

F-15/16 조종사의 ACTN-3, G-내성, 신체조성 간 관계 예비조사

신승환

공군사관학교 항공체육학과

A Correlation Pilot-Study of F-15/16 Pilots' ACTN-3, G-tolerance, and Body Compositions

Seung-Hwan Shin

Department of AeroFitness, Korea Air Force Academy, Cheongju, Korea

PURPOSE: The purpose of this study is to investigate the relations among ACTN-3 polymorphism (RR, RX, XX), G-tolerance (breath cycle) at 9 G-test (15 seconds), and body compositions for F-15/16 pilots' selection, plane deployment and safe service.

METHODS: 21 male F-15/16 pilots (29.3 ± 1.00 years, 173.5 ± 6.3 cm, 78.6 ± 10.97 kg) voluntarily participated (ASMC-17-IRB-009). ACTN-3 polymorphism (RR, RX, XX) were analyzed from venous blood 3 mL. Participants did G-test (9 G, 15 seconds) for measuring G-tolerance from mean breath cycle (second) and measured body compositions (height [cm], weight [kg], muscle mass [kg], fat [kg], (%), BMI [kg/m^2]). Using SPSS 19.0 (for windows), G-tolerance and body compositions were analyzed by ACTN-3 polymorphism and correlations between G-tolerance and body compositions were analyzed.

RESULTS: ACTN-3 polymorphism showed, 6 'RR', 10 'RX', 5 'XX'. There was no significance in G-tolerance and body compositions by ACTN-3 polymorphism, in correlation between G-tolerance and body compositions. But, 'RR' could be inferred predominant in G-tolerance from longest mean breath cycle. In G-tolerance, muscle mass showed positive and fat showed negative trend. Pilots' mean BMI was judged as obesity.

CONCLUSIONS: By ACTN-3 polymorphism, no significance was showed in G-tolerance and body compositions at high G-test (9 G, 15 seconds). For proving 'RR's predominant possibility, more participants and long G-test time are needed. From muscle mass' positive and fat's negative trend with G-tolerance, and pilots' obesity, body composition management education is needed.

Key words: ACTN-3, G-tolerance, Body composition, G-test, F-15/16 pilot

서론

전투기는 공중교전과 요격미사일 회피를 위해 순간 가속과 작은 회전반경의 원심성 선회 기동을 반복해야 하고, 이때 조종사에게는 뇌의 혈액이 하부로 쏠려 의식을 잃지 않도록(Gravity induced Lost Of Consciousness, G-LOC) 중력가속도에 대한 내성(Gravity induced acceleration tolerance, G-내성)이 요구된다[1]. 공군 조종사가 되기 위해서는 의

식상실 예방을 위해 최소 6 G에서 30초간의 G-test를 통과하여 G-내성을 검증받아야 하고, 전투기 조종사가 되기 위해서는 최소 7 G에서 20 초, 그리고, F-15/16 조종사가 되기 위해서는 9 G에서 15초를 버텨내야 한다.

G-내성 검증을 위한 G-test는 고속에서 작은 회전반경의 원심운동을 체험할 수 있도록 조종석 모형을 구현한 장비에서 이뤄지며, 의식을 유지하기 위해서는 뇌혈류가 인체의 하부로 쏠리는 것을 차단하기 위한

Corresponding author: SeungHwan, Shin Tel +82-43-290-6484 Fax 0504-400-2358 E-mail navy8@snu.ac.kr

*이 연구는 2017년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단-중견연구자(일반)사업의 지원을 받아 수행된 연구임(NO.2017S1A5A201023364).

Keywords ACTN-3, G-내성, 신체조성, G-test

Received 29 Dec 2017 Revised 5 Feb 2018 Accepted 20 Feb 2018

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

운동과 호흡이 요구된다[1,2]. 운동은 복부 이하의 부위에 힘을 주고 다리를 곧게 펴 발 아래에 가로로 설치된 붓을 밀어내는 등척성 동작으로 이뤄진다. 이때 L-1 호흡(Anti-G Straining Maneuver, AGSM)을 하는데, 뇌혈류량 유지를 위해 흡기 후 성문을 닫은 채 유지하고, 호흡 욕구 발생 시 호기와 흡기에 소요되는 시간을 최소화하여야 한다. 원심운동이 가속되면 G가 커짐과 동시에 인체가 옆으로 눕는 형태가 되므로 혈액이 하부로 쏠리는 압력이 비례하여 커진다. 9 G는 전투기의 기동시 발생하는 최대 압력으로써 체중의 9배가 머리를 누르는 압력으로, 의식을 유지하기 위해서는 복부 이하 부위의 근육량을 토대로 한 강한 근력 발현과 규칙적인 호흡의 유지가 요구된다[1,2].

G-내성의 미흡은 사망 등 치명적인 결과로 연계될 수 있으며, 나라별, 기종별 조종사들의 경험률은 7-12%로 보고되고 있다[3-5]. 따라서 전 세계적으로 조종사들의 G-내성 강화를 위해 정기적으로 G-test를 실시하고 있고, 우리나라도 3년마다 실시한다. 특히, 일일 2-3회 출격에서 반복되는 G-내성의 발현은 피로회복 능력도 요구하는데[6], 이는 근육량, 체지방 등 신체조성과 연관되어[7], 국외에서도 G-내성과 관련 강조된 바 있다[8]. 나아가 첨단 과학기술로 발달하는 전투기의 성능 발휘를 위해 조종사의 신체적 역량이 더욱 중요해질 것으로 전망되는 점[9]도 G-내성과 신체조성의 관련성을 뒷받침해준다.

한편, 운동생리학자들의 운동능력과 유전적 연관성을 밝히기 위한 노력은 활발하게 진행되고 있다. 2형 근육에서 발현되는 ACTN-3 유전자는 표현형에 따라 RR, RX, XX로 나뉘는데, 'R'은 근력, 순발력, 'X'는 지구력 발휘와 연관되는 것으로 알려져 있다[10]. 이 유전자의 근력 발현 특성과 근육량의 관련성은, 국내 일반 성인에서 표현형 간 신장 차이가 1 cm 미만일 때, RR형이 평균 체중이 2.5-3.5 kg 적고 체지방률이 0.3% 범위 내에서 유사하더라도 엉덩이, 허리둘레가 크고 근력도 우수한 것으로 보고된 바 있어 정적 관계를 추정해볼 수 있다[11]. 그러나, 이 연구에서 근육량은 표기되지 않아 검증이 필요하다.

