

Changes in Body Composition and Physical Fitness According to ACTN-3 Gene Polymorphism in Male Air Force Cadets During 8 Weeks of G-tolerance Exercise Program

Jong-Hwan Choi¹, Hyun-Seung Rhyu², Keun-Su Kim³, In-Ki Kim^{3*}

¹Chungbuk National University, Cheongju, Republic of Korea

²Jungwon University, Goesan, Republic of Korea

³Korea Air Force Academy, Cheongju, Republic of Korea

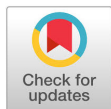
Received: September 23, 2018

Accepted: October 23, 2018

Published online: October 31, 2018

Keywords:

ACTN-3 gene polymorphism
Air Force Cadets
G-tolerance Exercise Program



ORCID

Hyun-Seung Rhyu

<http://orcid.org/0000-0002-4987-7482>

ABSTRACT

OBJECTIVES This study set out to develop and administer an 8-week G-tolerance reinforcement exercise program and examine changes to the body composition, cardiovascular endurance, isokinetic muscular function, and G-tolerance ability of air force cadets according to the ACTN-3 gene polymorphism, thus testing the effects of the program on air force cadets according to the ACTN-3 gene polymorphism.

METHODS For those purposes, the investigator analyzed the gene polymorphisms of ACTN-3 of 30 air force cadets, administered the developed G-tolerance reinforcement exercise program to and conducted analysis of its effects on their body composition, cardiovascular endurance, isokinetic muscular functions (muscular strength and endurance), and G-tolerance capacity (6G/30sec).

RESULTS Found a significant increase in skeletal muscle mass in the RR and RX types, and body fat percentage in the XX type. the program caused a significant increase to the of the subjects across all the genotype types and to their cardiovascular endurance in the RX and XX types. the dominant knee joint (right leg) and found a significant increase in the peak torque per body weight in the RX and XX type. As for the dominant knee joint (right leg), there was a significant increase in the total work per body weight in the RR, RX, and XX types. the G-tolerance ability in the RX than in the RR type, and G-tolerance ability of XX type was also increased.

CONCLUSIONS In summary, those findings demonstrate that there were differences in the changing patterns of air force cadets' G-tolerance ability according to the ACTN-3 gene polymorphism (RR, RX, and XX) after the G-tolerance reinforcement exercise program and that there was a more increase in the G-tolerance ability in the RX than in the RR type, and G-tolerance ability of XX type was also increased. Therefore, the G-tolerance reinforcement exercise program is verified as effective for reinforcing the G-tolerance capacity of air force cadets who have either genotype RX or XX.

© The Asian Society of Kinesiology and the Korean Academy of Kinesiology

서론

대한민국 공군 조종사는 영공을 수호하는 막중한 임무

*Correspondence: Kim In-Ki, Republic of Korea Air Force Academy, Danjaero 635, P.O. Box 335-2 Namil, Cheongju, Chungbuk Korea.

E-mail: dlsrl0428@hanmail.net

를 가진 국가적으로 매우 중요한 인적자원이다. 이들이 타군 장교들에 비해 갖는 차별성은 1차적으로 공중임무에 적합한 신체적 능력을 갖추어야 하며, 두 번째는 이 신체적 능력을 연령에 무관하게 조종석을 떠날 때까지 최고 수준으로 유지해야 한다는 점이다.

공군사관학교 생도들은 4학년 졸업 전(비행입과 전)



This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

신체검사를 통과하여야 비행훈련과정에 입문할 수 있으며, 이어 중급, 고급 비행과정을 거쳐 전투조종사가 된다. 특히 사관생도들은 비행입과 전 고가속도 테스트에서 6G/30sec를 견뎌내야 하며, G-LOC 등으로 불합격되면 비행 입문과정에 입문을 못하기 때문에 생도들에게 있어 고가속도 적응 테스트는 매우 중요한 항목이다.

또한, 공군사관생도들에게 필요한 신체적 능력은 지금까지의 선행연구들을 종합해 볼 때, 크게 G-내성[1], 공간지각능력[2], 근골격계 능력[3]으로 정리해볼 수 있다. G-내성(G-tolerance)은 항공기의 급가속시 인체에 주어지는 양가속도(+Gz)를 극복하여 뇌의 혈액이 하부로 쏠리는 것을 방지함으로써 의식을 지켜내는 능력이다[4]. F-35나 F-22와 같은 신형 전투기 기종은 최대 9G까지 고가속도가 주어지는데 개인 체중의 9배의 무게가 머리를 내리누르는 수준의 힘 부하가 주어지게 된다. 공간지각능력(Spatial Disorientation)은 항공기의 수직, 수평 회전이 반복될 때 몸의 자세를 인지하는 능력이다. 근골격계 능력은 Hi-G 상황과 비상탈출 시 목, 허리 등 관절을 보호하고 골절 등의 부상을 예방하기 위해서 필요하다.

