

在教室里测量脑电波

Nienke van Atteveldt^{1*}, Tieme W. P. Janssen² 和 Ido Davidesco³

¹约克大学心理学系, 睡眠、语言和记忆实验室 (英国, 约克)

²教育神经科学中心 (英国, 伦敦)

³伦敦大学伯贝克学院心理科学系, 发展性神经认知实验室, (英国, 伦敦)

少年审稿人

THE
SCHOOL
FOR
SCIENCE
AND MATH
AT
VANDERBILT



年龄: 14-15

脑电波 (Brain Waves)

同时激活多组神经元而产生的周期性电流。

神经元 (Neurons)

通过传递电信号互相交流的脑细胞。

曾经, 脑科学家们只在大学或医院的专门实验室里开展对大脑的研究。近年来, 研究者们开始使用可便携的头戴设备, 实现了让脑科学研究走出实验室。例如, 这些设备帮助研究者们测量在学校课堂上学生们的脑活动。这一切看似充满了未来感, 甚至不免有些让人担忧。在本文中, 我们将会解释便携式设备可以测些什么, 比如, 你可能无法用它们来读心! 此外, 这类真实场景中的研究又有哪些现实价值。

你听说过脑电波吗? 你好奇它们是什么吗? 在本文中, 你将会了解到什么是脑电波, 在实验室中是如何测量的, 以及测量的有趣之处。

脑电 (EEG): 测量脑中的电活动

我们大脑中的细胞叫做神经元, 在脑中大约有 860 亿个。这些神经元很“爱聊天”, 就像教室里的学生们闲聊起来一样, 七嘴八舌停不下来。但它们彼此之间的沟通并非通过文字, 而是用产生的电信号互通信息。这些信号的强度像波浪般上下起伏, 这就是你的脑电波。科学家用一种称为脑电 (简称 EEG) 的技术来测量脑电波, 被试会带上带有电极的小型传感器装置 [1]。通常情况下, 用一个帽子可以固定住所有的电极 (最多可达 256 个), 而随着技术的进步, 越来越多的便携式设备用到了更少的电极,

脑电 (Electroencephalography, 简称 EEG)

一种附带有小型传感器的帽子或头盔置于被试头皮上进行测量的技术。脑电能够测量多组神经元同时传递类似的电信号。

电极 (Electrode)

固定在头皮上的传感器, 在 EEG 中用于记录脑中神经元产生的电流。

频率 (Frequency)

脑电波的速度, 指 1 秒内脑电波起伏的次数。单位是赫兹 (Hertz), 一赫兹代表每秒一个周期。

图 1

从慢到快排列的 EEG 频段及其与个体心理状态的关系。脑电波频率的单位是赫兹 (Hertz), 指的是每秒波动的次数。

频段 (Frequency Band)

与特定心理状态相关联的脑电波的频率范围。例如, 在 1-4Hz 范围的频率叫 δ 波, 与深度睡眠有关。

事件相关电位 (Event-related potential, 简称 ERP)

