



## 中国优秀柔道运动员爆发力敏感基因位点的确定 Determination of the Gene Loci of Explosive Force Sensitive Gene for Chinese Excellent Judo Athletes

亓朔, 苏浩, 许奎元, 赵林林, 王传军, 曹建民\*  
QI Shuo, SU Hao, XU Kuiyuan, ZHAO Linlin,  
WANG Chuanjun, CAO Jianmin\*

**摘要:**目的:比较候选基因位点在优秀柔道运动员和普通人之间的差异,确定与优秀柔道运动员爆发力相关的敏感基因位点,探讨基因选材成为辅助运动员选材方法的可行性。方法:通过查阅文献确定与爆发力相关的位点作为候选基因位点。54名汉族优秀柔道运动员(J组)和180名北京体育大学汉族普通大学生(C组)作为研究对象。采用一次性口腔拭子对受试者提取口腔脱落细胞,采集DNA样本,应用SNaPshot技术对受试者的爆发力基因位点进行SNP分型,将J组与C相比较,分析各组基因型和等位基因分布特征,筛选出与优秀柔道运动员相关联的爆发力基因位点。每组的基因分型结果均进行Hardy-Weinberg平衡检验,当 $P > 0.05$ 时,说明基因型分布符合Hardy-Weinberg平衡定律。每组的基因型与等位基因分布数据均采用卡方检验,将 $P < 0.05$ 定义为两组的基因型与等位基因分布具有统计学意义。结果:1) ACTN3基因rs1815739位点、ADBR3基因rs4994位点、CNTFR基因rs3808871和rs41274853位点、PPAR $\alpha$ 基因rs4253778位点、VDR基因rs7975232和rs2228570位点以及ACE基因rs1799752位点的基因型分布在各组中符合Hardy-Weinberg平衡定律( $P > 0.05$ );2) ACTN3基因rs1815739位点、CNTFR基因rs41274853位点的基因型分布与等位基因分布在优秀柔道运动员和普通人之间差异具有统计学意义( $P < 0.05$ )。结论:ACTN3基因rs1815739位点、CNTFR基因rs41274853位点可确定为与我国优秀柔道运动员爆发力存在关联的基因位点,日后可作为基因选材的分子标记。

**关键词:**柔道;爆发力;位点;基因型;等位基因;SNP分型

**Abstract:** Objective: To compare the difference of candidate gene loci between excellent judo athletes and ordinary people, to determine the sensitive gene loci related to explosive power of excellent judo athletes and to explore the feasibility of gene selection as an auxiliary athlete selection method. Methods: The loci related to explosive power quality were identified as the candidate gene loci by consulting the literature. In total 54 excellent judo athletes of Han nationality (group J) and 180 ordinary university students of Han nationality from Beijing Sport University (group C) were selected as the subjects of this experiment. Using disposable oral swab, oral exfoliated cells were extracted and DNA samples were collected. SNaPshot technique was used to conduct SNP genotyping of the explosive force gene loci of the subjects and group J was compared with group C to analyze the genotype and allele distribution characteristics of each group, so as to screen out the explosive force gene loci associated with excellent judo athletes. The genotyping results of each group were tested by Hardy-Weinberg equilibrium test, and when  $P > 0.05$ , the genotype distribution was consistent with Hardy-Weinberg equilibrium law. Chi-square test was performed on the data of genotype and allele distribution in each group, and  $P < 0.05$  was defined as the genotype and allele distribution of the two groups with statistical significance. Results: 1) The genotype distribution of ACTN3 gene rs1815739 locus, ADBR3 gene rs4994 locus, CNTFR gene rs3808871 and rs41274853 loci, PPAR $\alpha$  gene rs4253778 locus, VDR gene rs7975232 and rs2228570 loci, and ACE gene rs1799752 locus in all groups conformed to Hardy-Weinberg equilibrium law ( $P > 0.05$ ); 2) the genotype distribution and allele distribution of ACTN3 gene rs1815739 locus and CNTFR gene rs41274853 locus showed

**基金项目:**  
国家体育总局科技服务工作  
(2140943332)

**第一作者简介:**  
亓朔(1994-),男,在读硕士研究生,主要研究方向为运动营养与训练监控,E-mail:18369668091@163.com。

**\*通信作者简介:**  
曹建民(1960-),男,教授,博士研究生导师,主要研究方向为运动营养与训练监控,E-mail:13381380820@163.com。

**作者单位:**  
北京体育大学,北京 100084  
Beijing Sport University, Beijing  
100084, China.

statistically significant difference between excellent judo athletes and ordinary people ( $P < 0.05$ ). Conclusion: ACTN3 gene rs1815739 locus and CNTFR gene rs41274853 locus can be identified as the gene loci associated with the explosive force of the excellent judo athletes in China, which can be used as the molecular marker of gene selection in the future.

