

## 공군사관생도의 ACE 유전자다형성에 따른 항공체력단련이 신체조성과 심폐지구력에 미치는 영향

김근수 · 구명수 · 우진희<sup>1\*</sup>

공군사관학교, <sup>1</sup>동아대학교 체육학과

Received June 2, 2009 / Accepted September 18, 2009

**The Effects of Aerospace Fitness Training on ACE Gene Polymorphism of KAFA Cadets in Body Composition and Cardiorespiratory Fitness.** Keun-Soo Kim, Myung-Soo Koo and Jin-Hee Woo<sup>1\*</sup>. Korea Air Force Academy, Chung-book, 363-849, Korea, <sup>1</sup>Department of Physical Education, Dong-A University, Busan, 604-714 Korea - The purpose of this study was to investigate the effect of 12 weeks of combined training (aerobic/anaerobic training and space perception training) on changes in body composition (weight, % body fat, % muscle mass, BMI, WHR) and cardiorespiratory fitness according to the ACE gene polymorphism (II: 7 men, ID: 8 men, DD: 6 men) in 21 senior Korea Air Force Academy cadets. The results of this study were as follows: body composition factors among ACE gene polymorphism groups and between pre-/post-training in all groups were not statistically significant. Cardiorespiratory fitness of the II and ID groups was significantly lower after training ( $p < 0.05$ ). However, there was no statistically significant difference between pre-/post-training in the DD. In conclusion, this study suggests that cardiorespiratory fitness response to compound training may be affected by ACE genotypes.

**Key words :** Combined training, body composition, cardiorespiratory fitness, ACE gene polymorphism

### 서 론

운동수행력과 체력을 향상시키기 위해서는 운동과 트레이닝에 참여하는 개인의 체격, 체력, 운동 기술, 사회 환경적 요인, 유전적 요인 등이 중요하게 고려되어야 한다. 이 중에서도 특히 유전적 요인은 가장 중요한 요인 중에 하나이다. 최근에 와서 생명공학과 유전공학의 발달로 유전자 수준에서의 연구가 가능해지면서 운동과 유전자 다형성(polymorphism)에 대한 연구가 진행되고 있으며, 차후에는 이 분야에 대한 운동생리학자들의 연구가 더욱 활발히 진행될 것이다.

운동수행능력과 유전적 차이에 대한 연구는 Garay 등(1974)이 1968년 멕시코 올림픽에 참가했던 선수들과 일반인들 사이에 유전적 대립인자(allele)의 분포 빈도가 다를 것이라고 보고[8]한 것이 최초의 연구이다. 이 후, Couture 등(1986)이 1976년 올림픽에 참가한 선수들을 대상으로 하여 연구를 진행하였으며[4], 생명공학과 유전공학 분야에서 측정도구 및 기술의 급속한 발달로 DNA 수준 연구로까지 진행되었다. 유전자 다형성(polymorphism)은 표현형(phenotype)의 다양한 차이를 만드는 주된 원인이며, 유전자형의 해석은 다형성을 활용하고 있다. 즉, 개개인의 유전적 차이는 유전자 다형성에 의해 나타나는 것으로, 운동수행능력의 차이도 유전자 다형성을 활용해 설명할 수 있다[16]. 또한, 최근 신체활동과 관련된 유전자들이 보고되고 있는데, 운동수행력 관련 후보 유전자들은

현재 약 20여 개로 지구성 관련 유전자 14개, 근력 및 파워 관련 유전자 8개 정도 보고되었다[18]. 이 중 Angiotensin Converting Enzyme (ACE) 유전자 다형성은 활발히 연구되고 있는 유전자 중에 하나이다.

선행 연구에 의하면 ACE 유전자의 3가지 형태인 II형, DD형, ID형 중에서 낮은 ACE 활성 수준과 관련이 있는 II형은 산화질소(NO)의 부분적 농도를 증가시키며, 마이토콘드리아의 호흡과 심근 및 골격근에서 수축 기능의 효율성을 증진시킨다고 보고하였다[20]. 또한, 운동선수들의 특성에 대한 연구를 보면 운동형태별 ACE 유전자 분포 빈도는 지구력 운동선수군에서 I 대립인자의 빈도가 높게 나타났으며[1,13], 파워를 요구하는 종목의 선수군에서는 D 대립인자가 높게 나타났다고 보고하였다[13]. 그리고 트레이닝의 효과에 대한 연구에서는 II형에서 지구성 운동수행능력의 높은 향상과  $VO_{2\text{max}}$ 의 증가가 나타났으며[19], DD형에서 높은 근력 향상[6]과 좌심실비대[14]가 나타났다고 보고하였다.

