 속도는 스트로크 횟수가 증가하거나 스트로크 거리에 따라 그 속도가 결정되는데[30], 평균속도의 증가는 1회 스트로크 거리 증가를 통해 스트로크 횟수 감소하여, 총시간의 단축이 나타나게 된다. Table. 8에 제시된 바와 같이 카누 에르고미터 500M의 평균속도, 스트로크 거리, 총 시간의 모든 항목에서 통계적으로 유의한 상호작용 효과는 나타나지 않았다. 평균속도와 스트로크 거리가 증가하는 경향을 통해 총시간의 단축현상은 나타났지만, 단지 사전과 사후 기간 간의 차이만 있었다. 즉 500M 레이싱의 총 시간에 영향을 미치는 평균속도와 스트로크 거리는 PLA 그룹과 ARG 그룹 모두 사전보다는 사후에 증가되었기 때문에 L-ARG 섭취가 카누 에르고미터 경기력을 증가시켰다는 직접적인 효과는 나타나지 않았다. 본 연구의 대상자와 연령대가 비슷한 피험자를 대상으로 연구를 실시한 이공규 등[31]의 연구결과를 살펴보면, 8주간의 복합트레이닝을 통해 500M 카누 에르고미터의 총 시간이 119.6±2.6에서 116.0±2.2로 차이가 없었다고 보고하고 있다. 이공규 등[31]은 카누 에

르고미터 결과를 총 시간만 제시하였기 때문에 본 연구와 직접적인 비교는 힘들지만, 본 연구의 대상자들은 PLA 그룹이 112.71±8.90에서 109.86±6.64 ARG 그룹은 113.14±7.65에서 108.43±8.02로 감소된 결과를 나타내고 있다. 이공규 등[31]의 연구에서 적용한 복합트레이닝과 본 연구에서 적용한 고강도의 복합 훈련프로그램은 정종환 등[1]이 국가대표 카누 선수들에게 적용한 주기적 복합훈련 프로그램을 고등학생 선수에게 맞게 수정하여 적용한 것은 동일하지만, 무산소 훈련 프로그램의 구성에 있어 강도가 더 높게 설정된 차이점이 있었다. 또한 카누 에르고미터 500M 기록의 차이는 패들링에 활용되는 주동근의 강도 높은 훈련에 기인한다고 볼 수 있다. 카누 에르고미터 운동시 주동근은 넓은 등근(Latissimus dorsi muscle), 등세모근(Trapezius muscle), 상완 두갈래근(Biceps brachii muscle), 상완 세갈래근(Triceps brachii muscle)이라고 알려져 있다[32]. 본 연구에서 적용한 고강도 훈련프로그램의 구성요소 중 무산소 훈련은 이러한 주동근을 강화시키는데 주력했으며, 이러한 주동근 강화로 인해 카누 에르고미터 기록에서 기간 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타난 것으로 생각된다. 하지만 L-ARG 섭취에 따른 경기력 향상의 추가적인 이득은 미비한 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구는 카누 선수들의 경기력 향상을 위해 강도 높은 유·무산소성 훈련과 유연성 훈련을 포함하는 고강도의 복합훈련을 실시하고 운동능력 향상 보조제인 L-ARG를 섭취하였다. L-ARG 섭취에 따른 근 손상 지표, 피로 지표, 항산화력, FMD, 그리고 카누 에르고미터를 활용하여 경기력을 확인하였다. 본 연구결과 L-ARG 섭취에 따른 Ammonia, IP, CK의 수준의 직접적인 효과는 나타나지 않았으며, LDH의 수준은 L-ARG 섭취로 인해 PLA 그룹보다 ARG 그룹에서 더 감소하는 것으로 나타났다. L-ARG 섭취에 따른 Total NO, d-ROMs, BAP, 그리고 FMD의 수준도 통계적으로 유의한 차이는 없는 것으로 나타났다. 마지막으로 카누 경기력 향상을 확인하기 위해 실시한 500M 카누 에르고미터 결과에서 총시간, 스트로크 거리, 평균속도 분석에서 L-ARG의 운동수행능력 향상의 직접적인 효과는 나타나지 않았다. 하지만

L-ARG 섭취로 인해 근 손상 지표, 피로 지표, 항산화력, FMD, 그리고 카누 경기력 수준이 개선되는 경향은 나타났다. 따라서 L-ARG 섭취의 잠재적인 운동능력 향상 보조제 효과에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