ACTN-3 유전자 관련 연구 결과들은 표현형별로 종목, 대상과 수행 수준에 따라 다른 결과를 보여왔고[12-15], 국내의 연구들은 주로 세 가지 표현형으로 구분하여 연구해왔으나, 국외에서는 'RX'를 근력 발현 우위의 'R'에 따라, 혹은 지구력 발현 우위의 'X'에 따라 분류하여 연구하고 있기도 하다[16,17]. 특히, 조종사들의 G-내성 발휘과정과 같이 하체의 킥(kicking) 동작을 주로 사용하는 육상의 단거리 종목에서 선수의 수준과 운동강도가 높아질수록 'R'형이 유리하게 나타나는 것으로 보고되고 있어[18], 이 유전자와 G-내성의 연관성을 추정해볼 수 있다고 사료된다. 또한, 최근에 이뤄지고 있는 신체조성[19]이나 발목 등 부상 예측[20,21]과 관련된 연구들은 유전적 요인의 활용범위를 확대해 나아가는 것으로 볼 수 있어, G-내성을 유전, 신체조성과 연계하여 분석하는 것은 연구영역 확장에도 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

이상에서 F-15/16 조종사들의 G-내성이 고강도의 근력 발현을 요구

하는 운동형태라는 점에서 신체조성, ACTN-3 유전자와의 연관성 추정이 가능하다. 그러나, 지금까지 G-내성과 관련해서는 의학분야에서 혈압, 산소공급 등 호흡 관련 생리적 요인[8,22]을 분석하거나, 심혈관계질환 등 건강관리[23-25] 관련 연구들이 주로 이뤄졌고, 간헐적으로 근력, 근지구력의 영향과 관련하여 무산소성 트레이닝의 효과가 구명되는 데 그쳤다[26,27]. 그리고, 최근에는 많은 연구들이 7 G 이상에 노출되는 첨단 전투기 조종사들에게서 빈발하는 목과 허리 등 근골격계의 부상[28-30]을 대상으로 하고 있다. 이러한 결과들은 골격근량 등 신체조성이 선수들에서도 부상과 연계될 수 있고, 조종사들에서도 근력이 요구된다는 점에서 신체조성의 연구 필요성을 강화해준다고 볼 수 있다. 더불어, 조종사들의 BMI가 비만에 육박하는 것으로 보고되었고[31], 일반적으로 비만은 생활습관병으로써 직무수행에 부적 영향을 미친다는 점을 고려할 때 조종사의 G-내성과 연관해서 구명할 필요성은 더욱 커진다고 할 수 있다. 그럼에도 조종사에게 고강도의 운동이 요구된다는 사실은 접근이 어려운 특수분야인 까닭에 운동생리학자들에게는 거의 알려지지 않았고, 연구들이 의학계에서 주로 이뤄지면서 G-내성, 유전자형, 신체조성 간의 관계를 종합적으로 탐색해보려는 시도는 지금까지 이뤄지지 못하였다.

이에 본 연구에서는 비행시간 500-1,000시간의 F-15/16 조종사를 모집하여 G-내성과 ACTN-3 유전자의 표현형, 신체조성 간 관계를 예비 조사를 통해 탐색하여, 조종사의 안전한 임무수행을 위한 적정 신체조성 관리와, 전투기 조종사 육성, 선발과 기종 배정에 활용 가능한 자료를 축적하고자 하였다. 이 기종은 모집단의 크기도 작고 참여조건 만족 여부를 고려할 때 참여자 모집이 제한된다는 어려움이 있으나, 탐색을 통해 요인 간 연관성이 확인되면 즉시 활용이 가능하다는 장점이 있다. 또한, 곧 도래할 초음속 여객기 시대에 조종사의 선발과 관리, 그리고 우주인 선발에도 참고자료로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

연구 방법

1. 연구 대상

본 연구대상은 2017년 7-9월 충북 C시 소재 항공의료원에 내방한 비행시간 500-1,000시간인 F-15/16 조종사 중 만 27.6-30.5세 사이의 희망자 21명을 대상으로 하였다. 참여를 위한 섭외 기준은 베테랑으로 인정하는 비행 500시간 이상이며, 이때 연령은 최소 27세 정도가 된다.

Table 1. Subject characteristics

Variables (N=21)	Mean ±SD	Range
Age (yr)	29.3 ± 1.00	27.6-30.5
Height (cm)	173.5 ± 6.3	161.8-188.0
Weight (kg)	78.6 ± 10.97	56.5-104.9
career (yr)	6.3 ± 1.2	4.6-8.6

연령범위를 이후 3년으로 한 것은 조종사들이 3년 주기로 G-test를 받는데, 5 G 수준에서도 경험으로부터의 학습효과가 보고되어[32], 이를 최대한 배제하기 위해서였다. 일반적 특성은 Table 1과 같다.

2. 연구절차

1) IRB 및 동의서 수령

본 연구는 인간 대상 연구로 G기관에서 심의를 받았고(ASMC-17-IRB-009), 그에 따라 위 의료원을 방문하는 조종사를 대상으로 사전에 메일과 전화로 ACTN-3 표현형 분석을 위한 채혈, G-test, 신체조성 측정 관련 내용을 설명하고 동의서를 수령하였다.

2) ACTN-3 유전자 표현형 분석

ACTN-3 유전자형 분석은 신체조성 측정에 이어서 실시하였다. DNA는 참여자들의 상완정맥에서 혈액 3 mL를 K₃EDTA 진공튜브에 채혈하고 Chemagic kit로 DNA를 절차(protocol)에 따라 추출하였다. 분리한 DNA는 autoclave한 증류수와 희석하여 농도를 확인하고 -20°C에서 보관하였다. 유전자 증폭을 위한 sense 프라이머는 5'-CACTGCTGC CCTTCTGTG-3'이고, Anti-sense 프라이머는 5'-CGGGCTGAGGGTGATGTAG-3'로 제작하였다. 연쇄중합반응을 위해 50 pM의 sense/anti-sense 프라이머, 2.5 mM dNTP, 2unit Taq DNA polymerase, PCR 완충액(with MgCl₂)과 genomic DNA 2 µL, 증류수를 혼합하여 총 반응액이 30 µL가 되도록 용액을 합성하였다. 연쇄중합반응 과정은 PC320 (ASTECH, JAPAN)을 이용하여 다음과 같은 반응조건에 의해 수행되었다. 95°C에서 5분간 가열하여 template DNA를 단일체로 초기 변성한 다음, 변성을 95°C에서 30초, 결합을 60°C에서 30초, 연장을 72°C에서 45초 실시하는 과정을 36회 반복 후, 마지막 연장을 72°C에서 3분간 유지하였다. PCR 생성물 10 µL를 Dde I 0.2 µL와 NE buffer 3 2 µL와 증류수로 혼합하여 총 반응액이 50 µL가 되게 하였으며, 제한효소 반응을 중지하기 위해 65°C로 온도를 높여 20분간 유지하였다. 제한효소

를 마친 생성물 6 µL를 ethidium bromide로 염색한 후, 자외선 투사기 VILVER LOURMAT (Primetech, Seoul)과 디지털카메라 C-4000 ZOOM (OLYMPUS, JAPAN)을 활용하여 DNA 분절로 이루어진 밴드를 촬영하여 관찰하였다. RR은 219 bp, 8 bp, RX는 219 bp, 122 bp, 97 bp, 8 bp, XX는 122 bp, 97 bp, 8 bp에서 띠가 관찰되었다(Fig. 1).

