

额叶皮质生物电活动参数与外向性、神经质水平的关系

RELATIONSHIP BETWEEN THE PARAMETERS OF THE FRONTAL CORTEX BIOELECTRIC ACTIVITY AND EXTRAVERSION AND NEUROTICISM LEVEL

© N.Yu. Smit¹, M.V. Aleksandrov^{1,2}, N.R. Karelina¹, S.A. Lytaev¹, E.V. Marchenko²

¹ St. Petersburg State Pediatric Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia;

² Professor A.L. Polenov Russian Scientific Research Neurosurgical Institute – branch office of the V.A. Almazov National Medical Research Center, Saint Petersburg, Russia

For citation: Smit NYu, Aleksandrov MV, Karelina NR, Lytaev SA, Marchenko EV. Relationship between the parameters of the frontal cortex bioelectric activity and extraversion and neuroticism level. *Pediatrician (St. Petersburg)*. 2021;12(1):31-41. <https://doi.org/10.17816/PED12131-41>

Received: 28.12.2020

Revised: 15.01.2021

Accepted: 19.02.2021

额叶对个体个性特征的形成有着重要的作用, 因此确定额叶皮层生物电活动参数与心理测试指标之间的联系十分重要。本研究的目的是研究被试的外向性和神经质指标与脑电图 (EEG) 参数之间的关系。在没有使用额外的专门负载的情况下, 首次在静止状态和标准功能测试期间发现了这些关系的差异。研究对象是健康的男女, 平均年龄为19.3岁; 所有受试者都是右撇子。为了确定外向性和神经质水平, 使用艾森克个性测验 (选项B)。在记录脑电图时, 采用双极导联法。19个电极的暴露符合国际Jasper系统的10–20%。在闭眼休息和功能测试期间记录脑电图: 睁眼, 过度通气, 光刺激。根据外向性水平和神经质水平, 计算整个样本受试者和个体组的指标和脑电图绝对功率与外向性和神经质水平的相关系数。在整个样本中, 脑电图功率与外向性水平呈显著正相关, 与神经质水平呈显著负相关。高、中、低外向性和神经质组与脑电图参数的相关关系差异更显著。在这些组中, 这些差异在进行功能测试时比闭着眼睛休息时更明显。

关键词: 额叶; 个体差异; 外向性; 神经质; EEG指数; EEG功率。

The frontal lobes make a significant contribution to the formation of individual personality traits, in connection with which it is important to identify the links between the parameters of the bioelectric activity of the frontal cortex and the indicators of psychological tests. The aim of this work was to study the relationship between the indicators of extraversion and neuroticism of the subjects and the parameters of their EEG. For the first time, differences in these relationships were found at rest and during standard functional tests, without the use of additional specialized loads. The study involved healthy subjects of both sexes, average age 19.3 years; all subjects are right-handed. To identify the level of extraversion and neuroticism, the standard Eysenck test (option B) was used. The EEG was recorded using the bipolar derivation method. 19 electrodes were exposed in accordance with the international Jasper system 10–20%. EEG was recorded at rest with eyes closed and during functional tests: eye opening, hyperventilation, photostimulation. The correlation coefficients of the index and absolute power of the EEG with the level of extraversion and neuroticism were calculated both for the entire sample of subjects and for individual groups according to the level of extraversion and the level of neuroticism. For the entire sample of subjects, positive significant correlations of EEG power with the level of extraversion and negative – with the level of neuroticism were revealed. In the groups of subjects with high, medium and low levels of extraversion and neuroticism, the differences in correlation relationships with EEG parameters are more pronounced. In these groups, these differences are more often manifested when performing functional tests than at rest with closed eyes.

Keywords: frontal lobes; individual differences; extraversion; neuroticism; EEG index; EEG power.

绪论

迄今为止,已证实人格的某些类型属性与大脑自发和诱发的生物电活动的特征之间存在相互关系[1,4,10,13,22]。在休息状态、心理活动状态、情绪负荷状态和功能测试过程中,脑电图(EEG)参数与人格特征之间存在相关性[8,11,14,19]。哪些心理参数与静止状态下的生物电活动关系更密切,哪些与负荷状态下的生物电活动关系更密切,这一问题尚未完全解决。

额叶在情绪表现、信息评估、决策和任意行为反应的执行和控制中的作用已被大量研究证实,目前也在积极研究中[2,3,9,15,18,21,23,25]。额叶皮层在人格和行为形成过程中的作用尚未完全揭示,在这一领域还有许多有趣的问题有待澄清。

应该记住的是,流行的情感背景,外部和内部环境刺激的感知,行为算法是那些形成我们的个性的表现。可以说,额叶的活动对个性的形成有重要的贡献。因此,寻找额叶皮层生物电活动参数与外向、内向、神经质指标的联系是有意义的。研究这一联系的现实意义在于识别与外向性和神经质水平相关的生物电活动的特征特性,这使得脑电图分析可以和传统的心理学方法一起检测个人特征。

材料与方法

34例年龄在18—27岁的男女被试接受了调查,平均年龄为19.3岁;所有的实验对象都是右撇子。所有受试者均签署自愿知情同意书参加本研究。在所采用的方法中,采用艾森克个性测验(选项B)来确定外向性和神经质水平。艾森克个性测验包含57个问题,用于检测外向-内向、神经质和真诚水平[7]。24个问题旨在确定外向性水平,其他24个问题旨在确定神经质水平。剩下的9个问题(“谎言”量表)

