

4주간의 β -alanine 섭취가 중학교 축구선수의 체력과 혈중 젖산농도에 미치는 영향

박영훈 · 정원상 · 이만균* (경희대학교)

β -alanine의 섭취는 체내 완충물질인 카르노신(carnosine)의 재합성을 증가시켜 운동 중 발생하는 수소이온(H^+)을 중화시킴으로써 피로 지연에 효과가 있는 것으로 보고되었으나, β -alanine의 섭취가 축구선수의 체력에 미치는 영향을 검증한 연구는 매우 미흡한 실정이다. 본 연구는 4주간의 β -alanine 섭취가 중학교 축구선수의 신체구성, 유산소성 운동능력, 무산소성 운동능력, 등속성 근기능, 그리고 혈중 젖산농도에 미치는 영향을 규명하는 것이었다. 연구대상자는 S시 소재 S중학교 1~2학년 축구선수 19명으로서, β -alanine 집단($n=10$)의 대상자는 1~2주에 일일 2 g, 그리고 3~4주에 일일 3 g의 β -alanine을 섭취하였고, placebo 집단($n=9$)의 대상자는 동일한 방법으로 옥수수가루(maltodextrin)를 섭취하였다. 두 집단은 섭취기간 중 합숙생활을 하였고, 영양성분이 동일한 식사를 하였으며, 팀 훈련을 통하여 운동량을 동질화시켰다. 섭취 전과 후에 신체구성, 유산소성 운동능력, 무산소성 운동능력, 등속성 근기능, 그리고 혈중 젖산농도를 측정하고 다음 집단 간에, 그리고 검사 간에 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다. 1) β -alanine 집단에서 체지방량과 체지방률이 유의하게 감소되었다. 2) 두 집단 모두에서 VO_{2max} 가 유의하게 변화되지 않았다. 3) β -alanine 집단에서 무산소성 운동능력 중 평균파워가 유의하게 증가되었다. 4) 등속성 근기능과 관련하여, β -alanine 집단에서 슬관절 신근의 근지구력이 유의하게 향상되었다. 5) 혈중 젖산농도는 두 집단 모두 유의한 변화가 나타나지 않았지만, 최대운동부하검사 직후와 회복기 중 β -alanine 집단에서 placebo 집단 보다 더 증가되는 경향이 나타났다. 이상의 결과를 종합해 보면, 4주간의 β -alanine 섭취가 중학교 축구선수의 체지방량 감소, 무산소성 운동능력의 향상, 그리고 근지구력의 향상에 도움이 되는 것으로 결론지을 수 있다.

주요어 : β -alanine, 카르노신, 수소, 대사성 산증, 체력

서론

축구경기 중 선수는 평균적으로 VO_{2max} 의 70% 강도로 90분 동안 움직이는 유산소성 운동능력이 요구되며 (Bangsbo et al., 2006), 승부와 직접적으로 관련 있는 동작인 돌파, 가로채기, 태클, 그리고 슈팅 등에 필요한 무산소성 운동능력 또한 경기력을 결정짓는 중요한 요소가 된다(Comfort et al., 2014). 이와 관련하여, 이만균과 남상석(2007)은 축구선수의 경우 유산소성

운동능력을 바탕으로 무산소성 운동능력을 복합적으로 사용할 수 있는 체력이 뒷받침 되어야만 우수한 경기력을 발휘할 수 있다고 주장한 바 있다.

축구경기 중 모든 선수가 90분 내내 빠른 속도의 스프린트 능력을 발휘할 수는 없으며, 선수들은 경기 중 스피드 능력의 감소를 경험하게 된다(Mohr et al., 2003). 따라서 우수한 경기력은 피로도와 밀접한 관계가 있다고 할 수 있다. 축구경기 중 피로 관련 물질의 변화를 살펴보면, 경기 전 혈중 젖산농도가 $1.3 \pm 0.1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 에서 전반전 종료 후 $6.0 \pm 0.4 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 로 증가되었고, 경기 전 근육 수소이온(H^+)이 $57 \pm 2 \text{ nmol} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d.w.}$ 에서 전반전 종료 후 $111 \pm 9 \text{ nmol} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{d.w.}$ 로 증가되었으며, 근육 pH가 경기 전 7.24 ± 0.02 에서 전반전

논문 투고일 : 2014. 06. 17.

논문 수정일 : 2014. 09. 02.

게재 확정일 : 2014. 09. 17.

* 저자 연락처 : 이만균(mlee@khu.ac.kr).

종료 후 6.96 ± 0.03 로 감소된 것으로 보고되었다 (Krustrup et al., 2006). 운동 중에 생성된 젖산에서 비롯된 H^+ 의 증가가 체내 pH를 떨어뜨려 체내 산성화가 발생된다(Culbertson et al., 2010). 따라서 축구 선수가 피로를 적게 느끼며 경기 후반까지 높은 수준의 체력을 유지하기 위해서는 H^+ 을 효과적으로 제거하는 노력이 필요하다.

인체는 세포 내의 pH의 정상범위를 유지하는 산-염기 완충체계를 갖고 있으며, 완충체계는 화학적 혈액 완충제, 호흡계 및 신장에 의하여 조절된다(Artioli et al., 2010). 그 중 화학적 완충제로 중탄산염, 인산염, 단백질, 그리고 카르노신(carnosine) 등이 있다(Derave et al., 2010). 최근 고강도 운동 시 발현되는 대사 부산물을 중화하는 완충 보조제에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 그 대표주자가 바로 카르노신이다. 카르노신은 β -alanine과 histidine, 그리고 이 2개 아미노산이 펩타이드 결합으로 이루어진 dipeptide이며, 골격근에 높은 농도로 존재하고 있다(Harris et al., 2006). 카르노신은 근육 완충제 중 하나로서 운동 중 생성되는 H^+ 을 제거하고 pH의 감소를 완충함으로써 운동선수의 경기력 향상에 효과가 있는 것으로 보고되었다(Ducker et al., 2013).

카르노신은 고기나 생선을 통해 섭취할 수 있으며 (Abe, 2000), 일반적인 식사에서 하루에 약 50~300 mg 섭취된다(Baguet et al., 2009). 그러나 카르노신은 카르노시나아제 효소(carnosinase enzyme)에 의하여 위장기관에서 β -alanine과 histidine으로 대부분 가수 분해된다(Artioli et al., 2010). 근육에서 카르노신이 재합성되기 위해서는 β -alanine과 histidine이 모두 필요하지만, 근육 내 histidine의 농도는 높은 반면 β -alanine의 농도는 매우 낮기 때문에 근육 내에서 카르노신을 재합성시키기 위해서는 β -alanine의 섭취를 늘려야 하는 것이다(Artioli et al., 2010). 4주간 β -alanine 3.2 g을 섭취하였을 때 카르노신 농도가 약 42%가 증가된 것으로 보아 β -alanine 섭취는 카르노신 농도를 증가시키는 것으로 보고되었다(Harris et al., 2006).

이상에서 살펴본 기전을 근거로 하여, 운동선수를 대상으로 β -alanine 섭취의 효과를 규명한 연구가 광범위하게 수행되어 왔다. β -alanine의 섭취는 장시간 동안 이루어지는 운동 중 피로를 지연시키고(Smith et

al., 2009), 근지구력을 향상시키는 것(Derave et al., 2007)으로 보고되었다. 국내에서는 β -alanine의 효과를 검증한 연구가 매우 제한적이며(김효정 등, 2005), 특히 장시간에 걸쳐 유산소성 운동능력과 반복적인 무산소성 운동능력을 복합적으로 요구하는 축구선수를 대상으로 한 연구는 거의 전무한 실정이다.