한편, 유전자에 대한 연구분석은 인간의 능력을 극대화하거나 노화를 지연시키기 위하여 많은 과학적 노력들이 활발히 진행중에 있다. 스포츠에서도 1970년대부터 시작되어 종목별 특성을 충족할 수 있는 적합한 체형, 체력의 종류와 기능, 신경과 근육의 성분 등을 밝히기 위한 연구들이 다양하게 이루어지고 있으며[5,6,7], 이를 토대로 선수선발과 훈련방법 적용에 많은 활용을 하여 좋은 결과를 나타내고 있다. 특히, 유전자 중 운동수행능력과 밀접하게 관련된 유전자 중 하나로 ACTN-3 유전자 다형성을 들 수 있다[8]. ACTN-3 유전자 다형성은 스포츠와 관련된 120개 이상의 유전자 중 유·무산소성 운동 모두와 관련된 소수 유전자 중의 하나로써[9], 근원섬유의 구조적 형태를 유지하고 근수축을 위한 지지역할을 하며[10], 속근의

최대수축시 에너지 대사를 조절하는 기능에도 관여한다[11,12]. ACTN-3 유전자 다형성은 RR, RX, XX의 세 형으로 구분되는데, 연구자들마다 차이는 있으나 대다수 연구에서 RR, RX형은 근력, 순발력 등과 관련되어 무산소성 운동에 적합하며, XX는 지구성 운동에 적합한 것으로 보고하고 있다[10,13,14,15].

실제로 전투기 조종사에게는 근력과 근지구력, 그리고 순발력 적인 체력 요소가 중요한 부분으로 다수의 연구에서 제시된 바가 있는데[4], 만약 ACTN-3 유전자 다형성의 특성을 예비 조종사인 공군 사관생도들을 대상으로 적용시켜 연구해 본다면 우수 전투기 조종사 양성을 통한 정예군인 양성에 큰 이바지를 할 것으로 사료된다.

따라서 본 연구에서는 예비조종사인 남자 공군사관생도들을 대상으로도 ACTN-3 유전자 다형성을 분석하여 RR, RX, XX 세 그룹으로 분류하고, 8주간의 G-내성을 강화하기 위한 트레이닝을 실시하여 신체조성, 등속성 근기능, G-내성능력을 분석하여 사관생도들이 4년간의 교육기간 동안 어떤 체형을 만들고, 어느 정도의 체력 수준을 보유하는 것이 조종임무에 적합한지를 알아보고자 본 연구를 진행하였다.

연구 방법

연구대상

본 연구의 대상자는 공군 사관생도 4학년 남생도 74명 중 유전자 분석과 G-내성능력 결과에 따라 최종 30명을 연구대상으로 선정하였다. 본 연구는 공군 항공우주의료원의 '16-2차 기관생명 윤리위원회의 승인(ASMC-16-IRB-009)을 받았으며, 본 실험에 참여한 모든 대상자들에게 연구의 내용과 자료 수집 절차에 대해 서면과 구두로 자세히 설명한 후 실험 참여 동의서를 받고 진행하였다. 대상자들은 평소 규칙적인 생활습관과 의학적으로 특별

Table 1. Physical characteristics of subjects (M±SD)

Group	Age(yr.)	Height(cm)	Weight(kg)	%fat
RR type (n=10)	22.6±0.72	171.81±5.10	66.77±5.70	13.14±2.86
RX type (n=10)	22.9±0.55	175.23±4.45	67.90±6.28	13.96±3.63
XX type (n=10)	22.7±0.69	176.50±4.81	70.04±5.73	12.72±3.74

한 질환이 없는 사관생도로 한정하였으며, 최종 연구 대상자들의 신체적 특성은 <Table 1>과 같다.

연구방법

ACTN-3 유전자 분석 실험 대상자들의 동의를 얻어 측정 전날 저녁 9시부터 금식을 하여 총 12시간의 공복 후 오전 9시에 실시하였으며, 검사 24시간 전 중강도 이상의 신체활동을 하지 않도록 하였다. 1회용 주사기(Becton Dickinson Vascurainger System)를 이용하여 실험 참가자의 상완정맥에서 혈액을 채혈하여 분석하였다.

ACTN-3 유전자 다형성 분석을 위하여 PCR 증폭용 primer 서열을 고안하였다. 올리고 합성은 코스모진텍(한국)에 의뢰하였다.

ACTN-3의 경우 Sense primer(20mer)는 5'-CAC TGC

TGC CCT TTC TGT TG-3'이고 Antisense primer(19mer)는 5'-CGG GCT GAG GGT GAT GTA G-3'이었다. amplicon size는 227bp이며 올리고의 2차 구조 형성여부는 mfold 알고리즘으로 검증하였다.

연쇄중합반응을 위한 용액은 10pM Sense primer, 10pM Antisense primer, 2.5mM dNTP, 2unit H-Taq DNA polymerase(바이오에세이, 한국), 1X PCR reaction buffer를 혼합하였고, Genomic DNA는 3uL씩 첨가하였으며, 총 반응액이 20uL 되도록 하였다. 연쇄중합 반응은 2720 또는 T100 PCR 장비를 이용하여 수행되었다.

신체조성 측정 대상자들의 신체조성을 분석하기 위해 Inbody 720(Biospace, Korea)을 이용하여 신장, 체중, 체지방량, BMI, 골격근량, 그리고 체지방률을 측정하였다.

