

用“光”来观察课堂上的脑活动

Mojtaba Soltanlou^{1,2,3,4*} 和 Christina Artemenko^{1,2}

¹图宾根大学, 心理学系 (德国, 图宾根)

²图宾根大学, LEAD 研究生院 & 研究网络 (德国, 图宾根)

³韦仕敦大学, 脑与心智研究所 (加拿大, 安大略省, 伦敦市)

⁴韦仕敦大学, 心理学系 (加拿大, 安大略省, 伦敦市)

少年审稿人



ISTITUTO
EUROPEO
LEOPARDI

年龄: 11-12

近红外光谱脑功能成像 (Functional Near-infrared Spectroscopy, fNIRS)

一种新技术,可以帮助科学家通过使用一种称为近红外光的特殊光来轻松监测大脑的活动。

近红外光 (Near-infrared Light)

一种特殊的光,可以穿透皮肤、骨骼和大脑,用于测量大脑中的活动。

你知道我们能在课堂上研究大脑吗? 很多人认为,只有在拥有庞大且精密设备的实验室里才能研究大脑。近红外光谱脑功能成像(简称 fNIRS)是一种利用特殊的光来监测大脑活动的新技术,这一技术的几项优点特别适合用于观察婴幼儿和儿童的大脑。此外,它是研究实际生活场景中(如在课堂上或在谈话中)大脑功能的最佳技术之一。然而,与其他脑技术一样,这项技术也有其局限性,它不能用于所有场景。在本文中,我们讨论了功能性近红外光谱脑功能成像的工作原理、优缺点及其应用。值得一提的是,在教育神经科学领域使用近红外光谱脑功能成像可以帮助科学家理解儿童是如何学习的。

什么是近红外光谱脑功能成像?

近红外光谱脑功能成像(fNIRS)是一种用来帮助研究人员监测大脑工作方式的新技术。该技术使用一种叫做近红外光的特殊光线(图 1A),它的特殊之处在于其可以穿透皮肤、骨骼和大脑。光线从光源(图 1B 中的红色)发送到大脑,返回时被探测器接收(图 1B 中的蓝色),发送到大脑的光和接收到的光之间的差异反应了大脑的活动情况。但是为什么送出去

的光和接收到的光之间会有差异呢？是有一部分光在穿过大脑的过程中丢失了吗？

图 1

(A) 近红外光谱脑功能成像使用光来观察大脑活动；(B) 近红外光谱脑功能成像中的光源 (红色) 和探测器 (蓝色)，通过大脑的光显示为黄色香蕉形状；(C) 婴儿头上的近红外光谱脑功能成像帽。

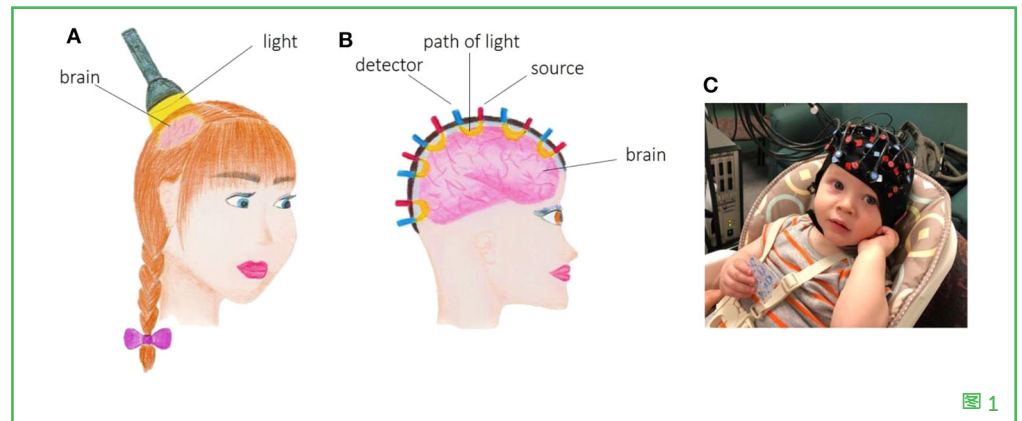


图 1

为了解答这些问题，我们需要了解大脑的工作原理：大脑通过消耗氧气来运作，而氧气是由血液输送到大脑的；当大脑处于活跃状态时，血流量会增加，这意味着大脑中的氧气含量也会上升。由于血液会吸收近红外光，因此当我们向活跃着的大脑发射近红外光时，反射回来的光会减少，因为部分光被血液吸收了。也就是说，吸收的光越多，反射回来的光就越少，代表大脑的活跃程度也就越高。

fNIRS的优点、用途和局限性有哪些？

fNIRS有如下几个优点，包括：

- 志愿者可以坐着或站着进行测试；
- 易于携带，几乎可以在任何场景使用；
- 操作简单，只需要几分钟完成设置；
- 使用成本低；
- 每秒可以测量多次脑活动；
- 既对人无损伤也无噪音；
- 可与其他脑测量技术结合使用；
- 允许身体活动，如说话、写字或行走。

