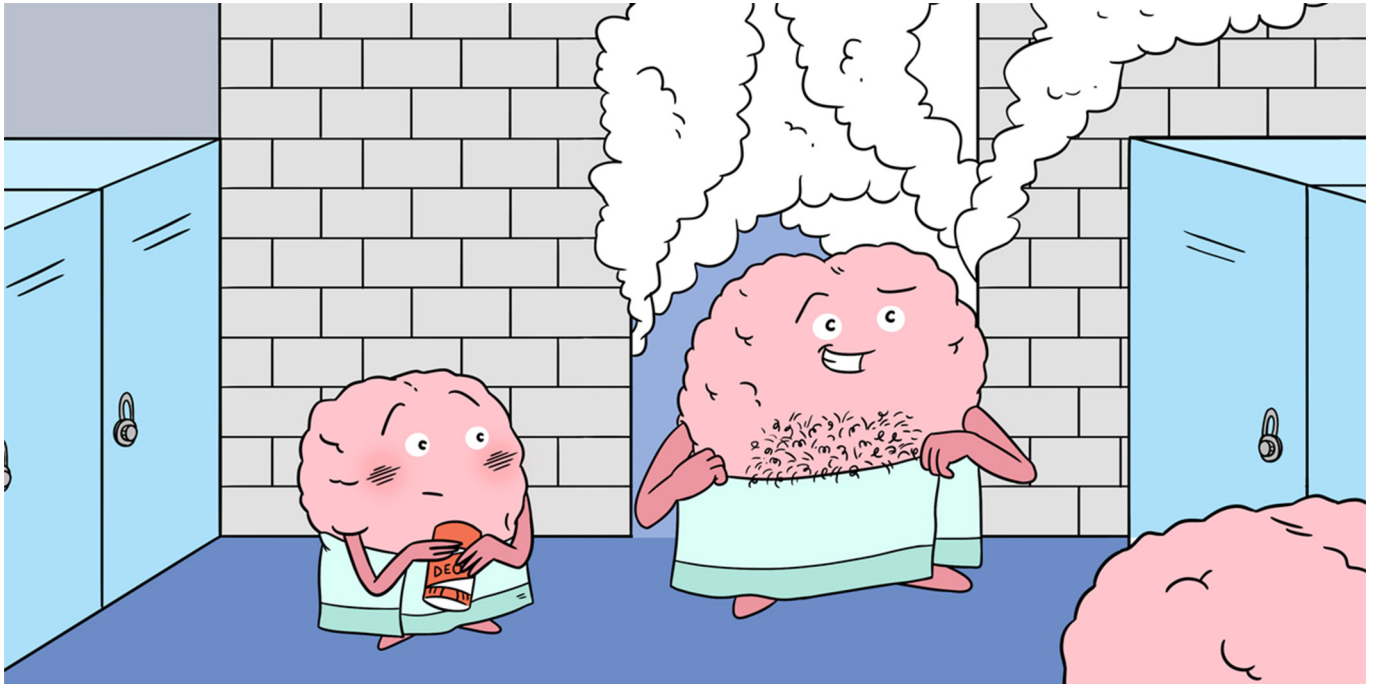




青春期的脑

Marjolein E. A. Barendse*, Theresa W. Cheng 和 Jennifer H. Pfeifer

俄勒冈大学心理学系, 发展社会神经科学实验室 (美国, 俄勒冈州尤金)

少年审稿人



BENJAMIN

年龄: 11

荷尔蒙 (Hormones)

在血液中传播到身体各个部位的小使者。睾酮和雌二醇是两种对青春期很重要的激素。

受体 (Hormones)

细胞内或细胞上的一种结构, 激素或其他信使可依附于此。

青春期是正常发育的一个阶段, 但每个人的情况都不一样。对一些青少年来说, 青春期比其他人来得早, 而对有些青少年来说, 青春期走得也比其他人快。正因为如此, 同年龄的孩子们看起来会很不一样——他们的身体在以不同的速度生长。研究人员发现, 青春期不仅会改变你的身体, 还会改变你的大脑。这是因为青春期涉及到激素的变化, 这些激素也附着在你的脑细胞上, 改变你大脑学习和成长的方式。这些变化有助于塑造大脑适应新的学习方式。它们也可能导致“路上的颠簸”——例如, 你可能会冒一些不太成功的风险。在这篇文章中, 我们将解释青春期对大脑的影响, 以及为什么这些大脑的变化对成年期的准备很重要。

什么是荷尔蒙?

