|  |  |
| --- | --- |
| 第6章 运动控制的感官成分  *概念：触觉、本体感觉和视觉是运动控制的重要感官成分。*  完成本章的学习后，你将能够：   * 描述皮肤中为中枢神经系统提供触觉信息的感觉接收器 * 讨论受触觉反馈影响的几种运动相关特征 * 描述为中枢神经系统提供本体感觉信息的各种类型的感觉接收器 * 描述研究人员用来探究本体感觉在运动控制中作用的几种方法 * 讨论受本体感觉反馈影响的几种运动相关特征 * 描述眼睛以及视觉神经通路的关键解剖学成分 * 描述研究人员探究视觉在运动控制中作用所采用的几种方法 * 讨论单目与双目视觉、中央与周围视觉、视觉与运动的知觉-动作耦合、基于视觉的运动纠正，以及光学变量*tau*在使用过程中的相关运动控制问题 | |
| 应用 当你拿起一杯水要喝的时候，触觉、本体感觉和视觉的感觉系统就会在该技能的执行过程中发挥作用。视觉帮助你定位到杯子的位置，并用手和手指将其抓住；触觉和本体感觉帮助你将杯子拿起来送到嘴边，并保证杯子不会从手中滑落。如果没有这些关键感觉系统提供的感觉信息，即便是像喝杯中水这种相对简单的任务，执行起来也会面临相当大的困难。你之所以能够完成日常生活中的其他技能，如将钥匙插入锁孔和轻松地驾驶汽车，都是因为有触觉、本体感觉和视觉为你的运动控制系统提供 | 的信息。类似地，体育活动也同样需要并受益于这些感觉系统的功能作用。例如，要接住球，你必须首先看到球的位置，判断球到手的时间，把手的位置摆好，然后当球到达手心时合上手指将其握住。  在所有这些运动技能执行的情况中，从业人员将会受益于对触觉、本体感觉以及视觉感觉系统的理解，包括理解它们的解剖学和生理学基础、它们如何影响运动的控制，以及它们给人类运动技能表现所带来的限制。在接下来的讨论中，我们将针对这三种感觉系统分别介绍其解剖学和生理学基础以及与协调运动控制之间的关系。本章的目的是帮助从业人员建立理 |

|  |  |
| --- | --- |
| 论基础，从而为自己服务的人群建立有效促进其技能学习或康复的策略。  **待解决的问题** 当你伸手拿起一杯水的时候，你是如何知道手需要伸多远，握杯的力量需要使多大，以及又是如何在送到嘴边准备喝的过程中阻止杯子从手中滑落的呢？当你在校园中穿梭时，你是如何做到过马路时不被路边石绊倒，或者不与在你前面或对面走过来的人相撞的呢？ 讨论 任何控制理论的一个重要特征就是感觉信息在控制技能执行过程中所起的作用。在我们的众多感觉中，触觉、本体感觉和视觉在技能的运动控制中起到至关重要的作用。在人类感觉生理学的研究中，触觉和本体感觉属于*躯体（somatic）*感觉系统，而视觉是与视觉感觉系统相关的感觉。下面我们将着重介绍这三种感觉，描述其神经学基础以及在人类运动控制中所起到的作用。  在开始这些感觉系统的讨论之前，有必要指出，虽然本章只介绍了三种感觉，但这并不是运动控制中所涉及到的感觉的全部。从研究文献（如Huber, Stathopoulos, & Sussman, 2004）中可以得知，听觉信息对言语产生尤其重要；从技能娴熟的运动员的轶事中也有证据表明听觉信息的重要性，会影响他们的一些行为，如棒球中判断球被击中后的飞行特征，以及网球中判断发球或球触地后的飞行特征。此外，已有研究（例如，Guerraz & Day, 2005)）表明，内耳中的前庭系统在平衡控制以及在躯干辅助的够物运动中可能需要的手臂-躯干协调性中起着重要的作用（Mars, Archambault, & Feldman, 2003），当然，触觉、本体感觉和视 | 觉感觉系统在这里也非常重要。前庭系统似乎在外部空间的表征中起到一定作用（Borel et al., 2014）。然后，本章的目的是向读者介绍运动控制中感觉系统的参与情况，因此我们讨论的内容将仅限定于触觉、本体感觉和视觉。 触觉与运动控制 思考一下我们在执行运动技能时使用触觉的各种情况，那些需要我们操纵物体（如手持叉子、键入消息以及捡球）或人（如摔跤、拳击和泰拳）的技能，以及需要与环境中的自然特征交互的技能（如赤脚走在沙滩上），就利用了皮肤中的触觉感受器来检测物体、人或环境的特征。但是这些感觉信息是如何帮助我们执行运动技能的呢？为了回答这个问题，我们首先要考虑一下这类感觉信息检测功能的神经基础，然后描述研究所发现的那些表现受触觉信息影响的运动技能的运动特征。 触觉的神经基础 当我们触摸某物时，皮肤中的*机械感受器（mechanoreceptors）*就会激活为中枢神经系统提供有关疼痛、温度和运动的信息。如图6.1所示，这些感受器位于皮肤表面下的真皮层。作为机械感受器，这些感觉接收器用于检测皮肤的拉伸以及关节的运动。这类感受器在手指尖中最为密集。 触觉信息在运动控制中的作用 研究人员普遍认同触觉在多种运动技能的执行和运动控制过程中起到非常重要的作用。 |