최근 들어 운동과 유전자와의 관련성에 대한 연구가 진행되고 있지만, 국내외 대다수의 연구보고들이 유전자형과 1회성 운동(지구력, 근력 등)의 결과에 대한 상관관계를 규명하고자 하였다. 또한, 선행 연구결과, 유전자 다형성에 따라 심폐지구력과 근력 등의 체력요소들 간에 유의적 차이가 있다는 보고들이 대다수이지만, 차이를 발견하지 못하였다는 보고들도 있어 아직까지 일치된 결론에는 도달하지 못한 실정이다. 이에 본 연구자는 운동과 관련된 대표적인 유전자형인 ACE 유전자형에 따라 그룹을 분류하여 1회성 운동이 아니라, 복합운동 프로그램(유산소성 트레이닝, 무산소성 트레이닝, 공간지각

\*Corresponding author

Tel : +82-51-200-7815, Fax : +82-51-200-7805

E-mail : sports@dau.ac.kr

트레이닝)으로 12주간 트레이닝을 실시하여, 각각의 유전자형에 따른 트레이닝의 효과를 검증하고자 하였다. 본 연구에서 복합 운동 프로그램을 유산소성 트레이닝, 무산소성 트레이닝, 공간지각 트레이닝으로 구성한 것은 이들 3가지 운동 형태가 전투기 조종사들에게 필요한 항공체력을 증진시킬 수 있는 체력요소이기 때문이다.

## 재료 및 방법

### 연구 대상

본 연구의 대상은 대한민국 공군사관학교 4학년 생도를 대상으로 ACE 유전자 다형성별로 II type 7명, ID type 8명, DD type 6명으로 집단을 구분하였다. 피험자들은 모두 본 연구의 의의를 충분히 이해하였고 자발적으로 참여 의사를 밝힌 생도들 중에서 흡연과 음주의 경력이 없으며 약물을 복용하지 않는 정상적인 체지방을 가진 자로 선정하였다. 또한 피험자들은 모두 동일한 생활 습관과 식이습관을 갖도록 통제하였으며, 신체적 특성은 Table 1과 같다.

### 연구 방법

본 연구의 실험절차는 기본검사를 통해 피험자들의 신체적 특성 및 최대산소섭취량( $\dot{V}O_{2\max}$ )과 ACE 유전자 다형성을 분석하였다. 기본검사를 토대로 ACE 유전자 다형성(II type, ID type, DD type) 집단 별로 12주간(3일/주)의 복합운동 트레이닝을 실시하였으며, 3가지 트레이닝을 각각 1주 1회 실시하였다. 12주 트레이닝을 마치고 본 검사는 기본검사와 동일한 형태로 실시하였다.

### 신체조성 측정

신체조성은 전기저항법에 의해서 측정되는 Inbody 4.0 Body Composition Analyzer를 이용하여 weight, %fat, %muscle mass, BMI, WHR을 측정하였다.

### 심폐지구력 측정

최대산소섭취량( $\dot{V}O_{2\text{peak}}$ )은 트레드밀(model Q55, Quinton Co, USA)과 가스분석기(CPX, MedGraphics, USA)를 이용하여 Bruce의 방법으로 시행하였다. Bruce protocol은 먼저 treadmill 속도를 1.7 mph와 경사 10%에서 3 분간 운동을 한

Table 1. Characteristics of subjects (Means $\pm$ S.D.)

Group	II type (n=7)	ID type (n=8)	DD type (n=6)
Age (yr.)	21.39 $\pm$ 0.17	21.49 $\pm$ 0.21	22.25 $\pm$ 1.14
Height (cm)	173.54 $\pm$ 2.98	175.58 $\pm$ 4.74	173.50 $\pm$ 3.42
Weight (kg)	71.16 $\pm$ 6.20	74.12 $\pm$ 7.66	74.65 $\pm$ 13.99
BMI ( $m^2/kg$ )	23.64 $\pm$ 1.73	23.98 $\pm$ 1.40	24.7 $\pm$ 3.96
$\dot{V}O_{2\text{peak}}$ (ml/kg/min)	57.67 $\pm$ 2.44	59.66 $\pm$ 2.32	55.60 $\pm$ 2.40

후, 매 3 분마다 treadmill 경사를 2%씩 올리면서 속도를 2.5 mph, 3.4 mph, 4.2 mph 및 5.0 mph로 증가시키는 방법이다. 1,500 m 달리기는 400 m 코스의 육상 트랙에서 실시하였으며, 기록은 1/100 초 단위의 stop watch로 0.1 초 단위까지 측정하였다.