青春期是青少年早期正常发育的一部分。当你想到青春期的时候, 你可能会想到青春痘、体味和毛发的生长——以及许多其他的东西, 有时是令人尴尬的身体变化——但是你知道在你的身体里发生了什么导致了这些变化吗? 大脑以荷尔蒙的形式向身体传递青春期开始的信号。荷尔蒙是由你的身体产生的小分子, 通过血液进入身体的各个部位, 包括大脑。荷尔蒙对于身体远距离传递信息很重要, 这样不同的器官就可以相互沟通。当激素到达目的地时, 它会附着在细胞上或细胞内的受体上 (见图 1),

图 1

脑细胞。方框中放大了荷尔蒙是如何附着在细胞内或细胞的受体上的。蓝色的是髓鞘,它是一种保护膜,包裹着轴突,使信号传播得更快。

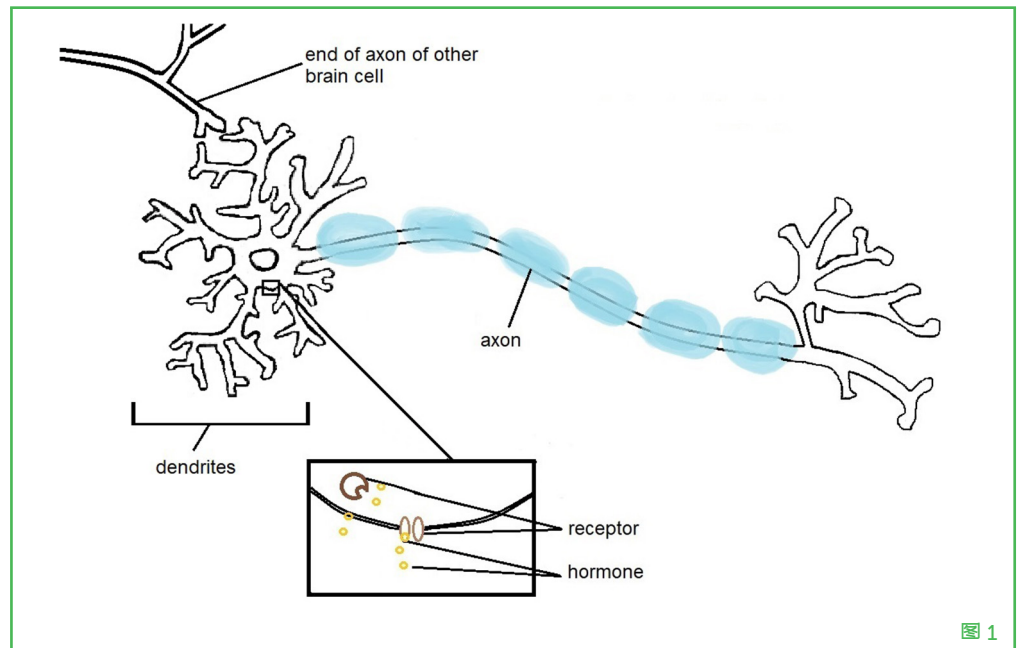


图 1

荷尔蒙对于青春期的开始非常重要,这是因为青春期开始于大脑向身体发出信号,让身体产生更多特定激素的时候。图 2 解释了其工作方式。

睾酮和雌二醇是两种重要的荷尔蒙,它们会引起很多身体变化,人们会把这些变化与青春期联系起来。男孩的睾酮水平增加得更多,而女孩的雌二醇水平增加得更多。例如,睾丸激素可以到达毛细胞,导致头发更黑更厚,并在腋下或脸上生长毛发;雌二醇对女孩的乳房发育很重要。睾丸激素和雌二醇对生育能力也很重要,使人们有可能生育孩子。

