|  |  |
| --- | --- |
| 第5章 运动控制理论  *概念:* *不同协调动作控制理论的区别在于，调控中心和环境特征在控制系统中所扮演的角色不同。*  完成本章的学习后，你将能够：   * 探讨运动控制理论对从业人员的价值 * 定义与运动技能表现相关的术语“*协调性（Coordination）*” * 阐述与学习人体运动控制相关的术语“*自由度问题（degree of freedom）*” * 区分开环控制系统和闭环控制系统 * 描述基于运动程序的运动控制理论与动态系统运动控制理论的主要区别 * 定义一般运动程序，并阐述能够代表该程序的两个概念：固定特征及参数 * 定义以下与动态系统运动控制理论紧密相关的概念：有序和控制参数，自组织 ，协调结构，以及感觉-运动耦合 * 讨论基于运动程序的理论和动态系统理论各自是如何解释人类行走和跑步的相对时间这一特征 * 阐述运动学习的“最优”理论是如何通过解决基于运动程序的理论和动态系统理论所忽略的问题来对其进行补充的 | |
| 应用 要想成功地完成日常生活中各式各样的运动技能，我们就必须协调多种肌肉和关节一起发挥作用。而许多运动技能所需要的肌肉关节组合不尽相同。其中一些技能，如网球发球或从椅子上换座到轮椅中，要求我们协调躯干和四肢的肌肉和关节。还有一些技能则需要手臂、手以及手指的协调，例如拿起铅笔、 | 弹吉他和键盘打字。其他技能则要求我们协调两只手臂或双腿同时执行不同的动作，比如一只手握住瓶子而另一只手去拧开瓶盖，或者一只腿支撑身体的同时另一只腿去踢球。而对于那些单手臂就能完成的运动技能，我们就只需要协调很少的肌肉和关节，例如操纵电脑控制杆或汽车变速杆。 |

|  |  |
| --- | --- |
| 除了身体和四肢的协调以外，运动技能的执行还具有其他重要的一般性特征。例如，对于有些技能，我们会执行得相对慢一些，可以回想一下我们在射箭前是如何调整弓箭位置的，以及又是如何拿起杯子喝水的。其他技能如扔球或从 长凳跳到地板上，则要求快速的弹道式动作（ballistic movements. 译者注释：形容肌肉在极短时间内达到最大收缩的动作）。有些运动技能的动作组成部分很少，例如写数字或系衬衫纽扣；而另一些技能，如表演一段舞蹈或弹奏钢琴，则因为包含许多动作而非常复杂。  此外，我们可以在运动技能的一次次执行中产生准确又一致的动作模式。 | 我们能够在各种各样的场景下都成功执行已经掌握的技能，即便以前从未遇到过类似的场景。举个例子，一个网球运动员会在比赛中的很多不同情况下必须使用正手击球。而每种情况都有许多不同的特征，如球的飞行模式、速度、旋转、反弹和在球场的位置，以及对手的位置、风和阳光条件等，所以几乎不存在两种完全相同的情况。然而，一个熟练的运动员总是能够成功地击到球。  在上述这些例子中，我们能够完成多种多样的运动技能，这就意味着为了完成这些技能的运动目标，我们必须以许多不同的方式来协调身体的各个部分。而我们之所以具备这种惊人的能力，即能够在如此多样化的场景和环境中完成各类运动技能，是因为我们有一套活跃的神经系统。本章的核心就是回答如下问题：我们的神经系统是如何发挥作用，使我们在日常生活中能够执行各种运动目标所需要的动作呢？  **待解决的问题** 选一个你擅长的运动技能，可以是来自日常活动的，也可以是用于娱乐或体育的。在学习本章的过程中，尝试去思考如下几点：（1）通过分析完成技能所需要的关节自由度来探究该运动技能对协调性的需求。（2）针对你可能遇到的环境情境（回顾一下我们在第1章所讨论的内容）的不同特征，你是如何调整运动技能的执行方式的？描述一些环境情境特征，并指出你是如何调整自己的动作来适应环境的。思考这些调整对你执行技能的动作协调模式是进行了修正，还是彻底的更换。 |
| 从拥挤的楼梯上走下来就是一个很好的例子，该运动技能要求一个人根据楼梯以及楼梯上其他人的特征来调整自己的头部、身体以及四肢的动作模式。  斯蒂夫 梅森/盖蒂图片 |

|  |  |
| --- | --- |
| 讨论 在正式讨论那些用于解释神经系统如何控制协调动作的主要理论之前，我们有必要了解一些运动控制理论有关的基本组成。接下来，我们会阐明一些关键术语来帮助你更好地理解这些理论。 | 建立理论是为了帮助我们理解人类所处的物质世界的各个方面。为此这些理论对那些可观察到的物理事件提供解释，例如确认哪些变量可以让一个滚动的球最终停止滚动。通过这些变量，我们就可以在给定这些变量特征的条件下，进一步预测一个球可以滚多远。  在行为科学领域，也就是人类运动控制与学习所在的领域，理论则专注于解释人类行为。当人类行为的兴趣点是运动技能的执行与学习时，我们就希望理论可以解释人们为什么如此执行运动，也就是找出能够为我们观察到的表现特征提供解释的变量。例如，通过对人们执行技能的观察可知，一个人可以在各种不同的情况下完成相同的运动技能。一个技能娴熟的篮球运动员可以在球场不同的位置以及不同的比赛情境下进行单手跳投。一个技能娴熟的司机可以在高速公路或街道上驾驶汽车，无论路况是开阔还是拥挤。一个好的运动控制理论会解释为什么人类有具备这种能力的可能。类似地，如果康复理疗师采取某种特定的干预手段来治疗损伤，那么一个好的理论就会解释为什么这种干预手段是有效的。  **运动控制理论对从业人员的意义**  对运动控制理论有一个基本的理解可以给从业人员带来的好处是，可以为他/她建立有效的技能指导和练习环境提供基础支撑。图5.1阐明了理论与实践之间的关系，即如果从业人员能够掌握影响运动技能表现的变量，就可以提高图中所列出的实际应用的效果。从前一小节最后的例子来看，如果我们知道了人类*为什么*能够在各种各样的场景中完成运动技能，我们就可以利用这些知识开发出能够促进该适应能力形成的训练条件。再思考一个例子，假设你需 |
| 理论与专业实践 有些学生准备从事以运动技能指导为主的工作，故而经常质疑自己学习运动控制理论的必要性。这种质疑通常来自于那些认为只有“实践性”信息才有助于他们安排日常工作的人。然而不得不说，这种观点产生的原因主要是因为他们尚未了解理论与专业实践之间密不可分的关系。本小节将会讨论什么是理论以及运动控制理论对从业人员的意义。本节的目的之一是想让读者理解为什么在讨论运动学习与控制的特定内容前要先介绍运动控制的理论。 什么是理论？ 如果基于日常语言中对理论的理解，那么我们就会得出这样的观点，即认为理论与实际关系不大。但是这种观点是短视的，且具有一定的误导性。在科学领域，理论能够帮助我们理解自然现象并解释其存在或产生的原因。英国剑桥大学的已故世界著名物理学家史蒂芬·霍金（Stephen Hawking，1996）曾说过，好的理论应当满足“两个要求。它必须能够准确描述一大类现象……并且它必须能够对未来的观察结果进行确切的预测”（p. 15）。在霍金所研究的物理领域， |

|  |  |
| --- | --- |
| 辨别执行问题  开发有助于解决执行问题的干预策略  预测干预策略的有效性  开发系统的方法来帮助人们提高技能执行能力  制定新的干预策略  评估干预策略的有效性  使从业人员能够  运动技能表现的约束、限制、潜能和缺陷等  理解和解释  **运动控制理论**  **表5.1** 运动控制理论为从业人员的许多任务和职责提供了基础 | |
| 要帮助一个人重新获得行走的能力，那么有关人类行走的运动控制机理以及环境变量因素的知识可以让你制定出更合理的评估手段和干预策略，因为她们都是建立在影响人类行走的变量基础之上的。 运动控制理论 在前面的“什么是理论？”这一小节中，你读到了一个好的理论应当能够描述并解释一大类我们所观察到的事件。鉴于此要求，一个好的运动控制理论应该描述和解释 | 什么呢？研究人员普遍认为它应该描述和解释神经系统是如何产生出协调动作，从而使我们能够在各种各样的环境情境中成功完成各种各样的运动技能。尝试理解我们如何产生协调的动作，从很多方面来讲都很像我们想要了解手表是如何计时的，因为手表也需要表内各个组成部分的精确协作。  接下来的小结将讨论对于运动控制理论来讲至关重要的两个问题，分别是应用于运动技能执行的*协调性（coordination）*以及“自由度问题（degrees of freedom problem）”。 |