카르노신의 합성을 증가시키는 β -alanine을 섭취하는 경우 운동 중 발생하는 대사 부산물인 H^+ 을 효과적으로 제거하고, pH가 떨어져 대사성 산증이 초래되는 것을 예방하며, 근피로를 완화하여 체력을 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다. 이에 본 연구에서는 4주간의 β -alanine 섭취가 중학교 축구선수의 신체구성, 유산소성 운동능력, 무산소성 운동능력, 등속성 근기능, 그리고 혈중 젖산농도에 미치는 영향을 규명하고자 하였다.

연구방법

연구대상자

본 연구의 대상자는 S시에 소재한 S중학교 축구선수 20명이었다. 이들은 축구 경력이 2년 이상인 14~15세 선수로 6개월 이내에 부상이 없는 자들이었다. 이들을 β -alanine 집단(BA)과 placebo 집단(P)에 10명씩 무선할당(random assignment)하여 이중맹검(double blind)으로 실험을 진행하였으며, 선수 1명이 중도 탈락하여 총 19명의 결과를 최종분석에 포함하였다(표 1). 모든 대상자에게 연구의 목적과 절차를 설명하고 자발적으로 참여하고자 하는 자로부터 부모의 허락을 거쳐 검사동의서를 받았으며, 이들이 미성년자임을 고려하여 지도자의 동의서까지 받은 후 연구를 실시하였다. 모든 대상자는 4주의 처치기간 동안 합숙생활을 하였고, 기타 영양제의 섭취를 제한하면서 영양성분이 동일한 식사를 하였으며, 팀 훈련량을 두 집단 간에 동질화 시켰다. 월,

표 1. 연구대상자의 신체적 특성 (mean \pm SE)

변인	BA (n=10)	P (n=9)	P
연령(세)	14.00 \pm 0.0	14.11 \pm 0.11	.305
신장(cm)	162.76 \pm 3.41	165.43 \pm 2.17	.527
체중(kg)	52.69 \pm 3.27	53.06 \pm 3.06	.936
운동경력(개월)	31.20 \pm 6.18	27.33 \pm 5.84	.655

BA: β -alanine 집단, P: placebo 집단

수, 금요일에는 90분간(스트레칭 15분, 근력운동 20분, 축구기술훈련 25분, 그리고 축구전술훈련 30분) 운동하였고, 화요일과 목요일에는 150분간(스트레칭 30분, 근력운동 40분, 축구기술훈련 50분, 그리고 축구전술훈련 30분) 운동하였으며, 개인 운동은 통제하였다.

검사항목과 방법

본 연구에서 검사한 항목은 다음과 같다. 검사는 체격과 신체구성 검사, 윙게이트 검사(Wingate test), 등속성 근기능 검사, 그리고 최대운동부하검사 순으로 실시하였으며, 검사 간 최소 1시간 이상의 휴식을 두어 전의 검사가 다음 검사에 미치는 영향을 극소화 하도록 하였다. 검사 후 5분간 스트레칭을 하였고, 그 이후 다음 검사 시작 시점까지 앉아 휴식을 취하도록 하였다.

체격과 신체구성

신장은 수동식 일반 신장계(Takei Scientific Ins Co., 일본)를 이용하여 측정하였고, 체중은 전자식 지시저울(CAS-150kg, DW-150, 한국)을 이용하여 측정하였다. 신체구성은 생체전기저항분석(bioelectrical impedance analysis, X-Scan plus II, Jawon Medical, 한국) 방법으로 측정하였으며, 측정 변인은 체지방량(kg), 체지방률(kg), 그리고 체지방률(%)이었다.

유산소성 운동능력

최대운동부하검사를 실시하여 최대산소섭취량(VO_{2max}), 탈진 시까지 소요된 시간인 탈진시간(exhaustion time), 그리고 환기역치(VE_{AT})를 측정하였다. 이 검사를 실시하기 위하여 트레드밀(STEX8100TD, 한국), 호흡가스 분석기(UTIMATM CPX, MedGraphics, 미국), 그리고 심박수 측정기(Polar, 핀란드)를 사용하였다. 최대운동부하검사 방법은 Bruce protocol을 적용하여 진행하였으며(Bruce et al., 1973), 최대운동부하검사의 성립기준은 첫째, 운동부하가 증가되어도 산소섭취량이 증가되지 않는 경우, 둘째, 나이에 의해 추정된 최대심박수의 90%를 넘은 경우, 셋째, 호흡교환율(respiratory exchange ratio: RER)이 1.15 이상인 경우, 넷째, 운동자각도(ratings of perceived exertion: RPE)가 19 이상인 경우 중 3가지 이상이 충족된 경우로 하였다.

무산소성 운동능력

자전거 에르고메터(Monark, 스웨덴)를 이용하여 체중 당 0.075 kp의 부하를 적용하면서 30초간 윙게이트 검사를 실시하였다. 검사 후 최대파워, 체중당 최대파워, 그리고 평균파워를 다음과 같이 산출하였다.

- 최대파워(W): 5초간 최고 회전수 × (체중 × kp) × 11.765
- 체중당 최대파워(W/kg): 최대파워 ÷ 체중
- 평균파워(W): 평균 회전수 × (체중 × kp) × 11.765

등속성 근기능

슬관절의 근력과 근지구력을 측정하기 위하여 등속성 근기능 측정장비인 Cybex 770(미국)을 이용하였다. 측정 시 검사자는 대상자가 최대한 신전 및 굴곡 운동을 하도록 유도하였다. 근력은 각속도 $60^{\circ} \cdot \text{sec}^{-1}$ 에서 5회 측정하였고, 근지구력은 각속도 $240^{\circ} \cdot \text{sec}^{-1}$ 에서 25회 측정하였으며, 두 각속도에서 측정한 체중당 최대 회전력(peak torque per body weight)과 체중당 총일량(total work per body weight)을 제시하였다.

혈중 젖산농도

최대운동부하검사를 시작하기 전 안정 시, 최대운동부하검사 중, 검사종료 직후, 회복기 5분, 그리고 회복기 10분에 finger tip 방법으로 채혈을 하였다. Marques-Neto et al.(2012)의 연구에 근거하여 최대운동부하검사 중 채혈은 Bruce protocol의 3단계 시작 후 2분이 되는 동일한 시점(운동시작 후 8분)에서 실시하였다. 그리고 자동 젖산분석기(YSI 1500, 미국)로 혈중 젖산농도를 분석하였다.

β -alanine 섭취 방법

β -alanine의 섭취 기간을 선행연구(Sale et al., 2012)에 근거하여 4주로 설정하였다. β -alanine의 섭취량을 정하기 위하여 Van Thienen et al.(2009)의 연구를 참고하였다. 1~2주에는 일일 2 g을, 그리고 3~4주에는 일일 3 g을 섭취하였으며, 분말 가루인 β -alanine(Now Food Co., 미국)을 젤라틴 캡슐에 넣어 섭취하도록 하였다. 또한, Jordan et al.(2010)의 연구를 근거로 β -alanine 섭취 시점을 식사 후로 하였으며, 일일 섭취량을 아침, 점심, 저녁에 1/3씩 나누어

자발적으로 섭취하도록 하였다. β -alanine 섭취의 부작용으로 '손발이 저리는 증상'이 보고된 바 있으나 (Artioli et al., 2010), 본 연구에서는 β -alanine 섭취와 관련된 부작용이 나타나지 않았다.

