

骑车前和骑车时,男性和女性骑车者的皮层活动是否不同?

Sebastian Ludyga,^{1,2} Thomas Gronwald,³ 和 Kuno Hottenrott²

¹巴塞尔大学; ²马丁路德大学; ³奥托冯格里克大学

尽管建议男性和女性在抗疲劳方面存在差异,但很少通过脑电图(EEG)研究其核心成分中可能存在的性别差异。因此,我们检查了骑自行车运动期间男性和女性骑自行车者($n = 26$)之间皮质活动的差异。参与者进行了一项增量测试,以从乳酸功率曲线得出无氧阈值。此外,在骑自行车运动之前和期间,用脑电图记录骑自行车者的皮层活动。尽管女性在休息时表现出较高的额叶 α 和 β 活动,但在较高强度的骑车过程中,相对EEG光谱功率没有出现性别特异性差异。女性和男性的大脑在次最大循环中的反应相似,因为两性都显示出倒U形的阿尔法功率曲线。因此,休息时可观察到的性别差异在运动开始后消失。

关键词:中枢疲劳,脑电图, α 活动,有氧运动,性别差异,自行车

众所周知,男性和女性的大脑在功能和结构上都存在差异

(Swaab, 2007)。

例如,与男性相比,女性的头盖骨厚度较大,尤其是额骨、顶骨和枕骨(Li, Ruan, Xie, Wang, & Liu, 2007)。此外,大脑的组成因性别而异,这意味着女性的特点是相对灰质体积较高而白质体积较小(Cosgrove, Mazure 和 Staley, 2007年)。这些差异也会对EEG记录的大脑节律产生影响(Haueisen等, 2002)。

在静息状态下,与男性相比,女性表现出更高的 β 活性和更少的 α 活性(Brenner, Ulrich 和 Reynolds, 1995; Hartikainen, Soininen, Partanen, Helkala 和 Riekkinen, 1992)。相比之下,对于耐力运动期间脑电图节律可能存在的性别特异性差异知之甚少,这会引起皮层活动的剧烈变化(Ludyga, Hottenrott 和 Gronwald, 2015b)。然而,运动期间脑电图活动的检查将提供新的见解。

Sebastian Ludyga 就职于瑞士巴塞尔大学运动、运动与健康系,以及德国哈勒市哈勒维滕贝格马丁路德大学性能诊断与健康促进研究所。

Thomas Gronwald 就职于德国马格德堡 Otto von Guericke 大学体育科学系。Kuno Hottenrott 就职于德国哈勒哈勒维滕贝格马丁路德大学运动表现诊断和健康促进研究所以及运动科学系。通过 sebastian.ludyga@unibas.ch 将作者与 Sebastian Ludyga 的信件联系起来。

男性和女性运动员的大脑功能反应以及中枢疲劳。

这种需要进一步研究的事实是在以前的调查中,疲劳中与性别有关的差异主要是用间接方法评估的,例如肌电图。这些研究证实,当给予相似的相对强度时,男性在等长收缩和跑步运动中的疲劳程度高于女性(Glace, McHugh, & Gleim, 1998; Hunter, 2006; Yoon, Schlinder, Griffith, & Hunter, 2007)。

尽管讨论了代谢因素和纤维类型和纤维募集等机械差异,但性别特异性差异的潜在机制仍然未知(Hunter & Enoka, 2001; Yoon et al., 2007)。此外,在肘屈肌持续收缩过程中,神经肌肉激活的更大损害已被证实是男性与女性相比疲劳抵抗力较低的可能原因(Semmler, Kutzscher 和 Enoka, 1999年)。Martin 和 Rattey(2007)表明,在优势腿持续收缩期间,男性比女性更容易感到中枢疲劳。相比之下,Glace, Kremenec 和 McHugh(2013)报告称,男性和女性骑车者在中枢疲劳方面没有差异,尽管在通气阈值下骑车2小时后股四头肌疲劳的中枢和外周成分的贡献在性别之间是不同的。研究结果之间的这种异质性表明需要进一步研究大脑对急性自行车运动的功能反应以及中枢疲劳的脑电图症状可能存在的性别特异性差异。

先前的研究结果表明,骑自行车运动的开始与脑电图谱的增加有关

高于静息值的 alpha 和 beta 频率范围内的功率 (Hottenrott, Taubert, & Gronwald, 2013)。当负荷变得苛刻时,就会观察到特定的大脑激活模式。在剧烈的耐力运动或高强度的感知努力后,主要在额脑区域报告了增加的 α 活动和/或减少的 β 活动 (Brümmer, Schneider, Abel, Vogt 和 Strüder, 2011 年; Nybo 和尼尔森, 2001 年; Schneider, Brümmer, Abel, Askew 和 Strüder, 2009 年), 这表明与高级认知任务和情绪处理相关的大脑区域失活 (Fumoto 等人, 2010 年)。此外,在次最大强度的自行车运动的时间过程中,证实了跨频带的脑电图谱功率的倒 U 形曲线 (Hottenrott 等人, 2013 年)。在这方面,从高原到测试结束时,脑电图谱功率在 alpha 和 beta 波段的降低被解释为中枢疲劳的症状 (Ludyga, Hottenrott, & Gronwald, 2015a; Ludyga 等人, 2015b), 这表示运动神经元近端机制的失败。Baumeister, Reinecke, Schubert, Schade 和 Weiss (2012 年) 通过研究耐力运动引起的疲劳后立即的皮质活动,还证实中枢疲劳与 EEG α 功率的降低有关。同样,在持续的注意力任务中,中枢神经系统的疲劳表现为 α 和 β 活性随着时间的推移而降低 (Jap, Lal, Fischer, & Bekiaris, 2009)。将脑电图谱功率降低作为中枢疲劳症状的研究进一步支持将 α 和 β 活动减少与引起疲劳的手部自主收缩中的中枢抑制联系起来 (Tanaka 和 Watanabe, 2011 年; Tanaka, Ishii 和 Watanabe, 2013 年)。

