

肌肉内的分子奥秘

窦子霄¹, 沈执中¹, 陈建成^{2,*}

¹ 南京大学新生学院安邦书院, 南京 210023

² 南京大学化学化工学院, 南京 210023

摘要: 讲述主人公小周与小黄在新冠疫情后重拾运动过程中所面临的种种挑战。小周在长时间不运动后, 急于恢复身体状态, 却因为过量运动而导致身心疲惫, 甚至比之前的状态更差。文章据此引出肌浆网的生理功能, 同时探讨了 γ -氨基丁酸(GABA)、5-羟色胺(5-HT)等物质由于运动引起变化进而影响心情感受的化学过程, 以及过量运动会引起皮质醇这一化学物质的增加, 并说明它对肌肉增长的不利。最后, 讨论了锻炼对肌肉纤维的影响。

关键词: 运动; 肌浆网; γ -氨基丁酸; 5-羟色胺; 皮质醇; 肌肉纤维

中图分类号: G64; O6

Unveiling the Molecular Mysteries inside Muscles

Zixiao Dou¹, Zhizhong Shen¹, Kin Shing Chan^{2,*}

¹ Anbang Academy, College of First-Year Students, Nanjing University, Nanjing 210023, China.

² School of Chemistry and Chemical Engineering, Nanjing University, Nanjing 210023, China.

Abstract: This article narrates the challenges faced by protagonists Xiao Zhou and Xiao Huang as they resume exercise after the COVID-19 pandemic. Xiao Zhou, having been inactive for a prolonged period, seeks to regain physical fitness but overexerts himself, leading to physical and mental exhaustion and a decline in condition. The article explores the physiological role of the sarcoplasmic reticulum and delves into the chemical processes involving γ -aminobutyric acid (GABA), 5-hydroxytryptamine (5-HT), and cortisol, influenced by exercise and impacting mood and muscle growth adversely. Additionally, it examines the effects of exercise on muscle fibers.

Key Words: Exercise; Sarcoplasmic reticulum; γ -Aminobutyric acid (GABA); 5-Hydroxytryptamine (5-HT); Cortisol; Muscle fiber

1 肌浆网——在超负荷运动中“负重前行”

小周是个热爱运动的男孩, 但由于感染新冠和长时间的在家隔离, 他已经很久没有运动了, 在疫情结束不久, 他便抑制不住内心的喜悦, 喊上好朋友小黄一起去锻炼身体。

春光正好, 微风不燥。沐浴在和煦的阳光中, 呼吸着沁心的空气, 小周和小黄在公园里享受着久违的奔跑。小周看着在身旁的小黄, 男孩间的好胜心蠢蠢欲动。“你等着, 我先冲一段!” 话音刚落, 小周便调动起全身气力, 如离弦的箭般射出。见状, 小黄说道: “小周, 我们已经好久没运动了, 当心身体, 别着急呀!” 小黄善意的提醒反而更让小周暗中较劲……

没过多久, 气喘吁吁的小周回头张望, 发现小黄已被自己落在身后。正当他享受着身心的愉悦

时，他体内的细胞内结构早已忙翻了天。首当其冲的便是细胞中一个叫做“肌浆网”的膜内结构(图1)，它在肌肉细胞内主要负责钙离子的摄取和释放，从而维持肌肉的运动^[1]。这就宛若一名辛勤的快递小哥，它需要接收和派送的“快递”就是钙离子。一方面，它精准地接收“快递”，这便是在摄取钙离子；另一方面，它要将“快递”迅速地派送出去，这则是在释放钙离子。只有保证这些“钙离子快递”在人体内运输通畅，人体的肌肉才能支持我们作出如此复杂且精细的运动。然而现在，在小周身体里的肌浆网正在处于“水深火热”之中：饶是再辛勤的“快递小哥”，面对小周如此超负荷的运动也是连连叫苦、筋疲力竭。小周超负荷运动之后，肌浆网释放和再摄取钙离子的速度减慢，肌肉无法使出足够的力量。因而不过多时，小周便感到肌肉有点使不上力了，双腿像灌了铅一般沉重，脚步也就逐渐放慢了下来。

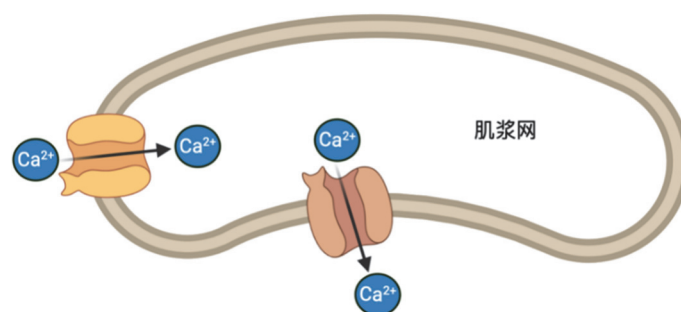


图1 肌浆网中钙离子的摄取与释放

2 γ -氨基丁酸与5-羟色胺——身心愉悦的“化学交响”