|  |  |
| --- | --- |
| 1. 麦斯纳氏小体——快适应性机械感受器，触觉和压力 2. 默克尔氏小体——慢适应性机械感受器，触觉和压力 3. 游离神经末梢——慢适应性痛觉感受器、瘙痒感受器、温度感受器和机械感受器 4. 帕西尼小体——快适应性机械感受器，振动和深度压力 5. 鲁菲尼小体——慢适应性机械感受器，皮肤拉伸   皮肤表面  真皮层  表皮层  **图6.1**触觉中涉及的皮肤感受器。(注意该图不是按比例绘制的；例如，帕西尼小体实际上比麦斯纳氏小体大4到5倍。)*资料来源：*Widmaier, E. P., Raff, H., & Strang, K.T. (2019). *Vander’s human physiology: The mechanisms of body function* (15th ed.). New York, NY: McGraw-Hill. | |
| 我们将简要分析以下五种受触觉信息影响的运动相关的特征。首先，最为重要的一个特征是*运动准确性（movement accuracy）*，当无法获得触觉信息，特别是指尖处的触觉信息时，运动准确性会下降。研究表明，当去掉或最小化触觉反馈时，以下运动技能的准确性会很差：指向运动（Rao & Gordon, 2001）、伸手抓握（Gentilucci, Toni, Daprati, & Gangitano, 1997）、键盘打字（Gordon & Soechting, 1995; Rabin & Gordon, 2004）、保持精准抓握（Fisher, Galea, Brown, & Lemon, 2002）、根据声音刺激有节律地敲击手指（Pollok, Müller, Ascherleben, Schnitzler, & Prinz, 2004），以及 | 在钢琴上弹奏一系列音符（Goebl & Palmer, 2008）。在这些研究中，大部分研究人员都采用麻醉手指尖的方法，这样中枢神经系统就无法获得触觉传入信息，从而可以与没有麻醉的情况进行运动准确性的比较。另一种确定触觉传入信息在运动控制中的作用的方法是，在活动的执行中加入触觉。例如，在拉奥和戈登（Rao & Gordon，2001）的实验中，受试者在执行指向运动时，与移动手臂到目标物的位置而不触碰它相比，触碰目标物的准确性更高。另一种稍有不同的方法是在目标手指上施加短暂的振动刺激，在用一只手的食指去触碰无法看见的另一只手的食指时，这种刺激可以使受试者的表现更加准确和一致（Mikula et al., 2018）。 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  | | --- | --- | --- | |  | **深度阅读** | | | **没有触觉反馈的打字**   |  |  | | --- | --- | | 在一个旨在探究触觉反馈对运动控制的重要性的实验中，拉宾和戈登（Rabin and Gordon，2004）让12名熟练打字员（打字速度超过50个单词/分）在个人电脑的键盘上输入他们面前列表中的语句。他们打字时可以看到电脑屏幕，但看不到自己的手，并被告知不要修改错误。这些打字员分别在右手食指麻醉之前和期间输入这些语句。这些语句很短，除了由右手食指键入的单个字母（*y，u，h，n，m*）外，其余均由左手键入（例如，“we was*h*ed”）。此外，这些语句中还包含全部需要右手食指键入的单词（例如，*yummy*）。  ***麻醉：***将2%长效利多卡因和2%短效马卡因的混合物注射到位于食指远端指间关节的任意 | 一侧的正中神经附近。  **结果**  ***打字准确性：***在右手食指没有被麻醉的情况下，打字员右手食指的按键错误率为3.5%。但是，在右手食指麻醉情况下，这个比例增加到16.5%。几乎所有这些错误（90%）都是“瞄准”错误，即按不到键。而右手食指麻醉情况下其他手指的错误率并没有增加。  ***手指运动学：***与麻醉前相比，手指在麻醉期间从前一个键到目标键的轨迹类似，但试验间变异性更大。 | | | | | |
| *运动一致性（movement consistency）*是另一个受到触觉反馈影响的运动特征，正如米库拉等人（Mikula et al., 2018）的实验所示。戈登和他的同事们（例如，Gordon & Soechting, 1995; Rabin & Gordon, 2004）也在实验中证实了触觉反馈对键盘打字的这种影响，他们通过对比手指在麻醉前后的打字表现，证明在没有手指的触觉反馈时，不仅是如上所述的打字准确性下降，而且试验间的运动一致性也降低了。第三个受触觉反馈影响的是*运动计时能力（movement timing）*，特别是对包含与环境间歇性接触的节律性运动，如抛接杂耍和位移运动（Ankarali, Sen, De, Okamura, & Cowan, 2014）。例如，塞拉兹尼克和同事们的实验表明，在有时间限制的连续画圆任务中，加入一种触觉事件作为计时提示，可以有效提高计时的准确性（例如，Studenka, Zelaznik, & Balasubramaniam, 2012）。 | 第四个依赖触觉反馈的运动特征是手持和使用物体的*运动施力调整（movement force adjustment）*。例如，当你从桌子上抓起一个杯子送到嘴边喝水时，在移动杯子以及合理摆放其方位喝水的过程中，你需要调节杯子的抓握力度。其他一些研究也报道了证据证明触觉反馈在运动中对抓握力度调整所起的作用（例如，Gysin, Kaminski, & Gordon, 2003; Nowak & Hermsdorfer, 2003; White, 2015; White et al., 2018）。这些研究人员证明了来自抓握手指尖的感觉反馈会间歇性地向位于中枢神经系统的运动指令中心提供最新的信息（如第5章图5.3中的闭环控制系统所示），从而在必要的时候调整抓握力。  最后，拉奥和戈登（Rao and Gordon，2001）得出如下结论：当指向运动开始和结束时包含 触摸某个表面时，触觉反馈可以增强本体感觉反馈在*估计运动距离（estimate movement distance）*中的作用。 |