|  |  |
| --- | --- |
| 尽管研究人员提出了运动控制理论应该解决的其他问题1，但这两个问题就足以为本章介绍两大主要的运动控制理论提供基础了。  值得注意的是，本章介绍的理论着重从*行为层面（behavioral level）*讨论运动控制。正如你在第1章所看到的，这就意味着这些理论主要侧重解释观察到的行为，而不会试图明确运动控制过程中*神经层面（neural level）*的特征（例如运动控制的神经模型，参见Bullock & Grossberg, 1991; Grossberg & Paine, 2000; Rokni & Sompolinsky, 2012; Wolpert & Ghahramani, 2000; Wu, Haugh, Sarnow, & Hitt, 2006）。基于行为的运动控制理论有一个重要的目标，那就是提出控制人类协调运动行为的定律和准则。而神经层面的理论则侧重于描述能够解释神经系统是如何在这些行为准则中起作用的神经机制或神经机制交互（例如，参见Willingham, 1998）。 协调性 所有运动控制理论的一个重要特征是会解释人是如何控制协调的。因此我们有必要理解术语*协调性*在运动技能执行中的含义。运动技能的执行包括我们为实现运动目标而对肌肉激活进行的组织。正是这种需要进行组织的特性构成了术语*协调性*含义的核心。考虑到本书的教学目的，我们采用Turvey（1990）提出的一般性定义：**协调性**是指相对于周围环境中物体和事件模式的人的头部、躯干以及四肢的运动模式。  上述定义包含两部分，每一部分都值得进一步思考。首先，注意定义中明确指出协调性 | 开始  练习前  练习后  伸 膝关节 屈  伸 **髋关节**  屈  **图5.2** Anderson和Sidaway进行的一项实验的角-角图，展示了在踢足球运动技能的执行中，练习对髋关节和膝关节之间的关系所产生的协调性变化。*资料来源：Research Quarterly for Exercise and Sport,* Vol. 65, pp. 93–99, 1994 American Association for Health, Physical Education, Recreation, and Dance, 1900 Association Drive,  Reston, VA 20191. |
| *头部、躯干和/或四肢运动的模式*。尽管我们在口语中经常使用的*协调性*是指运动技能熟练执行的一项特征，但它并不局限于这一种用法。当被 用于描述与运动技能执行相关的动作模式时，协调性指的是在整个执行过程中头部、身体和四肢动作特征的组织关系，与执行者的运动技能水平无关。这也意味着，当我们要评估技能在执行过程中的动作特征时，协调性指的是头部、身体和/或四肢在整个过程的*某个特定时间点*上的关系。  在第2章中，我们给出了一种描绘动作模式的常用方法，即用角-角图来图形化地呈现运动技能执行过程中四肢位移模式之间的关系。图5.2就是这种呈现方式的一个例子，图中展示了踢足球过程中膝关节角和髋关节角之间的协调性。 |
| 1有关运动控制理论问题更多、更详细的讨论，参见专注于运动控制问题的书籍，例如，Kelso (1995), Latash (2012), Rosenbaum (2011), and Shumway-Cook and Woollacott (2017)。 | **协调性** 相对于周围环境中物体和事件模式的人的头部、躯干以及四肢的运动模式 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  | | --- | --- | --- | |  | **深度阅读** | | | **从肌肉和关节层面看待自由度问题**   |  |  | | --- | --- | | 我们知道人体有792块肌肉来驱动100多个关节以不同的方式运动，并且每一个关节都有决定各自动作自由度的机械特征。特维（Turvey，1990）是这样看待协调控制问题的：如果所有关节都是像肘关节一样的铰链关节，那么在关节层面就有100个可以控制的机械自由度。但是如果执行某个特定运动需要为这类关节定义两个特征，如位置和速度，那么自由度就会增加到200个。  考虑下面的例子，假设你坐在餐桌旁，决定拿起面前桌子上的一本水，这里的自由度数量取决于关节的数量（这里不考虑每个关节移动方式的数量），具体包括肩关节（1）、 | 肘关节（1）、腕关节（1）、所有手指（3个关节×4根手指=12关节）以及大拇指（3）关节。这一简单动作所需要控制的关节数共18个。现在假设你面前的水杯非常大，需要两只手才能拿起来。和单手操作情况相比，此时的神经系统必须控制至少双倍数量的自由度。在这两种情况中，协调单侧或双侧肢体完成运动目标可能都没有什么难度。但是，如果我们从神经肌肉控制的层面考虑这些任务，这里就必须以非常明确的方式控制许多自由度，那么拿起水杯喝水这项简单的任务也就变得异常复杂了。然而，神经系统可以处理这项复杂的操作。运动控制理论则需要能够解释神经系统是如何实现的。 | | | | | |
| 定义的第二部分指出，头部、躯干和四肢的运动模式是相对于*周围环境中物体和事件的模式*的。这一点非常重要，因为它指出在讨论动作协调性时有必要考虑技能执行的环境情境。环境情境的特征会限制头部、躯干和四肢以特定的方式运动，从而达到运动目标。  例如，在一条小路上行走时，人们必须根据路径的特征来调整自己头部、躯干和四肢的动作模式。假如一个人走在人行道上，一根树枝横在路中间，他/她就必须采用新的动作模式以跨过这根树枝。而这个动作模式的特征要由树枝的特征来决定。如果树枝很小，这个人可能就只需要调整一下步长，简单地迈一大步即可；如果树枝很大，他/她可能就不得不停下来，然后爬过去。 | 自由度问题 协调性包含了头部、躯干和四肢的动作模式，由此引出了运动控制研究中的一个很重要的问题：*我们的神经系统是如何控制这么多肌肉和关节从而形成一个复杂的动作模式的呢？*为了回答这个问题，我们必须思考一个由知名俄国生理学家尼古拉伯·伯恩斯坦（Nicolai Bernstein）首次提出的问题。他在20世纪30年代到50年代的研究成果直到1967年才被西方世界所了解，并持续影响着运动控制领域的科研和理论发展。伯恩斯坦提出为了完成一个高度协调的动作，神经系统必须解决“自由度问题”，该术语是由他命名的。  一个系统的**自由度（degrees of freedom）**反映了该系统中独立组件的数量以及每个组件可变化方式的数量。每个组件都可以“自由”地以某些特定的方式变化，以肘关节为例，它可以有两种变化（即移动）方式，即屈和伸。而当一个复杂的系统需要组织各个组件产生某个特定的结果时，就产生了**自由度问题**。该控制问题如下： |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  | | --- | --- | --- | |  | **深度阅读** | | | **伯恩斯坦对自由度问题的论证**   |  |  | | --- | --- | | 尼古拉·伯恩斯坦的经典著作*《动作的协调和控制（The Co-ordination and Regulation of Movement）》*（英文版，1967）汇编了他发表的几篇文章。在题为“一些运动行为控制中的紧急问题”（俄语原版，1957）的一章中，伯恩斯坦讨论了运动控制系统为产生协调一致的动作所必须解决的自由度问题。在该讨论（第126页）中，他为了论证该问题举了如下例子（据他说“对大众科普非常有用”）：  将一根滑雪杖的手柄末端固定到受试者背带搭扣的前面，将1-2千克的重物附加到远端，在滑雪杖雪轮（位于滑雪杖末端）的左右两侧各绑上一根长度足以让受试者左右手能握住的橡皮管。然后引导受试者 | 站到一个画着一个大圆圈、正方形或其他简单图形的垂直板前面，并尝试仅通过拉动橡皮管来操纵滑雪杖使其尖端沿着图形的轮廓画线，这里的滑雪杖代表只有两个自由度的肢体段，橡皮管则类比进一步将两个自由度引入到系统里的一对拮抗肌。该实验……使所有尝试过它的人都清楚了要控制一个需要4个自由度协作的系统有多么困难和复杂，即便这个人具有完备的感受器也无济于事，因为他从出生起就一直和自己的骨骼肌肉运动装置打交道，没有进行过该项任务的运动练习。 | | | | | |
| *如何设计一个有效且高效的控制系统，使得具有众多自由度的复杂系统能够按照特定的方式运动？*  考虑下面这个在复杂机械系统中自由度控制问题的例子。直升机能够以不同的速度向上下、左右或前后飞行。如果每一种运动方式都只能通过一个开关或操作杆来控制，那么飞行员的工作将压力巨大。因此，直升机的设计师通过提供控制杆和踏板降低了任务的复杂度，让飞行员可以手脚并用来操控直升机。每个控制杆或踏板都可以同时控制多个功能。  当神经系统必须控制人体完成一项复杂的运动技能，如爬梯子时，它面临着与直升机相似的自由度控制问题。控制人体协调动作所需的确切自由度数量取决于我们考虑的控制层面。在一个层面上，我们可能考虑将运动单元作为必须控 | 制的基本要素；在另一个层面上，我们可能对将关节作为控制的基本要素更感兴趣。无论从哪个层面考虑，很明显对于任何运动技能来说，能让一个人执行该技能的控制问题都是一个巨大的问题。然而，你将会在第12章看到，一个人通过练习运动技能从初学者成长为熟练者的过程中，其运动控制系统解决自由度问题的方式也会有明显的变化，我们可以从特定的协调特征观察出这种变化。 |
| **自由度** 控制系统中独立组件的数量以及每个组件可变化方式的数量  **自由度问题** 设计复杂系统产生特定结果时面临的一类控制问题；设计中面临的问题包括如何约束系统的众多自由度，使其产生特定的结果。 |

