

血管紧张素转化酶(ACE)基因 I/D 多态性与运动能力关系

王恒, 马骁

(河南师范大学 体育学院, 河南 新乡 453007)

摘要:对比优秀有氧耐力运动员与普通健康大学生的血管紧张素转化酶(Angiotensin-converting enzyme, ACE)基因型,探讨 ACE 基因 I/D 多态性与心脏结构和运动能力的关系,结果:1)优秀有氧耐力运动员(EA)组和普通健康大学生(NC)组受试者的基因型分布符合 Hardy-Weinberg 平衡($P>0.05$),结果具有一定的群体代表性;2) EA 组基因频率(D 为 0.350;I 为 0.650)与 NC 组(D 为 0.545,I 为 0.455)具有差异,EA 组基因频率 I 基因频率显著偏高;3)将 EA 组分为 II, DD 和 ID 三个基因型,结果显示左室质量指数(left ventricular mass/body surface area, LVM/BSA)在 II 与 DD 基因型之间具有显著差异($P<0.05$);无氧运动后血乳酸峰值在基因型 II 与 DD, ID 与 DD 之间均有显著性差异($P<0.05$),基因型 II 与 ID 之间无显著性差异;在体脂比例方面,基因型 II 与 ID, DD 的差异性均显著($P<0.05$).结论:优秀耐力运动员等位基因 I 频率较高,不同基因型的耐力运动员,左室质量指数和体脂比指标, II 显著低于 ID 和 DD,这提示等位基因 D 对心肌肥大的敏感性更强,等位基因 I 对糖酵解供能和脂代谢调控敏感性更强.

关键词:血管紧张素转化酶(ACE)基因;多态性;运动能力

中图分类号:G804.2

文献标志码:A

随着人类基因组计划的完成和现代生物技术的飞跃发展,后基因组计划全面展开,越来越多的研究者开始关注基因与运动能力之间的关系.研究发现基因与运动能力密切相关,包括各类运动素质^[1-8],甚至运动技能获得能力^[9].这些均拓展了运动员选材研究的广度和深度.人类运动能力遗传度和敏感度存在个体差异.运动训练在一定程度上改善人体的运动能力,但不同个体的训练负荷与训练效果的量效关系存在差异^[10-12],特别是越接近训练极限,运动效果越依赖于个体基因的影响^[13-14].因为在中、高等强度的运动中,不同遗传基因在相同的环境下表现出不同的适应性特征,在群体中存在高和低两种反应个体.

肾素-血管紧张素系统具有调节人体心血管系统和局部组织功能的作用,如对心肌和脂肪组织的生长代谢进行调节,其中 ACE 对于降解缓激肽和促成血管紧张素 II (Angiotensin II, Ang. II)的形成起到关键作用.张冬梅^[15]发现特种部队官兵 ACE 基因存在插入 I/缺失 D 多态性,基因 II 型体能训练成绩明显高于其他基因型.因此探讨 ACE 基因和人体运动能力的关系,为运动员选材和提高运动成绩提供重要科学依据.

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

本研究选取优秀有氧耐力运动员和无系统训练经历的普通大学生为受试对象,均为汉族,男性,均无家族遗传病史,身体健康,告知实验内容和注意事项,并签署知情同意书.

1.2 研究方法

1.2.1 基因组 DNA 的提取

让被试用生理盐水漱口清洁口腔,随后由专人用采样拭子头在受试者口腔内壁黏膜擦拭,再用 10 mL 的无 DNA 和 RNA 酶的生理盐水强力漱口,将漱口液收集以提取 DNA,方法参照 WOODS^[14]等.

收稿日期:2020-07-14;修回日期:2020-12-28.

基金项目:河南省科技厅重点攻关项目(192102310290)

作者简介(通信作者):王恒(1974-),男,内蒙古巴彦淖尔人,河南师范大学副教授,主要研究方向为体育运动理论与实践, E-mail:nmgwangh@163.com.