감사의 글

이 논문은 2018년 대한민국 교육부와 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF-2018S1A5A2A01038637)

References

1. J. H. Jung, Y. E. Song, C. H. Kim, E. B. Kang, J. Y. Cho, "Effect of periodical complex training program on the body composition and ergometer record of national canoe athletes", *The Korean Journal of Sport*, Vol.11, No.3, pp. 75-84, (2013).
2. K. Y. Hong, "The Effect of Training Patterns on the AT Improvement for Canoe Players", *Korean journal of physical education*, Vol.42, No.4, pp. 663-672. (2003).
3. J. H. Yoon, Y. S. Ji, D. Y. Woo, "The change of blood lactic acid, LDH and CPK activity during arm ergometer exercise in canoeists", *Journal of Korean Society for the Study of Physical Education*, Vol.7, No.1, pp. 70-80. (2002).
4. L. E. Armstrong, J. L. VanHeest, "The unknown mechanism of the overtraining syndrome: clues from depression and psychoneuroimmunology", *Sports medicine*, Vol.32, No.3, pp. 185-209. (2002).
5. M. Tanskanen, M. Atalay, A. Uusitalo, "Altered oxidative stress in overtrained athletes", *Journal of sports sciences*, Vol.28, No.3, pp. 309-317. (2010).
6. A. C. Snyder, H. Kuipers, B. Cheng, R. Servais, E. Fransen, "Overtraining following intensified training with normal muscle glycogen", *Medicine and science in sports and exercise*, Vol.27, No.7, pp. 1063-1070. (1995).
7. J. B. Kreher, J. B. Schwartz, "Overtraining syndrome: a practical guide", *Sports Health*, Vol.4, No.2, pp. 128-138. (2012).
8. M. Mohr, J. J. Nielsen, J. Bangsbo, "Caffeine intake improves intense intermittent exercise performance and reduces muscle interstitial potassium accumulation", *Journal of applied physiology*, Vol.111, No.5, pp. 1372-1379. (2011).
9. Z. Shen, Z. Chen, Y. Lu, F. Chen, Z. Chen, "Relationship between gene expression of nitric oxide synthase and androgens in rat corpus cavernosum", *Chinese medical journal*, Vol.113, No.12, pp. 1092-1095, (2000).
10. M. Burtscher, F. Brunner, M. Faulhaber, B. Hotter, R. Likar, "The prolonged intake of L-arginine-L-aspartate reduces blood lactate accumulation and oxygen consumption during submaximal exercise", *Journal of sports science & medicine*, Vol.4, No.3, pp. 314-322, (2005).
11. G. K. McConell, N. N. Huynh, R. S. Lee-Young, B. J. Canny, G. D. Wadley, "L-Arginine infusion increases glucose clearance during prolonged exercise in humans", *American journal of physiology. Endocrinology and metabolism*, Vol.290, No.1, pp. 60-66, (2006).
12. T. H. Liu, C. L. Wu, C. W. Chiang, Y. W. Lo, H. F. Tseng, C. K. Chang, "No effect of short-term arginine supplementation on nitric oxide production, metabolism and performance in intermittent exercise in athletes", *The Journal of nutritional biochemistry*, Vol.20, No.6, pp. 462-468. (2009).
13. T. S. Alvares, C. A. Conte-Junior, J. T. Silva, V. M. Paschoalin, "L-arginine does not improve biochemical and hormonal response in trained runners after 4 weeks

