

当脑细胞交流过快时会发生什么？

Margarita Maltseva^{1,2*}, Kerstin Alexandra Klotz³ 和 Julia Jacobs^{1,2*}

¹卡尔加里大学, 阿尔伯塔儿童医院基金会与霍奇基斯脑研究所 (加拿大, 阿尔伯塔省, 卡尔加里)

²法兰克福歌德大学, 法兰克福莱茵-美因癫痫中心与神经内科 (德国, 法兰克福)

³弗莱堡大学, 弗莱堡大学医学中心 (德国, 弗莱堡)

少年审稿人



GRACE

年龄: 11



RAY

年龄: 13

神经元 (Neuron)

神经细胞的主体位于大脑, 并有很长的延伸部分通向身体的不同部位。它们的工作是传递重要信息, 帮助你的身体进行移动、思考和感觉等行为。

神经细胞, 也叫做神经元。它们就像我们体内的小小信使一样来帮助我们感知和运动。当你的大脑细胞彼此交流时, 便会产生脑电波。有时候脑细胞之间以一种平静而缓慢的方式交流, 而有时脑细胞们处于兴奋状态, 此时我们的大脑活动也会加快。这种快速的电活动叫做振荡。我们可以使用仪器来测量大脑中的电活动, 目前测得的最快电活动叫做高频振荡。快速的大脑活动在日常生活中非常有用, 例如它可以帮助我们记忆地点与事件。但是, 如果神经元们开始过快放电, 人们就会突然失去对身体某些部位甚至整个身体的控制, 这就是所谓的癫痫。在本文中, 你将了解大脑功能和癫痫的知识, 以及科学家们是如何计算脑电波速度的。那么, 让我们一起来看看高频振荡是如何帮助我们大脑运转的吧!

神经元是如何工作的

被称作神经元的脑细胞就像微小的信使一样, 它们通过从大脑向身体不同部位发送信号的方式来帮助我们感知和运动。神经元由小的细胞体和很长的延伸部分组成, 这些延伸部分形成了神经。神经将大脑与靠近大

脑的部位 (如眼睛) 以及远离大脑的部位 (如手指和脚趾) 连接起来 (见图 1)。你可以把神经想象成一束传递信息的电脑线, 与电脑相似的是, 这些线井然有序地排布, 连接着控制中心大脑和接收信息的身体各部位。

图 1

大脑与脊髓、神经相连 (紫色)。黄色星星代表着由神经传递的电活动, 这种电活动使得大脑和身体其他部位可以进行交流。当你触摸到某样物品的时候, 比如一个柔软的毯子或者很烫的石头, 信息就会经由神经传递到你的大脑。你的大脑获得信息后会告诉你: "嘿, 这是一条柔软的毯子" 或 "哎哟, 好烫, 快把手拿开"。

