

태권도 시합유형에 따른 ACE 유전자 다형성의 특성과 유, 무산소성 운동능력 및 골밀도와의 관련성

풍혜(용인대학교 박사) · 왕가맹(용인대학교 연구원) · 진천(용인대학교 조교수) ·
조임형(용인대학교 부교수) · 조현철*(용인대학교 교수)

요 약

본 연구는 태권도 선수들의 시합 유형(겨루기, 품새, 시범)에 따른 ACE 유전자 다형성의 특성과 유, 무산소성 운동능력, 골밀도와의 관련성을 규명할 목적으로, 대학교 엘리트 태권도 선수를 유형별로 겨루기(남자 27명, 여자 7명), 품새(남자 20명, 여자 18명), 시범(남자 25명, 여자 8명), 대조군으로 체육전공 학생(남자 17명, 여자 6명), 합계 128명을 대상으로 하였으며, 유, 무산소 운동능력, 골밀도를 측정하여 이들 변인과의 상관성을 확인한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 태권도 선수들의 시합유형에 따른 남, 여 선수들의 ACE 유전자 특성은 남자들은 겨루기와 품새에서 II>ID>DD형 순으로, 여자들은 ID>II>DD형 순으로 나타났으며, 시범에서 남자들은 ID>II>DD형 순으로, 여자들은 II>ID=DD형 순으로 나타났으나 집단 간에 유의한 차이는 나타나지 않았다. 또한 남녀별 시합유형별 ACE 유전자 다형성과 유·무산소 운동능력, 골밀도 간에 유의한 차이는 나타나지 않았다. ACE 유전자 다형성은 남자선수들의 경우에는 DD형과 최대산소섭취량에서만 유의한 상관성이 나타났다. 여자선수들의 경우에는 DD형과 체중 당 피크파워와 관련성이 나타났고, ID형과 다리 골밀도에서, DD형과 팔 골밀도에서만 유의한 상관성이 있는 것으로 나타났다. 이상의 결과를 미루어 볼 때 남녀 태권도 선수들의 시합유형별 ACE 유전자 다형성은 집단 간 유의한 차이가 나타나지 않았고, 남녀 선수들 모두 ACE 형에서 II형과 ID형이 DD형의 거의 2배 정도 되는 것으로 나타나 훈련 특성과 관련성이 있는 것으로 사료되며, 이들 유전자와 유, 무산소성 운동능력 간에도 대체로 낮은 관련성이 있는 것으로 보인다. 여자들의 경우 골밀도에서만 일부 유의한 관련성이 나타난 것은 여성호르몬의 변화와 관련성이 있는 것으로 생각된다.

주제어: ACE 유전자 다형성, 유, 무산소성 운동능력, 골밀도

이 연구는 풍혜의 용인대학교 박사학위논문을 재구성하여 작성한 것임.

* hccho0100@hanmail.net

I. 서론

1990년대부터 학자들은 인간의 운동능력 및 유전자 관련 연구로 유전자 다형성을 분석하는 단계까지 발전했으며, 현재는 주로 유전자 다형성에 중점을 두고 있다. 유전자 다형성은 염색체 DNA 대립유전자의 염기 서열 차이를 말하는데, 인간의 운동수행능력은 유전자 다형성에 따라 심폐지구력, 근육 파워, 평형성 등과 같은 운동능력이 다르게 나타났다.

200개 이상의 단일 뉴클레오티드(nucleotide) 변이가 건강 및 운동 수행과 관련되며, 18개 단일 뉴클레오타드 변이가 뛰어난 운동능력에 영향을 미치는 것으로 보고되었다(Bray et al., 2009). Stubbe et al.(2006)은 유럽 7개국에서 진행하고 있는 유전자 유전도 연구에 따르면 취미로 트레이닝을 받은 사람의 운동능력에 대한 유전도는 48%~71%라고 밝혀졌다. 유전적 요인은 산소 섭취(Bouchard et al., 1998), 심박출량(An et al., 2000) 및 골격근의 빠르거나 느린 섬유질의 상대적 비율(Wolfarth et al., 2005)과 같은 운동 수행과 관련된 다양한 특성 변화의 20%~80%를 유전자가 결정한다고 하였다. 또 Bouchard et al.(2011)의 연구에 의하면 최대산소섭취량은 약 47%가 유전적 요인에 의해 결정된다고 하였다. 위의 연구 결과에서 운동능력은 매우 높은 유전 특성을 가지며, 이는 뛰어난 운동능력과 유전자 변화의 관련성을 연구하기 위한 큰 이론적 기초가 되었다.

ACE(Angiotensin Converting Enzyme) 유전자에 대한 체육 분야 연구는 1998년 Montgomery et al.(1998)에 의해 체력과 관련된 유전자라고 불리게 되었다. ACE 유전자는 유전자형에 따라서 II, ID, DD 형의 세 가지로 분류되는데 이들 유전자형은 유형에 따라서 인체에 각기 다른 영향을 미친다.

강익원, 이승범과 전용균(2011)에 의하면 국가대표 선수 11명과 상비군 선수 16명을 대상으로 우수 남자 스피드 스케이팅 선수들의 ACE 유전자 다형성 분포를 살펴본 결과 II형 22.3%, ID형 40.7%, DD형 37.1%를 보고하여, ID>DD>II형 순으로 분포한다고 하였다. 운동의 종류와 형태에 따라 유산소성 운동능력이 중요시되는 집단에서는 삽입 대립유전자(I allele)의 빈도가 상대적으로 높은 것으로 보고되었고(Myerson et al., 1999), 결손 대립유전자(D allele)는 폭발적인 힘을 나타내는 순발력, 근력을 요구하는 종목에서 높은 수준으로 나타난 것으로 보고되었다(Nazarov et al, 2001; Woods et al., 2001). Rankinen et al.(2010)에 의하면 현재까지 ACE 유전자는 경기력 관련 유전자(performance-related gene), 즉 상반

되는 표현형으로 유산소성 지구력과 무산소성 근력과 파워를 동시에 예측할 수 있다고 보고하고 있다.

이와 같이 ACE 유전자 다형성과 체력(Folland et al., 2000; Frederiksen et al., 2003), 신체 훈련(Fatini et al., 2000)과의 관련성 연구들이 보고되고 있으나, ACE 유전자의 경우 대표적인 체력 관련 유전자임에도 불구하고 학자들 간에 상반되는 연구 결과에 대해 논란이 되고 있는 실정이다.