这整个过程发生的年龄因人而异。平均而言,女孩往往在 10 岁左右进入青春期,而男孩则晚一年进入青春期。个体差异部分是基于基因,但也有部分与童年早期的经历有关。例如,早年经历过很多压力的儿童往往更早经历青春期。

荷尔蒙带来的变化

像睾丸激素和雌二醇这样的激素会附着在你的脑细胞上。脑细胞看起来与身体其他部位的细胞不同:它有一个细胞体,但也有像电线一样伸出来的部分(见图 1)。脑细胞通常有许多更短的"电线",称为树突,用来接收来自其他细胞的信号;这些细胞还有一根较长的"线",叫做轴突,用来向其他细胞发送信号。

荷尔蒙主要通过两种方式影响脑细胞 [1]。

树突 (Dendrite)

脑细胞接收其他细胞信号的部分。

轴突 (Axon)

脑细胞向其他细胞发送信号的部分。

图 2

这张图显示了来自大脑的信号如何导致青春期激素的增加。它始于一个叫做下丘脑的大脑区域, 这里产生了一种叫做 GnRH 的激素, 它会传递到脑垂体。脑垂体是大脑底部的小器官。脑垂体中产生其他激素 (LH 和 FSH), 然后它们会到达你的性器官 (男性体内的睾丸和女性体内的卵巢), 这些器官会产生睾酮和雌二醇。