3) G-test를 통한 G-내성 측정

G-test 시행을 위해서는 먼저 곤돌라(ETC, USA; Fig. 2) 내부에 설치된 조종석에 앉아 하체의 신전 시 근력발현을 극대화할 수 있도록 자동차의 패달 위치에 가로로 설치된 원형 바와 좌석의 간격을 조정한다. 참여자는 L-1 호흡법(Anti-G Straining Maneuver)과 함께 복부 이하의 부위에 힘을 준 후, 초당 1 G의 속도로 가속하여 각 4 G와 5 G에서 10초간의 원심운동으로 위밍업을 하였다. 이후 본 검사는 참여자와 관리자의 OK 사인 교환 후 참여자가 조종스틱을 당기면 곤돌라가 초당 6 G의 속도로 급가속되어 원심운동을 하고, 9 G에 도달하면 15초간의 식을 유지해야 한다. 통과하면 초당 -1.7 G로 감속되어 종료된다.

본 연구에서 G-내성 측정은 15초간의 G-test 중 매 호기시작시점과 다음 호기시작시점 간 호흡주기를 측정하고, 평균주기(초)로 산출하였다. 이는 여타 종목들에서 호흡 효율성을 운동능력 평가의 한 요소로

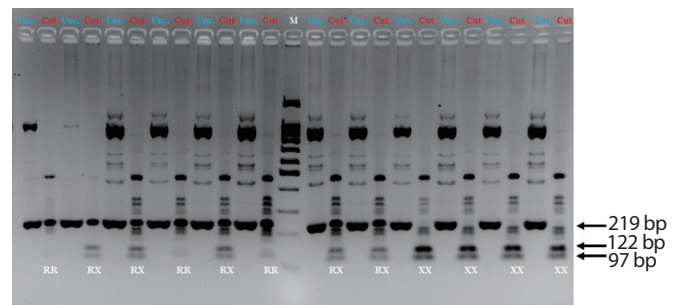


Fig. 1. ACTN-3 genotypes.



Fig. 2. G-test in gondola (ATFS-400). In G-test, pilot is seating in turning gondola. In (B) (past turn/9 G), gondola showed large gradient compared with (A) (slow turn/1.7 G).

고려하는 것과 동일한 것으로써, 국외의 G-test 관련 선행연구에서도 운동능력을 호흡주기로 평가한 방식을 기반으로 하였고[8], 본 검사기 관에서도 2.5-3초를 권장하고 있다. 호흡주기 측정의 신뢰도를 위해 기존에 녹화된 영상자료를 활용하여 연습하였다. 본 G-test 시 15초간의 호흡주기를 측정하였고, 사후 담당자의 확인하에 녹화된 영상으로 1회 더 측정하여 평균 호흡주기(초)를 채택하였다.

4) 신체조성

InBody 720 (Biospace, Seoul)을 활용하여 전문 측정요원이 체중(kg), 골격근량(kg), 체지방량(kg), BMI(kg/m²), 체지방률(%)을 측정하였다. 측정 전 12시간 이내 중강도 이상의 운동, 4시간 이내 식사와 수분섭취, 커피 등 이뇨성 물질의 섭취를 금하였으며, 측정실의 기온은 20-22°C로 유지하였다.

3. 자료처리방법

자료 분석을 위해서 SPSS 19.0 (for Windows)을 사용하였다. ACTN-

3 유전자의 표현형(RR, RX, XX) 분포는 하디-와인버그 법칙(Hardy-Weinberg Law)에 따라 검증하였고, 분포에 따른 G-내성(호흡주기)과 신체조성은 일원변량분석(One-way between measures ANOVA)으로 실시하였다. 다음으로 국외에서 'RX'형을 근력과 순발력 우위를 나타내는 'RR'과 집단화하거나, 혹은 지구력 우위를 나타내는 'XX'와 집단화하여 분석한 사례에 따라[16,17], 본 연구에서도 'RR'과 'RX+XX', 'RR+RX'와 'XX'로 집단화하여 집단 간 독립 t-test를 실시, 유전자 표현형과 G-내성의 관계를 추가 분석하였다. 다음으로 G-내성과 신체조성 변인 간에는 상관관계를 분석하였다. 통계적 유의수준(α)은 .05로 설정하였으며, 모든 자료는 기술통계를 통해 평균과 표준편차로 제시하였다. 본 연구에서 유전자 표현형에 따른 G-내성과 신체조성, 그리고 G-내성과 신체조성의 두 분야로 나누어 분석한 것은, 첫째, 본 연구가 유전자 표현형에 따라 G-내성과 신체조성이 어떠한 특성을 보이는지 탐색하는 첫 시도라는 점과, 둘째, F-15/16 조중사를 대상으로 G-test를 실제로 수행한 연구가 없다는 점에서 이러한 분석이 조중사 선발, 육성과 안전한 임무수행을 위한 적정 신체조성 관리 측면에서 실용적 의