表1 被试基本情况

Tab. 1 Basic information of subjects

研究组别与类型	优秀有氧耐力运动员组(EA)	普通健康大学生组(NC)
研究对象	马拉松项目运动员(健将8名,一级运动员12名)	无系统训练经历(无等级)
人数	20	20
年龄/岁	20.1±2.9	20.0±3.1
训练年限/a	6~12	无系统训练年限

1.2.2 PCR 扩增

采取的引物由赛百盛生物工程公司合成,上游引物 5'-CTGGAGACCACTCCCATCCTTTCT-3',下游引物 5'-GATGTGGCCATCACATTCGTCAGAT-3'^[16].经 50 μ L 的 PCR 反应体系(DNA 模板 2 μ L,上下引物各 2 μ L,2 \times Mix 混合液 25 μ L,无菌去离子双蒸水 19 μ L)进行扩增.反应条件:94 $^{\circ}$ C 预变性 5 min;94 $^{\circ}$ C 变性 30 s,55 $^{\circ}$ C 退火 30 s,72 $^{\circ}$ C 延伸 30 s,循环 30 次;72 $^{\circ}$ C 延伸 5 min.扩增产物经琼脂糖凝胶电泳分离后于紫外灯下观察结果.

1.2.3 生理指标测定

生物电阻抗法测体成分(BiodynamicsM-310,USA);M型超声心动测左心室结构及功能(Aloka SSD-118,Japan);Wingate 无氧功测试,并在测试后分别在 3 min,6 min,9 min 采指尖血测试血乳酸值(Monark-834,Sweden & YSI-23L,USA).

1.3 统计分析

运用 SPSS 21.0 统计软件对实验得出的数据进行处理.对于等位基因的频率,分布平衡情况,运用 Hardy-Weinberg 遗传平衡定律来进行检验,结果具有群体代表性.用独立样本 *T*-检验及单因素方差分析均数间差异, χ^2 检验组间 ACE 基因 AFLP 频数差异,设定显著性水平为 $P < 0.05$,非常显著性水平为 $P < 0.01$.

2 研究结果

2.1 ACE 基因 I/D 多态性

识别 ACE 基因 I/D 多态性是以其第 16 号内含子中片段 287 bp 的 Alu 重复序列存在与否而论.当 PCR 扩增出两种片段长度,第 16 号内含子存在该重复序列时,扩增片段长 65 bp 为 I 型,缺失时扩增出 84 bp 长的 D 型,D 和 I 为共显性等位基因,故群体中有 DD, ID 和 II 三种基因型(图 1).

2.2 优秀有氧耐力运动员与普通大学生 ACE 基因型分布与等位基因频率比较

人类的 ACE 基因位于染色体 17q23,ACE 基因第 16 内含子有一段

287 bp 的 Alu 重复序列,存在 I/D 多态性,D 和 I(插入/缺失)为共显性等位基因,从而导致三种基因型(II/ID/DD).经计算(见表 2),EA 组和 NC 组受试者的基因型分布符合 Hardy-Weinberg 平衡,具有一定的群体代表性.EA 组基因频率(D 为 0.350,I 为 0.650)与 NC 组(D 为 0.545,I 为 0.455)不一致.与 NC 组相比,EA 组等位基因 I 基因频率较高,差异性有显著性($P < 0.05$),因此推测 ACE 基因 I/D 多态性可能与运动能力高低有关联.

2.3 优秀有氧耐力运动员与普通大学生的心脏结构和功能指标比较

对 EA 组与 NC 组的心脏结构及功能指标进行比较(见表 3),发现两组之间存在明显差异.EA 组最大摄氧量、左室后壁厚度、室间隔厚度、左室质量指数均高于 NC 组,有非常显著差异($P < 0.01$),左室舒末内径、

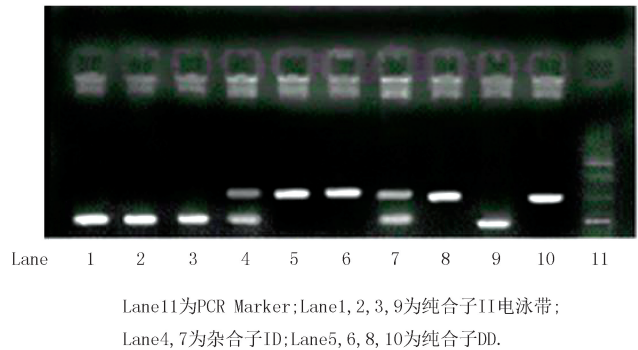


图1 ACE基因PCR-RFLP琼脂糖凝胶电泳图

Fig.1 Detected by PCR and Agarose Gel electrophoresis

心搏量显著高于 NC 组($P < 0.05$),而射血分数未见显著性差异.说明优秀有氧耐力运动员的心脏结构与普通大学生存在差异,表现心室舒张末期容积增加,心肌肥大和心肌收缩力增加,导致心搏量明显高于普通大学生,这是取得良好运动成绩的生理学基础.