虽然运动期间的脑电图记录可以检测到中枢疲劳的症状,但之前对性别相关差异的调查仅限于比较运动前与运动后的值。Limbu, Sinha, Sinha 和 Paudel (2014) 证实,与男性同龄人相比,女性在骑自行车 20 分钟 (最大心率的 50%)。相比之下,在跑步机上进行分级运动测试后,没有观察到与性别相关的皮质活动差异,该测试一直进行到筋疲力尽 (Hall, Ekkekakis 和 Petruzzello, 2010 年)。运动后评估的结果无法得出与性别相关的疲劳差异的结论,因为大脑对运动的反应可能会叠加在恢复过程中,例如以脑代谢比率增加为代表的脑代谢改变 (Secher, Seifert, & Van Lieshout, 2008 年)。因此,运动期间的脑电图记录是有必要的,因为阐明中枢疲劳的性别差异是 (A) 理解耐力运动期间大脑形态和皮质功能之间的联系以及 (B) 开发旨在延缓男性疲劳的干预措施的先决条件和妇女。

因此,目前的研究调查了在额叶、中央、

休息时和高强度循环期间的顶叶区域。与女性骑自行车者相比,男性中枢疲劳症状的增加幅度更大,这反映在脑电图 α 和 β 光谱功率的更大下降中。

方法

参与者

在被告知与研究相关的可能风险和益处后,13 名男性 (年龄: 28 ± 3 岁; 体重: 76.8 ± 7.6 公斤; 身高: 181.2 ± 4.8 厘米) 和 13 名女性适度耐力训练骑自行车者 (年龄: 27 ± 3 岁; 体重: 64.6 ± 8.5 公斤; 身高: 172.2 ± 7.0 厘米) 提供了参加实验的知情书面同意。招募的参与者是不吸烟者,在过去 6 个月内平均每周耐力训练量为 07:48 ± 01:54 (hh:mm), 其中每周 05:28 ± 00:38 (hh:mm) 专门用于公路自行车。

根据 DGSP (2007) 的 S1 指南进行初步筛查,以评估参与者的健康状况。他们都没有表现出心血管、代谢、神经、肺部或骨科并发症的迹象。该研究是按照赫尔辛基宣言的伦理原则进行的,并得到了当地伦理委员会的批准。

学习规划

参与者首先以 85-95 rpm 的节奏在高性能自行车测力计 (FES Sport, 德国) 上进行增量运动测试。从最初的 100 W (m) / 80 W (f) 开始, 工作量每 3 分钟增加 25 W, 直到由于参与者筋疲力尽而终止测试, 这被定义为无法保持至少 80 rpm 的节奏。用脉搏监测器 (Polar, RS800, 芬兰) 连续记录心率。

在从耳垂采集的 10 μL 血液中, 使用酶安培法 (Dr. Müller Gerätbau GmbH, Super GL Ambulance, Germany) 分析休息时和每个阶段后的乳酸水平。使用 WinLactat 3.1 (Mesics, Germany) 存储和处理收集的数据。将 Dickhuth 模型 (Dickhuth, Huonker, Münnel, Drexler, Berg, & Keul, 1991) 应用于乳酸功率曲线以得出个体无氧阈值, 女性为 3.58 ± 0.49 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 女性为 3.37 ± 0.38 $\text{mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ 在男性中。

增量测试一周后,在休息和骑自行车运动期间评估参与者的皮质活动。当参与者在自行车测力计上竞速时,睁眼记录静息脑电图节律超过 1 分钟。随后对高性能自行车测力计的测试包括在 150 W (m) / 120 W (f) 下进行 10 分钟的热身,然后进行 30 分钟的强度相当于个人无氧阈值的锻炼和 3 分钟以 150 W (m) / 120 W (f) 冷却。皮层活动 (睁眼) 和心脏

在运动过程中不断记录速率。此外，在五个不同的时间点（热身；16、25 和 34 分钟；冷却）测量血乳酸浓度。在测试之前，参与者被指示将上身和头部运动减少到最低限度。

因此，他们在骑车过程中双手握住车把的下降部分，保持在比赛位置。

在参与者的视线方向放置了一个监视器，以便他们能够跟踪节奏。此信息是必要的，因为参与者必须手动调整踩踏频率以匹配规定的 90 rpm 节奏。

测试设置与 Hottenrott 等人的设置相同。（2013）。所有女性都在黄体期完成了脑电图记录的运动测试。自我报告的月经史数据用于对月经周期进行分类。该方法已被证实对黄体期的鉴定有效（Wojtys、Huston、Boynton、Spindler 和 Lindenfeld,2002 年）。

脑电图记录

在骑自行车运动之前，将 32 个 Ag/AgCl 电极安装到参与者的头部，并带有一个灵活、透气的 EEG 帽（ActiCap, BrainVision, Germany）。他们的安排符合国际 10:20 系统（Jasper, 1958），所有申请程序都与美国脑电图协会（Allen, Coan, & Nazarian, 2004）提出的程序一致。颞部和枕部区域的电极被机械停用，因为已知在运动期间记录脑电图时会在这些位置发生肌肉伪影（Hottenrott 等人,2013 年）。FCz 用作参考，AFz 用作接地。对于最佳信号转导（阻抗低于 10 kΩ），有源电极填充有 SuperVisc 凝胶（EasyCap GmbH, 德国）。使用 QuickAmp 系统和 VisionRecorder（Brain Vision, 德国）以 512 Hz 的采样率放大并记录 EEG 数据。

选择了五个测量周期进行分析：预热（W；第 7 分钟）、第 16 分钟（M1）、第 25 分钟（M2）、第 34 分钟（M3）和冷却（CD；第 43 分钟）。使用 BrainVision Analyzer 2.0（德国）进行数据处理。对于每个记录周期，前 10 秒和最后 10 秒都被删除，以避免调查员的指示对信号的污染。生成的信号经过高通和低通滤波（时间常数 0.0318 s; 24 dB/倍频程），因此保留 3.0 到 40 Hz 的频率范围用于分析。

