

청소년의 FTO유전자 다형에 따른 3년간 신체구성과 체력의 변화

박기준¹ · 김준철^{2*}

¹단국대학교 특수교육학과 교수, ^{2*}텍사스 A&M 대학교 박사후 연구원

Three Years Follow-up Study for Changes in Body Composition and Physical Fitness by FTO Gene Polymorphism of Male Adolescence

Park Kijun, Ph.D¹ · Kim Junechul, Ph.D^{2*}

¹Dept. of Special Education, Dankook University, Professor

^{2*}Dept. of Counseling, Health, and Kinesiology, Texas A&M University, Post-Doctoral Researcher

Abstract

Purpose : To identify changes and relationships in the fat mass and obesity associated (FTO) gene polymorphism, body composition, and physical fitness from childhood to adolescence over a three-year period spanning elementary school to middle school (2015-2018)

Methods : A total of 84 male student participants were divided into two groups based on FTO genotype: aa+at (group A) and tt (group T) and tracked down. Body composition, cardiovascular endurance, flexibility, muscle strength, power, and other characteristics were measured in the two groups in both 2015 and 2018, respectively, and the changes over the three-year period were analyzed and compared.

Results : Increases in height and weight did not differ significantly between the two groups, but body mass index (BMI) was significantly higher in group A ($p=.035$). With regard to physical fitness, there was no significant difference in flexibility, but cardiovascular endurance, strength, and power were significantly higher in group T ($p<.001$, $p=.063$, and $p=.040$, respectively).

Conclusion : Group A is more likely to become obese than group T because of their lower level of physical fitness and increased BMI relative to group T. This result supports previous studies showing that group A has a relatively low level of physical activity and a greater tendency to eat fatty foods as compared with group T. Therefore, we suggest that the FTO gene polymorphism should be identified early and that students educated on diet and physical activity to help prevent adult obesity.

Key Words : body composition, FTO gene polymorphism, physical fitness

*교신저자 : 김준철, jkim1@tamusa.edu

I. 서론

1. 연구의 배경 및 필요성

세계보건기구의 조사에 의하면 2016년에 3억 4천만 명 이상의 5~19세 어린이와 청소년들이 과체중이거나 비만이였다(WHO, 2020). 비만은 유전자형과 환경 간의 상호작용에서 발전하고(Kirk 등, 2012) 행동, 문화, 생리, 대사, 유전적 요인(Hall 등, 2015)의 영향을 받는다. 비만은 체지방 과다 축적을 특징으로 하며 BMI 기준 23 이상은 과체중, 25 이상이면 비만으로 판단한다(Korean Society for the Study of Obesity, 2018). 비만은 체력을 저하시키고 다양한 합병증을 유발하여 기대수명을 감소시킬 수 있다(Bahreini 등, 2013). 실제로 BMI가 증가할수록 유산소성 능력과 근력, 근지구력 등이 감소하며 비만 아동은 정상 아동에 비해 근력, 복근 지구력, 심폐지구력에서 더 낮은 성적을 기록한다고 보고되었다(Pienaar 등, 2013). 비만과 관련된 동반성 질환에는 심리적 고통, 골관절염, 제2형 당뇨, 고혈압, 고지혈증, 간 기질증, 심혈관 질환, 특정 암이 포함된다(Switzer 등, 2013). 미국 질병관리 본부는 과체중이나 비만 어린이가 당뇨병, 정형외과적 문제, 자존감 저하 등의 어려움을 겪는 것으로 보고한다(CDC, 2014). 특히 청소년 시기의 비만은 성인 비만으로 이행되기 쉬우며 높은 만성적 유병률을 보인다(Hwang & Bang, 2016).

비만의 대표적인 유전적 요인은 fat mass and obesity associated (FTO) gene으로 보고되며 유전자 다형으로 AA, AT, TT type이 있다(Chuang 등, 2015). FTO가 관여하는 생물학적 경로는 아직 밝혀지지 않았지만 근육이나 시상하부에서 주로 발현된다고 보고되었고, genome wide association study (GWAS)를 통해 body mass index (BMI)와의 상관성이 보고되었으며(Wang 등, 2012) 일반인을 대상으로 한 연구에서는 지방 수치의 변화와 비만 위험을 초래하는 유전적 변이에 대한 강력한 증거를 발견했다(Mačková 등, 2012). FTO유전자와 관련한 선행연구에서 AA type이나 AT type이 TT type의 유전자를 지닌 사람에 비해 포화지방산과 콜레스테롤이 함유된 음식을 자주 먹거나 폭식하는 경향이 많은 것으로 보고되