构成一个控制组,用来评估被试的诚意、对调查的态度和结果的可靠性。

根据国际10/20系统,在休息和功能测试(睁眼、过度通气、1至26赫兹的光刺激)期间,对19个导联进行双相脑电图记录。

对所有功能状态计算了脑电图指数和脑电图功率谱。对于闭眼休息状态,采集持续30 s的非抽象脑电图片段进行分析。对于激活反应、过度通气和光刺激,所分析的脑电图片段的持续时间与功能测试的持续时间相对应。

在计算脑电图指数时,从“零”过渡中分离出半波,最小半波振幅为50%的标准差。当计算脑电图的频谱功率时,分析历元持续时间为4s,分析时期的重叠率为50%,多项式趋势的阶数为2,时间窗就是汉宁窗,低频信号的范围为0.5—1.25 Hz,低频信号最大幅值为 $200\mu V^2$ 。

使用Microsoft Excel 2010程序,额前位(Fp2-F8、Fp2-F4、Fp1-F7、Fp1-F3)、前额(F4-C4、F3-C3)、下额(F7-T3、F8-T4)导联的脑电指标与脑电绝对功率(μV^2)的相关系数及心理测试参数。

根据艾森克个性测验结果,被试分为以下几组:

1) 根据外向性水平:

外向者,在“外向-内向”量表上从14到20分;

“外向-内向”量表中的“平均外向性”为11—13分;

内向,外向水平在“外向-内向”量表上从4到10分。

2) 根据神经质程度:

“高度神经质”, “神经质-稳定性”量表14—23分;

“平均神经质”, “神经质-稳定性”量表11—13分;

“稳定”在“神经质-稳定”量表上从6到10分。

所有的被试都表现出了很高的诚实度(从0到3分的“说谎”量表), 这使得我们认为外向性和神经质的指标是可靠的。

计算了整个受试者样本以及受试者个体组的脑电图参数的相关系数。图(1—5)显示了确定可靠相关系数的线索(“+”符号为正, “-”符号为负, 符号的大小对应显著性水平)。其他导联没有发现显著相关性。

研究成果

在对所得结果进行分析时, 我们发现受试者的脑电图指标和功率与艾森克个性测验的各项指标存在显著相关性。在关系的本质上, 最大的差异被揭示为 δ 节奏和 θ 节律的力量。

在数据处理过程中发现, 对于整个样本的被试, 在右额叶前导联(Fp2-F8)闭眼和睁开眼时 δ 节律指数与外向性水平呈负相关(图1, a), 闭眼休息时相关系数为-0.368, 睁眼时相关系数为-0.373; $p < 0.05$ 。在相同的光刺激下, δ 节律指数与神经质水平呈正相关(图1, b)(相关系数为0.468; $p < 0.05$)。对于 θ 节律和 α 节律指数, 艾森克个性测验的参数没有显著的相关性。

δ 节律与外向性水平呈正相关(图1, c; 表1)右半球(Fp2-F4)闭眼, 左半球过度通气(F3-C3)。 δ 节律与神经质水平负相关(图1, d; 表2)在睁眼(F4-C4, Fp1-F7)、过度通气(F8-T4)和光刺激(Fp2-F8, F8-T4, Fp1-F7)时进行检测。

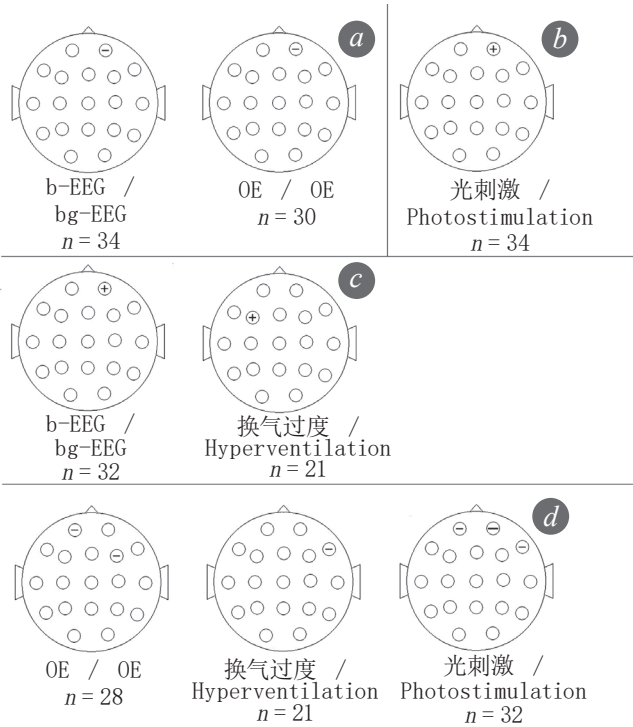


图. 1. δ 节律指数与外倾性水平(a)、 δ 节律指数与神经质水平(b)、 δ 节律力与外倾性水平(c)、 δ 节律力与神经质水平(d)的相关性。圆圈里的“-”符号是负相关, 圆圈里的“+”符号是正相关。相关系数的显著性水平体现在圆中符号的大小上: 符号越小对应 $p < 0.05$, 符号越大对应 $p < 0.01$ 。b-EEG—闭眼休息状态(背景脑电图), OE—“开眼”功能测试

Fig. 1. Correlation of the delta rhythm index with the level of extraversion (a), the delta rhythm index with the level of neuroticism (b), the power of the delta rhythm with the level of extraversion (c), the power of the delta rhythm with the level of neuroticism (d) for the entire sample of subjects. “-” sign in a circle – negative correlations, a “+” sign in a circle – positive correlations. The level of significance of the correlation coefficient is reflected in the size of the sign in the circle: the smaller sign corresponds to $p < 0.05$, the larger sign corresponds to $p < 0.01$. bg-EEG – a state of rest with closed eyes (background EEG), OE – functional test “Opening eyes”