表 2 两组间 ACE 基因型和等位基因频率分布比较

Tab. 2 The Allelic and Genotypic frequencies of ACE in EN and NC groups

组别	基因型分布频率/%			等位基因频率/%		组别	基因型分布频率/%			等位基因频率/%	
	II	ID	DD	I	D		II	ID	DD	I	D
EA	7(0.30)	12(0.60)	2(0.10)	0.650*	0.350	NC	4(0.25)	9(0.45)	6(0.30)	0.455	0.545

注:与 NC 比较,* $P < 0.05$.

表 3 优秀有氧耐力运动员与普通大学生心脏结构指标比较

Tab. 3 Comparison of Cardiac structural indexes between EA and NC groups

指标	EA	NC	指标	EA	NC
$(V_{O_2 \max}/m)/(mL \cdot \min^{-1} \cdot kg^{-1})$	$59.81 \pm 12.81^{**}$	51.95 ± 3.51	室间隔厚度 IVST/mm	$8.52 \pm 1.41^{**}$	7.81 ± 1.52
$V_{O_2 \max}/(L \cdot \min^{-1})$	$3.91 \pm 0.67^{**}$	3.22 ± 0.74	心搏量(SV/BSA)/($mL \cdot m^{-2}$)	$49.86 \pm 8.46^*$	44.04 ± 7.52
左室后壁厚度 LVPW/mm	$9.12 \pm 1.71^{**}$	6.83 ± 1.62	左室质量指数 LVM/BSA/($g \cdot m^{-2}$)	$114.26 \pm 28.14^{**}$	84.46 ± 22.27
左室舒末内径 LVID/mm	$54.12 \pm 3.6^*$	52.5 ± 4.0	射血分数 EF/%	61.87 ± 4.85	60.18 ± 7.77

注:与 NC 比较,* $P < 0.05$,** $P < 0.01$.

2.4 ACE 基因 I/D 多态性与运动能力

将 EA 组分为 II,DD 和 ID 三个基因型,研究分析表明左室质量指数在 II 与 DD 基因型之间具有显著差异($P < 0.05$);无氧运动后血乳酸峰值 II 与 DD,ID 与 DD 之间均有显著性差异(均 $P < 0.05$),II 与 ID 之间无显著性差异;在体脂比例方面,II 与 ID,DD 的差异性均显著($P < 0.05$),体质指数及无氧功峰值均值均未显示显著性差异(表 4).

3 分析与讨论

3.1 ACE 基因 I/D 多态性与心脏结构的联系

ACE 是一种由 25 个内因子和 26 个外因子组成,定位于人染色体 17q²³.ACE 基因 I/D 多态性是以其 DNA 多态性为科学依据,以染色体 DNA 等位基因中核苷酸排列的差异性为准^[17].本研究发现 ACE 基因 I/D 多态性主要位于片段 287 bp 重复序列

表 4 优秀有氧耐力运动员组与普通健康大学生组体脂比例和血乳酸一览表

Tab. 4 Body fat percentage and blood lactate after exercise of EA and NC groups

基因型	体脂比例/%	左室质量指数/($g \cdot m^{-2}$)	运动后血乳酸峰值/($mmol \cdot L^{-1}$)
II	10.21 ± 0.91^{ab}	104.08 ± 21.09^b	15.06 ± 0.79^a
ID	12.12 ± 1.21	113.23 ± 25.21	13.86 ± 1.05^b
DD	11.93 ± 0.72	126.45 ± 30.14	11.04 ± 0.37

注:a 表示与 ID 基因型相比, $P < 0.01$;b 表示与 DD 型比较, $P < 0.01$.

(Alu)的第 16 内含子处,使其呈三种类型:DD 型,ID 型和 II 型,其中 EA 组等位基因 I 频率较高.