Mon	Wed	Thu	Fri
muscular strength	muscle endurance	Cardiopulmonary endurance	muscular strength
Warm-up(running 400m, stretching)			
1-RM 85% number of repetitions - 8times set - 3set rest - 3minutes	1-RM 60~70% number of repetitions - 15times set - 3set rest - 30sec	Target heart rate (THR=150~170times/ minutes) 70~85% Exercise time 30~40minutes	1-RM 85% number of repetitions - 8times set - 3set rest - 3minutes
Bench press	Bench press		Bench press
Leg press	Leg press		Leg press
Lat pull-down	Lat pull-down		Lat pull-down
Leg curl	Leg curl		Leg curl
Arm curl	Arm curl		Arm curl
Sit up	Sit up		Sit up
Leg Extension	Leg Extension		Leg Extension
Triceps Extension	Triceps Extension		Triceps Extension
Calf Raise	Calf Raise		Calf Raise
Military press	Military press		Military press
Squat	Squat		Squat
Abdominal Curl	Abdominal Curl		Abdominal Curl
Neck Exercise	Neck Exercise		Neck Exercise
Cool-down(stretching)			

Figure 1. G-tolerance Reinforcement Exercise Program

등속성 근기능 측정 등속성 근기능 검사는 Cybex HUMAC NORM770(CSMI, USA) 장비를 이용하여 각 슬관절의 굴신운동을 수행하도록 하여 근기능을 측정하였다. 피검자는 슬관절을 중심으로 해부학적 자세에서의 0°에서 90°로 움직이도록 하여 굴곡과 신전 운동을 실시하였다. 운동 시에는 일정한 운동범위(Range of motion)내에서 진행되도록 한계조정을 하였으며, 측정 시에는 굴곡 및 신전운동을 2회 예비운동을 실시한 후 측정을 실시하였다. 측정 시 피검자가 최대 의지력으로 운동을 실시할 수 있도록 실험자가 피검자의 옆에서 독려하였으며, 측정은 60°/sec에서 5회 실시와 240°/sec에서는 25회로 측정하고 각각의 운동속도 사이의 휴식시간은 60초로 설정하였다.

측정내용은 Peak torque(최고 토크), Total work(총 운동량)로 이를 측정하기 위해 60°/sec, 240°/sec로 각각 운동속도를 변화시켜 좌우측 굴곡과 신전의 토크를 측정하였다.

G-내성훈련 공군항공우주의학 훈련센터에서 G-내성 훈련 측정 장비인 곤돌라(ETC, USA)를 이용하여 비행 훈련 입과 자격기준(6G/30sec)으로 실시하였다. G-내성 훈련 방법은 초당 1G씩 상승하는 급가속으로 최대 6G에 30sec간 훈련하였으며, G-내성훈련 중 대상자는 목, 상체, 복부, 하체에 힘을 주어 자세를 유지하고, G-내성 증진 방법인 L-1 호흡 기법을 실시하였다.

트레이닝 프로그램 본 연구에서 사용하는 G-내성을 강화하기 위한 트레이닝은 미공군 조종사의 운동프로그램과 국내 조종사들에게 제시된 운동프로그램을 토대로 공군 항공체력(박사) 전문가 4명, 운동처방 박사 2명에게 내용타당도 검증을 통해 최종 운동프로그램을 구성하였으며, <Figure 1>와 같다.

근력 및 근지구력 운동프로그램은 4개의 운동부위(목, 상체, 복부, 하체)로 나누어 총 13개의 부위별 운동종목을 구성하여 주 3회(근력 2회, 근지구력 1회)를 실시하였다. 심폐지구력은 사관학교 교과과정을 연계하여 주 1회 실시하였다.

자료처리 방법 자료는 SPSS ver. 22.0(for windows)을 이용하여 사관생도의 ACTN-3 유전자 다형성에 따른 세 집단의 사전 동질성을 알아보기 위해 일원변량분석(one-way ANOVA)을 실시하였으며, 유전자 다형성별 운동프로그램 실시 후 각 변인의 변화차이를 알아보기 위하여

반복측정 변량분석(Repeated measurement ANOVA)을 실시하였다. 유의한 상호작용이 나타난 경우 Tukey의 HSD를 사용하여 사후검증(Post-hoc comparison)을 실시하였다. 유의수준은 $p < .05$ 수준으로 하였다.

결과

연구대상자의 사전 동질성 검사

공군 사관생도의 ACTN-3 유전자 형태에 따른 집단 간 사전 동질성 검사를 위해 일원변량분석(one-way ANOVA)을 실시하였으며 그 결과는 <Table 2>와 같다. 그 결과 모든 변인(골격근량, 체지방률, 심폐지구력, 슬관절 등속성 능력에서 유의한 차이가 나타나지 않았다. 따라서 ACTN-3 유전자 다형성에 따른 세 집단은 동일한 집단이라고 할 수 있다.

ACTN-3 유전자 다형성별 운동프로그램에 따른 신체조성, 심폐지구력 차이 몸공군 사관생도의 ACTN-3 유전자 다형성별(RR, RX, XX) 8주간 G-내성을 강화하기 위한 트레이닝에 따른 신체조성(골격근량, 체지방률)과 심폐지구력(ml/kg/min)의 차이를 검증하기 위해 반복측정 변량분석(Repeated measures ANOVA)을 실시하였으며, 그 결과는 <Table 3>과 같다.