한편 태권도는 근력, 근지구력 및 심장 지구력, 폭발성, 반응, 조정 및 유연성이 필요한 종합적인 경쟁 스포츠이다. 모든 스포츠에서 시간은 고려해야 할 요소 중 하나인데 파워와 지구력에 대한 요구는 시간에 따라 다르기 때문에 유전자 다형성과의 관계도 다르다(Nazarov et al., 2001). 태권도에서 겨루기는 손과 발을 사용하여 여러 가지 형태의 공격과 방어 동작이 순간으로 변화하는 연결 동작이 있고, 품새는 시연을 주목적으로 하여 끊고 맺는 동작이 많으며 정적인 동작이 주를 이루고 있으며, 시범은 병진운동과 회전운동을 동반하는 복합적인 연속 수행 동작이 주를 이루고 있다.

따라서 태권도는 시합유형에 따라 겨루기, 품새, 시범으로 확대되어 실시되고 있으며, 각기 다른 기준으로 시합을 하고 있다. 그러나 태권도 시합유형에 따른 선수들의 ACE 유전자 다형성에 대한 연구는 없으며, 유, 무산소성 능력과의 관련성을 연구한 것도 거의 없는 실정이다. 본 연구의 목적은 대학 태권도 선수들의 시합유형에 따른 ACE 유전자 다형성에 대한 특성을 제시하고 유, 무산소성 능력, 골밀도와의 관련성을 규명하여 선수 선발이나 트레이닝 계획에 필요한 자료를 제공하는 데 있다.

II. 연구 방법

1. 연구 대상

본 연구의 대상자는 운동 경력이 5년 이상인 Y 대학교 태권도 선수와 체육학 전공자 128명을 대상으로 하였다. 연구에 참여하는 실험집단은 태권도 선수 중 겨루기(34명: 남자 27명, 여자 7명)와 품새(38명: 남자 20명, 여자 18명), 그리고 시범(33명: 남자 25명, 여자 8명)

을 대상으로 하였고, 비교집단은 체육학 전공자(23명: 남자 17명, 여자 6명)를 대상으로 하였다. 연구 대상자들은 실험에 대한 제반 사항을 듣고 참여 동의서를 받은 후 참여토록 하였으며, 연구 대상자들의 신체적 특성은 <표 1>과 같다.

표 1. 연구 대상자들의 신체적 특성

구 분		연령 (year)	신장 (cm)	체중 (kg)	체질량지수 (kg/m ²)
겨루기 (n=34)	남자(n=27)	19.70±1.03	176.44±5.59	70.50±8.73	22.34±1.75
	여자(n=7)	20.00±.82	169.27±5.45	62.67±6.35	21.84±1.15
폼새 (n=38)	남자(n=20)	19.35±.93	173.95±4.77	65.03±5.13	21.49±1.50
	여자(n=18)	19.50±.92	162.22±4.40	55.82±4.73	21.22±1.72
시범 (n=33)	남자(n=25)	19.64±1.25	175.08±5.95	68.95±5.55	22.50±1.56
	여자(n=8)	18.88±.64	159.50±5.88	51.11±5.54	20.08±1.58
대조군 (n=23)	남자(n=17)	22.94±1.82	173.59±5.05	74.06±9.28	24.54±2.59
	여자(n=6)	20.50±.55	163.50±3.99	57.02±7.54	21.32±2.44

Values are M±SD

2. 실험 방법

1) 유전자 분석

(1) 샘플 유전자 추출

피험자들은 전완 주 정맥에서 약 5ml의 혈액을 채혈하여 항응고 처리된 EDTA tube에 담아서 3℃에서 보관하고 Nucleospin blood kit(Macherey-negel, Germany)을 이용하여 DNA를 분리하였다.

채혈된 혈액의 Buffy coat에서 200μl의 샘플 혈액에 proteinase K25μl와 Lysis buffer(B3) 200μl를 혼합한 후 10-20초간 vortex 하고 70℃에서 15분간 반응시켰다. 샘플에 100% 에탄올을 첨가하여 vortex 한 후 Nucleospin blood column에 옮기고 11000×g(RCF)에서 1분간 원심분리하였다. 원심분리 후 BW buffer 500μl와 B5 buffer 100μl를 70℃로 맞추어 column에 첨가한 후 11000×g(RCF)의 속도로 1분 동안 원심 분리하여 100μl의 DNA를 추출하였다.

(2) ACE 분석

중합효소반응(PCR)에 의해 증폭된 ACE 유전자는 전기영동에 의해 다형성을 구분하였다. 증폭된 유전자를 1% agarose gel 전기영동에 분주한 후 100V로 30분간 전기영동 하였다. 전기영동에 의해 이동된 ACE DNA는 I allele일 경우 433bp, D allele일 경우 133bp 크기를 나타내며, 이를 이용하여 II, ID, DD형을 구분하였다(그림 1).

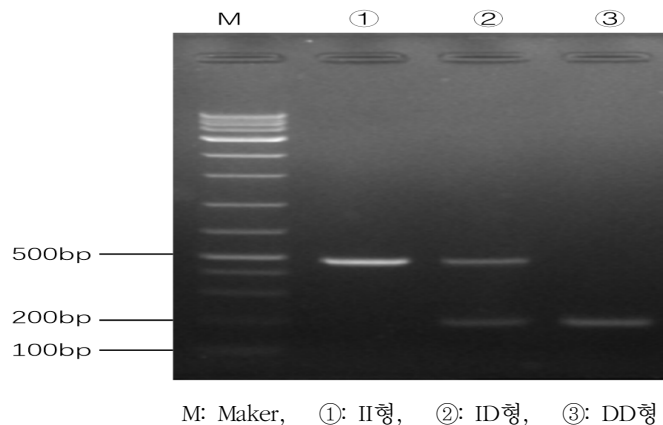


그림 1. ACE 유전자 I/D 다형성 PCR 결과

2) 운동 수행능력 측정

(1) 유산소 파워(최대산소섭취량) 측정

최대산소섭취량 측정은 심박수 측정기 폴라(Polar, Finland)를 착용하고, Treadmill을 이용한 Bruce 방법을 사용하였다. 이 방법은 3분마다 점증부하 하여 더이상 운동을 할 수 없는 all-out 상태까지 실시하였다. 분석은 Cosmos(Quark b2, Italy) 호흡가스 분석 장비를 이용하여 가스분석을 하였으며, 자료산출은 체중 당 최대산소섭취량을 측정하였다.

