

运动心理与心理健康

文章编号:1001-747 (2006)01-0123-04 中图分类号:G804.85 文献标识码:A

# 人类运动技能学习的脑机制\*

刘洪广<sup>1</sup>, 刘 洁<sup>2</sup>

(1. 中国人民公安大学, 北京 100038; 2. 江西省第二人民医院, 南昌 330029)

**摘 要:** 主要研究运动技能学习过程中的脑机制。基于大脑的整体观点, 从运动完成的基本神经过程、中枢神经不同层次(部位)间对运动执行具体控制的工作平台、运动学习的神经基本过程、运动学习和记忆的神经统一过程、动作重复练习与运动学习的脑机制等 5 个方面分析数个大脑区域的活动, 以及它们在运动技能学习过程中的作用。

**关键词:** 运动学习; 运动控制; 动作的脑机制

## Brain Mechanism of Learning Sports

LIU Hong-guang<sup>1</sup>, LIU Jie<sup>2</sup>

(1. Chinese People s Public Security University ,Beijing 100038 ,China ;

2. Jiangxi Presidial Tumour Hospital ,Nanchang 330029 ,China)

**Abstract :** The topic of this dissertation was studying the brain mechanism of learning sports. From a global viewpoint , based on 5 the neocortical analyses: 1. The basic nerve process during sports activity ;2. The working platform of different level of structure in central nervous system for controlling the movements in sports ;3. The basic nerve process of motor learning ;4. The unified process of nerves between motor learning and memory ;5. The brain mechanism of movement repetition and motor learning. An integrative neuro-physiology should describe activity of several brain areas.

**Key words :** sports learning ;motor controlling ;brain mechanism of movement

每立方毫米由 20 000 细胞组成的大脑是无数复杂事件的信息处理系统,这个信息处理系统起着控制、调节身体各部分运动的作用,各个器官都是执行、完成大脑的指令,各器官组织也只有在大脑的协调统一下,才能把有机体的各种能力恰当地发挥出来。学习作为因为经验而使有机体的反应方式产生持久的改变过程,在这一过程中大脑同样也起着决定性的作用。在过去的 30 年中,人们在微观上对脑化学和生理上的认识已经有了相当高的水平,知道了突触的重要特性,以及控制突触传递的神经传感器。对膜的生物物理认识也有很大的发展,沿着轴突传导的动作电位动态特征的机制,普遍为人们所接受。这些微观和中间内在的生理性质对理解外周神经系统功能作用的解释,使我们知道感觉信号到达中枢系统(输入)的机制和大脑与脊髓中所产生的信号如何到达运动神经系统(输出),所具有的重要作用。随着分子生物学对人类基因组的破译,虽然对哪些基因组、哪些碱基序列与神经电活动相关的问题,可利用基因敲除或转基因技术培育不同类型的认知缺陷动物加以证明,但大脑所控制的人的行

为和基因对应关系绝非如此单纯<sup>[1]</sup>。在脑功能的研究中,最大难题并非功能蛋白、基因及克隆技术,而是各种分子相互作用及其对大脑各种功能的机制<sup>[2]</sup>。

## 1 运动完成的基本神经过程

运动技能是由系列化的专业动作所组成,人体在任何情况下的运动动作,哪怕是瞬间决断下完成一个随意动作,实际上都需要中枢参与,在大脑高速运算下,经过运动的计划(motor planning)、运动的编程(motor programming)、运动的执行(motor execution)三个阶段<sup>[3]</sup>,才能够得以完成。运动计划处于最高的战略性层次上,它根据运动的目的,决定为达到目的所采取的最佳运动策略,大脑皮层联络区、基底神经节和小脑外侧部参与了这一神经活动过程。运动编程旨在解决具体的战术性问题,它将决定各有关肌肉收缩活动的时间和空间次序,以及为准确达到运动目的而对肌肉的活动进行适时的调节,大脑初级运动皮层和小脑参与了这一神经活动过程。运动执行是随意运动的最后阶段,它将

\* 收稿日期:2005-03-21;修回日期:2005-05-16

作者简介:刘洪广(1961-),男,湖南涟源人,副教授,中国科学院博士后,研究方向为生理心理学;刘洁(1962-),女,江西南昌人,技师。

运动程序加以具体地实现,在初级运动皮层、脑干和脊髓参与这一神经过程下,最终达到预期的运动目的。

## 2 中枢神经不同层次(部位)间对运动执行具体控制的工作平台

完成动作的基本控制过程。在运动执行阶段,中枢神经系统实时控制运动的进行,这一运动的控制是等级性的,大脑皮层是运动系统的最高层次,大脑皮层的初级运动皮层和前运动区(前运动皮层和辅助运动皮层)在运动的发起和控制中起到了不同的作用,其中前运动区负责生成运动计划和程序,而初级运动皮层负责运动的执行。除了大脑皮层前运动区外,基底神经节和小脑外侧也参与了运动的计划和编程。初级运动皮层的运动执行功能是通过其对低一层面的工作平台中的脊髓运动神经元、脊髓中间神经元和脑干颅神经核的支配,以及对脑干运动核团的支配而实现的<sup>[4]</sup>。

