|  |  |
| --- | --- |
| **第2章 运动表现的测量**  *概念：运动表现的测量对于理解运动学习至关重要。*  完成本章的学习后，你将能够：   * 描述并举例说明表现结果测量和执行过程测量之间的区别 * 描述简单反应时、选择反应时和辨别反应时之间的区别 * 分别为在一维和二维要求空间和/或时间准确性的分立技能，以及要求时空准确性的连续技能描述三个测量运动表现结果准确性的指标 * 定义三个运动学测量指标，并针对特定动作描述每个测量指标的一种计算方法 * 描述利用肌电图获得人类动作信息的方法 * 描述运动技能执行过程中测量大脑活动的几种技术 * 描述如何利用角-角图获得有关肢体或肢体段协调性的有用信息 * 描述运动技能执行过程中量化协调性测量的两种方法 | |
| **应用**  假设你是一名正在教学生网球发球的体育老师，你会通过测量哪些表现特征来评估学生对技能的掌握情况呢？下面我们考虑几种可能的方案：你可以数一下发球成功和发球出界的个数；也可以采用某种方式对发球区进行标记，使落地位置更好的球可以得更高的分数；还可以根据学生发球的姿势评价发球的好坏。 | 现在想象你是一名帮助中风患者重新学习走路的物理治疗师。你会如何测量患者的康复进展情况以确定你所做的一切对他/她的康复是有效果的呢？有几种可能的走路特征供你选择。例如，你可以计算患者每次尝试走路的步数或者距离，这些测量指标可以提供患者总体的康复情况。如果想知道更多有关走路特征的信息，你可以测量患者走路时的平衡性和姿态稳定性。 |

|  |  |
| --- | --- |
| 或者你可以通过分析患者走路时腿、躯干和手臂动作的运动学特征，从生物力学角度评估其康复进展情况。上面提到的每一种测量都是有价值的，能够提供给你患者走路表现相关的一些不同信息。  在这两种表现评估的情境中，无论是作为体育老师还是治疗师，你最关心的问题都是使用一种或几种测量指标对表现进行评估。要解决这个问题，首先，你必须明确有效的表现评估应该测量表现的哪些方面。然后，你必须确定如何来测量表现的这些方面。接下来，我们将会通过描述几种不同的运动技能表现测量指标来帮助你了解如何实现这两个测量步骤。本节介绍的各种测量指标将会贯穿整本书，特别是在研究人员使用这些测量指标研究各种各样的概念的时候。  **待解决的应用问题** 选择在你未来职业生涯中可能会帮助别人学习或重新学习的一项运动技能。要想有效评估这个人的运动执行能力和局限性，你应该测量他/她运动表现的哪些方面呢？描述你会使用的测量指标类型，以及这些指标如何帮助你确定如何帮助这个人。  **讨论**  测量运动技能表现的方法多种多样。管理这些运动表现测量指标的一个有效方法是将其分成两大类。这两个类别关系到运动表现不同的观察层次，可以映射到第1章介绍的不同分析层次——运动、动作和神经运动过程。我们将第一个类别称为**表现结果测量（performance outcome measures）**，包含*指示运动技能执行结果的测量指标*。例如，一个人走多远，一段 | 距离跑多快以及篮球运动员得多少分等，这些测量都是在告诉我们有关一个人运动表现结果的信息。表现结果测量为我们提供了有关运动结果的信息，也是我们最关心的地方，即任务目标是否实现。  注意表现结果测量并没有告诉我们任何有关产生观察结果的四肢、头部或身体动作的信息，也没有提供任何有关参与到运动中的各种肌肉的活动信息。要了解这类特征的信息，我们必须使用**执行过程测量（performance production measures）**。该类别中的测量指标*告诉我们大脑和身体是如何产生结果的*。它们告诉我们一个人在执行技能的前、中、后，神经系统是如何运作的、肌肉系统是如何操作的，以及四肢或关节是如何运动的。执行过程测量提供的信息与动作和神经运动过程这两个层次的分析相关。  