한편, placebo 집단은 동일한 젤라틴 캡슐에 옥수수 가루(maltodextrin)를 넣어 동일한 시점에 섭취하도록 하였다. 복용 여부를 확인하기 위하여 모든 대상자에게 섭취 기록표를 작성하도록 하였으며, 두 집단의 복용률은 86.4%로 나타났다.

자료처리 방법

본 연구에서 얻은 자료를 SPSS PC⁺ (version 21.0) 로 분석하였다. 두 집단별로 각 종속변인의 기술 통계량을 제시하기 위하여 평균(mean)과 표준오차(standard error of mean: SE)를 산출하였다. 두 집단 간, 그리고 두 검사 간 종속변인의 차이를 반복 이원 변량분석(two-way ANOVA with repeated measures)으로 검증하였다. 집단의 주효과와 검사의 주효과 또는 집단과 검사의 상호작용이 유의하게 나타난 경우, 각 집단 내 두 검사 간 차이는 종속 t-검정으로, 그

표 2. 신체구성의 변화 (mean±SE)

변인	집단	사전검사	사후검사	$\Delta\%$	P
신장 (cm)	BA	162.76±3.41	163.07±3.38	0.19	G .497
					T .000 +++
	P	165.43±2.17	166.11±2.09	0.41*	G×T .105
체중 (kg)	BA	52.69±3.27	52.20±3.31	-0.93	G .850
					T .985
	P	53.06±3.06	53.56±2.92	0.94	G×T .080
체지방량 (kg)	BA	46.05±2.38	46.45±2.52	0.87	G .815
					T .002 ++
	P	46.52±2.13	47.52±2.06	2.15*	G×T .141
체지방률 (%)	BA	6.64±1.07	5.75±0.89	-13.40*	G .950
					T .002 ++
	P	6.54±1.15	6.03±1.08	-7.80	G×T .328
체지방률 (%)	BA	12.03±1.46	10.52±1.17	-12.55*	G .964
					T .001 ++
	P	11.84±1.43	10.88±1.37	-8.11	G×T .378

BA: β -alanine 집단, P: placebo 집단, G: group(집단), T: test(검사);
* p<.05: 사전·사후 검사 간에 통계적으로 유의한 차이가 있는 것을 의미

++p<.01; +++p<.001: 주효과 또는 상호작용

리고 각 검사 내 두 집단 간 차이는 독립 t-검정으로 분석하였다. 모든 통계 분석을 위한 유의수준(α)을 0.05로 설정하였으며, t검정의 경우 Bonferroni correction을 적용하였다.

연구결과

신체구성

신장, 체지방량, 체지방률, 그리고 체지방률에서 검사의 주효과가 유의하게 나타났다. β -alanine 집단에서 체지방량과 체지방률이 유의하게 감소되었으며, placebo 집단에서 신장과 체지방량이 유의하게 증가되었다(표 2).

유산소성 운동능력

탈진시간, VO_{2max} , 그리고 환기역치 모두 두 집단에서 유의한 변화가 나타나지 않았다(표 3).

표 3. 유산소성 운동능력의 변화 (mean±SE)

변인	집단	사전검사	사후검사	$\Delta\%$	P
탈진시간 (sec)	BA	832.00±23.14	852.50±23.38	2.46	G .954
					T .587
	P	842.32±19.63	838.89±26.19	-0.41	G×T .448
VO_{2max} ($ml \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$)	BA	62.79±2.51	67.36±2.46	7.28	G .734
					T .006 ++
	P	65.23±1.82	67.04±2.18	2.77	G×T .197
환기역치 ($L \cdot min^{-1}$)	BA	34.79±4.05	34.32±2.12	-1.35	G .649
					T .280
	P	38.87±3.08	33.50±2.69	-13.82	G×T .362

BA: β -alanine 집단, P: placebo 집단, G: group(집단),

T: test(검사);

++p<.01: 주효과 또는 상호작용

무산소성 운동능력

평균파워에서 검사의 주효과가 유의하게 나타났으며, β -alanine 집단의 평균파워가 유의하게 증가되었다(표 4).

등속성 근기능

$60^\circ \cdot sec^{-1}$ 에서 얻은 체중당 최대 회전력의 경우 모든

표 4. 윙게이트 검사의 변화 (mean±SE)

변인	집단	사전검사	사후검사	Δ%	P
최대파워 (W)	BA	457.19±33.34	508.96±39.76	11.32	G .795
					T .088
	P	459.96±47.01	477.42±43.13	3.80	G×T .383
체중당 최대파워 (W·kg ⁻¹)	BA	8.66±0.34	9.73±0.37	12.36	G .434
					T .067
	P	8.62±0.67	8.85±0.47	2.67	G×T .220
평균파워 (W)	BA	363.94±28.77	418.91±30.63	15.10*	G .628
					T .001 ++
	P	354.02±26.59	389.72±29.42	10.08	G×T .385

BA: β-alanine 집단, P: placebo 집단; G: group(집단), T: test(검사); *p<.05: 사전·사후 검사 간에 통계적으로 유의한 차이가 있는 것을 의미
++p<.01: 주효과 또는 상호작용

표 5. 체중당 최대 회전력의 변화 (mean±SE)

변인	집단	사전검사	사후검사	Δ%	P
사용발 슬관절신전 60°·sec ⁻¹ (%BW)	BA	301.17±14.02	314.22±17.00	4.33	G .521
					T .644
	P	295.89±17.98	290.89±19.04	-1.69	G×T .306
사용발 슬관절굴곡 60°·sec ⁻¹ (%BW)	BA	181.07±6.10	189.84±8.14	4.84	G .549
					T .146
	P	176.00±10.61	182.67±6.89	3.79	G×T .837
디딤발 슬관절신전 60°·sec ⁻¹ (%BW)	BA	301.62±13.49	324.25±22.13	7.50	G .655
					T .309
	P	275.33±11.71	267.22±15.23	-2.95	G×T .509
디딤발 슬관절굴곡 60°·sec ⁻¹ (%BW)	BA	180.65±6.28	185.77±8.13	2.83	G .539
					T .179
	P	174.00±8.77	180.67±6.44	3.83	G×T .856
사용발 슬관절신전 240°·sec ⁻¹ (%BW)	BA	170.64±9.81	201.53±5.74	18.10**	G .892
					T .006 ++
	P	182.89±11.01	186.22±9.69	1.82	G×T .023 +
사용발 슬관절굴곡 240°·sec ⁻¹ (%BW)	BA	141.42±6.38	152.45±7.36	7.80	G .879
					T .023 +
	P	143.00±5.52	148.33±5.91	3.73	G×T .396
디딤발 슬관절신전 240°·sec ⁻¹ (%BW)	BA	171.30±5.12	198.62±8.10	15.95***	G .655
					T .000 +++
	P	170.67±8.91	191.22±9.38	12.04	G×T .509
디딤발 슬관절굴곡 240°·sec ⁻¹ (%BW)	BA	146.57±3.41	149.48±4.61	1.99	G .118
					T .467
	P	138.33±4.82	139.67±4.59	0.97	G×T .785

BA: β-alanine 집단, P: placebo 집단; G: group(집단), T: test(검사); **p<.01, ***p<.001: 사전·사후 검사 간에 통계적으로 유의한 차이가 있는 것을 의미
+p<.05; ++p<.01; +++p<.001: 주효과 또는 상호작용

표 6. 체중당 총일량의 변화 (mean±SE)