골격근량(kg)은 ACTN-3 유전자 다형성과 시간에 따른 상호작용 효과가 유의하지 않게 나타났으며($p = .787$), 집단 내 변화를 살펴본 결과 RR형($p = .047$)과 RX형($p = .003$)에서 8주간의 G-내성 강화 운동프로그램 후 사전보다 골격근량이 유의하게 증가하였다. 한편 XX형($p = .158$)의 경우 유의한 변화가 없는 것으로 나타났다.

체지방률(%)은 ACTN-3 유전자 다형성과 시간에 따른 상호작용 효과가 유의하지 않게 나타났으며($p = .314$), 집단 내 변화를 살펴본 결과 XX형($p = .030$)에서 8주간의 G-내성 강화 운동프로그램 후 사전보다 체지방률이 유의하게 증가하였다. 한편 RR형($p = .939$)과 RX형($p = .097$)의 경우 유의한 변화가 없는 것으로 나타났다.

심폐지구력은 ACTN-3 유전자 다형성과 시간에 따른 상호작용 효과가 유의하지 않게 나타났으며($p = .894$), 집단 내 변화를 살펴본 결과 RX형($p = .001$)과 XX형 집단($p = .011$)에서 8주간의 G-내성 강화 운동프로그램 후 심폐지구력이 유의하게 증가하였다. 한편 RR형 집단의 경우 유의한 변화가 없는 것으로 나타났다($p = .134$).

Table 2. Pre-homogeneity check

Item	Group			F(t)	p	
	RR	RX	XX			
Body composition	skeletal muscle mass(kg)	32.88±2.82	33.04±2.67	34.63±2.46	1.322(2)	.283
	%fat	13.13±2.00	13.93±2.99	12.74±2.96	.507(2)	.608
Cardiopulmonary endurance (ml/kg/min)	49.33±8.74	47.43±8.63	51.79±8.49	.643(2)	.534	
Extension	PT/BW(%)	277.40±40.84	288.50±31.70	283.10±36.85	0.229(2)	.797
Flexion		179.60±16.78	202.30±28.31	198.60±26.45	2.495(2)	.101
	FL/EX ratio(%)	69.20±6.90	68.80±10.44	74.70±8.98	1.373(2)	.270
Extension	total work/BW(%)	3545.00±371.71	3407.60±477.32	3456.50±363.41	0.292(2)	.749
Flexion		3365.50±453.31	3026.50±310.03	3319.70±351.54	2.387(2)	.111
	FL/EX ratio(%)	95.70±11.86	91.70±10.92	93.60±21.00	0.171(2)	.843
G-tolerance (sec)	21.57±8.810	12.86±8.071	14.00±8.406	2.207(2)	.139	

Table 3. Difference between body composition and cardiovascular endurance

Factor	Group	pre (M±SD)	post (M±SD)	t(df)	p	Time*Group
skeletal muscle mass(kg)	RR	32.88±2.82	33.76±3.14	-2.302(9)	.047*	F(2)=.241 p=.787
	RX	33.04±2.67	33.84±2.54	-4.068(9)	.003*	
	XX	34.63±2.46	35.20±2.55	-1.539(9)	.158	
fat(%)	RR	13.13±2.00	13.20±2.24	-.079(9)	.939	F(2)=1.211 p=.314
	RX	13.93±2.99	15.73±2.74	-1.855(9)	.097	
	XX	12.74±2.96	14.14±3.33	-2.570(9)	.030*	
Cardiopulmonary endurance (ml/kg/min)	RR	49.33±8.74	52.25±7.04	-1.645(9)	.134	F(2)=.112 p=.894
	RX	47.43±8.63	51.43±6.81	-5.185(9)	.001**	
	XX	51.79±8.49	55.96±8.26	-3.185(9)	.011*	

* p<.05, **p<.01

결과적으로 8주간의 G-내성을 강화하기 위한 트레이닝 후 ACTN-3 유전자 다형성별 신체조성의 변화를 알아본 결과 RR형과 RX형 집단에서 골격근량(kg)이 증가되었으며, XX형 집단에서는 체지방률(%)이 증가되었으며, 심폐지구력에서는 RX형, XX형 집단에서 증가되었다.

ACTN-3 유전자 다형성별 운동프로그램에 따른 등속성 근기능, G-내성능력 차이 공군 사관생도의 ACTN-3 유전자 다형성별(RR, RX, XX) 8주간 G-내성을 강화하기 위한 트레이닝에 따른 슬관절 등속성 근력(60/sec), 근지구력(240/sec), G-내성능력(6G/30sec) 차이를 검증하기 위해

반복측정 변량분석(Repeated measures ANOVA)을 실시하였으며, 그 결과는 <Table 4>와 같다.

근력의 경우 Extension 시 체중 당 최대토크(PT/BW)는 ACTN-3 유전자 다형성과 시간에 따른 상호작용 효과가 유의하지 않게 나타났다(p=.736). 그러나 집단 내 변화를 살펴본 결과 RX형 집단에서 8주간의 G-내성 강화 운동프로그램 후 사전보다 체중 당 최대토크가 유의하게 증가하였다(p=.028). 한편 RR형(p=.344)과 XX형(p=.384) 집단의 경우 유의한 변화가 없는 것으로 나타났다.