**Keywords:** judo; explosive force; locus; genotype; allele; SNP genotyping

**中图分类号:** G886.4 **文献标识码:** A

柔道项目是一个运动强度极大的非周期过程,具有竞争性与高强度间歇性,需要较高的绝对和相对水平的肌肉力量,要求运动员在4~5 min内多次发动进攻,瞬间完成复杂的技术动作(Franchini et al., 2011)。选材是支撑竞技体育国际竞争力的九大支柱之一,也是决定一个国家竞技运动水平优劣不可或缺的重要因素(黎涌明等, 2018)。我国柔道项目的选材经历过3个阶段,自然选材、经验选材、科学选材,目前以科学选材为主,主要是结合形态学、身体素质、生理生化、心理等指标进行选材(何钢等, 2015)。

近年,随着分子遗传学和基因检测技术的不断发展,通过基因技术对优秀运动员进行基因位点筛选,从而为早期运动员的培养提高精准性,提高运动员成才率。

通过在 Pubmed、Web of Science、SPORTDiscus、Medline 等外文网站搜索“judo”“gene”“explosive force”等关键词确定与爆发力相关的位点作为候选基因位点,位点选择依据:所选项目特点与柔道项目类似且在国内外研究结果为正相关。一项文献检索(1997—2015年)显示,至少有120个遗传标记与优秀运动员状态相关,其中包括77个与耐力相关的遗传标记和43个与爆发力相关的遗传标记,值得注意的是,在43个与爆发力相关的遗传标记中,ACE基因rs4646994位点、ACTN3基因rs1815739位点和PPAR $\alpha$ 基因rs4253778位点在3项或3项以上的研究中被证明与优秀运动员的爆发力显著相关(Ahmetov et al., 2015)。因此,以上3个位点可纳入本研究的候选基因位点。杨若愚(2017)在对我国优秀运动员爆发力相关基因多态性及其预测模型的研究中发现,ACTN3基因rs1815739、ADBR3基因rs4994、CNTFR基因rs3808871和VDR基因rs7975232位点被证明与中国优秀运动员爆发力存在相关。因此,将ADBR3基因rs4994、CNTFR基因rs3808871和VDR基因rs7975232位点纳入本研究的候选基因位点。国外文献在对CNTFR基因与VDR基因中常选取多个位点进行研究,且结果不一,为保证结果的准确性,将CNTFR基因rs41274853与VDR基因rs2228570位点纳入本研究的候选基因位点(Bahat et al., 2010; Bjork et al., 2019; Hong et al., 2014; Massidda et al., 2015; Miyamoto-Mikami et al., 2016)。

综上,本研究选用如下候选基因位点:ACTN3基因rs1815739位点、ADBR3基因rs4994位点、CNTFR基因rs3808871和rs41274853位点、PPAR $\alpha$ 基因rs4253778位点、VDR基因rs7975232和rs2228570位点及ACE基因

rs1799752位点。

## 1 研究对象与方法

### 1.1 研究对象

研究对象分为两组:优秀柔道运动员组与普通组,将54名汉族优秀柔道运动员组成的优秀柔道运动员组命名为J组(165.6 $\pm$ 3.7 cm, 22.1 $\pm$ 3.4岁,训练年限9.63 $\pm$ 3.30年),180名汉族普通大学生组成的普通组命名为C组(166.8 $\pm$ 4.5 cm, 20.4 $\pm$ 2.5岁)。J组从国家队以及地方省队选取,要求运动员等级为国家健将或国际健将,民族为汉族,C组从北京体育大学本科生中随机招募,要求无任何专业队运动训练经历,民族为汉族。

### 1.2 DNA样本的采集

本实验方案通过北京体育大学道德伦理审查专家委员会的审查(审批编号:2019020H)。受试者的采样均为无创的唾液采集,在采样前受试者阅读并填写知情同意书。

取口腔脱落细胞:取样前用清水漱口,为了避免样本不被污染,漱口后勿进食饮料和零食等,漱口后30 min由测试人员拿口腔拭子取样,在口腔左右内壁涂抹10次,取样时要注意力度稍大,取样后置于4 $^{\circ}$ C保存。