陈凤浩等^[18]认为 ACE 基因对人体有氧耐力素质的影响主要是心肺功能,虽然周文婷^[19]认为 ACE 基因上 rs4340 位点多态性不能作为滑雪运动员有氧能力分子选材标记,但 KIM 等^[20]发现 ACE 中的 I 等位基因是优秀耐力素质的分子标记.本研究对优秀有氧耐力运动员的训练年限与心肺功能(心室腔径)进行分析,发现二者之间没有平行关系,但与普通大学生相比,优秀有氧耐力运动员心脏结构和功能指标 LVID,SV/BSA 和 LVM/BSA 显著增加,说明优秀有氧耐力运动员心脏的形态结构与普通大学生不同,表现在心室舒张末期容积较大,心肌收缩力和每搏输出量较高,机体供氧量得到改善,因此有氧耐力运动员 $V_{O_2 \max}$ 显著高于普通大学生.除此之外,EA 组等位基因 I 频率较高,推测 ACE 中的 I 等位基因与马拉松运动员心脏结构的变化及有氧能力的提高有相关关系,有可能在相同的运动刺激下,含有 I 等位基因的运动员心脏结构表现

出较高的适应性。

3.2 ACE 基因 I/D 多态性与运动能力

目前文献显示 ACE 基因 I/D 多态性与最大摄氧量和耐力素质相关^[21],本研究显示在优秀有氧耐力运动员 ACE 基因 I/D 多态性中,不同类型基因型在心室质量指数、体脂率和无氧耐力相关指标方面存在显著性差异。

ACE 促成血管紧张素 I(Angiotensin I, Ang. I)转化为 Ang. II, Ang. II 与受体结合后引起血管收缩并调节电解质平衡。ACE 大量存在于血管内皮细胞的膜表面,因此血液中内源性 Ang. I 和缓激肽均可被其转化,ACE 决定机体 Ang. II 的水平。成人血浆 ACE 水平受环境、体液和代谢因素影响较小,相对稳定,但个体差异较大^[22]。VAUGHAN 等^[23]认为 I 等位基因的存在导致血清中 ACE 活性降低,ACE 基因转录表达减少,Ang. II 产生能力降低。DANSER 等^[24]实验结果表明,与 II 基因型的受试者相比,携带 ACE 的 D 等位基因受试者有较高的血清和组织 ACE 活性,导致更多的血管紧张素 I 转化为血管紧张素 II。因此,ACE 基因多态性主导机体 ACE 水平^[25-26],基因型 DD, ID 和 II 的个体内 ACE 水平有显著性差异,其中 DD 型最高,II 型最低^[27-28]。

本研究发现,ACE 基因 I/D 多态性对心脏组织有显著性影响,尤其是对心室质量的影响较为突出。在 DD 型个体中 ACE 水平较高,催化 Ang. I 转化为 Ang. II,外周血管收缩,导致心脏后负荷增加,使心肌在一定程度上增加,促进蛋白质合成以及胚胎基因表达更加明显等,由此推测 ACE 基因多态性可能参与调控运动性心肌肥大的形成,特别是等位基因 D 较 I 对运动训练引起的心肌肥大更为突出,与 KIM 等^[20]研究结果等位基因 D 携带者与力量素质相关相一致。

马拉松运动虽然以典型的有氧代谢为主,但也需要良好的糖酵解供能能力,以保证变速、终点冲刺的需要。本研究结果显示,不同 ACE 基因型优秀马拉松运动员 Wingate 无氧试验运动后乳酸峰值存在显著性差异,即 II 型受试者的糖酵解供能能力明显强于 ID 型和 DD 型,等位基因 I 的存在与糖酵解供能有一定的直接关系。II 基因有助于提高肌肉工作的机械效率,这可能与慢肌肌纤维增多有关,因为与 II 基因型相关的 ACE 酶活性较低,所以骨骼肌局部一氧化氮浓度有所提高,从而增加线粒体呼吸效率和骨骼肌收缩功能^[29]。但因本文在运动训练开始早期未对运动员进行基础值的测定,因此 I 型基因究竟是在早期基础选材还是后期训练敏感性更有参考价值,需要后续进一步研究。