변인	집단	사전검사	사후검사	Δ%	P
사용발 슬관절신전 60°·sec ⁻¹ (%BW)	BA	946.60±42.78	994.20±65.74	5.03	G .546
					T .652
	P	934.78±60.01	926.22±62.26	-0.92	G×T .518
사용발 슬관절굴곡 60°·sec ⁻¹ (%BW)	BA	649.30±30.85	660.96±47.81	1.80	G .502
					T .579
	P	612.78±43.37	634.78±30.72	3.59	G×T .864
디딤발 슬관절신전 60°·sec ⁻¹ (%BW)	BA	926.14±48.30	1,034.97±78.55	11.75	G .052
					T .195
	P	899.33±47.89	875.33±46.43	-2.67	G×T .050
디딤발 슬관절굴곡 60°·sec ⁻¹ (%BW)	BA	645.08±40.56	680.88±33.53	5.55	G .662
					T .354
	P	638.22±35.90	651.33±26.71	2.05	G×T .664
사용발 슬관절신전 240°·sec ⁻¹ (%BW)	BA	2,610.87±152.88	3,010.81±108.93	15.32*	G .828
					T .221
	P	2,918.67±116.86	2,758.11±115.28	-5.50	G×T .009 ++
사용발 슬관절굴곡 240°·sec ⁻¹ (%BW)	BA	1,948.29±86.11	2,084.51±66.25	6.99	G .329
					T .850
	P	2,162.78±103.00	2,056.11±93.24	-4.93	G×T .133
디딤발 슬관절신전 240°·sec ⁻¹ (%BW)	BA	2,620.60±114.85	2,986.82±170.17	13.97*	G .639
					T .001 ++
	P	2,739.67±182.53	2,027.56±137.05	10.51	G×T .651
디딤발 슬관절굴곡 240°·sec ⁻¹ (%BW)	BA	2,017.49±111.76	2,064.31±93.78	2.32	G .803
					T .786
	P	2,073.33±104.44	2,069.00±114.43	-0.21	G×T .744

BA: β-alanine 집단, P: placebo 집단; G: group(집단), T: test(검사); *p<.05: 사전·사후 검사 간에 통계적으로 유의한 차이가 있는 것을 의미
++p<.01: 주효과 또는 상호작용

변인에서 유의한 변화가 나타나지 않았다. 240°·sec⁻¹에서 얻은 체중당 최대 회전력의 경우, 사용발과 디딤발 모두 슬관절 신전 시 β-alanine 집단에서 유의하게 증가되었다(표 5).

60°·sec⁻¹에서 얻은 체중당 총일량은, 모든 변인에서 유의한 변화가 나타나지 않았다. 240°·sec⁻¹에서 얻은 체중당 총일량은 사용발과 디딤발 모두 슬관절 신전 시 β-alanine 집단에서 유의하게 증가되었다(표 6).

혈중 젖산농도

최대운동부하검사 직후 집단의 주효과가 유의하게 나타났다. 검사 직후, 회복기 5분, 그리고 회복기 10분의

혈중 젖산농도의 증가율이 β -alanine 집단에서 placebo 집단에 비하여 더 크게 나타났다(표 7).

표 7. 혈중 젖산농도의 변화 (mean \pm SE)

변인	집단	사전검사	사후검사	$\Delta\%$		P
안정 시 (mmol/L)	BA	1.73 \pm 0.28	1.69 \pm 0.18	-2.31	G	.971
					T	.279
	P	1.88 \pm 0.27	1.56 \pm 0.24	-17.02	G \times T	.394
검사 중 (mmol/L)	BA	3.77 \pm 0.42	4.16 \pm 0.37	10.34	G	.434
					T	.460
	P	3.42 \pm 0.40	3.72 \pm 0.68	8.77	G \times T	.910
검사 직후 (mmol/L)	BA	10.63 \pm 0.80	12.61 \pm 1.08	18.63	G	.044 +
					T	.117
	P	9.05 \pm 0.54	9.95 \pm 1.92	9.94	G \times T	.546
회복기 5분 (mmol/L)	BA	8.69 \pm 0.59	10.33 \pm 0.86	18.87	G	.058
					T	.126
	P	7.57 \pm 0.50	7.89 \pm 1.68	4.23	G \times T	.293
회복기 10분 (mmol/L)	BA	6.94 \pm 0.41	8.47 \pm 0.82	22.05	G	.105
					T	.236
	P	6.49 \pm 0.44	6.53 \pm 1.46	0.62	G \times T	.255

BA: β -alanine 집단, P: placebo 집단; G: group(집단),

T: test(검사);

+p<.05: 주효과 또는 상호작용

논 의

신체구성의 변화

β -alanine 섭취는 에너지 대사 과정에서 발생하는 H^+ 을 중화시켜 피로를 지연시킨다. 따라서 운동량이 늘어나고 탈진까지의 시간이 증가되어 지방 산화에 긍정적인 효과가 있는 것으로 보고되었다(Quesnele et al., 2014). 본 연구에서는 β -alanine 섭취가 신체구성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 체지방량, 체지방률, 그리고 체지방률을 측정하였다.

Hoffman et al.(2006)은 대학미식축구 선수를 대상으로 10주간 creatine과 β -alanine의 복합 섭취와 저항훈련을 실시한 결과 체지방량이 증가되고 체지방률이 감소되었다고 보고하였다. Kern & Robinson (2011)은 레슬링선수와 미식축구선수를 대상으로 8주간 일일 4 g의 β -alanine 섭취와 운동 트레이닝을 병행한 결과 두 종목의 선수 모두 체지방량이 증가되었고, 레슬링선수의 체지방률이 감소되었다고 보고하였다. 본

연구에서는 4주간의 β -alanine을 섭취시킨 결과 β -alanine 집단의 체지방량과 체지방률이 유의하게 감소되어 선행연구와 일치하였다. 그러나 체지방량의 유의한 증가가 나타나지 않아 선행연구와 차이를 보였는데, 이는 본 연구의 대상자가 선수로서 이미 체지방량이 높은 상태라 변화되기 어려운 상황이었고, 또한 합숙기간 중 실시한 운동이 주로 기술훈련에 초점을 맞추고 있어 체지방량의 유의한 증가를 기대하기는 어려웠던 것으로 사료된다. β -alanine 섭취 자체가 체지방률의 감소와 체지방량의 증가 등 신체구성을 개선에 직접적으로 작용하기는 어렵지만, 운동 트레이닝의 효과를 극대화시키고 훈련 중 운동수행시간을 증가시킴으로써 체지방률의 감소에 일부 공헌할 수 있을 것으로 판단된다.

후속 연구에서는 신체적으로 성장이 완성된 성인 또는 체지방률이 높은 비만인을 대상으로 β -alanine의 섭취를 적용한다면 신체구성에 대한 β -alanine만의 영향을 보다 명확하게 파악할 수 있을 것으로 판단된다.

유산소성 운동능력의 변화

축구선수의 경우 90분간 경기를 진행하기 때문에 유산소성 운동능력은 선수의 경기력과 경기의 승패를 좌우하는 중요한 요소로 나타났다(Meckel et al., 2009). 축구선수에게 있어서 유산소성 운동능력의 향상은 총 이동거리 증가, 활동량과 스프린트 능력 강화, 그리고 볼에 관여하는 빈도의 향상을 유도하는 것으로 보고되었다(Helgerud et al., 2001).