表1 / Table 1

整个样本的脑电图功率与外向性水平的相关性
Correlation of EEG power with the level of extraversion for the entire sample of subjects

导联 / Derivations	b-EEG / bg-EEG n = 32		光刺激, θ 节律 / Photostimulation, theta rhythm n = 32	换气过度 / Hyperventilation n = 21		
	δ 节奏 / delta rhythm	θ 节律 / theta rhythm		δ 节奏 / delta rhythm	θ 节律 / theta rhythm	α 节律 / alpha rhythm
Fp2-F4	0.397	0.372	0.378	ICC	ICC	ICC
Fp1-F7	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	0.589
F7-T3	ICC	ICC	ICC	ICC	0.435	ICC
F3-C3	ICC	ICC	ICC	0.436	0.471	ICC

注: 相关系数显著性水平的反映: 常用字体对应的数字为 $p < 0.05$, 黑体为 $p < 0.01$ 。ICC—不显著相关系数; b-EEG—闭眼休息状态(背景脑电图), OE—“开眼”功能测试。该表只显示了那些有可靠相关性的脑电图节律。
Note. Significance level of the correlation coefficient: numbers printed in regular type correspond to $p < 0.05$, in bold type — $p < 0.01$. ICC - insignificant correlation coefficient, bg-EEG — state of rest with closed eyes (background EEG), OE — functional test “Opening eyes”. The table shows only those EEG rhythms for which significant correlations were found.

表2 / Table 2

整个样本的脑电图功率与神经质水平的相关性
Correlation of EEG power with the level of neuroticism for the entire sample of subjects

导联 / Derivations	b-EEG, θ 节律 / bg-EEG, theta rhythm n = 32	OE, δ 节奏 / OE, delta rhythm n = 28	光刺激 / Photostimulation n = 32		换气过度 / Hyperventilation n = 21		
			δ 节奏 / delta rhythm	θ 节律 / theta rhythm	δ 节奏 / delta rhythm	θ 节律 / theta rhythm	α 节律 / alpha rhythm
Fp2-F8	ICC	ICC	-0.453	-0.355	ICC	ICC	ICC
F8-T4	ICC	ICC	-0.417	ICC	-0.445	-0.470	-0.466
F4-C4	ICC	-0.412	ICC	ICC	ICC	-0.521	-0.468
Fp1-F7	-0.352	-0.396	-0.360	ICC	ICC	ICC	ICC
F3-C3	-0.442	ICC	ICC	-0.383	ICC	-0.474	ICC

注: 符号如图1所示。
Note. Designations as in Tabl. 1.

随着 θ 节律的增强, 右半球的外向性水平(图2, a; 表1) 在闭眼和光刺激下(Fp2-F4) 呈现显著正相关, 而左半球(F3-C3, F7-T3) 与过度通气呈正相关。神经质的水平(图2, b; 表2) 在闭眼的情况下与左半球的 θ 节律的力量显着负相关(Fp1-F7, F3-C3), 而在两个半球——在光刺激(Fp2-F8, F3-C3) 和过度通气(F8-T4, F4-C4, F3-C3) 的期间。对于过

度通气时 α 节律的强度, 左半球(Fp1-F7) 与外向性水平显著正相关(图2, c; 表1), 在右半球(F8-T4, F4-C4) 与神经质水平负相关(图2, d; 表2)。

δ 、 θ 和 α 节律的强度与外向性水平呈正相关, 与神经质——负相关(表1, 2)。这意味着脑电图指数和权力与整个样本的外向性和神经质的相关关系的性质可以称为“相反”。这种指标和权力相关性

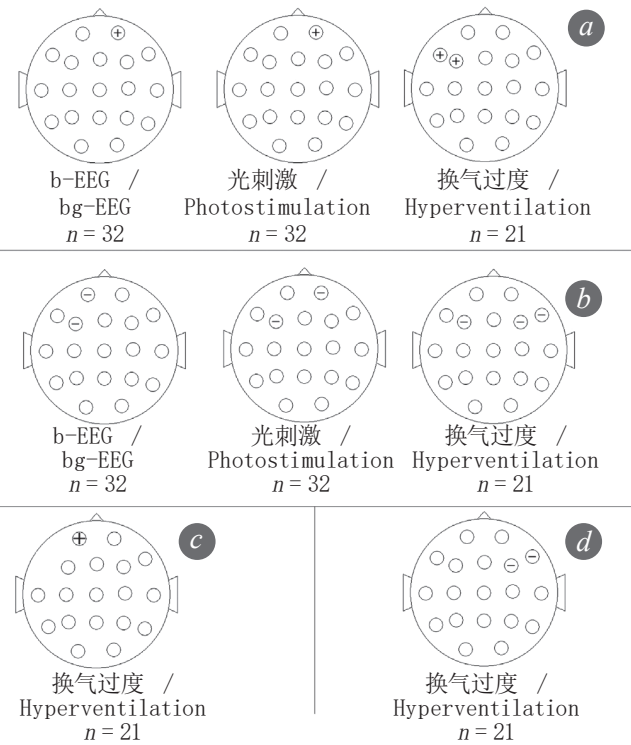


图. 2. θ 节律力与外向性水平 (a)、 θ 节律力与神经质水平 (b)、 α 节律力与外向性水平 (c)、 α 节律力与神经质水平 (d) 的相关性符号如图1所示

Fig. 2. Correlations of the power of the theta rhythm with the level of extraversion (a), power of the theta rhythm with the level of neuroticism (b), power of the alpha rhythm with the level of extraversion (c), power of the alpha rhythm with the level of neuroticism (d) for the entire sample of subjects. Designations as in Fig. 1