脂肪组织也有 Ang. II 受体,肥胖女性脂肪组织中呈现高水平的 ACE,同时也表现出高血压,经过低热量饮食 13 周后血压降低^[30]。FOSCHINI 等^[31]对青春期肥胖青少年进行不同 ACE 基因分型检测体脂率,发现 ID 基因型的体脂比例高于 II 型($P=0.042$),II 型基础代谢率比 DD 型高。KIM 等^[20]对 97 名优秀芭蕾舞演员进行测试,发现 ACE-DD 基因型体脂比例高于 ACE-II 和 ID 基因型。本研究受试者为优秀的马拉松运动员,II 基因型体脂率最低,BONNET 等^[32]发现健康人群 ACE 基因 I/D 多态性与全身胰岛素敏感性和 2 h 血糖水平有关,与 I 等位基因杂合子或纯合者相比,D 等位基因纯合子的患者具有更高的 2 h 血糖、更低的葡萄糖利用率,原因可能是 Ang. II 的血流动力学效应减少骨骼肌的灌注,降低葡萄糖利用率,也可能从分子水平上 Ang. II 可通过刺激多种丝氨酸磷酸化和氧化应激诱导胰岛素信号级联的改变。

综上,在优秀有氧耐力运动员中,ACE 基因 I/D 多态性与心脏的形态结构、无氧运动能力和体脂比例有关。具体说,马拉松是长时间有氧代谢为主的项目,虽然 D 等位基因对心肌肥大的敏感性更强,但心脏形态结构的变化不仅表现在心肌肥大方面,还有心脏舒张末期容积增大,而 I 等位基因具有较高糖酵解供能能力,可以满足运动过程中的变速和冲刺的需要。由于本文样本量较少,关于 ACE 基因 I/D 多态性与运动能力的影响还需要更深入探讨,以此对优秀运动员选材和成绩的提高提供参考。

4 结 论

1)优秀耐力运动员 ACE 基因的基因型和等位基因的频率与普通人有明显差异,优秀耐力运动员等位基因 I 频率较高。2)不同基因型的耐力运动员,左室质量指数和体脂比指标 II 最低,DD 最高,II 显著低于 ID 和 DD,提示等位基因 D 对心肌肥大的敏感性更强,等位基因 I 对糖酵解供能和脂代谢调控敏感性更强。

