

不同性别儿童少年脑电及其速度素质研究

汪 军, 周 越, 刘大庆

(北京体育大学运动人体科学学院, 北京 100084)

摘要: 目的: 从脑电活动特征适当解释速度素质的发展机理。方法: 测试不同年龄、不同性别中小学生脑电图和 50 m 跑速度, 分析不同性别儿童少年脑电图活动特征及其与速度的关系。结果: 不同性别儿童少年在年龄逐渐增长的过程中, 其脑电图中的快频率成分 α_1 波出现逐渐上升的趋势, 且在 6~12 岁, 各年龄段之间增加非常明显, 而在 13~16 岁增加不明显。男生速度素质在 6~10 岁、12~14 岁有两个发育敏感期, 女生速度素质在 6~12 岁是发育敏感期, 而过了 13 岁之后, 速度素质发育减缓; 同时, 高速度素质与 α_2 波相对功率有显著负相关关系, 与 θ/β 比值有显著正相关关系。结论: 不同性别儿童少年脑电发育和速度素质发展不一致, 其中男生发育高峰期在 6~10 岁和 12~14 岁, 而女生在 6~12 岁。其速度素质与 α_2 波相对功率呈负相关, 而与 θ/β 比值呈正相关。

关键词: 运动生理学; 性别; 儿童少年; 脑电; 速度素质

中图分类号: G804.2 文献标识码: A 文章编号: 1674-2850(2017)21-2436-09

Research of relationship of adolescent's EEG and its speed on different genders

WANG Jun, ZHOU Yue, LIU Daqing

(Sport Science College, Beijing Sport University, Beijing 100084, China)

Abstract: Objective: This paper aims to explain speed development mechanism through the electroencephalogram (EEG). Methods: Adolescents' EEG and their 50 m running speed of different genders are tested, and the relationship between their EEG and speed is analyzed. Results: With growing up of age, the adolescents' α_1 wave increases gradually. The increasing speed is very large in 6-12 years old, but the development speed is increased slightly in 13-16 years old. There are two speed development sensitization periods for boys, which are 6-10 years old and 12-14 years old. There is only one development sensitization period for girls, which is 6-12 years old, afterwards, speed development starts to decrease. At the same time, high speed is significant negative correlation with relative power of $\alpha_2\%$ and significant positive correlation with θ/β ratios. Conclusion: Adolescents' EEG and speed develop with different speed on different genders. Male has two high speed development stages on 6-10 and 12-14 years old, but female has one on 6-12 years old. Their speed is negative correlation with $\alpha_2\%$ and positive correlation with θ/β ratios.

Key words: sports physiology; gender; adolescents; electroencephalogram (EEG); speed

0 引言

目前, 关于正常儿童少年的脑电发育成熟特点已得到公认, 即随年龄增长, 慢波活动减少, 快波活动增加。当今对儿童少年脑电的研究多集中在疾病领域, 而对正常发育阶段儿童少年脑电规律的研究甚少, 特别是对不同性别间脑电发育的差别更是少有研究。众所周知, 不同性别儿童少年在速度素质方面的发育是不均衡的, 各有其发育敏感期。脑电图可以反映大脑皮层神经元的电活动规律, 并可以在很大

基金项目: 高等学校博士学科点专项科研基金 (20131112110001)

作者简介: 汪军 (1972—), 男, 副教授, 主要研究方向: 运动锻炼提高人体健康水平的理论与应用. E-mail: wj430079@126.com

程度上体现中枢神经系统的机能状态, 而中枢神经系统的机能状态是速度素质的生理基础。本文研究不同性别、不同年龄(6~16岁)儿童少年在生长发育过程中的脑电发育特点和速度素质发展规律的相关性, 希望找到不同性别儿童少年的速度素质发育敏感期, 并找到其神经发育方面的生理学基础, 为儿童少年速度素质的训练提供实践和理论依据。

1 研究对象与方法

1.1 研究对象

本文选取四川省广元市6~16岁中小學生(小学1年级至高中1年级)共620名, 其中需要排除身体有疾患者(包括急性疾病及影响生长发育和运动锻炼的慢性疾病), 其余学生参与测试。具体信息如表1所示。