这些优势使得 fNIRS 适用于多种场景 (图 2)。首先，我们可以在日常生活等自然场景中研究大脑，而不仅仅局限于实验室中。一方面，因为 fNIRS 设备非常小巧，可以携带到任何研究需要的地点进行使用。另一方面，在进行测量时，志愿者无需躺下，他们可以像平日生活中一样坐在桌子前做作业或在电脑前工作。fNIRS 还可以用于研究较为复杂的测试任务，而不仅仅是多项选择题任务。同时，fNIRS 的佩戴对志愿者来说也非常舒适，这意味着可以在婴幼儿和儿童中开展大脑研究 (图 1C)。通常在这些年幼的群体中进行大脑研究非常困难，因为他们动得较为频繁，致使其他脑测量技术无法较好进行检测。此外，fNIRS 还可以保证长时间 (最长可

达 1 小时) 观察大脑活动, 并且可以同时测量多个志愿者的脑活动。这些优势使得 fNIRS 成为一项独特的技术, 适用于研究那些通常无法通过其他技术开展研究的人群和场景。

图 2

fNIRS 可以用于日常生活中的许多不同情境, 例如在吃饭、交谈、跳舞和演奏乐器时。例如, 它可以用于观察母亲和婴儿在交流时大脑中发生了什么。

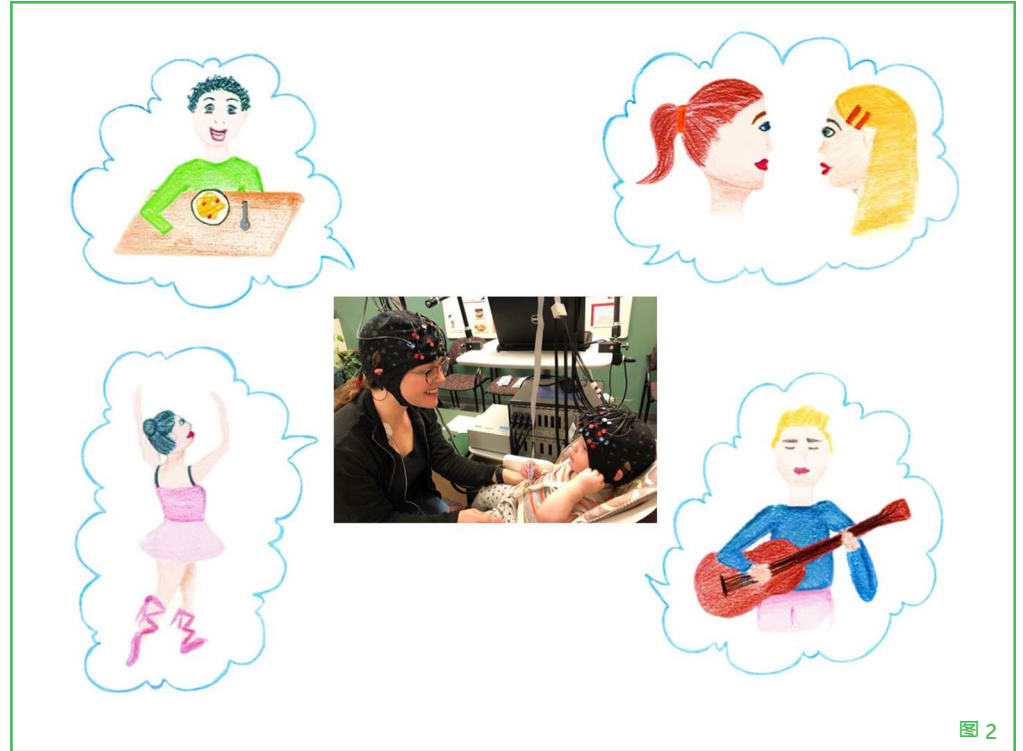


图 2

fNIRS 一次可测量脑中约 3 厘米的范围。对于大脑来说, 这是一个很大的区域, 因为不同脑区非常之小。因此, fNIRS 的测量可能会包含具有不同功能的多个脑区, 因此其精确度可能不如一些其他设备 [1]。此外, fNIRS 只能测量大脑皮层约 1.5-2 厘米深的脑活动, 因此不适合测量位于大脑深处的脑区活动。其次, fNIRS 仅提供脑活动数据, 而不提供脑结构的数据 [1]。这意味着我们可以了解大脑是如何工作的, 但无法知道脑区的具体形态。此外, 由于 fNIRS 测量的是血流量, 它对心跳、血压和皮肤中的血流变化亦非常敏感。因此, 脑活动的变化可能会与脑活动的测量结果混淆。fNIRS 作为一项新技术, 并非所有研究者都使用相同的数据分析方法。数据分析是将不同志愿者收集到的大脑数据进行整合与转换的过程, 以便以统一的方式呈现。总之, 当研究者使用 fNIRS 测量脑功能时, 需要同时意识到其优势和局限性。

FNIRS 的研究是如何开展的? 如何解读数据?