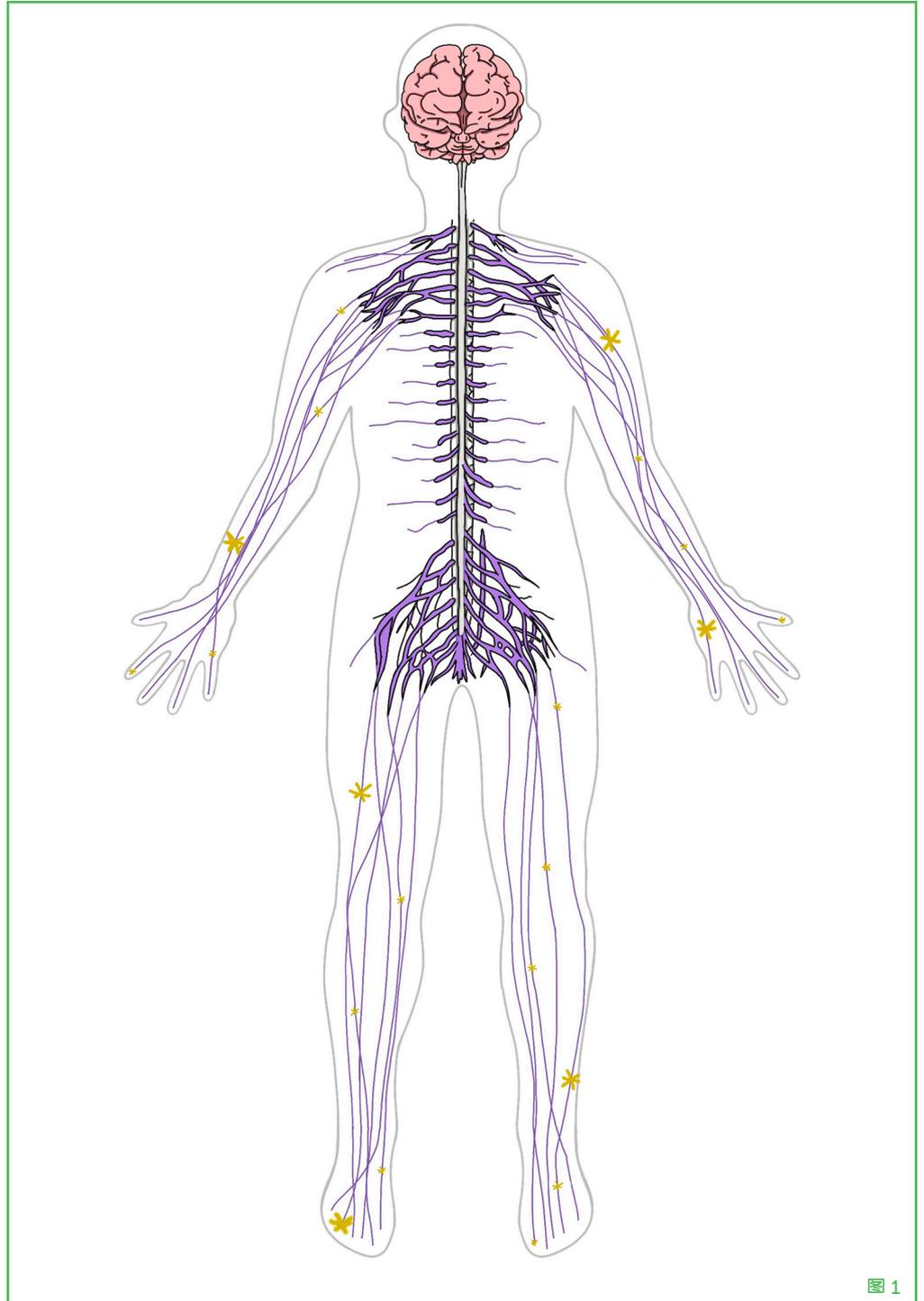


图 1

当你触摸某样东西时, 比如一条柔软的毯子或一块烫手的石头, 神经会向你的大脑发送一条信息。你的大脑接收到这些信息后, 会告诉你: "嘿, 这是一条柔软的毯子!" 或者 "哎呀, 好烫! 快把手拿开!"。

神经元还帮助我们移动身体。例如,如果你决定移动你的手,你的大脑会通过神经向手部肌肉发送信息。另一组神经则会让你知道你的手确实在移动。这意味着信息可以双向传递:既可以从大脑发出,也可以传向大脑。

神经元之间的相互交流

被称作**突触**的开关点连接着两个神经细胞的"手臂"或延伸部分。正如你刚才了解到的,信息以电活动的方式沿着神经传导。一旦信息触达了神经元的末端,它必须穿过突触才能到达下一个神经元。电活动转变为化学活动,使得信息从一个神经元传递到另一个神经元。

大脑由 800 多亿个神经元组成,它们彼此之间都以一种有序且有效的方式交流。当神经元相互交流的时候会产生脑电波,科学家们和医生们可以测量出这些脑电波。有时候脑细胞之间以一种平静而缓慢的方式交流,而有时脑细胞们处于兴奋状态,此时大脑活动也很快。反映大脑快速活动的脑电波被称为高频振荡。

我们如何测量大脑活动?