小脑和基底神经节这一层面工作平台,在运动控制中起不同的作用。小脑除外侧区参加了运动的计划过程外,其功能主要与运动的执行过程有关,即对随意运动进行适时的管理和调节。基底神经节的作用则在运动控制的认知方面,即在复杂运动的计划这样一些更高的层次上参加了运动的调节。基底神经节和小脑也可以利用感觉和认知信息进行学习,所以不仅仅是两个运动调节机构,而且也具有运动学习和记忆功能。

## 3 运动学习的神经基本过程

任何一项运动技能的学习、分化、提高和发展都与大脑的诸多机能密切联系。学习某运动技能的过程,实际上是大脑的运动学习和记忆(motor learning and memory)的过程,属于非陈述性学习和记忆。高等哺乳类动物脑内至少有两个主要的与记忆相关的系统<sup>[5]</sup>:一个系统(陈述性记忆的神经回路)以边缘系统为主要环节,与认知性记忆有关;另一个系统(非陈述性记忆的神经回路)以基底神经节为主要环节,与习惯的获得和适应性反应的记忆有关。在非陈述性记忆神经回路中,其感觉信号刺激可引起皮层感觉-颞叶系统的兴奋,进而激活尾核新纹状体系统,使新纹状体-颞叶前区回路协调锥体运动系统而引发已学会的运动反应。陈述和非陈述性记忆神经这两条回路系统,要进入运动状态均需要来自大脑皮层的输入,被感觉刺激激活的大脑皮层感觉区,通常充当触发记忆起始的角色<sup>[6]</sup>。

首先在初级感觉皮层,有很多高一级的、具有感觉型特异的、相互连接的皮层感觉区参与,从而形成一个多突触的感觉信息通路。从初级感觉投射区发出至少可以形成两条通路:一条通向背侧,与额叶的运动系统相连接,背侧通路似乎对空间感觉、方向性和空间感觉引导的运动十分重要;另一条通向腹侧,与颞叶的边缘系统相连接,腹侧通路对物体或刺激性质的感知,以及最后对运动反应的触发是关键性的。感觉信号经过多级处理加工形成感知的整合结构,然后再与边缘系统或基底神经节形成记忆回路(见图1)。

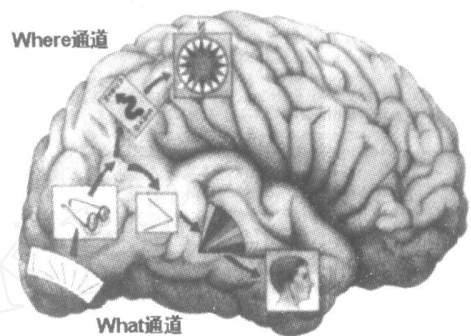


图1 初级感觉投射区发出的两条通路

## 4 运动学习和记忆的神经统一过程

记忆是随时间而不断变化的神经过程,运动学习包含新的运动环节的形成,一旦新的运动环节已经习得,运动就变成半自动性的,表现为一系列先天已形成的反射的巧妙组合。一种新的技巧动作的学习,重复地训练一种特殊动作是必需的,开始时由于需要感觉的反馈,这种特殊的动作完成得比较慢。随着训练次数的增加,动作也就熟练起来,感觉反馈也就不再需要。因为反馈的信息重复到达运动皮层的某一特定区,从而易化了所支配的肌肉的收缩。当训练做一个特殊动作时,与这一动作有关的本体感觉冲动重复地到达感觉皮层,再通过皮层各区间的纤维到达运动皮层。多次重复后即可在运动皮层的相关突触上诱导产生长期增强(long-term potentiation:LTP)说明一个特殊动作的重复练习可使相关皮层的输入神经元的兴奋性增加,在动作开始前运动皮层神经元的放电即有所增加,从而易化所支配肌肉的收缩<sup>[7]</sup>。当这一转化完成后,感觉反馈也就不再需要了。重复训练有可能增强运动皮层所支配神经元的兴奋性,从而易化相关肌肉群的收缩,这种兴奋性的增强很可能与新的运动环节的形成有关。