Table 2. G-tolerance and body compositions by ACTN-3

Variables		N	M	SD	Min.	Max.	df	F	p	p [†]	p [‡]
Breath cycle (sec)	RR	6	2.18	.53	1.44	2.96	2	2.056	.157	.942	.066
	RX	10	1.74	.40	1.28	2.75					
	XX	5	1.89	.30	1.56	2.24					
	sum	21	1.90	.44	1.28	2.96					
Height (cm)	RR	6	174.25	7.46	166.90	188.00	2	1.827	.189	.119	.745
	RX	10	171.14	5.23	161.80	181.40					
	XX	5	177.38	5.86	168.30	184.40					
	sum	21	173.51	6.31	161.80	188.00					
Weight (kg)	RR	6	79.81	9.85	68.60	95.00	2	1.059	.368	.239	.748
	RX	10	75.22	12.44	56.50	104.90					
	XX	5	83.70	8.28	72.00	93.20					
	sum	21	78.55	1.97	56.50	104.90					
Muscle mass (kg)	RR	6	35.41	4.94	28.80	42.40	2	1.429	.266	.150	.830
	RX	10	33.41	4.76	25.50	44.60					
	XX	5	37.84	4.84	32.70	45.50					
	sum	21	35.03	4.93	25.50	45.50					
Fat (kg)	RR	6	17.56	5.43	11.40	26.00	2	.09	.915	.865	.759
	RX	10	16.50	5.68	10.40	27.50					
	XX	5	17.36	4.22	14.30	24.60					
	sum	21	17.00	5.07	10.40	27.50					
Fat (%)	RR	6	21.95	5.75	14.40	28.80	2	.087	.917	.698	.770
	RX	10	21.54	4.46	15.50	27.90					
	XX	5	20.74	4.44	15.30	27.70					
	sum	21	21.46	4.62	14.40	28.80					
BMI (kg/m ²)	RR	6	26.25	2.54	23.10	30.60	2	.168	.847	.668	.827
	RX	10	25.65	3.65	19.60	31.90					
	XX	5	26.52	1.13	25.20	27.50					
	sum	21	26.02	2.83	19.60	31.90					

[†]independent t-test result (p value): polymorphin 'RX' is defined as 'R' group,analyed by 'RR, RX (N = 16)' vs 'XX (N = 5)'; [‡] independent t-test result (p value): polymorphin 'RX' is defined as 'X' group,analyed by 'RR (N = 6)' vs 'RX, XX (N = 15)'.

미를 제공할 수 있다고 판단하였기 때문이다.

연구 결과

본 연구는 조종사의 G-내성 발휘 과정이 고강도의 단속적 운동이라는 측면에서, 운동과 관련된 유전자형인 ACTN-3, 그리고 신체조성 간 연관성이 존재할 것으로 가정하였다. ACTN-3 유전자 표현형과 G-내성, 신체조성 간의 연관성이 구명되면, 조종사의 신체조성 관리와 예비조종사의 교육 및 기중배정에 참고자료로 활용할 수 있을 것으로 보인다.

1. ACTN-3 유전자 표현형별 G-내성과 신체조성

총 21명 중 'RR'형 6명(28.6%) 'RX'형 10명(47.6%), 'XX'형 5명(23.8%)으로 분석되었고, 분포의 평형성은 $\chi^2=2.941$ (df=1)로 하디-와인버그의 법칙을 만족하였다. ACTN-3 유전자의 표현형별 G-내성은 호흡주기(초)로 분석한 결과, 'RR'형이 2.18초로 가장 길었고, 'RX'형은 1.74초로 가장 짧았으며, 'XX'형은 1.89초였으나 유의하지는 않았다($\alpha=.157$) (Table 2). 국외에서는 'RX'형을 'R'에 따라 'RR'과, 또는 'X'에 따라 'XX'

와 집단화하여 분석하기도 하는데[16,17], 본 연구에서는 'X'로 집단화하였을 때('RR' vs. 'RX, XX') 눈여겨볼 만한 결과가 나타났다($\alpha=.066$).

ACTN-3 유전자의 표현형별 신체조성은 전 요인에서 유의하지는 않았으나, 'XX'형이 가장 크고(177.38 cm), 무겁고(83.70 kg), 골격근량(37.84 kg)도 많고, 체지방률(26.52%)도 컸으나, 'RR'형이 체지방량(17.56 kg)과 BMI (21.96 kg/m²)는 가장 컸다. 'RR'과 'XX'형의 체지방량 차이는 200 g, 체지방률 차이는 0.27%였고, 'RX'형은 BMI를 제외하고 전 요인에서 가장 작은 수치를 보였다. 본 연구 참여자의 신체조성은 전반적으로 'RR'형이 중간값의 경향을 보였다.

2. G-내성과 신체조성의 상관관계

본 연구에서 G-내성과 신체조성 요인 간 상관관계는 유의하지 않았다. 키, 몸무게, 골격근량과는 정적경향이, 체지방량, 체지방률, 복부지방은 부적경향이 나타났다.

신체조성 간에는 키는 몸무게/골격근량과는 유의하였으나($p<.05$), BMI와는 역상관 경향을 보였다($\alpha=.143$). 몸무게는 키/복부지방률($p<.05$), 골격근량/체지방량/체지방률($p<.001$)과 유관하였으나, BMI와는 무관하였다. 골격근량은 키/몸무게($p<.001$), 체지방률($p<.05$)과

Table 3. Correlations between G-tolerance and body compositions

		Breath cycle (sec)	Height (cm)	Weight (kg)	Muscle mass (kg)	Fat (kg)	Fat (%)	BMI (kg/m ²)	Visceral fat (%)
Breath cycle (sec)	Pearson r	1	.253	.123	.259	-.171	-.006	-.29	-.287
	p		.269	.595	.256	.458	.98	.202	.207
	N	21	21	21	21	21	21	21	21
Height (cm)	Pearson r	.253	1	.631**	.791**	.047	.113	-.331	.015
	p	.269		.002	0	.838	.625	.143	.949
	N	21	21	21	21	21	21	21	21
Weight (kg)	Pearson r	.123	.631**	1	.893**	.704**	.841**	.319	.525*
	p	.595	.002		0	0	0	.159	.015
	N	21	21	21	21	21	21	21	21
Muscle mass (kg)	Pearson r	.259	.791**	.893**	1	.313	.596**	-.134	.237
	p	.256	0	0		.167	.004	.562	.301
	N	21	21	21	21	21	21	21	21
Fat (kg)	Pearson r	-.171	.047	.704**	.313	1	.864**	.892**	.758**
	p	.458	.838	0	.167		0	0	0
	N	21	21	21	21	21	21	21	21
Fat (%)	Pearson r	-.006	.113	.841**	.596**	.864**	1	.635**	.645**
	p	.98	.625	0	.004	0		.002	.002
	N	21	21	21	21	21	21	21	21
BMI (kg/m ²)	Pearson r	-.29	-.331	.319	-.134	.892**	.635**	1	.701**
	p	.202	.143	.159	.562	0	.002		0
	N	21	21	21	21	21	21	21	21
Visceral fat (%)	Pearson r	-.287	.015	.525*	.237	.758**	.645**	.701**	1
	p	.207	.949	.015	.301	0	.002	0	
	N	21	21	21	21	21	21	21	21

* $p<.05$; ** $p<.01$.