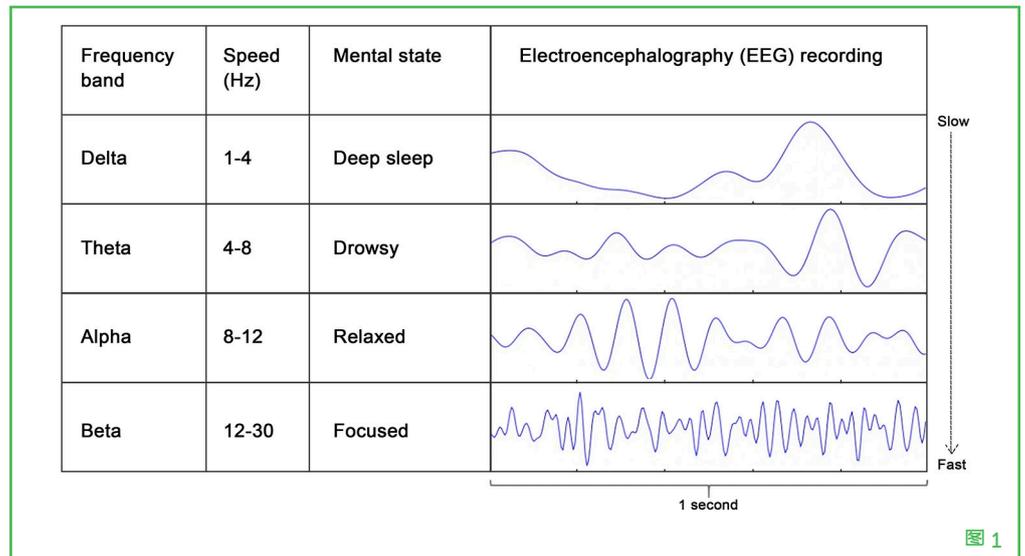
用 EEG 测量。ERP 是大脑对特定事件的电学反应, 例如听到某个声音或读出某个单词。在 ERP 测试中, 被试执行一项重复事件或刺激的计算机任务。通过计算这些事件所激发的 EEG 信号的平均值, 这一步求平均会使随机的脑活动被剔除, 而与 EEG 相关的部分会被保留下来, 这就是 ERP。

并固定在一个更为美观的头戴设备上。EEG 并不能测量单个神经元的电活动, 原因是一个神经元单独产生的电流实在太小了, 只有多个神经元同时发出类似电信号的电流才能被检测到。就好比一场上千人参加的音乐节, 当只有一个人拍手时, 台上的乐队根本听不见, 但是当所有听众一起拍手, 那必定响彻云霄了。

脑电波: 快与慢

脑电波的速度不尽相同。你可以把慢的脑电波想象成大海里的大波浪, 是一艘船前进的动力; 而快的脑电波如同水面上的小浪花。当研究者使用 EEG 开展实验时, 将会获得一系列快慢组合的脑电波。

那么, 研究这些有意思在哪里呢? 想象一下, 你在某天清晨睡眠惺忪, 还有些起床气。倘若此时, 研究人员用 EEG 测量你的脑电波, 就会看到相对较慢的波动。换一个学校场景, 你即将参加一场测试, 注意力高度紧张。在这种情况下, 就可以测得更快的脑电波。上述例子表明, 脑电波的速度与你所在的状态息息相关。脑电波的速度被称为**频率**, 单位是赫兹 (Hz), EEG 能够识别不同的频率范围。例如, δ 波的范围为每秒波动 1-4 次, 即 1-4Hz, 对应相对较慢的脑电波。图 1 展示了各频率范围 (也叫作**频段**) 及其与心理状态的关联。