었다(Kim 등, 2017). 비슷한 결과로 TT type에 비해 충동적 성격이 강하고 폭식을 하는 경향이 큰 AA, AT type을 보고한 연구(Chuang 등, 2015)가 있는데, 전자방출단층촬영(PET)을 통한 실험결과 FTO유전자의 변이 그룹이 충동과 식감 그리고 미각을 관장하는 뇌 부위로 알려진 내측 전전두피질(medial prefrontal cortex; MFC)의 활성이 저하되어있어 충동적 성격이 강하다고 설명하였다. 또한 Sandholt 등(2012)은 FTO유전자와 제2형 당뇨병과 관련이 있음을 보고하였다. 운동과 관련된 FTO유전자 선행 연구로는 비만 남자 대학생의 댄스스포츠 운동이 AA, AT type에 비해 TT type에서 % fat과 LDL-C를 유의하게 감소시켰다는 연구(Lee와 Kim, 2011)와 복합운동이 FTO 유전자 다형별 비만 대학생의 저·고밀도 지단백 콜레스테롤, 중성지방, 인테루킨-6, 아디포넥틴, TNF- α 와 등의 증가 또는 감소에 유의한 차이를 보였다는 연구(Kim 등, 2013) 등이 있다. 그러나 성장기의 아동을 FTO유전자 다형별로 분류하여 청소년기까지 추적하여 신체조성과 체력의 변화를 비교한 국내의 연구는 없는 실정이다. 급변하는 성장기의 학생들이 환경적인 통제가 없는 자연스러운 상태에서 유전적 요인이 어떠한 차이를 나타내는 지 연구할 필요성이 있다. 충동적 성향이 강하다고 알려진 AA, AT의 유전적 성향이 통제력이 부족한 유·청소년기 아이들에게 미치는 영향은 성인보다 더 클 수 있기 때문이다. 따라서 학부모와 학생들에게 적절한 생활 습관과 운동 처방을 제시하고 교육과 홍보를 통해 실천의 중요성을 인식하게끔 한다면 성인비만으로 이어질 수 있는 유·청소년기의 비만 유병률을 크게 감소시킬 수 있을 것이다. 본 연구에서는 2015학년도 초등 6학년 남학생이 2018학년도 중등 3학년이 되기까지 3년간 동일한 집단을 종단적으로 추적하여 유·청소년기의 FTO유전자 다형에 따른 신체구성 및 체력의 변화를 알아보고자 하였으며 이를 통해 유·청소년기의 비만 예방을 위한 적절한 생활 태도 확립 및 운동 처치의 중요성을 환기하고 관련 프로그램의 개발을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 연구의 목적

본 연구의 목적은 2015년 초등학교 6학년부터 2018년

중학교 3학년까지 3년간 유·청소년기의 학생을 추적하여 FTO유전자가 성장기의 신체구성과 체력의 변화에 어떤 영향을 미치는지를 알아보는 것이다.

II. 연구방법

1. 연구대상

경기도 S시 Y구 소재 Y중학교 3학년 남학생을 대상으로 하였다. 대상자와 학부모에게 연구의 목적과 절차, 기대효과를 충분히 설명하고 연구 참여에 대한 동의를 얻

은 후 실시하였으며 연구 중 대상자가 원하면 언제든지 참여 중지할 수 있음을 고지하였다. 대상자의 연구 참여 기간은 총 3년으로 2015년 초등 6학년 때 FTO유전자 검사를 받은 남학생 96명을 추적하였으며 전학 등으로 추적이 불가능한 대상자를 제외한 후 총 84명으로 연구를 진행하였다. 대상자를 FTO유전자형에 따라 A-allele를 가진 집단과 T-allele만을 가진 집단으로 분류한 후 집단간 동질성을 확인하기 위해 Levene's test를 실시하였다. 대상자의 3년간 신체구성 및 체력의 변화량을 측정 분석하였으며 그들의 신체적 특성은 Table 1과 같이 나타났다.