电活动可以通过一种叫做**脑电图**的方法来测量。进行脑电图检查时,科学家或医生会在人的头部放置一些叫做电极的微小传感器(见图 2A),电极可以探测到大脑产生的微弱电信号,因此有点像在头上戴了许多微型麦克风!这些金属电极(它们共同组成了一个金属帽,如图 2 所示)可以测量电流的变化并且将信号通过导线发送至计算机。如果你想了解更多关于脑电图的知识,Frontiers for Young Minds 杂志中还有一篇关于此方法的文章。

脑电图活动显示在电脑屏幕上,看起来就像是上下起伏的海浪。大脑运转得越快,波的速度就越快。研究者们甚至可以分辨出电极测量到的高信号是来自左脑还是右脑。

波的速度称为**频率**,其测量单位是赫兹(Hz),如果你穿过波浪中间画一条水平线,频率实际上是指波浪穿过这条线的频率(见图 2B),你可以看到波浪穿过了中间线 9 次。对于频率而言,你只需计算 1 秒钟内波浪的最高峰(图中黑色箭头所示)的数量即可。

脑电波根据其频率特点用希腊字母命名(见图 2C),慢一些的波叫做德尔塔波(δ 波)和西塔波(θ 波),它们大多出现在大脑睡眠时,当人们做白日梦时也会出现西塔波。对于健康儿童来说,西塔波也会在其清醒的时候出现。当人们清醒和放松时,可以看到较快的阿尔法波(α 波)。贝塔波(β 波)主要出现在人处于警觉、焦虑或睁开眼睛的时候,但我们也可以在睡眠中看到贝塔波,即生动的梦境出现时。在这篇文章中,我们将重点讨论

突触 (Synapses)

神经元之间的小间隙,信息必须穿过这些小间隙才能从一个神经元传递到另一个神经元。

脑电图 (Electroencephalography, EEG)

一种观测大脑电信号的方法。观测通过一种叫做电极的微小传感器来进行,这些电极会将信息发送到电脑上进行分析。

频率 (Frequency)

确定波速的一种测量方法。测量单位为赫兹(Hz)。

图 2

(A) 一个人戴着带有电极的脑电图帽。导线连接着脑电帽和电脑，脑电波会在屏幕中显示出来。在屏幕中你会看到高频振荡。(B) 脑电波看起来有一点像海浪，如果穿过波浪中间画一条水平线，你可以数出一秒内脑电波穿过这条线的次数。图中这个波的频率是 4 赫兹。(C) 脑电波以频率为特征并以希腊字母命名。每种脑电波都在特定活动中出现，详情参见上图。