### ACE 유전자 다형성 분석

Genomic DNA 추출은 10 ml의 말초 혈액으로부터 DNA isolation kit (Gentra Genomic DNA purification kit, Minneapolis MN)를 이용하여 제조사가 제시한 protocol (sodium dodecyl sulfate(SDS)-proteinase K 방법)에 따라 추출하였다. 건조된 DNA는 TE 완충용액(10 mM Tris, pH 8.0, 1 mM EDTA) 또는 멸균된 증류수에 녹여 분광광도계로 농도를 측정한 후 4°C에 보관하였다. 중합효소 연쇄반응(polymerase chain reaction: PCR)용 primer 고안 Angiotensin-converting enzyme gene의 증폭을 위해 사용할 primer는 Rigat 등이 고안한 oligonucleotide을 제작, 정제하여 사용하였다. 본 polymorphism의 primer sequence는 sense: 5'-CTGGAGACCAC TCCCATCCTTCT-3'. antisense: 5'-ATGTGGCCATCACAT TCGTCAGAT-3'이다. PCR을 통한 ACE 유전자 증폭 추출한 genomic DNA는 중합효소 연쇄반응을 이용하여 다량 증폭시켰다. 추출한 genomic DNA 1 μl에 Taq DNA polymerase 2.5 units, 양방향의 primer를 각각 200 nM 되게 혼합하고 반응완충 용액과 각각 200 nM 되게 dATP, dTTP, dGTP, dCTP를 첨가하여 잘 섞은 후 증류수로 총 100 μl 되게 조절한 후 mineral oil을 넣었다. 이 반응 혼합물을 PCR cycler (OmniGene, HYBRID Co, UK)에 넣고 94°C에서 5 분간 가열한 후 다시 95°C에서 1 분간 denaturation, 58°C에서 1 분간 annealing, 72°C에서 2 분간 extension시키고 이 과정을 35 회 반복 시행하여 안지오텐신 전환효소를 증폭시켰다. 증폭된 PCR product를 2% agarose gel에 loading하여 전기영동을 수행한 후 EtBR 염색 액으로 염색하였다. 이후 gel 판을 UV transilluminator에서 Polaroid로 촬영한 후, band 모양에 따라 ACE 유전자 다형성을 삽입-삽입 유전자형(II genotype), 삽입-결손 유전자형(ID genotype), 결손-결손 유전자형(DD genotype) 세 가지로 판독하였다. 판독 결과는 Fig. 1과 같다.

### 12주 복합 트레이닝 프로그램

사전 실험이 끝나는 대로 ACE 유전자 다형성(II type, ID type, DD type) 집단 별로 12 주간(3 일/주)의 복합운동 트레이닝을 실시하였으며, 3 가지 트레이닝을 각각 1 주 1 회 실시하였다. 유산소성 운동(달리기)은 Kavonen 공식을 이용하여 80%THR ( $\pm$ 5 회/분)의 운동 강도에서 하루에 30 분(본 운동 시간), 주 1 회 실시하였다. 이 때 운동 강도의 통제를 위하여 무선 심박수 측정기를 착용하고 달렸다. 웨이트 트레이닝은 모든 종목에 대하여 1-RM을 측정한 다음, 1-RM의 80% 무게로

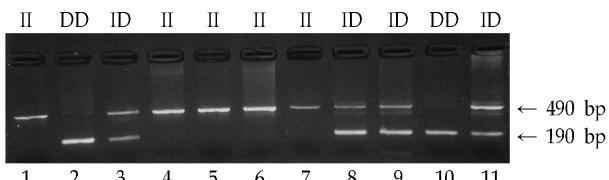


Fig. 1. The result of ACE genotypes.

1 set에 8~10 회 반복하였다. 하루에 총 3 sets를 실시하였으며 (주 1 회), 운동 방법은 circuit weight training 방법으로 하였다. 트레이닝 시작 후 2 주마다 1-RM을 재측정하여 무게를 조정하였다. 웨이트 트레이닝 종목은 Table 2에 보는 바와 같다. Orbotron training (공간지각 트레이닝)은 분당 35 회전 내외의 속도로 3 분×5 sets (4~5 분 휴식)로 총 운동 시간은 15 분 내외로 하였다(5 sets 모두 3 축 회전).

#### 자료처리 방법

본 연구의 실험에서 얻어진 자료의 분석은 원도우용 SPSS/PC+ Ver. 12.0K 통계 패키지를 이용하여 평균과 표준편차를 구하였으며, 12 주간 트레이닝 처치 전·후 ACE 유전자 다형성 집단에 따라 신체조성과 심폐지구력 변화를 알아보기 위하여 two-way ANOVA를 실시하였다. 독립변인 간의 상호 작용효과가 없는 경우 주효과 검정을 위하여 one-way ANOVA (집단 간 차이 분석)와 paired sample t-test (집단 내 차이 분석)를 실시하였다. 통계적으로 유의한 결과에 대해서는 tukey의 사후 검정법을 이용하였다. 통계적 유의 수준은

$\alpha=0.05$ 로 하였다.