### 1.3 DNA的提取

取样后按照口腔试剂盒中的提取步骤进行提取。

### 1.4 基因分型

采用SNaPshot技术对样本进行SNP分型。通过反应,引物延伸一个碱基即终止,再经测序仪检测,根据峰的移动位置确定该延伸产物对应的SNP位点,根据峰的颜色可得知插入的碱基种类,从而确定该样本的基因型(图1)。

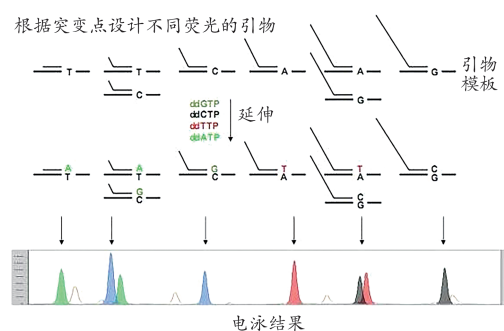


图1 SNaPshot原理

Figure 1. SNaPshot Principle

#### 1.4.1 PCR引物设计合成

**表 1 各基因位点引物名称与引物序列**  
**Table 1 Primer Name and Primer Sequence for Each Gene Locus**

引物名称	引物序列 (5'-3')
1-RS1815739-F	GACAGCGCACGATCAGTTCA
1-RS1815739-R	CTTGGTGTGATGTCCTGCG
2-RS4253778-F	AATCACTCCTTAAATATGGTGGAA
2-RS4253778-R	TGATTTACCTGATGACCACCTGT
3-RS41274853-F	GAGAAATCGGATGTGAGAGGC
3-RS41274853-R	AGGAGGACCTTTTGCATTCTCT
4-RS3808871-F	CATCTGGAGGTCAAGTCCGTT
4-RS3808871-R	CCGGGATTAGACTGTGGACG
5-RS7975232-F	ATCATCTGGCATAGAGCAGG
5-RS7975232-R	GTATCACCCGTCAGCAGTCAT
6-RS2228570-F	GGCACTGACTCTGGCTCTGAC
6-RS2228570-R	TTGCAGCCTTACAGGTCATAG
7-RS4994-F	GCTGGGGAAGTCGCTCTCAT
7-RS4994-R	GCCAGCGAAGTCACGAACAC
8-RS1799752-F	CATCCTTCTCCATTCTCTAGAC
8-RS1799752-R	CTTAGCTCACCTCTGCTGTAAAGG
1-RS1815739-F-YS	CAACACTGCCCGAGGCTGAC
2-RS4253778-R-YS	ATGGGAAATGAAGCTTTGAATC
3-RS41274853-F-YS	AGGAGGGCCAGCTTGGTGCG
4-RS3808871-F-YS	CCCCGGTGTACCGAACCTTGC
5-RS7975232-R-YS	GGTGGGATTGAGC(A/G)GTGAGG
6-RS2228570-F-YS	CTGCTTGCTGTTCTTACAGGGA
7-RS4994-F-YS	TGGTCTGGAGTCTCGGAGTCC
8-RS1799752-R-YS	GCGAAACCACATAAAAGTGACTGTAT

依据 NCBI 网站公布的基因序列,用 Primer 5.0 软件设计 PCR 引物。

1.4.2 扩增反应、延伸反应及纯化

扩增反应、延伸反应及纯化等步骤参考 3730XL 仪器操作指南进行。

1.4.3 基因分型结果

每个位点对应的位置上如果出现单一的一个较长的波峰,说明这个基因位点的基因型为纯合型,如果出现两个连续较短的波峰,说明这个基因位点的基因型为杂合型(图 2)。

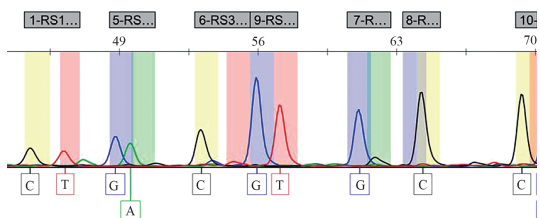


图 2 某一样本 SNP 基因分型结果

Figure 2. Results of SNP Genotyping of a Sample

1.5 数理统计

每组的基因分型结果均进行 Hardy-Weinberg 平衡检验,当  $P > 0.05$  时,说明基因型分布符合 Hardy-Weinberg 平衡定律,表明研究对象具有群体代表性。每组的基因型与等位基因分布数据均采用卡方检验,将  $P < 0.05$  定义为两组的基因型分布与等位基因分布差异具有统计学意义。