(2) 무산소 파워 측정

무산소 파워 측정은 Wingate 방법을 실시하였다(Inbar, Bar-Or, & Skinner, 1996). 20Watt에서 60/분의 속도로 2분간 준비운동을 하고 시작 구호와 함께 남자는 체중 당 0.07kp, 여자는 체중 당 0.05kp로 조정된 부하로 전력으로 30초간 자전거 에르고미터(Excalibur, Netherland)를 탔다. 이때 구두로 동기유발을 시켰으며, 체중 당 피크 파워와 평균 파워를 산출하였다.

(3) 골밀도 측정

골밀도 측정은 이중 에너지 방사선 흡수(DEXA, dual energy absorptiometry)의 원리를 이용한 Hv-ps 7681(GE medical system Lunar, USA)을 이용하여 피험자들의 골밀도를 측정하였으며, 분석은 팔, 다리, 몸통 골밀도를 하였다.

3. 자료처리 방법

본 연구의 모든 자료는 SPSS 통계프로그램 22.0을 이용하여 모든 자료에 대한 평균과 표준편차를 산출하였다. 또한 태권도 선수들의 시합유형에 따른 유전자 다형성과 대립유전자 분포에 대해 카이제곱 검정(χ^2 test)을 실시하였으며, 유전자 다형성에 따른 유, 무산소 파워와 골밀도 차이 검증을 위해 일원변량분석(one-way ANOVA)을 실시하였고, 사후검정은 LSD로 하였다. 태권도 선수들의 유전자 다형성에 따른 각 요인 간 관련성을 검증하기 위해 Pearson's 상관분석(correlation analysis)을 실시하였으며, 모든 자료의 가설검증은 $p < .05$ 로 하였다.

Ⅲ. 연구 결과

1. 태권도 선수들의 시합유형에 따른 ACE 유전자 특성

태권도 선수들의 시합유형에 따른 남, 여 선수들의 ACE 유전자 특성은 <표 2>에 나타난 바와 같다.

<표 2>에 나타난 바와 같이 태권도 선수들의 시합유형에 따른 ACE 유전자 다형성은 남자의 경우 겨루기는 II형 44.4%, ID형 33.3%, DD형 22.2%로 대립유전자 I형 61.1%, D형 39.8%로 나타났으며, 품세는 II형 60.0%, ID형 25.0%, DD형 15.0%로 대립유전자 I형 72.5%, D형 42.9%로 나타났다. 시범은 II형 40.0%, ID형 56.0%, DD형 4.0%로 대립유전자 I형 68%, D형 32%로 나타났으며, 대조군은 II형 41.2%, ID형 52.9%, DD형 5.9%로 대립유전자 I형 67.6%, D형 32.4%로 나타났다.

표 2. 태권도 선수들의 시합유형에 따른 ACE 유전자 다형성 결과

구 분	유전자형			χ^2	대립유전자		χ^2
	II	ID	DD		I	D	
남자 (n=89)	겨루기 (n=27)	12 44.5%	9 33.3%	6 22.2%	33 61.1%	21 38.9%	8.917 $p=.178$ ($p>.05$) 1,418 $p=.701$ ($p>.05$)
	품새 (n=20)	12 60.0%	5 25.0%	3 15.0%	29 72.5%	11 27.5%	
	시범 (n=25)	10 40.0%	14 56.0%	1 4.0%	34 68.0%	16 32.0%	
	대조군 (n=17)	7 41.2%	9 52.9%	1 5.9%	23 67.6%	11 32.4%	
	겨루기 (n=7)	1 14.3%	6 85.7%	0 0.0%	8 57.1%	6 42.9%	
여자 (n=39)	품새 (n=18)	7 38.9%	9 50.0%	2 11.1%	23 63.9%	13 36.1%	6.047 $p=.418$ ($p>.05$) .257 $p=.968$ ($p>.05$)
	시범 (n=8)	4 50.0%	2 25.0%	2 25.0%	10 62.5%	6 37.5%	
	대조군 (n=6)	2 33.3%	3 50.0%	1 16.7%	7 58.3%	5 41.7%	
	겨루기 (n=7)	1 14.3%	6 85.7%	0 0.0%	8 57.1%	6 42.9%	
	품새 (n=18)	7 38.9%	9 50.0%	2 11.1%	23 63.9%	13 36.1%	

I=2II+ID, D=2DD+ID

여자의 경우 겨루기는 II형 14.3%, ID형 85.7%, DD형 0%로 대립유전자 I형 57.1%, D형 42.9%로 나타났으며, 품새는 II형 38.9%, ID형 50.0%, DD형 11.1%로 대립유전자 I형 63.9%, D형 36.1%로 나타났다. 시범은 II형 50.0%, ID형 25.0%, DD형 25.0%로 대립유전자 I형 62.5%, D형 37.5%로 나타났으며, 대조군은 II형 33.3%, ID형 50.0%, DD형 16.7%로 대립유전자 I형 58.3%, D형 41.7%로 나타났다. 유전자형과 대립유전자 분포는 각 그룹 간에 통계적으로 유의한 차이는 나타나지 않았다.

2. 태권도 선수들의 시합유형에 따른 유, 무산소성 운동능력, 골밀도 결과

남녀 태권도 선수들의 시합유형별 유, 무산소성 운동능력 및 골밀도의 차이 분석결과는 <표 3>에 나타난 바와 같다.