유관하였으나, BMI와는 역상관 경향을 보였다. 체지방량은 몸무게/체지방률/BMI/복부지방과 유관하였고($p < .001$), 체지방률은 몸무게/체지방량($p < .001$), 골격근량/BMI/복부지방률($p < .05$)과 유관하였다. 복부지방률은 체지방량, BMI ($p < .001$), 몸무게, 체지방률($p < .05$)과 유관하였다.

논 의

조종사에게 G-내성이 중요함에도 실제로 G-test를 수행한 연구는 매우 드물다. 특히, F-15/16과 같이 9 G에서 G-test를 받는 조종사를 대상으로 한 연구는 선행연구 고찰을 통한 자료수집에서도 찾지 못하였을 만큼 국제적으로도 희귀하고, 검색된 2건의 선행연구 모두 설문조사에 의존하고 있다[22,27]. 이유는 G-test 장비는 순간 최대 1,500마력의 회전력을 지지해야 할만큼 기술력이 요구되고 250억 원 이상의 고가여서 국내에서도 본 연구가 수행된 곳이 유일하고 국외에서도 드물다. 또한, 국내에서는 3년마다 조종자격유지를 위해 의무적으로 방문해야 하는 여러 기종별 조종사들의 G-test 계획이 많기 때문에, 이들을 섭외하지 못하면 별도의 연구는 사실상 불가능하다. 또한, 이들은 검사결과에 따라 조종 지속 여부가 결정되기 때문에 연구참여 결정이 편하지만은 않다. 그리고, G-내성에는 5 G에서도 경험요인이 작용하는 것으로도 보고되어[32], 본 연구와 같이 경험을 최대한 배제한 가운데 적정 참여자를 선정하여 연구하기는 더욱 어렵다. 그에 따라 국외에서도 참여자 선정과 적정 설계의 필요성을 강조하고 있다[33]. 그러나, 군은 개인보다 임무수행이 본질이고, 특히, 전투기의 성능은 계속 발달되므로 본 연구와 같이 실용성과 차별성을 갖는 연구 노력들이 필요하다고 사료된다.

1. ACTN-3 유전자 표현형별 G-내성과 신체조성

본 연구에서는 전투조종사의 우수한 G-내성이 고도의 근력을 요구한다는 측면에서 유전적 요인이 작용할 가능성이 있을 것으로 가정하였고, ACTN-3 유전자 표현형별 G-내성과 신체조성의 관련성이 구명되면 전투조종사의 선발과 기종 배정에 활용할 수 있을 것으로 기대하였다.

ACTN-3 유전자의 표현형 분포는 'RR'형 6명(28.6%), 'RX'형 10명(47.6%), 'XX'형 5명(23.8%)으로 나타났다. 본 연구는 예비조사이지만, 국내에서 육상 등 다양한 종목 선수들의 종합적 경향으로 보고된 'RR'형 31-37.5%, 'RX'형 48-56%, 'XX'형 13-17%의 결과[31]와는 다소 다른 경향을 보였고, 국외에서의 엘리트 농구와 럭비 선수에서 나타난 RR 25-37%, RX 39.5-42%, XX 21-35.5%의 범위와는 유사한 경향을 보였다[12,19].

ACTN-3 유전자의 표현형별 G-내성은 유의하지 않았으나, RR형의

평균 호흡주기가 2.18초('RX'형 1.74초, 'XX'형 1.89초)로 가장 길었다. 이는 'RR'형은 근력, 순발력, 스피드와 유관하고, 'XX'형은 지구력과 유관하다는 결과가 엘리트 육상 선수 등 다양한 대상의 많은 연구들 [18,34,35]에서 밝혀졌다는 점과 연계하여 해석이 가능하다고 사료된다. 왜냐하면, G-내성은 근력 등 무산소성 능력과 정적으로 유관한데 [6,8], 'RR'형이 15초간의 고강도의 짧은 무산소성 운동상황에서 평균 호흡주기를 길게 유지하였다는 점은 호흡주기를 유지하지 못하게 될 때 의식상실(G-LOC)에 빠진다는 점을 고려할 때, 우수한 G-내성과 연관될 수 있다는 가능성이 합리적으로 확인되었다는 근거가 될 수 있기 때문이다.

실제로 미 공군 조종사를 대상으로 한 연구에서 2초 이하이면 짧고, 4초 이상이면 길다고 판단한 사례[22]와 본 연구에서 참여자의 평균 호흡주기인 1.9초를 비교해볼 때도, RR형의 호흡주기가 2초를 넘었다는 점은 유전적 강점의 가능성을 부가해주는 것이라고 사료된다. 미군 대상 선행연구에서는 설문지를 사용하였고 구체적인 G-level은 명시되지 않았으나, 우리나라에서도 평균 2.5초를 권장하고 있다. 물론, 비행 자격 유지를 결정하는 테스트이고, 영상이 녹화되는 연구참여이므로 심리적 부담감이 있으며, 경험이 최대한 배제되었다는 점도 호흡주기에 영향을 주었을 가능성이 있다. 또한, 호흡주기 분석 결과 15초에 가까워질수록 짧아지는 경향이 있었음에도, RR형만이 평균 2초를 넘었다는 점은 스포츠에서 'RR'형이 근력 등 파워 발현에 유리하다는 점에 비춰 주목할 만한 결과라고 사료되고, 특히 'RX'형을 'X'로 구분하여 분석한 사례[17]에 따른 분석결과($\alpha = .066$)는 유전적 영향의 가능성을 뒷받침해주는 것이라고 사료된다.

그러나, 본 연구에서 유전자 표현형별로 G-내성이 유의하지 않았던 것은 선행연구의 결과들에서 운동 강도와 훈련 정도에 따라 다른 결과들이 나타났던 것과 연계하여 해석해볼 수 있다고 사료된다. 엘리트 선수 중 국내수준과 국제수준의 선수들 간에도 RR형의 비율이 국제수준의 선수에서 높았던 경향[18,36]의 맥락에서 보면, 본 연구에서의 G-내성 발휘 시와 국제적 수준의 선수들의 운동강도 간의 차이에 기인하는 것으로 추정해볼 수 있다. 정확한 구명을 위해서는 9 G-test에서의 운동강도를 심폐지구력이나 근력으로 측정해볼 필요가 있으나, 현재의 장비로는 G-test 중에는 원심력으로 인해 이동용 가스분석기나 근력을 측정할 수가 없다는 어려움이 있다. 다만, F-18 (9 G) 조종사들의 최대산소섭취량은 사이클 에르고미터에서 50 mL/kg/min수준으로 보고된 바 있다[27]. 또한, 조종사들이 체감하는 훈련 정도의 측면에서 보면, G-test 시간이 15초로 짧고, 3년에 1회만 실시하며, 타인과의 경쟁보다 본인이 견뎌내면 종료된다는 점에서 필요성 자체가 선수들과 차이가 있다고 사료된다. 또한, 선행연구에서 유전적 요인은 신체활동 행태에 영향을 미치지 않으며[37], G-test에는 경험요인이 작용한다는 점[32]도 고려되어야 한다.