系统协议用于检测具有阈值的伪影。随后，对所有数据进行目视检查，并确认或拒绝标记的伪影。

在产生的时期内，随机选择 10 秒的无伪影数据样本，并分成 5 个连续的 2 秒段。将汉宁窗（20%）单独应用于每个段，然后使用快速傅里叶变换来获得 alpha-（7.5-12.49 Hz）和 beta-带宽（12.5-32 Hz）的平均功率区域。两个频率的平均活动被导出为前额（F3, F4, Fz, F7, F8 的平均值），中央

（C3, C4, Cz 的平均值）和顶叶区域（P3, P4, P7, P8, Pz 的平均值），然后归一化为静息脑电图。以前的研究人员也使用这种方法来减少个体间和日常变化（Bailey, Hall, Folger, & Miller, 2008; Nybo & Nielsen, 2001）。此外，使用相对谱功率密度可以独立于休息时男性和女性之间的绝对功率谱密度差异分析运动期间脑电图的性别特异性变化。这些标准化程序已被证明可在 90 rpm 运动期间提供准确的 4 周测试-再测试皮质活动可靠性（Ludyga, 2014）。

统计数据

使用适用于 Windows 的 SPSS 21.0（IBM Statistics, USA）对收集的数据进行统计分析。在基于性别的比较之前，数据的高斯分布通过 Shapiro-Wilk 检验进行验证。然后使用单向方差分析来检查男性和女性参与者的静息脑电图节律、参与者的特征和训练量是否不同。分析运动期间性别对频谱 EEG 功率的影响 a₂（性别：男性、女性）× 2（频率：α, β）× 3（区域：额叶、中央、顶叶）× 5（时间：热身, M1, M2, M3, 冷却）对最后一个因素进行重复测量的方差分析被应用。此外，采用 2（性别：男性、女性）× 5（时间）方差分析和重复测量时间来研究心率和乳酸浓度可能存在的性别差异。报告了主要影响（性别、频率、时间和区域）以及相互作用，并计算了影响大小 (η^2)。随后，学生 t 检验用于比较测量时间点之间的皮质活动。显着性水平设定为 $p \leq .05$ 。

结果

虽然所有男性参与者都完成了运动测试，但有 2 名女性无法完成运动回合，因为她们在戴着 EEG 帽骑自行车时感到非常不舒服。训练量 ($F(1,23) = 0.33$; $p = .573$; $\eta^2 = 0.015$) 和年龄 ($F(1,23) = 0.16$; $p = .694$; $\eta^2 = 0.008$) 在两性之间没有显着差异，但男性体重较高 ($F(1,23) = 10.40$; $p = .004$; $\eta^2 = 0.331$) 和身高 ($F(1,23) = 10.04$; $p = .005$; $\eta^2 = 0.323$) 比女性参与者。

生理参数

男性和女性在增量测试中达到了相似的相对最大功率 (4.45 ± 0.51 vs. 4.11 ± 0.50 W/kg; $F(1,23) = 2.51$; $p = .128$; $\eta^2 = 0.107$)。男性和女性自行车运动员在耐力运动期间的平均工作负荷分别为 3.14 ± 0.5 W/kg 和 2.64 ± 0.36 W/kg ($F(1,23) = 5.34$; $p = .031$; $\eta^2 = 0.203$)。特定测量时间点的心率和乳酸浓度显示在表 1 中。统计分析显示时间对心率的主要影响 ($F(4,19) = 148.30$; p

表 1 男性 ($n = 13$) 和女性受试者 ($n = 11$) 心率和血乳酸浓度
骑自行车运动期间 (平均值土标准差)

		热身1 M1 (16分钟)	2 M2 (25分钟)	2 M3 (34分钟)	2 冷却1	
心率,分钟-1	但	109 ± 16	155 ± 9*	160 ± 9*	165 ± 9*	138 ± 14*
	女性	122 ± 15	161 ± 7*	169 ± 7*	173 ± 6*	150 ± 13*
乳酸,mmol·L-1男性		1.52 ± 0.60	4.72 ± 1.34*	5.15 ± 1.54*	5.31 ± 1.62	4.59 ± 1.40*
	女性	1.62 ± 0.59	5.62 ± 1.74*	6.21 ± 1.85*	5.99 ± 1.99	6.14 ± 1.90

1在 150 W (m) / 120 W (f) 下执行。

2在个体无氧阈下进行。

* $p \leq 0.05$ 与之前的测量时间点相比。

$< .001$; $\eta^2 = 0.876$) 和乳酸浓度($F(4,19) = 118.41$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.849$)。对于这两个参数,没有时间 \times 性别相互作用 (心率: $F(4,19) = 0.55$; $p = .542$; $\eta^2 = 0.025$; 乳酸: $F(4,19) = 2.66$; $p = .078$; $\eta^2 = 0.112$)。此外,在个体无氧阈值下,参与者在运动期间的乳酸浓度显著高于乳酸 (5.27 ± 1.11 vs. 3.51 ± 0.77 mmol·L⁻¹; $F(1,23) = 43.59$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.466$)。

脑电图记录

在中央和顶叶区域,静息脑电图 α 没有差异 (中央: 0.046 ± 0.039 mV2 vs. 0.089 ± 0.065 mV2; $F(1,22) = 2.05$; $p = .167$; $\eta^2 = 0.085$; 顶叶: 0.085 ± 0.060 mV2 与 0.111 ± 0.084 mV2; $F(1,22) = 0.47$; $p = .499$; $\eta^2 = 0.021$) 和 β 活性 (中心: 0.015 ± 0.005 mV2 与 0.021 ± 0.010 mV2; $F = 3.82$; $p = .064$; $\eta^2 = 0.148$; 顶叶: 0.033 ± 0.015 mV2