- of supplementation”, *Nutrition research*, Vol.34, No.1, pp. 31–39. (2014).
14. S. H. Yang, H. K. Kwon, Y. S. Kwak, “The Effects of L-arginine and GPLC supplementation on plasma nitric oxide, energy substrates and fatigue factors in high school football players”, *Exercise Science*, Vol.24, No.3, pp. 233–242, (2015).
 15. G. Borg, Borg’s Perceived Exertion and Pain Scales, “Human Kinetics”, (1998).
 16. R. Stanton, P. R. Reaburn, B. Humphries, “The effect of short-term Swiss ball training on core stability and running economy”, *Journal of strength and conditioning research*, Vol.18, No.3, pp. 522–528, (2004).
 17. D. Martarelli, P. Pompei, “Oxidative stress and antioxidant changes during a 24-hours mountain bike endurance exercise in master athletes” *The Journal of sports medicine and physical fitness*, Vol.49, No.1, pp. 122–127, (2009)
 18. P. Brancaccio, N. Maffulli, R. Buonauro, F. M. Limongelli, “Serum enzyme monitoring in sports medicine”, *Clinics in sports medicine*, Vol.27, No.1, pp. 1–18, (2018)
 19. P. S. Bradley, M. Di Mascio, D. Peart, P. Olsen, B. Sheldon, “High-intensity activity profiles of elite soccer players at different performance levels”, *Journal of strength and conditioning research / National Strength & Conditioning Association*, Vol.24, No.9, pp. 2343–2351. (2010)
 20. K. Nosaka, A. Aldayel, M. Jubeau, T. C. Chen, “Muscle damage induced by electrical stimulation”, *European journal of applied physiology*, Vol.111, No.10, pp. 2427–2437, (2011).
 21. I. Y. Paik., W. R. Chang, Y. S. Kwak, S. Y. Cho, H. E. Jin, “The Effect of Prunus Mume Supplementation on Energy Substrate Levels and Fatigue Induction Factors”, *Journal of Life Science*, Vol.20, No.1, pp. 49–54. (2010).
 22. J. Bangsbo, P. D. Gollnick, T. E. Graham, C. Juel, B. Kiens, M. Mizuno, B. Saltin, “Anaerobic energy production and O₂ deficit-debt relationship during exhaustive exercise in humans”, *The Journal of physiology*, Vol. 422, pp. 539–559, (1990).
 23. T. S. Álvares, C. M. Meirelles, Y. N. Bhambhani, V. M. Paschoalin, P. S. Gomes, “L-Arginine as a potential ergogenic aid in healthy subjects”, *Sports Medicine*, Vol.41, No.3, pp. 233–248, (2011).
 24. S. Doutreleau, B. Mettauer, F. Piquard, A. Schaefer, E. Lonsdorfer, R. Richard, B. Geny, “Chronic but not acute oral L-arginine supplementation delays the ventilatory threshold during exercise in heart failure patients”, *Canadian journal of applied physiology*, Vol.30, No.4, pp. 419–432, (2005).
 25. P. Tripathi, M. K. Misra, “Therapeutic role of L-arginine on free radical scavenging system in ischemic heart diseases”, *Indian journal of biochemistry & biophysics*, Vol.46, No.6, pp. 498–502, (2009).
 26. S. M. Bode-Böger, J. Muke, A. Surdacki, C. Brabant, R. H. Böger, J. C. Frölich, “Oral L-arginine improves endothelial function in healthy individuals older than 70 years”, *Vascular medicine*, Vol.8, No.2, pp. 77–81. (2003).
 27. W. Durante, F. K. Johnson, R. A. Johnson, “Arginase: a critical regulator of nitric oxide synthesis and vascular function”, *Clinical and experimental pharmacology & physiology*, Vol.34, No.9, pp. 906–911, (2007).
 28. M. Liang, Z. Wang, H. Li, L. Cai, J. Pan, H. He, Q. Wu, Y. Tang, J. Ma, L. Yang, “L-Arginine induces antioxidant response to prevent oxidative stress via stimulation of glutathione synthesis and activation of Nrf2 pathway”, *Food and chemical toxicology*, Vol.115, pp. 315–328, (2018)
 29. C. Goto, Y. Higashi, M. Kimura, K.

- Noma, K. Hara, K. Nakagawa, M. Kawamura, K. Chayama, M. Yoshizumi, I. Nara, "Effect of different intensities of exercise on endothelium-dependent vasodilation in humans role of endothelium-dependent nitric oxide and oxidative stress", *Circulation*, Vol.108, No.5, pp. 530-535, (2003)
30. A. Baudouin, D. Hawkins, "A biomechanical review of factors affecting rowing performance", *British journal of sports medicine*, Vol.36, No.6, pp. 396-402, (2002).
31. G. K. Lee, H. Y. Kim, "The Effects of Complex Training on K-1 500m Record and Physical Fitness of Canoe Players", *Korean Journal of Sports Science*, Vol.27, No.1, pp. 619-628, (2018).
32. J. G. Choi, Y. J. Kim, "The study on analysis of muscle fatigue and recruitment type in major muscles during Canoe ergometer exercise", *Korea Sport Research*, Vol.15, No.2, pp. 1601-1612, (2004).