有 20 000 细胞/ $\text{mm}^3$  的人脑大约由  $10^{11} \sim 10^{12}$  个相

当一致物质的神经元组件组成,  $10^{11-12}$  个神经元之间存在着  $10^{15}$  以上的突触联系, 但只使用少数定型的信号, 每一瞬间都进行着大量神经电的时间和空间总和。只有那些突触后电位的神经电总和达到发放阈值以上的神经元, 才能发放神经冲动。神经生理学取两个极值对脑进行研究, 一方面利用微电极记录和分析个别神经元的活动规律, 只关注于全或无的数字式调频编码; 另一方面把大量神经元的活动看作是伪随机的, 进行远场电位的记录分析, 常采用叠加与平均算法、复杂性算法、模糊算法等。然而, 对大脑, 特别针对指大脑皮质“灰盒”的动态特征 (dynamics) 仍了解得很少。所谓动态脑就是研究脑活动的动态过程以及研究它的 (非线性) 动力学性质, 现有的学科如神经解剖学、神经生理学和神经病学都有各自明确的理论, 都是用各自的理论和研究方法以追求不同的目的。运动技能的学习是由脑内多个不同类型记忆系统之一参与的结果, 多个不同类型记忆系统有不同的神经基础, 不同类型的隐性记忆依赖于脑内不同的系统。技巧性运动学习是由皮层、纹状体系统来完成, 而词汇预示性记忆则依赖于贮存词义的联合皮层的完整。

包含对神经系统的行为动态和在正常状态下的复杂性研究, 是运动科学研究的基础理论、临床应用以及实验室课题研究的一个重要方面。神经科学研究目的在于了解神经系统内分子水平、细胞水平及细胞之间的变化过程, 以及这些过程在中枢功能控制系统内的综合作用。在头皮脑电位的研究中得知, 头皮脑电位从具有多重功能相关的初级信号处理开始就与振荡活动相关, 感觉输入活动取决神经区域瞬时性选择和同步作用, 各自的皮质柱和区域暂时的整合对时空机制起到决定性作用<sup>[8]</sup>。由于神经回路和工作的时间性决定着神经元不同作用, 所以众多神经元在皮质功能上表达显得非常复杂。尽管感觉输入信号是多种多样的, 而人们还是以一种整体的方式去认知世界。然而在大脑中尚未发现能够聚合这些输入的具体操作皮质区 (master area), 也不知道作为连贯性感知 (coherent perception) 基本信号之间是通过协调配合进行的<sup>[9]</sup>。在振荡活动中起调节作用的区域性神经元聚合体的短期同步化, 对大脑来说无论是完成简单信息处理还是较高级思维活动都是必不可少的, 这也是神经电位表达的本质<sup>[10]</sup>。

神经电位在人脑神经网络传导并进行处理时, 所反映的是更离散的神活动模式, 是认识特异性神经电的基础, 具有高度的时间精确性 (微秒级)。分析不同的内源成分, 并以此作为神经电信息处理

特异模式或阶段的标志, 这些标志揭示出不同处理阶段时序及顺序, 可把串行神经电信息处理机制与平行机制加以区别, 这样就提供了有关选择性神经电的基础信息。人类神经电活动的事件相关电位能够以很高的时间分辨率, 来跟踪神经传入通道和感觉皮层区的神经电信息变化。通过记录激活神经元群产生的电场, 可以用毫秒级的分辨率, 来测量与神经功能有关的脑激活模式的时间过程<sup>[11]</sup>。受试者执行设定功能时, 表明刺激的神经电信息沿感觉通路传递时, 相继激活了一些神经核和皮层区, 并产生一系列时间精细的诱发电位场, 从头颅表面能无创性地记录到这些场, 新近发展的表面场起源技术已经允许对神经功能过程相关的, 按精确时间划分的脑内活动, 可进行更准确的解剖定位描述。

## 5 动作重复练习与运动学习的脑机制

运动系统中的大脑皮层是运动控制的最高中枢机构, 脑干和脊髓则属于较低级的中枢, 为机体提供了一些基本的反射性运动模式, 如同计算机程序的子程序, 能够被大脑皮层随时调用, 并组构成为各种复杂的行为活动。而且, 正是由于脑干和脊髓这些低级运动中枢的活动, 才使得大脑皮层从对每个运动的所有细节进行管理这种繁杂的事物性活动中解脱出来, 并得以发展更为重要的发起和控制随意运动的功能。计算机应用中如何让主程序运算加快, 提高 CPU 处理速度是重要的, 这样可使与其串行的子程序性能得以充分体现, 而就人体而言如果提高了动作的熟练性, 就如同删除了程序中诸多冗长语句一样, 也可使运算变得迅捷, 运动动作变得更加流畅, 而要提高动作的熟练性, 加强运动动作的重复训练是非常重要的。