β -alanine 섭취가 유산소성 운동능력에 미치는 영향을 규명한 선행연구를 살펴보면, Smith et al.(2009)은 남자 대학생을 대상으로 6주간, 주 3회, VO_{2max} 의 90~115% 강도로 인터벌 훈련을 실시하면서 일일 3~6 g의 β -alanine을 섭취시킨 결과 VO_{2max} 와 탈진시간이 유의하게 증가되었다고 보고하였다. Ghiasvand et al.(2012)은 남자 대학생을 대상으로 6주간 일일 2 g의 β -alanine을 섭취시킨 결과 VO_{2max} 와 탈진시간이 증가되었다고 보고하였다. 본 연구에서는 VO_{2max} 가 placebo 집단(2.8% 증가)에 비하여 β -alanine 집단(7.3% 증가)에서 더 큰 증가가 나타났지만, 두 집단 모두 통계적으로 유의한 변화는 나타나지 않았다. Smith-Ryan et al.(2013)은 β -alanine 섭취에 따라 VO_{2max} 의 유의한 변화가 없었다고 보고하여 본 연구와 유사하였고, 심지

어 β -alanine 섭취 후 VO_{2max} 가 유의하게 감소된 연구도 있었다(Jordan et al., 2010). VO_{2max} 는 산소 운반 능력 영향을 받기 때문에 호흡계에서 작용하는 완충제의 영향을 직접적으로 받을 수 있지만, 주로 근육에서 합성되는 완충물질인 카르노신의 영향을 받기 어려워 VO_{2max} 의 유의한 증가가 나타나지 않았던 것으로 사료된다.

최대운동부하검사 시 탈진까지 소요된 시간, 즉 탈진 시간에 대한 결과를 살펴보면, del Favero et al. (2012)은 노인을 대상으로 12주간 일일 3.2 g의 β -alanine을 섭취시킨 결과 카르노신 농도가 증가되고 탈진시간이 늘어났다고 보고하였다. Saunders et al. (2012)은 축구선수를 대상으로 12주간 일일 3.2 g의 β -alanine을 섭취시킨 결과 간접적으로 유산소성 운동 능력을 평가하는 셔틀런 기록이 유의하게 향상되었다고 보고하였다. 최대운동부하검사나 셔틀런의 마지막 단계는 무산소성 에너지 대사의 비율이 증가되는 시점으로서 H^+ 이 증가되고 피로가 발생하는 시점이다. β -alanine 섭취는 세포 내 H^+ 완충능력을 향상시켜 운동 지속시간을 증가시킨다는 선행연구(Artioli et al., 2010)를 감안할 때, β -alanine 섭취가 탈진시간의 증가에 직접적으로 영향을 미친 것으로 판단된다. 그러나 본 연구에서 나타난 β -alanine 집단의 탈진시간의 증가가 통계적으로 유의한 수준에 도달하지는 못하였다. 이와 같은 결과는 연구대상자가 고도로 훈련된 축구선수였기 때문에 사전검사 시 이미 체력수준이 높아 변화의 폭이 적을 수밖에 없었기 때문이라고 사료된다. 임길병 등(2013)이 중학교 축구선수의 평균 VO_{2max} 가 $48.72 \pm 6.63 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 이라고 보고한 것에 비하여 본 연구대상자의 VO_{2max} 는 $60 \text{ ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$ 이상으로서 심폐지구력이 매우 우수한 축구선수들이었기 때문에 탈진시간의 유의한 변화가 나타나지 않았다고 판단된다. 그러나 이 결과에서 주목할 점은 탈진시간의 변화가 통계적인 의미보다 현상적인 의미를 내포하고 있다는 점이다. β -alanine 섭취를 통하여 탈진시간이 약 20초 증가된 것은 피로가 누적된 경기의 후반부에서 상대보다 한 발짝 더 움직일 수 있고 불경합에서 우위를 점할 수 있어 승패에 큰 영향을 미칠 가능성이 크다.

한편, 본 연구에서 환기역치(ventilatory threshold: VT)를 측정한 결과, 두 집단 모두에서 유의한 변화가 나타나지 않았다. Stout et al. (2007)은 20대 여성을 대상으로 4주간 일일 3.2~6.4 g의 β -alanine을 섭취시

킨 결과 사이클 최대운동부하검사 중 VT가 증가되었다고 보고하였다. 그러나 Walter et al. (2010)은 20대 여성을 대상으로 6주간 일일 3~6 g의 β -alanine을 섭취시키고 사이클을 이용한 VO_{2max} 의 90~110%에 해당하는 고강도 인터벌 트레이닝을 실시한 결과 VT가 β -alanine 집단, placebo 집단, 그리고 control 집단에서 모두 증가하여 VT의 증가가 β -alanine의 섭취가 아닌 고강도 트레이닝에 기인하였다고 결론을 내렸다.

본 연구에서도 β -alanine 섭취가 VT에 미치는 효과는 유의하게 나타나지 않았다. 일반적으로 운동 중에 발생하는 pH의 감소에 대한 완충을 담당하는 물질 중 가장 큰 비율을 차지하는 것이 중탄산염이다(Juel, 2008). 운동 중 H^+ 이 발생되면 중탄산염과 결합하여 물과 이산화탄소가 생성되고, 이를 내보내기 위하여 과호흡이 발생된다(한진석, 2002). 중탄산염이 H^+ 을 완충하는데 사용된 후 감소되면, 인산염 또는 카르노신에 함유된 단백질 펩타이드가 그 완충 작용을 대신하게 된다(Smith et al., 2009). 따라서 유산소성 운동능력이 뛰어난 축구선수의 경우 VT가 나타나는 시점에서는 중탄산염이 주로 완충작용을 담당하고, β -alanine은 중탄산염이 고갈된 이후 탈진이 되기 전까지 시점에 효과가 있다고 사료된다. 따라서 VT에 대한 β -alanine의 효과가 유의하지 않았던 것으로 해석된다.

무산소성 운동능력의 변화

축구경기 중 발생하는 불경합에서 이기기 위하여 스프린트와 달리기 가속능력이 중요하며, 이는 경기결과에 직접적인 영향을 미친다(Bradley et al., 2010). 즉, 스프린트와 같은 무산소성 운동능력이 축구선수에게 매우 중요한 체력 요소라는 것이다. β -alanine은 카르노신을 증가시켜 고강도 운동 중 발생하는 H^+ 의 축적으로 인한 대사성 산증을 감소시키고 피로를 지연하여 선수의 운동능력을 향상시킬 수 있는 스포츠 보조제로 사용되어 왔기 때문에(Baguet et al., 2010), β -alanine의 섭취에 따라 무산소성 운동능력이 향상될 것으로 기대하였다. 본 연구에서는 β -alanine 섭취에 따른 무산소성 운동능력의 변화를 알아보기 위하여 윙게이트 검사를 실시하였다. 본 연구의 결과 β -alanine 집단의 평균과위가 유의하게 향상된 반면, 최대과위와 체중당 최대과위에서는 유의한 변화가 나타나지 않았다.

김효정 등(2005)은 사이클 선수를 대상으로 12주간 일일 4.8 g의 β -alanine 섭취와 사이클 훈련을 실시한 결과 60초 윙게이트 검사에서 얻은 최대파워와 평균파워는 유의하게 변화되지 않았지만, 30초 이후 후반부의 파워는 β -alanine 집단에서 유의하게 향상되었다고 보고하였다. de Salles Painelli et al.(2014)은 20~30대 남성에게 4주간 일일 6.4 g의 β -alanine을 섭취시킨 후 반복 30초 윙게이트 검사를 실시한 결과 평균파워가 placebo 집단보다 유의하게 증가되었다고 보고하였다. 윙게이트 검사 시 최대파워는 단 시간내 근육에서 발현할 수 있는 최대의 파워로서 주로 ATP-PC 시스템을 반영하는 반면, 평균파워는 파워를 유지시키는 능력으로서 주로 무산소성 해당과정을 반영한다(Bar-Or, 1987). β -alanine의 섭취는 체내에서 카르노신의 재합성을 증가시키고, 그 결과 H⁺의 제거능력과 pH 완충능력을 개선시켜 무산소성 운동능력을 향상시키는 것으로 알려져 있으며, 이는 특히 무산소성 해당작용과 관련있다. 따라서 최대파워보다는 평균파워, 즉 파워를 유지시키는 지구성 능력이 유의하게 향상된 것이라고 해석할 수 있다.

