应用心理学

2007年第 13卷第 4期, 311-316

6~12岁儿童额叶自发脑电频谱相干的特点

张 琼 施建农 沈模卫

(1浙江大学心理与行为科学系,杭州 310028,2中科院心理所,北京 100101)

摘 要 EEG频谱相干分析发现额叶发育在童年中期存在可能的加速期。 针对这一问题,本研究通过记录 75名 6至 12岁正常儿童静坐和闭目状态 下的自发脑电,分析 & θ,α α β 基本脑电频段下 31对电极相干的变化情 况,系统探索了该年龄段儿童额叶自发脑电频谱相干的变化特点,结果发 现: θ波活动普遍强于 α 和 β 波活动; 6至 12岁儿童额叶内、额叶与其他脑 叶间相干在整体上表现为随年龄增长而增加的趋势; 额叶内、额叶与其他 脑叶间相干在各频段均表现为 7岁、11岁突增, 10岁、12岁表现为高峰。 上述结果支持 6至 12岁儿童额叶发育存在加速变化的结论。

关键词 儿童 额叶 自发脑电 相干 发展 中图分类号: B844 文献标识码: A 文章编号: 1006-6020(2007)-04-0311-06

1 引 言

大脑发育过程的敏感期是神经生物科 学研究的一个重要课题。以动物和特殊个 案为对象的研究发现,在脑发育的敏感期, 某些脑功能的形成与发展比其他时期更 快;受损伤的脑功能也表现出更强的康复 或补偿能力,即如果机体在该时期获得适 宜的康复治疗,其脑功能得以正常发展的 可能性便增大^{11]}。那么,人类大脑皮层发 育是否也存在敏感期呢?来自脑电的相关 研究已为人类大脑皮层发育存在加速变化 期的观点提供了较为丰富的证据。Huds peth和 Pribram 发现, 儿童脑电 α 波的功率 在 1~6岁、6~10.5岁、10.5~13岁、14~ 15岁和 18~20岁均表现为加速增长^[2]; 刘 世熠等发现 5~6岁和 13~14岁均为脑电 α波功率的加速增长期^[3~5]。然而, 上述研 究均以脑电功率为分析指标, 只能描述某 一频段下单一脑区的活动状态, 而无法对 不同脑区间同一频段下的功能联系进行深 入探讨。有研究者针对该问题发展了另一 类脑电分析技术——相干法 (coherence), 该技术能分析某一特定脑电频段内不同脑 区信号间的相关, 提供特定频率下脑电活 动的空间同步信息, 即反映大脑皮层不同 神经网络间的空间关系^[6]。该技术通常用

基金项目:中国博士后基金项目 (20060400333);浙江省教育厅科研项目 (3820070061);国家自然科学基金项目 (30670716)。 通讯作者:施建农,男,研究员,博导,E-mail shijn@ psych ac cn。 于探讨不同脑区间在同一频段下的功能联 系,目前已被人类大脑皮层发育敏感期研 究领域所采用。

在人类大脑皮层各区域中,额叶是最 复杂、最重要的部分,额叶内部、额叶与大 脑其他皮质及皮质下区域都存在广泛的联 系。额叶的发育为人类复杂心理活动和行 为发展提供了物质基础^[1],因此,有关额叶 内部、额叶与大脑其他皮质及皮质下的各 神经网络的发展特点的研究已成为众多学 者关注的焦点^[7~8]。 Barry 等选取 2对额枕 电极的研究发现,儿童 9岁时 α波段的相 干显著降低^[9~10]。Hanlon等发现男性被试 θ波的额叶内相干在 6岁后表现为显著增 加¹¹¹。虽然上述研究均为额叶及其神经联 系的发育存在加速期提供了诸多证据,但 由于它们或仅选择特定电极对^[9~10],或仅 限于 θ波段^[11]分析不同区域的相干,或未 能具体报道某一年龄、某一频段的相干结 果^[12],因此难以系统反映额叶内部以及额 叶与大脑其他区域神经网络的发展特点。