相关的实证性实验可以从梅镇彤<sup>[12]</sup>在海马等的动物实验中得到。梅镇彤在海马等的动物实验中记录到一个按刺激强度分级的诱发电位, 经电生理方法鉴定该电位为相邻细胞同步发放形成的复合电位即群峰电位 (population spike), 其时程较一般诱发电位短, 在神经元树突所在的辐射层 (radiatum stratum) 可记录到一个慢负电位, 为相邻神经元兴奋性突触后电位 (EPSP) 的总和, 称之为群体兴奋性突触后电位或兴奋性突触后场电位 (population EPSP: pEPSP, field EPSP: fEPSP)。单突触诱发反应的长时间易化 (达 10 小时以上) 称为长时程突触增强。短时记忆的读出机制容易受影响, 当它们转入长时记忆后就相对稳定, 但随时间的延长, 即使在没有任何外伤的情况下贮存的信息也会逐渐消失, 或回忆信息的能力逐渐减弱。从神经科学角度看学习新的动

作技术总是首先对该动作方向、幅度、结构等进行感知,根据动作感知所留下的视觉表象加以模仿,通过外部肌肉本体的反馈,逐步形成动作表象,而重复的训练是有意识地积极地利用头脑中已经形成的运动表象进行回顾、重复、修正、发展和创造自己的动作,使神经与神经、神经与肌肉之间的联系进一步得到加强,每一次动作的重复都会使相应的肌肉群产生生物电流,并会使肌肉兴奋性提高。

#### 参考文献:

- [1] Tononi G, Edelman G M. Consciousness and complexity[J]. Science, 1998, 282(5395): 1846-1851.
- [2] Stopfer M, Bhagavan S, Smith B H, et al. Impaired odour discrimination on desynchronization of odour - encoding neural assemblies[J]. Nature, 1997, 390(6655): 70-74.
- [3] Azouz R, Gray C M, Nowak L G, et al. Physiological properties of inhibitory interneurons in cat striate cortex[J]. Cereb Cortex, 1997, (7): 534-545.
- [4] Wehr M, Laurent G. Relationship between afferent and central temporal patterns in the locust olfactory system[J]. J Neurosci, 1999, (19): 381-390.
- [5] Mishkin M. Memories and habits: Two neural system[M]. In: Lynch G, McGaugh J L eds. Neurobiology of Learning and Memory. New York: Guilford Press, 1984. 427.
- [6] Rodriguez E, George N, Lachaux J, et al. Perception's shadow: long - distance synchronization of human brain activity[J]. Nature, 1999, (397): 430-433.
- [7] Usher M, Donnelly N. Visual synchrony affects binding and segmentation in perception[J]. Nature, 1998, (394): 179-182.
- [8] Tallon-Baudry C, Bertrand O, Peronnet F, et al. Induced  $\gamma$ -band activity during the delay of a visual short-term memory task in humans[J]. J Neurosci, 1998, (18): 4244-4254.
- [9] Riehle A, Gruhn S, Diesmann M, et al. Spike synchronization and rate modulation differentially involved in motor cortical function[J]. Science, 1997, (278): 1950-1953.
- [10] Sannita W G, Conforto S, Lopez L, et al. Synchronized 15.0-35.0 Hz oscillatory response to spatially modulated visual patterns in man[J]. Neuroscience, 1999, (89): 619-623.
- [11] Aoki F, Fetz E E, Shupe L, et al. Increased gamma - range activity in human sensorimotor cortex during performance of visuomotor tasks[J]. Clin Neurophysiol, 1999, (110): 524-537.
- [12] 梅镇彤. 记忆的神经生物学[J]. 科学通报, 1993, (38): 462.
- (上接第 111 页)向”的动态评价同样难以驾驭——至少无法为它设定可以预见的路线。未来的体育教学评价注定将是一种多元评价方法体系相交流、融合的过程,并且会伴随着时代的发展而不断地进行变化。
- 参考文献:
- [1] 李涛,孙霞. 课堂教学质量的模糊综合评价方法应用研究[J]. 山东理工大学学报(自然科学版), 2003, 17(5): 72-75.
- [2] 曹庆奎,魏效玲,潘越,等. 高校课堂教学质量分析的模糊综合评价模型[J]. 河北建筑科技学院学报, 2003, 19(3): 75-78.
- [3] 雷亚萍. 研究生学位论文的模糊综合评价方法[J]. 西安科技学院学报, 2003, 23(3): 331-334.
- [4] 牛映武. 运筹学[M]. 西安:西安交通大学出版社, 1995. 156-157.
- [5] 刘万里,王金艳. AHP 和齐次马尔柯夫链[J]. 系统工程, 2001, 19(1): 24-27.
- [6] 黄香伯. 体育控制理论[M]. 长沙:湖南科学技术出版社, 1992. 329-352.