事件相关电位 (ERP): 不止快与慢

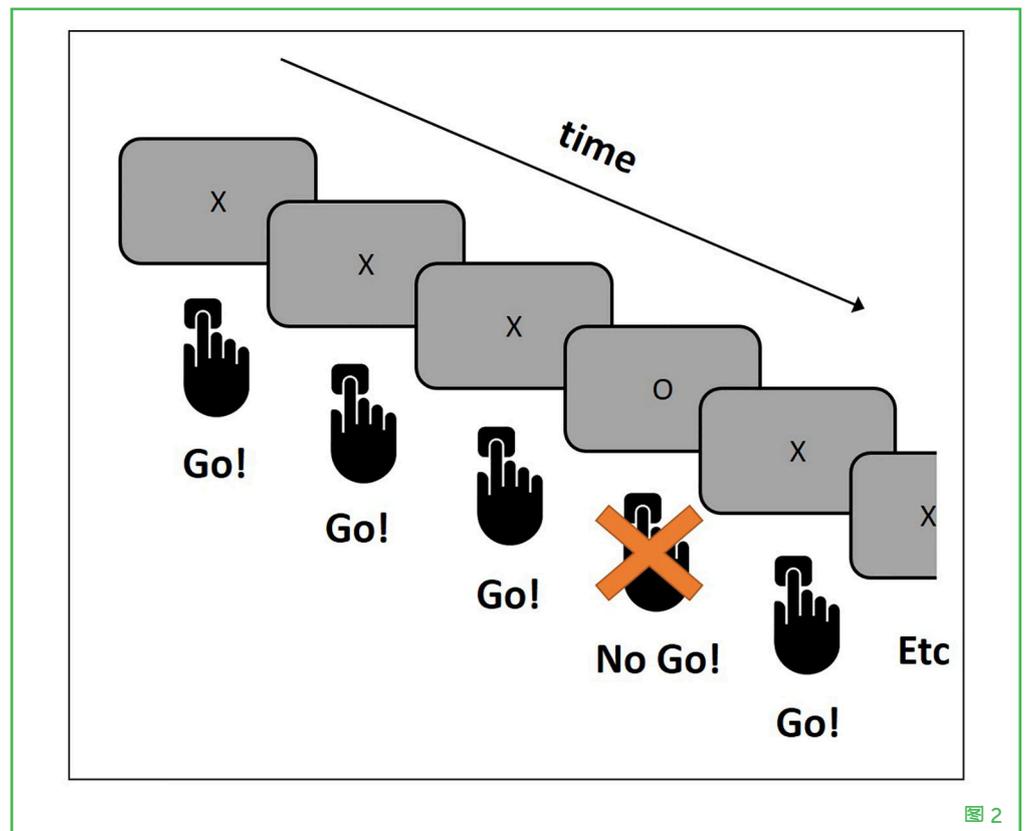
尽管研究 EEG 频段很有意思, 但仅仅通过分析频段并不能回答所有问题。例如, 如果你想知道你的大脑如何理解语言, 如何抑制冲动 (比如你实在忍不了叽叽喳喳的妹妹) 等, 面对此类问题, 研究者们用一种叫做事件相关电位的方式 (Event-related potential, 简称 ERP) 来分析脑电波。ERP 是大脑对特定事件的电学反应。例如, 当你读某个单词或抑制某个冲

动时。在 ERP 分析方法中, 可以检测到某一特定事件引发的部分 EEG 信号。用了这一方法, EEG 信号在被试执行计算机任务时会做记录, 用来研究一个特定脑区的脑功能功能, 如冲动抑制。

以"Go/No-Go"范式为例(如图 2), 不同的字母接连出现在屏幕上,"X"代表"按键"(Go!),"O"代表"不要按键"(No Go!)。在这项任务中"X"出现的频率比"O"高很多, 所以被试需要自动做好准备。当屏幕上出现字母时就需要做出反应(即使出现的是"O"), 被试需要控制其在看见"O"时按键的冲动。任务结束后, 研究人员会分析在"X"和"O"出现在屏幕上时记录下的 EEG 波动情况。你能猜到研究人员对哪个字母出现时的波动更感兴趣吗?

图 2

Go/No-Go 范式。字母 X 和 O 在屏幕上依次出现。被试被要求在看见 X 时尽快按键, 并在看见 O 时不要按键。X 出现得很频繁, 而 O 仅少量出现。这使得被试很难在屏幕上出现 O 时抑制按键的冲动。



答案是, 研究人员对出现"O"时的 EEG 反应更感兴趣。因为这时被试要抑制按键的冲动。为了分析大脑对"O"的抑制反应, 研究人员将每次"O"出现时的 EEG 反应分离出来, 并计算出平均反应时。对这一特定事件的 EEG 平均反应时就是 ERP, 它反映了大脑对抑制一个冲动的表现。你可以把 ERP 的计算过程想象成一个筛子, 将 EEG 信号中的无关部分筛除, 只剩下研究人员最关心的信号。

实验室研究的局限性

科学家们通过在实验室中做 EEG 和 ERP 的实验了解了很多关于大脑是如何工作的奥秘。当他们做上述实验时, 研究人员通常会测量人们做计算机任务时的脑活动。这类任务被设计用来测量特定脑区的脑功能, 如读词句、做算术, 或抑制冲动。通常, 实验室的任务和我们日常生活中的事务差别很大。