本研究拟通过分析 & Q a 和 ^B基本脑 电频段下,分布于整个大脑皮层的 31对电 极^[13~14]相干的变化情况,系统探索 6~ 12岁 儿童额叶自发脑电相干的加速期,为探索加 速期干预与大脑发育关系的研究奠定基础。

2 方 法

21 被试

选取北京市某两所小学学生作为被 试。所有被试均为右利手,身体健康,无神 经系统疾病或精神疾病病史。被试在实验 前 24小时内禁用中枢性药物及兴奋性饮 料。所有被试智力水平用瑞文推理智力测 验测得,经年龄常模换算均为智力正常水 平。各年龄组人数及平均年龄分别为:6岁 组 12人(5男 7女,年龄 6.59±0.27岁);7 岁组 12人(5男 7女,年龄 6.59±0.27岁);7 岁组 12人(5男 7女,年龄 7.47±0.31 岁);8岁组 10人(5男 5女,年龄 8.54± 0.29岁);9岁组 10人(5男 5女,年龄 8.54± 0.29岁);9岁组 10人(5男 5女,年龄 9.45±0.27岁);10岁组 11人(7男 4女, 年龄 10.46±0.24岁);11岁组 10人(5男 5女,年龄 11.34±0.32岁);12岁组 10人 (6男 4女,年龄 12.11±0.09岁)。 2 2 实验程序与脑电记录

被试坐于屏蔽室内一张舒适的椅子 上。要求被试全身肌肉放松、闭目,始终保 持头脑清醒。采用 A dvanced Numerical Technology (ANT, Enchedes, The Netherlands)脑电记录系统,记录电极固定于 32 导电极帽。以双耳乳突为参考电极。头皮 与电极之间阻抗小于 5kΩ,信号经放大器 放大,连续记录 EEG,采用 DC 记录,采样频 率为 512H z,离线式处理。记录时间为 1分 钟,记录被试在安静和闭眼状态下的脑电 信号。

2.3 数据分析和统计

采用 ASA (Advanced Source Analysis 3.0, Enchedes, The Netherlands)分析。离 线式滤波带通为 0.2~40Hz, 伪迹去除标准 为 \pm 50 μ V。脑电分段设为 2秒。分析频段 为: δ(1.5~3.5Hz), θ(3.5~7.5Hz), α (7.5~12.5Hz), β(12.5~30Hz)。两个信 号的相干由下述公式计算得来。

$$R_{x_{1}x_{2}}(w) = \frac{\text{Complex Spectrum}(x_{1}(t) \times \text{Complex Spectrum}(x_{2}(t)))}{\sqrt{1-(1-x_{1})^{2}}}$$

$$\sqrt{\text{Pow er Spectrum } (x_1(t)) \times \text{Pow er Spectrum } (x_2(t))}$$

其中, Complex Spectrum 代表复频率, Power Spectrum 代表功率谱。对所得的相 干值进行 Fisher Z转换,进行数据统计。对 所得的相干均值进行逆转换再汇报具体相 干值。

在考察大脑半球内的相干时,电极对 的选择为: (1)额叶 – 额叶: 左半球的 F_{p_1} – $F_{7x}F_{p_1}$ – F_{3x} 右半球的 F_{p_2} – $F_{8x}F_{p_2}$ – F_{5x} (2) 额叶 – 颞叶: 左半球的 $F_{p_1} - T_{p_7}$, $F_7 - T_7$, F_7 - T_{p_7} , $F_3 - T_7$, $F_3 - T_{p_7}$, 右半球的 $F_{p_2} - T_{p_8}$, $F_8 - T_8$, $F_8 - T_{p_8}$, $F_4 - T_8$, $F_4 - T_{p_8}$; (3)额叶 - 中央: 左半球的 $F_{p_1} - C_{\infty}F_3 - C_3$, 右半球 的 $F_{p_2} - C_4$, $F_4 - C_4$; (4)额叶 – 顶叶: 左半 球的 $F_7 - P_{\infty}F_3 - P_3$, 右半球的 $F_8 - P_4$, F_4 - P_4 ; (5)额叶 – 枕叶: 左半球的 $F_{p_1} - O_1$, $F_7 - O_1$, $F_3 - O_6$, 右半球的 $F_{p_2} - O_2$, $F_8 - O_2$, $F_4 - O_1$ 。其中, 半球电极对为组内因素, 年 龄为组间因素, 进行重复测量的方差分析。