|  |  |
| --- | --- |
| 运动控制中心  运动指令  运动效果器  **闭环控制系统**  运动指令  运动控制中心  运动效果器  反馈  **开环控制系统**  **图5.3** 运动控制的开环和闭环控制系统示意图 | |
| 开环和闭环控制系统 大多数运动控制理论都会包括两个基本的控制系统，即**开环（open-loop）和闭环（closed-loop）控制系统**。这两种控制系统都是建立在机械工程控制模型基础之上的。这两个模型并没有对复杂的人体运动过程进行准确的描述，而是概要描述了中枢和周围神经系统启动和控制运动的不同方式，从而为阐明控制过程所包含的基本组成部分提供了有用的指导。  图5.3呈现了简单的开环和闭环控制系统示意图，这也是呈现这两种控制系统较为经典的示意图。注意这两个系统中每个都有一个*控制中心（control center）*，有时也被称为*执行器（executive）*。控制中心的重要任务之一就是产生并发送运动指令给*效应器（effectors）*。效应 | 器在人体中是指参与执行目标运动的四肢、躯干和/或头部的肌肉。两个系统的区别 这两个系统有两个不同的地方。首先，闭环控制系统包含**反馈（feedback）**，而开环控制系统没有。在人体运动中，反馈是由各种感觉接收器向控制中心发送的*传入（afferent）*信息。反馈的目的是在运动过程为控制中心更新运动的正确性信息。  两个系统另一个重要的区别体现在由控制中心发布的*运动指令（movement instructions）*上。在开环系统中，由于运动过程中无反馈，所以控制中心发出的指令就包含了效应器执行计划运动所需的全部信息。即便产生了可用的反馈，也没有被用来控制正在进行的运动。这可能 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  | | --- | --- | --- | |  | **深度阅读** | | | **机械和人体运动技能的开环和闭环控制系统示例**   |  |  | | --- | --- | | **开环控制**  ***机械示例***   * **数码录像机** 它可以作为一个开环控制系统，通过程序设定在特定的日期和时间录制电视节目。DVR将会在指定的时间开机和关机。（注意，它将在指定的时间关机，即使拍摄的节目在那个时间点后仍然在继续。）   ***人体运动技能示例***   * **向飞镖盘掷飞镖** 当人开始投掷时，手臂的运动和飞镖的释放都按照手臂运动前制定好的运动指令执行。任何由视觉或肌肉产生反馈都无法用来纠正运动，因为飞镖离开手的那一刻起运动就结束了。 | **闭环控制**  ***机械示例***   * **房子里的恒温器** 它控制房子里的空调和供暖系统。室温的预期值是在恒温器上进行设定的。该设置作为房间实际温度对比的参照，室温作为恒温器的反馈，指示何时打开或关闭空调或供暖系统。   ***人体运动技能示例***   * **驾驶汽车** 当一个人在街道或高速公路上开车时，他/她必须保持车在指定的车道内。为次，司机使用视觉和本体感觉反馈来控制方向盘，来控制方向盘做出必要的调整，以防汽车驶出车道边界。 | | | | | | |
|  | |
| 是因为反馈并不是必需的，或者是因为运动启动后在时间上来不及使用反馈去有效地控制运动。  闭环控制系统中的运动指令则大不相同。首先，控制中心向效应器发出的初始指令指足以启动运动。而运动的实际执行和完成离不开控制中心获得的反馈信息。反馈会提供运动的状态信息，进而控制中心会依据这些信息给出如下可能的指令：允许运动按照最初的指令继续下去，为进行中的运动提供补充指令，或纠正运动误差。值得注意的是，如图5.3所示的传统的闭环系统示意图的一个不足之处在于，图中运动效应器是唯一的反馈来源。而事实上，在闭环控制系统操控的运动技能执行中，还有 | 其他类型的感觉反馈源，如视觉和听觉系统。这些反馈源将在第6章中进行讨论。 |
| **开环控制系统** 一种控制系统，启动和执行计划动作所需的所有信息都包含在发送给效应器的初始指令中。  **闭环控制系统** 一种控制系统，在运动执行过程中，将反馈与标准或参考进行比较，以使运动按计划执行。  **反馈** 来自感觉系统的信息，向中枢神经系统指示当前的运动状态，在闭环控制系统中，反馈被用来对进行中的运动进行修正。 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  | | --- | --- | --- | |  | **深度阅读** | | | **运动程序概念的演变**   |  |  | | --- | --- | | * 早期希腊哲学家，如*柏拉图（Plato）*，谈到一个人在执行运动本身之前会先创造一个行动的“形象”。 * *威廉·詹姆斯（William James，1890）*暗指柏拉图说道，要执行一项运动，一个人必须先对运动有一个清晰的“形象”。 * *卡尔·拉什利（Karl Lashley，1917）*被认为是第一个真正使用*“运动程序”*这一术语的人。他最初认为运动程序是“行动的意图”，但后来将其描述为“决定特定行为顺序的运动概括模式”（Lashley, 1951，第122页）。他提出组织这些模式是为了提供对运动模式的中央控制。 * *弗雷德里克·巴特利特爵士（Sir Frederick Bartlett，1932）*在使用*模式*这个术语来描述运动的内部表征和组织时，暗示了运动程序的存在。 * *米勒，伽兰特和普瑞布拉姆（Miller, Galanter, and Pribram，1960）*提出了“计划”的概念，它“本质上与计算机的程序相同”（第16页），负责控制运动中所有事件的顺序。 | * *富兰克林·亨利（Henry & Rogers, 1960）*给了运动程序概念一个必要的概念和经验上的推动。他假设“一个特定的、协调良好的运动行为的神经模式由一个存储的程序控制，该程序用来指导其执行过程的神经运动细节”（第449页）。亨利对运动程序的概念也与计算机程序的概念相同。他提出，当运动启动时，程序控制精确的运动细节，在运动执行期间基本上不可能进行修改。 * *斯蒂芬·基尔（Stephen Keel，1968）*提供了一个与亨利类似的观点，将运动程序定义为“一组在动作序列开始前就安排好的肌肉命令，并允许……整个序列的执行都不受周围反馈的影响”（第387页）。 * *理查德·施密特（Richard Schmidt，1975）*提出，运动程序不是具体的肌肉命令，而是基于记忆的一类运动的抽象表示，每一类运动都可以由一些不变的特征定义。正是由于这些特点，他把自己的版本成为“通用”运动程序。 | | | | | | |
| 两种运动控制理论 根据运动命令的相对重要性，我们可以将神经系统如何控制协调运动的理论进行分类。这个相对重要性可以由控制系统的中心单元指定，也可以由执行者、任务以及周围环境之间的交互而产生的信息所指定。以前者为主的理论都有某种形式的记忆表征，比如运动程序，为组织、启动和执行目标运动提供了基础。我们将讨论基于运动程序的理论作为这一类理论的代表。相反地，以后者为主的理论，则更多受到周围环境指定的信息以及这些信息与任务、躯干、四肢和神经系统的动态交互的影响。 | 我们将讨论动态系统理论作为这一类理论的代表。 基于运动程序的理论 以中心控制为主导的理论，其核心是**运动程序（motor program）**，即一种基于记忆控制协调运动的结构。有很多种理论观点都将不同程度的控制归因于运动程序。但毋庸置疑的是，对目前运动程序的理解刻画最准确的观点还是来源于理查德·施密特的工作（Richard Schmidt, 1988, 2003; Schmidt & Lee, 2019）。施密特（Schmidt，1975）在自己的“模式理论”提出，前人的观点存在一个严重的问题，即它们都将运动程序局限于控制某些特定的动作或动作序列。为了解决此局限，施密特假定存在**通用运动** |