这时，小黄也赶了上来，并对小周竖起了大拇指：“你好厉害啊！虽然有点累，但是我感到全身舒畅。”小周点点头：“的确是这样，可这是为什么呢？”小黄眉头一扬，说：“这你可就不知道了吧。我在书上看到过，这可是我们身体里的 γ -氨基丁酸(GABA)在发挥作用呢！在坚持一段时间的耐力运动后，人体内的谷氨酸经由谷氨酸脱羧酶(GAD)的催化，去除一个羧基(COOH)转化为 γ -氨基丁酸(GABA)^[2](图2)。 γ -氨基丁酸(GABA)与人体内的神经元作用，不仅能舒缓身心，缓解压力带来的影响，还创造出良好的睡眠环境，让我们睡得香甜！”的确如小黄所言，当晚，两位运动的小伙伴十分顺利地进入了甜蜜梦乡。

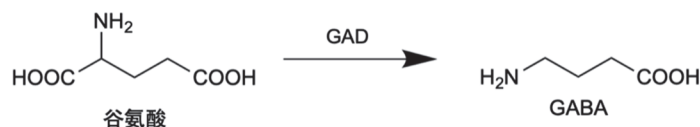


图2 γ -氨基丁酸(GABA)的合成

自此之后，小黄和小周常常相邀一起运动。与小黄一同运动时，小周总想着跑得更快一点，锻炼的时间更久一点。本着“一分耕耘，一分收获”的道理，小周认为自己一定会更加强壮。

但是，事与愿违，一个月下来，小周每次都高强度地超出自己能力范围的锻炼，最终却比不过轻松快乐的小黄，甚至不如新冠疫情前的自己，导致他渐渐郁郁寡欢。在又一次的跑步锻炼过后，小黄看出了小周的不自在，走上前拍拍他的肩膀并说：“你怎么啦？怎么看起来不太高兴呢？”小周闷声闷气地说：“不知为何，这些天我锻炼之后总是感觉身心俱疲，吃不下饭、睡不好觉。难道是我身体里的 γ -氨基丁酸(GABA)不管用了吗？”

听了小周的倾诉，小黄安慰他说：“那可能会是你的过量运动，在你的大脑中生成了过量的5-羟色胺(5-HT)。运动时，色氨酸(TRP)会更多地进入脑中，经过羟化反应生成5-羟色氨酸(5-HTP)，

再经过脱羧反应合成5-羟色胺(5-HT) (图3)。大脑中5-羟色胺含量升高, 会引起乏力、困倦、食欲不振、睡眠紊乱的不良影响^[3,4]。你也不需要感到心理上的负担, 人体内的一切现象都可以用化学来解释呢。”

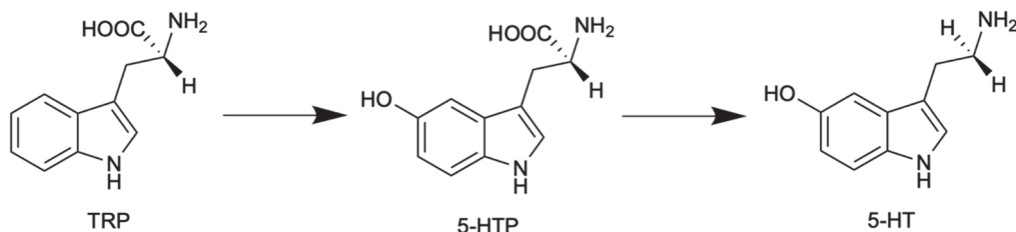


图3 5-羟色胺(5-HT)的合成

“但是，”小周又问道，“我每天都付出了极大的努力，为什么到最后反而不如你轻轻松松的效果好呢，难道是因为我的身体不行吗？”小黄安慰道：“怎么会呢，这样吧，我的爸爸是医生，不如我们去问问他原因吧！”

3 皮质醇——肌肉增长的“隐形敌人”

小黄家中，黄医生倾听了小周的困惑，摸摸小周的头，哈哈笑道：“这并不是你身体不如别人，而是你运动的方式不对造成的。让我来慢慢告诉你运动的秘密吧！这是皮质醇在捣鬼。”

“皮质醇？”小周和小黄同时疑惑地说道。

“是的，皮质醇是由肾上腺分泌的激素，它以胆固醇为原材料，在一系列羟化酶的催化作用下经可的松等中间物质的变化合成(图4)。它在调节生长发育、免疫功能和炎症反应等方面发挥着很重要的作用，并参与调节认知和行的过程，是人体内必不可少的物质。但要注意的是，皮质醇可能会成为肌肉增长的‘隐形敌人’哦！”