与外向性/神经质水平的稳定相关, 可以认为是外向性和神经质水平对功能系统的具体组织的反映。

在不同外向性和神经质水平的受试者组中, 脑电参数与相关关系的性质发生了变化。只有 δ 和 θ 节律显著相关。外倾性与脑电指标、神经质与脑电功率不总是负相关; 神经质/脑电图指数与外向性/脑电图功率的相关性, 既有正值, 也有负值, 数据见表3-6。

在闭着眼睛休息时, 外向者与 δ 节律指数没有显著相关。在闭眼休息的内向者

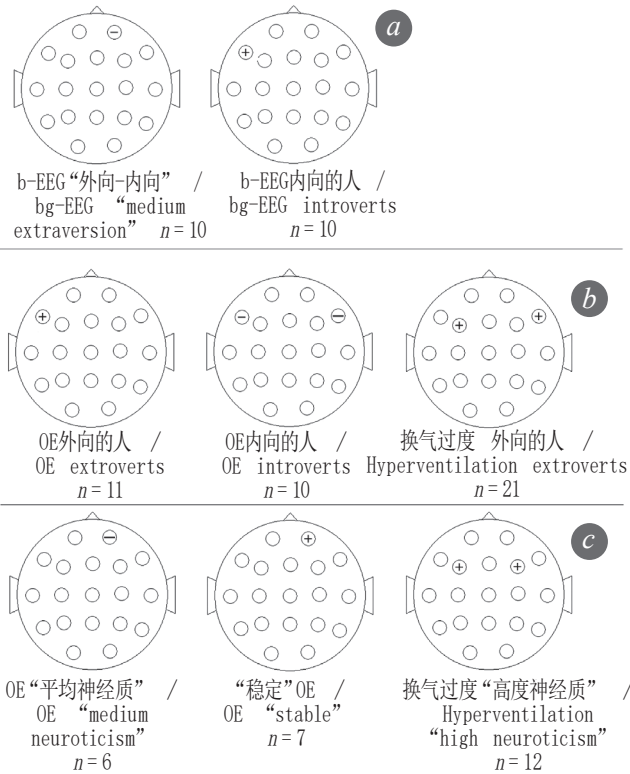


图. 3. δ 节律指数与外向性水平 (a)、 θ 节律指数与外向性水平 (b)、 δ 节律指数与神经质水平 (c) 的相关性。符号如图1所示

Fig. 3. Correlation of the delta rhythm index with the level of extraversion (a), the theta rhythm index with the level of extraversion (b), the delta rhythm index with the level of neuroticism (c) in the groups of subjects differing in the level of extraversion and the level of neuroticism. Designations as in Fig. 1

中, 左半球与 δ 节律指数呈正相关, 而在平均外向性水平的受试者中, 右半球与 δ 节律指数呈负相关 (图3, a; 表3)。在睁开眼睛伴 θ 节律指数时, 外向者左半球正相关 (F7-T3), 内向者左半球和右半球负相关 (F8-T4, F7-T3), 右半球表达更强烈。外向者在过度通气时, 在两个半球中发现与 θ 节奏指数的显著正相关 (图3, b; 表3)。从整个样本被试的趋势中可以看到差异 (外向性水平与脑电图指数的负相关), 这都是脑电图指数与外向性水平的正相关对内向者闭着眼睛休息时, 外向者在进行功能测试时。

表3 / Table 3

外倾程度不同组的脑电图指数与外倾程度的相关性
Correlation of the EEG index with the level of extraversion in the groups of subjects differing in the level of extraversion

导联 / Derivations	外向的人 / Extroverts		“外向-内向”, b-EEG, δ 节奏/ “Medium extraversion”, bg-EEG, delta rhythm n = 10	内向的人 / Introverts	
	OE, θ 节律 / OE, theta rhythm n = 11	换气过度, θ 节律 / hyperventilation, theta rhythm n = 10		b-EEG, δ 节 奏 / bg-EEG, delta rhythm n = 10	OE, θ 节律 / OE, theta rhythm n = 10
Fp2-F8	ICC	ICC	-0.679	ICC	ICC
F8-T4	ICC	0.681	ICC	ICC	-0.768
F7-T3	0.719	ICC	ICC	0.716	-0.681
Fp1-F3	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC
F3-C3	ICC	0.698	ICC	ICC	ICC

注: 该表只显示了那些有可靠相关性的脑电图节律。符号如图1所示。
Note. The table shows only those EEG rhythms for which significant correlations were found. Designations as in Table 1.

表4 / Table 4

不同神经质水平组脑电图指数与神经质水平的相关性
Correlations of the EEG index with the level of neuroticism in groups of subjects differing in the level of neuroticism

导联 / Derivations	“高度神经质”, 换气过度, δ 节 奏 / “High neuroticism”, hyperventilation, delta rhythm n = 12	“平均神经质”, OE, δ 节奏 / “Medium neuroticism”, OE, delta rhythm n = 6	“稳定”, OE, δ 节奏 / “Stable”, OE, delta rhythm n = 7
Fp2-F8	ICC	ICC	0.826
Fp2-F4	ICC	-0.932	ICC
F4-C4	0.701	ICC	ICC
F3-C3	0.600	ICC	ICC

注: 符号如图1所示。
Note. Designations as in Tabl. 1.