与 0.039 ± 0.020 mV2 相比; $F(1,22) = 0.83$; $p = .373$; $\eta^2 = 0.036$) 在男性和女性参与者之间。在额叶区域,男性的 α 值较低 (0.043 ± 0.016 mV2 vs. 0.092 ± 0.076 mV2; $F(1,22) = 6.11$; $p = .022$; $\eta^2 = 0.217$) 和 β 功率 (0.023 ± 0.011 mV2 vs. 0.044 ± 0.031 mV2; $F(1,22) = 9.02$; $p = .007$; $\eta^2 = 0.291$)。

表 2 提供了运动过程 (热身、M1、M2、M3 和冷却) 期间的描述性 EEG 频谱功率值。时间的显着主效应 ($F(4,19) = 13.26$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.376$) 和区域 ($F(2,21) = 4.93$; $p = .014$; $\eta^2 = 0.183$) 在运动期间的脑电图谱功率上得到证实。此外,存在时间 \times 频率相互作用 ($F(4,19) = 3.90$; $p = .011$; $\eta^2 = 0.151$) 和时间 \times 区域相互作用 ($F(8,15) = 6.19$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.220$)。性别与时间 ($F(4,19) = 1.22$; $p = .917$; $\eta^2 = 0.006$)、频率 ($F(1,22) = 0.85$; $p = .366$; $\eta^2 = 0.037$) 或区域 ($F(2,21) = 1.55$; $p = .255$; $\eta^2 = 0.066$)。脑电图 α ($t(23) =$

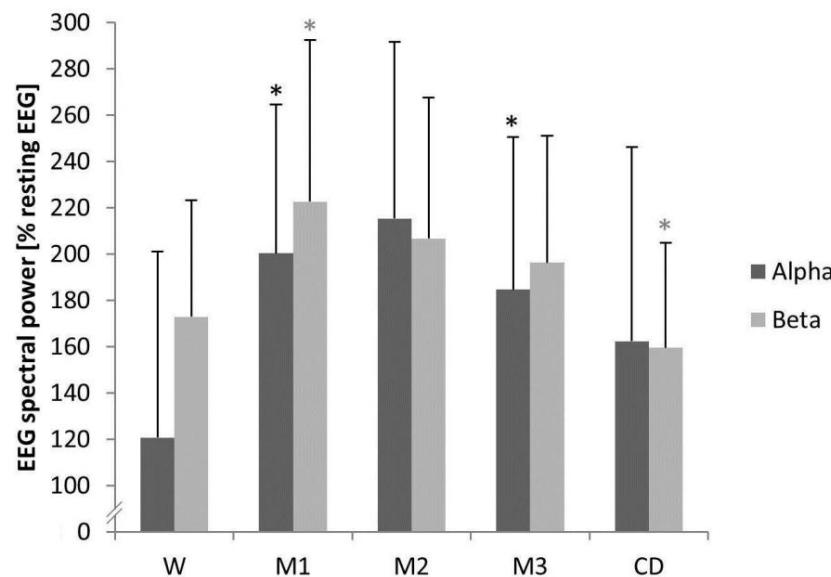


图 1 - 在个体无氧阈下骑自行车运动期间,额叶、中央和顶叶区域平均脑电图谱功率的时间 \times 频率相互作用。* $p \leq .05$ 与前一个相同频段内的测量时间点相比; W = 热身 (m: 150 W; f: 120 W); M1 = 第 16 分钟; M2 = 第 25 分钟; M3 = 第 34 分钟; CD = 冷却 (m: 150 W; f: 120 W)。

-4.09 ; $p < .001$) 和 beta 功率($t(23) = -3.01$; $p = .006$) 从预热到 M1 增加 (图 1)。此外, α 功率从 M2 降低到 M3 ($t(23) = 2.74$; $p = .012$) 并且 beta 功率从 M3 降低到冷却 ($t(23) = 3.78$; $p = .001$)。关于地形分布, 脑电图谱功率增加

从热身到 M1 跨区域 (额叶: $t(23) = -3.70$; $p = .001$; 中部: $t(23) = -3.78$; $p = .001$; 顶叶: $t(23) = -2.86$; $p = .009$), 随后额叶区域从 M1 减少到 M2 ($t(23) = 2.33$; $p = .029$), 中部从 M2 减少到 M3 ($t(23) = 3.57$; $p = .002$) 和顶叶 ($t(23) = -2.16$; $p = .042$) 区域 (图 2)。

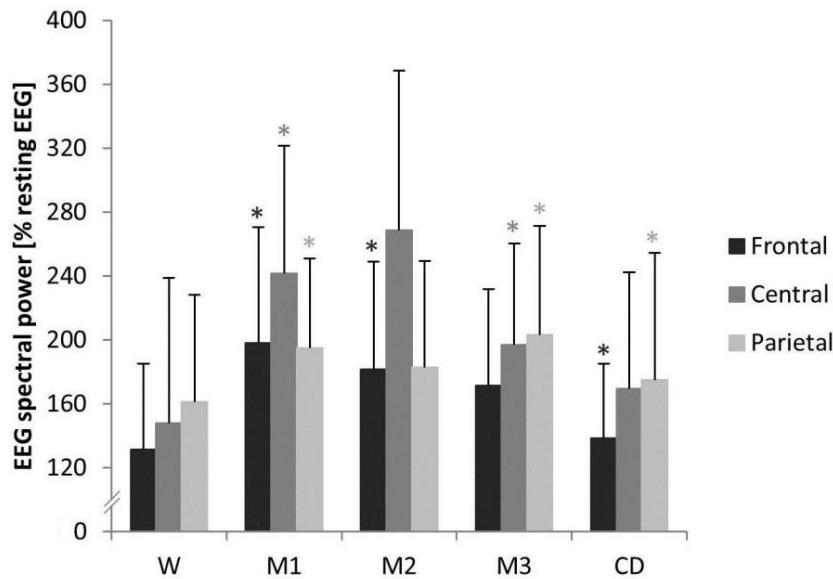


图 2 - 在个体无氧阈下骑自行车运动期间脑电图谱功率的时间 \times 区域相互作用。* $p \leq .05$ 与同一区域前一个测量时间点相比; W = 热身 (m:150 W; f:120 W); M1 = 第 16 分钟; M2 = 第 25 分钟; M3 = 第 34 分钟; CD = 冷却 (m:150 W; f:120 W)。