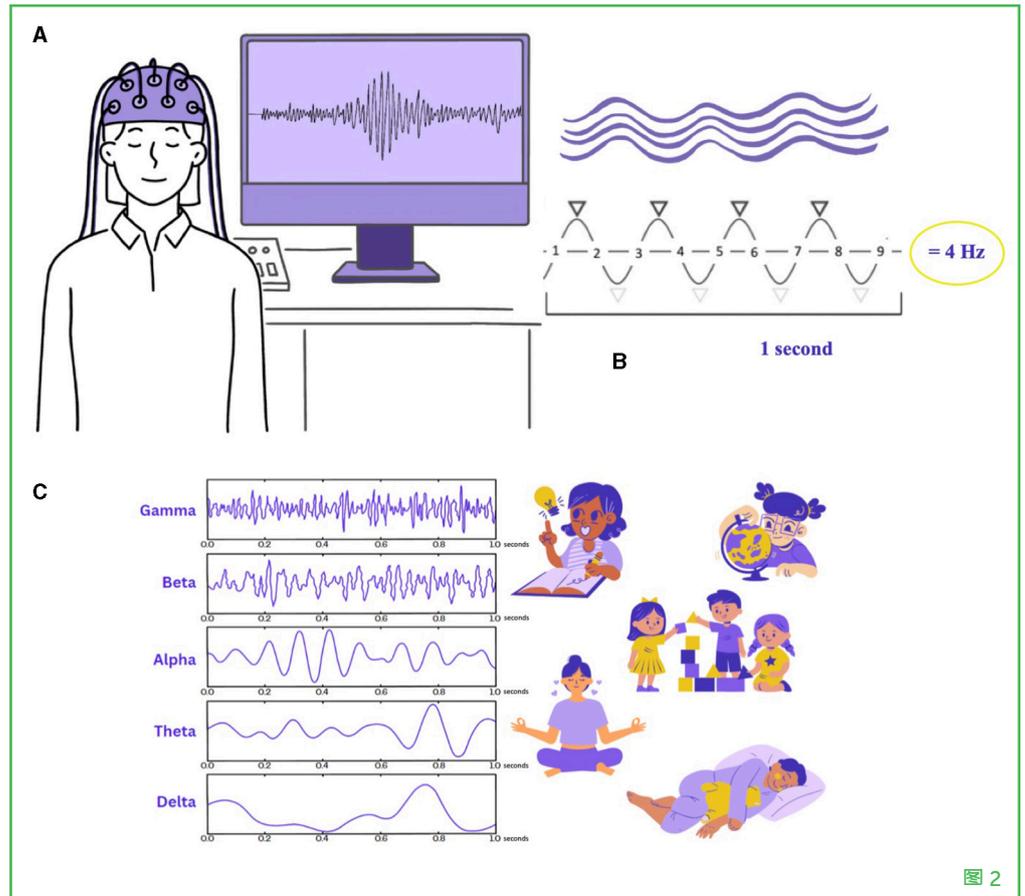


图 2

高频振荡 (High Frequency Oscillations, HFOs)

由于大脑内部过度的且有时不协调的电活动引起的超快脑电波。

超快速波，即**高频振荡**。高频振荡比普通大脑活动（8-150 赫兹之间）快 10 倍，并且可以视为大脑努力工作或遇到困难的信号 [1, 2]。

我们何时需要超快的大脑活动？

当人们从事一件非常专注的活动，需要许多脑区高精度协作时，脑电图中就会出现高频振荡。有两种电脑游戏是我们的大脑使用高频振荡时的绝佳例子。第一种是那些需要很快速手指移动以及迅速反应类的游戏，比如格斗、跳跃、赛车，会引发大脑使用高频振荡来规划操作。第二种是在更加复杂的游戏中，也需要高频振荡来记忆地点和活动。你是否在虚构世界中迷失过方向，或者忘记了大坏蛋藏在了哪里？如果没有的话，你要感谢你的大脑，它很好地储存了你的记忆（见图 3）。存储记忆大多发生在睡眠期。高频振荡有助于大脑各部分之间传输记忆，让你在玩电脑游戏时，不仅能在当天，甚至在数周后都能对游戏了如指掌 [3, 5]。

当大脑过于活跃的时候

刚才我们了解到快速的大脑活动在我们的日常生活中是非常有帮助的。但是，神经元有时候也会过快交流或者交流的方式不如往常协调，这种情况会发生在那些患有**癫痫**的成人和儿童身上。癫痫是一种由于身体

癫痫 (Epilepsy)

一种容易导致癫痫发作的脑部疾病。

图 3

本图说明了一个重要的大脑功能: 你会看到右边屏幕中有树、植被和房屋。然后看到左边的屏幕并回忆刚才那张图房屋、树、植被和鸟被放置在哪个位置, 此时你的大脑必须完成之前记忆的存储工作。



图 3

癫痫发作 (Epileptic Seizure)