|  |  |
| --- | --- |
| 本体感觉与运动控制 **本体感觉**指的是我们对四肢、躯干以及头部位置和运动的感觉和知觉1。作为经常被我们忽视的一种基本感觉，本体感觉是传送到中枢神经系统的与运动特征有关的信息，如方向、空间位置、速度，以及肌肉激活。在运动控制的闭环模型中，本体感觉反馈起到至关重要的作用，而在开环模型中，运动控制中心下发指令是不需要本体感觉反馈的。对于我们是否可以不用本体感觉反馈控制运动，以及本体感觉反馈在协调运动控制中起什么作用这些问题，多年来一直让运动科学家很感兴趣（简短的历史性回顾，请参见Willingham, 1998, p. 574）  肌囊  拉伸感受器  梭外肌纤维  梭内肌纤维  肌梭  传入神经纤维  高尔基腱器官  肌腱  研究人员采用了各种各样的实验方法来确定本体感觉在协调运动控制中的作用。我们将讨论其中的几个例子来向读者介绍目前针对该问题的看法。然而，在考虑本体感觉在运动控制中的作用前，我们将简要地介绍一下本体感觉的神经基础。  **本体感觉的神经基础**  中枢神经系统接收来自传入神经通路的本体感觉信息，该通路起始于本体感受器，即位于肌肉、肌腱、韧带以及关节处的感觉神经元。这些神经元可以获取肢体位置以及位置变化的信息。本体感受器有几种不同的类型，每一种都会检测特定的肢体位置及运动的特征。这里我们重点关注检测肌肉长度变化的肌梭、检测肌肉张力变化的高尔基腱器官，以及检测关节运动变化的关节感受器。 | ***肌梭*** 被称作**肌梭（muscle spindles）**的本体感受器位于大部分骨骼肌的肌纤维内。控制眼睛、手和颈部的肌肉拥有肌梭的数量最多，因此人们可以精确地控制这些身体部位，而对于颈部来说，还可以精确地控制眼睛、头部以及其余身体部位之间的协调运动。如图6.2所示，肌梭是一种特殊化的肌纤维，由包裹在囊状结构中的感觉接收器和梭内肌纤维共同组成。肌梭与梭外肌纤维平 |
| **图6.2** 肌梭与高尔基肌腱器官。（注意该图不是按比例绘制的；为了演示起见，肌梭尺寸相较于梭外肌纤维被放大显示。）*资料来源：*Widmaier, E. P., Raff, H., & Strang, K. T. (2019). *Vander’s human physiology: The mechanisms of body function* (15th ed.). New York, NY: McGraw-Hill. Adapted from Elias, H., Pauly, J. E., & Burns, E. R. (1978). *Histology and human microanatomy* (4th ed.). New York, NY: Wiley. |
| 1 *运动觉（Kinesthesis*）是一个与*本体感觉（proprioception）*相关的术语。关于二者之间差异的争论有很多。它们有时被用于指代不同类型的感觉信息，有时又被当作同义词来使用。在本书中，*本体感觉*用于指代躯体位置及运动的感觉信息，以及从本体感受器传入到中枢神经系统的与肌肉收缩相关的力学信息。 |