参 考 文 献

- [1] 周文婷.运动能力的遗传学研究进展[J].遗传,2014,36(4):301-308.
ZHOU W T.Advances in the genetics of exercise performance[J].Hereditas,2014,36(4):301-308.
- [2] NOOHI F,BOYDEN N B,KWAK Y,et al.Association of COMT val158met and DRD2 G>T genetic polymorphisms with individual differences in motor learning and performance in female young adults[J].Journal of Neurophysiology,2014,111(3):628-640.
- [3] 张漓,李燕春,衣龙彦,等.从 EDN1, NOS2A 基因筛选预测 HiHiLo 训练效果的分子标记[J].体育科学,2012,32(4):41-52.
ZHANG L,LI Y C,YI L Y,et al.Research on genetic markers for HiHiLo training response in EDN1 and NOS2A genes[J].China Sport Science,2012,32(4):41-52.
- [4] TWITCHETT E A,ANGIOI M,KOUTEDAKIS Y,et al.Do increases in selected fitness parameters affect the aesthetic aspects of classical ballet performance?[J].Medical Problems of Performing Artists,2011,26(1):35-38.
- [5] KIKUCHI N,NAKAZATO K.Effective utilization of genetic information for athletes and coaches: focus on ACTN3 R577X polymorphism[J].Journal of Exercise Nutrition & Biochemistry,2015,19(3):157-164.
- [6] TWITCHETT E A,KOUTEDAKIS Y,WYON M A.Physiological fitness and professional classical ballet performance: a brief review[J].The Journal of Strength and Conditioning Research,2009,23(9):2732-2740.
- [7] MACARTHUR D G,SETO J T,RAFTERY J M,et al.Loss of ACTN3 gene function alters mouse muscle metabolism and shows evidence of positive selection in humans[J].Nature Genetics,2007,39(10):1261-1265.
- [8] 周文婷.心肺健康特征指标有氧耐力训练效果的遗传预测标记研究进展[J].天津体育学院学报,2014,29(3):264-267.
ZHOU W T.Advances in the genomic predictors of the aerobic endurance trainability for cardiorespiratory fitness traits[J].Journal of TUS,2014,29(3):264-267.
- [9] MORIN-MONCET O,BEAUMONT V,DE BEAUMONT L,et al.BDNF Val66Met polymorphism is associated with abnormal inter-hemispheric transfer of a newly acquired motor skill[J].Journal of neurophysiology,2014,111(10):2094-2102.
- [10] 魏胜辉,李岩.跑节省化标志的有氧能力相关尿游离 miRNA 表达谱特征[J].成都体育学院学报,2015(4):115-121.
WEI S H,LI Y.Diagnostic Pattern of Urine Cell-Free microRNA Related to the trainability of aerobic athletic ability indicated by running economy[J].Journal of Chengdu Sport University,2015(4):115-121.
- [11] 李雪娇,张亮亮.有关超量恢复理论的辩与疑[J].河北体育学院学报,2019,33(3):74-78.
LI X J,ZHANG X L.A Discussion and analysis of the theory of exceeding recovery[J].Journal of Hebei Sport University,2019,33(3):74-78.
- [12] 赵云,马力宏.ACE 基因多态性的遗传学研究进展及其在运动医学中的应用[J].天津体育学院学报,2000(2):53-56.
ZHAO Y,MA L H.Genetic research advance of ACE gene polymorphism and ITS application to sports medicine[J].Journal of Tianjin Institute of Physical Education,2000,(2):53-56.
- [13] 汪子睿.探究 ACE 基因 I/D 多态性与普通大学生有氧运动能力的关联性[D].北京:北京体育大学,2019.
WANG Z R.Exploring the relationship between ACE gene ID polymorphism and aerobic exercise ability of college students[D].Beijing: Beijing Sport University,2019.
- [14] WOODS D,HICKMAN M,JAMSHIDI Y,et al.Elite Swimmers and the D Allele of the ACE I/D Polymorphism[J].Human Genetics,2001,108(3):230-232.
- [15] 张冬梅.特种兵 ACE 基因多态性检测及初步分析[D].青岛:青岛大学,2015.
ZHANG D M.Detection and analysis of ACE gene polymorphism in special troops[D].Qingdao:Qingdao University,2015.
- [16] MCCAULEY T,MASTANA S S,HOSSACK J,et al.Human Angiotensin-converting enzyme I/D and alpha-actinin 3 R577X genotypes and muscle functional and contractile properties.Exp.Physiol.2009;94:81-89.
- [17] 朱玉贤,李毅.现代分子生物学[M].北京:高等教育出版社,2002.
ZHU Y X,LI Y.Modern molecular biology[M].Beijing: Higher Education Press,2002.
- [18] 陈凤浩,李丽.ACE 基因多态性对越野滑雪运动员科学选材的关联性研究[J].当代体育科技,2015,(24):24-25.
CHEN F H,LI L.Study on the association of ACE gene polymorphism to the scientific selection of cross-country skiers[J].Contemporary Sports Technology,2015,5(24):24-25.
- [19] 周文婷.有氧能力关联基因多态与技巧类滑雪运动员跨项选材[J].武汉体育学院学报,2019,53(6):66-71.
ZHOU W T.Polymorphisms in aerobic performance-related genes and transfer of elite skill-dominated skiing athletes[J].Journal of Wuhan Institute of Physical Education,2019,53(6):66-71.
- [20] KIM J H,JUNG E S,KIM C H,et al.Genetic associations of body composition, flexibility and injury risk with ACE, ACTN3 and COL5A1 polymorphisms in Korean ballerinas[J].J Exerc Nutrition Biochem,2014,18(2):205-214.
- [21] 魏琦,杜亚雯,廖晶晶,等.优秀赛艇运动员 ACE 基因 I/D 多态性与耐力表型的关联研究[J].基因组学与应用生物学,2017,36(5):1743-1748.