Table 1. Homogeneity of physical characteristics from 2015 subject (n=84)

	A(AA+AT) type (n=26)	T(TT) type (n=58)	F	p
Age (years)	12.44±0.25	12.45±0.20	2.116	.150
Height (cm)	154.86±9.45	152.28±6.96	3.735	.057
Weight (kg)	49.20±10.90	45.96±7.74	1.733	.192
BMI (kg/m ²)	20.30±2.91	19.83±2.82	.519	.473

2. 실험방법

1) 신체구성 측정

대상자의 신체구성 분석은 생체전기저항법(bioelectric impedance analysis; BIA)을 기반으로 Inbody-720을 사용하여 측정하였다. 측정 당일 오전 연구 대상자 전원이 공복 상태에서 측정 전 20분간 안정을 취한 후 시행하였다. 측정항목은 신장(height), 체중(weight), 체질량지수(body mass index; BMI)이다.

2) FTO유전자형 판별 검사

(1) DNA 추출 과정

유전자 검사에 필요한 DNA를 얻기 위하여 대상자로부터 모근을 포함한 모발을 채취한 후 단국대학교 분자생물학과 대학원 실험실에 분석을 의뢰하였다. 모근이 포함된 5~10 mm 길이의 모발 2~3가닥을 tube에 넣은 후

Lysis buffer를 넣고, 단백질을 용해시켜 준다. 이후 상층액 400 µl를 취해 새 튜브로 옮긴 후 DNA를 응축시키기 위해 100 % 에탄올 500 µl를 분주하고 마이크로파이펫을 이용해 잘 섞어준 후 4 °C 로 냉각된 원심분리기에 튜브를 넣고 13,000 rpm에서 10분간 원심 분리하였다. 이후 상층액을 버리고 70 % 에탄올 800 µl 씩을 각 튜브에 분주하고 다시 4 °C 로 냉각된 원심분리기에 넣은 후 13,000 rpm에서 5분간 원심분리를 진행하였다. 원심분리가 완료된 튜브에서 상층액을 취해 버리고 5분간 상온에서 건조 시킨 후 적당량의 증류수(D.W)에 녹여 DNA를 획득하였다.

(2) 중합효소연쇄반응

(1)에서 획득한 DNA를 Table 2의 Primer를 이용하여 PCR을 통해 증폭시켰다. PCR product size가 169 bp에서만 나타나면 TT type, 200 bp에서만 나타나면 AA type, 169 bp와 200 bp에 모두 나타나면 AT type으로 판별하였

으며 PCR 반응 조건은 아래와 같다.
 총 용량(부피); 50 μ l, 10 \times reaction buffer; 5 μ l, Primer

mix; 0.6 μ l, 0.2mM dNTP; 1 μ l, Taq DNA polymerase;
 0.25 μ l, 증류수(distilled water, D.W); 43.15 μ l

Table 2. Primer sequences for PCR of FTO gene polymorphism

Primer	FTO Primer sequences	Mer
F (out)	5'-TGGCTCTTGAATGAAATAGGATT-3'	23
R (out)	5'-AGCCTCTCTACCATCTTATGTCCAAACA-3'	28
F (in)	5'-TAGGTTCCCTTGC GACTGCTGTGAATATA-3'	28
R (in)	5'-AGACTATCCAAGTGCATCTCA-3'	21

3) 체력측정

2015년과 2018년에 각각 학생건강체력평가시스템인 PAPS(physical activity promotion system) 프로그램을 사용하여 시행하였으며(Kim과 Shin, 2017) 학생건강체력평가 매뉴얼에 따라 학교 체육관에서 실시하였다.

(1) 심폐지구력-스텝 검사와 왕복 오래달리기를 활용하여 PAPS 매뉴얼 기준 20단계로 점수화하였다. 스텝 검사는 시간 간격이 정해진 신호음에 맞추어 스텝박스를 올라갔다 다시 내려오는 동작을 3분 동안 반복 실시한 후 안정 시 심박수를 3회 측정하여 신체 효율지수 공식으로 계산하였다. (신체 효율지수 = $D/(2 \times P) \times 100$, D:스텝 운동 지속 시간(초), P:1회 구간 심박수+2회 구간 심박수+3회 구간 심박수), 왕복 오래달리기는 20 m 거리를 시간 간격이 정해진 신호음에 맞추어 왕복하여 달리기를 반복 실시하는데 신호가 울리기 전에 도착지점에 이동을 마치지 못한 횟수가 2회째 되면 측정을 종료하였다.

(2) 유연성-왼쪽 앞 굽힘 검사는 무릎이 퍼진 자세를 2 초 이상 유지한 상태에서의 기록을 측정하였으며 2회 중 더 높은 수치를 기록하였다.