|  |  |
| --- | --- |
| **程序（generalized motor program，GMP）**，可以作为解释人体协调运动行为自适应性和灵活性的机制。  ***施密特通用运动程序*** 施密特提出，一个GMP可以控制*一类运动*，而不是具体的动作或动作序列。他将一类运动定义为一组拥有共同而独特的特征的不同运动。这些特征被施密特称为**固定特征（invariant features）**，是GMP的“签名”并形成了记忆存储内容的基础。这些与动作相关的特征构成了被施密特（Schmidt，2003）称为*一类运动基本模式*的基础。固定特征在每次运动执行中都保持不变。为了完成满足特定场景需求的具体运动，一个人必须从记忆中提取合适的程序，然后加入具体的动作**参数（parameters）**。运动执行中这些与动作相关的特征可以在每次执行中改变。  我们可以用一个类比来帮助大家理解GMP中固定特征和参数之间的区别，二者就好比音乐和舞蹈中的节律和速度。音乐作品都有自己的*节律结构*，由时间特征或节拍所确定，节拍会写成音乐分数，比如3/4、4/4。第一个数字（分子部分）表示每个音乐小节中等时间间隔的拍子数，构成了音乐的节律结构。第二个数（分母部分）则表示拍子的音符时值，上述两个例子中的音符时值为四分之一音符，也就是1/4音符。对于3/4拍，每小节都有等时间间隔的3拍（即，每小节有3个四分音符）；而4/4拍中每小节有4拍。在舞蹈中，如华尔兹就是3/4拍，意味着每小节有3拍，所以才有我们熟悉的“慢三步”。然而需要注意的是，华尔兹的三拍并不是等时长的；第一拍长，后两 | 拍短但时长相等。*速度*指的是音乐演奏的速度。相同的节律结构在演奏的时候可快可慢。你可以通过一拍拍一次手的方式感受一下。尝试连续拍三次手，保持相同的时间间隔，从而形成你拍手的节律结构。然后加快速度，但保持拍手方式不变。注意，虽然拍手速度加快了，但你的节律结构没有改变。在这个类比中，音乐中的节律类比于GMP中的固定特征，而速度类比于参数。  ***固定特征和参数*** 尽管有很多特征都可能成为GMP的固定特征，但施密特（Schmidt，2003）认为最有可能成为固定特征的是运动技能组件之间的**相对时间（relative time）**（类比于音乐中的节律）。另一个特征则是各组件的顺序。*相对时间*中的*相对*一词表明保持不变的是，运动技能组件占总执行时间或动作时间的百分比或比例。 |
| **运动程序** 一种存储执行运动技能所需信息的记忆表征。  **通用运动程序（GMP）** 拥有共同固定特征的一类运动技能的记忆表征；它为控制该类运动技能中的具体技能提供了基础。  **固定特征** 一组独特的特征，可以定义GMP，并且在每次运动执行中都保持不变。  **参数** 每次运动执行中都可以改变的GMP特征；一个人为满足某场景中具体的动作需求，必须在执行运动技能前在GMP固定特征的基础上加入的技能特征。  **相对时间** 运动技能执行过程中技能的每一个组件占总执行时间的比例或百分比。 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  | | --- | --- | --- | |  | **深度阅读** | | | **定义运动程序：记忆表征 vs 运动前准备的运动计划**   |  |  | | --- | --- | | 理解什么是运动程序以及它是如何工作的之所以这么困难，主要是由于多年来形成的一个问题，那就是术语*运动程序*已经被用于描述不同的功能结构了。在一些讨论中，运动程序指的是动作或运动的记忆表征，施密特模式理论中的通用运动程序（GMP）就是很好的例子。该理论关于运动程序记忆表征类型的争论主要集中在动作或运动的那些特征是作为 | 运动程序的一部分存储在记忆中的。本章就是以这种方式使用该术语的。  *运动程序*在另一种用法中指的是从运动意图到动作开始之间所构建或准备的一切。这种用法有时也被称为*运动规划（motor programming）*，是第8章的重点，尽管本章我们也会介绍有关基于运动程序的控制准备方面的内容。 | | | | | |
| 图5.4给出了固定相对时间这一概念的图解。假定你要尽可能快地用食指以一定顺序按键盘上的5个键。现在假设这项任务的4个组成部分（按键之间的时间间隔1-2,2-3,3-4,4-5）构成了以下动作时（MT）比例：成分1占总动作时的30%（成分%=成分MT/总MT），成分2占20%，成分3占40%，成分4占10%。通常情况下执行该技能总共需要10秒（见图5.4（a）），而无论你怎么加速或者减速导致总时间改变，上述各部分的实际动作时间也会按比例改变。图5.4（b）和图5.4（c）分别给出了加速和减速情况下等比例变化的组成成分。因此，如果你执行这项技能通常需要10s，那么你在完成各个成分时需要的时间分别为3s、2s、4s和1s。如果你将速度提高到原来的两倍，用5s来完成这个任务，那么每个成分就会等比例地变为1.5s、1s、2s和0.5s。而如果你降低速度将总动作时增加到15s，那么各个成分就会分别变为4.5s、3s、6s和1.5s。  尽管运动程序理论提出GMP的固定特征在每次执行运动技能时都是固定不变的，该理论同样认为，存在其他可以改变的特征，这些 | 特征被称为*参数*。例如，运动*总用时*和完成运动所使用的*肌肉*。技能娴熟的执行者可以很轻松地在不同执行场景中变换这些参数，以满足每个场景中的具体需求。  接下来我们用两个例子来解释一下固定特征和参数之间的关系。第一个例子即上面讨论过的图5.4，将相对时间刻画为固定特征，同时也展示了参数*总用时*。由图中常速、快速和慢速三种场景的结果可以看出，我们能够在不改变运动组成成分的相对时间结构的前提下，改变运动总用时。同样的情况还比如人以较正常速度或快或慢地行走。  第二个例子中我们考虑把*肌肉*作为参数的情况。研究表明，无论你是用惯用手、非惯用手，甚至脚趾拿笔，还是用牙齿咬住笔，两种方式签出来的名字都会呈现出明显的固定空间和相对时间特征（该研究的精彩综述参见Wright，1990）。这些结果表明我们可以在不改变通用运动程序中固定特征的前提下，改变签名时参与的肌肉。有趣的是， |

|  |  |
| --- | --- |
| **时间尺度（秒）**  c.慢速（15秒）  b.快速（5秒）  a.常速（10秒）  **图5.4** 假设四分量运动技能在正常速度运行10秒（a）、加速到5秒（b）和减速到15秒（c）三种情况下固定相对时间的示意图。 | |
| 里杰斯等人（Rijntjes，1999）通过对比用惯用手的手指和大脚趾签名时大脑的活动区域，为肌肉在签名这类运动中作为参数提供了神经生理学证据。我们会在第13章中介绍双侧迁移时会讨论更多有关肌肉作为参数的证据和例子。  ***施密特模式理论*** 为了解释GMP如何控制协调性运动而形成的理论，即施密特模式理论（Schmidt, 1975, 1988, 2003）。**模式（schema）**是可以为决策提供基础的规则或规则集。 | 模式的建立主要是通过从相关的经验中提取重要信息并将这些信息整合成一种规则。例如，你之所以有*狗*的概念，是因为你见过了许多不同品种的狗，从而建立了一组规则，可以使你将以前从未见过的动物正确地识别成“狗”。 |
| **模式** 为决策提供基础的规则或规则集；在施密特模式理论中，指运动支配规则的抽象表示。 |

|  |  |
| --- | --- |
| 施密特使用模式这一概念来描述运动技能学习与控制过程中的两大控制成分。二者的特点均为建立在抽象规则的基础之上。第一个成分是*GMP*，如上所述，是负责控制一类运动（如投掷、脚踢、行走和跑步）的动作协调模式的控制机制。第二个成分是*运动响应模式（motor response schema）*，主要负责提供在给定场景下执行技能的具体规则。因此，运动响应模式为GMP提供参数。  模式理论可以对我们*适应*新场景或环境清静的好坏程度做出解释。即便一项技能要求使用以前从未用过的方式执行动作，人们也可以成功完成该技能。例如，当你在拥挤的商场里穿行，或进行网球接发球，场景特征会以你以前从未遇到过的方式进行变化。但是你仍然有可能在这些场景从成功完成技能，因为你可以利用运动响应模式中所提供的规则生成合适的参数特征，然后将其加到GMP上去执行技能。  施密特模式理论声称通过将运动程序和图式组织起来的这种控制操作，*解决*了动作协调过程中的*自由度问题*。该方法的重点是控制中心所存物质的抽象性或通用性。GMP和运动响应模式共同作用，为给定场景下待执行技能的启动提供所需要的具体动作特征。该运动技能的启动是一个开环控制过程。但是，一旦动作启动，如果在运动执行过程中有足够的时间处理反馈信息并调整动作，即反馈起了作用，那么这就是一个闭环控制过程。  ***检验固定相对时间特征*** 施密特主张一般运动程序控制着由特定的固定特征所定义的一类运动，研究人员尝试据此为基于运动程序的控制理论提供实证支持。而在所有被提出的固定特 | 征中，研究人员最感兴趣的还是相对时间。相对时间的不变性在很多研究不同技能的实验中都得到了证明，比如打字、步态、手写、抓握和顺序按键等等。（相关证据的综述，参见Heuer, 1991; Schmidt, 1985, 1988, 2003; Shea & Wulf, 2005.）  研究人员通常通过观察不同参数（如总运动时间或速度）下相对时间的变化，从而探究相对时间的不变性。相关研究中最常被引用的范例是夏皮罗等人（Shapiro, Zernicke, Gregor, and Diestel，1981）关于人在跑步机上以不同速度行走和跑步的研究。该研究的关注点在于每一种跑步机速度（即总运动时间参数）下，一个步长周期的四个组件（或阶段）占整个步长周期的时间百分比（即相对时间）。研究人员的假设是对于参与控制行走和/或跑步步态模式的一般运动程序来说，如果相对时间是固定的，那么无论速度如何变化，每一个步态组件所占的百分比都应该保持不变。  实验结果与上述相对时间不变的假设是一直的（见图5.5）。随着步态加速或减速（至少达到6 千米/时，并且超出8千米/时），每一个步长周期组件所占的时间百分比都基本保持恒定。从图5.5(b)中的饼状图可见，行走和跑步中的相对时间特征存在明显的差异。该饼状图展示了在平均行走速度和跑步速度下，跑步周期四个阶段的相对时间占比。由于行走和跑步的相对时间占比存在差异，该研究得出的结论是，存在两种*不同的*运动程序来分别控制行走步态和跑步步态。两种步态模式中，总运动时间（即速度）参数可以增加或减少，但步长周期各组件之间的相对时间保持不变。 |