표 3. 남녀 태권도 선수들의 시합유형별 유, 무산소성 운동능력 및 골밀도 결과

변 인	A	B	C	D	F	p	Post-hoc
남	VO ₂ max/kg	56.00±9.37	48.91±4.73	44.18±5.73	42.71±6.73	17.166	.000 A>B>C,D
	PP/W	15.11±2.20	14.44±1.95	15.84±2.34	15.14±2.00	1.573	.202 NS
	MP/W	8.96±.75	8.62±.76	8.78±.72	8.18±.76	3.949	.011 A,C>D
	Arm BD	.93±.04	1.08±.11	1.08±.09	1.01±.16	13.123	.000 B,C>D>A
	Leg BD	1.54±.07	1.48±.14	1.57±.10	1.51±.13	3.012	.035 C>B
	Trunk BD	1.04±.04	.98±.07	1.06±.08	1.02±.13	3.913	.011 A,C>B
여	VO ₂ max/kg	45.92±8.36	41.85±3.17	38.15±6.00	36.00±5.29	4.723	.007 A>C,D B>D
	PP/W	10.83±1.46	9.86±.99	8.61±1.65	8.28±1.92	5.207	.004 A,B>C,D
	MP/W	6.40±.66	6.02±.37	5.31±.64	4.93±.96	9.163	.000 A,B>C,D
	Arm BD	.83±.04	1.01±.24	.86±.12	.82±.05	3.191	.035 B>A,D
	Leg BD	1.35±.04	1.33±.06	1.34±.12	1.26±.08	1.651	.195 NS
	Trunk BD	.95±.02	.97±.04	.97±.10	.90±.05	2.016	.130 NS

NS: not significant, A: 겨루기, B: 품새, C: 시범, D: 대조군, VO₂max: 최대산소섭취량, PP/W: 체중당 피크파워, MP/W: 체중당 평균파워, BD: bone density

남자선수들의 최대산소섭취량은 겨루기가 품새보다 높았고 시범과 대조군 사이에 차이는 없으나 품새보다 낮았다($p<.001$). 여자선수들의 최대산소섭취량은 겨루기가 시범과 대조군보다 높았고 품새도 대조군보다 유의하게 높았다($p<.001$).

남자선수들이 시합유형에 따른 무산소성 파워에서는 체중 당 피크 파워에서 집단 간 유의한 차이가 나타나지 않았으며, 체중 당 평균 파워에서는 겨루기와 시범이 대조군보다 높았다($p<.05$). 평균파워에서 겨루기가 품새보다 높았고 시범과 대조군이 시범보다 낮았다($p<.01$). 여자선수들의 경우에는 체중당 피크파워와 평균파워는 겨루기와 품새가 시범과 대조군보다 유의하게 높았다. 골밀도에서는 남자들의 경우 팔에서 품새와 시범이 대조와 겨루기보다 유의하게 높았고($p<.001$), 다리는 시범과 품새 간에, 몸통은 겨루기와 시범이 품새 간에 유의한 차이($p<.05$)가 나타났으며, 여자들의 경우에는 팔에서만 품새와 겨루기와 대조 간에만 유의한 차이($p<.05$)가 나타났다.

1) ACE 유전자 다형성에 따른 차이 분석

태권도 선수들의 ACE 유전자 다형성에 따른 유, 무산소 운동능력 및 골밀도 간의 차이 분석결과는 <표 4>에 나타난 바와 같다.

표 4. ACE 유전자 다형성에 따른 유, 무산소성 운동능력 및 골밀도의 분석

	변 인	II	ID	DD	F	p	Post-hoc
남	VO ₂ max/kg	47.17±8.92	48.64±8.57	53.38±7.83	2,241	.113	NS
	PP/W	14.94±2.17	15.43±2.38	15.15±1.39	.486	.617	NS
	MP/W	8.58±.68	8.73±.83	8.95±.97	1,050	.354	NS
	Arm BD	1.02±.14	1.03±.10	1.00±.11	.153	.858	NS
	Leg BD	1.54±.12	1.52±.10	1.53±.10	.257	.774	NS
	Trunk BD	1.04±.09	1.02±.07	1.04±.11	.751	.475	NS
여	VO ₂ max/kg	40.42±5.27	42.38±6.40	36.50±4.90	2,097	.138	NS
	PP/W	9.44±1.71	9.95±1.48	8.14±.98	2,869	.070	NS
	MP/W	5.65±.76	5.96±.81	5.42±.47	1,297	.286	NS
	Arm BD	.89±.10	.89±.09	1.10±.48	2,880	.069	NS
	Leg BD	1.35±.09	1.30±.06	1.35±.10	2,501	.096	NS
	Trunk BD	.97±.06	.94±.05	.96±.10	.884	.422	NS

NS: not significant

ACE 유전자 다형성에 따른 유, 무산소성 운동능력 및 골밀도 차이 분석결과 남, 여 모두 통계적인 유의한 차이는 나타나지 않았다.

3. 태권도 선수들의 ACE 유전자에 따른 상관분석

남녀 선수별 ACE 유전자 다형성에 따른 유, 무산소성 운동능력 및 골밀도 변인의 상관분석 결과는 <표 5>에 나타난 바와 같다.

남자 태권도 선수들의 ACE 유전자 다형성과 유산소 운동능력 변인들과의 상관성은 DD형에서만 최대산소섭취량에서 유의한 상관이 나타났다. 여자들의 경우에는 ID형과 다리 골밀도 간에, DD형은 체중당 피크파워, 팔 골밀도 간에만 유의한 상관성이 나타났다. 그 외 변인에서는 대체로 낮은 상관성이 나타났다.

표 5. 남녀 태권도 선수들의 ACE 유전자 다형성에 따른 유, 무산소성 운동능력 및 골밀도 변인과의 상관분석

변 인		VO ₂ max	PP/W	MP/W	Arm BD	Leg BD	Trunk BD
II형 (n = 55)	남자	-.146	-.098	-.128	-.008	.066	.082
	여자	-.064	-.044	-.126	-.096	.281	.196
ID형 (n = 57)	남자	.009	.102	.045	.043	-.076	-.128
	여자	.252	.270	.242	-.156	-.349 *	-.209
DD형 (n = 16)	남자	.208 *	-.004	.126	-.053	.014	.067
	여자	-.285	-.340 *	-.181	.371 *	.118	.031

* $p < .05$

IV. 논 의

1. 태권도 선수들의 시합유형에 따른 ACE 유전자 특성

태권도는 역동적이고 순간적인 힘을 발휘하기 위한 동작으로 이루어져 있어 순발력이 중요한 요인으로 작용하는 스포츠이다(정성국, 김영국, 함우택, 2007). 또한 태권도의 기본 기술은 효율적인 자세와 순간적인 힘을 발휘하는 동작으로 이루어진 막기, 지르기, 찌르기, 찌기, 치기, 차기로 분류되며, 품새, 겨루기, 격파, 호신술 등에서 활용된다(김방출, 1999). 태권도의 기술과 체력의 비율 관계를 보면 기술 35%, 체력 30%, 민첩성 20%, 유연성 15%로 구성된다고 하였다(김경태, 2010).