(3) 근력-직립 자세에서 디지털 악력계로

오른손-왼손-오른손-왼손 순으로 실시하였고 중지 제2관절이 직각이 되도록 대상자에 맞게 악력계 폭을 조절한 후 더 높은 수치를 기록하였다.

(4) 순발력-제자리멀리뛰기와 50 m 달리기로 측정하여 PAPS 매뉴얼 기준 20단계로 점수화하였다. 제자리멀리뛰

기는 바닥에 닿은 가장 가까운 지점에서부터 구름판 앞까지의 직선거리를 측정하며 2회 중 더 높은 수치를 기록으로 하였다. 50 m 달리기는 직선주로를 이용하며 부정 출발 시 재측정하였다.

3. 자료처리

본 연구의 자료처리와 통계 분석에는 SPSS version 21.0 프로그램을 이용하였다. 집단 간 독립 t-test를 실시하였으며 유의수준은 0.05로 설정하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. 대상자의 FTO유전자 다형 분포

대상자의 FTO유전자 다형 분포는 Table 3과 같이 A집단이 26명(30.95 %), T집단이 58명(69.04 %)으로 나타났다.

Table 3. Distribution of FTO gene polymorphism

Participants (number)	FTO gene type	
	A (AA+AT)	T (TT)
2015, 2018 (n=84)	26 (30.95 %)	58 (69.04 %)

A (AA+AT); AA homozygous, AT heterozygous, T (TT); TT homozygous

2. 대상자의 FTO유전자 다형에 따른 신체 변화량

대상자의 FTO유전자 다형에 따른 신체 변화량 분석은 Table 4와 같다. 키 성장 폭과 체중 증가량은 집단 간 차이가 없었으나 BMI 변화량에서 통계적으로 유의한 차이가 나타났으며($p=.035$), A 집단이 더 큰 폭의 BMI 증가를 보였다.

Table 4. Changes in the subject's characteristics

	Type		t	p
	A (AA+AT) (n=26)	T (TT) (n=58)		
Height (cm)	16.56±4.82	18.12±5.58	1.230	.222
Weight (kg)	14.81±3.69	13.91±6.69	.640	.524
BMI (kg/m ²)	1.77±1.70	0.80±2.03	2.150	.035

3. 대상자의 FTO유전자 다형에 따른 체력의 변화량

남학생의 FTO유전자 다형에 따른 체력 변화는 2018년과 2015년의 차이에 따라 A와 T 집단을 비교하였다. 두 집단은 유연성을 제외하고 모든 집단에서 T집단의 향상도가 유의하게 높았다. 유의 정도는 심폐지구력($p<.001$), 근력($p=.006$), 순발력($p=.040$)의 순서로 나타났다(Table 5)(Fig 1).

Table 5. Changes in the subject's physical fitness

	Type		t	p
	A (AA+AT) (n=26)	T (TT) (n=58)		
CE (score)	0.54±4.69	4.03±4.13	3.440	.001
Flexibility (cm)	5.77±6.22	4.67±6.45	.733	.466
MS (kg)	12.30±3.11	14.89±4.23	2.804	.006
MP (score)	1.00±3.42	2.90±4.01	2.092	.040