|  |
| --- |
| **占步态周期的百分比**  **移动速度（千米/时）**  **跑步**  **行走**  **图5.5**夏皮罗等人的实验结果。(a)在不同行走和跑步速度下，四个步长周期阶段（Phillipson步长周期）中每个阶段的相对时间占总步长周期时间的百分比。F =屈曲阶段（从脚尖离地到膝关节伸直开始）；E1 =伸展阶段1(从膝盖开始伸展到脚跟着地)；E2 =伸展阶段2（从脚跟着地膝关节最大屈曲）；E3 =伸展阶段3（从膝盖最大角度屈曲到脚尖离地）。(b)在行走和跑步的四个步长周期阶段中，（四种速度的）平均相对时间占总步长周期的百分比。*资料来源*: Shapiro,D. C. et al. (1981). Evidence for generalized motor programs using gait pattern analysis. *Journal of Motor Behavior*， 13, 33–47. 1981, Heldref Publication, Inc. Washington, DC. |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  | | --- | --- | --- | |  | **深度阅读** | | | **关于相对时间不变性来源的两种观点**  相对时间不变性是一般运动程序理论和动态控制系统理论共同拥有的组成部分。然而，这两种观点有一个重要区别，那就是不变性来源。   |  |  | | --- | --- | | * *一般运动程序观点*强调，相对时间作为GMP的固定特征，包含在发送到肌肉的运动命令中。因此，组成运动技能的一套动作就必须根据该时间限制来执行。不同参数下相对时间在的不变性，是被同一GMP所控制的一类动作的指标。 * *动态系统观点*倾向于使用“时间模式”，而非相对时间不变性。虽然在某些具体的 | 特征方面不同，但时间模式是一个与相对时间类似的概念。更重要的是，相对时间的不变性在许多运动技能中都是一个*突出*特征，是一个人与任务和/或环境交互作用或参与躯干和四肢运动的机械动力学的结果。不同控制参数下相对时间的不变性，是协调模式稳定性的指标。 | | | | | |
| **动态系统理论**  与基于运动程序的运动控制理论形成鲜明对比的另一种理论，通常被称为**动态系统理论（dynamical systems theory）**（又被称为*动态模式理论*、*协调动态理论*、*生态理论*和*运动理论*）。该理论观点的基础是多学科的，包括物理学、生物学、化学以及数学。该理论的支持者把人体运动控制看作是一个复杂系统，与一些生物或物理系统的行为表现类似。作为复杂系统，我们就要从*非线性动力学*的角度来看待人体运动控制，也就意味着人在行为上随时间的变化不是连续、线性的变化过程，而是一些突变。例如，在物理领域，随着水的温度逐渐上升时，当达到一定值（100℃）时，水就会沸腾，水的这种变化是突然发生的。这种变化就代表了**非线性行为（nonlinear behavior）**。  研究动态系统理论的人尤为感兴趣的是一 | 个系统是如何在某个特定变量的影响下从一个稳态达到另一个稳态的。此外，他们还对控制这种行为的物理定律和数学定律特别感兴趣。尽管该方法早就已经在物理领域被用于众多复杂系统的建模（参见Gleick, 1987），但直到20世纪80年代才被研究人体运动控制的科学家注意到。  ***运动行为中的非线性变化*** 斯科特·凯尔索及其团队所做的一系列实验为运动科学家建立了如下认知：某个变量水平的系统性变化会导致人体协调运动产生非线性的行为变化（例如，Kelso, 1984; Kelso & Scholz, 1985）。在这些实验中，受试者初始阶段用特定速度摆动左右手食指，形成一种稳定的协调状态或模式，被称为*反向*关系（有时也被称为*异相*关系）。这就意味着控制左右手手指的肌肉群同时以相反的方式运动，即右手手指屈时，左手手指伸，与某些汽车雨刷器的运动很相似。定量来讲，两个手指在整个运动周期中一直相差180°相位。受试者跟随 |

|  |  |
| --- | --- |
| 由实验人员所控制的节拍器的节奏，系统性地提高手指运动速度。结果发现，当速度达到某个特定值时，手指运动自然而然地进入到了第二种稳定协调状态或模式，被称为*同相*关系，即两根手指会同时屈伸（即相位差为0或360°）。这里值得注意的是，这个协调模式发生改变的实际速度是因人而异的，但重点是每个人都会在某个特定速度发生改变。  你可以自己体验一下这种自发性的、非线性的协调性变化：双手握拳，小手指侧向下将拳头放在桌子上，伸出两根食指指向前方，然后就开始像凯尔索实验中那样，以相同的方式左右摆动（保持与桌面平行）。  这种向同相协调状态的转变发生在反相和同相两种稳定状态之间的*过渡期*。而过渡期是反相和同相协调模式的一种混合状态。但是在较低速度情况下，只发生反相模式，而较高速度情况下，则只发生同相模式。因此，运动速度的线性增加，导致了两根食指协调运动模式的非线性改变。也就是说，当速度在一定范围内由快到慢增加时，不会发生显著的协调模式变化，只有达到了某一速度时，模式才会突然发生改变。  从协调模式的角度来看，这些实验表明不同协调模式会*自发地*形成，作为一个具体参数变化的方程，该实验中的参数为移动速度。在凯尔索实验中的手指移动任务里，反相和同相的手指运动关系代表了稳定的协调模式。这些 | 实验的重要性在于，它们迈出了用另一种思路探究协调性变化的第一步，这种研究思路无需依赖诸如运动程序之类的机制，来明确每种协调模式的运动特征。  上述协调模式的自发性改变不仅仅局限于实验室任务。在体育运动和日常活动中所涉及的运动技能中也能发现这种现象。例如，自由泳泳姿在特定游泳速度下就会出现自发性的手臂协调模式改变（Seifert, Chollet, & Bardy, 2004; Seifert et al., 2015）。另一个例子是，由走到跑的协调模式改变也是在特定速度下自发的。本章前面讨论过的夏皮罗等（Shapiro et al.，1981）的实验，就是这种自发性步态模式改变的早期例证。自该实验之后，大量的研究表明由走到跑或由跑到走的过程中步态的改变是由速度决定的，这一点已经成为越来越多研究的基础（例如：Abdolvahab & Carello, 2015; Diedrich & Warren, 1995, 1998; Farinatti & Monteiro, 2010; Wagenaar & van Emmerik, 1994）。我们将在第7章详细讨论这种自发性步态改变的现象。 |
| **动态系统理论** 描述和解释协调运动控制的一种方法，强调信息在环境中的作用以及躯干和四肢的动态特性；它也被称为动态模式理论。  **非线性行为** 针对特定特定变量值系统的线性增加，而以突然的、非线性方式改变的行为（例如，水管中的水流在速度增加到一定值时由静水变为湍流；步态在速度增加到一定值时从行走变为跑步）。 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  | | --- | --- | --- | |  | **深度阅读** | | | **优秀游泳运动员在自由泳中由速度导致的自发性协调模式变化**   |  |  | | --- | --- | | 自由泳中手臂协调模式的变化，是自发性协调模式变化的体育运动技能示例，这种现象最初是由凯尔索（Kelso，1984）在手指运动任务中发现并报道的。在由塞弗特等人（Seifert, Chollet, and Bardy, 2004）在法国进行的一项实验中，14名男子短距离精英游泳运动员以给定的距离进行了8次游泳试验。首次试验以3000米的配速进行，接下来的试验中游泳运动员被要求定量提高速度，分别以1500米、800米、400米、200米、100米和50米中所使用的配速为基准；这8次试验都是以游 | 泳运动员的最大速度进行的。对每次试验中运动员的手臂协调性进行量化分析，发现了*两种不同的协调模式*，分别是*追赶模式*和*相对对立模式*，前者在两只手臂的推进阶段之间有一定的时间延迟，后者在一只手臂的推进阶段在另一只手臂的推进阶段结束后才开始。对手臂划水的分析显示，所有游泳运动员在第一次试验中都使用了追赶模式。但是随着他们在后续试验中游泳速度的增加，每个人都存在一个临界速度，在这个速度上开始使用相对对立模式进行划水。 | | | | | |
| **稳定态和吸引子**  动态系统理论观点的核心是**稳定态（stability）**这一概念。稳定态在动力学术语中是指一个系统行为稳定的状态。需要注意的是，在这里稳定态的使用时区别于不变形（invariance）这一概念的。此处的稳定态整合了可变性的概念，即当系统受到轻微扰动时，它会自发地回归到一个稳定的状态。  通过观察一个稳定状态的特征，科学家可以了解有哪些变量可以影响系统的行为。例如，在刚刚介绍的凯尔索实验中节律性的手指往复运动中，研究人员会在手指之间出现反相和同相关系时观察到行为稳定态。这两个稳定状态指示两种协调运动模式。在这两种稳态之间，随着手指速度的增加，会出现一个以行为模式不稳定为特征的*过渡阶段*。该不稳定状态会一直持续到手指速度达到某个值，在这个值上会自发地产生一个新的稳定状态。  这种行为稳定的系统稳定状态被称为**吸引子（attractors）**（或*吸引子状态*）。在人体协调运动的概念里，吸引子是指*偏好的行为状态（preferred behavioral states）*，正如凯尔索实验中手指节律性运动的同相和反相状态。 | *吸引子代表的是当一个系统允许按照自己偏好的方式运作时，其典型性行为所形成的稳定区域。*  下面举两个常见运动技能中存在吸引子的例子。当人们以3英里/时（即4.8千米/时）的速度移动时，手臂和腿被“吸引”到一种行走步态的协调关系中。这种步态模式代表了在这种特定速度下移动的人体系统所偏好的行为状态。但是当人体移动速度达到10英里/时（16千米／时）时，行走步态就不再是人体偏好的移动状态了。在这种速度下，大部分人都会跑起来，正如你在图5.5中所看到的，跑步的步态模式与行走的步态模式是不同的。  第二个例子是姿态协调模式。巴迪及其团队（如Bardy, Ouiller, Lagarde, & Stoffregen, 2007）的研究表明，人体有两种身体姿态协调的稳定模式，由髋关节（即控制躯干运动的关节）和踝关节之间的相对运动决定，分为同相模式和反相模式。这两种模式与之前介绍的节律性手指运动模式类似，即同相模式中髋关节和踝关节同时进行屈伸，反相模式中则一个关节伸的同时另一个关 |