한편 ACE 유전자는 유형에 따라서 II, ID, DD형의 세 가지로 분류되는데 이들 유전자는 유형에 따라서 인체에 각기 다른 영향을 미친다. 길재호, 박현과 차봉규(2002)는 남자축구선수 20명, 여자축구선수 14명, 여자 필드하키선수 12명을 대상으로 연구한 결과 II형이 DD형에 비해 최대산소섭취량이 남자는 0.5ml/kg/min, 여자는 0.94ml/kg/min 낮게 나타났지만 유의한 차이는 나타나지 않았다고 하였다. 강익원 등(2011)은 남자 스피드 스케이팅 대표선수 11명, 상비군 선수 16명을 대상으로 ACE 유전자를 분석한 결과 II형 22.2%, ID형 40.7%, DD형 37.1%를 나타내어 ID형이 높은 비율임을 보고하였다. 오유성과 김철현(2008)에 의하

면 지구성 선수들인 수영선수 87명, 사이클 선수 11명, 순발력 및 파워운동 종목 선수 중 역도 8명, 투척 16명, 일반인 131명을 조사한 결과 근력 및 파워성 운동선수들은 DD형이 41.7%로 가장 높았고, ID형이 33.3%, II형이 25%로 보고하였다. 일반인은 II형 33.6%, ID형 47.3%, DD형 19.1%, 근력/파워성 선수들은 II형 25%, ID형 33.3%, DD형 41.7%, 지구성 선수들은 II형 37.8%, ID형 51%, DD형 11.2%를 보고하였다. Alvarez et al.(2000)에 의하면 60명의 엘리트 운동선수(사이클 25명, 장거리 러너 20명, 핸드볼 선수 15명)들을 대상으로 연구한 결과 ACE 유전자 비율에서 두 그룹 모두 ID 분포비율이 높았으며, 일반인에 비해 운동선수들은 I 대립 형질 분포가 높아 중요한 유전형질이라 한 것과는 반대의 분포를 보인 것이고, 대덕유전자기술연구소(2003)에서 보고한 한국인의 ACE 다형성 분포는 II형 37.3%, ID형 55.1%, DD형 7.6%와는 비슷한 결과였다. 그리고 ACE의 DD형과 관련성이 높게 나타난 결과는 지구성 뿐만 아니라 근력을 예측하는 인자로서의 가능성도 제시하고 있다. Rankinen et al.(2010)에 의하면 현재까지 ACE 유전자는 경기력 관련 유전자(performance-related gene), 즉 상반되는 표현형으로 유산소 능력과 무산소성인 근력과 파워를 동시에 예측할 수 있다고 보고되고 있다. 이상과 같은 많은 선행연구들이 보고되었지만 ACE 유전자의 경우 대표적인 체력 관련 유전자임에도 불구하고 학자들 간에 상반되는 연구 결과에 대해 논란이 되고 있는 실정이다.

이재구 등(2005)이 연구한 스프린트 선수 II형 40.9%, ID형 46.2%, DD형 12.9%와 대립유전자로 구분했을 때에도 I 대립유전자 57.8%, D 대립유전자 42.2%와 거의 비슷한 결과를 나타내었다. 본 연구에서 나타난 결과를 보면 남자선수들의 경우 기술과 체력을 요구하는 겨루기와 품새는 선행연구들과 같이 II>ID>DD형 순으로 지구력이 높은 유전자형을 나타내었으나 시범은 오히려 순발력과 관련되는 ID>II>DD형이 높았다. 그러나 여자선수들의 경우에는 남자선수와 다르게 겨루기와 품새 모두 순발력과 관련성이 높은 ID>II>DD형이 높았고, 시범만 지구력이 높은 II>ID>DD형 순으로 나타났다. 이러한 결과는 시합유형에 따라 겨루기와 품새는 기술과 체력 위주의 많은 훈련량과 높은 강도 및 많은 훈련시간 등의 훈련 특성을 가지고 있지만 시범은 연기를 중점으로 하는 특성 때문에 훈련량과 강도에서 차이가 생기는 것으로 생각되며, 남·여선수 간에 차이가 생기는 것은 시합의 특성이 좀 더 크게 작용하는 것으로 생각된다. 그러나 강익원 등(2011)이 연구한 엘리트 빙상 선수들의 ACE 유전자 분석결과인 II<DD<ID형과는 조금 다르게 나타났다. 오유성 등(2008)도 일반인은 II형이 33.6%, ID형이 47.3%, DD형이 19.1%, 근력과 파워 선수들은 II형이 25%, ID형이 33.3%, DD형이 47%로 보고한 것은 대조군과 차이가 있는 것으로 생각된다.

이상의 결과를 고려해 볼 때 태권도 선수들의 시합유형에 따른 ACE 유전자 다형성에 차이는 나타나지 않았고, I 대립유전자가 D 대립유전자보다 거의 2배 정도 높은 것으로 나타난 것은 훈련 특성과 시합특성에 따라서 약간의 남녀차이가 있는 것으로 생각된다.

2. 태권도 선수들의 ACE 유전자 특성과 유, 무산소 운동능력 변인 및 골밀도와의 차이 검증

태권도 겨루기 선수들의 경우 경기당 3회, 회당 2분, 세션 간 1분 휴식이 있고, 품새 선수들의 경우 한 번에 체계적인 태권도 동작을 하고, 시범 선수들의 경우 기본동작과 고난도 기술 동작을 연속하게 하는 데다가 일반적으로 하루에 몇 번의 시합에 참여하기 때문에 높은 유산소 능력은 또한 훈련 세션 중 및 훈련 후에 더 빠른 회복을 촉진할 수 있다. 그리고 빠른 회복은 운동선수가 휴식 간격을 줄이고 더 높은 강도로 스포츠를 수행할 수 있다.

ACE 유전자와 유, 무산소 운동능력 및 골밀도 간에 유의한 차이는 나타나지 않았다. 단 여자들의 전체 골밀도에서 II>ID형 간에 유의한 차이가 나타났다. 이러한 것은 II형의 경우에 유산소 특성을 가지고 있고, ID형인 경우 근력과 순발력을 필요로 하는 특성 때문이다. ACE 유전자의 II, ID, DD의 다형성은 조직 및 혈액에서 ACE 효소의 농도에 영향을 미친다(Alvarez et al., 2000). DD형을 가진 사람이 가장 높은 농도를 나타내고, ID는 중간이며, II는 가장 낮은 농도를 나타낸다.