한편, 본 연구에서는 유전자 표현형에 따른 신체조성을 국외의 선행 연구[19]에 따라 구명하고자 하였으나 유의한 차이는 없었다. 본 결과를 기층을 구분하지 않았던 조종사 대상 선행연구 결과[31]와 비교해보면 BMI에서 RR형이 가장 컸다는 점은 동일하지만 유의성 여부에서 차이가 있었는데, 이는 더 많은 참여자 모집과 기층 세분화 등 후속연구의 필요성을 의미한다고 하겠다. 그럼에도 전반적으로 두 연구 모두에서 'XX'형이 키가 크고 몸무게와 체지방량이 무겁고, 체지방률이 높았는데, 이러한 결과는 지구력이 우수한 특성을 가진 'XX'형이라는 측면에서 육상선수 등 여러 종목의 운동선수들을 대상으로 보고된 결과들과 다르다는 점에서 흥미롭다고 할 수 있다[19,34,38,39]. 앞서서 근육의 능력을 발현하는 조종사들이 G-내성에 요구되는 근력과 관련되는 근육량 등 신체조성을 체중 요인으로 만회하려는 경향이 있었던 것은 아닌지 의심이 가능하기 때문이다. 국내에서도 20대 비만남성 악력이 높게 나타난다는 보고도 있고[40], 국외에서도 유전자형에 따라 신체조성의 차이는 나타나지 않았으나, 'XX'형이 다른 표현형에 비해 아디포틴 수치가 높았던 바[19]에 미뤄보면, 이 조종사들이 G-내성 강화를 위해 요구되는 근력 발현의 필요성 차원에서 체중증량에 관심을 가졌던 것이 아닌지, 향후 이 기층에 배정받는 조종사들을 대상으로 추적 관찰이 요구된다. 더불어 'RR'형의 발목염좌 발생률이 낮다는 결과[20]는 전시에 잦은 출격과 빈번한 G-내성 발휘 시 발목염좌의 발생률이 낮을 수 있다는 측면에서 강점이 될 수 있다고 사료된다. 반면, 'XX'형의 상대적으로 높은 발목염좌의 발생률과 체중 관련 요인이 크다는 점은 근본적으로 출격 자체를 제한하는 요인이 될 수 있다는 측면에서 약점이 될 수 있어 추후 관련 연구가 필요하다고 사료된다.

본 연구에서 나타난 유전적 가능성의 설명력 제고를 위해서는 국외에서 ACE 유전자 등을 함께 분석하고 있는 점을 참고할 필요가 있다고 사료된다[10,38,41]. 특히, ACE 유전자는 산소가 부족한 고고도에서도 유관한 것이 확인되었고[42], 나아가 유전자와 더불어 BDKRB2를 분석했을 때 설명력은 17-24%까지 높아지는 것으로 보고된 바 있다[43]. 추가적으로, 현재의 G-test는 3년에 1회, 15초만 시행하지만 설명력 제고와 실전 대비를 위해서는 가속과 감속이 반복되는 형태로 변경하여 피로에 대한 내성까지 검증이 필요하다고 사료되고, 운동강도를 측정할 수 있는 장비의 개발도 요구된다.

2. G-내성과 신체조성의 상관관계

본 연구에서는 F-15/16 조종사들을 대상으로 G-test를 실행한 연구가 없는 상황에서 G-내성과 신체조성 간 상관관계가 구명되면 조종사 육성과 신체조성 관리 등에 활용할 수 있을 것으로 보고 구명하였으나, 유의성은 나타나지 않았다. 아쉬운 점은 국내에서는 2004년 5 G 수준에서 이뤄진 이후 전무한 실정이며[30], 국외에서도 9 G에서 G-test 대상인 조종사들의 선행연구자료가 없어 객관적 분석이 불가능한 상

황이라는 점이다. 그럼에도, 조종사의 신체조성 관리를 위한 자료 축적과 교육 목적을 위해 분석은 의미가 있으므로, 이제부터 추가적인 자료수집을 통한 후속연구가 필요하다고 사료된다.

본 연구에서 G-내성은 신장, 체중, 골격근량과 정적 경향이, 체지방량(률), 복부지방률, BMI와는 부적 경향이 나타났다. 이는 G-내성에는 골격근량이 요구된다는 점[6,8,27]이 9 G에서도 가능성 차원에서 확인된 것이라고 할 수 있겠다. 다만, 큰 신장이 G-내성과 역상관을 보인 결과[44]가 부정된 경향은 본 연구 참여자의 평균 신장이 173 cm로 크지 않았고, 161 cm부터 분포된 것에서 영향이 있는 것으로 추정되지만, 후속 연구가 필요한 내용이다.

한편, G-내성이 체지방률, 복부지방률, BMI와 부적 경향을 보인 것은 체지방률 평균이 21.46%, BMI는 26.02 kg/m²로 비만으로 판정될 만큼 컸기 때문인 것으로 추정되지만, 체중과 정적 경향을 보였다는 측면에서 선행연구를 지지하였으며[47], 조종사를 대상으로 G-내성 관련 적정 체중 관련 요인의 구명 필요성을 제공해준 것으로 볼 수 있다. G-내성에는 골격근량이 요구되지만, 과도한 체지방 관련 요인들은 부적 경향을 보이는 것이 확인되었기 때문이다. 체지방률은 6 G에서 G-test를 받는 예비조종사들에서는 통과집단 14.16%, 미통과집단 12.69%로 유의한 차이가 나타난 바 있는데, 이 연구[45]의 참여집단은 평균 22.6 세로 본 연구에 비해 6, 7세가 적지만, 인구통계학적 특성으로 볼 때 동일집단에서 연령만 증가한 것으로 볼 수 있다. 따라서 횡단적으로 볼 때, 6, 7년 사이에 체지방률이 약 7%, 체중은 약 10 kg, 체지방량은 7 kg 정도가 증량된 것으로 볼 수 있고, 이중 체중을 제외한 요인들은 G-내성과 부적 상관을 보이는 것으로 나타난 것이 된다. 또한, BMI는 골격근량과는 부적 경향을 보인 반면, 체지방량과는 유의한 정적 상관을 보였다($p < .001$). 따라서, 조종사의 신체조성 관리라는 연구목적상의 필요성은 확인된 것으로도 볼 수 있으며, 건강 관리 차원에서 신체조성의 교육 필요성도 나타났다고 할 수 있다.