#### 결 과

ACE 유전자 다형성 집단별 복합 트레이닝 전·후의 체중, 체지방율, 근육비율, BMI, 그리고 WHR에 대한 집단과 측정 시기 간의 차이를 알아보기 위하여 two-way ANOVA를 실시한 결과, ACE 유전자 다형성 집단과 측정 시기 간의 상호작용효과는 나타나지 않았다. 12 주간 복합 트레이닝 전·후 3 집단 간 이들 변인들의 평균에 대한 차이를 검정하기 위하여 one-way ANOVA를 실시한 결과, 두 시기 모두 3 집단 간에 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았으며, 각 집단의 복합 트레이닝 시기에 대한 차이를 검정하기 위하여 paired sample t-test를 실시한 결과, 3 집단 모두 트레이닝 전·후 시기 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다.

한편, ACE 유전자 다형성 집단별 복합 트레이닝 전·후의 심폐지구력 변화를 알아보기 위하여 측정한 최대산소섭취량은 트레이닝 전 II, ID, DD genotype group들 사이에 유의한 차이는 없었지만, 트레이닝 후 II, ID와 DD genotype group 사이에 유의한 차이가 있었다( $p<0.05$ ). 그룹 내 시기에 대한 차이는 II, ID genotype group에서 있었지만( $p<0.05$ ), DD genotype group에서는 유의한 차이가 나타나지 않았다. 1,500 m 달리기 기록도 최대산소섭취량 테스트 결과와 동일하게 나타났는데, 그룹 내 시기에 대한 차이는 II와 ID genotype group에서 유의하게 기록이 단축되었으며( $p<0.05$ ), 그룹 간 차이에서 II와 ID는 차이가 없었지만 이들 그룹과 DD genotype group 사이에 통계적으로 유의한 차이가 있었다( $p<0.05$ )(Table 3).

#### 고 칠

본 연구에서 복합 트레이닝 프로그램을 유산소성 트레이닝, 웨이트 트레이닝, 공간지각 트레이닝으로 구성한 것은 이들 3 가지 트레이닝이 전투기 조종사들에게 필요한 항공체력을 증진시킬 수 있는 운동 형태이기 때문이다. Koh와 Yoo (1997)는 전투기 조종사들에게 필요한 항공체력을 유산소성 운동능력, 정적근력, 공간지각능력으로 규정하고 항공체력의 3대 요소라고 하였다[11]. 공군사관학교 체육교육은 예비 전투기 조종사인 공군사관생도들의 항공체력 증진을 위하여 항공체력 단련 강좌를 3~4 학년 과정에서 개설하여 교육하고 있다. 본 연구의 목적을 달성하기 위하여 ACE 유전자 다형성(II type, ID type, DD type)에 따라 3 집단으로 grouping하여 12 주간의 복합 트레이닝을 실시하였으며, 복합 트레이닝 처치 전·후에 신체조성과 심폐지구력을 측정하여 분석하였다.

본 연구에서 체중은 12 주간 복합 트레이닝 전·후 두 시기 모두 3 집단 간에 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않

Table 2. Combined exercise training program

Exercise mode	Exercise component	Exercise order	Exercise time	Exercise intensity
Aerobic training	Warm-up	Stretching	10 min	
	Main exercise	Running	30 min	80% THR
	Cool-down	Stretching	10 min	
Resistance training	Main exercise	Warm-up	Stretching	10 min
		Bench press		
		Lat pull down		
		Military press		
		Arm curl		
		Leg press		
		Leg raise	70 min	80%
		Squat		1-RM
		Leg extension		
		Leg curl		
Orbotron training	Main exercise	Sit up		
		Neck exercise		
Cool-down		Stretching		
		Warm-up	Stretching	10 min
		Main exercise	Orbotron	15 min 35 rpm
	Cool-down	Stretching	10 min	

Table 3. The changes of body composition &amp; cardiorespiratory fitness (Mean±SD)