2 研究结果

2.1 各位点基因分型结果的 Hardy-Weinberg 平衡检验结果

54 名优秀柔道运动员与 180 名普通大学生各基因位点经 Hardy-Weinberg 平衡检验符合 Hardy-Weinberg 平衡定律(表 2),表明研究对象具有群体代表性( $P > 0.05$ )。

**表 2 两组各位点基因分型结果的 Hardy-Weinberg 平衡检验结果**  
**Table 2 Genotyping Results of Each Locus in Two Groups Tested by Hardy-Weinberg Equilibrium Test**

基因名称	位点序号	Hardy-Weinberg 平衡检验			
		J 组		C 组	
		$\chi^2$	$P$	$\chi^2$	$P$
ACTN3	rs1815739	0.20	0.91	2.23	0.33
PPAR $\alpha$	rs4253778	0.08	0.96	0.01	1.00
CNTFR	rs41274853	0.46	0.79	1.42	0.49
CNTFR	rs3808871	2.79	0.25	1.78	0.41
VDR	rs7975232	4.84	0.09	0.45	0.80
VDR	rs2228570	0.10	0.95	0.19	0.91
ADRB3	rs4994	0.43	0.81	1.12	0.57
ACE	rs4646994	0.31	0.86	4.01	0.13

2.2 各位点基因型分布结果和等位基因分布结果

ACTN3 基因 rs1815739 位点中 J 组 CC 基因型频率显著高于对照组( $P < 0.05$ ; 表 3), C 等位基因频率显著高于对照组( $P < 0.05$ ); CNTFR 基因 rs41274853 位点中 J 组 GG 基因型频率显著高于对照组( $P < 0.05$ ), G 等位基因频率显著高于对照组( $P < 0.05$ )。其余基因位点中基因型频率与等位基因频率在 J 组和 C 组间的差异无统计学意义( $P > 0.05$ )。

2.3 两组间各位点基因型分布结果和等位基因分布结果的统计显著性

ACTN3 基因 rs1815739 位点基因型分布与等位基因分布在优秀柔道运动员和普通人之间的差异具有统计学意义( $P < 0.01$ ; 表 4); CNTFR 基因 rs41274853 位点基因型分布与等位基因分布在优秀柔道运动员和普通人之间的差异具有统计学意义( $P < 0.05$ )。

3 分析与讨论

3.1 ACTN3 基因 rs1815739 位点与爆发力的关系

本研究发现,优秀运动员(健将级及以上)的 ACTN3 基因 rs1815739 位点基因型分布、等位基因分布与 C 组相比差异具有统计学意义( $P < 0.01$ ; 表 4), J 组中 CC 基因型

频率显著高于C组,且CC基因型在优秀运动员中的分布频率高于CT、TT基因型频率(表3),表明该基因多态性位点与优秀柔道运动员存在关联。

表3 两组各位点基因型分布结果和等位基因分布结果  
Table 3 Results of Genotype Distribution and Allele Distribution of Each Locus in Two Groups

基因名称	位点序号	基因型频率/%						等位基因频率/%			
		J组			C组			J组		C组	
ACTN3	rs1815739	CC	CT	TT	CC	CT	TT	C	T	C	T
		51*	41	8	28	52	20	74*	26	54	46
PPAR $\alpha$	rs4253778	CC	GC	GG	CC	GC	GG	C	G	C	G
		96	4	0	99	1	0	98	2	99	1
CNTFR	rs41274853	GG	GA	AA	GG	GA	AA	G	A	G	A
		72*	24	4	53	37	10	84*	16	71	29
CNTFR	rs3808871	CC	CT	TT	CC	CT	TT	C	T	C	T
		63	36	1	63	34	3	81	19	81	19
VDR	rs7975232	GG	GT	TT	GG	GT	TT	G	T	G	T
		35	59	6	52	42	6	65	35	73	27
VDR	rs2228570	CC	CT	TT	CC	CT	TT	C	T	C	T
		35	50	15	32	48	20	60	40	56	44
ADRB3	rs4994	AA	GA	GG	AA	GA	GG	A	G	A	G
		9	24	67	1	27	72	82	18	86	14
ACE	rs4646994	AA	CA	CC	AA	CA	CC	A	C	A	C
		63	31	6	59	31	10	79	21	75	25