大脑中突然爆发的电活动, 可导致身体或身体部分失去控制。

各部分没有接收到恰当的信息而突然失去对身体功能控制的病症, 出现这些情况时被称为**癫痫发作**。在发作期, 身体开始不受控制地移动, 或者患者会有短暂的感觉、嗅觉或意识缺失 (就像做白日梦一样)。癫痫是一种相当常见的疾病, 约有 1% 的儿童会患病。这意味着, 如果你的学校有 500 个孩子, 其中很可能有 4-5 个患有癫痫。

当科学家或医生想了解癫痫患者的大脑活动时, 脑电图是一种非常有用的检测手段。脑电图可以告诉我们大脑的电活动何时失常。最近的研究表明, 在癫痫患者的脑电图中可以看到高频振荡。与有助于思考、计划和记忆的高频振荡相反, 我们认为癫痫患者的高频振荡是大脑过度活跃和失控的表现。这是一个令人兴奋的消息, 因为利用脑电图测量高频振荡可以帮助我们更好地了解患者的癫痫 [6]。高频振荡可以帮助医生预测哪些孩子可能只有一次癫痫发作, 哪些孩子可能患有癫痫并容易出现更多癫痫发作。它还能帮助医生了解患者是否需要药物治疗癫痫, 以及药物治疗癫痫是否成功 [6]。

高频振荡还能帮助科学家和医生了解大脑的哪些部分导致了癫痫发作, 这是非常重要的。因为有些癫痫患者的癫痫发作只是来自大脑的一小部分区域, 只要通过手术切除导致癫痫发作的脑区就可以治愈这些病人 (可在 *Frontiers for Young Minds* 杂志的此篇文章中获取更多信息)[7]。我们认为, 高频振荡就是所谓的癫痫**生物标志物**, 这就意味着, 测量高频振荡可以帮助医生了解疾病的活跃程度以及如何成功治疗癫痫。

生物记号标志物 (Biomarker)

一种帮助医生了解身体状况的线索。高频振荡作为一种生物标志物, 可以帮助医生了解疾病的活跃程度以及如何成功治疗疾病。

你学到了什么?

大脑就像一个超级存储器, 储存着你经历过的所有事情。它能记住你最喜欢的时刻, 比如生日、家庭度假或与朋友的冒险。我们了解到了大脑还控制着身体的运动, 指挥身体的各个部分协同运转。高频振荡可以帮助大脑正常运转并且参与需要多个脑区协同工作的专注活动。然而, 如果高频振荡失控就会导致癫痫发作。高频振荡是一种令人兴奋的生物标志物,

它可以帮助研究人员和医生了解大脑是如何工作的,并帮助他们进行癫痫患者的诊断和治疗方案的制定。

致谢

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。感谢严潘婕对本文中文翻译及编辑的贡献;感谢左西年、张蕾、胡理对本文中文审校的贡献。

参考文献

1. Jacobs, J., Schönberger, J. 2019. In search of epileptic scalp high-frequency oscillations. *Clin. Neurophysiol.* 130:1172–1174. doi: 10.1016/j.clinph.2019.04.006
2. Jacobs, J., Staba, R., Asano, E., Otsubo, H., Wu, J. Y., Zijlmans, M., et al. 2012. High-frequency oscillations (HFOs) in clinical epilepsy. *Prog. Neurobiol.* 98:302–315. doi: 10.1016/j.pneurobio.2012.03.001
3. Jacobs, J., Banks, S., Zelmann, R., Zijlmans, M., Jones-Gotman, M., and Gotman, J. 2016. Spontaneous ripples in the hippocampus correlate with epileptogenicity and not memory function in patients with refractory epilepsy. *Epilepsy Behav.* 62:258–266. doi: 10.1016/j.yebeh.2016.05.025
4. Lachner-Piza, D., Kunz, L., Brandt, A., Dümpelmann, M., Thomschewski, A., and Schulze-Bonhage, A. 2021. Effects of spatial memory processing on hippocampal ripples. *Front. Neurol.* 12:620670. doi: 10.3389/fneur.2021.620670
5. Bruder, J. C., Wagner, K., Lachner-Piza, D., Klotz, K. A., Schulze-Bonhage, A., and Jacobs, J. et al. 2022. Mesial-temporal epileptic ripples correlate with verbal memory impairment. *Front. Neurol.* 13:876024. doi: 10.3389/fneur.2022.876024
6. Jacobs, J., LeVan, P., Chander, R., Hall, J., Dubeau, F., and Gotman, J. 2008. Interictal high-frequency oscillations (80–500 Hz) are an indicator of seizure onset areas independent of spikes in the human epileptic brain. *Epilepsia.* 49:1893–1907. doi: 10.1111/j.1528-1167.2008.01656.x
7. Zijlmans, M., Jacobs, J., Zelmann, R., Dubeau, F., and Gotman, J. 2009. High frequency oscillations and seizure frequency in patients with focal epilepsy. *Epilepsy Res.* 85:287–292. doi: 10.1016/j.epilepsyres.2009.03.026