	Groups	Mean±S.D	t	p	F-value		
					Period	Group	post-hoc
Body weight (kg)	II	Before 71.16±6.20					
		After 70.46±5.27	1.287	0.268			
	ID	Before 74.12±7.66					
		After 73.58±7.20	0.733	0.497	0.098	0.393	-
	DD	Before 74.65±13.99					
		After 72.85±11.97	1.626	0.202			
	II	Before 16.90±3.91					
		After 15.40±3.39	2.504	0.063			
	ID	Before 17.07±2.91					
		After 16.83±3.04	0.530	0.619	0.560	1.106	-
Body fat (%)	DD	Before 20.08±7.09					
		After 18.20±5.94	3.163	0.051			
	II	Before 47.58±2.84					
		After 48.48±2.47	-2.525	0.065			
	ID	Before 47.77±1.62					
		After 47.92±1.84	-0.600	0.575	0.606	1.362	-
	DD	Before 45.73±3.42					
		After 46.8±2.79	-3.161	0.051			
Muscle (%)	II	Before 23.64±1.73					
		After 23.40±1.50	1.395	0.235			
	ID	Before 23.98±1.40					
		After 23.82±1.39	0.682	0.526	0.148	0.362	-
	DD	Before 24.70±3.96					
		After 24.15±3.33	1.561	0.216			
	II	Before 0.83±0.03					
		After 0.81±0.02	2.013	0.102			
WHR	ID	Before 0.82±0.02					
		After 0.81±0.02	2.000	0.102	1.197	0.977	-
	DD	Before 0.85±0.06					
		After 0.83±0.04	2.333	0.102			
	II	Before 57.67±2.44 <sup>a</sup>					
		After 59.70±2.31 <sup>b</sup>	-35.40*	0.000			
$\dot{V}O_{2\text{peak}}$ (ml/kg/min)	ID	Before 59.66±2.32 <sup>a</sup>					
		After 61.09±2.40 <sup>b</sup>	-11.01*	0.001	3.847*	13.653*	ID,II>DD
	DD	Before 55.60±2.40					
		After 56.13±1.82	-1.54	0.184			
	II	Before 332.6±6.7 <sup>a</sup>					
		After 325.8±9.4 <sup>b</sup>	3.721*	0.020			
1,500 m run (sec)	ID	Before 325.5±21.2 <sup>a</sup>					
		After 320.5±21.4 <sup>b</sup>	3.727*	0.014	4.753*	4.075*	DD>II, ID
	DD	Before 347.5±18.2					
		After 343.2±19.6	1.089	0.356			

\*p<0.05 significant difference, a,b : Before vs. After values. II: II genotype group, ID: ID genotype group, DD: DD genotype group

았다. 이러한 결과는 본 연구에서 실시한 복합 트레이닝이 체중의 변화에 있어 ACE genotype에 따라 차이가 나타나지 않았음을 의미한다. 또한, 체중과 마찬가지로 체지방률, BMI, WHR도 12 주간 복합 트레이닝 전·후 두 시기 모두 3 집단 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 이러한 결과 또한 본 연구에서 실시한 복합 트레이닝이 체지방률,

BMI, WHR의 변화에 있어 ACE genotype에 따라 차이가 나타나지 않았음을 의미한다. 지금까지 신체조성과 관련된 유전자형은 렙틴 수용체 유전자 다형성(leptin receptor gene polymorphism)이 주로 연구되어 왔다[5]. 그러나 본 연구 결과에서는 비록 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았지만, 트레이닝 전 체지방률이 가장 낮았던 II형과 체지방률이

가장 높았던 DD형 모두 중간 수준이었던 ID형 보다 체지방률의 감소가 크게 나타났다. 이러한 결과로 볼 때 향후 체지방률 감소를 위해 트레이닝을 할 때는 ACE gene polymorphism도 고려하여 유전자형에 따라 차별화된 운동처방을 할 필요가 있다고 사료된다. 골격근 비율은 12 주간 복합트레이닝 전·후 두 시기 모두 3 집단 간에 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았으며, 3 집단 모두 트레이닝 전·후 시기 간에도 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다. 그러나, 비록 통계적으로는 유의하게 증가하지 않았지만, DD genotype group이 평균 1.07%, II genotype group이 평균 0.9% 증가하여 ID genotype group의 평균 0.15% 증가보다 더 큰 증가율을 보였다.