注:\*表示与C组比差异显著( $P < 0.05$ ,卡方检验)。

表4 两组间(J vs. C)各位点基因型分布与等位基因分布结果的统计显著性

Table 4 Statistical Significance of Results of Genotype Distribution and Allele Distribution of Each Locus between Two Groups (J vs. C)

基因名称	位点序号	基因型分布		等位基因分布	
		$\chi^2$	P	$\chi^2$	P
ACTN3	rs1815739	14.747	0.001**	14.312	0.000**
PPAR $\alpha$	rs4253778	1.662	0.197	1.705	0.192
CNTFR	rs41274853	6.770	0.034*	7.218	0.007**
CNTFR	rs3808871	1.281	0.527	0.046	0.830
VDR	rs7975232	5.249	0.072	2.370	0.124
VDR	rs2228570	0.913	0.634	0.725	0.395
ADRB3	rs4994	0.705	0.703	0.640	0.424
ACE	rs4646994	0.654	0.721	0.536	0.464

注:\*表示 $P < 0.05$ ,\*\*表示 $P < 0.01$ ,J组与C组相比各位点基因型分布与等位基因分布具有统计学意义。

Rodriguez-Romo 等(2013)研究该位点时未发现西班牙精英男性柔道运动员与普通之间存在差异,得出ACTN3 基因 rs1815739 多态性与优秀柔道运动员竞技状态不显著相关。同样是以优秀柔道运动员为研究对象,可能是因为基因多态性存在地域、人种的差异,从而引起结果不一致。

Kikuchi 等(2012)对日本优秀摔跤运动员进行ACTN3 基因多态性分析,发现ACTN3 基因多态性与日本

优秀摔跤运动员的运动状态有关。该研究结果与本研究结果一致,可以看出即便两个研究中的实验对象民族不同,但两个项目的特点类似,均是以高强度对抗的间歇运动,且以爆发力为主的项目。

杨晓琳等(2010)与李燕春等(2016)在研究该位点时发现CC 基因型可作为中国北方汉族举重运动员与中、长距离游泳运动员选材的分子标记。杨若愚(2017)在中国优秀运动员爆发力相关基因多态性及其预测模型的研究中发现,ACTN3 基因 rs1815739 位点与我国优秀运动员的爆发力存在相关。由此可见,在以我国优秀运动员为研究对象时,上述研究与本研究结果保持一致,因此,在选择研究对象时,要保证优秀组与普通组的民族、地区来源相一致。鉴于全国范围内柔道项目健将数量较少,本研究在进行两组比较时,保证民族相一致(均为汉族),从而减小误差,提高实验结果的准确性。

结合该位点发展趋势来看,已被研究证明该位点与优秀运动员的爆发力存在关联。有研究表明,ACTN3 基因 rs1815739 位点表现的CC 基因型与C 等位基因在速度和力量素质中占优势(杨若愚,2017;Ahmetov et al.,2015; Moran et al.,2007; Vincent et al.,2007; Yang et al.,2017)。上述结果的一致性表明,该位点对肌肉的收缩速度、爆发力有一定影响。研究表明,ACTN3 基因指导合成的 $\alpha$ -辅肌动蛋白-3 仅存在于快肌纤维中, $\alpha$ -辅肌动蛋白-3 在肌肉快速收缩过程中对其进行保护。动物实验表明,含有 $\alpha$ -辅肌动蛋白-3 的小鼠模型中无氧代谢酶活性较高(Ma-



carthur et al., 2007; Vincent et al., 2007)。

柔道属于高强度的对抗运动,代谢途径以无氧代谢为主,爆发力直接影响比赛成绩。本研究证明了基因型 CC 与等位基因 C 对于柔道项目是优势基因型,因此,在进行运动员选材时可采用该方法辅助运动员选材,从而提高运动员的成才率,为后续基因选材提供理论依据以及数据支持。

### 3.2 CNTFR 基因 rs41274853 位点与爆发力的关系

本研究发现,优秀运动员(健将级及以上)的 CNTFR 基因 rs41274853 位点基因型分布、等位基因分布与 C 组相比差异具有统计学意义( $P < 0.05$ ; 表 4), J 组中 GG 基因型频率显著高于 C 组,且 GG 基因型在优秀运动员中的分布频率高于 GA、AA 基因型频率(表 3),表明该基因多态性位点与优秀柔道运动员存在关联。