根据不同的研究问题, 志愿者可以独立或分组开展测量。开展 fNIRS 测量需要遵循以下几个步骤: 首先, 我们测量头围以定位一些重要的点位, 例如头部中心。通过这些点位, 我们可以估计每个传感器测量的是相应的哪个脑区。然后, 志愿者带上带有光源和探测器的脑电帽。第三, 我们要求志愿者执行某一任务的同时用 fNIRS 测量其脑活动 (图 3)。任务可以

是任何内容, 例如做数学题。第四, 在志愿者完成任务后, 我们关闭 fNIRS 设备并取下脑电帽, 实验即告完成。

图 3

用 fNIRS 记录一个孩子在解数学题时的脑活动。

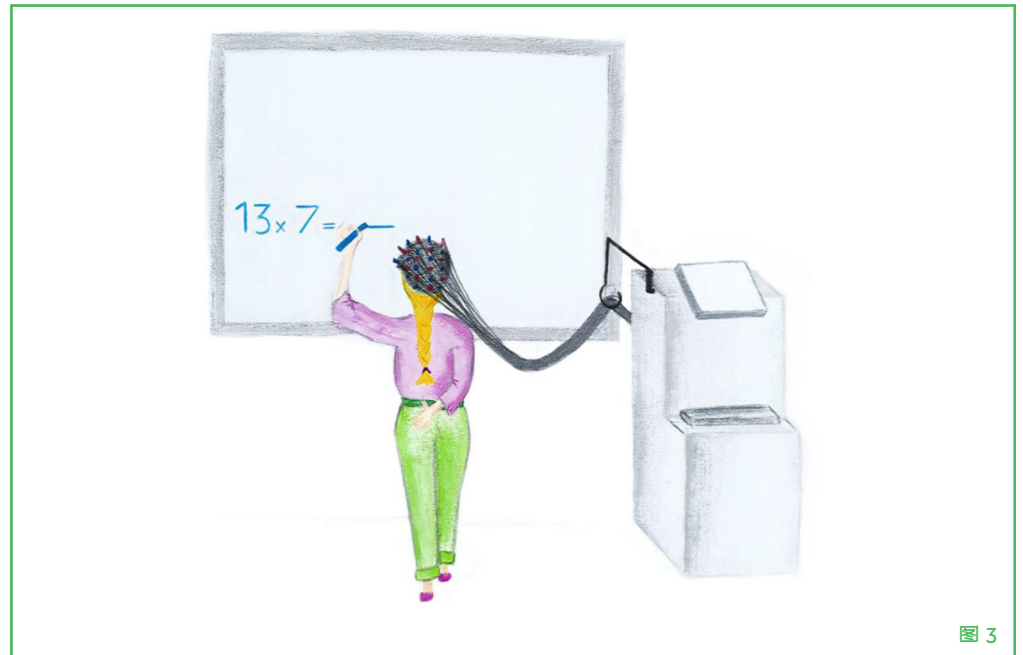


图 3

我们通常会在多名志愿者身上 (大约 40 名儿童) 重复相同的实验。然后, 我们可以分析所有志愿者的数据。但这意味着什么呢? 想象一下, 我们的研究问题是 "在计算过程中, 大脑的哪些脑区是活跃的?" 为了回答这个问题, 我们在两种情况下测量志愿者的脑功能: 解数学题时和休息时。使用计算机软件, 我们可以读取并整合所有志愿者的数据。然后, 我们计算所有志愿者在解题和休息时的脑活动水平。接着, 我们比较两种情景下的脑功能水平。我们观察到, 在大脑的某些脑区, 解题和休息时的脑功能水平存在巨大差异, 而在其他脑区则没有。因此, 我们可以得出结论: 只有那些在解题和休息时表现出巨大差异的脑区对计算是十分重要的。

小结

fNIRS 是一种测量脑功能的技术, 可以用于如婴幼儿和儿童等特殊群体 [2], 以及测量如课堂等的现实生活场景 [3]。这些功能使得 fNIRS 非常适用于教育神经科学的研究 [4]。教育神经科学利用如 fNIRS 等技术来研究大脑, 并通过脑科学研究的成果来赋能学校教育。虽然大多数常用的脑部技术在成人研究中非常有效, 但在儿童群体中仍存在一些局限性, 这就是为什么我们仍然对从婴儿到成人的大脑变化知之甚少。幸运的是, fNIRS 使我们能够监测儿童在学习过程中的大脑变化 [5, 6]。我们相信, 在教育神经科学中使用 fNIRS 终将帮助我们更好地理解儿童阅读、写作和计算的奥秘。