이러한 결과를 종합적으로 ACTN-3 표현형 관련 연구결과 해석과 연계하여 가정해보면, 단거리와 마라톤 선수의 신체조성은 요구되는 근력, 파워, 근지구력 수준에 따라 마땅히 달라야 한다. 그럼에도, '근육량'에 대한 전문지식이 결여된 'XX'형 조종사들은 G-내성의 발휘가 극도의 훈련을 요구하는 수준이 아니므로 이를 체중 증량으로 만회하고자 했을 가능성이 나타났고, 역설적으로 지방 관련 요인들은 부적 경향을 보인 것으로 사료된다. 향후 기층을 배정받는 조종사들을 대상으로 추적 관찰이 필요하다. 이러한 점은 조종사의 대부분이 G-내성 강화와 관련이 낮은 유산소성 운동을 하고 있어[27], 피로도를 낮추는 등 근육량을 늘려 G-내성에 도움이 되는 웨이트 트레이닝 프로그램 설계가 필요하다는[8,46] 결과들과 종합해볼 때, 조종사 신체조성의 체계적 관리를 위해 많은 자료수집과 연구가 요구됨을 암시해주는 것이라고 하겠다.

결론

본 연구는 운동과 유관한 것으로 알려진 ACTN-3 유전자형이 전투 조종사의 전투기 성능 발휘 극대화 및 안전을 위한 필수요소인 G-내성, 신체조성과 유관한지 관계를 구명하여 조종사의 선발과 기종배정, 적정 신체조성 관리에 참고하고자 하였다.

연구결과 첫째, ACTN-3 표현형에 따른 G-내성에는 'RR'의 호흡주기가 가장 길었으나 유의성은 없었고, 신체조성에도 차이가 없었으나 'XX'의 체중이 다른 형에 비해 3.9-8 kg 크게 나타났다. 둘째, G-내성과 신체조성 간 상관관계는 나타나지 않았으나, 골격근량, 체중과 정적 경향이, 체지방률, 복부지방률, BMI와 부적 경향을 보였다.

결론적으로 본 연구에서 관련성은 나타나지 않았다. 그러나, 'RR'의 호흡주기가 가장 길었던 점과 'RX'형을 'X' 인자로 간주하여 분석한 결과로부터 'RR'형이 우수한 G-내성과 연관될 가능성은 추정해볼 수 있다. 구명을 위해서는 참여자 확대, ACE 유전자 등의 동시 분석, G-test의 실전적 방법으로서의 변경, G-test 운동강도의 실시간 측정장비 개발 등이 필요하다. 더불어, 본 연구 참여 조종사들의 BMI 평균이 비만으로 판정되었고, 체지방 관련 요인들이 G-내성과 부적 경향을 보인 바, 조종사들의 신체조성 관리 교육이 요구된다.

REFERENCES

1. Stevenson AT, Scott JP. +Gz tolerance, with and without muscle tensing, following loss of anti-G trouser pressure. *Aviat Space Environ Med.* 2014;85(4):426-32.
2. Sevilla NL, Gardner JW. G-induced loss of consciousness: case-control study of 78 G-LoCs in the F-15, F-16, and A-10. *Aviat Space Environ Med.* 205;76(4):370-4.
3. Alvim KM. Greyout, blackout, and G-loss of consciousness in the Brazilian Air Force: a 1991-92 survey. *Aviat Space Environ Med.* 1995;66(7):675-7.
4. Rickards CA, Newman DG. G-induced visual and cognitive disturbances in a survey of 65 operational fighter pilots. *Aviat Space Environ Med.* 2005;76(5):496-500.
5. Yilmaz U, Cetinguc M, Akin A. Visual symptoms and G-LOC in the operational environment and during centrifuge training of Turkish jet pilots. *Aviat Space Environ Med.* 1999;70(7):709-12.
6. Burton RR, Whinnery JE, Forster EM. Anaerobic energetics of the simulated aerial combat maneuver (SACM). *Aviat Space Environ Med.* 1987;58(8):761-7.
7. Ahn CS. A demand volume of body composition and anaerobic capacity in high school judoists. *J Kor All Sports Arts.* 2009;11(1):197-206.
8. Epperson WL, Burton RR, Bernauer EM. The influence of differential physical conditioning regimens on simulated aerial combat maneuvering tolerance. *Aviat Space Environ Med.* 1982;53(11):1091-7.
9. West JB. A strategy for in-flight measurements of physiology of pilots of high-performance fighter aircraft. *J Appl Physiol.* 2013;115(1):145-9.
10. Gunel T, Gumusoglu E, Hosseini MK, Yilmazyildirim E, Dolekcap I, et al. Effects of angiotensin I-converting enzyme and α -actinin-3 gene polymorphisms on sport performance. *Mol Med Rep.* 2014;9(4):1422-6.
11. Ahn NY, Kim KJ, Yoon JD. Association of cardiopulmonary function and physical fitness to ACTN-3 gene polymorphism. *J Coach Dev.* 2016;8(2):155-62.
12. Garatachea N, Verde Z, Santos-Lozano A, Yvert T, Rodriguez-Romo G, et al. ACTN3 R577X polymorphism and explosive leg-muscle power in elite basketball players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2014;9(2):226-32.
13. Deschamps CL, Connors KE, Klein MS, Johnsen VL, Shearer J, et al. The ACTN3 R577X polymorphism is associated with cardiometabolic fitness in healthy young adults. *Plos One.* 2015;10(6):e0130644.
14. Papadimitriou ID, Lucia A, Pitsiladis YP, Pushkarev VP, Dyatlov DA. ACTN3 R577X and ACE I/D gene variants influence performance in elite sprinters: a multi-cohort study. *BMC Genomics.* 2016;13:17.
15. Kikuchi N, Yoshida S, Min SK, Lee K, Sakamaki-Sunaga M, et al. The ACTN3 R577X genotype is associated with muscle function in a Japanese population. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2015;40(4):316-22.
16. Pasqua LA, Bueno S, Matsuda M, Marquezini MV, Lima-Silva AE, et al. The genetics of human running: ACTN3 polymorphism as an evolutionary tool improving the energy economy during locomotion. *Ann Hum Biol.* 2016;43(3):255-60.
17. Norman B, Esbjornsson M, Rundqvist H, Osterlund T, Glenmark B, et al. ACTN3 genotype and modulation of skeletal muscle response to exercise in human subjects. *J Appl Physiol.* 2014;116(9):1197-203.
18. Yang R, Shen X, Wang Y, Voisin S, Cai G, et al. ACTN3 R577X Gene variants is associated with muscle-related phenotypes in elite Chinese sprint/power athletes. *J Strength Cond Res.* 2017;31(4):1107-15.
19. Nirengi S, Fujibayashi M, Tsuzaki K, Furuno S, Uchibe A, et al. ACTN3 gene R577X polymorphism associated with high density lipoprotein cholesterol and adiponectin in rugby players. *Endocr Pract.* 2016;22(7):786-90.