表 2 男性 ($n = 13$) 和女性受试者 ($n = 11$) 骑自行车期间的 Alpha 和 Beta 功率
锻炼 (平均值±标准差)

	热身1	M1 (16分钟)2	M2 (25分钟)2	M3 (34分钟)2	冷却1
阿尔法,% 静息脑电图					
正面	但 115.9 ± 75.1	240.2 ± 91.4	226.2 ± 67.2	189.4 ± 63.4	165.5 ± 85.2
	女性 112.4 ± 64.5	160.4 ± 66.0	159.5 ± 91.1	147.7 ± 64.2	124.2 ± 57.9
中央	但 131.6 ± 140.9	233.7 ± 75.0	263.3 ± 106.1	185.1 ± 85.9	181.5 ± 127.5
	女性 96.1 ± 77.0	199.5 ± 83.9	250.3 ± 142.5	191.5 ± 97.2	158.1 ± 65.9
顶叶	但 140.9 ± 85.7	178.0 ± 83.9	198.6 ± 88.4	203.5 ± 91.5	185.5 ± 144.7
	女性 127.2 ± 88.8	189.4 ± 90.3	193.8 ± 98.3	190.4 ± 105.3	158.6 ± 66.1
Beta,% 静息脑电图					
正面	但 156.1 ± 72.4	210.0 ± 123.4	194.9 ± 110.7	194.4 ± 115.3	147.1 ± 55.6
	女性 140.8 ± 36.7	181.5 ± 78.1	145.5 ± 67.4	153.7 ± 71.2	116.6 ± 39.0
中央	但 177.2 ± 61.1	262.6 ± 138.7	262.1 ± 123.9	185.3 ± 58.4	164.1 ± 56.4
	女性 185.9 ± 99.8	269.8 ± 141.7	298.8 ± 118.7	225.8 ± 106.4	173.3 ± 75.6
顶叶	但 180.9 ± 61.8	195.3 ± 72.7	163.9 ± 53.2	207.8 ± 65.8	181.4 ± 64.5
	女性 195.8 ± 68.6	216.2 ± 41.8	174.5 ± 73.3	210.2 ± 76.5	174.3 ± 65.2

1在 150 W (m) / 120 W (f) 下执行。

2在个体无氧阈下进行。

讨论

目前的结果不支持在恒定工作量下运动期间皮质活动的性别特异性差异。在这方面,男性和女性参与者在骑自行车运动的时间过程中的脑电图谱功率曲线相似。与低工作量下的热身和放松相比,参与者在更高强度的骑行过程中表现出更大的跨区域的阿尔法和贝塔活动。这种从热身到更高工作量的变化表明强度对脑电图谱功率的影响,此前已在额叶、中央和顶叶区域的自行车测力计的分级运动测试中证实了这一点 (Bailey 等人,2008 年;Ludyga 等人,2015b)。

较高强度的皮层活动变化归因于脑血流速度的增加,这是满足与高工作量相关的大脑代谢需求所必需的 (Secher 等,2008)。此外,增加来自感觉传入的反馈、募集额外的 α 运动神经元和锥体神经元已被讨论为在较高运动强度下增加脑电图谱功率的潜在机制 (Brümmer 等人,2011;Ludyga 等人,2015b;Schneider 等人,2009)。没有性别特异性差异表明,男性和女性骑车者的皮层活动的变化是由于觉醒的改变,这可能是由于对急性运动的反应增加了感觉和心血管流量 (Buckworth,Dishman,O'Connor,&汤波罗夫斯基,2013)。

在骑自行车运动的时间过程中,参与者的 alpha 和 beta 光谱功率在额叶、中央和顶叶区域遵循倒 U 形曲线。

这种弯曲的形式之前已经报道过 (Hot tenrott et al., 2013; Woo, Kim, Kim, Petruzzello, & Hatfield, 2009), 光谱功率的降低被解释为中枢疲劳的症状 (4.75–12.5 Hz:Baumeister 等人, 2012; 4.5–32.0 Hz:Ludyga 等人,2015a)。有趣的是,用 NIRS 测量的脑氧合遵循非常相似的模式 (Bhambhani,Malik 和 Mookerjee, 2007 年;Ekkekakis,2009 年), 因此 α 功率的变化可能部分反映了脑代谢的急性适应。 α 活动与脑血流量的相关性进一步支持了这一假设,目前仅在静息状态下进行了研究 (Copersino,Herning, Better,Cadet 和 Gorelick,2009;Sigmon,Herning,Better, Cadet 和 Griffiths , 2009)。因此,需要未来的运动研究来确认这种联系是否也存在于更高强度的自行车运动中。由于在当前研究中,男性和女性骑车者的 α 和 β 功率降低相似,因此疲劳的核心成分的增加在性别之间没有差异。这一结果与 Glace 等人的冲突。 (2013 年),他通过评估在通气阈值下骑车时的中枢激活率和外周磁刺激引起的力,证实了疲劳的性别特异性机制。