- WEI Q, DU Y W, LIAO J J, et al. Correlation study of ACE gene I/D polymorphisms and endurance phenotype of elite rowers[J]. *Genomics and Applied Biology*, 2017, 36(5): 1743-1748.
- [22] 高炳宏, 陈佩杰, 董强刚, 等. 上海汉族优秀耐力运动员 ACE 基因 I/D 多态性与最大有氧能力 ($V_{O_2 \max}$) 的关联研究[J]. *体育科学*, 2006(2): 42-47.
- GAO B H, CHEN P J, DONG Q G, et al. Study on relation between I/D polymorphism of ACE gene and maximal aerobic capacity of elite endurance athletes of Han nationality in Shanghai[J]. *China Sport Science*, 2006, 26(2): 42-47.
- [23] VAUGHAN D, HUBER-ABEL F A, GRABER F, et al. The Angiotensin converting enzyme insertion/deletion polymorphism alters the response of muscle energy supply lines to exercise[J]. *Euro J Appl Phys*, 2013, 113(7): 1719-1729.
- [24] DANSER A H J, BATENBURG W W, VAN DEN MEIRACKER A H, et al. ACE phenotyping as a first step toward personalized medicine for ACE inhibitors. Why does ACE genotyping not predict the therapeutic efficacy of ACE inhibition?[J]. *Pharmacol Ther*, 2007, 113(3): 607-618.
- [25] SOUBRIER F. From an ACE polymorphism to genome-wide searches for eQTL[J]. *The Journal of Clinical Investigation*, 2013, 123(1): 111-112.
- [26] 董宁超. 藏、汉高血压患者血管紧张素转换酶基因多态性相关研究[D]. 西宁: 青海大学, 2011.
- DONG N C. The study of angiotensin converting enzyme gene polymorphism among Tibetan and Han hypertensive patients[D]. Xining: Qinghai University, 2011.
- [27] WOODS D, HICKMAN M, JAMSHIDI Y, et al. Elite swimmers and the D allele of the ACE I/D polymorphism[J]. *Human Genetics*, 2001, 108(3): 230-232.
- [28] 杨晓琳. 从血压调节系列蛋白基因筛选有氧运动能力分子标记及功能研究[D]. 北京: 北京体育大学, 2014.
- YANG X L. Association between BP regulation polymorphisms and elite athletes performance and function research[D]. Beijing: Beijing Sport University, 2014.
- [29] WILLIAMS A G, RAYSON M P, JUBB M, et al. The ACE gene and muscle performance.[J]. *Nature*, 2000, 403(6770): 614.
- [30] ENGELI S, BÖHNKE J, GORZELNIAK K, et al. Weight loss and the renin-angiotensin-aldosterone system[J]. *Hypertension*, 2005, 45(3): 356-362.
- [31] FOSCHINI D, ARAÚJO R C, BACURAU R F P, et al. Treatment of obese adolescents: the influence of periodization models and ACE genotype[J]. *Obesity*, 2010, 18(4): 766-772.
- [32] BONNET F, PATEL S, LAVILLE M, et al. Influence of the ACE gene insertion/deletion polymorphism on insulin sensitivity and impaired glucose tolerance in healthy subjects[J]. *Diabetes Care*, 2008, 31(4): 789-794.

The relationship between Angiotensin-converting enzyme gene I/D polymorphism and athletic ability

Wang Heng, Ma Xiao

(College of P. E., Henan Normal University, Xixiang 453007, China)

Abstract: Compared Angiotensin-converting enzyme (ACE) genotypes of elite aerobic endurance athletes with normal healthy college students, and discussed the relationship between ACE gene I/D polymorphism and athletic ability. Results: 1) The genotype distribution of elite aerobic endurance athletes (EA) and normal healthy college students (NC) was in accordance with Hardy-Weinberg equilibrium ($P > 0.05$), indicating that the experimental results have a certain representativeness of the population. 2) Gene frequency of EA group (D is 0.350, I is 0.650) was different from that of NC group (D is 0.545, I is 0.455). The gene frequency of I gene was significantly higher in EA group. 3) EA group was divided into II, DD and ID genotypes, LVM/BSA had significant difference between II and DD genotypes ($P < 0.05$); there were significant differences between II and DD, ID and DD in the blood lactate peak after anaerobic exercise ($P < 0.05$), but there was no significant difference between II and ID; in the aspect of body fat percentage, the differences between II and ID, DD were significant ($P < 0.05$). Conclusion: the frequency of allele I gene was higher in elite endurance athletes. In different genotypes endurance athletes, the left ventricular mass index and body fat ratio index, II was significantly lower than ID and DD. It suggests that allele D gene is more sensitive to myocardial hypertrophy, and allele I gene is more sensitive to glycolysis energy supply and lipid metabolism regulation.

Keywords: ACE gene; polymorphism; athletic ability

[责任编辑 杨浦 刘洋]