在考察额叶在两半球间的相干时, 电极对的选择为: $F_{p_1} - F_{p_2}$, $F_7 - F_8$ 、 $F_3 - F_4$ 。 其中, 电极对为组内因素, 年龄为组间因素, 进行重复测量的方差分析。

3 结 果

各电极对在不同频段下的相干值见表 1. 额叶内各电极对各频段的相干都表现 出显著的年龄间差异 (δ 波: $F_{(6,70)} = 2.26$, p < 0.05, θ 波: $F_{(6,70)} = 2.86$, p < 0.05, α 波: $F_{(6,70)} = 3.01$, p < 0.05, β 波: $F_{(6,70)} = 2.87$, p < 0.05)。进一步比较发现, 各频段 10岁 相干值显著高于 11岁组, 且 12岁组 δ 波相 干显著高于 11岁组。另外, θ 波: 10岁组 显著高于 6岁组和 7岁组, 12岁组显著高 于 7岁组; α 波: 8岁、10岁和 12组岁显著 高于 7岁组; β 波: 8岁和 10岁组显著高于 6岁和 7岁组; 9岁、10岁和 12岁组均显著 高于 7岁组 (图 1); 额叶半球间 (左右对 称)电极相干无显著年龄效应。



图 1 6~12岁儿童额叶相干的发展变化(半球内)

表 1 不同电极对在不同频段下的相	- - 1	自
-------------------	------------------	---

电极对	δ 波	0波	α波	β波
$F_{p_1} - F_7$	0 74	0.66	0 65	0.60
$F_{p_1} - F_3$	0 84	0.81	0 82	0 73
$F_{p_2} - F_8$	0 75	0.67	0 65	0 60
$F_{p_2} - F_4$	0 78	0.72	0 72	0.64
$F_{p_1} - Tp_7$	0 56	0.34	0 26	0.32
$F_{7} - T_{7}$	0 72	0.61	0 54	0 50
$F_7 - Tp_7$	0 65	0.50	0 40	0.43
$F_{3} - T_{7}$	0 68	0.51	0 41	0.43
$F_{3} - Tp_{7}$	0 64	0.45	0 33	0 40
$F_{p_2} - Tp_8$	0 51	0.32	0 26	0 31
$F_{8} - T_{8}$	0 72	0.61	0 55	0 49
$F_{8} - Tp_{8}$	0 59	0.44	0 34	0 40
$F_{4} - T_{8}$	0.68	0.52	0 42	0 43
$F_4 - Tp_8$	0 58	0.40	0 29	0.35
$F_{p_1} - C_3$	0 61	0.45	0 38	0 42
$F_{3} - C_{3}$	0 71	0.56	0 46	0 51
$F_{p_2} - C_4$	0 60	0.46	0 39	0 41
$F_{4} - C_{4}$	0 69	0.59	0 49	0 51
$F_{7} - P_{3}$	0 47	0.36	0 27	0.35
$F_{3} - P_{3}$	0 51	0.36	0 28	0.35
$F_{8} - p_{4}$	0 44	0.32	0 25	0.33
$F_{4} - P_{4}$	0 48	0.34	0 26	0 33
$F_{p_1} - O_1$	0 42	0.25	0 25	0 25
$F_{7} - O_{1}$	0 44	0.28	0 23	0.30
$F_{3} - O_{1}$	0 49	0.31	0 27	0.33
$F_{p_2} - O_2$	0 41	0.24	0 27	0.26
$F_{8} - O_{2}$	0 44	0.28	0 22	0 28
$F_{4} - O_{2}$	0 45	0.26	0 25	0 28
$F_{_{p_1}} - F_{_{p_2}}$	0 77	0.69	0 61	0 50
$F_{7} - F_{8}$	0 46	0.32	0 27	0 27
$F_{3} - F_{4}$	0 73	0.63	0 57	0 47