따라서, 본 연구 결과를 통하여 볼 때 12 주간 복합 트레이닝 프로그램은 ACE genotype에 따라 신체조성에 다르게 반응하고 있으며, II/DD allele의 동형접합체(homozygous)를 가지고 있는 개체가 신체조성의 변화에 있어 트레이닝의 더 높은 긍정적 효과를 얻을 수 있음을 제시해 주고 있다. 또한 신체조성의 트레이닝 전·후 변화 정도로 볼 때 DD allele를 가지고 있는 개체가 II allele를 가지고 있는 개체보다 더 큰 트레이닝 효과를 얻을 수 있는 것으로 나타났다. 그러나 본 연구에서 실시한 복합 트레이닝 프로그램이 체중감소를 목적으로 실시한 것이 아니라 항공체력요소의 증진을 목적으로 실시한 것이기 때문에 조심스러운 해석이 필요하다. 따라서, 체중감소를 위한 트레이닝이 ACE genotype에 있어 동형접합체(homozygous)를 가지고 있는 개체가 보다 트레이닝 효과가 큰지, 그리고 동형접합체(homozygous) 중에서도 DD allele를 가지고 있는 개체가 II allele를 가지고 있는 개체보다 트레이닝 효과가 큰지에 대해서는 추후 연구를 통하여 재규명할 필요가 있다고 사료된다. 신체조성에서 골격근 비율이 향상되기 위해서는 체지방률의 감소와 단백질 합성으로 인한 골격근 섬유의 비대 현상이 나타나야 된다. 그러나 본 연구에서는 체지방률이 3집단 모두에서 감소를 보였으나 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았으며, 복합 트레이닝 프로그램 구성이 골격근의 근 비대 현상을 초래하기에는 부적합하였기 때문에 골격근 비율이 유의하게 증가하지 않았다고 사료된다. Baechle과 Earle (2000)는 생리적 적응을 유발하기 위한 등장성 저항 트레이닝 방법으로 근지구력 향상을 위해서는 1-RM의 67% 이하의 부하로 12 회 이상 반복(2~3 세트, 세트 간 30 초 이하 휴식)하는 것이 효과적이라고 하였다[2]. 반면, 균력을 향상시키기 위해서는 1-RM의 85% 이상의 부하로 6회 이하 반복(2~6 세트, 세트 간 2~5 분 휴식)하는 것이 효과적이라고 하였다. 본 연구에서는 웨이트 트레이닝을 주 1회 1-RM의 80% 무게로 8~10 회 반복(3 세트)하였다. 이 강도에서 웨이트 트레이닝 시 동원되는 근섬유 비율이 대략 ST (Type I) 섬유 20%, FOG (Type IIa) 섬유 40%, FT (Type IIb) 섬유 40%라고 볼 때[2], 본 연구의 웨이트 트레이닝 프로

그램은 지근성 속근(Type IIa) 섬유와 속근(Type IIb) 섬유를 동원하기에는 적합한 강도였지만 주 1 회 운동을 하였기 때문에 근 비대 현상을 초래하기에는 운동량이 부족하였다고 사료된다.

ACE 유전자는 두 가지 대립인자(allele)로 부호화(encoding)될 수 있고, 염색체 17q23에 위치하는 26 개의 액손(extron)을 지닌 21 kb 정도의 길이로, 인트론(intron) 16 후반부에 287 염기쌍(base pair)의 삽입(insertion, I allele)과 결손(deletion, D allele)에 의해 II형, ID형, DD형의 3 가지 유전자 다형성(polymorphism)이 나타난다[15]. 각 개체는 삽입 대립인자의 동형접합체(homozygous)인 II형, 결손 대립인자의 동형접합체인 DD형, I와 D의 이형접합체(heterozygous)인 ID형의 3 가지 유전자 중 한 가지를 지니게 된다[7]. 이 중 낮은 ACE 활성 수준과 관련이 있는 II형은 산화질소의 부분적인 농도를 증가시키며, 미토콘드리아의 호흡과 심근과 골격근에서의 수축기능의 효율성을 증진시킨다고 보고되고 있으며 [20], 운동과의 관계에서 운동형태별 ACE gene 분포 빈도는 지구력 운동 선수군에서 I 대립인자(allele)의 빈도가 높게[1,9] 나타난 반면, power를 요구하는 종목의 선수군에서는 D 대립인자(allele)가 높게 나타났다고 보고되고 있다[13]. 또한 II형에서 운동수행능력의 높은 향상과 많은 VO<sub>2max</sub> 증가[10,12,19]를, DD형에서 높은 균력향상[6]과 좌심실비대[14] 등이 보고되었다. 운동선수들의 특성에 대한 연구를 보면 운동 형태별 ACE gene 분포 빈도는 지구력 운동선수군에서 I 대립인자(allele)의 빈도가 높게[1] 나타났으며, power를 요구하는 종목의 선수군에서는 D 대립인자(allele)가 높게 나타났다고 보고하였다[13]. 그리고 트레이닝의 효과에 대한 연구에서는 II형에서 지구성 운동수행능력의 높은 향상과 VO<sub>2max</sub>의 증가가 나타났으며[19], DD형에서 높은 균력 향상과[6] 좌심실비대[14]가 나타났다고 보고하였다. 또한, 군인을 대상으로 10 주간의 트레이닝 실시 결과 운동시간이 삽입-삽입 유전자형(ID genotype)과 삽입-결손 유전자형(ID genotype)을 지닌 피험자들에서 유의하게 향상되었으며, 삽입-삽입 유전자형(ID genotype)을 지닌 피험자들이 결손-결손 유전자형(DD genotype)을 지닌 피험자들보다 운동지속시간이 11 배 높게 나타난 바 있다[12].