这种异质性可能是由于运动持续时间的差异,因为预计中枢疲劳会随着骑车时间的延长而增加。

与脑电图谱功率从 M2 降低到 M3 类似,额叶的失活被认为是中枢疲劳的机制 (Dietrich,2006;Schneider 等,2009;Tempest, Eston 和 Parfitt,2014)。尽管心率和乳酸浓度有所提高,但当前研究中的男性和女性骑车者并未表现出额叶失活,因为 α 和 β 功率从热身到更高强度的跨区域骑行都增加了。首先,可能需要更高的工作量或更长的持续时间来诱导高级认知的抑制。这表明可以通过降低功率谱密度及早识别中枢疲劳的症状,而在接近疲惫的状态下可能会检测到额叶失活。由于次最大循环通常不会在 30 分钟内导致筋疲力尽,这可以解释为什么无法观察到额叶失活。其次,运动后脑电图记录主要报道了增加的 α 活动和/或减少的 β 活动 (Brümmer 等人,2011;Schneider 等人,2009), 表明运动期间的脑电图可能表现出不同的功能反应由于时间差异 (运动与运动后脑电图) 导致的大脑。然而,额叶区域没有性别特异性失活表明男性和女性骑自行车者之间疲劳的核心成分没有差异。

与运动期间的脑电图相比,女性在休息时的皮质活动与男性不同,因为男性参与者的特征是额叶 α 和 β 活动较低。先前的研究还报道了静息条件下脑电图节律的性别差异 (Brenner 等,1995; Hartikainen 等,1992)。这可能部分是由于形态差异,已知这些差异会对电生理参数产生影响 (Frodl 等,2001)。准确地说,EEG α 功率与潜在的颅骨厚度之间存在负相关 (Hagemann,Hewig, Walter 和 Naumann,2008 年)。

Lynnerup,Astrup 和 Sejrsen (2005) 发现,与女性相比,男性的双倍体厚度更大,这与总颅顶厚度相关,仅在额脑区域。这可能解释了中央和顶叶区静息脑电图节律缺乏性别相关差异。此外,颅内来源,如激素效应,也被报道为脑电图变化的潜在机制 (Gawali,Rokade, Janvale 和 Mehrotra,2009 年)。在女性中,皮质活动对月经期很敏感,因此黄体期特有的高雄激素和孕酮水平 (Guapo,Graeff, Zani,Labate,dos Reis 和 Del-Ben,2009)与增加的 α 功率有关 (金田,生田,中山,香川和古田,1997 年)。在某种程度上,与性别相关的差异可能会根据女性参与者当前的月经阶段而有所不同。

必须谨慎解释研究结果,因为不能排除在骑自行车运动期间缺乏与性别相关的主要皮质活动差异是由于方法学的限制。男人和

根据相似的培训水平对妇女进行比较。然而,相似的训练量并不一定能保证性能一致 (Ring-Dimitriou et al., 2008)。因此,比较具有相似健康状态的男性和女性参与者之间的皮质活动可能会导致不同的发现。此外,男性和女性参与者的认知表现或智商不匹配,尽管已知这些变量以及其他因素会对脑电图节律产生影响 (撒切尔、诺斯和比弗,2007)。运动期间的乳酸浓度表明,骑自行车期间的运动强度高于个体无氧阈值,但仍被视为次最大负荷。目前尚不清楚这种强度的增加是否改变了男性和女性大脑对运动的功能反应。

此外,女性的皮层活动也受其当前月经阶段的影响 (Gawali 等, 2009),该阶段在当前研究中得到控制。然而,由于女性参与者在黄体期完成了运动测试,尚不清楚在其他月经期是否可以观察到性别差异。

总之,较高强度的自行车运动引起大脑的类似反应,这反映在额叶、中央和顶叶区域的男性和女性参与者的脑电图谱功率测量中。两性在次最大强度运动期间均显示脑电图谱功率的倒 U 形曲线,而心率和乳酸浓度随着运动持续时间稳步增长。因此,当给予相似的训练水平时,可以在男性和女性骑自行车者的脑电图中发现类似的中枢疲劳症状。

参考

Allen, JJB, Coan, JA 和 Nazarian, M. (2004)。从原始信号到额叶 EEG 情绪不对称指标的道路上的问题和假设。额叶脑电图不对称、情绪和精神病理学, 67 (1-2) ,183-218。

考研

Bailey, SP, Hall, EE, Folger, SE 和 Miller, PC (2008)。卧式自行车测力计分级运动期间脑电图的变化。运动科学与医学杂志, 7 (4) ,505-511。[考研](#)

Baumeister, J.,Reinecke, K.,Schubert, M.,Schade, J. 和 Weiss, M. (2012)。诱导疲劳对感觉运动控制期间大脑活动的影响。欧洲应用生理学杂志, 112 (7) ,2475-2482。PubMed doi:[10.1007](#)

[s00421-011-2215-6](#)

Bhambhani, Y.,Malik, R. 和 Mookerjee, S. (2007)。运动强度高于呼吸补偿阈值时,脑氧合下降。呼吸生理学和神经生物学, 156 (2) ,196-202。[考研](#)

[doi:10.1016/j.resp.2006.08.009](#)

Brenner, RP, Ulrich, RF, & Reynolds, CF, 3rd。 (1995 年)。健康、老年男性和女性的脑电图谱发现 - 性别差异。脑电图和临床神经生理学, 94 (1) ,1-5。[考研](#)

[doi: 10.1016 / 0013-4694 \(94\) 00234-C](#)

Brümmer, V., Schneider, S., Abel, T., Vogt, T., & Strüder, HK (2011)。大脑皮层活动受运动模式和强度的影响。运动和锻炼中的医学和科学, 43 (10) ,1863-1872。PubMed doi:[10.1249/](#)

[MSS.0b013e3182172a6f](#)

Buckworth, J.,Dishman, R.,O'Connor, PJ 和 Tomporowski, PD (2013)。运动心理学 (第 2 版)。伊利诺伊州尚佩恩:人体动力学。

Copersino, ML, Herning, RI, Better, W., Cadet, JL., & Gorelick, DA (2009)。慢性可卡因使用者的脑电图和脑血流速度异常。临床脑电图和神经科学, 40 (1) ,39-42。

[PubMed doi:10.1177/155005940904000111](#)

Cosgrove, KP, Mazure, CM 和 Staley, JK (2007)。不断发展的关于大脑结构、功能和化学方面的性别差异的知识。生物精神病学, 62 (8) ,847-855。

[PubMed doi:10.1016/j.biopsych.2007.03.001](#)

DGSP——德国运动医学与预防协会。 (2007 年 10 月 10 日)。 S1 指南。运动中的预防性体检。取自<http://www.dgsp.de/>

[运动医学检查应用指南等.php](#)

Dickhuth, H., Huonker, M., Münzel, T., Drexler, H., Berg, A., & Keul, J. (1991)。评估竞技运动员和左心室功能障碍患者的个体无氧阈值。在 N. Bachl, TE Graham 和 H.