额叶与中央叶的电极对相干结果表明, θ波和 β波表现显著年龄主效应(θ波: $F_{(670)} = 2.89 p < 0.05, β波: F_{(670)} = 3.62,$ p < 0.01)。进一步比较发现, θ波: 7岁、8岁、 10岁和 12岁组显著高于 11岁组, 12岁组显 著高于 6岁和 7岁组; β波: 8岁、9岁和 10 岁组显著高于 11岁组; 12岁组相干值显著 高于各年龄组(9岁组除外)(图 2)。

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net



图 2 6~12岁儿童额叶 – 中央叶相干的发展变化

额叶与颞叶的电极相干结果表明,除δ 波以外,各波段相干都有显著年龄主效应(θ 波: $F_{(670)} = 2.96$, p < 0.05, α 波: $F_{(670)} = 2.25$, p < 0.05, β 波: $F_{(670)} = 2.47$, p < 0.05)。进一 步比较发现, θ α波: 12岁组显著高于其他各 组; β 波: 12岁组显著高于其他各组, 8岁、9 岁、10岁和 11岁组显著高于 7岁组(图 3)。



图 3 6~ 12岁儿童额叶 – 颞叶相干的发展变化

额叶与顶叶的电极相干结果表明,除 δ 波以外,各频段相干的年龄主效应显著 (θ波: $F_{(670)} = 4.75$, p < 0.01; α波: $F_{(670)} = 3.22$, p < 0.01; β波: $F_{(670)} = 2.31$, p < 0.05)。进一步比 较发现,各频段 12岁组相干值均显著高于 11 岁组,而且 θ α和 β三个波段的 12岁组显著 高于其他各年龄组 (图 4)。



图 4 6~12岁儿童额叶 – 顶叶相干的发展变化

额叶与枕叶之间的电极对相干结果表 明,除 δ波以外,各波段相干均有显著年龄 主效应 (θ 波: $F_{(6,70)}$ = 4. 17, p < 0.01; α 波: $F_{(6,70)}$ = 3. 45, p < 0.01; β 波: $F_{(6,70)}$ = 2. 87, p < 0.05)。具体来说, θ 波: 11岁组显著高 于 7岁组, 12岁组显著高于各年龄段, α 波: 12岁组显著高于各年龄段, 10岁和 11 岁组显著高于 6岁组, β 波: 12岁组显著高 于各年龄组 (图 5)。



图 5 6~12岁儿童额叶 – 枕叶相干的发展变化

4 讨 论

额叶显著增大以及额叶功能网络的形 成^[7~8]是童年中期大脑发育的重要特征之 一。额叶功能网络作为一些重要认知功能 的基础,其发育对心理发展有重要的意义。 本研究选用四个基本脑电频段和 31个电 极对,运用相干法系统考察了 6至 12岁儿 童额叶内部、额叶与其他脑叶间网络发展 变化的特点。结果发现,额叶内部、额叶与 其他脑叶之间的相干普遍表现出 δ波活动 最大:额叶内部和额枕相干以β波活动最 低;额中央、额颞和额顶相干以 α波活动最 低。由于在大脑发育过程中,神经纤维会 出现分化现象,这种分化与特异性功能网 络的形成有关^[15],因此,笔者认为,低频活 动与高频活动的相干差异可能反映了神经 纤维分化及网络建构的过程,这可能意味 着不同脑电频段对神经网络的形成具有不 同的调节作用。