본 연구에서 ACE 유전자 다형성 집단별 복합 트레이닝 전·후의 심폐지구력 변화를 알아보기 위하여 측정한 최대산소섭취량은 DD genotype group은 통계적인 차이가 없었지만, II와 ID genotype group은 트레이닝 후 증가되어 나타났다 ( $p < 0.05$ ). 또한, 1500 m 달리기 기록은 3 집단 모두 트레이닝 전과 비교하여 트레이닝 후 감소된 것으로 나타났으며, 집단 간에는 ID genotype group과 DD genotype group의 평균 기록이 22.37 초 차이를 보여 두 집단 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타났다( $p < 0.05$ ). 그러나 II genotype group과 ID/DD genotype group 간에는 통계적으로 유의한 차이가

나타나지 않았다. 그리고 복합 트레이닝 시기 간에서는 II/ID genotype group은 트레이닝 전·후 시기 간에 통계적으로 유의한 차이는 나타났으나( $p < 0.05$ ), DD genotype group은 트레이닝 전·후 시기 간에 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았다.

이상의 연구 결과를 종합하여 볼 때, 12 주간 복합 트레이닝 후 심폐지구력은 I allele 집단(II/ID genotype group)이 D allele 집단(DD genotype group)보다 트레이닝의 효과가 높게 나타났는데, 이러한 결과는 복합 트레이닝은 ACE Gene Polymorphism에 따라 심폐지구력 변화에 다르게 반응하고 있으며, I allele (II/ID genotype group)를 가지고 있는 개체가 더 높은 트레이닝의 효과를 얻을 수 있음을 제시해 주고 있다. 이와 같은 본 연구의 결과는 트레이닝 후 II형이 지구성 운동수행능력의 높은 향상과  $\text{VO}_{2\text{max}}$ 의 증가를 보였다는 Williams 등(2000)의 연구[19]와, 군인을 대상으로 10 주간의 트레이닝 실시 결과 운동시간이 II genotype과 ID genotype을 지닌 피험자들에서 유의하게 향상되었다는 Montgomery 등(1998)의 연구[12]와 일치하고 있다. 하지만, 본 연구에서는 심폐지구력 변화에 대한 트레이닝의 효과가 적게 나타났는데, 이는 피험자들의 트레이닝 전 최대산소섭취량이 ACSM (2005) 기준의 상위 10% 이내에 속하는 높은 상태였기 때문이라고 보여진다. 또한, 트레이닝 프로그램을 시작하기 전 최대산소섭취량 수준이 높은 사람은 2~3% 정도만 향상되고, 웨이트 트레이닝이 최대산소섭취량을 유의하게 증가시키지 않았다[3]는 선행 연구와 일치하는 결과이다.

## 요약

본 연구는 대한민국 공군사관생도들을 대상으로 12주간 복합 트레이닝(유/무산소성 트레이닝, 공간지각 트레이닝)이 Angiotensin Converting Enzyme (ACE) gene polymorphism에 따른 신체조성과 심폐지구력 변화에 미치는 영향을 규명하는데 목적이 있었다. 연구결과, 12 주간 복합 트레이닝 후 신체조성은 ACE gene polymorphism에 따라 변화의 차이가 나타나지 않았으며, 심폐지구력은 I allele 집단(II/ID genotype group)이 D allele 집단(DD genotype group)보다 트레이닝의 효과가 높게 나타났다. 본 연구 결과로 볼 때, 복합 트레이닝은 ACE gene polymorphism에 따라 심폐지구력 변화에 다르게 반응하고 있으며, I allele (II/ID genotype group)를 가지고 있는 개체가 더 높은 트레이닝의 효과를 얻을 수 있음을 제시해 주고 있다.

## 감사의 글

본 논문은 2007년도 공군사관학교 국고연구비의 지원으로 수행된 것임(KAFA 07-28).