教育神经科学 (Educational Neuroscience)

一个旨在改善学校教育的脑科学研究领域。

致谢

我们要感谢那些协助翻译这篇文章集的人,使它们对非英语国家的孩子更容易理解,并向 Jacobs Foundation 提供资金支持翻译文章。对于这篇文章,作者们自己也将文章翻译成荷兰语。这项工作得到了荷兰国家科学议程 (NWA) 授予 NeuroLabNL 的 Start Impulse 资助。

我们也要由衷感谢那些帮助翻译本合辑文章的人,使非英语国家的孩子们能够阅读这些文章。同时,我们感谢雅各布斯基金会提供必要的资金来进行翻译。对于这篇文章,我们特别感谢 Nienke van Atteveldt 和 Sabine Peters 对荷兰语翻译的贡献。

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。感谢左轶彬对本文中文翻译的贡献,感谢陆秋宇对本文翻译指导和中文编辑的贡献;感谢左西年、张蕾对本文中文审校的贡献。

参考文献

1. Hoyos, P., Kim, N., and Kastner, S. 2019. How is magnetic resonance imaging used to learn about the brain? *Front. Young Minds* 7:86. doi: 10.3389/frym.2019.00086
2. Edwards, L. A., Wagner, J. B., Simon, C. E., and Hyde, D. C. 2016. Functional brain organization for number processing in pre-verbal infants. *Dev. Sci.* 19:757–69. doi: 10.1111/desc.12333
3. Obersteiner, A., Dresler, T., Reiss, K., Vogel, A. C. M., Pekrun, R., and Fallgatter, A. J. 2010. Bringing brain imaging to the school to assess arithmetic problem solving: chances and limitations in combining educational and neuroscientific research. *ZDM* 42:541–54. doi: 10.1007/s11858-010-0256-7
4. Soltanlou, M., Sitnikova, M. A., Nuerk, H.-C., and Dresler, T. 2018. Applications of functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) in studying cognitive development: the case of mathematics and language. *Front. Psychol.* 9:277. doi: 10.3389/fpsyg.2018.00277
5. Artemenko, C., Soltanlou, M., Ehlis, A.-C., Nuerk, H.-C., and Dresler, T. 2018. The neural correlates of mental arithmetic in adolescents: a longitudinal fNIRS study. *Behav. Brain Funct.* 14:5. doi: 10.1186/s12993-018-0137-8
6. Soltanlou, M., Artemenko, C., Ehlis, A.-C., Huber, S., Fallgatter, A. J., Dresler, T., et al. 2018. Reduction but no shift in brain activation after arithmetic learning in children: a simultaneous fNIRS-EEG study. *Sci. Rep.* 8:1707. doi: 10.1038/s41598-018-20007-x

线上发布: 2025 年 3 月 28 日

编辑: Stephan Vogel

科学导师: Ruggero Bettinardi

引用: Soltanlou M 和 Artemenko C (2025) 用"光"来观察课堂上的脑活动. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00088-zh

英文原文: Soltanlou M and Artemenko C (2020) Using Light to Understand How the Brain Works in the Classroom. *Front. Young Minds* 8:88. doi: 10.3389/frym.2020.00088

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 Soltanlou 和 Artemenko. 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



ISTITUTO EUROPEO LEOPARDI, 年龄: 11-12 岁

我们是来自意大利米兰的 Istituto Europeo Leopardi 学校。我们是:Lucrezia、Sofia、Benedetta、Eleonora、Francesco、Matteo、Marco、Emma、Greta 和 Lidia, 目前就读于初一年级。我们喜欢科学和运动, 是一个有趣、友好、富有创造力的班级, 代表 1A 班向大家问好!

作者



MOJTABA SOLTANLOU

我是来自加拿大西安大略大学的一名研究员。在从事研究工作之前, 我曾是一名特殊儿童康复治疗师。在我的研究中, 我希望了解当儿童在学习数学时大脑中发生了什么, 以及为什么有些儿童会有学习困难。在闲暇时间, 我喜欢运动、弹塔尔琴, 读读历史相关的书籍。*mojtaba.soltanlou@gmail.com



CHRISTINA ARTEMENKO

我是来自德国图宾根大学的一名研究员。我的研究是关于数学和计算, 并通过运用 fNIRS 技术来研究大脑, 我想知道当人们在计算时大脑中发生了什么。我想知道是什么让计算变得困难, 以及为什么有些人在数学学习方面存在困难。研究之外, 我喜欢吹长笛、跳芭蕾和打排球。