CE; cardiovascular endurance, MS; muscle strength, MP; muscle power

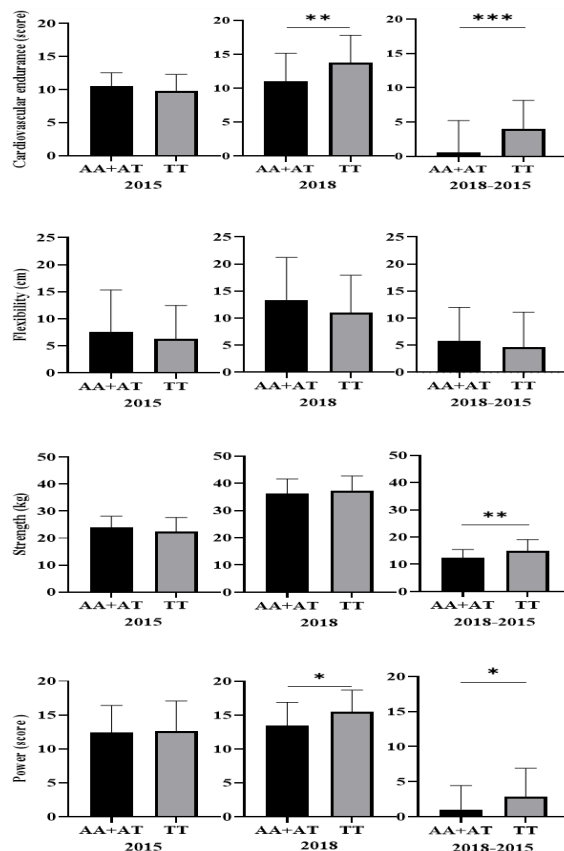


Fig 1. Changes in physical fitness, AA+AT: A집단, TT: T집단, * $p<.05$, ** $p<.01$, *** $p<.01$

IV. 고찰

대표적 비만관련 유전자인 FTO유전자는 AA, AT, TT type이 존재한다. A-allele를 가질 경우 BMI 기준으로 비만 위험도가 높다고 보고되었다(Wang 등, 2012). 본 연구는 2015년 초등 6학년이 2018년도 중등 3학년이 되기까지의 기간, 즉, 소아에서 청소년 시기를 거치는 동안 동일 대상을 종단적으로 추적하였다. 실험 대상자는 자신의 FTO유전자형을 모른 채로 별다른 제약 없이 일상적인 생활을 하였다. 2015년 첫 번째 측정을 실시하였고 이후 만 3년이 되는 시점인 2018년에 같은 변인을 재측정하여 2015년에 측정한 결과와의 차이를 비교하였으며 유·청소년기의 FTO유전자 다형에 따른 신체구성과 체력의 변화를 알아보고자 하였다.

1. FTO유전자 다형 분포

본 연구 대상자의 FTO유전자 다형 분포는 A집단이 26명(30.95 %) T집단이 58명(69.04 %)으로 나타났다. 비만에 의한 합병증 중 대사질환과 관련한 GWAS 연구의 첫 보고는 FTO유전자가 포함된 16번 염색체이며 대상자의 16 %가 두 개의 A-allele을 가지고 있고 이들은 그렇지 않은 사람보다 2~3 kg의 체중이 더 나가는 것으로 보고되었다(Loos & Yeo, 2014). 이후 다양한 연구에서 GWAS를 통해 인종과 성별에 관계없이 FTO와 비만 사이의 연관성이 보고되었고(Reuter 등, 2016; Goutzelas 등, 2017; Zhao 등, 2019), FTO유전자가 BMI를 증가시키는 주요 원인으로 에너지 섭취량의 증가(Qibin 등, 2015), 포만 반응의 장애(Karra 등, 2013), 음식에 대한 반응성 증가(Velders 등, 2012) 등이 제안되었다.

2. FTO유전자 다형에 따른 신체 변화량 분석

아동 청소년기는 해부학적 성장과 성호르몬의 변화가 급변하는 시기로 체격 및 체력요인의 성장과 중단이 나타나므로(Choi 등, 2015) 청소년기의 건강과 체력 관리는 중요하다. 최근 연구에 따르면 미국 국립 보건원(The national institutes of health) 연구팀은 A-allele 유전자를 1~2개 가지고 있으면 그렇지 않은 사람보다 칼로리가 높은 음식이나 지방이 많이 함유된 음식을 자주 먹는다는 사실을 밝혀냈다(Chuang 등, 2015). 이는 A-allele을 가질 때, 비만과의 연관성이 크다는 다수의 선행연구를 뒷받침하며 이러한 유전적 요인이 다양한 환경적 요인에 영향을 주어 비만으로 이어지게 되는 것으로 볼 수 있다. 본 연구의 A집단은 T집단에 비해 3년간의 BMI가 유의하게 더 증가했다. 선행연구에서 A집단의 식생활은 T집단에 비해서 유의미한 차이를 보였는데(Kim 등, 2017), A집단이 포화지방이나 콜레스테롤이 함유된 음식을 더 자주 먹었고, 외식 횟수가 더 많았다. 연구 참여기간 동안 이러한 식생활에 큰 변화를 줄 만한 계획된 자극이나 프로그램 참여는 없었으므로 중학교 시기에도 학생들은 이러한 식습관을 지속하였을 것으로 추측된다. 또한, 늘어난 학습량으로 인한 좌식 생활의 증가와 활동량의 감소는 두 집단의 차이를 더욱 심화시켰을 것으로 판단된

다. 그 결과 A집단의 BMI 증가량은 T집단에 비해서 더 큰 결과를 나타냈을 것으로 사료된다.