表5 / Table 5

外向性水平不同组的脑电图功率与外向性水平的相关性
Correlations of EEG power with the level of extraversion in groups of subjects differing in the level of extraversion

导联 / Derivations	“外向-内向” / “Medium extraversion”				内向的人 / Introverts	
	OE, θ 节律 / OE, theta rhythm n = 9	换气过度 / hyperventilation n = 5		OE, δ 节奏 / OE, Delta rhythm n = 8	光刺激, θ 节律 / photostimulation, theta rhythm n = 8	
		δ 节奏 / delta rhythm	θ 节律 / theta rhythm		θ 节律 / theta rhythm	
Fp2-F8	ICC	ICC	-0.944	0.721	ICC	
F4-C4	-0.869	ICC	ICC	ICC	-0.770	
Fp1-F7	ICC	-0.910	ICC	ICC	ICC	

注: 符号如图1所示。
Note. Designations as in Tabl. 1.

在分析神经质水平与脑电图指标的相关关系时(图3, c; 表4)在“极端”值组(“稳定”和“高度神经质”)中,在进行功能测试时发现正相关,即整个样本的趋势相同。在平均神经质水平的组中,右半球(Fp2-F4)呈显著负相关。

在内向者中,当他们的右前额导联(Fp2-F8)睁开眼睛时, δ 节律力与外向性水平显著正相关(图4, a; 表5)。对于 θ 节律(图5, a; 表5)右图显示,在睁眼和过度通气的“平均外向性”组中,在受光刺激的内向组中,出现了负相关。对于外向者来说, δ 和 θ 节律的强度没有发现显著的相关性。

在中低水平的神经质人群中也观察到同样的趋势。“稳定”(低神经质)——与光刺激和睁眼时 δ 和 θ 节律的力量负相关,在平均神经质水平的个体中——与睁眼时 θ 节律的力量显著负相关(图4, b; 图5, b; 表6)。在“高度神经质”组,情况是不同的一发现过度通气(图4, b; 表6)和睁眼(图5, b; 表6)的正显着相关性。

讨论成果

我们知道, δ 节律指数的升高可能表明大脑的功能活动水平有一定的下降[4]。因此,外向者右半球前部皮质张力增高的迹象可能是我们已经确定的 δ 节律指数下降,这与休息时和在“睁眼”功能测试中观察到的外向性水平呈稳定的负相关。右半球前部的激活可能表明负性情绪背景的增加[17, 24]。在我们的研究中,脑电图的记录是在一个隔音室中进行的,受试者必须长时间保持静止状态。对于外向者来说,对这种情况的消极态度是可以预测的,这可以影响脑电图的

性质[5, 12]。另一方面,疲劳和压力有时会导致 δ 活动的增加[16, 18]。在这种情况下,光刺激时,右额叶前导叶 δ 节律指数较高(与神经质水平呈正相关),说明光刺激对神经质水平高的受试者是一种应激因素。

为了保持内向者大脑皮层的整体色调,闭眼休息时,右半球前庭导联的 δ 节律和 θ 节律强度高且外倾性水平高(正相关),可能与外界刺激流入的影响较小有关[12]。这也可以通过保留这种状态的 δ 节奏的力量和睁开眼睛,显示在内向的组(图4, a; 表6)。

当左半球的 δ 、 θ 和 α 节律的强度与外向性水平呈正相关时,过度通气时的图像变化可能表明从冷静清醒到功能测试的过渡有更明显的情绪反应(在外向者中)(图2, a, c; 表1)。这也可以通过外向性水平与左额前导叶下区 θ 节律指数的正相关来证明,这显示在外向者睁开眼睛的组中(图3, b; 表3)。

在我们的研究中,对于整个样本的受试者,无论是闭着眼睛休息还是在其他情况下,只有神经过敏症与 δ 和 θ 节律的负相关关系是显著的。在一些由外向性和神经质水平确定的受试者组中,这种情况在“平均神经质”和“稳定”组中持续存在。在“高度神经质”组, δ 和 θ 节律功率的情况是相反的(在进行功能测试时只有正显著相关)。也许这就是伴随疲劳而来的应激反应的表现方式,尤其是在高度神经质的人身上。许多研究证实了这一假设,其中 δ 和 θ 节律的激活与压力效应和负面情绪体验有关[6, 11, 16]。

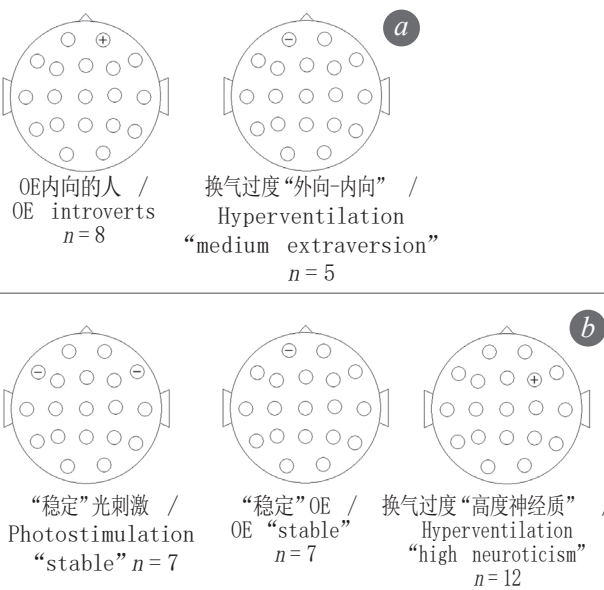


图. 4. δ 节律力与外向性水平 (a) 和神经质水平 (b) 的相关性
在外向性水平和神经质水平不同的受试者组中。符号如
图1所示

Fig. 4. Correlations of the delta rhythm power with the level
of extraversion (a) and the level of neuroticism (b)
in the groups of subjects differing in the level of
extraversion and the level of neuroticism. Designa-
tions as in Fig. 1