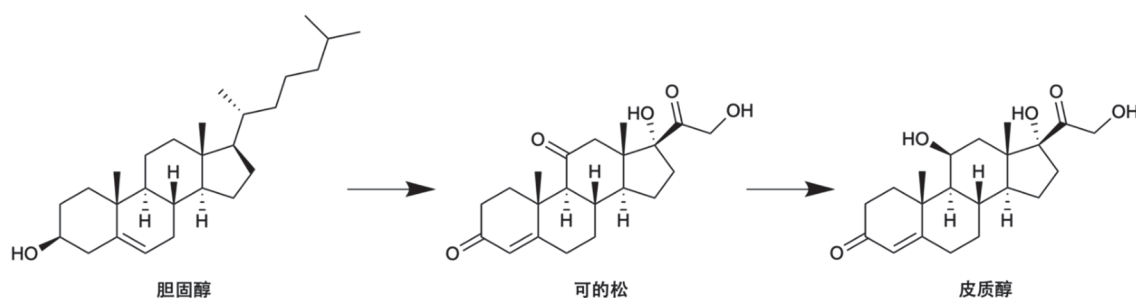


图4 皮质醇的合成

黄医生继续解释道：“由于小周很长时间没有运动，肌肉在运动过程中承受了过大的负荷，超出了其能够承受的范围，这带来了肌肉拉伤和炎症反应，从而使得皮质醇释放量大大增加，这会导致一系列生理变化，其中一些可能对肌肉产生负面影响。例如：皮质醇可以促进蛋白质的分解，使蛋白质转化成氨基酸，如果皮质醇过量，在这个过程中，机体很有可能会从肌肉中分解蛋白质，从而导致肌肉减少^[5]。”

“嘶——”小周倒吸一口凉气，原来过量运动具有如此让人心惊的后果。

黄医生补充道：“除了促进蛋白质的分解外，皮质醇也可以抑制蛋白质的合成。这意味着肌肉组织的新陈代谢过程可能被抑制，导致肌肉的生长和修复受到阻碍。所以说啊，长时间高强度的超出自己能力范围的运动不仅没有助于肌肉的增长，反而会抑制肌肉生长，你们以后运动的时候要

注意啦！”

小周恍然大悟，原来自己的过量运动，不仅没有使锻炼效果更好，反而加重了身体的负担，使得锻炼效果降低了。

4 肌肉纤维——快慢结合的“动力引擎”

黄医生又对小周为什么体能不如从前解释道：“长时间不运动会导致肌肉萎缩，即肌肉纤维的数量和大小减少，从而导致肌肉萎缩，使得肌肉无法像从前那样保持强壮和健康。同时，包裹在肌肉周围的结缔组织，也就是筋膜，会变得僵硬和不灵活而活动受限，减少其柔韧性和伸展性，但不用担心，你之前的锻炼不会白费，在正常训练一段时间后，你从前的肌肉会更快地长回来的。”

最后，黄医生告诫小周，不要再过分苛求自己的肌肉，假如继续长时间地超出能力范围的训练，会导致诸如肌纤维膜破裂、横纹肌溶解等严重后果。

“你们如果想要更加科学地运动，那就应该深入了解肌肉纤维的作用，他可是人体内的‘动力引擎’呢！”黄医生微笑着继续告诉两人，“人的肌肉由两种肌肉纤维混合组成。一种收缩速度快，称为快缩肌肉纤维。它易疲劳，适合快速度、爆发性的无氧运动。比如短跑、拳击、举重。另一种收缩速度慢，叫做慢缩肌肉纤维。它抗疲劳能力强，适合力量小、时间长的有氧运动，比如说长跑、竞走，以及生活中的大部分运动。两种肌肉纤维分工明确，负责不同的运动。但是，每个人的两种肌纤维的比例都不相同，并且在出生时就已经决定。因此，我们应该知道，不同的人的运动能力各不相同。所以我们更不应该苛责自己，而是选择最适合自己的运动方式，通过合理的后天锻炼使肌纤维增多、增粗，也就是我们常说的增肌^[6]。”

5 结语

“原来如此！”小黄和小周感到受益匪浅。无论何种运动，只有找到适合自己的方式，并佐以科学上合理的解释，才能让自己的运动之路更加愉悦、健康，最终有所收获！小黄与小周也在之后的锻炼中更加注重科学理论的指导，不仅使得运动更加高效，也在过程中增长了化学知识，感受了化学之美。

参 考 文 献

- [1] Leppik, J. A.; Augher, R. J.; Medved, I.; Fairweather, I.; Carey, M. F.; KeKenna, M. J. *J. Appl. Physiol.* **1985**, 97 (4), 1414.
- [2] Kim, S.; Jo, K.; Hong, K.-B.; Han, H.-B.; Suh, H.-J. *Pharm. Bio.* **2019**, 57, 65.
- [3] Green, A. R. *Br. J. Pharm.* **2006**, 147, S145.
- [4] Bailey, S. P.; Davis, J. M.; Ahlborn, E. N. *J. Appl. Physiol.* **1993**, 74 (6), 3006.
- [5] 薛庆亮. 中性粒细胞内皮质醇与炎症反应关系的研究[博士学位论文]. 北京: 中国人民解放军军医进修学院, 2011.
- [6] Karp, J. R. *Strength Cond.* **2001**, 23 (5), 21.