FTO유전자가 신체변화량이나 비만에 미치는 영향은 환경적 요인과 생활습관에 의해 영향을 받을 수 있으며, 동시에 FTO유전자형은 비만의 예방과 치료에서 생활방식의 개입을 통한 성공에 긍정적 영향을 미칠 수 있다(Kalantari 등, 2016). 따라서 후속연구는 FTO유전자와 생활방식이나 식습관 등의 환경적 요인과의 관계를 파악하는 방향으로 이루어져야 할 것이다.

3. FTO유전자 다형에 따른 체력변화량 분석

FTO유전자 다형에 따른 체력변화량은 2015년 측정에서는 유의한 차이는 없었으나 대체로 T집단의 기록이 높은 경향을 보였다. 2018년에는 심폐지구력과 근력에서 유의한 차이가 나타났고 그 결과 2015년에서 2018년까지의 체력 향상도는 심폐지구력, 순발력, 근력에서 유의한 차이가 발견되었다(Fig 1). 유연성의 경우 두 집단간 차이가 나타나지 않았는데, 이는 유연성은 과체중과 비만에 의해 가장 적게 영향을 받는 체력이라는 Pienaar 등(2013)의 보고와 일치한다. T집단의 심폐지구력은 A집단보다 증가하였는데 Reuter 등(2016)은 낮은 수준의 심폐지구력을 보이고 동시에 A유전자형을 가진 학생들은 과체중/비만일 위험성이 더 높으며 일반학생보다 장거리선수가 A유전자형의 비율이 낮다고 하여 본 실험의 결과를 뒷받침한다. 하지만 순발력은 Eynon 등(2013)의 보고와 일치된 결과를 나타내지 않았는데 엘리트 스프린터와 단거리선수 등으로 구성된 파워운동선수의 구성원은 유의한 차이가 없었다. 즉 파워 엘리트선수의 수는 A집단과 T집단이 비슷한 분포를 보였다. 그러나 본 연구에서처럼 FTO유전자와 체력의 상관을 본 연구는 거의 없으며 특히 순발력이나 이와 유사한 피크파워, 단위체중당 피크파워를 비교한 연구도 전무한 실정이다. 다만 2015년 측정치에서 T집단의 순발력이 더 높은 기록을 나타냈고 2018년도 T 집단의 향상도가 높았으므로 두 집단의 차이는 더 커지고 있다. 근력에서는 T집단의 근력의 증가량이 A집단과 비교해 유의한 증가($p<.001$)를 나타냈는데, 이는 러시아선수를 대상으로 한 Guilherme 등(2019)의 연구에서 밝힌 큰 힘이 필요하거나 체중이

많이 나가는 종목의 선수에게서는 A집단의 유전형이 더 높은 비율을 차지한다는 결과와 대조적이다. 하지만 본 연구 대상자의 6학년 때의 결과는 A집단에 비하여 T집단이 신체활동 시간이 높았던 것으로 나타났고(Kim 등, 2017), 높은 신체활동은 근력을 더 많이 향상시켰을 것으로 생각된다. 초등학생의 신체활동과 근력증가에 관한 참고 자료로는 초등학생의 배드민턴 운동이 근력의 향상을 보여주었다는 연구가 있다(Oh 등, 2014). 그러나 FTO유전자와 신체활동의 관계는 지금까지 논란이 되고 있다. West 등(2018)의 연구에서는 FTO유전자와 신체활동량과는 연관성이 없다고 보고하였으나 최근 연구에 의하면 FTO유전자와 에너지 섭취량 사이에 연관성이 나타나고(Qibin 등, 2015), 신체활동량(에너지소비)과 유의한 연관성이 있다는 보고가 있다(Jiang 등, 2020). 본 연구에서 체력관련 변인들은 T집단이 대부분 높은 향상을 보였는데 집단별 신체활동량에 대해서는 연구결과가 부족하므로 선행연구를 토대로 추가적인 연구가 필요할 것이다. 다만 유전적 형질이 비만이나 건강과의 관련성이 밝혀지고 있는 만큼 보다 어린 시기에 학생들의 유전형질을 파악하고 그에 맞는 체계적인 교육을 통해 변화를 준비해야 할 것이다.