|  |  |
| --- | --- |
| 行，并直接附着在肌鞘上。Ia型轴突能够快速传导神经冲动，是肌梭中的主要感觉接收器。这些轴突包裹在梭内肌纤维的中间区域，并检测*肌肉长度和速度*的变化。作为机械感受器，肌梭的感觉接收器会响应肌肉长度的变化，这种变化会引起感受器的机械形变并产生神经冲动。而位于肌梭内部的是拉伸感受器，它主要检测拉伸量以及拉伸速度。当肌肉拉伸时，来自肌梭的神经冲动频率升高；而当肌肉缩短时，该频率下降。肌梭也可以对肌肉放松时的关节角度进行编码，这是由于关节角度和肌肉放电率之间存在一种线性关系，但当肌肉主动保持某关节角度时这种关系不成立（Macefield & Knellwolf, 2018）。根据梅斯菲尔德（Macefield，2005）的观点，肌梭可以检测关节角度在某一轴向上的变化，这就为分布在控制某关节肌肉的肌梭提供了反馈的基础，可以反馈与肌肉长度变化的复杂模式相关的信息。  来自肌梭的神经冲动沿着传入神经纤维 来到脊髓的背角。在脊髓中，这些传入神经纤维分成多个分支，进而可以根据运动情况完成任何一些事情。如果该运动是简单的反射运动，如膝跳反射，则该神经冲动就会沿着与脊髓腹角中的α运动神经元形成突触的一个分支进行传导，从而激活主动肌产生反射运动。（膝跳反射的简化图参见图6.3）。另一个分支与抑制拮抗肌活动的抑制中间神经元形成突触。第三分支与运动神经元形成突触，这些运动神经元会激活与预期运动相关的协同肌。第四分支则沿着脊髓继续向上到达脑干，并在脑干与中间神经元形成突触，进而与负责运动控制的大脑区域建立连接。  在自主运动的控制中，肌梭的功能是作为一种反馈机制。多年以来，研究人员都认为肌梭在提供有关肢体位置和运动的反馈方面仅仅起到很小的作用。但是，自从20世纪70年代 | 初以来，这种观点发生了巨大变化，原因是在涉及肌肉振动和疲劳的实验研究中，发现肌梭是本体感觉信息*最重要的来源*，它向中枢神经系统提供有关*肢体的位置、方向和速度的运动特征，以及力量感*（对这段研究历史的简要回顾，参见Collins, Refshauge, Todd, & Gandevia, 2005; Proske, 2015; Proske & Gandevia, 2009）。中枢神经系统利用肢体运动反馈来控制必须在空间中特定位置停止的分立运动，而在连续运动的控制中则主要是确保运动的时空准确性。此外，一些研究人员（例如，Albert et al., 2005）认为，来自肌梭的反馈还可以辅助中枢神经系统进行运动计划。  ***高尔基腱器官*** 如图6.2所示，**高尔基腱器官（Golgi-tendon organs, GTOs）**位于骨骼肌中肌腱插入部位附近。GTO由Ib型感觉突触组成，Ib型突触可以检测*肌肉张力或力量变化*，但对肌肉长度变化不敏感。这些感觉接收器会响应 |
| **本体感觉** 对四肢、躯干和头部的运动特征以及与肌肉收缩相关的力量的感知；传入神经通路将本体感觉信息，如肢体运动方向、空间位置、速度以及肌肉力，发送到中枢神经系统。  **本体感受器** 位于肌肉、肌腱、韧带以及关节处的感觉神经元。这些神经元可以获取肢体位置以及位置变化的信息。  **肌梭** 一种由特殊化的肌纤维构成的本体感受器，位于大部分骨骼肌的肌纤维内，可以检测肌肉长度的变化。  **高尔基腱器官（GTOs）**一种位于骨骼肌中肌腱插入部位附近的本体感受器，可以检测肌肉张力或力量的变化。 |