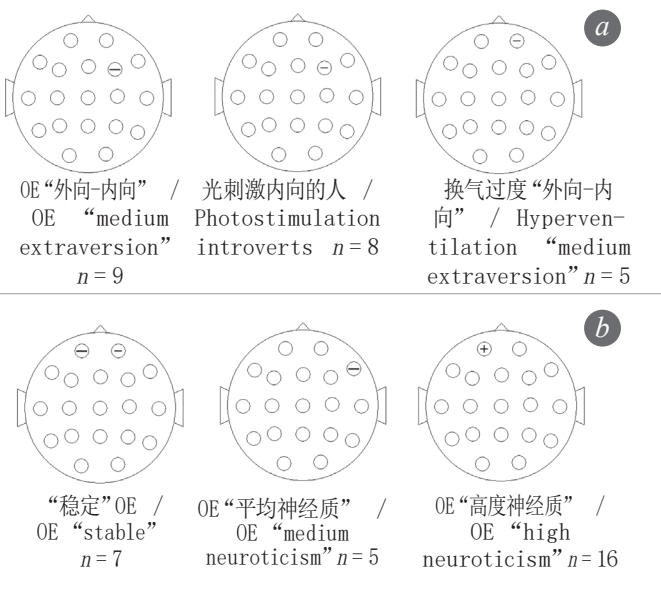


图. 5. θ 节律力与外向性水平 (a)、 θ 节律力与神经质水平 (b)
在外向性和神经质水平不同的被试组中的相关性符号如
图1所示

Fig. 5. Correlations of the power of theta rhythm with the
level of extraversion (a), power of the theta rhythm
with the level of neuroticism (b) in groups of subjects
differing in the level of extraversion and the level of
neuroticism. Designations as in Fig. 1

表6 / Table 6

不同神经质水平组的脑电图功率与神经质水平的相关性

Correlation of EEG power with the level of neuroticism in groups of subjects differing in the level of neuroticism

导联 / Derivations	“高度神经质” / “High neuroticism”		“平均神经质”, OE, θ 节律 / “Me- dium neu- roticism”, OE, teta rhythm n = 5	“稳定” / “Stable”		
	OE, θ 节律 / OE, theta rhythm n = 16	换气过度, δ 节奏 / hyperventila- tion, delta rhythm n = 11		OE / OE n = 7		光刺激, δ 节奏 / photostimulation, delta rhythm n = 7
				δ 节奏 / delta rhythm	θ 节律 / theta rhythm	
F8-T4	ICC	ICC	-0.959	ICC	ICC	-0.779
Fp2-F4	ICC	ICC	ICC	ICC	-0.802	ICC
F4-C4	ICC	0.640	ICC	ICC	ICC	ICC
Fp1-F7	ICC	ICC	ICC	-0.772	-0.856	ICC
F7-T3	ICC	ICC	ICC	ICC	ICC	-0.857
Fp1-F3	0.497	ICC	ICC	ICC	-0.882	ICC

注: 符号如图1所示。

Note. Designations as in Tabl. 1.

外向性和神经质与脑电图参数的关
系在特定组被试中, 睁眼时表现最为明
显, 闭眼时表现程度较小。闭着眼睛休息

时, 在“外向平均水平”和“内向”组中,
外向性与节律指数的关系差异明显。在
“外向性平均水平”这一组中, 右半球前

腹部分的负相关反映了在整个样本中观察到的相同的趋势。也许,这种关系在中外倾值和高外倾值的人身上是相当固有的,并且与被试对脑电图登记情况的态度有关。内向者的不同情况(与左脑节律指数呈正相关)可能表明静止状态下皮层张力再分配的不同性质。

可以看出,当眼睛睁开时,外向者和内向者的 θ 节律指数、“平均神经质”组和“稳定”组的 δ 节律指数之间的关系图存在显著差异(图3,b,c;表3,4)。外向性与左半球 θ 节律指数的正相关可能表明外向者对睁眼有更强烈的情绪反应。内向者的另一种情况—消极的关系,右半球更明显—可能表明对检查程序的态度更中立,以及睁开眼睛时皮层激活机制的差异。 δ 节律指数与右额叶前导联神经质水平关系性质的差异(“平均神经质”显著负相关,“稳定”显著正相关),可能与“稳定”受试者对功能状态改变的态度更平静有关。

在低水平的神经质(“稳定”)和内向的受试者中,与其他组相比,EEG参数显著相关的频率更高。对内向者而言,这可以用内部来源对皮层激活的更重要贡献来解释;在低神经质水平的受试者中,这可以用大脑皮层的功能连接的特殊性来解释,这些功能连接确保了情绪反应和行为的“稳定性”。对特定组受试者而言,脑电图参数与外向性、神经质指标关系的本质差异更多表现在相对活跃的状态(睁眼、换气过度、光刺激),而非完全休息闭眼状态。这可能表明,在从休息到活动的过渡过程中,功能连接的动态差异。

对于外向者,我们发现外向性水平和脑电图参数之间的关系比内向者和平均

外向性水平的人之间的关系要少。这可能是由于外向性皮层的音调更依赖于外界刺激,这使得脑电图参数与心理测试指标的关系难以检测。未来,为了解决这个问题,计划对具有极端外向价值观的人群进行研究。