例如, 想想那个有很多“X”和少量“O”的用来研究冲动抑制的任务。这和你在老师眼皮底下时, 还忍不住乱动或找同学聊天的冲动时情况一样吗? 在 EEG 实验中, 你会独自坐在一个安静的房间里, 进行一个类似按键和不按键的任务, 通过研究实验室中的实验可以让我们了解大脑是如何抑制冲动的, 但至于研究结果对孩子们如何在学校抑制冲动有什么启示, 这便是实验室研究的一个局限, 因为测量的脑活动是在相对非自然的情况下进行的。

在课堂中应用便携式 EEG 设备

另一个在实验室中难以研究的人类行为是, 人们是如何开展交往的。例如, 在学校里同学们之间的交往, 实验室研究在回答这一问题时极其受限。但随着近些年来便携式 EEG 技术的发展, 使得科学家们可以在实验室外对大脑开展研究。

这正是纽约大学的一个研究团队目前正在开展的一项研究 [3]。他们与当地一所中学合作, 通过跟踪 11 节生物课, 测量并采集了老师和学生的脑活动 (如图 3A)。在每节课上, 学生们参与不同的学习活动, 如聆听讲座、观看视频和演示、小组讨论等。研究者们发现, 在课堂活动中, 学生们的脑电波表现出同步性。换言之, 学生间的脑电波表现出同时同步起伏。更有趣的是, 课堂参与度更积极的学生比不积极同学的脑电波表现出更为同步的现象 (如图 3B)。

令人兴奋的是, 便携式 EEG 设备不仅可以用于实验室研究, 而且可以应用于真实的教学场景。在一个由纽约大学牵头的中学生脑电波神经科学项目中, 学生们使用 EEG 来研究他们自己的大脑, 并学习神经科学的原理。学生们与科学家们合作开展他们自己的科研项目。例如, 他们用 EEG 技术来探究大脑对名人和普通人肖像的反应, 还有音乐是如何影响我们的专注力。

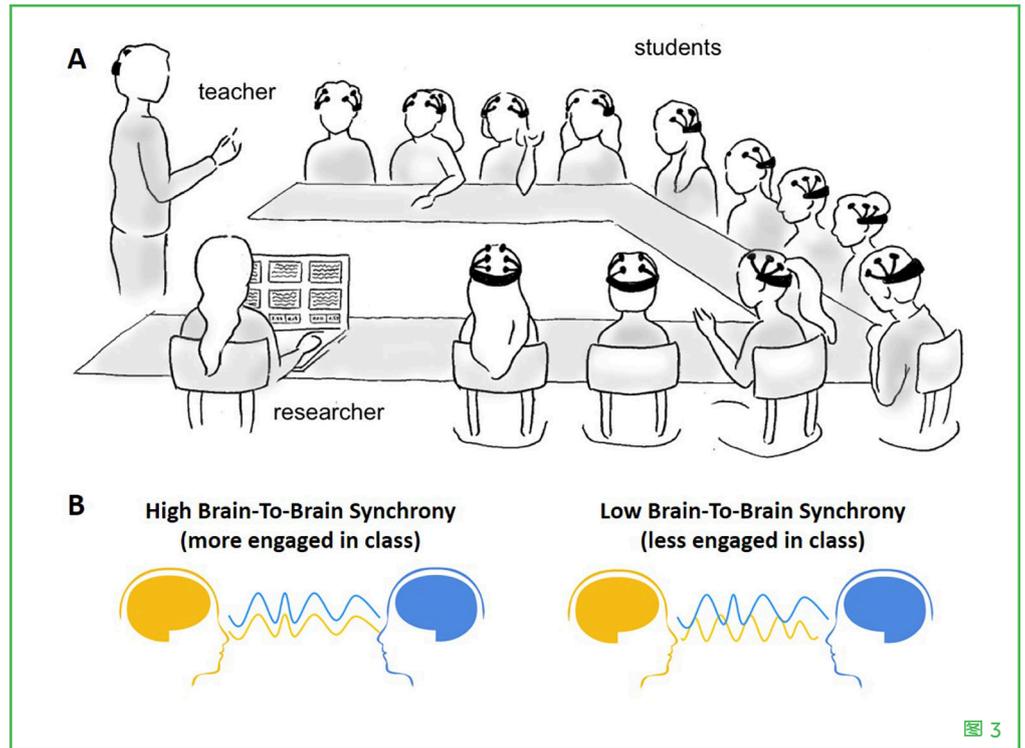
诚然, 便携式 EEG 并不能取代实验室 EEG 的研究。但是这一技术通过时时监测日常情境中的脑活动, 来分析、弥补实验室研究的不足。但要想在更为自然的环境中来研究大脑, 绝非易事。便携式 EEG 收集的数据质量远比不了实验室收集的数据, 因为便携式设备的电极数少很多, 且容易受到的干扰更多。而且, 研究者无法控制实验室以外的环境, 因而研究获得的结果往往较难有可信的解释力。