V. 결론

본 연구는 3년간 동일 대상을 추적하여 유·청소년기의 남학생의 FTO유전자 다형과 신체구성 및 체력의 변화를 알아보고 다음과 같은 결론을 얻었다.

동일한 학생의 2015년 초등학생 때의 결과와 2018년 중학생 때의 결과를 비교하여 신체 변화량을 분석하였을 때, A집단의 BMI 증가폭은 T집단과 비교하였을 때, 유의하게 컸다. 체력의 변화량은 심폐지구력, 근력, 순발력에서 A집단에 비해 T집단이 유의하게 더 향상되었다.

이상의 결과로 FTO유전자는 급격한 성장기인 아동에서 청소년시기에 유전형에 따라 신체구성의 변화 및 체력에 차이가 있었다. 이러한 유전자 다형별 차이는 생애 전주기에 영향을 미칠 수 있다. 그러므로 FTO유전자 다형을 조기에 판별하고 유전자 다형별 운동프로그램의

개발하는 것이 청소년의 비만 예방과 건강한 생활을 위해 필요하다.

참고문헌

- Bahreini N, Noor MI, Koon PB, et al(2013). Weight status among Iranian adolescents: comparison of four different criteria. *J Res Med Sci*, 18(8), 641-646.
- Choi KJ, Ko BK, Kim EH, et al(2015). The development of physical fitness evaluation criteria of Korean middle and high school athletes. *Korean J Sport Sci*, 26(4), 982-995. <https://doi.org/10.24985/kjss.2015.26.4.982>.
- Chuang YF, Tanaka T, Beason-Held LL, et al(2015). FTO genotype and aging: pleiotropic longitudinal effects on adiposity, brain function, impulsivity and diet. *Mol Psychiatry*, 20(1),133-139. <https://doi.org/10.1038/mp.2014.49>.
- Eynon N, Nasibulina ES, Banting LK, et al(2013). The FTO A/T polymorphism and elite athletic performance: a study involving three groups of European athletes. *PLoS One*, 8(4), Printed Online. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0060570>.
- Goutzelas Y, Kotsa K, Vasilopoulos Y, et al(2017). Association analysis of FTO gene polymorphisms with obesity in Greek adults. *Gene*, 613, 10-13. <https://doi.org/10.1016/j.gene.2017.02.033>.
- Guilherme JPL, Egorova ES, Semenova EA, et al(2019). The A-allele of the FTO gene rs9939609 polymorphism is associated with decreased proportion of slow oxidative muscle fibers and over-represented in heavier athletes. *J Strength Cond Res*, 33(3), 691-700. <https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000003032>.
- Hall JE, do Carmo JM, da Silva AA, et al(2015). Obesity-induced hypertension: interaction of neurohumoral and renal mechanisms. *Circ Res*, 116(6), 991-1006. <https://doi.org/10.1161/CIRCRESAHA.116.305697>.
- Hwang IJ, Bang KS(2016). Factors affecting obesity and