尽管可能还存在其它类型的表现测量，但这两个类别就已经可以涵盖本书中所能找到的所有运动技能表现测量指标了。表2.1呈现了这两种测量类别的实例。在后面的讨论中，我们将讨论在运动学习与控制的研究文献中更常用的几种表现测量的例子。  **表现结果测量** 指示运动技能执行结果的一类运动技能表现测量指标（例如，一个人走多远，一段距离跑多快以及篮球运动员得多少分等）。  **执行过程测量**指示运动技能执行过程中神经、肌肉和骨骼系统如何工作的一类运动技能表现测量指标（例如，肢体运动学特征、力量、EEG、EMG等）。 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  |  | | --- | --- | --- | | 表2.1 两类运动技能表现测量指标 | | | | 类别 | **测量指标或测量设备示例** | **技能执行示例** | | 1. 表现结果测量 | 完成任务的时间，如：秒、分、时 | 跑一英里或打一个字的时间 | | 反应时（RT），如：秒、毫秒 | 发令员枪响到动作开始的时间 | | 执行标准动作的错误量，如：AE、CE和VE | 执行标准动作时肢体离目标位置的厘米数 | | 失误的次数或百分比 | 罚球没中的次数 | | 执行成功的次数 | 豆袋砸中目标的次数 | | 接触/偏离目标的时间 | 计算机追踪任务中光标接触目标的秒数 | | 保持/失去平衡的时间 | 保持金鸡独立的秒数 | | 距离 | 纵跳的高度 | | 完成该任务的试验或重复次数 | 所有响应均正确所尝试或重复的次数 | | 2. 执行过程测量 | 位移 | 将电脑屏幕上的光标移动到目标时手臂移动的距离 | | 速度 | 将电脑屏幕上的光标移动到目标时手臂移动的速度 | | 加速度 | 将电脑屏幕上的光标移动到目标时的加速/减速模式 | | 关节角 | 击球瞬间手臂每个关节的角度 | | 关节力矩 | 纵跳离地时膝关节的净力矩 | | 肌电（EMG） | 快速屈肘动作中肱二头肌启动的时间 | | 脑电（EEG） | 射箭过程中脑电波的模式 | | 正电子发射断层扫描（PET） | 在电脑键盘上打字时的大脑活动区域 | | 功能性核磁共振成像（fMRI） | 手指敲打节拍器时的大脑活动区域 | | |
| **反应时**  **反应时（reaction time，RT）**是一种常见的测量指标，指一个人准备和开始动作所需要的时间。如图2.1所示，反应时是动作指示信号（刺激）发出和动作*开始*之间的时间间隔。需要注 | 意的是，反应时只刺激（或“开始”）信号是行动的指示。在实验室或临床环境中，该信号可以采取多种多样的形式，如灯光、蜂鸣器、电击、屏幕上的字，或是话语或声音。 |

|  |  |
| --- | --- |
| 动作时（MT）  反应时（RT）  响应时  前期  时间  响应结束  响应启动  开始信号  预警信号  图2.1 与典型测量指标反应时（RT）和动作时（MT）相关的事件和时间段 | |
| 刺激信号本身可以与任何感觉系统——视觉、听觉或触觉相关联。受试者可以被要求做任何类型的动作，例如，从电报按键上抬起手指、按键盘按键、说一句话、踢一块板，或是走一步。最后，要想评估最佳反应时，应该在刺激信号前给出某种警告信号。  **使用反应时作为一种表现测量指标**  反应时长久以来一直是一种很受欢迎的人体运动技能表现测量指标。尽管反应时可以用作表现测量指标来评估一个人开始动作的速度，研究人员和从业人员也把它用作推断其它运动技能执行相关特征的基础。1最常见的应用是，在为运动技能的执行做准备时识别可能会用到的环境情境信息，这将成为第8章讨论的话题。例如，如果一种执行情境要比另一种执行情境产生更长的反应时，研究人员就可以确定导致不同反应时长的因素，并能够进一步得知它对运动准备时间长度产生的影响。在第8章中，你将会学习几种研究人员使用反应时来研究运动准备的方法，以及影响该准备工作的因素。  