Miyamoto 等(2016)以日本精英运动员为研究对象时发现,该基因位点多态性与国际短跑力量运动员的力量表型指标显著相关,研究结果与本研究结果保持一致。

本研究结果与杨若愚(2017)等的研究结果不一致。原因如下:1)选择爆发力项目时存在一定偏差,分析中国优秀运动员爆发力相关基因多态性及其预测模型的研究发现,在选择爆发力项目的优秀运动员时涵盖多个项目(田径、标枪、撑竿跳、跳高、跳远等),多样化的爆发力项目可能会造成研究结果的多样性;2)研究对象的选择不够严谨,分析中国优秀运动员爆发力相关基因多态性及其预测模型的研究发现,对于爆发力组的人员选取并未控制研究对象的民族一致性,只是保证了人员所从事的项目均是以爆发力为主的项目,对照组也未保证民族一致;3)优秀组与普通组的人数比例存在一定偏差,分析中国优秀运动员爆发力相关基因多态性及其预测模型的研究发现,优秀组与普通组人数比例约为 1:1,国内外研究在进行 SNP 位点分析比时却发现,优秀组与普通组的人数比例约为 1:3。因此,本研究在保证爆发力项目独立的基础上, J 组与 C 组的民族保持一致, J 组与 C 组的人数比例大约控制在 1:3。未来,尚需研究进一步证实该位点与爆发力项目优秀运动员之间的关联。

目前,鲜见国内关于该位点与运动能力的研究,以往的研究表明, CNTF 作为一种神经营养因子可以营养神经和肌肉,与受体结合后发挥化学传递作用,从而为大多数神经细胞的生长和分化提供营养(Fraysse et al., 2000; Gayagay et al., 1998; Guillet et al., 1999)。柔道项目是一项高强度的对抗运动,肌肉的收缩是在神经的调控下完成的,提高神经系统的兴奋性可以增加运动单位的募集效果,从而动员更多的肌纤维参与肌肉的收缩,提高机体的爆发力。从该基因影响的生理机制来看,未来可能是一个潜在的爆发力基因位点。因此, CNTFR 基因可能是改变肌肉的收缩特性来影响肌肉的性能,同时,可能也与

肌肉的体积相关, CNTFR 基因与运动员状态和肌肉表现关系的分子机制尚不清楚,需要进一步研究证明。值得注意的是,在保证研究对象人数比例合适的情况下,应增加该基因的多个位点进行分析,从而提高实验结果的准确性。

### 3.3 其他基因位点与爆发力的关系

PPAR $\alpha$  是调节脂质、葡萄糖能量平衡,血管炎症的转录因子,以及调节骨骼肌和心肌脂肪酸的氧化, Petr 等(2014)发现, C 等位基因携带个体与捷克精英男性冰球运动员状态相关。ACE 是肾素-血管紧张素系统中的一个关键酶,可以引起心肌细胞肥大,造成运动性心肌肥大,从而影响机体的心血管功能。Papadimitriou 等(2016)发现, AA 型的短跑运动员能够以更短的时间完成冲刺,认为该型的运动员具有较好的爆发力。VDR 主要参与维持钙磷平衡,通过影响基因转录调控相应蛋白的合成。

本研究尚未发现选取的 PPAR $\alpha$  基因 rs4253778 位点、ACE 基因 rs1799752 位点、VDR 基因 rs7975232 和 rs2228570 位点以及 ADBR3 基因 rs4994 位点与我国优秀柔道运动员爆发力相关,还需进一步的实验考证。

## 4 结论

ACTN3 基因 rs1815739 位点、CNTFR 基因 rs41274853 位点可确定为与我国优秀柔道运动员爆发力存在关联的基因位点,日后可作为基因选材的分子标记。