- overweight in Korean preschool children: based on the Korea national health and nutrition examination survey 2013-2014. *Child Health Nurs Res*, 22(4), 237-246. <https://doi.org/10.4094/chnr.2016.22.4.237>.
- Jiang L, Penney KL, Giovannucci E, et al(2018). A genome-wide association study of energy intake and expenditure. *PLoS One*, 13(8), Printed Online. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201555>.
- Kalantari N, Doaei S, Keshavarz-Mohammadi N, et al(2016). Review of studies on the fat mass and obesity-associated (FTO) gene interactions with environmental factors affecting on obesity and its impact on lifestyle interventions. *ARYA Atheroscler*, 12(6), 281-290.
- Karra E, O'Daly OG, Choudhury AI, et al(2013). A link between FTO, ghrelin, and impaired brain food-cue responsivity. *J Clin Invest*, 123(8), 3539-3551. <https://doi.org/10.1172/JCI44403>.
- Kim JC, Yoon BE, Yoon SJ(2017). Relationship between physical activity, healthy relation physical strength based on fto gene polymorphism of elementary school students. *Korean J Sports Sci*, 26(1), 1001-1010. <https://doi.org/10.35159/kjss.2017.02.26.1.1001>.
- Kim YI, Shin S(2017). Relighting of physical activity promotion system (PAPS) through Equalization. *KSME*, 19(3), 25-41. <https://doi.org/10.21797/ksme.2017.19.3.003>.
- Kim YK, Lee KH, Lee CS(2013). Effects of FTO gene polymorphism on blood lipids and cytokine according to combined exercise program in the obese male college students. *Exerc Sci*, 22(1), 11-21. <https://doi.org/10.15857/ksep.2013.22.1.11>.
- Kim YK, Lee KH(2011). The effect of dance sports on cytokine and metabolic hormone according to FTO polymorphism. *Korean Soc Sport Leisure Stud*, 44(2), 709-719.
- Kirk SFL, Penney TL, Mchugh TLF, et al(2012). Effective weight management practice: a review of the lifestyle intervention evidence. *Int J Obes*, 36(2), 178-185. <https://doi.org/10.1038/ijo.2011.80>.
- Lee KH, Kim YK(2011). The effect of dance sports on cytokine and metabolic hormone according to FTO polymorphism. *Korean Soc Sport Leisure Stud*, 44(2), 709-719.
- Loos RJF, Yeo GSH(2014). The bigger picture of FTO: the first gwas-identified obesity gene. *Nat Rev Endocrinol*, 10(1), 51-61. <https://doi.org/10.1038/nrendo.2013.227>.
- Mačková S, Bernasovský I, Gabriková D, et al(2012). Association of the FTO rs9939609 polymorphism with obesity in Roma/Gypsy population. *Am J Phys Anthropol*, 147(1), 30-34. <https://doi.org/10.1002/ajpa.21604>.
- Oh DJ, Kim HE, Hong YJ(2014). The effects of badminton exercise on percentage body fat and physical fitness in the obese children. *J Korean Phys Educ Assoc Girls Women*, 28(1), 1-11.
- Pienaar AE, Du Toit D, Truter L(2013). The effect of a multidisciplinary physical activity intervention on the body composition and physical fitness of obese children. *J Sports Med Phys Fitness*, 53(4), 415-427.
- Qibin Qi, Downer MK, Kilpeläinen TO, et al(2015). Dietary intake, FTO genetic variants, and adiposity: a combined analysis of over 16,000 children and adolescents. *Diabetes*, 64(7), 2467-2476. <https://doi.org/10.2337/db14-1629>.
- Reuter CP, Rosane De Moura Valim A, Gaya AR, et al(2016). FTO polymorphism, cardiorespiratory fitness, and obesity in Brazilian youth. *Am J Hum Biol*, 28(3), 381-386. <https://doi.org/10.1002/ajhb.22798>.
- Sandholt CH, Hansen T, Pedersen O(2012). Beyond the fourth wave of genome-wide obesity association studies. *Nutr Diabetes*, 2, Printed Online. <https://doi.org/10.1038/nutd.2012.9>.
- Switzer NJ, Mangat HS, Karmali S(2013). Current trends in obesity: body composition assessment, weight regulation, and emerging techniques in managing severe obesity. *J Interv Gastroenterol*, 3(1), 34-36. <https://doi.org/10.7178/jig.106>.

- Velders FP, De Wit JE, Jansen PW, et al(2012). FTO at rs9939609, food responsiveness, emotional control and symptoms of ADHD in preschool children. PLoS One, 7(11), Printed Online. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0049131>.
- Wang K, Li WD, Zhang CK, et al(2012). Correction: a genome-wide association study on obesity and obesity-related traits. PLoS One, 7(2), Printed Online. <https://doi.org/10.1371/annotation/a34ee94e-3e6a-48bd-a19e-398a4bb88580>.
- West NR, Dorling J, Thackray AE, et al(2018). Effect of obesity-linked FTO rs9939609 variant on physical activity and dietary patterns in physically active men and women. J Obes, 1, Printed Online. <https://doi.org/10.1155/2018/7560707>.
- Zhao NN, Dong GP, Wu W, et al(2019). FTO gene polymorphisms and obesity risk in Chinese population: a meta-analysis. World J Pediatr, 15(4), 382-389. <https://doi.org/10.1007/s12519-019-00254-2>.
- Centers for Disease Control and Prevention. Childhood obesity facts, 2014. Available at <http://www.cdc.gov/healthyyouth/obesity/facts.htm>. Accessed June 12, 2020.
- Korean Society for the Study of Obesity. Diagnosis and evaluation of obesity, 2018. Available at <http://general.kosso.or.kr/html/?pmode=obesityDiagnosis> Accessed July 14, 2020.
- World Health Organization. Obesity and overweight, 2020. Available at <https://www.who.int/en/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight> Accessed May 25, 2020.