|  |  |
| --- | --- |
| 节屈。这两种模式代表了当人站在不平稳的表面时，比如站在移动的公交车上，努力保持身体平衡的姿态协调控制的特征。从动态系统理论的角度来看，两种协调模式之间的过渡（根据公交车的运动情况）是自动、自发产生的，因为身体姿态协调成分（髋关节和踝关节）的同相和反相模式构成了所谓的“偏好”模式。  最后，吸引子状态不仅是协调动作的稳定状态，而且还是*高效节能*的最优状态。这意味着当一个人按自己偏好的速度或协调模式运动时，他/她所消耗的能量要比用非偏好方式运动时更少。  **有序参数和控制参数**  动态系统观点的支持者将首要任务放在构建描述运动控制、学习和发展过程中动作协调模式的稳定态和非稳定态的非线性方程上。而这些方程的构建需要科学家们确认那些负责协调以及与协调相关的变量。其中最重要的一类变量便是**有序参数（order parameters）**（有时也称*集合变量*），可以定义系统的整体行为。有序参数是运动协调模式可以被复现以及区别于其他模式的参数。  由于*有序参数定义了运动协调模式*，因此有必要明确具体的类型。研究人员发现的最为重要的一个有序参数是节律性运动中的*相对相位*。我们在第2章中简要讨论过相对相位，它是对两个运动身体节段之间运动关系的一个定量描述。对凯尔索（Kelso，1984）实验中的节律性手指运动任务来说，同相运动关系中的相对相位是360°（等同于0°）；反向运动关系中的相对相位是180°。上述两个相对相位的 | 数值是通过如下定义确定的：手指内收至最大角度时相位值为360°（即0°），外展至最大角度时相位值为180°。以共同的起点为基础，运动中任意时刻两根手指之间的相位差值即为相对相位。  将第2章描述的相对相位的计算方法应用到节律性手指运动任务中，有如下分析。在同相位运动中，两根手指的初始位置均在最大内收角处（360°），然后共同移动到最大外展角处（180°），最后再返回至最初的最大内收角位置。在两根手指运动的任意时刻，二者的相对相位都为360°，表明它们处于相同的展收位置。对于反相模式来说，情况则恰好相反。在任意时刻，一根手指外展的同时另一根手指内收相同的角度，意味着二者的相对相位值为180°。  考虑上述相位关系另一个视角是同时内收和/或外展的角度。当两根手指同相运动时，二者同时外展或内收相同的角度；而反向运动时， |
| **稳定态** 系统的一种行为稳定的状态，代表了一种偏好的行为状态，并在不变性的概念中融入了这样一种特质，即系统在受到轻微扰动后会自发地回到稳定状态。  **吸引子** 系统稳定的行为稳定状态。对于人体协调运动来说，吸引子表征了偏好的行为状态，比如双手手指节律性运动中的同相和反相状态。  **有序参数** 定义系统的整个行为的具体功能性变量；它们可以使运动协调模式被复现，并区别于其他模式（例如，相对相位）；也被称为集合变量。 |

|  |  |
| --- | --- |
| 两根手指也同时运动相同的角度，只不过一根手指内收，另一根外展。  **控制参数（control parameter）**则代表了增加或减少会影响有序参数稳定态和特征的变量。例如，在凯尔索实验中，运动频率（即速度）就是控制变量。当运动频率随着节拍器逐步提高时，两根手指之间的相位关系也出现了明显的变化。换言之，同相关系在前几个频率下都能保持（即稳定），但随着频率的持续提高，这种关系就开始变得不稳定了。在中间阶段，二者既不存在同相关系，也不存在反相关系。然而，随着频率的持续提高，当达到某个关键频率时，就会出现新的相位关系并开始稳定。从一个稳定模式到另一个稳定模式的过度被称为*相变（phase transition）*。  从实验观点来看，明确控制参数非常重要，因为它是评估系统协调模式稳定性以及协调模式稳定态间转换的基础。从应用角度来看，控制参数有可能帮助我们洞察到一个人的协调特征，这些特征可能用其他方式都无法观察到。  埃默里克和瓦格纳（van Emmerik and Wagenaar，1996）的一项研究中给出了从业人员可以改变控制参数的示例。他们证明帕金森患者与同年龄段控制组的受试者相比，在跑步机上行走时更难调整自己的协调模式以适应逐步提高的速度（即控制参数）。本研究关注的相对相位（即有序参数）是基于行走过程中手臂和腿的摆动关系的。研究人员根据实验结果得出结论：评估人在不同行走速度下手臂和腿摆动的相对相位关系的稳定性，可以为帕金森疾病的早期发现和诊断提供一个灵敏的技术手段。 | ***自组织*** 动态系统观点中的一个重要元素就是**自组织（self-organization）**的概念。这意味着当某种特定条件特征的情况出现时，就会产生特定的稳定行为模式。自然界中存在很多自组织的例子，可以用来解释这种应用在人体运动领域的概念。例如，在宇宙中是不存在飓风这种程序的，但是飓风却常常发生，只不过需要特定的风速和水温条件。当风速、水温这些变量出现某些特征时，飓风就会自组织成一种有别于热带低气压或任何其他天气系统的模式。  当应用于人体运动协调领域时，这种自组织概念的含义就是当某种特定条件特征的情况出现时，就会产生特定的肢体运动模式。因此，运动协调模式并不是由运动程序指定的，而是在环境条件、任务需求以及肢体动力学特征形成的框架内自组织而成的。例如，在凯尔索实验中的双手手指运动任务中，同相协调模式作为运动速度（即控制参数）的函数自组织而成。同样的自组织可以在由走到跑或由跑到走的运动中看到，步态转变随着步态速度的提高或降低而产生；游泳运动中手臂协调模式的改变则是随着游泳速度的提高而产生的（相关研究参见，Seifert, Chollet, & Bardy, 2004）。  **协调结构；肌肉协同**  动态系统观点的另一个重要方面关系到受控制的行为单元。该观点的支持者认为，技能熟练的结果就是人的神经系统能够约束*特定功能集合的肌肉和关节*共同作用，从而可以根据场景特点完成运动目标。个体可以通过练习或经验形成这种被称作**协调结构（coordinative structure）**的表现协同，当然这种结构也可能是天生存在的。 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  | | --- | --- | --- | |  | **深度阅读** | | | **大脑活动和协调运动中相对时间的证据**   |  |  | | --- | --- | | 在比较和对比运动程序控制理论和动态系统控制理论的精彩讨论中，凯尔索（Kelso，1997）探讨了有关相对时间的各种问题，相对时间是两种观点共同的关键变量。运动控制研究人员多年来一直努力解决的一个问题是，确定大脑活动与可观察到的运动表现特征之间的关系。通过使用功能性脑成像技术，研究人员可以在一个人执行运动技能时观察到他/她的大脑活动，这可能会给这项工作带来一个突破。  下面是凯尔索及其同事在使用这项技术探究相对时间问题的研究中得到的两个关键发现。在这些实验中，受试者执行双手协调技能，跟随一个信号产生同相或异相（反相）的运动协调模式，该信号会指定运动速度，使速度系统性地逐步提高。 | * 低速时，无论是同相还是异相协调模式，相对时间在一定速度范围内都保持稳定（即固定）。 * 当运动速度增加到某个临界值时，就会发生从异相协调模式到同相协调模式的自发性转变。   研究结果表明，在运动技能执行过程中，就模式的相对时间特征而言，大脑产生的活动模式与运动协调模式基本相同。凯尔索指出，该实验结果对运动控制理论争议的重要意义在于，动态系统理论可以预测该结果，而运动程序理论不能，原因是运动程序理论中认为两种模式是由两个独立的GMP控制的，也就无法预测一种GMP会随着运动速度的增加而自发性地转变为另一种GMP。 | | | | | |
| 协调机构的一个示例是参与到伸手抓握物体这一运动技能中的肌肉和关节（待控制的自由度）。那些必须共同作用才能使一个人成功伸手抓握物体的肌肉群和关节，通过练习被“转换”为一个特定任务的集合。  打一个比方也许有助于读者理解。术语“特定任务的集合（task-specific ensemble）”可以认为是歌唱小组，通常称为“合唱团”，其中包含了许多只唱特定部分的独立歌手；这些歌手共同合作（即协同）以完成特定目标。类似地，协调结构就是肌肉和关节的集合，共同合作以使人完成特定的运动目标，例如抓握物体。  对于运动控制系统来说，协调结构的存在减少了系统必须控制的自由度。在参与到运动技能执行的许多肌肉和关节中，运动控制系统 | **控制参数** 根据运动技能执行环境的特征随意变化的协调运动控制变量（如音速或速度和力量）。在某种条件下，它们可以使系统的行为从一种协调模式转变为另一种协调模式。根据动态系统运动控制理论的观点，当控制参数系统性地逐步变化时（例如，速度从慢到快增加），有序参数可能会保持稳定，也可能在控制参数变化到某个水平的值时改变其稳定特征。  **自组织** 一种特定的稳定行为模式的产生原因是某种情况的条件特征，而非组织行为的特定控制机制。例如，在自然界中的飓风就是在某种风况和水温条件具备时自组织而成的。  **协调结构** 具有特定功能的肌肉和关节集合，受神经系统约束而协同作用执行一项运动技能；有时被称为肌肉或运动协同。 |

|  |  |
| --- | --- |
| 击打网球的协调特征为协调结构提供了一个很好的示例，这种协调结构是通过大量训练获取的。  朱庇特图像/创造者/阿拉米 | |
| 不再需要控制其所代表的大量自由度，而只需要控制一些肌肉和关节的组合即可。从这个意义上讲，对于任一特定运动的控制系统，都可以比用完成该运动所需控制的自由度来定义的方式简化很多。对于伸手抓握运动来说，协调结构在一个人产生伸手抓握杯子，并且环境情境表明可以进行该运动的时候，协调结构就开始激活了。接着，根据肢体和环境约束的特征，协调结构自组织完成该运动技能。  协调结构的一个重要的行为优势是，它们允许一个人在协调结构的一部分肌肉或关节无法正常工作时依然能够完成运动目标。例如，假设你的腿由于打上了石膏而无法屈膝，你依旧可以上下楼梯。这可能是因为与上下楼梯相关的肌肉关节集合（即协调结构）中的某些肌肉在这种情况下被激活，从而替代了由于石膏而无法发挥作用的那些肌肉。这种补偿活动， | 与团体运动项目中的情况类似，当团队中某个运动员无法发挥出他/她的最好水平时，整个团队仍然可以表现不错，原因就是其他运动员“火力全开”，发挥出了比平常更高水平的作用。  协调结构可以是先天的，也可以通过后天练习获得。*先天的协调结构*存在于诸如行走、跑步和双侧协调这样的运动技能中。当我们执行这些运动技能时，参与运动的肢体肌肉和关节有一种本能的倾向，就是去展现自己自幼年时期起就形成的肢体间协调模式。例如，当执行双手协调技能，即需要同时使用双侧手臂和手时，无论是婴儿（例如，Corbetta & Thelen, 1996），还是成年人（例如，Kelso, Southard, & Goodman, 1979），都呈现出双侧手臂和手同步运动的倾向，这里的同步是指在空间和时间上均达到同步。这意味着当人们第一次学习网球发球，这种需要两个手臂同时以不同方式运动的技能时，一开始的时候就会倾向于同时以相同的方式移动手臂。 |