同步性 (Synchrony)

脑波同步起伏的过程。可以是同一个人的大脑中 (如不同脑区之间的同步) 或不同人的大脑之间, 被称为脑间同步。

图 3

(A) EEG 可以用于测量课堂中学生们脑电波同步性 (来自 Dikker 等人 [3])。 (B) 课堂参与度更高的学生们之间的脑电波展现出高度同步性 (左边)。课堂参与度较低的学生之间同步性较低 (右边)。



这种场景只应存在于科幻小说中吗？

读完本文后,你产生了什么想法?你想试试戴着脑电帽上课吗?还是觉得这个想法有些不真实?大可不必,如今便携式 EEG 只能大致测量脑活动,它显然不能读取你的想法。所以,如果你在课上戴着一副 EEG 黑科技设备,请放心,研究人员或你的老师还不能够读取你内心想法,读心术仍然是科幻小说的专属!

有些 EEG 设备的制造商和销售公司确实声明了这项技术可以测量不同脑电波来解析学生是否专注。我们认为这么做并不合理,原因有二:首先,我们还需要大量的研究才能充分解释这些 EEG 信号反映出什么样的脑功能;其次,学生并非要从头到尾保持持续专注。因为大脑也需要休息,而且"走神"对学习也是有好处的 [4]。

小结

便携式 EEG 设备为实验室研究走向更多场景带来了重要的突破,例如研究大脑在课堂等自然环境里是如何工作的。这些在自然条件下的脑活动研究尤其有利于理解人类的社交互动,多亏了便携式 EEG 可以时时监测多人互动时的脑活动。此外,便携式 EEG 也可以帮助学生更好地理解大脑如何工作。然而,科技的进步需要一步一个脚印,我们暂且先把读心术留给科幻片,但也值得深思科幻融进现实的价值 [5]。

作者贡献

本文由 VK 撰写, 由 MT 编辑。

致谢

我们衷心感谢那些协助翻译本系列文章的人, 他们的努力使得非英语国家的孩子们也能更容易地接触到这些内容。同时, 我们感谢雅各布基金会 (Jacobs Foundation) 为文章翻译提供了必要的资金支持。NA 将本文翻译成了荷兰语。

图 2 中的插图已获得 Elsevier 的许可, 转载自 Dikker 等人 [3], 版权 (2017)。

我们感谢由 EARLI 和雅各布基金会资助的"教育神经科学研究中的便携式脑技术新兴领域小组"的成员和资助者。NA 和 TJ 还得到了欧洲研究委员会启动基金 (#716736) 的进一步支持。

BrainWaves 项目的开发得到了美国国家普通医学科学研究所 (U.S. National Institutes of General Medical Sciences) 科学教育合作计划的支持。

感谢脑与心智毕生发展研究中心、发展人口神经科学研究中心对本文中文翻译的贡献。感谢石一杰对本文中文翻译的贡献, 感谢陆秋宇对本文的翻译指导和中文编辑的贡献; 感谢左西年、张蕾、程一然对本文中文审校的贡献。