한편, 평균파워를 제외한 다른 변인에서 유의한 변화가 나타나지 않은 다른 이유는 β -alanine의 섭취량으로 설명할 수 있다. β -alanine 섭취에 따라 무산소성 운동능력이 유의하게 향상된 것으로 보고한 선행연구(일일 4.8~6.4 g)에 비하여 본 연구의 β -alanine 섭취량(일일 2~3 g)이 다소 적었다. 후속 연구에서 무산소성 운동능력이 요구되는 스프린트 및 투기종목 선수나 구기종목 선수를 대상으로 일일 섭취량을 6.4 g 이상으로 적용한다면 무산소성 운동능력의 유의한 변화를 유도할 수 있을 것이라고 사료된다.

등속성 근기능의 변화

축구선수는 주로 하지 근육을 사용하며, 경기 중 무릎의 신근과 굴근에 피로가 집중되어 슬관절 부상의 위험이 커지기 때문에(Robineau et al., 2012), 슬관절의 근기능은 축구선수에게 있어서 매우 중요하다. 카르노신은 인체 내 대퇴근육 중 외측 광근에 가장 높은 농도로 약 12~60 mmol·kg⁻¹d.w. 정도 존재하여(Sale et al., 2013), 고강도 운동 시 하지 근육에 발생하는 H⁺을 완충하는 역할을 한다.

축구경기에서 승패와 직결되는 킥 동작에 있어서 각근력이 가장 중요한 체력 요인이며, 각근력은 주로 등속성 근기능을 측정함으로써 평가된다(이용수, 이용진, 1999). 본 연구에서는 근력을 평가하기 위하여 각속도 60°·sec⁻¹에서, 그리고 근지구력을 평가하기 위하여 240°·sec⁻¹에서 사용발과 디딤발의 신전 및 굴곡 등속성 근기능을 측정하였다. 체중당 최대 회전력과 체중당 총일량 모두, 각속도 60°·sec⁻¹의 모든 변인에서 유의한 변화가 나타나지 않았고, 사용발과 디딤발 모두 슬관절 신전 240°·sec⁻¹이 β -alanine 집단에서 유의하게 증가되었다. 즉, β -alanine을 섭취한 결과 대체적으로 근력이 아닌 근지구력이 향상되었으며, 특히 굴곡이 아닌 신전시 근지구력에서 효과가 나타난 것이다.

Kendrick et al.(2008)은 20대 남성을 대상으로 4주간 일일 6.4 g의 β -alanine을 섭취시킨 결과 등속성 근력을 평가하는 90°·sec⁻¹ 기록의 유의한 변화가 나타나지 않았다. 이는 본 연구에서 실시한 각속도 60°·sec⁻¹ 근력의 결과와 일치한다. β -alanine은 histidine과 결합하여 카르노신 농도를 증가시키는 역할을 한다. 증가된 카르노신은 H⁺을 중화시켜 pH를 일정 수준으로 유지시켜 근피로를 지연한다. H⁺이 최대로 축적되는 시점은 고강도 운동 후 약 4분으로 이 시점에 혈중 젖산농도가 가장 높고 pH는 가장 낮다고 보고되었다(Osnes & Hermansen, 1972). 또한, Hobson et al.(2012)은 60초 이내의 운동에서 β -alanine 효과가 없었으며, 60초~4분 및 4분 이상의 운동에서 유의한 효과가 있다고 보고하였다. 따라서 반복횟수가 적고 H⁺이 축적되기 전인 최대 근력 측정에서 β -alanine의 효과는 없었던 것으로 판단된다.

그러나 반복적인 운동을 수행하는 근지구력에 대한 β -alanine 섭취의 효과는 큰 것으로 나타났다. 김효정 등(2005)은 남자 사이클 선수를 대상으로 12주간 일일 4.8 g의 β -alanine 섭취시킨 결과 240°·sec⁻¹의 총일량이 유의하게 향상되었다고 보고하였다. Howe et al.(2013)은 사이클 선수를 대상으로 4주간 일일 β -alanine 섭취량을 65 mg·kg⁻¹로 설정하여 섭취시킨 결과 180°·sec⁻¹에서 30회 실시하여 얻은 평균파워와 피로율이 유의하게 개선되었고, 총일량이 증가되는 경향이 나타났다.

카르노신은 근육 내 약 8~15%로 존재하며, 카르노신 함량은 근섬유의 형태에 따라 Type I < Type IIa <

Type IIx 순으로 나타나고 있다(Harris et al., 2012). Type II에서 카르노신은 총 완충작용의 45%를 담당할 수 있다고 보고되었다(Abe, 2000). 본 연구에서는 각속도 $240^{\circ} \cdot \text{sec}^{-1}$ 에서 Type II가 동원되는 빠른 수축력을 오래 유지하는 능력을 평가하였다. 본 연구에서 카르노신의 농도를 직접 확인할 수는 없었지만, β -alanine 섭취에 따른 Type II의 완충능력이 증가되어 선수들의 퍼포먼스가 향상되었을 것으로 판단된다.

혈중 젖산농도의 변화

본 연구에서는 β -alanine 섭취가 최대운동부하검사 전 안정 시, 검사 중, 검사 직후, 회복기 5분, 그리고 회복기 10분에 측정된 혈중 젖산농도에 미치는 영향을 알아보았다. 선행연구에서 운동 전과 후에 측정된 혈중 젖산농도가 β -alanine 섭취에 따라 유의하게 변화되지 않는 것으로 보고되었다(Howe et al., 2013). 그리고 운동 후 회복기 시점에서 측정된 혈중 젖산농도 또한 β -alanine 섭취에 따라 유의하게 변화되지 않았다(Baguet et al., 2010). β -alanine의 섭취는 카르노신을 증가시켜 H^+ 을 중화시키는 것이 주된 작용이기 때문에 화합물인 젖산 자체의 변화를 가져오는 것은 아니라고 판단된다.

그러나 본 연구의 결과를 보면, 최대운동부하검사 직후와 회복기 중 혈중 젖산농도가 β -alanine 집단에서만 18.63~22.05% 증가된 것으로 나타났는데, 이는 β -alanine의 섭취를 통하여 최대운동능력이 향상되어 더 오래, 더 높은 강도까지 운동할 수 있게 되었다는 것을 의미한다. Derave et al.(2007)은 4주간 단거리 달리기 선수를 대상으로 일일 4.8 g의 β -alanine을 섭취시킨 결과 400m 달리기 직후 혈중 젖산농도가 증가되고 기록이 단축되었다고 보고하였다. Tobias et al.(2013)은 투기종목 선수를 대상으로 4주간 일일 6.4 g의 β -alanine을 섭취시킨 결과 상체 윙게이트 검사 직후 혈중 젖산농도가 사전검사보다 더 높게 측정되었고, 운동량과 평균파워의 향상이 나타났다고 보고하였다.