|  |  |
| --- | --- |
| 相反地，*通过后天习得的协调结构*则是一种新的肌肉和关节集合，它们共同作用形成了一种可以实现运动目标的协调模式。前文提到的网球发球就是一个很好的例子，证明大量的练习可以产生一种新的协调结构。另一个例子是塞弗特、乔利特和阿拉德（Seifert, Chollet, and Allard，2004）所描述的与游泳运动员相关的。当自由泳运动员达到精英水平时，他们所展现出的划速、划距与呼吸频率之间的关系，可以让他们和低水平运动员相比，更成功地适应比赛环境需求。相似的协调结构形成也发生在高水平的鼓手身上，这种协调结构也是练习非对称双手协调模式的结果（Fuji, Kudo, Ohtsuki, & Oda, 2010）。  对于某种运动技能的学习，天生的协调结构可能会导致最初的运动执行困难，就像学习网球发球那样。但是一旦一个人克服了初始的困难以后，就会受益于新形成的协调结构，因为新结构会使他/她在运动执行过程中遇到一些轻微的扰动时，仍然能够成功实现运动目标。例如，假设一个网球运动员在发球的过程中，有一阵风使得球偏离了原来的运动轨迹，这时运动员也可以迅速轻松地调整发球相关的动作，从而成功完成发球。类似地，假设有个人在马路边上慢跑，并且需要跨过一个路缘石，这个慢跑者可以快速轻松地调整自己步态模式的运动特征，从而在保持慢跑协调模式的同时避免被绊倒。  ***知觉与动作耦合*** 动态系统理论的支持者强调动作执行者与其所处物理环境之间的交互作用。从运动控制的角度来看，这种交互作用包含了感知变量和运动变量，这些变量对于解读运动技能控制机制是必不可少的。动态系统理 | 论提出，这种被称为**知觉-动作耦合（perception-action coupling）**的交互作用对于高水平的技能执行来说是一项必不可少的因素。其中，知觉部分负责发现并使用环境中关键的固定信息（例如，物体到达人或人接触到物体所需要的时间）；动作部分则包含了设定和调节完成动作目标所需要的运动控制特征（例如，运动的运动学和动力学组成部分）。  上述耦合过程中一个知觉变量的例子是*tau*（希腊字母τ），代表了物体与人眼所处位置接触所需要的时间。（我们将在第6章和第8章详细讨论*tau*。）研究人员已经证实了*tau*在诸多运动技能中的引导作用，如开车、接球、击球、平台起跳以及跳远（Lee, 2009; Lee et al., 2009）。随着经验的积累，知觉变量与运动的动力学特征相耦合，从而可以根据需要复制和修改一种独特的协调模式。  其他有关知觉-动作耦合的例子包括人们在以下运动技能中使用的协调模式，如跨越障碍物、爬楼梯和穿过门道。研究人员发现，对于道路、楼梯以及门口的障碍物，人们对其尺寸信息的知觉是相对于自身尺寸（跨越路障物或爬楼梯时就是腿长；穿越门口时就是体格大小）的 |
| 2有关知觉-动作耦合及其在体育运动技能表现中的应用，请参考布克斯、蒙塔涅和洛朗（Buekers, Montagne, and Laurent，1999）的精彩讨论。 |
| **知觉-动作耦合** 视觉和手或脚的时空协调 ，使人们能够执行眼-手和眼-脚协调技能；也就是说，对物体的视觉感知与实现动作目标所需要的肢体运动之间的协调。 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  | | --- | --- | --- | |  | **深度阅读** | | | **运动程序理论和动态系统理论在解释运动控制行为上的差异举例：从走到跑的步态变化**  人们的步态模式会在某个移动速度下自发地从行走变为跑步。尽管转变实际发生的速度值存在个体差异，但这种转变似乎对所有人来说都是司空见惯的。运动程序理论和动态系统理论在解释这种协调性变化发生的原因上存在一定差异。   |  |  | | --- | --- | | * **运动程序理论** 协调模式的相对时间结构可以将不同的一般运动程序区分开来。由于行走和跑步的步态具有不同的相对时间结构，因此二者由不同的一般运动程序所控制。之所以会在某个速度下发生从走到跑的步态模式转变，是因为人们选择将控制行走的运动程序更换为控制跑步的运动程序。 * **动态系统理论** 肢体间和身体协调模式自组织为特定控制参数和环境条件的函数。对于行走和跑步的步态模式而言，速度是一个关键的控制参数。从走到跑的步态模式转变包含了两种吸引子之间的竞争。低速时，主要的吸引子状态是行走协调模式。但随着行走速度的提高，这种吸引子状态在某个速度范围内失去了稳定性，这就意味着在该速度范围内， | 行走模式经历了某些改变，而与此同时，跑步协调模式进行自组织，并最终成为了在一定速度下的稳定吸引子状态。  **解释夏皮罗等人（Shapiro et al., 1981）的实验结果（图5.5）**  ***运动程序理论*** 观察到的两种不同的步态模式，即行走步态（3-6 km/h）和跑步步态（8-12 km/h）时，是由两种不同的一般运动程序控制的。  ***动态系统理论*** 行走和跑步的步态代表了两个吸引子状态，并分别在3-6 km/h和8-12 km/h两个速度范围内保持稳定。但是对于7-9 km/h范围内的步态速度而言，有序参数在这个转变期变得不再稳定，同时一种新的步态模式（跑步）自组织而成，并在一定速度范围内保持稳定。 | | | | | |
| 一种固定关系。因此人们会根据这种感知到的环境特征与自身尺寸之间的关系来决定，是跨过还是翻过障碍物，从众多爬楼梯的方式中选择一种，以及是侧身还是正面穿过门道。这种人与环境二者的特征之间的双向匹配，在知觉-动作的研究文献中被称作**可视性（affordance）**（Gibson，1979），这种匹配使得特定的运动技能得以执行，例如楼梯必须满足一定的物理特征才能允许人进行攀爬。从这个角度来讲，学习如何识别可视性是运动控制与学习的核心。 | 补充理论：运动学习的“最优”理论 多年来，施密特的模式理论和动态系统理论在运动学习与运动控制理论的讨论中一直占据主导地位。然后在2016年，加布里埃·沃尔夫和丽贝卡·卢思韦特发表了对这些理论的新观点，呈现了一些被主流理论忽视的问题，即“（a）*提高未来表现预期*的条件，（b）影响学习者*自治*的变量，（c）预期运动效果的*外部关注焦点*”（第1382页）。因此，她们的理论是对运动学习理论 |

|  |  |
| --- | --- |
| 的补充，而不是图式和动态系统理论的替代理论。沃尔夫和卢思韦特将它们的理论称为运动学习的“最优（OPTIMAL）”理论。“最优（OPTIMAL）”是英文“通过学习的内部的动机和注意力来优化表现（Optimizing Performance Through Intrinsic Motivation and Attention for Learning，OPTIMAL）”的缩写。沃尔夫和卢思韦特指出，“……不考虑动机（如社会认知和情感）和注意力对行为的影响是无法理解运动学习的”（第1383页）。在下一小节中，我们将总结该理论的主要观点，以描述它与运动学习以及图式理论和动态系统理论之间的关系。  **预期提高**  沃尔夫和卢思韦特将“预期提高”描述为一个人对未来运动技能学习和表现成功的预期或期待。她们指出，“预期的概念……指的是对于即将要发生的事情的一系列前瞻性预期或预测性的认知或信念”（第1383页）。她们认为，将这一概念纳入到图式和动态系统理论中，将会通过表达其在运动技能学习与控制中的重要作用来弥补这些理论的空白。她们指出，在心理学领域，预期在班杜拉（Bandura，1977）关于自我效能和结果期望的工作中早已进行过讨论。更确切地说，这些概念通过一个人对自己能否完成技能的信心来影响其运动技能的表现，这种信心通常受这个人过去表现成功与否的影响。进一步地，沃尔夫和卢思韦特还描述了一些与运动技能执行过程中出现的诸如“压力下窒息”和“流畅状态”这些现象有关的研究，以将她们预期提高的概念与运动技能学习和 表现联系起来。此外，在图式理论和动态系统理论中，增强反馈在技能的学习和执行中起着重要作用。类似地，在“最优”理论中，增强反馈提供的是影响执行结果预期的基于表现 | 的信息。稍后你将在本书中学到更多有关增强反馈的概念（第15章）。  **自治**  在人类的学习和表现中，“自治”这一概念指的是一个人能够控制住局面。沃尔夫和卢思韦特在将此概念纳入她们的运动学习理论中时引用了一项研究，该研究一直在证明，当人们对自己的练习和/或执行环境的某些方面有选择时，他们更有动力去执行技能，并且通常会在这种情况下为技能执行付出更多的努力。其中有些例子就包括控制练习条件的某些特征，比如何时接收增强反馈或平衡任务中是否可以使用辅助设备。能够控制练习条件对学习是有益处的，沃尔夫和卢思韦特对此现象的可能性解释进行了描述。例如，研究人员已经证实，这种控制使得学习者更加积极地参与到学习的过程中，促进与实现任务目标相关的信息更深层次的处理，并增加执行练习任务的兴趣。这些对学习带来的益处都与图式理论和动态系统理论的运动学习与控制观点相一致，即便这两个理论没有明确地将“自治”纳入其中。  **外部关注焦点**  “最优”理论的第三个主要组成部分是学习者或执行者从事外部关注焦点的益处。尽管 |
| **可视性** 人的特征与环境二者的特征之间的双向匹配，这种匹配使得特定的运动技能得以执行，例如楼梯必须满足一定的物理特征才能允许人进行攀爬。 |