表1 实验研究对象具体信息表

Tab. 1 Specific informations of the experimental subjects

年龄/岁	总人数/人	男生			女生		
		人数/人	身高/cm	体重/kg	人数/人	身高/cm	体重/kg
6	51	23	117.3±5.3	22.5±4.6	28	115.4±5.4	21.1±3.9
7	49	25	125.5±6.2	25.5±5.4	24	124.1±6.0	23.8±4.8
8	40	18	130.7±6.4	28.5±6.2	22	129.4±6.7	26.5±5.1
9	58	28	135.8±8.5	31.8±8.2	30	135.0±7.9	29.7±7.2
10	57	30	140.9±9.4	35.5±9.8	27	141.3±7.6	33.8±8.0
11	57	29	146.2±8.5	39.6±10.1	28	147.2±7.7	38.2±8.7
12	56	25	152.4±9.7	44.0±10.9	31	152.2±6.8	42.3±8.6
13	60	34	159.9±8.9	49.4±11.5	26	156.0±6.5	46.2±8.1
14	60	29	165.3±8.1	53.8±15.3	31	157.8±5.9	48.6±7.9
15	70	31	168.8±7.0	57.2±11.9	39	158.5±5.6	50.1±7.2
16	62	39	170.5±6.7	59.2±11.3	23	159.0±5.4	51.1±7.4

1.2 研究方法

1.2.1 脑电测试设备与过程

采用上海诺诚公司生产的Nation 9128W数字化脑电图仪进行测试。本研究分析的频段有 δ (0.5~3.8 Hz)、 θ (4.0~7.8 Hz)、 α_1 (8.0~9.8 Hz)、 α_2 (10.0~12.8 Hz)、 β_1 (13.0~19.8 Hz)和 β_2 (20~30 Hz)。选取指标为不同脑区各波段绝对功率值和相对功率值(该频谱占总功率的百分比)。

脑电测试采取清醒安静坐位姿态。受试者静坐5 min, 全身放松, 待姿势调整妥当后不再移动。佩戴合适的电极帽, 按照国际10/20系统放置电极, 测试时要求受试者保持安静、闭目, 并保持头脑清醒。测试稳定信号脑电图共2 min。

1.2.2 速度测试

速度测试采用室外田径场50 m跑进行评定, 由专业的体育老师和实验人员统一测试所有受试者50 m跑成绩。

1.2.3 分析指标

1.2.3.1 脑电分析指标

能量值(绝对功率): 各频段计算出的实际脑电功率值, 即能量值, 单位为 μV^2 。

导联间能量百分比(相对功率):各频段功率值除以总功率所得的比值,其意义在于比较脑区内各频段所占的比重。

每道导联能量百分比:每个脑区某频段能量占该频段全脑总能量的百分比,其意义在于比较各频段在不同脑区所占的比重。

1.2.3.2 速度分析指标

高速度素质:50 m跑成绩(跑步用时)在同性别、同年龄组的均值-标准差以下为高速度素质。低速度素质:50 m跑成绩(跑步用时)在同性别、同年龄组的均值+标准差以上为低速度素质。

1.3 数据分析与统计

所有数据分析均采用SPSS 19.0进行,结果用均数±标准差表示。统计方法包括描述性统计、方差分析和相关性检验。其中 $P < 0.05$ 为差异显著, $P < 0.01$ 为差异极显著。

2 实验结果

2.1 6~16岁儿童少年脑发育的性别比较

2.1.1 不同性别儿童少年脑电绝对功率与相对功率的比较

经单因素方差分析发现,6~12岁儿童脑电的绝对功率中只有 δ 波绝对功率间存在显著的性别差异($P < 0.01$),其余各频段绝对功率均没有显著的性别差异($P > 0.05$),而脑电各频段的相对功率均不存在显著的性别差异($P > 0.05$)(如表2所示);13~16岁青少年脑电各频段的绝对功率和相对功率均不存在显著的性别差异($P > 0.05$)(情况基本与6~12岁类似,具体数据未给出)。

总体为6~16岁儿童少年,男生脑电各频段的绝对功率稍大于女生,而相对功率无明显区别。

2.1.2 不同性别儿童少年脑电各频段不同脑区的比较

经单因素方差分析发现,6~12岁的儿童脑电不同频段在各个脑区的每道导联能量百分比间存在显著性别差异的为 δ 频段的中央区和 θ 频段的额区和枕区(如表3所示),其他各频段的脑区间不存在显著的性别差异;而13~16岁的青少年脑电不同频段在各个脑区的每道导联能量百分比间存在显著性别差异的是 θ 频段的枕区和 α_2 频段的枕区(如表4所示),其他各频段的脑区间也不存在显著的性别差异。