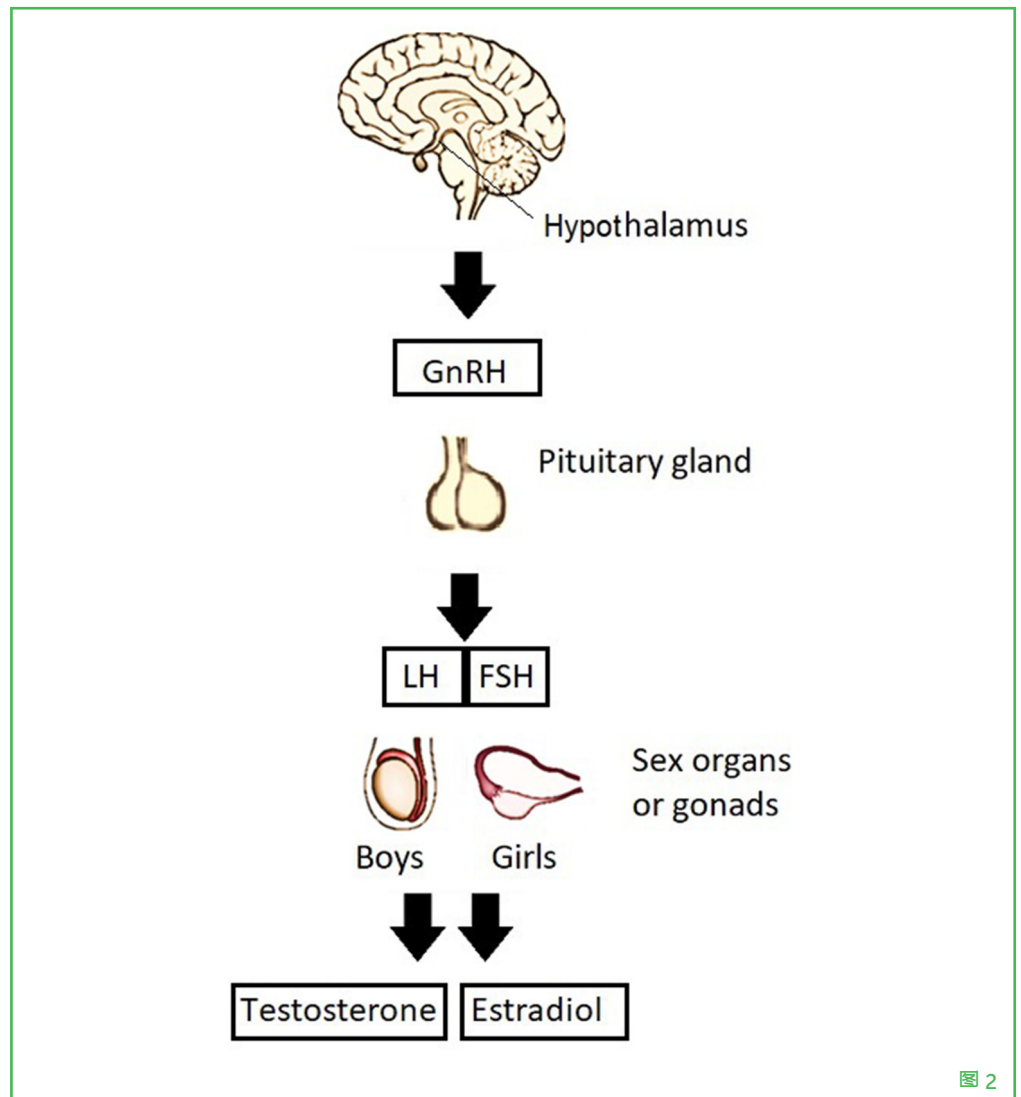


图 2

杏仁核 (Amygdala)

靠近大脑底部的小区域, 对处理恐惧等情绪很重要。

首先, 荷尔蒙可以影响大脑的组织方式, 这些变化需要一段时间才能发生。大脑组织的变化可以包括细胞数量的变化, 或者树突或轴突的大小和形状的变化。例如, 睾酮会影响被称为内侧杏仁核的大脑区域新细胞的发育。因为男孩在青春期会产生更多的睾丸激素, 所以这个区域在男孩身上会比女孩更大 [2]。这是在动物研究中发现的, 但在人类身上进行的研究通过观察激素水平和杏仁核的大小表明, 它在人类身上也有同样的作用。

第二, 荷尔蒙可以影响脑细胞对某种情况或环境做出反应的方式。荷尔蒙可能帮助或阻止一个细胞与其他细胞交换信号。这也会导致脑细胞的长期变化。例如, 在比赛或战斗中, 老鼠 (和人类) 体内的睾丸激素水平会上升。一项研究表明, 赢得一场战斗的老鼠在大脑中奖励和社会行为很重要的区域产生更多的睾丸激素受体 [3]。这些新的受体也可能在下次战斗中改变老鼠的行为。这显示了一个过程, 比如赢得一场战斗的经历, 和荷尔蒙一起作用, 塑造里大脑的发展。这一过程在青春期尤为重要, 因为此时荷尔蒙水平高于儿童时期, 而大脑仍在发育。

关于激素如何影响人类脑细胞的组织和活动, 我们还有很多不知道的地方。我们知道这些影响在某些方面具有男女差异, 在大脑的不同区域之间也具有差异。研究人员刚刚开始弄清楚大脑中与激素相关的变化是如何对行为和学习产生重要影响的, 所以还有很多未解的问题。

青春期时的改变

儿童在某些方面比青少年或成年人学得更好。例如, 小孩子特别擅长学习新语言。当一个人 9-11 岁时, 学习第二种语言就会变得更加困难。这可能是因为大脑处理语言和其他语言信息的方式发生了变化。一项研究研究了青春期在这些变化中的作用, 研究人员让孩子们听一种假的“外星”语言, 并研究大脑是如何试图理解的 [4]。随着孩子年龄的增长, 大脑中几个对语言很重要的区域的活动发生了变化。青春期发育较多的儿童, 其与语言相关的部分大脑区域的活动也较低。这表明, 青春期可能在大脑对语言的反应的变化中造成了影响。