Löllgen (Eds.), 测功学进展(pp. 173-179)。

柏林,海德堡:斯普林格。doi:[10.1007/978-3-642-76442-4_26](#)

迪特里希,A. (2006 年)。短暂的hypofrontality作为运动的心理影响的机制。精神病学研究, 145 (1) ,79-83。PubMed doi:[10.1016/j.psychres.2005.07.033](#)

Ekkekakis, P. (2009)。照亮黑匣子:用近红外光谱研究运动过程中的前额皮质血流动力学。运动与运动心理学杂志, 31 (4) ,505-553。[考研](#)

Frodl, T., Meisenzahl, EM, Müller, D., Leinsinger, G., Juckel, G., Hahn, K.,。美国黑格尔 (2001 年)。头骨对事件相关 P300 的影响。临床神经生理学, 112(9), 1773-1776。PubMed doi:[10.1016/S1388-2457\(01\)00587-9](#)

Fumoto, M., Oshima, T., Kamiya, K., Kikuchi, H., Seki, Y., Nakatani, Y.,。有田,H. (2010)。踩踏运动期间的腹侧前额叶皮层和血清素能系统激活会导致负面情绪改善和脑电图阿尔法带增加。行为脑研究, 213 (1) ,1-9。PubMed doi:[10.1016/j.bbr.2010.04.017](#)

Gawali, BW, Rokade, PB, Janvale, GB 和 Mehrotra, SC (2009)。卵巢激素和大脑信号。神经科学年鉴, 16 (2) ,72-74。doi:[10.5214/ans.0972.7531.2009.160209](#)

Glace, BW, McHugh, MP, & Gleim, GW (1998)。2 小时跑步对男性和女性代谢经济和下肢力量的影响。骨科和运动物理治疗杂志, 27 (3) ,189-196。[考研](#)

[doi: 10.2519 / jospt.1998.27.3.189](#)

Glace, BW, Kremenic, IJ 和 McHugh, MP (2013)。骑自行车者疲劳的中枢和外周机制的性别差异。欧洲应用生理学杂志, 113 (4) ,1091-1098。PubMed doi:[10.1007/s00421-012-2516-4](#)