Flexion 시 체중 당 최대토크(PT/BW)는 ACTN-3 유전자 다형성과 시간에 따른 상호작용 효과가 유의하지 않게

Table 4. Muscle strength(60°/sec), muscle endurance difference(240°/sec), G-tolerance(sec)

Factor		Group	pre (M±SD)	post (M±SD)	t(df)	p	Time*Group
EX	PT/BW (%)	RR	277.40±40.84	281.00±39.73	-0.999(9)	.344	F(2)=.310 p=.736
		RX	288.50±31.70	295.00±26.91	-2.619(9)	.028*	
		XX	283.10±36.85	286.30±38.57	-.915(9)	.384	
FL	PT/BW (%)	RR	179.60±16.78	192.30±17.21	-1.968(9)	.081	F(2)=.401 p=.674
		RX	202.30±28.31	209.40±20.43	-1.623(9)	.139	
		XX	198.60±26.45	206.50±27.64	-2.815(9)	.020*	
Ratio FL/EX(%)		RR	69.20±6.90	71.40±7.16	-2.310(9)	.046*	F(2)=1.364 p=.273
		RX	68.80±10.44	76.30±8.12	-2.101(9)	.065	
EX	TW/BW (%)	RR	3545.00±371.71	3671.60±411.74	-4.965(9)	.001**	F(2)=3.273 p=.053
		RX	3407.60±477.32	3446.00±421.81	-.834(9)	.426	
		XX	3456.50±363.41	3774.10±357.07	-2.519(9)	.033*	
FL	TW/BW (%)	RR	3365.50±453.31	3407.70±412.05	-1.066(9)	.314	F(2)=2.698 p=.085
		RX	3026.50±310.03	3291.80±273.07	-2.289(9)	.048*	
		XX	3319.70±351.54	3355.30±333.87	-.562(9)	.588	
FL/EX ration(%)		RR	95.70±11.86	99.20±8.24	-2.400(9)	.040*	F(2)=.511 p=.606
		RX	91.70±10.92	97.80±11.94	-2.672(9)	.026*	
G-tolerance (sec)		RR	21.57±8.810	26.29±9.827	-1.451(6)	.197	F(2)=3.830 p=.041
		RX	12.86±8.071	30.00±0.000	-5.620(6)	.001**	
		XX	14.00±8.406	24.57±10.628	-3.275(6)	.017*	

나타났다(p=.674). 그러나 집단 내 변화를 살펴본 결과 XX형 집단에서 8주간의 G-내성 강화 운동프로그램 후 사전보다 체중 당 최대토크가 유의하게 증가하였다(p=.020). 한편 RR형(p=.081)과 RX형(p=.139) 집단의 경우 유의한 변화가 없는 것으로 나타났다.

굴근/신근 비율(FL/EX ratio)은 ACTN-3 유전자 다형성과 시간에 따른 상호작용 효과는 유의하지 않게 나타났다(p=.273). 그러나 집단 내 변화를 살펴본 결과 RR형(p=.046)과 XX형 집단(p=.018)에서 8주간의 G-내성 강화 운동프로그램 후 사전보다 굴근/신근 비율은 유의하게 증가하였다. 한편 RX형 집단의 경우 유의한 변화가 없는 것으로 나타났다(p=.065).

근지구력의 경우 Extension 시 체중 당 총운동량(TW/BW)은 ACTN-3 유전자 다형성과 시간에 따른 상호작용 효과가 유의하지 않게 나타났으며(p=.053), 집단 내 변화를 살펴본 결과 RR형(p=.001)과 XX형 집단(p=.033)에서 8

주간의 G-내성 강화 운동프로그램 후 체중 당 총운동량이 사전보다 유의하게 증가하였다. 한편 RX형 집단의 경우 유의한 변화가 없는 것으로 나타났다(p=.426).

Flexion 시 체중 당 총운동량(TW/BW)은 ACTN-3 유전자 다형성과 시간에 따른 상호작용 효과가 유의하지 않게 나타났으며(p=.085), 집단 내 변화를 살펴본 결과 RX형 집단에서 8주간의 G-내성 강화 운동프로그램 후 체중 당 총운동량이 유의하게 증가하였다(p=.048). 한편 RR형(p=.314)과 XX형 집단(p=.588)의 경우 유의한 변화가 없는 것으로 나타났다.

굴근/신근 비율(FL/EX ratio)은 ACTN-3 유전자 다형성과 시간에 따른 상호작용 효과는 유의하지 않게 나타났으며(p=.606), 집단 내 변화를 살펴본 결과 RR형(p=.040)과 RX형 집단(p=.026)에서 8주간의 G-내성 강화 운동프로그램 후 굴근/신근 비율이 유의하게 증가하였다. 한편 XX형 집단의 경우 유의한 변화가 없는 것으로 나타났다

(p=.458).

G-내성능력은 ACTN-3 유전자 다형성과 시간에 따른 상호작용 효과가 유의하게 나타났다(p=.041). 이는 유전자 다형성과 G-내성 강화 운동프로그램은 상호의존성을 갖고 G-내성 능력 향상에 긍정적인 영향을 준다는 것을 말한다. 구체적으로 알아보기 위해 사후 검증(post-hoc)을 실시한 결과 RX형과 RR형 집단의 G-내성능력 간에 유의한 차이를 보임으로써(p=.041), 8주간의 G-내성 강화 운동 프로그램 후 RR형 집단에 비해 RX형 집단의 G-내성능력이 더 증가된 것으로 나타났다. 또한 집단 내 변화를 살펴본 결과 RX형(p=.001)과 XX형 집단(p=.017)에서 8주간의 G-내성을 강화하기 위한 트레이닝 후 G-내성능력이 유의하게 증가하였다.