然而, 青春期可能会为其他类型的学习打开一个契机。它可能会给青少年带来了解自己、学习社交和情感技能的机会, 让他们为成年做好准备。在青少年时期, 大脑可能会以支持学习的方式发生变化。例如, 学习新技能的一个重要部分就是对反馈做出反应 —— 也就是说, 你的大脑如何利用信息来告诉你是否得到了正确的答案。一项针对 200 多名儿童、青少年和成年人的研究观察了从反馈中学习时大脑的反应。人们从反馈中学习的好坏与纹状体不同部位的激活有关, 而纹状体是大脑中学习的关键区域。与儿童或成年人相比, 青少年的纹状体的某些部位更为活跃, 这表明人们在青少年时期从反馈中学习的方式可能不同 [5]。

学习新技能的另一个重要部分是需要探索和冒险, 比如分享关于自己的信息, 尝试一个你可能不擅长的新爱好, 或者尝试和你喜欢的人交谈。当你认为你能获得一些东西 —— 比如奖励 —— 时, 你更有可能决定去冒险。科学家们发现, 当一个人收到包括食物和金钱在内的奖励时, 部分纹状体也会被激活。一项针对 8-27 岁人群的研究集中关注这个大脑区域。研究人员发现, 具有较多青春期发育的人, 以及体内睾酮含量较高的人, 在获得奖励时, 纹状体的这一部分表现出更多的激活。这表明在青春期期间, 荷尔蒙可能很重要, 它会使大脑对奖励更加敏感 [6]。

这些研究表明, 大脑对反馈和奖励的反应方式在青春期前后发生了变化。这可能会鼓励青少年更多地了解自己和他人, 支持自我发现和个人成长。然而, 这些大脑变化也可能与某些心理健康问题和吸毒成瘾倾向于在青少年时期发展有关。例如, 如果青少年对奖励更敏感, 他们也可能对喝酒或吸毒带来的奖励感更敏感。此外, 比同龄人经历青春期更早或更快的孩子会有更多的心理健康问题, 研究人员认为这可能部分是由于荷尔蒙对他们大脑的影响不同 —— 但这是否属实还需要更多的研究来证实。大多

纹状体 (Striatum)

大脑中央处理奖励和反馈的区域。它被称为纹状体, 因为那里交替出现的组织使它看起来有条纹。

数儿童在没有任何心理健康问题的情况下度过青春期, 研究人员正在研究如何鼓励更多儿童取得积极的成果。

结论

青春期是一个会发生巨大变化的时期, 有时包括可能令人尴尬、困惑或难以承受的变化。其中一些变化来自于荷尔蒙对你全身细胞的作用, 包括你的大脑。荷尔蒙可以通过直接长期改变你的大脑的组织方式, 或者通过改变它对特定情况的反应来影响你的大脑。这些变化可能对青少年开启新的学习机会、为成年做准备非常重要, 尽管同样的大脑变化也可能会关闭发生在童年早期的其他类型学习的窗口。学校或许可以利用学生的这些大脑变化, 比如为积极的探索和冒险创造机会。学习不仅仅是数学和阅读——帮助我们更好地理解自己和他人的决策是另一种重要的学习方式, 大脑在青春期可能对这种方式特别敏感。

致谢

TC 的研究得到了美国国立卫生研究院 (NIH) 下属国家转化科学促进中心 (NCATS) 的资助, 奖项编号为 TL1TR002371。本文内容完全由作者负责, 并不代表国立卫生研究院的官方立场。作者们衷心感谢所有协助本合集文章翻译的人员, 使非英语国家的儿童也能阅读这些内容, 同时感谢雅各布基金会提供必要的资金支持。MB 负责将本文翻译成荷兰语。

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。感谢张青对本文中文翻译的贡献, 感谢范雪如对本文中文编辑的贡献; 感谢左西年、朱言对本文中文审校的贡献。