具体表现为6~12岁儿童脑电的 δ 频段在中央区的百分比男生大于女生, θ 频段在额区的百分比男生大于女生,而在枕区女生大于男生;13~16岁青少年脑电的 θ 频段在枕区的百分比仍然为女生大于男生,而 α_2 频段在枕区的百分比男生大于女生。

表2 6~12岁不同性别儿童脑电绝对功率和相对功率
Tab. 2 Ablolute and relative power in 6-12 years old adolescents of different genders

分析指标	男生	女生
δ 绝对功率/ μV^2	542.94±156.89**	489.18±154.02
θ 绝对功率/ μV^2	345.71±160.56	320.27±144.72
α 绝对功率/ μV^2	416.42±146.83	395.71±166.14
α_1 绝对功率/ μV^2	203.15±114.93	201.25±118.39
α_2 绝对功率/ μV^2	215.10±107.30	196.99±96.09
β 绝对功率/ μV^2	59.12±16.08	55.76±17.26
δ 相对功率/%	40.81±7.48	40.32±7.30
θ 相对功率/%	24.44±5.80	24.76±5.00
α 相对功率/%	28.38±7.90	28.74±7.82
α_1 相对功率/%	13.02±5.08	13.90±5.13
α_2 相对功率/%	15.36±7.85	14.84±6.53
β 相对功率/%	4.49±1.43	4.57±1.43

注:男、女性别比较,**为 $P < 0.01$

表 3 6~12 岁不同性别儿童各频段每道导联能量百分比在各个脑区的比较

Tab. 3 Energy of different waves of different brain zone in 6-12 years old adolescents of different genders

分析指标	男生	女生
δ 相对功率/%		
额区	25.70±4.63	24.81±5.34
中央区	11.87±2.27*	11.30±2.62
顶区	11.21±2.13	10.77±2.67
枕区	14.09±3.94	14.74±3.83
颞区	30.49±4.10	29.78±4.44
θ 相对功率/%		
额区	24.16±4.07**	22.59±4.00
中央区	13.10±2.07	13.01±2.34
顶区	12.99±2.10	13.10±2.32
枕区	16.09±4.05**	17.37±4.04
颞区	30.58±3.43	29.93±3.46

注：男、女性别比较，*为 $P<0.05$ ；**为 $P<0.01$

表 4 13~16 岁不同性别青少年各频段每道导联能量百分比在各个脑区的比较

Tab. 4 Energy of different waves of different brain zone in 13-16 years old adolescents of different genders

分析指标	男生	女生
θ 相对功率/%		
额区	26.02±4.01	25.17±4.06
中央区	13.14±2.59	13.04±2.61
顶区	12.03±2.76	12.07±2.28
枕区	12.66±3.63**	13.86±3.60
颞区	29.04±4.34	29.11±4.38
α_2 相对功率/%		
额区	17.12±4.47	17.36±5.14
中央区	10.23±2.67	10.16±2.98
顶区	11.91±3.25	11.78±3.56
枕区	31.37±10.02*	28.87±9.76
颞区	24.85±5.54	26.00±5.73

注：男、女性别比较，*为 $P<0.05$ ；**为 $P<0.01$

2.1.3 不同性别儿童少年脑电各频段总功率的比较

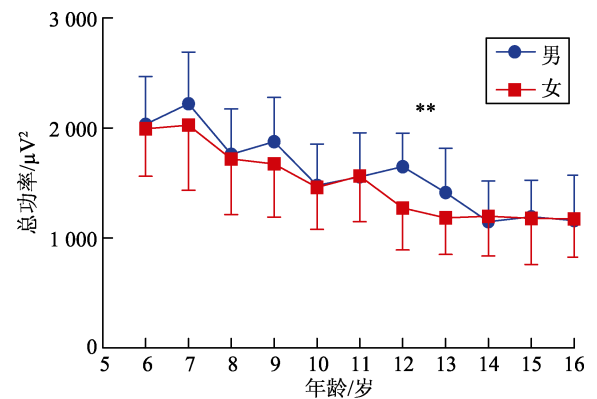
研究不同性别间的总功率值随年龄的变化。经方差分析发现，12 岁儿童的总功率值存在显著的性别差异 ($P<0.01$)，而其他各年龄段青少年的总功率值不存在显著的性别差异 ($P>0.05$)。具体表现为 6~12 岁男女生的总功率值总体呈下降趋势，但是男生的总功率值大于女生，13 岁以后男女生总功率值没有显著差异，且处于平稳状态（如表 5 和图 1 所示）。