|  |  |
| --- | --- |
| 该主题将会在本书的第9章进行详细讨论，我们还是要在这里简要地总结一下，以便展示它与“最优”理论之间的关系。外部关注焦点是指一个人在执行运动技能的过程中，主动监控周围环境或任务相关的线索，而不是身体相关的线索。例如，如果一个人要执行的一项站立任务中，要求最小化移动平台的运动，那么关注平台将会比 关注保持双脚不动能够带来更好的平衡表现。沃尔夫和卢思韦特对此实例以及其他实例进行了讨论，该内容在本书的第9章。外部关注焦点的主要好处之一是，它促进了对运动技能无意识的、自动的控制。 运动控制理论问题的现状 基于程序的理论和动态系统理论是目前解释神经系统如何产生协调运动的两大主导行为理论。科学家在尝试回答这个重要的理论问题的同时，争论和研究也在继续。两种理论支持者之间的争论带来了一个好处，就是关键问题清晰了，并且未来方向也更加明朗。例如，我们现在知道了控制理论不能仅仅专注于由中枢神经系统控制的运动信息，还必须将任务和环境特征考虑进来。正如我们在第1章中所讨论的，即纽威尔（Newell，1986）所述，最优协调模式是由人、环境和任务所指定的约束之间的交互所决定的。  关于运动控制理论争论的结果，可谓是众说纷纭。例如，有些研究人员预见两种理论可以相互折中，从而形成一种融合各自优点的混合理论（例如，参加Abernethy & Sparrow, 1992; Walter, 1998）。亚马泽恩（Amazeen，2002）报道了能够说明这种折中可能性的研究证据。在一系列的 | 在线学习中心实验手册的实验5为你提供了一个机会，可以体验随着步态速度的提高，步态协调模式产生自发性的非线性变化。  **实验链接** |
| 实验中，她证实了将动态系统理论的某些方面应用到一般运动程序理论中，可以解释与节律性双手协调技能获取相关的表现特征，这一点是单独使用一般运动程序理论无法做到的。然而，她的实验结果也可以被解释为仅仅是对动态系统理论的支撑，这一点是有可能的。  其他研究人员则反驳说混合理论是不可能存在的。例如，阿伯内西和斯帕罗（Abernethy and Sparrow，1992）推断说，折中理论之所以不会出现，是因为两种理论解释运动协调控制的方式大相径庭。他们解释道，正是由于这种差异，根据科学的历史发展规律可以预测，终有一种理论会成为主导理论。凯尔索（Kelso，1997）也表达过相似的观点，只不过其预测更加具体。他认为，由于运动程序观点的许多方面可以归入到动态系统理论当中，特别是有关固定特征和控制参数的内容，并且动态系统理论可以解释和预测更多协调运动的行为特征，因此动态系统理论会最终成为主导理论。然而时至今日，这种主导性也还没有被建立起来。 总结  * 运动控制理论，和任何一种理论一样，能够解释可观察现象或行为的存在或运行的原因。同时，它也为从业人员开发有效的运动技能指导和练习环境提供了的坚实基础。 |

|  |  |
| --- | --- |
| * 术语*协调性*是指相对于周围环境中物体和事件模式的人的头部、躯干以及四肢的运动模式。当*协调性*被用来形容技能执行过程中的运动模式时，其指的是人的头部、躯干和/或四肢在特定时间点上相互之间的关系。 * 一个人要想学习如何产生一个能够实现运动目标的高协调性动作，其运动控制系统就必须解决自由度问题，即考虑如何限制肌肉、关节等组成的众多自由度。而任何一个运动控制理论都应该能够解释运动控制系统是如何解决这个问题的。 * 运动控制理论通常会将开环和闭环控制系统的特征整合进来。两种系统均包含控制中心，信息和效应器，其中，闭环系统还包含反馈。在开环系统中，控制中心向效应器发送其在整个技能执行过程中所需要的全部运动指令。相反地，闭环系统的控制中心只向效应器发送技能启动所需要的运动指令；来自效应器以及其他来源的反馈则向控制中心提供效应器继续执行和结束运动所需要的指令。 * 运动控制理论可以根据其赋予不同信息的相对重要性来区分，这里主要包括两种信息，分别由控制系统的中心组件和环境所指定。突出控制中心重要性的理论有一个共同点，就是包含某种形式的存储记忆表示，比如运动程序，可以为效应器提供运动指令。相反地，突出环境信息重要性的理论则强调这些信息与身体、四肢以及神经系统之间的交互作用。 | * 施密特模式理论是基于运动程序的理论中最受欢迎的代表。它提出了一种基于记忆的中心控制机制，即一般运动程序（GMP），用于控制运动技能的执行。GMP是存储在记忆中的一类运动的抽象表示，在执行包含这类运动的技能时被调用。GMP中存储的是这个运动类别的固定特征，如运动组成的相对时间。当执行某个特定的运动技能时，必需在GMP中添加具体的参数值；这些参数包括运动的总执行时间，以及所使用的肌肉。 * 运动程序理论认为运动技能的控制中基于记忆的表示很重要，而动态系统理论对此表示不认同并提出，诸如环境不变性和肢体动力学之类的因素，可以解释运动程序所控制的大部分内容。该理论观点认为协调运动遵守非线性动力学相关的规则，因此将一些动力学特征结合进来，例如，吸引子状态（定义特定协调模式的偏好稳定模式），有序参数（在功能上定义吸引子状态，如相对相位）以及控制参数（影响吸引子状态的稳定性，如速度或频率）。根据人、环境以及运动技能之间相互作用的特征，协调运动自组织为协调结构。 * 截至目前，运动程序和动态系统两种运动控制理论都有各自的强有力的支持者。关于运动控制理论争论的结果，可谓是众说纷纭。 |

|  |  |
| --- | --- |
| 实践要点  * 理论不仅仅是抽象的概念。好的理论可以为你建立有效的技能指导和练习环境提供基础；好的理论也可以在制定好的指导和练习环境未能成功时，为创造替代方案提供基础。 * 一种看待两种主要理论的新视角被称为运动学习的“最优（OPTIMAL）”理论，它是英文“通过学习的内部的动机和注意力来优化表现（Optimizing Performance Through Intrinsic Motivation and Attention for Learning，OPTIMAL）”的缩写。该理论是对运动学习理论的补充，而不是图式和动态系统理论的替代理论，它呈现了主流理论中忽视的一些为，即（a）*提高未来表现预期*的条件，（b）影响学习者*自治*的变量，（c）预期运动效果的*外部关注焦点*。在首次尝试执行一项技能时，人们会形成自己的一套策略来控制四肢、躯干和/或头部的协调运动中所涉及的自由度数量。你应该注意到这些策略并确定是否应该通过练习来对其进行改变，以提高学习者的表现超过初始水平。 * GMP中的相对时间不变性和整体执行时间参数的可变性特征表明，在教授一项包含必须以极快的速度执行某特定节律的运动技能时，应该首先在慢速下教授该技能的节律特征。等到该节律模式被学会之后，就可以提高执行该技能的速度了。 * 你可以通过如下方法来评估功能性运动技能的运动问题和能力：系统性地调整技能和环境特征（如速度或距离），然后测试表现特征并观察伴随这些调整的运动变化。 | * 在运动障碍患者身上发现的协调特征很有可能是其最优的模式，因为其运动控制系统受到了来自其病理状态和运动技能执行的环境条件的限制。因此，尝试对此协调特征进行调整很有可能效果不好或达不到预期效果。  相关阅读 |

|  |  |
| --- | --- |
| 课后习题  1. （a）描述在科学领域，一个好的理论所具备的两个特征。（b）在运动控制与学习这种行为科学领域，一个好的理论如何能对从业人员有用呢？ 2. 定义术语*协调性*，并描述如何用肢体运动位移图来刻画一个协调运动模式。 3. 在人类运动控制与学习的研究中，*自由度问题*指的是什么？ 4. 描述闭环控制系统和开环控制系统之间异同之处，并为每个系统描述一个具备其特征的运动技能。 | 1. 定义一个一般运动程序，并描述能够表征该程序的一项固定特征和两项参数。 2. 描述一个人体协调运动中非线性变化的例子。 3. 给出下列在运动控制的动态系统理论中所使用的关键术语的定义并举例：（a）稳定性；（b）吸引子；（c）有序参数；（d）控制参数；（e）协调结构；（f）自组织。 4. 讨论如何用（a）基于运动程序的理论和（b）动态系统理论，来解释人类行走和跑步过程中步态的相对时间特征。 5. 讨论“最优”理论观点中的（a）未来表现成功的预期提高和（b）外部关注焦点，是如何影响运动技能学习的。  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。 |