参考文献

1. Schulz, K. M., Molenda-Figueira, H. A., and Sisk, C. L. 2009. Back to the future: the organizational-activational hypothesis adapted to puberty and adolescence. *Horm. Behav.* 55:597–604. doi: 10.1016/j.yhbeh.2009.03.010
2. Ahmed, E. I., Zehr, J. L., Schulz, K. M., Lorenz, B. H., DonCarlos, L. L., and Sisk, C. L. 2008. Pubertal hormones modulate the addition of new cells to sexually dimorphic brain regions. *Nat. Neurosci.* 11:995–7. doi: 10.1038/nn.2178
3. Fuxjager, M. J., Forbes-Lorman, R. M., Coss, D. J., Auger, C. J., Auger, A. P., and Marler, C. A. 2010. Winning territorial disputes selectively enhances androgen sensitivity in neural pathways related to motivation and social aggression. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 107:12393–8. doi: 10.1073/pnas.1001394107
4. McNealy, K., Mazziotta, J. C., and Dapretto, M. 2011. Age and experience shape developmental changes in the neural basis of language-related learning. *Dev. Sci.* 14:1261–82. doi: 10.1111/j.1467-7687.2011.01075.x

5. Peters, S., and Crone, E. A. 2017. Increased striatal activity in adolescence benefits learning. *Nat. Commun.* 8:1983. doi: 10.1038/s41467-017-02174-z
6. Braams, B. R., van Duijvenvoorde, A. C. K., Peper, J. S., and Crone, E. A. 2015. Longitudinal changes in adolescent risk-taking: a comprehensive study of neural responses to rewards, pubertal development, and risk-taking behavior. *J. Neurosci.* 35:7226–38. doi: 10.1523/JNEUROSCI.4764-14.2015

线上发布: 2025 年 6 月 20 日

编辑: [Jessica Massonnié](#)

科学导师: [Zoltan Sarnyai](#)

引用: Barendse MEA, Cheng TW 和 Pfeifer JH (2025) 青春期的大脑. *Front. Young Minds*. doi: 10.3389/frym.2020.00053-zh

英文原文: Barendse MEA, Cheng TW and Pfeifer JH (2020) Your Brain on Puberty. *Front. Young Minds* 8:53. doi: 10.3389/frym.2020.00053

利益冲突声明: 作者声明本研究不涉及任何潜在商业或财务关系。

版权 © 2020 © 2025 Barendse, Cheng 和 Pfeifer. 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者, 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

BENJAMIN, 年龄: 11

我在学校最喜欢的科目是数学和英语, 因为我喜欢学习新知识, 也享受挑战带来的乐趣。课外活动中, 我最喜欢水球运动, 因为我热爱团队合作, 并且结交了许多新朋友。自从我在牛津看到活跃的脑细胞"发射"信号后, 我便立志成为一名医生。为此, 我阅读了大量文章, 聆听了许多讲座, 并一直在努力朝这个目标前进。此外, 我还特别喜欢狗!

作者

MARJOLEIN E. A. BARENDSE

我是俄勒冈大学发展社会神经科学领域的博士后研究员。在来到俄勒冈之前, 我曾在荷兰和澳大利亚求学。我对大脑的运作方式、青春期的变化, 以及影响儿童和青少年大脑发育的各种因素充满好奇。在空闲时间, 我喜欢攀岩, 并探索那些我从未踏足的地方。联系方式: *victoria.knowland@york.ac.uk

THERESA W. CHENG

我在风景如画的俄勒冈州学习心理学和神经科学。我的研究主要探讨青春期、压力和社会经历如何改变青少年的大脑。以前, 我曾是一名中学和高中的科学教师, 而我最喜欢这份工作的部分之一, 就是与人交流科学。除了研究之外, 我还喜欢烹饪、跳舞和远足。有趣的是, 在八年级的科学项目中, 我试图证明学校食堂的食物是不合法的 —— 换句话说, 它的营养标准达不到联邦法规的要求!





JENNIFER H. PFEIFER

我研究青春期的大脑、身体和社会环境的重大变化如何影响青少年的幸福感。我特别关注那些变化集中发生的时期——比如步入青春期并进入初中,或是高中毕业后开始大学生活或踏入职场。这些关键的转变可能充满挑战,但同时也是引导年轻人走向积极发展道路的宝贵机会。在工作之外,我喜欢弹钢琴,还热衷于在海岸寻找宝石。