1. 关于反应时的历史和使用的回顾，请参阅Meyer、Osman、Irwin和Yantis（1988）的一篇文章，其中讨论了反应时用作“心理计时”的一个关键测量指标，该方法调查研究了人类行为背后基于时间的心理过程。 | 另一个反应时的用途是评估一个人对运动技能进行预判并决定何时开始的能力。在体育比赛中，篮球教练可能想知道,控球后卫需要多长时间才能根据防守的行为判断出自己应该传球而不是投篮。当以这种方式使用时，反应时提供的信息就与决策有关。因此，除了表明一个人对信号响应的速度外，反应时还提供了一个窗口，用于查看一个人在准备执行运动技能时是如何与执行环境交互的。  **应时与动作时和响应时之间的关系**  在任何一个必须以动作响应信号的情况下，可以评估两个额外的表现测量指标。你可以在图2.1中看到这两个测量指标，分别是动作时和响应时。**动作时（Movements time，MT）**开始于反应时结束，是指动作从开始到结束之间的时间间隔。  **反应时间（RT）** 信号（刺激）开始和响应启动之间的时间间隔（例如，游泳比赛的“开始”信号和可以观察到游泳运动员的第一个动作之间的时间）。  **动作时间（MT）**动作从开始到结束之间的时间间隔。 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| |  |  | | --- | --- | |  | **深度阅读** | | **在决策中使用反应时和动作时来评估技能表现的示例**   |  |  | | --- | --- | | **体育运动技能**  足球比赛中，前锋必须在中锋开球后尽快完成任务。如果前锋执行任务时一直很慢的话，问题可能在于他没有给予开球足够的注意力、他对自己的任务不明确，或者他在执行任务时动作太慢。前两个问题与RT（开球和前锋脚部动作开始之间的时间）有关；第三个与MT（脚部动作开始和任务完成之间的时间）有关。通过在实际情况下评估RT和MT，教练可以更好地了解前锋出现问题的原因，并着手帮助前锋予以改善。。 | **汽车驾驶技能**  假设你正在帮助一名模拟驾驶的学生减少他/她在街上突然出现一个物体时停车的时间。将RT和MT分开会让你知道停车慢是决策问题还是动作速度问题。如果RT（物体出现到人的脚从油门松开之间的时间）在各种情况下都增加了，但是MT（脚从油门松开到接触刹车踏板之间的时间）是恒定的，那么你就知道问题主要与注意力或决策有关。但是如果RT保持相对恒定，而MT在不同的情况下变化，你就知道问题是与动作相关的。无论哪种情况，通过测量RT和MT，你都可以更具体地帮助他/她提高自己的表现。 | | | | |
| **响应时（Response time）**是包括反应时和动作时的总时间间隔。  反应时和动作时的一个重要特征是它们是相对*独立的*测量指标。也就是说，反应时不能预测动作时，反之亦然。作为表现测量指标，反应时和动作时之间的独立性表明，即便一个人在某个执行情境中的反应时最快，动作时也不一定是最快的。因此，反应时和动作时测量的是人类表现的不同方面。在第3章中，你将对这两个表现测量指标的独立性有更多的了解。  **反应时的类型**  图2.2描述了三种最常见的反应时类型。为了便于说明，该图以灯光作为刺激信号，并将从电脑键盘上抬起手指作为要求的动作。但是，这里讨论的三种反应时类型并不需要局限于以上特征。  在只包含一个信号并且只需要单一动作响应的情况下所发生的反应时类型称为**简单反应** | **时（simple RT）**。在图2.2所示的例子中，当灯亮起时，人必须从键盘上抬起手指。另一种反应时类型是**选择反应时（choice RT）**，其中人必须响应的信号不止一个，并且每一个信号都有一个特定的响应方式。在图2.2所示的例子中，当红灯亮起时，从键盘上抬起食指；当蓝灯亮起时，从另一个键上抬起中指；当绿灯亮起时，从第三个键上抬起无名指。