### 参考文献:

- 何钢,张战毅,2015.我国优秀女子柔道运动员体能特征的研究[J].西安体育学院学报,32(1):116-123.
- 李燕春,王刘强,衣龙燕,等,2016.ACTN3 基因 R577X 多态位点与中、长距离游泳运动员运动能力的关联分析[J].中国体育科技,52(1):136-140.
- 黎涌明,陈小平,2017.英国竞技体育复兴的体系特征及对我国奥运战略的启示[J].体育科学,37(5):3-10.
- 黎涌明,陈小平,冯连世,2018.运动员跨项选材的国际经验和科学探索[J].体育科学,38(8):3-13.
- 杨若愚,2017.中国优秀运动员爆发力素质相关基因多态性及其预测模型的研究[D].上海:上海体育学院.
- 杨晓琳,胡扬,李燕春,等,2010.ACTN3 基因 C1747T 多态位点作为举重运动员选材用分子标记的可行性研究[J].体育科学,30(1):70-73.
- AHMETOV I I, FEDOTOVSKAYA O N, 2015. Current progress in sports genomics[J]. Adv Clin Chem, 70(7): 247-314.
- BAHAT G, SAKA B, ERTEN N, et al., 2010. BsmI polymorphism in the vitamin D receptor gene is associated with leg extensor muscle strength in elderly men[J]. Aging Clin Exp Res, 22(3): 198-205.
- BJORK A, RIBOM E, JOHANSSON G, et al., 2019. Variations in the vitamin D receptor gene are not associated with measures of muscle strength, physical performance, or falls in elderly men. Data from MrOS Sweden[J]. J Steroid Biochem Mol Biol, 187(5): 160-165.

(下转第 37 页)