表 5 6~16 岁儿童少年脑电各频段总功率统计表 (μV^2)

Tab. 5 Total power of different waves of 6-16 years old adolescents (μV^2)

年龄/岁	总体	男生	女生
6	2 011.59±429.37	2 032.57±435.01	1 994.35±431.88
7	2 125.57±536.75	2 220.51±469.97	2 026.67±592.25
8	1 738.32±460.05	1 761.92±412.85	1 719.01±504.19
9	1 771.84±453.58	1 876.11±403.48	1 674.53±482.19
10	1 470.14±374.78	1 478.88±374.01	1 460.43±382.52
11	1 560.38±402.72	1 557.29±398.38	1 563.57±414.46
12	1 441.60±393.90	1 649.60±303.72**	1 273.86±381.49
13	1 314.12±388.17	1 414.54±402.21	1 182.80±332.28
14	1 173.99±362.16	1 148.75±368.86	1 197.60±360.23
15	1 186.11±382.00	1 194.09±332.99	1 179.76±421.11
16	1 127.71±389.07	1 159.10±412.52	1 074.49±347.95

注：男、女性别比较，**为 $P<0.01$



注：男、女性别比较，**为 $P<0.01$

图 1 6~16 岁儿童少年不同性别间的总功率随年龄的变化

Fig. 1 Changes of total power vs ages in 6-16 years old adolescents of different genders

2.1.4 不同性别儿童少年 θ/β 和 $(\delta+\theta)/\alpha$ 比值变化的比较

经非参数检验发现，6~12 岁儿童脑电 θ/β 和 $(\delta+\theta)/\alpha$ 比值均存在显著的年龄差异 ($P<0.01$)；而 13~16 岁青少年脑电 $(\delta+\theta)/\alpha$ 比值存在显著的年龄差异 ($P<0.01$)， θ/β 比值不存在显著的年龄差异 ($P>0.05$)；

两个比值的组间比较发现, θ/β 比值 6~7 岁组、8~9 岁组、10~12 岁组与 13~16 岁组, $(\delta+\theta)/\alpha$ 比值 6~9 岁组、10~14 岁组和 15~16 岁组间均无显著性差异 ($P>0.05$)。具体表现为随年龄增长, 比值减小, 如表 6 所示。两个比值经方差分析发现均不存在显著的性别差异 ($P>0.05$)。

2.2 6~16 岁儿童少年速度素质与脑电发育特点的关系

2.2.1 不同性别儿童少年 50 m 跑成绩的比较

经非参数检验发现, 6~16 岁男生和女生的 50 m 跑成绩间均存在显著的年龄差异 ($P<0.01$), 而年龄组间两两比较发现, 男生和女生的 6~9 岁组、10~12 岁组和 13~16 岁组间不存在显著的年龄差异 ($P>0.05$); 经单因素方差分析发现, 6~12 岁儿童的 50 m 跑成绩间不存在显著的性别差异 ($P>0.05$), 而 13~16 岁青少年的 50 m 跑成绩间存在显著的性别差异 ($P<0.01$)。具体表现为男女生 50 m 跑成绩随年龄增长逐年提高, 而男生 50 m 跑成绩一直比女生好; 男生速度素质随年龄一直提高, 而女生 13 岁开始处于停滞甚至降低的状态 (如表 7 和图 2 所示)。

表 7 6~16 岁儿童少年 50 m 跑成绩及年增长值、年增长率

Tab. 7 Performance, annual growth and growth rate of 50 m run on 6-16 years old adolescents

年龄/岁	男生			女生		
	成绩/s	年增长值/s	年增长率/%	成绩/s	年增长值/s	年增长率/%
6	11.83±1.14	0.93	22.68	12.04±1.06	0.84	31.23
7	10.90±0.63	0.31	7.56	11.20±0.88	0.60	22.30
8	10.59±0.87	0.58	14.15	10.60±0.90	0.53	19.70
9	10.01±0.70	0.57	13.90	10.07±0.69	0.24	8.92
10	9.44±0.57	0.04	0.98	9.83±0.43	0.07	2.60
11	9.40±0.67	0.09	2.20	9.76±0.56	0.30	11.15
12	9.31±0.92	0.79	19.27	9.46±0.69	0.28	10.41
13	8.52±0.64	0.55	13.41	9.18±0.60	-0.09	-3.35
14	7.97±0.66	0.15	3.66	9.27±0.86	-0.17	-6.32
15	7.82±0.51	0.09	2.20	9.44±0.77	0.09	3.35
16	7.73±0.72			9.35±0.85		