β -alanine 섭취는 운동 중 발생하는 H^+ 을 중화시켜 체내 pH가 감소되는 것을 막아줌으로써 에너지 생산에 필요한 효소 활동성이 유지되도록 도와준다. 이와 같은 작용으로 해당과정을 보다 더 오래 유지시켜주기 때문에

활동량이 증가되어 결국 혈중 젖산농도가 높게 나타난 것이라고 보고되었다(Jagim et al., 2013). 본 연구에서 실시한 최대운동부하검사 시, $\text{VO}_{2\text{max}}$ 의 55~70%가 되면 산소공급이 불충분해지기 때문에 이를 보상하기 위하여 해당과정으로부터 에너지가 생산된다(이용수, 하민수, 2001). 이 시점부터 증가되는 H^+ 을 카르노신이 중화시켜 pH 변화에 민감한 효소작용을 원활하게 유지시킨다. 이는 해당과정이 β -alanine 섭취 전보다 많이 동원되어 운동량이 늘어났기 때문에 혈중 젖산농도가 증가되었다는 것을 의미한다. 본 연구에서 실시한 최대운동부하검사의 탈진시간을 보면 통계적으로 유의하지는 않았지만 placebo 집단에 비하여 β -alanine 집단의 탈진시간이 더 길어졌다는 것이 이를 뒷받침 한다고 볼 수 있다.

결론

본 연구의 목적은 4주간의 β -alanine 섭취가 중학교 축구선수의 신체구성, 유산소성 운동능력, 무산소성 운동능력, 등속성 근기능, 그리고 혈중 젖산농도에 미치는 영향을 규명하는 것이었다. 본 연구에서 얻은 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. β -alanine 집단에서 체지방량과 체지방률이 유의하게 감소되었다.
2. 두 집단 모두에서 유산소성 운동능력과 관련된 모든 변인이 유의하게 변화되지 않았다.
3. β -alanine 집단에서 무산소성 운동능력 중 평균과위가 유의하게 증가되었다.
4. β -alanine 집단에서 신전 시 등속성 근지구력이 유의하게 향상되었다.
5. 혈중 젖산농도는 β -alanine 집단과 placebo 집단에서 유의한 변화가 나타나지 않았으나, 최대운동부하검사 직후와 회복기 중 β -alanine 집단에서 placebo 집단보다 더 증가되는 경향이 나타났다.

이상의 결과를 종합해 보면, 4주간의 β -alanine 섭취가 중학교 축구선수의 체지방률 감소, 무산소성 운동능력의 향상, 그리고 근지구력의 향상에 도움이 되는 것으로 결론지을 수 있다.

참고문헌

- 김효정, 손희정, 이용우, 김창근(2005). 사이클 선수에 대한 β -alanine 보충이 12주간의 복합트레이닝에 따른 운동 능력과 근세포 변화에 미치는 영향. *운동과학*, 14(4), 515-523.
- 이만균, 남상석(2007). *축구생리학*. 서울: 대한미디어.
- 이용수, 이용진(1999). 청소년기 축구선수의 등속성 근력 비교. *한국체육과학회지*, 8(1), 563-572.
- 이용수, 하민수(2001). 청소년기 축구선수들의 체격 및 체력 요인별 발달에 관한 종단적 연구. *한국체육과학회지*, 40(1), 223-234.
- 임길병, 문정화, 이지형(2013). 중학교 축구선수의 포지션별 심폐지구력 비교와 운동 손상. *대한스포츠의학회지*, 31(2), 63-68.
- 한진석(2002). 대사성 산증 및 알칼리증의 해석. *대한중환자 의학회지*, 17(2), 75-86.
- Abe, H. (2000). Role of histidine-related compounds as intracellular proton buffering constituents in vertebrate muscle. *Biochemistry*, 65(7), 757-765.
- Artioli, G. G., Gualano, B., Smith, A., Stout, J., & Lancha, A. H. Jr. (2010). Role of beta-alanine supplementation on muscle carnosine and exercise performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 46(2), 1162-1173.
- Baguet, A., Reyngoudt, H., Pottier, A., Everaert, I., Callens, S., Achten, E., & Derave, W. (2009). Carnosine loading and washout in human skeletal muscles. *Journal of Applied Physiology*, 106(3), 837-842.
- Baguet, A., Koppo, K., Pottier, A., & Derave, W. (2010). Beta-alanine supplementation reduces acidosis but not oxygen uptake response during high-intensity cycling exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 108(3), 495-503.
- Bangsbo, J., Mohr, M., & Krstrup, P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *Journal of Sports Sciences*, 24(7), 665-674.
- Bar-Or, O. (1987). The Wingate anaerobic test. An update on methodology, reliability and validity. *Sports Medicine*, 4(6), 381-394.
- Bradley, P. S., Di Mascio, M., Peart, D., Olsen, P., & Sheldon, B. (2010). High-intensity activity profiles of elite soccer players at different performance levels. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(9), 2343-2351.
- Bruce, R. A., Kusumi, F., & Hosmer, D. (1973). Maximal oxygen intake and nomographic assessment of functional aerobic impairment in cardiovascular disease. *American Heart Journal*, 85(4), 546-562.
- Comfort, P., Stewart, A., Bloom, L., & Clarkson, B. (2014). Relationships between strength, sprint and jump performance in well trained youth soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(1), 173-177.
- Culbertson, J. Y., Kreider, R. B., Greenwood, M., & Cooke, M. (2010). Effects of beta-alanine on muscle carnosine and exercise performance: a review of the current literature. *Nutrients*, 2(1), 75-98.
- De Salles Painelli, V., Saunders, B., Sale, C., Harris, R. C., Solis, M. Y., Roschel, H., Gualano, B., Artioli, G. G., & Lancha, A. H. Jr. (2014). Influence of training status on high-intensity intermittent performance in response to β -alanine supplementation. *Amino Acids*, 46(5), 1207-1215.
- Del Favero, S., Roschel, H., Solis, M. Y., Hayashi, A. P., Artioli, G. G., Otaduy, M. C., Benatti, F. B., Harris, R. C., Wise, J. A., Leite, C. C., Pereira, R. M., de Sá-Pinto, A. L., Lancha-Junior, A. H., & Gualano, B. (2012). Beta-alanine (Carnosyn™) supplementation in elderly subjects (60-80 years): effects on muscle carnosine content and physical capacity. *Amino Acids*, 43(1), 49-56.
- Derave, W., Ozdemir, M. S., Harris, R. C., Pottier, A., Reyngoudt, H., Koppo, K., Wise, J. A., & Achten, E. (2007). Beta-Alanine supplementation augments muscle carnosine content and attenuates fatigue during repeated isokinetic contraction bouts in trained sprinters. *Journal of Applied Physiology*, 103(5), 1736-1743.
- Derave, W., Everaert, I., Beeckman, S., & Baguet, A. (2010). Muscle carnosine metabolism and beta-alanine supplementation in relation to exercise and training. *Sports Medicine*, 40(3), 247-263.
- Ducker, K. J., Dawson, B., & Wallman, K. E. (2013). Effect of beta-alanine supplementation on 2000-m rowing-ergometer performance. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 23(4), 336-343.
- Ghiasvand, R., Askari, G., Malekzadeh, J., Hajishafiee, M., Daneshvar, P., Akbari, F., & Bahreynian, M. (2012). Effects of six weeks of β -alanine administration on VO₂max, time to exhaustion and lactate concentrations in physical education students. *International Journal of Preventive Medicine*, 3(8), 559-563.
- Harris, R. C., Tallon, M. J., Dunnett, M., Boobis, L., Coakley, J., Kim, H. J., Fallowfield, J. L., Hill, C. A., Sale, C., & Wise, J. A. (2006). The absorption of orally supplied