논의

본 연구는 G-내성을 강화하기 위한 트레이닝을 8주(주 4회)간 실시한 후 공군 사관생도의 ACTN-3 유전자 다형성(RR, RX, XX)에 따른 신체조성, 심폐지구력, 등속성 근기능, G-내성능력(6G/30sec)의 변화차이를 규명하여 공군 사관생도의 ACTN-3 유전자 다형성별 G-내성 강화 운동프로그램의 효과를 검증하였다.

본 연구에서는 8주간 G-내성을 강화하기 위한 트레이닝 후 ACTN-3 유전자 다형성별 골격근량(kg)의 변화를 살펴보았다. 골격근량의 경우 트레이닝 후 RR형과 RX형 집단에서 골격근량이 증가되었다. ACTN-3 유전자 다형성 중 RR형과 RX형은 속근에서 발현하여 속근의 Z-line을 형성하여 속근섬유의 근수축을 유도하지만, ACTN-3 유전자 다형성 중 XX형은 α -actinin-3을 전혀 발현하지 못한다[14]. 따라서 본 연구에서 실시한 트레이닝 중 저항성 트레이닝에 따른 RR형과 RX형의 골격근량 증가는 이와 같은 유전자 특성에 따라 속근 섬유의 근수축을 유도하여 근섬유가 증가한 것으로 사료된다. 또한, 고강도의 저항성 트레이닝이 근력을 증가시키고, 운동기간 동안 근육량을 유지 또는 증가시킬 수 있다고 보고되어[16], 본 연구에서 실시한 G-내성 강화 운동프로그램이 고강도의 저항성 프로그램으로 구성되었기 때문에 나타난 결과라 생각된다. 조종사에게 있어 골격근량은 G-내성능력에도 영향을 미치는 중요한 요인이다. 조종사가 +Gz 가속도에 노출되면 뇌혈류량을 유지하기 위해 동맥압을 상승시키는데 [17]의 연구에 의하면 +5Gz에서 140mmHg이며, +10Gz에

서는 180mmHg 그리고 +15Gz에서는 220mmHg까지 동맥압이 증가한다고 하였다. 고가속도 환경에서 동맥압을 상승시킬 수 있는 요인으로는 근육의 정적 수축에 의해 말초저항이 상승하였기 때문이다. 결국 조종사가 +Gz 내성을 상승시키기 위해서는 근육의 크기를 키워 정적 수축력을 증가시켜야 하는 것이다[18]. 체지방률의 경우 8주간의 G-내성 강화 운동프로그램 후 XX형 집단의 체지방률이 증가되었다.

[18]의 연구에서는 공군 사관생도를 대상으로 G-내성을 검사를 실시하여 신체조성이 G-내성능력에 미치는 영향을 연구한 결과, 상대적으로 높은 BMI를 가지고 있는 대상자가 G-내성능력에 긍정적인 영향을 준 것으로 나타났다. 이는 급격하게 증가하는(1초에 1G씩 증가) G-내성을 견디기 위해서는 상대적으로 높은 BMI가 필요함을 시사한다.

심폐지구력의 경우 8주간 G-내성을 강화하기 위한 트레이닝 후 RX형과 XX형 집단의 심폐지구력이 증가되었다. 이러한 연구결과는 쇼트트랙 스피드스케이팅 국가대표 남자선수 20명을 대상으로 한 연구에서 XX형이 지구성 운동에서 강점을 보인다고 제시하고[10], 있어 본 연구 결과에서 나타난 RX형, XX형의 심폐지구력 증가는 지구성 능력과 관련 있기 때문에 선행연구의 결과를 뒷받침할 수 있는 것으로 나타났다. 또한, 호주 국가대표 선수 429명의 ACTN-3 유전자 다형성 분포를 분석한 연구에 따르면 무산소성 능력과 관련된 근력과 스프린트 종목에서 RR형과 RX형의 빈도가 높은 반면, 지구성 선수들에게서는 XX형의 빈도가 유의하게 높게 나타났다고 보고하였다[14]. 핀란드 엘리트 운동선수 141명을 대상으로 ACTN-3 유전자 다형성을 비교한 연구결과 지구력 선수들에게 RR형에 비해 XX형의 빈도가 높은 것으로 나타났다고 보고하였다[19]. 이와 관련한 국내 연구로는 일반인(410명)과 국가대표선수(458명)를 대상으로 실시한 연구에서 지구성 종목에서는 ACTN-3 유전자 다형성 중 XX형의 영향력이 크게 작용할 수 있다고 보고하고[20], 있어 본 연구의 결과를 뒷받침하는 결과로 사료된다.

슬관절 등속성 근력의 변화를 살펴본 결과 8주간 G-내성을 강화하기 위한 트레이닝 후 RX형과 XX형 집단에서 최대근력(체중 당 최고토크)이 증가하였고, RR형과 XX형에서 굴근과 신근의 비율이 향상되었다.