대부분의 연구에서 ACE 유전자는 유산소 능력과 관련된 유전자로 사용되지만 일부의 연구는 ACE 유전자와 속도 그리고 파워와 상관관계가 있다고 보고되고 있다. Folland et al.(2000)은 4주간 등척성 근육 운동을 수행한 결과, D allele 대퇴사두근의 강도는 빠르게 증가하였다고 하였으며, ACE 유전자는 힘과 관련이 있을 수 있다는 결론을 내렸다.

Hruskovicova et al.(2006)은 ACE 다형성 타입에 따라 유·무산소성 운동 자극의 민감도 차이를 보고하였다. 또한 운동의 종류와 형태에 따라 유산소성 운동능력이 중요시되는 집단에서는 삽입 대립유전자(I allele)의 빈도가 상대적으로 높은 것으로 보고되었고(Myerson et al., 1999), 결손 대립유전자(D allele)는 폭발적인 힘을 나타내는 순발력과 근력을 요구하는 종목에서 높은 수준으로 나타난 것으로 보고되었다(Nazarov et al., 2001; Woods et al., 2001). 이와 같이 ACE 유전자 다형성과 체력(Folland et al., 2000; Frederiksen et al., 2003), 신체훈련(Fatini et al., 2000)과의 관련성에 관한 연구들이 보고되고 있으며, James et

al.(1998)은 운동선수들을 대상으로 ACE 다형성과 심폐지구력의 관련성을 연구한 결과 유의성이 있는 결과는 나타나지 않았다고 상반된 보고를 하였다. 본 연구에서도 태권도 선수들의 시합유형별로는 차이가 없는 것으로 나타났지만 남자선수들은 II>ID형이, 여자선수들의 경우 ID>II형 순으로 나타나 남녀 간에 약간의 차이가 있었다. 이러한 결과는 남자선수들의 경우 지구성 능력이 높은 유전자형이 많았고, 여자선수들의 경우 근력과 순발력이 높은 유전자형이 많은 것으로 생각된다.

3. 태권도 선수들의 ACE 유전자 특성과 유, 무산소성 파워 변인 및 골밀도와의 관련성

ACE 유전자는 유산소 능력과 관련된 유전자로 사용되지만 일부의 연구는 ACE 유전자와 속도 및 파워와 상관관계가 있다는 연구들이 보고되고 있다. Hruskovicova et al.(2006)은 ACE 다형성에 따른 유·무산소성 운동 자극의 민감도 차이를 보고하였으며, 유산소성 운동 능력이 중요시되는 집단에서는 I allele의 빈도가 상대적으로 높은 것으로 보고되었고(Gayagay et al., 1998), D allele는 폭발적인 힘을 나타내는 순발력과 근력을 요구하는 종목에서 높은 수준으로 나타난 것으로 보고되었다(Woods et al., 2001).

지금까지 ACE 유전자 다형성에서 I 대립인자의 빈도가 조정(Gayagay et al., 1998), 육상 장거리 선수(Myerson et al., 1999), 산악인(Montgomery et al., 1998) 등 높은 유산소 집단에서 높은 빈도를 보였으며, D 대립유전자는 파워와 스프린트 종목 집단에서 높은 빈도를 나타내었다(Woods et al., 2001). 그러나 선행연구들은 민족에 따라서 다르고(Rankinen et al., 2000), 자연 선택이나 유전적 부동(drift)에서 영향을 미친다고 하였다(Pasha et al., 2002).

본 연구에서 남자선수들은 골밀도 변인과의 유의한 관련성이 나타나지 않았으며, 여자들이 ID형에서 다리와 역 상관성이 나타났고, DD형에서는 팔과 유의한 정 상관성이 있는 것으로 나타났다. 폐경 전 여성의 연구에 의하면 활성화된 레닌-엔지오텐신 시스템은 뼈 형성과 관련이 있음을 시사하였다(Tylavsky, Johnson, Wan & Harshfield, 1998). 골밀도의 T-score는 II 및 ID형에 비해 DD형에서 유의하게 높았으며, ACE 유전자 다형성이 골 질량의 유전적 결정 요인 중 하나일 수 있음을 시사하였고, 다른 한편으로, DD형에서 T-score의 더 높은 값은 골 대사에서 RAS의 관련에 대한 추가 증거 일 수 있다고 하였다(Altun et al., 2004). 엔지오텐신 II는 인간 DNA와 콜라겐 합성 조골세포를 자극하여 골밀도에 영향을 미친다

(Lamparter, Kling, & Schrader, 1998). 본 연구에서는 유전자형에 따른 차이는 나타나지 않았고, ACE 다형성도 DD형이 II형이나 ID형에 비해 적었기 때문에 나타난 것으로 생각되고, 이로 인해 골밀도에도 영향을 미친 것으로 생각된다. 특히 여성의 경우에는 여성호르몬의 영향이 있는 것으로 생각된다.

V. 결 론

본 연구 목적은 태권도 선수들의 시합 유형(겨루기, 품새, 시범)에 따른 ACE 유전자 다형성의 특성과 유, 무산소성 운동능력, 골밀도와의 관련성을 규명하는 데 있으며, 연구 대상은 대학교 엘리트 태권도 선수를 유형별로 겨루기(남자 27명, 여자 7명), 품새(남자 20명, 여자 18명), 시범(남자 25명, 여자 8명), 대조군으로 체육전공 학생(남자 17명, 여자 6명), 합계 128명을 대상으로 하였으며, 유전자 다형성은 ACE를 분석하였고, 유, 무산소 운동능력, 골밀도를 측정하여 이들 변인과의 상관성을 확인한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 태권도 선수들의 시합유형에 따른 남, 여 선수들의 ACE 유전자 특성은 남자들은 겨루기와 품새에서 II>ID>DD형 순으로, 여자들은 ID>II>DD형 순으로 나타났으며, 시범에서 남자들은 ID>II>DD형 순으로, 여자들은 II>ID=DD형 순으로 나타났으나 집단 간에 유의한 차이는 나타나지 않았다.

2. 남녀별 시합유형별 ACE 유전자 다형성과 유·무산소 운동능력, 골밀도 간에 유의한 차이는 나타나지 않았다.