- Guapo, VG, Graeff, FG, Zani, Labate, CM, dos Reis, RM, & Del-Ben, CM (2009)。性激素水平和月经周期阶段对情绪面孔处理的影响。心理神经内分泌学, 34 (7), 1087-1094。 [PubMed doi:10.1016/j.psyneu.2009.02.007](#)
- Hagemann D, Hewig J, Walter C 和 Naumann E (2008 年)。颅骨厚度和脑电图阿尔法活动的幅度。临床神经生理学, 119 (6), 1271-1280。[考研 doi: 10.1016/j.clinph.2008.02.010](#)
- Hall, EE, Ekkekakis, P., & Petruzzello, SJ (2010)。使用静息脑电图额叶不对称预测对运动的情感反应:强度重要吗?生物心理学, 83 (3), 201-206。 [PubMed doi:10.1016/j.bps.2009.11.001](#)
- 生物心理学.2010.01.001**
- Hartikainen, P., Soininen, H., Partanen, J., Helkala, EL 和 Riekkinen, P. (1992)。正常受试者脑电图的老化和光谱分析:与记忆和脑脊液 AChE 的联系。斯堪的纳维亚神经学学报, 86 (2), 148-155。[考研 doi:10.1111/j.1600-0404.1992.tb05057.x](#)
- Haueisen, J., Tuch, DS, Ramon, C., Schimpff, PH, Wedeen, VJ, George, JS, & Belliveau, JW (2002)。脑组织各向异性对人类脑电图和脑电图的影响。神经影像学, 15 (1), 159-166。 [PubMed doi:10.1006/nimg.2001.0962](#)
- Hottenrott, K., Taubert, M. 和 Gronwald, T. (2013)。皮层大脑活动受骑自行车节奏的影响。开放体育科学杂志, 6 (1), 9-14。 [doi:10.2174/1875399X01306010009](#)
- 亨特,SK (2006 年)。对于等长疲劳收缩,男性和女性之间的活动性充血和血管传导不同。应用生理学杂志, 101 (1), 140-150。 [PubMed doi:10.1152/japplphysiol.01567.2005](#)
- Hunter, SK 和 Enoka, RM (2001)。手臂肌肉疲劳性的性别差异取决于等长收缩期间的绝对力量。应用生理学杂志, 91 (6), 2686-2694。[考研](#)
- Jap, BT, Lal, S., Fischer, P. 和 Bekiaris, E. (2009)。使用 EEG 频谱分量来评估用于检测疲劳的算法。具有应用程序的专家系统, 36 (2, 第 1 部分), 2352-2359。 [doi:10.1016/j.eswa.2007.12.043](#)
- 贾斯珀,HH (1958 年)。国际联合会的十个二十电极系统。脑电图和临床神经生理学, 10, 371-375。
- Kaneda, Y., Ikuta, T., Nakayama, H., Kagawa, K., & Furuta, N. (1997)。月经周期健康女性的视觉诱发电位和脑电图。医学调查杂志, 44 (1-2), 41-46。[考研](#)
- Li, H., Ruan, J., Xie, Z., Wang, H., & Liu, W. (2007)。利用医学图像分析技术研究活人头骨的关键几何特征。国际车辆安全杂志, 2(4), 345. [doi:10.1504/IJVS.2007.016747](#)
- Limbu, N., Sinha, R., Sinha, M. 和 Paudel, BH (2014)。急性有氧运动前后的基于性别的脑电图。亚洲医学杂志, 6 (2), 29-34。 [doi:10.3126/ajms.v6i2.11116](#)
- Ludyga, S., Gronwald, T., & Hottenrott, K. (2015a)。高与低节奏训练对骑自行车者在运动期间大脑皮层活动的影响。科学杂志
- 运动医学。[提前在线发布] [PubMed doi:10.1016/j.jsams.2015.04.003](#)
- Ludyga, S., Hottenrott, K. 和 Gronwald, T. (2015b)。不同训练负荷和环境条件对脑电活动的影响。Deutsche Zeitschrift für Sportmedizin, 66(5), 113-120. [doi:10.5960/dzsm.2015.177](#)
- Ludyga, S. (2014)。 (第 124 卷)。自行车训练后大脑功能的适应:自行车运动中高频和低频训练对中枢神经活动和有氧和无氧耐力能力的影响。体育科学著作。汉堡:Kova.
- Lynnerup, N., Astrup, J. 和 Sejrsen, B. (2005)。与年龄、性别和一般体型有关的人类颅骨双股厚度。头面部医学, 1 (1), 1-7。[考研 doi: 10.1186 / 1746-160X-1-13](#)
- Martin, PG 和 Rattey, J. (2007)。中枢疲劳解释了肌肉疲劳的性别差异和最大收缩的对侧交叉效应。Pflügers 档案, 454 (6), 957-969。 [PubMed doi: 10.1007/s00424-007-0243-1](#)
- Nybo, L. 和 Nielsen, B. (2001)。在进行性高热运动期间,感知到的劳累与改变的大脑活动有关。应用生理学杂志, 91 (5), 2017-2023。[考研](#)
- Ring-Dimitriou, S., von Duvillard, SP, Stadlmann, M., Kin nunen, H., Drachta, O., Müller, E., .. 峰, K. (2008 年)。在使用和不使用运动遥测监视器的情况下,适度健康的成年人的身体健康变化。欧洲应用生理学杂志, 102 (5), 505-513。 [PubMed doi:10.1007/s00421-007-0615-4](#)
- Schneider, S., Brümmer, V., Abel, T., Askew, CD 和 Strüder, HK (2009)。脑电图测量的大脑皮层活动变化与个人运动偏好有关。
- 生理学与行为学, 98 (4), 447-452。[考研 doi:10.1016/j.physbeh.2009.07.010](#)
- Secher, NH, Seifert, T., & Van Lieshout, JJ (2008)。运动期间的脑血流量和新陈代谢对疲劳的影响。应用生理学杂志, 104 (1), 306-314。 [PubMed doi: 10.1152/japplphysiol.00853.2007](#)
- Semmler, JG, Kutzscher, DV 和 Enoka, RM (1999)。人类骨骼肌易疲劳性的性别差异。神经生理学杂志, 82 (6), 3590-3593。[考研](#)
- Sigmon, SC, Herning, RI, Better, W., Cadet, JL, & Griffiths, RR (2009)。咖啡因戒断、急性效应、耐受性和长期给药的净有益效应的缺失:脑血流速度、定量 EEG 和主观效应。精神药理学, 204 (4), 573-585。 [PubMed doi:10.1007/s00213-009-1489-4](#)
- 斯瓦布, DF (2007)。大脑和行为的性别分化。最佳实践与研究。临床内分泌学和代谢, 21 (3), 431-444。[考研 doi:10.1016/j.beem.2007.04.003](#)
- Tanaka, M., Ishii, A. 和 Watanabe, Y. (2013)。身体疲劳期间促进系统的神经机制。公共科学图书馆一号, 8 (11), e80731。 [PubMed doi:10.1371/期刊。看跌期权.0080731](#)
- Tanaka, M. 和 Watanabe, Y. (2011)。神经补偿机制可在身体疲劳期间调节运动输出。大脑研究, 1395, 46-52。 [PubMed doi:10.1016/j.brainres.2011.04.041](#)

暴风雨, GD, 埃斯顿, RG, & Parfitt, G. (2014)。运动期间的前额叶皮层血流动力学和情感反应:多通道近红外光谱研究。

公共科学图书馆一号, 9(5),e95924。 PubMed doi:[10.1371/期刊。0095924](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0095924)

Thatcher, RW, North, D., & Biver, C. (2007)。使用低分辨率电磁断层扫描 (LORETA) 的智能和脑电图电流密度。人脑图谱, 28 (2), 118-133。 PubMed doi:[10.1002/hbm.20260](https://doi.org/10.1002/hbm.20260)

Wojtys, EM, Huston, LJ, Boynton, MD, Spindler, KP, & Lindenfeld, TN (2002)。月经周期对女性前交叉韧带损伤的影响由激素水平决定。美国运动医学杂志, 30 (2), 182-188。考研

Woo, M., Kim, S., Kim, J., Petruzzello, SJ, & Hatfield, BD (2009 年)。检查运动影响剂量反应关系:持续时间是否影响额叶脑电图不对称?国际心理生理学杂志, 72 (2), 166-172。 PubMed doi:[10.1016/j.jpsycho.2008.12.003](https://doi.org/10.1016/j.jpsycho.2008.12.003)

Yoon, T., Schlinder, DB, Griffith, EE 和 Hunter, SK (2007)。男性和女性在低强度和高强度疲劳性收缩后的疲劳机制不同。肌肉与神经, 36 (4), 515-524。 PubMed doi:[10.1002/mus.20844](https://doi.org/10.1002/mus.20844)

投稿时间:2015 年 3 月 24 日

接受修订:2015 年 10 月 8 日