이러한 연구결과는 주 3회 10주간 저항성 트레이닝 후 최대근력에서 ACTN-3 유전자 다형성간 유의한 차이가

나타나지 않았으나 저항성 트레이닝 후 RR형, RX형, XX형 집단에서 최대근력(체중당 피크토크)이 향상되었음을 보고한 연구와 유사한 결과를 보였다[15]. 12주간의 근력 트레이닝 후 XX형에서 근력이 증가하였다는 연구결과를 보고하고[21], 있어 본 연구결과와 일부 유사한 결과를 나타내고 있다.

슬관절 등속성 근지구력의 변화를 살펴본 결과 8주간 G-내성을 강화하기 위한 트레이닝 후 RR형, RX형, XX형 집단 모두에서 근지구력(체중 당 최고토크)이 증가하였고, RR형과 RX형 집단에서 굴근과 신근의 비율이 향상되었다.

본 연구의 결과는 10주간 저항운동을 통해 RR형, RX형, XX형 집단 모두 근지구력이 증가한 연구와 유사한 결과를 나타내었다[15]. 이러한 결과는 α -actinin-3 단백질이 속근섬유의 형성을 촉진하거나 운동훈련에 따른 당대사를 변화시키며, 반복적인 운동에 의해 야기되는 α -actinin을 포함한 단백질의 저하와 형태학적인 손상에 가장 민감한 구조를 가진 속근 내 Z-선의 손상을 최소화시키기[22], 때문에 나타난 결과로 생각된다. 또한 XX형 집단의 근지구력도 발달한 것으로 나타났는데, 이는 XX형 유전자형이 속근에서 α -actinin-3가 발현되지 않고, 지근에서 α -actinin-2가 발현되어 지구성 운동수행 능력을 향상시킨 것[23]이라 생각된다.

G-내성능력의 변화를 살펴본 결과 8주간 G-내성을 강화하기 위한 트레이닝 후 RR형 집단에 비해 RX 집단의 G-내성능력을 더 증가시키고, XX형 집단의 G-내성능력도 증가시키는 것으로 나타났다. 정상적으로 속근에서 α -actinin-3가 존재하며, 최대근력을 발휘하는 무산소성(근력/과워)운동 종목 선수들에게 유리한 RR형보다 지구성능력에도 관련 있는 RX형에서 G-내성능력이 더 크게 증가한 것을 알 수 있다. 이는 이형접합체(heterozygous; RX형)의 경우 지구성능력과도 관련성이 있다고 선행연구에서 예측하고[24], 있기 때문에 근력과 지구성 능력이 G-내성능력 강화에 있어 발달시켜야 하는 신체적 능력으로 사료된다.

[25]의 연구에 따르면 무산소성 운동능력은 RR형과 높은 관련성이 있으며, 파워 관련 종목과 육상 단거리 달리기 선수들에게서 RR형의 빈도가 높게 나타났다고 보고하였다. 또한, [26]의 연구에서는 크로스컨트리 스키 선수들의 ACTN-3 유전자 분포에 따른 유·무산소성 능력의 차이를 분석한 결과, 유산소성 능력이 뛰어난 선수들은 XX형

의 빈도가 높게 나타났다고 보고하여 선행연구를 통해 유전자 다형성 특성에 따라 신체적 능력에도 차이가 있는 것을 알 수 있다. 선행연구에서 제시한 ACTN-3 유전자 다형성별 특성에 따라 본 연구에서 나타난 G-내성능력 변화 패턴에는 근력뿐만 아니라 근지구력과 유산소성 능력이 영향을 미치는 것으로 사료된다. 이는 G-내성능력이 선행연구에서 제시된 최대근력 향상뿐만 아니라 근지구력과 심폐지구력의 향상이 중요한 영향을 미치고 있음을 제시해주고 있다. 하지만 선행연구에서는 G-내성능력을 견디기 위해 최대근력을 발달시켜 high-G 상황에서 나타나는 뇌혈류량 감소에 의한 의식상실을 지켜내야 한다고 하였으며[4], [27]의 연구에서도 12주간의 저항성 트레이닝으로 최대근력을 발달시켜 G-내성능력을 강화할 수 있다고 보고하였다.

결론

공군 사관생도들은 G-내성을 강화하기 위하여 트레이닝을 실시 후 ACTN-3 유전자 다형성별 G-내성능력 변화 패턴에 차이가 나타나 RR형에 비해 RX형 사관생도들의 G-내성능력이 더 크게 증가되었으며, XX형 사관생도들의 G-내성능력도 증가되었다. 따라서 G-내성을 강화하기 위한 트레이닝이 RX형과 XX형의 유전자형을 가진 공군 사관생도들에게 효과적인 트레이닝방법 이라는 것을 검증할 수 있었다.

따라서, 본 연구에서 실시한 8주간의 G-내성을 강화하기 위한 트레이닝은 공군사관생도들의 G-내성능력 강화에 긍정적인 영향을 미쳤으며, 향후 G-내성능력이 부족한 기성조종사와 생도들에게 8주 이상의 운동프로그램을 적용시켜 그 변화를 확인하면서 지속적인 연구가 이루어질 필요가 있다고 제안한다.