- fects of superior action anticipation in professional badminton players[J]. *Neurosci Lett*, 492(3): 139-144.
- KAO S C, HUANG C J, HUNG T M, 2014. Neurofeedback training reduces frontal midline theta and improves putting performance in expert golfers[J]. *J Appl Sport Psychol*, 26(3): 271-286.
- KASPER R W, CECOTTI H, TOURYAN J, et al., 2014. Isolating the neural mechanisms of interference during continuous multisensory dual-task performance[J]. *J Cogn Neurosci*, 26(3): 476-489.
- KRZEPOTA J, ZWIERKO T, PUCHALSKA-NIEDBAL L, et al., 2015. The efficiency of a visual skills training program on visual search performance[J]. *J Hum Kinet*, 46(1): 231-240.
- LABIB H, 2014. The impacts of visual training on eye search and basics skills among female handball players[J]. *Ovidius Univ Ann Ser Phys Educ Sport Sci Mov Health*, 14(1): 66-73.
- LAFONT D, 2007. High-speed photo analysis of top player's gaze behavior[J]. *Tennis Sci Technol*, 3: 227-233.
- LOFFING F, WILKES T, HAGEMANN N, 2011. Skill level and graphical detail shape perceptual judgments in tennis[J]. *Perception*, 40(12): 1447-1456.
- MARTELL S G, VICKERS J N, 2004. Gaze characteristics of elite and near-elite athletes in ice hockey defensive tactics[J]. *Hum Mov Sci*, 22(6): 689-712.
- MORAN A, 2009. Cognitive psychology in sport: Progress and prospects[J]. *Psychol Sport Exerc*, 10(4): 420-426.
- NEWSOME W T, 1997. Deciding about motion: Linking perception to action[J]. *J Comp Physiol A*, 181(1): 5-12.
- PANCHUK D, VICKERS J N, 2006. Gaze behaviors of goaltenders under spatial-temporal constraints[J]. *Hum Mov Sci*, 25(6): 733-752.
- POULTON E C, 1950. Perceptual anticipation and reaction time[J]. *Q J Exp Psychol*, 2(3): 99-112.
- PINTO Y, HOWE P D, COHEN M A, et al., 2010. The more often you see an object, the easier it becomes to track it[J]. *J Vision*, 10(10): 1-15.
- ROMEAS T, GULDNER A, FAUBERT J, 2016. 3D-Multiple Object Tracking training task improves passing decision-making accuracy in soccer players[J]. *Psychol Sport Exerc*, 22: 1-9.
- SMEETON N J, HUYS R, 2011. Anticipation of tennis-shot direction from whole-body movement: The role of movement amplitude and dynamics[J]. *Hum Mov Sci*, 30(5): 957-965.
- VAN DINTEREN R, ARNS M, JONGSMA M L, et al., 2014. P300 development across the lifespan: A systematic review and meta-analysis[J]. *PLoS One*, 9(2): e87347.
- VOGEL E K, LUCK S J, 2000. The visual N1 component as an index of a discrimination process[J]. *Psychophysiology*, 37(2): 190-203.
- WILLIAMS A M, JACKSON R C, 2019. Anticipation in sport: Fifty years on, what have we learned and what research still needs to be undertaken?[J]. *Psychol Sport Exerc*, 42: 16-24.
- YANG C Y, HSIEH J C, YIN C, 2006. An MEG study into the visual perception of apparent motion in depth[J]. *Neuroscience Letters*, 403(1-2): 40-45.
- ZHANG D, DING H, WANG X, et al., 2015. Enhanced response inhibition in experienced fencers [J]. *Sci Rep*, doi: 10.1038/srep16282.
- (收稿日期:2019-07-18; 修订日期:2021-02-26; 编辑:尹航)
- 
- (上接第30页)
- FRANCHINI E, DEL VECCHIO F B, MATSUSHIGUE K A, et al., 2011. Physiological profiles of elite judo athletes[J]. *Sports Med*, 41(2): 147-166.
- FRAYSSE B, GUILLET C, HUCHET-CADIOU C, et al., 2000. Ciliary neurotrophic factor prevents unweighting-induced functional changes in rat soleus muscle[J]. *J Appl Physiol*, 88(5): 1623-1630.
- GAYAGAY G, YU B, HAMBLY B, et al., 1998. Elite endurance athletes and the ACE I allele: The role of genes in athletic performance [J]. *Hum Genet*, 103(1): 48-50.
- GUILLET C, AUGUSTE P, MAYO W, et al., 1999. Ciliary neurotrophic factor is a regulator of muscular strength in aging[J]. *J Neurosci*, 19(4): 1257-1262.
- HONG S M, HONG A R, SHIN Y A, 2014. Effects of detraining on motor unit potential area, muscle function and physical performance based on CNTF gene polymorphism[J]. *J Exerc Nutr Biochem*, 18(2): 151-160.
- KIKUCHI N, MIN S K, UEDA D, et al., 2012. Higher frequency of the ACTN3 R allele + ACE DD genotype in Japanese elite wrestlers [J]. *J Strength Cond Res*, 26(12): 3275-3280.
- MACARTHUR D G, SETO J T, RAFTERY J M, et al., 2007. Loss of ACTN3 gene function alters mouse muscle metabolism and shows evidence of positive selection in humans[J]. *Nat Genet*, 39(10): 1261-1265.
- MASSIDDA M, CORRIAS L, BACHIS V, et al., 2015. Vitamin D receptor gene polymorphisms and musculoskeletal injuries in professional football players[J]. *Exp Ther Med*, 9(5): 1974-1978.
- MIYAMOTO-MIKAMI E, FUJITA Y, MURAKAMI H, et al., 2016. CNTFR genotype and sprint/power performance: Case-control association and functional studies [J]. *Int J Sports Med*, 37(5): 411-417.
- MORAN C N, YANG N, BAILEY M E, et al., 2007. Association analysis of the ACTN3 R577X polymorphism and complex quantitative body composition and performance phenotypes in adolescent Greeks[J]. *Eur J Hum Genet*, 15(1): 88-93.
- PAPADIMITRIOU I D, LUCIA A, PITSILADIS Y P, et al., 2016. ACTN3 R577X and ACE I/D gene variants influence performance in elite sprinters: A multi-cohort study[J]. *BMC Genomics*, 17(7): 285-287.
- PERSI A, MALTESE P E, BERTELLI M, et al., 2013. Polymorphisms of alpha-actinin-3 and ciliary neurotrophic factor in national-level Italian athletes[J]. *Panminerva Med*, 55(2): 217-224.
- PETR M, STASTNY P, PECHA O, et al., 2014. PPARA intron polymorphism associated with power performance in 30-s anaerobic Wingate Test[J]. *PLoS One*, 9(9): e107171.
- RODRIGUEZ-ROMO G, YVERT T, DE DIEGO A, et al., 2013. No association between ACTN3 R577X polymorphism and elite judo athletic status[J]. *Int J Sports Physiol Perform*, 8(5): 579-581.
- VINCENT B, DE BOCK K, RAMAEKERS M, et al., 2007. ACTN3 (R577X) genotype is associated with fiber type distribution [J]. *Physiol Genomics*, 32(1): 58-63.
- YANG R, SHEN X, WANG Y, et al., 2017. ACTN3 R577X gene variant is associated with muscle-related phenotypes in elite Chinese sprint/power athletes[J]. *J Strength Cond Res*, 31(4): 1107-1115.
- (收稿日期:2019-09-27; 修订日期:2021-01-30; 编辑:尹航)