2.2.2 6~16 岁儿童少年脑电各指标与 50 m 跑成绩相关性分析

经 Pearson 相关性检验发现, 6~12 岁儿童的 50 m 跑成绩 (跑步用时) 与脑电 δ 相对功率之间具有显著的相关性 ($P<0.05$), 且呈正相关; 与 θ 相对功率、 α_1 相对功率、 θ/β 和 $(\delta+\theta)/\alpha$ 比值间存在非常显著的相关性 ($P<0.01$), 且呈正相关; 与 α 相对功率、 α_2 相对功率和 β 相对功率间也存在非常显著的相关性 ($P<0.01$), 且呈负相关; 13~16 岁青少年的 50 m 跑成绩 (跑步用时) 与各频段相对功率间不存在显著的相关性 ($P>0.05$) (如表 8 所示)。

表 6 6~16 岁儿童少年 θ/β 和 $(\delta+\theta)/\alpha$ 比值变化

Tab. 6 Ratios of θ/β and $(\delta+\theta)/\alpha$ on 6-16 years old adolescents

年龄/岁	θ/β	$(\delta+\theta)/\alpha$
6	9.40±2.93	3.20±1.08
7	8.04±2.41	2.84±1.04
8	6.82±2.10	3.14±1.07
9	5.94±2.27	2.69±1.05
10	4.71±1.57	2.35±1.09
11	4.17±1.53	1.84±0.75
12	4.57±1.47	2.16±0.95
13	4.00±1.56	2.38±1.14
14	3.36±0.98	2.11±1.03
15	3.40±1.27	1.52±0.72
16	3.36±1.12	1.63±0.97

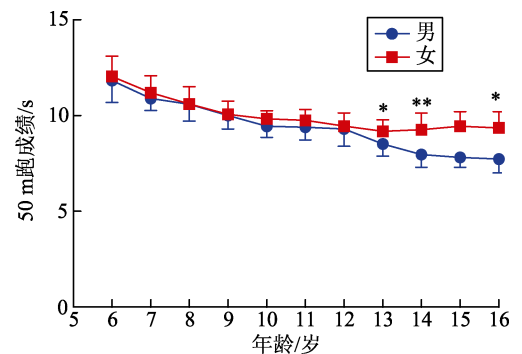


图 2 6~16 岁儿童少年 50 m 跑成绩比较
Fig. 2 Performance comparisons of 50 m run on 6-16 years old adolescents

表 8 6~16 岁儿童少年 50 m 跑成绩（跑步用时）与各频段相对功率的相关性

Tab. 8 Correlation of 50 m run performance and relative power of different waves on 6-16 years old adolescents

年龄/岁	δ 相对功率/%	θ 相对功率/%	α 相对功率/%	α_1 相对功率/%	α_2 相对功率/%	β 相对功率/%	θ/β	$(\delta+\theta)/\alpha$
6~12	0.11*	0.47**	-0.35**	0.18**	-0.51**	-0.36**	0.51**	0.35**
13~16	-0.02	0.01	-0.02	0.02	-0.02	0.04	0.03	0.05

注：数值为相关系数；*为 $P<0.05$ ；**为 $P<0.01$

2.2.3 6~12 岁高速度素质与低速度素质儿童脑电指标比较

经单因素方差分析发现，高速度素质与低速度素质儿童脑电指标中 α 绝对功率与 α_2 绝对功率存在显著性差异 ($P<0.01$)，总绝对功率与 $(\delta+\theta)/\alpha$ 比值也存在显著性差异 ($P<0.05$)；但是其他脑电指标间并不存在显著性差异 ($P>0.05$)。具体表现为高速度素质儿童脑电各频段的绝对功率中只有 δ 波绝对功率比低速度素质儿童小，而相对功率中慢波 δ 和 θ 表现为高速度素质儿童所占比重小于低速度素质儿童，两个比值 θ/β 和 $(\delta+\theta)/\alpha$ 也表现为高速度素质儿童比低速度素质儿童小，其余各指标均表现为高速度素质儿童大于低速度素质儿童（如表 9 所示）。