Conflicts of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

1. Eiken O, Mekajavic L, Sunblad P, Kolegard R. G tolerance vis-a-vis pressure distension and pressure-flow relationships of leg arteries. *Eur J Appl Physiol.* 2012;

- 112:3619-3627.
2. Cheung B. Spatial disorientation: more than just illusion. *Aviat Space Environ Med.* 2013; 84(11):1211-1214.
 3. Manen O, Clement J, Bisconte S, Perrier E. Spine injuries related to high performance aircraft ejections: a 9-year retrospective study. *Aviat Space Environ Med.* 2014; 85(1):66-70.
 4. Koo MS. Physical fitness program to enhance aircrew G tolerance. *J Korea Exerc Sci Acad.* 2002; 11(1):211-220.
 5. Chiu LL, Hsieh LL, Yen KT, Hsieh SS. Ace I/d And ACTN-3 R577x polymorphism in elite athletes. *Med Sci Sport Exerc.* 2005; 37(5):167.
 6. Kim CH, Kim YM. Association of the ACTN3 single-nucleotide polymorphism with mechanical-power performance in Korean population. *Korean J Sport Stud.* 2005; 44(6):465-474.
 7. Clarkson PM, Devaney JM, Gordish DH, et al. ACTN-3 genotype is associated with increases in muscle strength in response to resistance training in woman. *J Appl Sport Psychol.* 2005; 99(1):154-63.
 8. Eynon N, Alves AJ, Yamin C, Sagiv M, Meckel Y. Is there an ACE ID-ACTN-3 R577X polymorphisms interaction that influences sprint performance. *J Sport Med.* 2009; 30(12):888-891.
 9. Rankinen TL, Perusse R, Rauramaa MA, Rivera BW, Bouchard C. The human gene map for Performance and health-related fitness phenotypes. *Med Sci Sports Exerc.* 2001; 34(8):1219-1233.
 10. Kim JW, Lee KH, Yun SJ. The comparison of aerobic and anaerobic capacity to excellent men's short track skater and speed skater. *Korean J Sports Sci.* 2014; 23(4):1143-1151.
 11. Friden J, Lirber RL. Serum creatine kinase level is a poor predictor of muscle function after injury. *Scand J Med Sci Sports.* 2001; 11(2):126-127.
 12. MacArthur DG, North KN. Genes and human athletic performance. *Hum Genet.* 2005; 116(5):331-339.
 13. Cho HC, Kim JK, Kim SY, et al. Change of an aerobic capacity on long term training between ACTN-3 polymorphism. *J Korean Alliance Martial Arts.* 2013; 15(1):43-55.
 14. Yang N, MacArthur DG, Gulbin JP, et al. ACTN-3 genotype is associated with human elite athletic performance. *Am J Hum Genet.* 2013; 73:627-631.
 15. Shin YA, Kim SJ. Effects of muscle strength, muscle power, and muscle endurance following resistance training according to ACTN3 genotype. *Korean J Sport Stud.* 2010; 49(3):329-341.
 16. Taaffe DR, Duret C, Wheeler S, Marcus R. Once weekly resistance exercise improves muscle strength and neuromuscular performance in older adults. *J National Acad Sci Online(US).* 1999; 97(26):14632-14637.
 17. Balldin VI. Physical training and +Gz tolerance. *Aviat Space Environ Med.* 1984; 55:991-992.
 18. Park JS. Effect of isokinetic muscular function on G-tolerance(+6G/30s). *J Korean Soc Wellness.* 2015; 10(3):213-220.
 19. Niemi AK, Majamaa K. Mitochondrial DNA and ACTN3 genotypes in Finnish elite endurance and sprint athletes. *European J Hum Genet.* 2005; 13(8):965-969.
 20. Kim YJ, Park DH, Sung BJ, et al. Relationship between ACTN3 polymorphism and power-endurance performance. *Phys Educ Sci Res.* 2006; 17(1):55-65.
 21. Lee JH, Park NS. Interaction of ACTN3 gene polymorphism and muscle imbalance effects on kinematic efficiency in combat sports athletes. *J Exerc Nutrition Biochem.* 2016; 20(2):1-7.
 22. MacArthur DG, North KN. A gene for speed? The evolution and function of alpha-actinin-3. *Bioessays.* 2004; 26:786-795.
 23. Zanolati E, Lotuffo RM, Oliveira AS, et al. Deficiency of muscle alpha-actinin-3 is compatible with muscle performance. *J Clin Neuromuscul Dis.* 2003; 20(1):39-42.
 24. Ahmetov II, Druzhevskaya AM, Astratenkova IV, Popov DV, Vinogradova OL, Rogozkin VA. The ACTN3 R577X polymorphism in Russian endurance athletes. *British J Sports Medicis.* 2010; 44(9):649-652.
 25. Garay AL, Levine L, Carter J. Single gene systems of blood. In: genetic and anthropological studies of olympic athletes. Garay, L. Levine and J. E. L. Carter(Eds.). New York, Academic Press. 1974; 165-187.
 26. Jeon YK, Lee KH. ATCN-3 R577X gene genotype distri-

bution of the difference between aerobic and anaerobic capacity in cross-country ski athletes. Korean J Sports Sci. 2014; 23(3):1255-1265.

27. Epperson WL, Burton RR, Beranuer EM. The effective-

ness of specific weight training on simulated aerial combat maneuvering G-tolerance, *Aviat. Space Environ Med.* 1985; 56:534-539.