线上发布: 2025 年 3 月 28 日

编辑: Elizabeth Johnson

科学导师: Soyeon Jun 和 Yuki Kikuchi

引用: Maltseva M, Alexandra Klotz K 和 Jacobs J (2025) 当脑细胞交流过快时会发生什么? *Front. Young Minds.* doi: 10.3389/frym.2023.1274957-zh

英文原文: Maltseva M, Alexandra Klotz K and Jacobs J (2023) What Can Happen When Brain Cells Communicate Improperly? *Front. Young Minds* 12:1274957. doi: 10.3389/frym.2023.1274957

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 © 2023 © 2025 Maltseva, Alexandra Klotz 和 Jacobs. 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



GRACE, 年龄: 11

格蕾丝喜欢读书、锻炼和运动。她喜欢蛋糕、三明治、奶酪和蘑菇。她擅长学习、绘画、做演讲和体育。她天生好奇, 喜欢体验不同的活动、文化以及其他各种事物。



RAY, 年龄: 13

我有很多兴趣爱好, 比如观鸟、数学和骑独轮车。我喜欢心理学和神经学, 因为它们是科学领域中非常有趣且涵盖多种不同主题的学科。

作者



MARGARITA MALTSEVA

我是一名医生, 目前在卡尔加里大学工作。我的研究旨在探索癫痫患者大脑内部的变化。我对测量脑电波特别感兴趣。我的最终目标是为这种疾病提供无风险的治疗方案! 在工作之外, 我喜欢各种户外活动, 比如攀岩和滑雪。我也对音乐创作和舞蹈感兴趣。
[*margarita.maltseva@gmx.de](mailto:margarita.maltseva@gmx.de)



KERSTIN ALEXANDRA KLOTZ

我们的大脑是一个极其令人兴奋的器官。例如, 它是唯一能够思考自身的器官! 我对理解大脑如何工作、如何随着儿童的成长而发育, 以及当大脑生病或功能失常时会发生什么非常感兴趣。这就是我成为一名儿童神经科医生的原因。我尤其对癫痫疾病感兴趣。我目前担任波恩大学医院神经儿科部门的主任。在我的研究中, 我探索癫痫患者大脑中的变化, 以及如何更好地治疗癫痫。当我不工作时, 我喜欢和我的孩子们共度时光。



JULIA JACOBS

我是一名医生 (专攻儿童大脑, 即儿科神经学) 和神经科学家。我主要与患有癫痫并因此遭受癫痫发作的儿童一起工作。我很好奇如何能够测量大脑是否可能产生更多的癫痫发作。为此, 我们使用一种称为脑电图 (EEG) 的方法。当我不工作时, 我喜欢跑步、跳舞, 以及和我的孩子们一起拼搭乐高。
[*julia.jacobs@gmx.de](mailto:julia.jacobs@gmx.de)