参考文献

1. Biasucci, A., Franceschiello, B., and Murray, M. M. 2019. Electroencephalography. *Curr. Biol.* 29:R80–5. doi: 10.1016/j.cub.2018.11.052
2. van Atteveldt, N., van Kesteren, M. T. R., Braams, B., and Krabbendam, L. 2018. Neuroimaging of learning and development: improving ecological validity. *Frontline Learn. Res.* 6:186–203. doi: 10.14786/flr.v6i3.366
3. Dikker, S., Wan, L., Davidesco, I., Kaggen, L., Oostrik, M., McClintock, J., et al. 2017. Brain-to-brain synchrony tracks real-world dynamic group interactions in the classroom. *Curr. Biol.* 27:1375–80. doi: 10.1016/j.cub.2017.04.002
4. Immordino-Yang, M. H., Christodoulou, J. A., and Singh, V. 2012. Rest is not idleness: implications of the brain's default mode for human development and education. *Perspect. Psychol. Sci.* 7:352–64. doi: 10.1177/1745691612447308
5. Williamson, B. 2018. Brain data: scanning, scraping and sculpting the plastic learning brain through neurotechnology. *Postdigit. Sci. Educ.* 1:65. doi: 10.1007/s42438-018-0008-5

线上发布: 2025 年 3 月 28 日

编辑: [Stephan Vogel](#)

科学导师: [Menton Deweese](#)

引用: van Atteveldt N, Janssen TWP 和 Davidesco I (2025) 在教室里测量脑电波. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00096-zh

英文原文: van Atteveldt N, Janssen TWP and Davidesco I (2020) Measuring Brain Waves in the Classroom. *Front. Young Minds* 8:96. doi: 10.3389/frym.2020.00096

利益冲突声明: 作者声明, 该研究是在没有任何可能被解释为潜在利益冲突的商业或财务关系的情况下进行的。

版权 © 2020 © 2025 van Atteveldt, Janssen 和 Davidesco. 这是一篇依据 [Creative Commons Attribution License \(CC BY\)](#) 条款发布的开放获取文章。根据公认的学术惯例, 在注明原作者和版权所有, 及在标明本刊为原始出处的前提下, 允许使用、传播、复制至其他平台。如违反以上条款, 则不得使用、传播或复制文章内容。

少年审稿人



THE SCHOOL FOR SCIENCE AND MATH AT VANDERBILT, AGE: 14–15

我们是一个由来自纳什维尔各地的学生组成的班级, 我们每周在范德比尔特有一次聚会, 学习关于科学、技术、工程和数学的知识。我们在教室和校园的实验室里做实验!

作者



NIENKE VAN ATTEVELDT

Nienke 是一位神经科学家, 他结合了不同的方法来研究学习和动机的个体差异。她热衷于寻找有关学习和发展的神经科学研究可以与学习者和教师相关的方法。作为一名研究人员, 她的最终目标是教育提供知识和工具, 让更多的孩子享受学习。Nienke 同时也是阿姆斯特丹自由大学学习实验室的负责人, 详见 www.laboflearning.com. *n.m.van.atteveldt@vu.nl



TIEME W. P. JANSSEN

Tieme 是一位神经科学家, 经常与脑电图 (EEG) 打交道。他热衷于了解大脑是如何工作的, 以及大脑如何以不同的方式工作, 例如在患有多动症的儿童中。他的研究方向之一是将神经科学应用于社会需求。例如, 他使用脑电图的神经反馈来训练多动症患者的注意力, 或者向孩子们展示他们可以控制自己的大脑。Tieme 利用便携式脑电图技术, 将神经科学研究从实验室带到工作教室和其他现实环境中。



IDO DAVIDESCO

Ido 是一位神经科学家, 对建立脑科学和教育之间的联系很感兴趣。他在教室里使用便携式设备进行研究, 可以测量学生和教师的大脑活动。他还对开发学生与科学家互动的方式以及参与与大脑和行为相关的现实世界研究感兴趣。