|  |  |
| --- | --- |
| **图5.3** 膝跳反射的简化图。需要注意的是，这里没有显示抑制拮抗肌和激活协同肌的神经分支。 | 肌肉产生抑制，并刺激拮抗肌的运动神经元。  ***关节感受器*** 关节囊和韧带中包含了几种类型的本体感受器，它们共同被称为**关节感受器（joint receptors）**。确定这些感受器是神经科学家们争论的一个问题（Collins, Refshauge, Todd, & Gandevia, 2005）。然而，有一些关节感受器是公认的，即鲁菲尼终末（Ruffini endings）、帕西尼小体（Pacinian corpuscles），以及高尔基类感受器（Macefield, 2005）。并不是所有关节都包含相同类型的感受器。因此，通常我们会看到研究人员使用“关节感受器”这一统称，而不是特指关节内的某一个感受器。作为机械感受器，关节感受器会响应施加在关节处的力和旋转的变化，以及关节运动角度的变化，尤其是在关节运动角度或关节位置达到极限值的时候。 探究本体感觉在运动控制中的作用 本体感觉是一种很重要的反馈信息来源。在闭环控制系统下执行运动技能时，本体感觉信息使我们能够在运动的过程中修正动作。而当运动技能在开环系统下执行时，例如在快速的弹射式运动中，虽然存在本体感觉反馈，但由于时间限制，我们无法进行动作修正。  研究人员采用了多种技术来探究本体感觉在运动控制中的作用。在本小节的讨论中，我们将考虑三种技术，其中两种涉及以某种方式进行**传入神经阻断（deafferentation**）后再对动作进行观察。这就意味着没有传入中枢神经系统的本体感觉通路。第三种技术则是对参与控制运动的肌肉肌腱进行振动处理，这样正常从肌肉和肌腱的本体感受器获得的本体反馈信息就会失真。 |
| 其所附着的肌肉收缩所产生的任何张力。GTO的轴突进入脊髓的背角，并与位于腹角的中间神经元形成突触，而这些中间神经元会与α运动神经元形成突触，从而对收缩肌肉和相关的协同 |