结论

1、对于整个样本, δ 节律指数与外向性水平呈负相关,与神经质水平呈正相关。这可能反映了不同外向性和神经质水平的人对考试情境反应的特殊性。

2、 δ 、 θ 和 α 节律强度与外向性水平呈显著正相关,与神经质水平呈显著负相关。这可能是由于不同外向性和神经质水平的个体的皮层激活特性。

3、由外向性和神经质水平确定的两组间 δ 和 θ 节律指数相关关系的差异,在进行功能测试时比闭着眼睛休息时更经常表现出来。

4、高、中、低外向性和神经质水平组的 δ 节律和 θ 节律功率与艾森克个性测验参数的相关性仅在进行功能测试时才被发现。

REFERENCES

1. Александров М.В., Улитин А.Ю., Лытаев С.А., и др. Общая электроэнцефалография. Под ред. М.В. Александрова. – Санкт-Петербург: Стратегия будущего, 2017. [Aleksandrov MV, Ulitin AJ, Lytaev SA, et al. Obshhaja jelektrojencefalografija. Aleksandrov MV editor. Saint Petersburg: Strategija budushhego, 2017. (In Russ.)]
2. Бельская К.А., Суrowицкая Ю.В., Лытаев С.А. Пространственно-временные ЭЭГ-маркеры опознания слуховых образов в норме и при психопатологии // Педиатр. – 2016. – Т. 7. – № 3. – С. 49–55. [Belskaya KA, Surovitskaya YV, Lytaev SA. Spatio-Temporal EEG Markers for Recognition Auditory

- Images in Norm and Psychopathology. *Pediatrician*. 2016;7(3):49-55. (In Russ.)] <https://doi.org/10.17816/PED7349-55>
3. Брус Т.В., Пахомова М.А., Васильев А.Г. Коррекция печеночной дисфункции на модели обширного глубокого ожога // Педиатр. – 2017. – Т. 8. – № 2. – С. 62–67. [Brus TV, Pahomova MA, Vasiliev AG. Correction of hepatic dysfunction in an extensive deep burn model. *Pediatrician*. 2017;8(2):62-67. (In Russ.)] <https://doi.org/10.17816/PED8262-67>
 4. Зенков Л.Р. Клиническая электроэнцефалография (с элементами эпилептологии): руководство для врачей. – М.: МЕДпресс-информ, 2016. [Zenkov LR. Klinicheskaja jelektrojencefalografija (s jelementami jepileptologii): rukovodstvo dlja vrachej. Moscow: MEDpress-Inform; 2016. (In Russ.)]
 5. Ильин Е.П. Психология индивидуальных различий. – СПб.: Питер, 2011. [Il'in EP. Psihologija individual'nyh razlichij. Saint Petersburg: Piter; 2011. (In Russ.)]
 6. Ильюченко И.Р., Савостьянов А.Н., Валеев Р.Г. Динамика спектральных характеристик тета- и альфа-диапазонов ЭЭГ при негативной эмоциональной реакции // Журнал Высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. – 2001. – Т. 51. – № 5. – С. 563–571. [Ilyutchenok IR, Savostyanov AN, Valeev RG. EEG spectral dynamics in the theta and alpha bands during a negative emotional reaction. *Neuroscience and behavioral physiology*. 2001;51(5): 563-571. (In Russ.)]
 7. Карелин А.А., ред. Психологические тесты. В 2 т. – М.: Владос-Пресс, 2007. [Karelin AA editor. *Psihologicheskie testy*. V 2 t. Moscow: VLADOS-PRESS; 2007. (In Russ.)]
 8. Лобасюк Б.А., Боделан М.И., Бабаенко Т.П. Влияние ритмов ЭЭГ на показатели экстраверсии-интроверсии и теста СМИЛ у правополушарных и левополушарных // The Unity of Science: International Scientific Periodical Journal. – 2016. – № 4. – С. 94–99. [Lobasyuk BA, Bodelan MI, Babenko TP. Influence of EEG rhythms on extraversion-introversion and MMPI test indices in right- and left-hemispheric persons. *The Unity of Science: International Scientific Periodical Journal*. 2016;(4):94-99. (In Russ.)]
 9. Лурия А.Р. Лобные доли и регуляция психических процессов. – М.: МГУ, 1966. [Lurija AR. Lobnye doli i reguljacija psichicheskikh processov. Moscow: MGU; 1966. (In Russ.)]
 10. Тропинина Г.Г. Вызванные потенциалы: руководство для врачей. – М.: МЕДпресс-информ, 2016. [Tropinina GG. Vyzvannye potencialy: rukovodstvo dlja vrachej. Moscow: MEDpress-Inform; 2016. (In Russ.)]
 11. Русалова М.Н. Фронтально-окципитальная асимметрия мощности тета-ритма ЭЭГ человека // Асимметрия. – 2018. – Т. 12. – № 3. – С. 20–30. [Rusalova MN. Frontal-occipital asymmetry of human EEG theta-rhythm power. *Journal of Asymmetry*. 2018;12(3): 20-30. (In Russ.)]
 12. Смит Н.Ю., Лытаев С.А., Новгородцева К.А. Взаимосвязь параметров распространяющихся волн ЭЭГ с уровнем экстраверсии и интроверсии человека // Вестник клинической нейрофизиологии. – 2016. – Т. 2. – № 5. – С. 14–25. [Smit NYu, Lytaev SA, Novgorotseva KA. Relationship between the parameters of travelling EEG waves and the level of human extraversion and introversion. *Vestnik klinicheskoy nejrofiziologii*. 2016;2(5):14-25. (In Russ.)]
 13. Смит Н.Ю., Лытаев С.А., Новгородцева К.А. Оценка индивидуальных психофизиологических особенностей по параметрам распространяющихся волн ЭЭГ // В сб.: Здоровье детей: профилактика и терапия социально-значимых заболеваний. Материалы XI Российского форума. Санкт-Петербургское региональное отделение общественной организации «Союз педиатров России». – СПб.: ФГАУ «Национальный научно-практический центр здоровья детей», 2017. – С. 71–74. [Smit NYu, Lytaev SA, Novgorotseva KA. Ocenka individual'nyh psihofiziologicheskikh osobennostej po parametram rasprostranjajushhihsja voln JeJeG. Proceedings of the Russian science conference XI Russian Forum. "Zdorov'e detej: profilaktika i terapija social'no-znachimyh zabolevanij". Sankt-Peterburgskoe regional'noe otделение obshhestvennoj organizacii "Sojuz pediatrov Rossii". Saint Petersburg: FGau "Nacional'nyj nauchno-prakticheskij centr zdorov'ja detej", 2017. P. 71-74. (In Russ.)]
 14. Смит Н.Ю., Эйрих С.В., Мишина И.Ю. Связь темперамента ребенка и становления его речевой активности со структурной организацией головного мозга // В сб.: Материалы научной конференции, посвященной 115-летию со дня рождения профессора М.Г. Привеса. – 2019. С. 202–205. [Smit NYu, Ejrih SV, Mishina IY. Svjaz' temperamenta rebenka i stanovlenija ego rechevoj aktivnosti so strukturnoj organizaciej golovnogogo mozga. Proceedings of the Russian science conference dedicated to the 115th anniversary of the birth of Professor M.G. Prives. 2019. P. 202-205. (In Russ.)]
 15. Трашков А.П., Брус Т.В., Васильев А.Г., и др. Эндотелиальная дисфункция в патогенезе неалкогольной жировой болезни печени у крыс и методы ее коррекции // Российские биомедицинские исследования. – 2017. – Т. 2. – № 4. – С. 11–17. [Trashkov AP, Brus TV, Vasiliev AG, et al. Endothelial dysfunction in