## References

- Alvarez, R., N. Terrados, R. Ortolano, C. G. Iglesias, J. R. Reguero, A. Batalla, A. Cortina, G. B. Fernandez, C. Rodriguez, S. Braga, and E. Coto. 2000. Genetic variation in the renin-angiotensin system and athletic performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* **82**, 117-120.
- Baechle, T. R. and R. W. Earle. 2000. Essentials of strength training and conditioning. Champaign, IL. *Human Kinetics*.
- Chromiak, J. A. and M. H. Stone. 1986. Alterations in strength and maximal oxygen uptake consequent to maitillus circuit weight training. *Res. Quart. Exerc. Sport.* **57**, 339-340.
- Couture, L. M., C. A. Chagnon, and C. Bouchard. 1986. More on red blood cell genetic variation in Olympic athletes. *Can. J. Appl. Sports Sci.* **11**, 16-18.
- Fairbrother, U. L., L. B. Tankó, A. J. Walley, C. Christiansen, P. Froguel, and A. I. Blakemore. 2007. Leptin receptor genotype at Gln223Arg is associated with body composition, BMD, and vertebral fracture in postmenopausal Danish women. *J. Bone Miner. Res.* **22**, 544-550.
- Folland, J., B. Leach, T. Little, K. Hawker, S. Myerson, H. Montgomery, and D. Jones. 2000. Angiotensin-converting enzyme genotype affects the response of human skeletal muscle to functional overload. *Exp. Physiol.* **85**, 575-579.
- Furrukh, S., C. J. Malik, and M. R. Lavie. 1997. Renin-Angiotensin system: Genes to beside. *Am. Heart. J.* **134**, 541-546.
- Garay, A. L., L. Levine, and J. Carter. 1974. Single gene systems of blood. In: Genetic and Anthropological studies of Olympic Athletes. In Garay, A., L. Levine and J. Carter (Eds.), New York: Academic Press. 165-187.
- Gayagay, G., B. Yu, B. Hambly, T. Boston, A. Hahn, D. S. Celermajer, and R. J. Trent. 1998. Elite endurance athletes and the ACE I allele-the role genes in athletis performance. *Human Genetics* **103**, 48-50.
- Hagberg, J. M., R. E. Ferrell, S. D. McCole, K. R. Wilund, and G. E. Moore. 1998.  $\text{VO}_{2\text{max}}$  is associated with ACE genotype in postmenopausal women. *J. Appl. Physiol.* **85**, 1842-1846.
- Koh, S. K. and W. B. Yoo. 1997. The study of aerospace fitness improvement in ROK pilots. *J. Korea Air Force Academy.* **39**, 12-20.
- Montgomery, H. E., R. Marshall, H. Hemingway, S. Myerson, P. Clarkson, C. Dollery, M. Hayward, D. E. Holliman, M. Jubb, M. World, E. L. Thomas, A. E. Brynes, N. Saeed, M. Barnaro, J. D. Bell, K. Prasad, M. Rayson, P. J. Talmud, and S. Humphries. 1998. Human gene for physical performance. *Nature* **393**, 221.
- Myerson, S., H. Hemingway, R. Budget, J. Martin, S. Humphries, and H. Montgomery. 1999. Human angiotensin I-converting enzyme gene and endurance performance. *J. Appl. Physiol.* **87**, 1313-1316.
- Myerson, S. G., H. E. Montgomery, M. Whittingham, M. Jubb, M. J. World, T. Rankinen, L. Perusse, R. Rauramaa,

- M. A. Rivera, B. Wolfarth, and C. Bouchard. 2001. The human gene map for performance and health related fitness phenotypes. *Med. Sci. Sports Exerc.* **33**, 855-867.
15. Rigat, B., C. Hubert, P. Corval, and F. Soubrier. 1992. PCR detection of the insertion/deletion polymorphism of the human angiotensin converting enzyme gene. *Nucl. Acids Res.* **20**, 1433-1434.
16. Vigano, A., B. Trutschnigg, R. D. Kilgour, N. Hamel, L. Hornby, E. Lucar, W. Foulkes, M. L. Tremblay, and J. A. Morais. 2009. Relationship between angiotensin-converting enzyme gene polymorphism and body composition, functional performance, and blood biomarkers in advanced cancer patients. *Clin. Cancer Res.* **15**, 2442-2447.
17. Wauters, M., R. V. Considine, M. Chagnon, I. Mertens, T. Rankinen, C. Bouchard, and L. F. Van Gaal. 2002. Leptin levels, leptin receptor gene polymorphisms, and energy metabolism in women. *Obes. Res.* **10**, 394-400.
18. Wolfarth, B., M. S. Bray, J. M. Hagberg, L. Pérusse, R. Rauramaa, M. A. Rivera, S. M. Roth, T. Rankinen, and C. Bouchard. 2005. The human gene map for performance and health-related fitness phenotypes: the 2004 update. *Med. Sci. Sports Exerc.* **37**, 881-903.
19. Williams, A. G., M. P. Rayson, M. Jubb, M. World, D. R. Woods, M. Hayward, J. Martin, S. Humphries, and H. E. Montgomery. 2000. Physiology: The ACE gene and muscle performance. *Nature* **403**, 614-616.
20. Zhao, G., R. D. Bernstein, and T. H. Hintze. 1999. Nitric oxide and oxygen utilization: exercise, heart failure and diabetes. *Coron. Art. Dis.* **10**, 315-320.