1. 肌肉中检测肌肉拉伸的感觉接收器。

2. 感觉神经元将动作电位传送到脊髓。

3. 感觉神经元与运动神经元形成突触。脊髓中的下行神经元（黑色）也与牵张反射的神经元形成突触，并调节它们的活动。

4. 运动神经元的刺激使肌肉收缩并抵制拉伸。

到达大脑

感觉神经元

运动神经元

从大脑出发

感觉接收器

股四头肌（伸肌）

髌腱

锤敲

髌韧带

屈肌

神经肌肉接头

**膝跳反射**

|  |  |
| --- | --- |
| 传入神经阻断技术 ***手术法传入神经阻断*** 一种用来探究本体感觉在运动控制中作用的方法，即在通过手术将传入神经阻断后观察动物或人的运动，这种方法意味着与感兴趣的运动相关的传入神经通路通过手术被切断或去除了。有一些已经发表的研究是在猴子身上执行的手术法传入神经阻断程序。例如，两项最为著名的利用动物开展的系列实验分别由塔布和伯曼（Taub and Berman，1963, 1968）以及比奇和他的同事（例如，Bizzi & Polit, 1979; Polit & Bizzi, 1978）发表于20世纪60年代和70年代。这些研究主要观察猴子在手术法传入神经阻断前后执行运动技能的情况，这些技能既包括典型的日常活动，如梳毛和攀爬，也包括新学习的动作，如在看不到手臂和手的情况下指向灯光。实验结果表明，尽管传入神经阻断的猴子依旧可以执行运动技能，但运动的准确度明显低于本体感觉存在的情况。  通过手术法对人类受试者进行传入神经阻断显然是不可能的。然而，有些人由于一些特定的创伤或疾病问题而进行了传入神经阻断的手术。例如，一些做了手指*关节置换（joint replacement）*手术的类风湿性关节炎患者就没有关节感受器。利用这种方法研究本体感觉的最常引用的例子是多年前由凯尔索、霍尔特和弗拉特（Kelso, Holt, and Flatt，1980）进行的一项实验。在每次试验中，受试者都会将手指移动到一个标准位置或移动一段标准距离后再返回到新的起始点，然后再尝试复现这个标准位置或距离。结果表明，病人可以很轻松地从新的起始点准确复现手指的标准*位置*，但是，从这些新的起始点复现运动*距离*时却很困难。 | ***感觉神经疾病导致的传入神经阻断*** 有些人患有涉及肢体的感觉神经疾病（或周围神经疾病），观察他们的运动特征为我们提供了一种非手术技术来研究传入神经阻断的人类。这些人的多个不同身体部位的周围传入神经都无法正常运转。在有些情况下，传出运动通路是完好无损的。  为了展示这种神经阻断类型如何能帮助我们确定本体感觉在运动控制中的作用，我们将讨论几个实验示例，这些实验中对有感觉神经疾病的受试者和无感觉神经疾病的受试者执行各种不同类型任务的情况进行了对比。布劳因等人（Blouin et al.,1993）进行的实验是较早使用该研究策略的研究之一。他们对比了感觉神经疾病患者和健康受试者使用手臂移动指针进行的指向任务。在一些试验中，受试者可以看到任务环境，而在另一些试验中则需要在没有视觉信息的情况下执行任务。实验结果（如图6.4所示）表明，在有视觉信息时，患者与健康受试者执行任务的准确性相同。然而，在没有环境或手臂的视觉信息运动时，传入神经阻断的患者总是指不到目标。因此，在没有视觉反馈的情况下，传入神经阻断患者无法再次准确地移动到特定的空间位置。  最近的一些研究也肯定并延伸了布劳因等人（Blouin et al.,1993）的研究结果。例如，在其中一项研究中，1位感觉神经疾病患者（标记为 |
| **关节感受器** 位于关节囊和韧带的各种类型本体感受器的统称；他们能够检测关节在到达极限运动和极限位置时的运动变化。  **传入神经阻断** 一种研究人员用来让本体感觉反馈不可用的程序（通过手术切断或去除运动中涉及的传入神经通路）；它也可能由涉及本体感觉传入神经通路的损伤、手术或疾病引起。 |