第三种反应时类型是**辨别反应时（discrimination RT）**，其中也包含不止一个信号，但是只有一个响应。在图2.2的例子中，只有当红灯亮起时，才需要将手指从电报键上抬起，如果是蓝灯或绿灯亮起，不需要做任何响应。  虽然这些简单反应时、选择反应时和辨别反应时的例子都是在实验室条件下，但这些不同类型的反应时也存在于日常生活和体育运动中。例如，跑道上的短跑运动员在比赛开始时就属于*简单反应时情境*，他/她首先听到发令员的口头预警信号，然后听到作为起跑信号的枪声。 |

|  |  |
| --- | --- |
| **辨别反应时**  红 蓝 绿  **选择反应时**  红 蓝 绿  **简单反应时**  红  信号灯  食指  食指 中指 无名指  食指  响应键  **图2.2** 三种类型的反应时（RT）测试场景：简单反应时、选择反应时和辨别反应时 | |
| *选择反应时情境*在日常生活中更为常见，例如当你驾车来到一个十字路口时，交通信号灯有三种可能的信号，每一种信号都需要不同的动作响应。如果是红灯，你必须踩刹车并完全停下来；如果是黄灯，你需要准备停车；如果是绿灯，你可以继续踩油门通过十字路口。垒球击球手每次面对投过来的球都是在经历*辨别反应时情境*，必须辨别哪些球能落入好球区内并只对这些球挥棒。当球错过好球区的时候，他们必须抑制自己的挥棒倾向。在这个例子中，投球代表需要被辨别的刺激，挥棒代表响应动作。  **反应时的组成**  通过使用本章后面即将讨论的肌电图（EMG）来测量某种反应时情境下肌肉活动的开始，研究人员可以将反应时分成两部分。肌电图会将刺激信号出现后肌肉活动增强的时刻显示出来。但是，从刺激信号发生到肌肉活动开始之间还有一段时间。这个“安静”的时间间隔是反应时的第一部分，称为*前运动时间（premotor time）*。第二部分是从肌肉活动增加 | 到可以观察到实际肢体动作开始的一段时间，称为*运动时间（motor time）*。你可以在图2.3中看到反应时是如何分成两部分的。此外，在本章末尾的图2.10中，你可以看到根据肌电图将反应时分段的实例。图中展示了三个肌群的肌电图以及对应的反应时分段。尽管图中没有对肌电图进行说明，但很明显，前运动时间是肌肉活动开始前的时间间隔；运动时间是除前运动时间外，记录肌肉活动的剩余时间间隔。  **响应时** 包括反应时和动作时的时间间隔，即，从信号(刺激)开始到响应完成的时间。  **简单反应时** 只涉及一个信号（刺激），并且需要一种响应的反应时。  **选择反应时** 涉及一个以上的信号，并且每个信号都需要特定响应的反应时。  **辨别反应时** 涉及一个以上的信号，但只有其中一个信号需要响应，其他信号都不需要响应。 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 反应时  前运动部分  运动部分  EMG  观察到动作开始  刺激开始  时间 | | **图2.3** 反应时分段示意图，表明肌电信号活动与反应时的前运动部分和运动部分之间的关系。 |
| 在线学习中心实验手册第2章中的实验2为你提供了一个测量和比较RT和MT的机会。  **实验链接**  正如你将在第8章中看到的，通过将反应时分成两部分，对运动准备过程感兴趣的研究人员能够获得更多相关的信息。大多数研究人员都认为，前运动时间测量的是信息从环境经由神经系统到肌肉本身的接收和传递的时间。这个时间间隔通常被认为是一个人在运动准备时所进行的*感知和认知决策活动（perceptual and cognitive decision-making activity）*的标志。运动时间间隔则表明在可观察到的肢体动作发生之前是有肌肉活动的。研究人员普遍认为，该活动表明肌肉在接收到收缩命令之后出现的时间延迟是由于克服肢体惯性而产生的。 | **误差测量指标**  一个人在执行技能时的失误量在人类表现研究、日常活动和体育运动中占据重要的地位。*准确性*可以包括空间准确性或时间准确性，或二者兼而有之。*空间准确性*涉及包含空间维度（如距离）的情境，*时间准确性*则与包含时间维度的情境相关。对于两种类型的准确性兼而有之的情境，误差测量指标允许我们评估以准确性为运动目标的技能的表现，如伸手拿杯子、向靶子掷飞镖、沿规定的路径行走，以及在街道上驾驶汽车等，这些技能在执行中都需要空间和/或时间上的准确性。为了评估这类技能的执行结果，执行者产生的与目标之间的误差量便成为一个重要且有意义的表现测量指标。  误差测量指标不仅可以反映执行准确性，某些类型的误差测量指标还可以告诉我们执行出问题的可能原因，尤其是在评估多次重复性操作的时候。对于一系列重复性操作（在运动技能指导或康复训练中很常见）， | |

|  |  |
| --- | --- |
| 教练或治疗师可以确定观察到的动作不准确性是由什么问题造成的，是与*一致性*有关，还是与*偏差*有关。这些重要的测量为相关从业人员选择恰当的干预措施，帮助患者克服不准确性问题提供了依据。*一致性问题*表明，一个人尚未获得执行技能所需的基本动作模式，而*偏差性问题*则表明，这个人已经掌握了动作模式，但难以适应执行情境下的特定要求。我们将在下一节讨论这些特征的测量，以及一些运动技能表现的实例。  **一维动作目标的误差评估**  当一个人必须在一个维度上定量移动肢体时，比如当患者试图伸展膝关节到某一特定角度时，所产生的空间误差为与目标位置相差的距离。同样地，如果棒球投手试图以某一特定速度投球，那么所产生的时间误差为与目标速度的差值。在这些情境中，测量误差量只需要计算出实际表现成绩（例如，15厘米，5度，20秒）与目标成绩之间的差值即可。如果病人的目标是伸展膝盖到150度，而实际上她只伸展到了130度，那么她的动作就差20度（130 - 150 = -20），而如果她能伸展到170度，那么她的动作就是超出20度（170 - 150 = +20）。  在重复性操作中，我们至少可以计算三种*误差测量指标*来评估运动技能表现的准确性特征，并推断出引起准确性问题的可能原因。我们通过计算**绝对误差（absolute error，AE）**来获得衡量目标实现程度的综合指标。绝对误差是*每次重复执行的实际表现成绩与目标之间的绝对差值*。对于重复性操作的多次执行，将这些差值相加并除以重复次数，就可以得到该重复执行的平均绝对误差。绝对误差为一个人在一次或多次重复执行中*所犯错误的大小*提供了有用信息。 | 绝对误差值给出的是这个人在一个执行阶段*准确性的综合指标*。但是，仅仅根据绝对误差来评估表现的话，就会隐藏有关不准确表现来源的重要信息。为了获取这些信息，我们需要引入另外两种误差测量指标。  一个人的表现可能不准确的原因之一是他/她有一种超过目标或未达目标的倾向，这被称为*表现偏差*。为了获取这些信息，我们必须计算**恒定误差（constant error, CE）**，即表现成绩与目标有符号（+/-）的偏差。当为一系列重复性操作计算误差时，恒定误差为*一个人在执行技能时产生方向性偏差的倾向性*提供了一个有意义的指标。除了在每次成绩前加代数符号外，恒定误差的计算方法与绝对误差相同。需要注意的是，虽然我们可以为一次重复性操作计算绝对误差和恒定误差，但是通常情况下我们会对一组操作的绝对误差和恒定误差进行平均。  在一系列重复性操作中，导致表现不准确的另外一个原因是*表现一致性*（或反过来说，可变性），可以通过计算**可变误差（variable error，VE）**来衡量。可变误差就类似于*这个人一系列重复性操作的恒定误差值的标准差*。标准差会告诉你每一次重复性操作的得分平均离恒定误差有多远。  **绝对误差（AE）** 距离目标或标准的无符号偏差，代表误差量，是一种不考虑偏差方向的误差大小的量度。  **恒定误差（CE）**距离目标或标准的有符号（＋/－）偏差，代表误差大小和方向，是表现偏差的量度。  **可变误差（VE）**代表表现的可变性（或者反过来说，持续性）的误差值。 |