3 分析与讨论

3.1 速度素质的影响因素

速度素质主要与中枢神经系统机能有关，而中枢神经系统的机能主要与中枢神经系统兴奋性和条件反射的巩固程度有关。

运动员的反应速度取决于信号通过反射弧所需要的时间，即反应时。动作速度受神经系统对机体运动器官指挥能力的影响，若兴奋冲动强度大，加之传递速度快、协调性好，则指挥能力强，动作速度必然快。人体在进行各种快速运动时，都要有神经系统的参与，神经系统支配人体的肌肉活动，神经与肌肉间的协调能力影响动作的速度，由于各协同肌群与对抗肌群之间的关系得到改善，就能降低因对抗肌群紧张而产生的阻力，从而有利于速度的发挥。只有当神经兴奋与抑制快速交替转换时，人体的动作才能获得很快的频率。神经过程兴奋与抑制的转换速度是速度素质的神经基础，直接影响着肌肉收缩与舒张交替过程的快慢。由于神经系统占支配地位，改善神经系统的功能是提高速度素质的首要条件。一般认为当运动员跑速下降时，其步幅变化不大，而步频下降明显，说明神经系统在移动速度中起重要作用。人体神经过程兴奋与抑制的转换能力具有高度的遗传性，在少儿早期阶段，这一能力的改善具有一定可塑性。

人体快速运动的能力除与神经系统有关外，还与许多外周因素，如供能系统、快肌纤维百分比、身体形态、肌肉力量和关节柔韧性等有关。速度除了受到以上因素影响外，还可受运动员注意力的影响。注意力的集中程度是一种心理定向能力，不仅影响中枢神经系统兴奋与抑制快速转换的速度，而且对肌肉纤维的紧张程度与收缩效果有重大作用。注意力还能影响快速随意运动的感觉与控制，这对人体快速

表 9 6~12 岁高速度素质与低速度素质儿童的脑电指标比较

Tab. 9 Comparison of EEG index between high and low speed on 6-12 years old adolescents

分析指标	高速度素质	低速度素质
δ 绝对功率/ μV^2	511.75±135.75	514.08±159.29
θ 绝对功率/ μV^2	342.13±160.35	325.11±142.76
α 绝对功率/ μV^2	456.59±169.02**	362.78±148.87
α_1 绝对功率/ μV^2	225.34±126.74	188.70±102.46
α_2 绝对功率/ μV^2	231.25±114.09**	174.07±91.66
总绝对功率/ μV^2	1 824.19±515.24*	1 617.70±452.06
δ 相对功率/%	39.03±6.89	41.52±7.48
θ 相对功率/%	24.62±5.66	25.58±5.25
α 相对功率/%	30.35±7.93*	26.73±8.00
α_1 相对功率/%	14.25±5.12	12.97±4.49
α_2 相对功率/%	16.11±7.94	13.76±6.77
β 相对功率/%	4.43±1.20	4.42±1.41
θ/β	6.06±2.45	6.57±3.14
$(\delta+\theta)/\alpha$	2.35±1.02*	2.85±1.22

注：*为 $P<0.05$ ；**为 $P<0.01$

能力是十分重要的^[1]。本研究中,随着儿童少年年龄的增长,其速度素质也呈稳步增长趋势,这应该与其神经系统的发育完善是密不可分的。

3.2 脑电图与速度素质

脑电 α 波能客观地反映个体大脑的生理发育成熟过程,可以将其作为衡量大脑发育和成熟程度的主要指标^[2~3]。根据青少年脑电图的特点发现,速度素质应优先发展,而不是力量和耐力素质,因为青少年的皮质机能灵活性和兴奋性较高,优先发展速度素质可以为其他素质的发展打下基础。