本研究还发现,从 6岁到 12岁期间,

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

31对电极相干在整体上表现为随年龄增长 而增加的趋势。关于相干值随年龄增长而 发生的变化,目前仅见 Thatcher等提出的 双过程模型(two-process model)作过解 释¹¹⁶,这一模型认为长距离相干和短距离 相干是两种不同的发育过程,两者分别依 赖不同长度神经纤维的发育。长距离相干 值随长纤维密度增大而增加,而短距离相 干值则随短纤维密度增大而降低。本研究 中长距离电极对如额枕、额颞和额顶的相 干结果支持这一模型。然而短距离电极对 (包括额叶内和额中央)的相干,在整体上 也表现为随年龄增长而增加。这一结果与 该模型的预测相矛盾,但与 Barry等的研究 结果一致^[9~10]。因此笔者认为,双过程模型 有关短距离相关的假设尚需进一步探讨。

此外,本研究发现,额叶相干在7岁和 11岁时突增,在9岁和12岁时表现为高 峰,这与以往脑电研究结果相一致[13.17~18]. 进一步验证了关于人类大脑发育的敏感期 假说。7岁和 11岁时的相干突增可能提示 此时脑神经元出现了新的神经修剪现 象^[19],而神经元的每一次突触过剩和突触 修剪都代表了解剖上相互联系的脑区出现 了时间上和空间上的周期性重组,这种重 组即表现为敏感期^[10]。本研究发现的额叶 发育的高峰年龄与其他研究发现的主要认 知能力获得的时间也是相吻合的,如 Fischer等发现 9岁和 12岁儿童抽象思维任务 绩效显著高于其他年龄^[21~23]; Anderson等 发现儿童的抑制控制能力在 12岁左右出 现峰值^[24]。因此,本研究结果在一定程度 上为心理学和教育工作者划分儿童发展阶 段,并为寻找有关认知能力最佳教育训练 的年龄段提供了线索。

5 小 结

本研究以 6至 12岁儿童为对象,探讨 了大脑额叶内部、额叶与大脑其他区域 31 对电极在 ξθα π β基本脑电频段下相干 的发展特点,结果发现:(1)θ波活动普遍 强于 α π β波活动;(2)6~12岁儿童额叶 内、额叶与其他脑叶间相干在整体上表现 为随年龄增长而增加的趋势;(3)额叶内 部、额叶与大脑其他各区间相干在各频段 均表现为 7岁、11岁突增,10 12岁表现为 高峰。上述结果支持了 6~12岁儿童额叶 发育存在加速变化的观点。

参考文献

- [1]杨雄里. 脑科学的现代进展. 上海: 上海 科学技术出版社, 1998
- [2] Hudspeth W J Pribram K H. Psychophysiological indices of cerebral maturation, International Journal of Psychophysiology, 1992, 12(1): 19~29
- [3]刘世熠, 邬勤娥, 孙文龙.4岁至7岁学 龄前儿童脑电图研究.心理学报, 1963, 3:186~194
- [4]刘世熠. 我国儿童的脑发展的年龄特征 问题. 心理学报, 1962, 2 89~ 97
- [5]刘世熠. 脑电图与心理的大脑生理机制 研究的几个问题. 心理学报, 1961, 3 141~152
- [6] Shaw J An introduction to the coherence function and its use in EEG signal analysis Journal of Medical Engineering and Technology 1981, 5(6): 279~288
- [7]许政援, 沈家鲜, 吕静, 等. 儿童发展心 理学. 长春: 吉林教育出版社, 2002
- [8] Casey B J Tottenham N, Liston C, et al Maging the developing brain W hat have we learned about cognitive developmen? Trends in Cognitive Sciences, 2005, 9 (3): 104~ 110
- [9] Barry R J, Clarke A R, McCarthy R, et al Age and gender effects in EEG coher ence I Developmental trends in normal children Clinical Neurophysiology, 2004, 115(10): 2252~2258
- [10] Barry R J Clarke A R, M cCarthy R, et al Age and gender effects in EEG corherence II Boys with attention deficit/ hyperactivity disorder Clinical Neurophysiology, 2005, 116(4): 977~984