- the pathogenesis of nonalcoholic fatty liver disease in rats, and methods for its correction. *Russian Biomedical Research*. 2017;2(4):11-17. (In Russ.)]
16. Яценко М.В., Кайгородова Н.З., Казин Э.М., Федоров А.И. ЭЭГ-корреляты влияния эндогенных и экзогенных факторов на умственную работоспособность студентов // Физиология человека. – 2018. – Т. 44. – № 6. – С. 36–48. [Yatsenko MV, Kaigorodova NZ, Kazin EM, Fedorov AI. EEG correlation of the influence of endogenous and exogenous factors on mental work capacity in students. *Human Physiology*. 2018;44(6):36-48. (In Russ.)] <https://doi.org/10.1134/S0131164618060152>
 17. Davidson RJ, Abercrombie H, Nitschke JB, Putnam K. Regional brain function, emotion and disorders of emotion. *Curr Opin Neurobiol*. 1999;9:228-234. [https://doi.org/10.1016/S0959-4388\(99\)80032-4](https://doi.org/10.1016/S0959-4388(99)80032-4)
 18. Goldberg E. Creativity: The Human Brain in the Age of Innovation. NY: Oxford University Press, 2018.
 19. Harrewijn A, Van der Molen MJW, Westenberg PM. Putative EEG measures of social anxiety: comparing frontal alpha asymmetry and delta-beta cross-frequency correlation. *Cogn Affect Behav Neurosci*. 2016;16(6):1086-1098. <https://doi.org/10.3758/s13415-016-0455-y>
 20. Jap BT, Lal S, Fischer P, Bekiaris E. Using EEG spectral components to assess algorithms for detecting fatigue. *Expert Syst Appl*. 2009;36(2-1):12352-2359. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2007.12.043>
 21. Klimesch W. EEG alpha and theta oscillations reflect cognitive and memory performance: a review and analysis. *Brain research review*. 1999;29(2-3):169-195. [https://doi.org/10.1016/S0165-0173\(98\)00056-3](https://doi.org/10.1016/S0165-0173(98)00056-3)
 22. Nentwich M, Madsen J, Parra LC, et al. Functional connectivity of EEG is subject-specific, associated with phenotype, and different from fMRI. *NeuroImage*. 2020;218:117001. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2020.117001>
 23. Rominger C, Papousek I, Perchtold CM, et al. The creative brain in the figural domain: distinct patterns of EEG alpha power during idea generation and idea elaboration. *Neuropsychologia*. 2018;118(A):13-19. <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.02.013>
 24. Tomarken AJ, Keener AD. Frontal brain asymmetry and depression: A Self-regulatory Perspective. *Cognition and Emotion*. 1998;12:387-420. <https://doi.org/10.1080/026999398379655>
 25. Walter WG. The living brain. London: Duckworth; 1953.

Information about the authors:

Natalia Yu. Smit – PhD, Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor, Department of Human Anatomy. St. Petersburg State Pediatric Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia. E-mail: njusmit@mail.ru.

Mikhail V. Aleksandrov – MD, PhD, Dr. Sci. (Med.), Professor of the Department of Normal Physiology, St. Petersburg State Pediatric Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia; Head of the Department of Clinical Neurophysiology, Head of the Laboratory of Clinical Research in Neurosurgery and Neurology, doctor of functional diagnostics. Russian Scientific Research Neurosurgical Institute named after prof. A.L. Polenov – branch office of the V.A. Almazov National Medical Research Center of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia. E-mail: mdoktor@yandex.ru.

Natalia R. Karelina – MD, PhD, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Human Anatomy. St. Petersburg State Pediatric Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia. E-mail: karelina_nr@gpmu.ru.

Sergey A. Lytaev – MD, PhD, Dr. Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Normal Physiology. St. Petersburg State Pediatric Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia. E-mail: slytaev@gmail.com.

Elena V. Marchenko – doctor of functional diagnostics of the Department of Clinical Neurophysiology. Russian Scientific Research Neurosurgical Institute named after prof. A.L. Polenov – branch office of the V.A. Almazov National Medical Research Center of the Ministry of Health of the Russian Federation, Saint Petersburg, Russia. E-mail: lm_sovushka@mail.ru.