1987年黄登惠等^[4]通过对少年运动员脑电图特点的研究发现,少年组脑电图主要为 α 波幅,且频率与成年组无显著差异,并得出少年运动员脑电图已具有成人脑电图的主要特征,且脑波发育优于普通少年。并且已有研究表明,训练有素的运动员脑电图特征表现为具有明显的大波幅 α 波,与 α 波的其他优势频率人群特征相比,优秀运动员的人数在 9 Hz 优势频率的人群中具有显著性差异,这表明其在运动技能控制和运动水平发挥稳定性方面具有明显的优势^[5]。HUN 等^[6]通过对优秀男子乒乓球运动员脑电 α 频段功率与反应时之间关系的研究发现,可以将左顶区和右枕区 α_1 功率值作为评价快速反应时间的关键。1998年张振民等^[7]通过对优秀乒乓球运动员脑电的研究发现,快攻打法的速度型运动员在表象竞赛时 α 波频率加快,波幅下降。2002年秦素荣^[8]在对我国一些高水平运动员脑电特点的研究中发现了明显的 8 Hz 或 9 Hz 的优势频谱。2008年邢华等^[9]对快速节律性运动的皮层脑电进行分析后发现,在快速和慢速运动下不一定只有 α 频段(9~11 Hz)出现能量的最大差异, β 频段(28~35 Hz)也可能出现,并由此推论快速节律运动产生的根源可能不只一个。

综合以上学者的研究可以发现, α 波和 β 波的变化基本可以反映运动员大脑发育水平和训练或竞赛时的注意力集中程度,而且运动领域对脑电的研究也多集中在 α 波,而速度素质与神经系统的灵活性以及兴奋和抑制的转换速度有关,因此对儿童脑波发展与速度素质的关系可重点研究 α 波。

本研究也发现随着儿童少年年龄的增长,其 α 波,尤其是 α 波中的快频率成分 α_1 波出现逐渐上升趋势,且在 6~12 岁之间,各年龄段之间出现显著差异,而在 13~16 岁之间差异逐渐减小。表明少年儿童大脑发育水平在 6~12 岁之间发育速度较快,而 13 岁之后,大脑发育速度减缓。其速度素质的发展速度也不一致,6~12 岁之间速度素质的发展较快,而 13 岁之后,速度素质的发展速度减缓,研究结果与大多数学者的研究一致。

3.3 不同性别儿童少年速度素质与脑电图

大量研究已经讨论过脑电图的变化与性别的关系,但是结论并不一致。GASSER 等^[10]研究发现脑电的变化与性别无关。而另外一些研究结果却表明脑电图变化有明显的性别关系,研究人员发现男孩在脑电图上成熟更早,表现在儿童少年时期,男孩的 α 波比女孩多, δ 或 θ 波比女孩少,但是女孩成熟的速度更快,这种脑电图上的发育滞后大约在青春期就消失了^[11~13]。对 10 岁正常儿童三年的跟踪测试中,男孩 α_1 与 α_2 频段范围的绝对能量和相对能量均比女孩高,但是性别间的差异在功率谱上比成熟率上更加明显^[14]。

2012年易妍^[15]在吉林省青少年学生身体素质发展敏感期的研究中发现,男女同学速度素质敏感期均集中在 7~10 岁,其中男生速度素质的增长总值比女生高出 1.7 s,但是增长速度女生却快于男生,且有明显的性别差异。

本研究发现,随着年龄增长,代表大脑发育成熟的男女生脑电图总功率、 θ/β 和 $(\delta+\theta)/\alpha$ 比值呈逐渐

下降趋势。而且在 12 岁时, 这些指标有明显的性别差异, 表明男女生在 12 岁左右, 其大脑发育水平和成熟程度出现一个显著的区别, 其速度素质的发展也在 12 岁出现显著差异。

4 结论

随着年龄增长, 儿童少年大脑发育逐渐成熟, 主要体现在 α 波逐渐取代 β 波, 但是男女生发育速度不一致。其中男生在 6~10 岁和 12~14 岁是发育高峰期, 而在 10~12 岁几乎处于停滞发育阶段; 女生在 6~12 岁一直处于发育高峰阶段, 而到 13 岁之后发育速度变缓。儿童少年的速度素质发展也出现相似变化, 其中男生在 6~10 岁和 12~14 岁有两个发展高峰, 以后速度素质缓慢发展; 女生速度素质在 6~12 岁是发展高峰, 而至 12 岁之后速度素质的发展几乎停滞, 男女生速度素质在 12 岁之前几乎没有明显的性别差异, 而到 12 岁之后, 男生速度素质的发展明显大于女生。脑电 α_2 相对功率及 θ/β 比值可以大致解释儿童少年速度素质发展的神经生物学因素。

[参考文献] (References)