315

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

- [11] Hanlon H W, Thatcher R W, Cline M J Gender Differences in the development of EEG coherence in normal children Developmental Neuropsychology, 1999, 16(3): 479~506
- [12] Thatcher R W, W alker R, G indice S H um an cerebral hem ispheres develop at different rates and ages Science 1987, 236(4805): 1110~ 1113
- [13] Thatcher R W. Cyclic cortical reorganization, origins of hum an cognitive development In Dawson G, Fischer K, eds Hum an behavior and the developing brain New York The Guildford Press, 1994 232~266
- [14] Som sen R JM, van't K koster B J, van der Molen M W, et al G rowth spurts in brain maturation during middle childhood as ir dexed by EEG power spectra Biological Psychology 1997, 44(3): 187~209
- [15] Thatcher R W. A predator prey model of hum an cerebral development In Newell K, Molenaar P, eds Applications of norlinear dynamics to developmental process modeling H illsdale, NJ Erbaum, 1998 87~ 128
- [16] Thatcher R W, K rause P, H rybyk M. Corticor cortical associations and EEG coherence A two compartmental model E lectroencephalogrpahy and Clinical Neurophysiology 1986 64(2): 123~ 143
- [17] Moshman D, Franks B A. Development of

the concept of inferential validity. Child Development 1986, 57(1): 153~165

- [18]刘力戈.4~12岁儿童脑地形图正常 参考值.临床脑电学杂志,1998,7 (3):144~146
- [19] Huttenlocher P R. Morphametric study of hum an cerebral cortex development Neur ropsychologia, 1990, 28(6): 517~527
- [20] Thatcher R W. Maturation of the human frontal lobes Physiological evidence for staging Developmental Neuropsychology, 1991, 7(3): 397~419
- [21] Fisher K W, Kenny S L. Environmental conditions for discontinuities in the development of abstractions In Mines R A, Kitchener K S, eds A dult Cognitive development M ethods and models New Y ork Praeger, 1986
- [22] O' Brien D P, Overton W F. Conditional reasoning and the competence performance issue A developmental analysis of a training task Journal of Experimental Child Psychology, 1982, 34(2): 274~290
- [23] John E R, Ahn H, Pricep L, et al Developmental equations for the electroencephalogram. Science, 1980, 210 (4475): 1255~1258
- [24] Anderson V. Assessing executive functions in children Biological psychological and developmental considerations Pediatric Rehabilitation, 2001, 4 (3): 119~136

A Developmental Coherence Study of Frontal Lobe for Children Aged from 6 to 12

ZHANG Q iong¹ SH I Jian-nong² SH EN M o-w ei

(1. Department of Psychobgy, Zhejiang University, Hangzhou 310028,

2 Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

Ab strac t

Previous studies have indicated that there are developmental spurts and plateaus in children's brain coherence of theta band for selected electrode pairs Does coherence of other basic frequency bands formore electrode pairs have the same developmental trends? 75 children participated in this study. EEG was recorded from 32 sites during an eyes-closed resting condition The wave-shape coherence was calculated for 28 intrahem ispheric electrode pairs and 8 inter-hem ispheric electrode pairs within each of the delta, theta, alpha and beta bands Coherences of theta band were higher

than alpha and beta bands The long-distance and short-distance coherences increased consistently, which was explained by a two-process model Moreover, the coherences keep developing across this age range, with a sudden increase at 7 and 11 years, and the peak at 10 and 12 EEG coherence of frontal bbe in normal children of this age range develops systematically with age, showing spurts which are correlated with cognitive development

Key words children, frontal lobe, EEG, coherence, development