3. ACE 유전자 다형성은 남자선수들의 경우에는 DD형과 최대산소섭취량에서만 유의한 상관성이 나타났다. 여자선수들의 경우에는 DD형과 체중 당 피크파워와 관련성이 나타났고, ID형과 다리 골밀도에서, DD형과 팔 골밀도에서만 유의한 상관성이 있는 것으로 나타났다.

이상의 결과를 미루어 볼 때 남녀 태권도 선수들의 시합유형별 ACE 유전자 다형성은 집단 간 유의한 차이가 나타나지 않았다. 그리고 남녀 선수들 모두 ACE 형에서 II형과 ID형이 DD형의 거의 2배 정도 되는 것으로 나타나 훈련 특성과 관련성이 있는 것으로 사료되며, 이들 유전자와 유, 무산소성 운동능력 간에는 대체로 낮은 관련성이 있는 것으로 보이며, 여자들의 경우 골밀도에서 유의한 관련성이 나타난 것은 여성호르몬의 영향이 있는 것으로 생각된다.

참고문헌

- 강익원, 이승범, 전용균(2011). 우수 남자 스피드 스케이팅 선수의 ACE 유전자 다형성이 유산소성 능력과 무산소성 파워에 미치는 영향. **한국체육과학회지**, 20(1), 941-950.
- 김경태(2010). 태권도 수련과 근력복합운동이 민간경호원의 건강관련체력과 혈중지질에 미치는 영향. **대한무도학회지**, 12(3), 265-276.
- 김방출(1999). 다중적 문화맥락에서의 태권도 수업의 질적평가. **서울대학교 체육연구소논집**, 20(2), 57-67
- 길재호, 박현, 차봉규(2002). 운동선수의 ACE 유전자 다형성과 심폐지구력. **운동영양학회지**, 16(2), 77-84.
- 대덕유전자기술 출판부(2003). 20세기 엄마와 21세기 아이를 위한 유전자 검사. 대전
- 오유성, 김철현(2008). ACE와 ACTN-3 유전자 다형성을 조합한 운동수행능력 예측. **한국체육과학회지**, 17(2), 843-852.
- 이재구, 백두진, 강병용, 장민희, 이강오(2005). 한국인 청소년 운동선수군과 일반인에서 ACE 유전자 삽입/결실 다형성의 분포에 관한 연구. **대한체질인류학회지**, 18(4), 263-270.
- 정성국, 김영국, 함우택(2007). 태권도 선수들의 체급별 유, 무산소 능력과 피로유발 요인 및 산화적 스트레스 차이에 관한 연구. **한국체육과학회지**, 16(4), 695-706.
- Alvarez, R., Terrados, N., Ortolano, R., Iglesias-Cubero, G., Reguero, J. R., Batalla, A., Cortina, A., Fernandez-Garcia, B., Rodriguez, C., Braga, S., Alvarez, V., & Coto, E. (2000). Genetic variation in the renin-angiotensin system and athletic performance. *Eur. J. Appl. Physiol*, 82(12), 117-120.
- Altun, B., Kiykim, A. A., Seyrantepe, V., Usalan, C., Arici, M., Çağlar, M., Erdem, Y., Yasavul, Ü., Turgan, Ç., & Çağlar, Ş. (2004). Association Between Activated Renin Angiotensin System and Bone Formation in Hemodialysis Patients: Is the Bone Mass Genetically Determined by ACE Gene Polymorphism?. *Ren. Fail*, 26(4), 425-431.
- An, P., Rice, T., Gagnon, J., Leon, A. S., Skinner, J. S., Bouchard, C., Rao, D. C., & Wilmore, J. H. (2000). Familial aggregation of stroke volume and cardiac output during submaximal exercise: the HERITAGE Family Study. *Int. J. Sports Med*, 21(8), 566-572.
- Bouchard, C., Daw, E. W., Rice, T., Perusse, L., Gagnon, J., Province, M. A., Leon, A. S., Rao, D. C., Skinner, J. S., & Wilmore, J. H. (1998). Familial resemblance for VO₂max in the sedentary state: the HERITAGE family study. *Med. Sci. Sports Exerc*, 30(2), 252-258.

- Bouchard, C., Sarzynski, M. A., Rice, T. K., Kraus, W. E., Church, T. S., Sung, Y. J., Rao, D. C., & Rankinen T. (2011). Genomic predictors of the maximal O uptake response to standardized exercise training programs. *J. Appl. Physiol*, 110(5), 1160-1170.
- Bray, M. S., Hagberg, J. M., Pérusse, L., Rankinen, T., Roth, S. M., Wolfarth, B., Bouchard, C. (2009). The human gene map for performance and health-related fitness phenotypes: the 2006-2007 update. *Med. Sci. Sports Exerc*, 41(1), 35-73
- Fatini, C., Guazzelli, R., Manetti, P., Battaglini, B., Gensini, F., Vono, R., Toncelli, L., Zilli, P., Capalbo, A., Abbate, R., Gensini, G. F., & Galanti, G. (2000). RAS genes influence exercise-induced left ventricular hypertrophy: an elite athletes study. *Med. Sci. Sports Exerc*, 32(11), 1868-1872.
- Folland, J., Leach, B., Little, T., Hawker, K., Myerson, S., Montgomery, H., & Jones, D. (2000). Angiotensin-converting enzyme geno-type affects the response of human skeletal muscle to functional overload. *Experimental Physiology*, 85(5), 575-579.
- Frederiksen, H., Caist, D., Bathum, L., Aadersen, K., McGue, M., Vaupel, J. W., & Christensen, K. (2003). Angiotensin I converting enzyme gene polymorphism in relation to performance, cognition physical cognition and survival a follow up study of elderly danish twins. *Ann. Epidemiol*, 13(1), 57-65.
- Gayagay, G., Yu, B., Hambly, B., Boston, T., Hahn, A., Celermjer, D. S., & Trent, R. J. (1998). Elite endurance athletes and the ACE I allele: the role of genes in athletic performance. *Hum. Genet*, 103(1), 48-50.
- Hruskovicova, H., Dzurenkova, D., Selingerova, M., Bohus, B., Tim-kanicova, B., & Kovacs, L. (2006). The angiotensin converting enzyme I/D polymorphism in long distance runners. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 46(3), 509-513.
- Inbar, O., Bar-Or, O., & Skinner, J. S. (1996). *The Wingate Anaerobic Test*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- James, M. H., Robert, E. F., Steve, D. M., Kenneth, R. W., & Geoffrey, E. M. (1998). VO2max is associated with genotype in post-menopausal women. *J. Appl. Physiol*, 85(5), 1842-1846.
- Lamparter, S., Kling, L., & Schrader, M. (1998). Effect of angiotensin II on bone cells in vitro. *J. Cell. Physiol*, 175(1), 89-98.
- Montgomery, H. E., Marshall, R., Hemingway, H., Myerson, S., Clarkson, P., Dollery, C., Haward, M., Holliman, D. E., Jubbs, M., World M., Thomas, E. L., Brynes, A. E., Saeed, N., Barnard, M., Bell, J. D., Prasad, K., Rayson, M., Talmud, P. J., & Humphries, S. E. (1998). Human gene for physical performance. *Nature*, 393(6682), 221-222.