- [1] 徐永生, 董榴英. 学生速度素质影响因素及发展方法的研究[J]. 和田师范专科学校学报, 2012 (4): 40-42.
XU Y S, DONG L Y. Influence of speed ability and its development on students[J]. Journal of Hotan Teachers College, 2012(4): 40-42. (in Chinese)
- [2] BOERSMA M, SMIT D J, de BIE H M, et al. Network analysis of resting state EEG in the developing young brain: structure comes with maturation[J]. Human Brain Mapping, 2011, 32(3): 413-425.
- [3] 宋佳, 吕莹, 王佳, 等. 哈尔滨市 6~11 岁儿童脑电相对功率特征分析[J]. 中国学校卫生, 2013, 34 (5): 585-587.
SONG J, LÜ Y, WANG J, et al. EEG relative power of 6-11 years old children in Harbin[J]. Chinese Journal of School Health, 2013, 34(5): 585-587. (in Chinese)
- [4] 黄登惠, 刘宇宁, 孙晓菁. 少年运动员脑电图特点[J]. 成都体育学院学报, 1987, 13 (3): 96-100.
HUANG D H, LIU Y N, SUN X J. EEG of adolescents athletes[J]. Journal of Chengdu Sport University, 1987, 13(3): 96-100. (in Chinese)
- [5] 李捷. 运动技能形成自组织理论的构建及其实证研究[D]. 北京: 北京体育大学, 1999.
LI J. The self-organization theory on motor learning and its demonstration[D]. Beijing: Beijing Sport University, 1999. (in Chinese)
- [6] HUN T M, WU C T, LIN J H, et al. The relationship of α wave EEG and reaction time on excellent pingpang athletes[J]. Sports Research, 2005, 26(3): 59-62.
- [7] 张振民, 马国敏, 关俨. 优秀乒乓球运动员神经调节机能特征[J]. 中国运动医学杂志, 1998, 17 (3): 200-205.
ZHANG Z M, MA G M, GUAN Y. Characteristics of neuro-regulation in elite table tennis players[J]. Chinese Journal of Sports Medicine, 1998, 17(3): 200-205. (in Chinese)
- [8] 秦素荣. 运动员不同状态下的脑电图特点 (综述) [J]. 体育学刊, 2002, 9 (1): 42-44.
QIN S R. Athlete's EEG characteristics under different state (a review)[J]. Journal of Physical Education, 2002, 9(1): 42-44. (in Chinese)
- [9] 邢华, 宾光宇, 张志广, 等. 基于快速节律性运动的皮层脑电分析[J]. 北京生物医学工程, 2008, 27 (4): 376-379.
XIN H, BIN G Y, ZHANG Z G, et al. ECG collection and analysis during repetitively rhythmic movement[J]. Beijing Biomedical Engineering, 2008, 27(4): 376-379. (in Chinese)
- [10] GASSER T, VERLEGER R, BACHER P, et al. Development of the EEG of school age children and adolescents. I. Analysis of band power[J]. Electroencephalography & Clinical Neurophysiology, 1988, 69(2): 91-99.
- [11] SHI T, LI X, SONG J, et al. EEG characteristics and visual cognitive function of children with attention deficit hyperactivity

- disorder (ADHD)[J]. *Brain & Development*, 2012, 34(10): 806-811.
- [12] HAMMER J, PISTOHL T, FISCHER J, et al. Predominance of movement speed over direction in neuronal population signals of motor cortex: intracranial EEG data and a simple explanatory model[J]. *Cerebral Cortex*, 2016, 26(6): 2863-2881.
- [13] MIERAU A, FELSCH M, HÜLSDÜNKER T, et al. The interrelation between sensorimotor abilities, cognitive performance and individual EEG alpha peak frequency in young children[J]. *Clinical Neurophysiology*, 2016, 127(1): 270-276.
- [14] 陈爱国, 颜军, 殷恒婵. 运动与脑的可塑性研究进展及其教育启示[J]. *体育与科学*, 2011, 32 (6): 61-64.
CHEN A G, YAN J, YIN H C. Progress in physical activity and brain plasticity and its educational implications[J]. *Sports and Science*, 2011, 32(6): 61-64. (in Chinese)
- [15] 易妍. 吉林省青少年学生身体素质发展敏感期的研究[D]. 长春: 东北师范大学, 2012.
YI Y. Research of development sensitive period of physical quality on adolescents in Jilin province[D]. Changchun: Northeast Normal University, 2012. (in Chinese)