- beta-alanine and its effect on muscle carnosine synthesis in human vastus lateralis. *Amino Acids*, 30(3), 279-289.
- Harris, R. C., Wise, J. A., Price, K. A., Kim, H. J., Kim, C. K., & Sale, C. (2012). Determinants of muscle carnosine content. *Amino Acids*, 43(1), 5-12.
- Helgerud, J., Engen, L. C., Wisloff, U., & Hoff, J. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 33(11), 1925-1931.
- Hobson, R. M., Saunders, B., Ball, G., Harris, R. C., & Sale, C. (2012). Effects of β -alanine supplementation on exercise performance: a meta-analysis. *Amino Acids*, 43(1), 25-37.
- Hoffman, J., Ratamess, N., Kang, J., Mangine, G., Faigenbaum, A., & Stout, J. (2006). Effect of creatine and beta-alanine supplementation on performance and endocrine responses in strength/power athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 16(4), 430-446.
- Howe, S. T., Bellinger, P. M., Driller, M. W., Shing, C. M., & Fell, J. W. (2013). The effect of beta-alanine supplementation on isokinetic force and cycling performance in highly trained cyclists. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 23(6), 562-570.
- Jagim, A. R., Wright, G. A., Brice, A. G., & Doberstein, S. T. (2013). Effects of beta-alanine supplementation on sprint endurance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27(2), 526-532.
- Jordan, T., Lukaszuk, J., Mistic, M., & Umoren, J. (2010). Effect of beta-alanine supplementation on the onset of blood lactate accumulation (OBLA) during treadmill running: Pre/post 2 treatment experimental design. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 1-7.
- Juel, C. (2008). Regulation of pH in human skeletal muscle: adaptations to physical activity. *Acta Physiologica*, 193(1), 17-24.
- Kendrick, I. P., Harris, R. C., Kim, H. J., Kim, C. K., Dang, V. H., Lam, T. Q., Bui, T. T., Smith, M., & Wise, J. A. (2008). The effects of 10 weeks of resistance training combined with beta-alanine supplementation on whole body strength, force production, muscular endurance and body composition. *Amino Acids*, 34(4), 547-554.
- Kern, B. D. & Robinson, T. L. (2011). Effects of β -alanine supplementation on performance and body composition in collegiate wrestlers and football players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(7), 1804-1815.
- Krustrup, P., Mohr, M., Steensberg, A., Bencke, J., Kjaer, M., & Bangsbo, J. (2006). Muscle and blood metabolites during a soccer game: implications for sprint performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 38(6), 1165-1174.
- Marques-Neto, S. R., Maior, A. S., Maranhão Neto, G. A., & Santos, E. L. (2012). Analysis of heart rate deflection points to predict the anaerobic threshold by a computerized method. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(7), 1967-1974.
- Meckel, Y., Machnai, O., & Eliakim, A. (2009). Relationship among repeated sprint tests, aerobic fitness, and anaerobic fitness in elite adolescent soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(1), 163-169.
- Mohr, M., Krustrup, P., & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *Journal of Sports Sciences*, 21(7), 519-528.
- Osnes, J. B., & Hermansen, L. (1972). Acid-base balance after maximal exercise of short duration. *Journal of Applied Physiology*, 32(1), 59-63.
- Quesnele, J. J., Laframboise, M. A., Wong, J. J., Kim, P., & Wells, G. D. (2014). The effects of beta alanine supplementation on performance: a systematic review of the literature. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 24(1), 14-27.
- Robineau, J., Jouaux, T., Lacroix, M., & Babault, N. (2012). Neuromuscular fatigue induced by a 90-minute soccer game modeling. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(2), 555-562.
- Sale, C., Hill, C. A., Ponte, J., & Harris, R. C. (2012). β -alanine supplementation improves isometric endurance of the knee extensor muscles. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 1-7.
- Sale, C., Artioli, G. G., Gualano, B., Saunders, B., Hobson, R. M., & Harris, R. C. (2013). Carnosine: from exercise performance to health. *Amino Acids*, 44(6), 1477-1491.
- Saunders, B., Sunderland, C., Harris, R. C., & Sale, C. (2012). β -alanine supplementation improves YoYo intermittent recovery test performance. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 9(1), 39.
- Smith, A. E., Walter, A. A., Graef, J. L., Kendall, K. L., Moon, J. R., Lockwood, C. M., Fukuda, D. H., Beck, T. W., Cramer, J. T., & Stout, J. R. (2009). Effects of beta-alanine supplementation and high-intensity interval training on endurance performance and body composition in men;

- a double-blind trial. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 1-9.
- Smith-Ryan, A. E., Woessner, M. N., Melvin, M. N., Wingfield, H. L., & Hackney, A. C. (2013). The effects of beta-alanine supplementation on physical working capacity at heart rate threshold. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, [Epub ahead of print].
- Stout, J. R., Cramer, J. T., Zoeller, R. F., Torok, D., Costa, P., Hoffman, J. R., Harris, R. C., & O'Kroy, J. (2007). Effects of beta-alanine supplementation on the onset of neuromuscular fatigue and ventilatory threshold in women. *Amino Acids*, 32(3), 381-386.
- Tobias, G., Benatti, F. B., de Salles Painelli, V., Roschel, H., Gualano, B., Sale, C., Harris, R. C., Lancha, A. H. Jr., & Artioli, G. G. (2013). Additive effects of beta-alanine and sodium bicarbonate on upper-body intermittent performance. *Amino Acids*, 45(2), 309-317.
- Van Thienen, R., Van Proeyen, K., Vanden Eynde, B., Puype, J., Lefere, T., & Hespel, P. (2009). Beta-alanine improves sprint performance in endurance cycling. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 41(4), 898-903.
- Walter, A. A., Smith, A. E., Kendall, K. L., Stout, J. R., & Cramer, J. T. (2010). Six weeks of high-intensity interval training with and without beta-alanine supplementation for improving cardiovascular fitness in women. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(5), 1199-1207.

Effects of 4 Weeks of β -alanine Supplementation on Physical Fitness and Blood Lactate Concentration in Middle School Soccer Players

Young-Hoon Park, Won-Sang Jung, & Man-Gyoon Lee
Kyung Hee University

It has been known that β -alanine supplementation induce the increment of carnosine in vivo and was effective in delaying fatigue by buffering the hydrogen which was formed during exercise. This study was designed to investigate the effects of 4 weeks of β -alanine supplementation on physical fitness and blood lactate concentration in middle school soccer players. Nineteen middle school soccer players were randomly assigned to either one of two groups, i.e., β -alanine group (n=10) and placebo group (n=9). Subjects in β -alanine group consumed β -alanine 2 g/day during 1st and 2nd week, as well as 3 g/day during 3rd and 4th week, whereas subjects in placebo group consumed maltodextrin in the same manner. All subjects ate same menu and trained same amount at the same training camp during the intervention period. Body composition, aerobic capacity, anaerobic capacity, isokinetic function, and blood lactate concentration during maximal GXT were measured at pre- and post-test. Main results of the present test were as follows: 1) Fat mass and percent body fat decreased significantly in β -alanine group. 2) No significant changes were found in variables related to aerobic capacity in both groups. 3) Average power increased significantly in β -alanine group. 4) Isokinetic muscular endurance increased significantly in β -alanine group. 5) Blood lactate concentration did not change in either group; however, blood lactate concentration immediately after maximal GXT in β -alanine group tended to be increased more than placebo group. It was concluded that β -alanine supplementation would have positive effects for improvement of body composition, anaerobic capacity, and muscular endurance in middle school soccer players.

Key Words: β -alanine, Carnosine, Hydrogen, Metabolic acidosis, Physical Fitness 