- Myerson, S., Hemingway, H., Budget, R., Martin, J., Humphries, S. & Montgomery, H. (1999). Human angiotensin I-converting enzyme gene and endurance performance. *J. Appl. Physiol*, 87(4), 1313-1316.
- Nazarov, I. B., Woods, D. R., Montgomery, H. E., Shncider, O. V., Kazakov, V. I., Tomilin, N. V., & Fogozkin, V. A. (2001). The angiotensin converting enzyme I/D polymorphism in Russian athletes. *Eur. J. Hum. Genet*, 9(10), 797-801.
- Pasha, M. A., Khan, A. P., Kumar, R., Ram, R. B., Grover, S. K., Srivastava, K. K., Selvamurthy, W., & Brahmachari, S. K. (2002). Variations in angiotensin-converting enzyme gene Insertion deletion polymorphism in Indian populations of different ethnic origins. *J. Biosci*, 27(1), 67-70.
- Rankinen, T., Roth, S. M., Bray, M. S., Loos, R., Pérusse, L., Wolgarth, B., Hagberg, J. M., & Bouchard, C. (2010). Advances in exercise, fitness, and performance genomics. *Med. Sci. Sports Exerc*, 42(5), 835-846.
- Rankinen, T., Wolfarth, B., Simoneau, J. A., MaierLenz, D., Rauramaa, R., Rivera, M. A., Boulay, M. R., Chagnon, Y. C., Perusse, L., Keul, J., & Bouchard, C. (2000). No association between the angiotensin-converting enzyme I/D polymorphism and elite endurance athlete status. *J. Appl. Physiol*, 88(5), 1571-1575.
- Stubbe, J. H., Boomsma, D. I., Vink, J. M., Cornes, B. K., Martin, N. G., Skyttke, A., Kyvik, K. O., Rose, R. J., Kujala, U. M., Kaprio, J., Harris, J. R., Pedersen, N. L., Hunkin, J., Spector, T. D., & de Geus, E. J. (2006). Genetic influences on exercise participation in 37,051 twin pairs from seven countries. *PLoS. One*, 1(1), 22.
- Tylavsky, F. A., Johnson, K. C., Wan, J. Y., & Harshfield, G. (1998). Plasma renin activity is associated with bone mineral density in pre-menopausal women. *Osteoporos. Int*, 8, 136-140.
- Wolfarth, B., Bray, M. S., Hagberg, J. M., Perusse, L., Rauramaa, R., Rivera, M. A., Roth, S. M., Rankinen, T., & Bouchard, C. (2005). The human gene map for performance and health-related fitness phenotypes: the 2004 update. *Med. Sci. Sports Exerc*, 37(6), 881-903.
- Woods, D. R., Hickman, M., Jamshidi, Y., Brull, D., Vassiliou, V., Johns, A., Humphries, S., & Montgomery, H. E. (2001). Elite swimmers and the allele of the ACE I/D polymorphism. *Hum. Genet*, 108(3), 230-232.

The Relations between ACE Gene Polymorphism and Aerobic, Anaerobic Performance as Well as BMD of Taekwondo Athletes in Different Competition Types

Feng Hui (Yongin University, Doctor) · Jia-Meng Wang (Yongin University, Researcher) ·
Qian Chen (Yongin University, Assistant Professor) · Cho Im-Hyung (Yongin University, Associate
Professor) · Cho Hyun-Chul (Yongin University, Professor)

Abstract

The purpose of this study is to investigate the relations of angiotensin 1-converting enzyme(ACE), alpha-actinin-3(ACTN-3) gene polymorphism of taekwondo athletes in different competition types(kyorugi, poomsae, demonstration group) and their aerobic, anaerobic performance and bone mineral density(BMD). The subjects of the study were 128 elite taekwondo athletes and physical education majors from University Y. The experimental group that participated in the research was based on 34 from Kyorugi, 38 from poomsae, and 33 from demonstration in taekwondo athletes while the comparison group targeted 23 athletes majoring in physical education. Aerobic athletic ability was carried out to the all-out state by the Bruce protocol, and anaerobic athletic ability was implemented by the Wingate Test, while dual energy x-ray absorptiometry(DEXA) was applied in BMD measurement. Following conclusions were drawn via the process above. The ACE gene characteristics of male and female athletes according to different competition types were showed as man is with II>ID>DD type in kyorugi and poomsae while women with ID>II>DD type. And Men are with ID>II>DD type in demonstration while women with II>ID=DD type, but there was no significant difference between groups. There were no significant differences between ACE gene polymorphism and aerobic, anaerobic athletic ability as well as BMD for each competition type in both man and women. ACE gene polymorphism was shown to be with significant relations only in the case of male athletes in the maximum oxygen intake DD type. For female athletes, it was found that DD type was related to peak power per weight, and there is only an advertent between ID type and leg BMD, and also between DD type and arm BMD. Judging from the above results, although there is no significant statistical difference between the ACE gene polymorphism and the distribution of oppositional genes among by type of competition male and female Taekwondo athletes but the sequence of genetic polymorphism II and ID type was twice the size of DD type. In women athletes, a significant difference in bone density is due to the effects of female hormones.

Keywords: ACE gene poly morphism, Aerobic, Anaerobic performance,
Bone density

논문투고일: 2020. 01. 10.
논문심사일: 2020. 02. 18.
심사완료일: 2020. 03. 22.