20. Shang X, Li Z, Cao X, Xie C, Gu M, et al. The association between the ACTN3 R577X polymorphism and noncontact acute ankle sprains. *J Sports Sci.* 2015;33(17):1775-9.
21. Del CJ, Valero M, Salinero JJ, Lara B, Diaz G, et al. ACTN3 genotype influences exercise-induced muscle damage during a marathon competition. *Eur J Appl Physiol.* 2017;117(3):409-16.
22. Lyons TJ, Marlowe BL, Michaud VJ, McGowan DJ. Assessment of the anti-G straining maneuver (AGSM) skill performance and reinforcement program. *Aviat Space Environ Med.* 1997;68(4):322-4.
23. Convertino VA, Tripp LD, Ludwig DA, Duff J, Chelette TL. Female exposure to high G: chronic adaptations of cardiovascular functions. *Aviat Space Environ Med.* 1998;69(9):875-82.
24. Whitton RC. Medical disqualification in USAF pilots and navigators. *Aviat Space Environ Med.* 1984;55(4):332-6.
25. Mansikka H, Simola P, Virtanen K, Harris D, Oksama L. Fighter pilots' heart rate, heart rate variation and performance during instrument approaches. *Ergonomics.* 2016;59(10):1344-52.
26. Choi B, Lee YK, Cho TH, Koo HJ, Kim DS. Detection of G-induced loss of consciousness (G-LOC) prognosis through EMG monitoring on gastrocnemius muscle in flight. *Conf IEEE Eng Med Biol Soc.* 2015: 7007-10.
27. Newman DG, White SW, Callister R. Patterns of physical conditioning in Royal Australian Air Force F/A-18 pilots and the implications for +Gz tolerance. *Aviat Space Environ Med.* 1999;70(8):739-44.
28. Hermes ED, Webb TS, Wells TS. Aircraft type and other risk factors for spinal disorders: data from 19,673 military cockpit aircrew. *Aviat Space Environ Med.* 2010;81(9):850-6.
29. Shiri, R, Frilander H, Sainio M, Karvala K, Sovelius R, et al. Cervical and lumbar pain and radiological degeneration among fighter pilots: a systematic review and meta-analysis. *Occup Environ Med.* 2015;72(2): 145-50.
30. Chumbley EM, Stolfi A, McEachen JC. Risk factors for cervical pain in F-15C pilots. *Aerosp Med Hum Perform* 2017;88(11):1000-7.
31. Kim KS, Shin SH, Kim IK, Youn C, Park JS, et al. An analysis of body composition, fitness as Air Force pilots' ACTN-3 Genotype. *Kor J Sports Sci.* 2016;25(6):1175-85.
32. Kim DW, Lee SI, Lee SH, Ahn HC, Koo SR, et al. Analysis of risk factors on the G-induced Loss of conscious in ROKAF pilots. *Kor J Aerosp Environ Med.* 2004;14(1):1-11.
33. Bateman WA, Jacobs I, Buick F. Physical conditioning to enhance +Gz tolerance: issues and current understanding. *Aviat Space Environ Med.* 2006;77(6):573-80.
34. Orysiak J, Busko K, Michalski R, Mazur-Rozycka J, Gajewski J, et al. Relationship between ACTN3 R577X polymorphism and maximal power output in elite Polish athletes. *Medicina.* 2014;50(5):303-8.
35. Pascua LA, Bueno S, Artioli GG, Lancha AH, Matsuda M, et al. Influence of ACTN3 R577X polymorphism on ventilator thresholds related to endurance performance. *J Sports Sci.* 2016;34(2):163-70.
36. Kikuchi N, Miyamoto-Mikami E, Murakami H, Nakamura T, Min SK, et al. ACTN3 R577X genotype and athletic performance in a large cohort of Japanese athletes. *Eur J Sports Sci.* 2016;16(6):694-701.
37. Many GM, Kendrick Z, Deschamps CL, Sprouse C, Tosi LL. Genetic characterization of physical activity behaviors in university students enrolled in kinesiology degree programs. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2017;42(3):278-84.
38. Massida M, Corrias L, Ibba G, Scorcu M, Vona G, et al. Genetic markers and explosive leg muscle strength in elite Italian soccer players. *J Sports Med Phys Fitness.* 2012;52(3):328-34.
39. Byun JK, Park SH. Muscular function, aerobic and anaerobic capacity to ACTN-3 polymorphism of Roller speed skaters. *Exerc Sci.* 2012; 21(3):319-30.
40. Park HK, Park JH, Kim BK. The comparison of health-related physical fitness in male with classified by relative fatness. *J Sport Leisure Studies.* 2015;60:675-84.
41. Galeandro V, Notarnicola A, Bianco A, Tafuri S, Russo L, et al. ACTN3/ACE genotypes and mitochondrial genome in professional soccer players' performance. *J Biol Regul Homeost Agents.* 2017;31(1):207-13.
42. Hennis PJ, O'Doherty AF, Levett DZ, Grocott MP, Montgomery HM. Genetic factors associated with exercise performance in atmospheric hypoxia. *Sports Med.* 2015;45(5):745-61.
43. Massidda M, Scorcu M, Calo CM. New genetic model for predicting phenotype traits in sports. *Int J Physiol Perform.* 2014;9(3):554-60.
44. Park M, Yoo S, Seol H, Kim C, Hong Y. Unpredictability of fighter pilots' duration tolerance by anthropometric and physiological characteristics. *Aerosp Med Hum Perform.* 2015;86(4):397-401.
45. Shin SH. A research between G-test result and body composition, fitness, grit in Air Force Pre-pilots. *Kor J Wellness.* 2017;12(2):329-38.
46. Whinnery JE, Parnell MJ. The effects of long-term aerobic conditioning on +Gz tolerance. *Aviat Space Environ Med.* 1987;58(3):199-204.