|  |  |
| --- | --- |
| 手臂可见  结构化环境  非结构化环境  非结构化环境  结构化环境  手臂不可见  **正常的**  **传入神经阻滞的**  **图6.4** 布劳因等人的实验结果，展示了正常的受试者和传入神经阻断的受试者分别在环境可见（结构化）或不可见（非结构化），以及移动手臂可见或不可见的条件下复现手臂位置的误差量。*资料来源*：数据来自Blouin, J. et al. (1993). Reference systems for coding spatial information in normal subjects and a deafferented patient. *Experimental Brain Research*, 93, 324–331,New York, NY: Springer-Verlag. | |
| C.F.）与5位神经健康的成人受试者被要求记住面前的目标，并在没有视觉的情况下平滑连续地伸手抵达目标。C.F.表现出较大的肢体运动空间误差，并且无论是在低速、自我定速，还是快速的情况下，肩关节和肘关节都无法产生平滑和同步的运动。  第三个示例的实验中涉及了一个更复杂的任务（Spencer, Ivry, Cattaert, & Semjen, 2005）。2位感觉神经疾病患者和3位对照组受试者双手同时画圆，每次试验结合三种不同的视觉条件（即手完全可见、手部分可见以及手不可见）以不同的速度画15秒。两组受试者明显的差别在于，神经疾病患者左右手画出来的两个圆圈的大小（即幅度）和形状的相似性更小。患者在试验中画圆圈时每重复一圈，圆圈的位置都会有所偏移。值得注意的是，两组受试者在双手协调的时间（即画一圈所需要的时间）以及 | 相对相位协调上没有差别。  在最近的一项包含三位感觉神经疾病患者的研究中，米奥尔等人（Miall et al.，2018）发现，本体感觉缺失会影响上肢瞄准运动的知觉、控制和学习。患者和对照组受试者在瞄准运动中使用机械操纵杆瞄准目标，该目标会在某次试验中被一个突然的力量扰动。所有受试者都能够知觉、控制和学习伸手运动，但感觉神经患者在没有视觉反馈的条件下会较慢察觉到扰动，并且对扰动的动作修正也更慢、更多变。最值得注意的一项发现是，三位患者在伸手运动的学习方面也存在巨大的个体性差异。这似乎是每个人为了弥补自己本体感觉的缺失，各自学会了依赖不同的信息源以及不同的认知策略。 |

|  |  |
| --- | --- |
| 肌腱振动技术 在一种不是去除而是扰乱本体感觉反馈后再观察运动的程序中，涉及对连接在待研究运动的主动肌上的肌腱进行高速振动。这种振动扰乱了肌梭的放电模式，进而扰乱本体感觉反 | 馈。维索尔伦报道的几个实验中为我们提供了使用这种技术的例子。例如，其中一项实验（Verschueren, Swinnen, Cordo, & Dounskaia,  1999a）将振动应用在了受试者优势手的肱二头肌和/或三角肌前束的肌腱上，实验中受试者被要求蒙着眼睛双手同时画圆。实验结果表明（如 |
| 非优势手臂  优势手臂  无肌腱振动  肌腱振动：肱二头肌和三角肌前束  **图6.5** 维索尔伦等人的实验结果，展示了在手臂不可见的条件下双手画圈的任务中，对优势手臂的肱二头肌和三角肌前束的肌腱施加振动的影响。上面一行展示的是在没有肌腱振动时，一位受试者在一次试验中的绘制结果，下面一行展示的是这位受试者在有肌腱振动时，在一次试验中的绘制结果。*资料来源：*改编自Verschueren, Swinnen, Cordo, & Dounskaia(1999). *Experimental Brain Research*, 127, 182–192, 1999 New York, NY: Springer-Verlag.第185页的图1A-D。 | |

|  |  |
| --- | --- |
| 图6.5所示），振动影响了被振动手臂所画圆圈的空间特征，但对未被振动的手臂以及非优势手臂所画的圆圈没有影响。此外，对惯用手臂的振动也影响到了画圆过程中两只手臂的相对相位关系。 |  |

|  |  |
| --- | --- |
| 实践要点 | 相关阅读 |

|  |  |
| --- | --- |
| 课后习题 | 待解决问题  1. 假设你正在从事你选择的职业，描述一项与你共事的人需要提高表现能力的*运动技能*。 2. 描述你将如何应用基于运动程序的理论和动态系统理论，来帮助你辨别这个人当前存在并需要改善的表现问题。 |