|  |  |
| --- | --- |
| **二维动作目标的误差评估**  当一项技能的执行结果在垂直和水平方向上都要求准确性时，误差评估人员就必须对一维评估方法进行修改了。二维情境中的一般准确性测量指标被称为*径向误差（radial error，RE）*，与一维情境中的绝对误差相似。要计算一次重复性操作的径向误差，就要计算由X轴（目标中心在水平方向上的延长线）和Y轴（执行结果位置中心在垂直方向上的延长线）相交构成的直角三角形的斜边长度。该计算包括以下步骤：   * 测量水平方向（即X轴）上的误差长度；计算该值的平方。 * 测量垂直方向（即Y轴）上的误差长度；计算该值的平方。 * 将X轴和Y轴上的误差平方值相加；取总和的平方根。   径向误差的求解实例见图2.4。要确定一系列重复性操作的平均径向误差，就计算所有这些操作的径向误差的平均值即可。  和一维情境相比，在二维情境下的表现偏差和一致性更难评估，因为代数符号+和-对于二维情境几乎是没有意义的。Hancock，Butler和Fischman（1995）详细描述了在二维情境下偏差和一致性的计算方法。我们这里将只介绍计算的大体方法，而不过多地讨论计算细节，毕竟这些细节通常只在运动学习与控制的研究中才使用。对于一系列重复性操作，研究人员或从业人员可以通过观察执行结果的实际位置分布情况来获得对*偏差和一致性的定性评估*。例如，如果两个高尔夫球手在练习草坪上从同一个位置各推6个球入洞，结果如图2.5所示，对每一个高尔夫球手的推杆分布情况进行快速评估发现，这些高尔夫球手要想提高他们的推杆表现，都有特定但不同的问题需要克服。虽然两位高尔夫球手都推进了一个球，但高尔夫 | 5厘米 y  h  x  **图2.4 测量径向误差（RE）以评估表现准确性的示例。**该执行情境涉及一个人向圆形靶投掷飞镖。投掷的目标是击中靶心（用“+”表示），“O”表示实际击中的位置，RE是由X轴和Y轴构成的直角三角形的斜边（h）。下面的例子中展示了在给定该位置在X轴和Y轴上的距离情况下如何计算该投掷的径向误差。  X轴距离=10 cm 🡪 102 = 100  Y轴距离=5 cm 🡪 52 = 25  Sum = 125  RE==11.2 cm |
| 球手A的另外五个球都分散在球洞周围，这表明其存在运动*一致性问题*而高尔夫球手B的另外五个球都在球洞右边，这表明其存在运动*偏差问题*。对于一维情境来说，评估这些特征的实际益处是，针对偏差和一致性情况可以分别采用不同的表现提高策略。  **连续运动技能的误差评估**  前两节中介绍的误差测量指标都是建立在分立运动技能的准确性目标上的。然而，一些连续运动技能也对准确性有一定要求。例如，当一个人必须沿着指定的路径行走时，表现评估可以包括这个人行走的路线与指定路径的符合程度。或者，如果一个人在 |

|  |  |
| --- | --- |
| **高尔夫球手B**  **高尔夫球手A**  **图2.5 二维表现结果误差定性评估高尔夫球推杆的示例。**高尔夫球员A和B在球场轻击区向一个球洞推六个球。高尔夫球手A的这六次推杆显示出高度的表现可变性，而高尔夫球手B则显示出向球洞右侧推杆的强烈表现偏差(即趋势)。 | 汽车模拟器里必须沿着投影在屏幕上的道路驾驶汽车，那么就可以基于汽车在指定路线上的行驶状况对其进行表现测量。这类运动技能的误差测量指标一定与分立运动技能表现评估中所使用的不同。  连续运动技能的一个常用误差值是**均方根误差（root-mean-squared error， RMSE）**，可以看作是连续性任务的绝对误差。为了理解这个误差测量指标是如何计算和使用的，我们考虑下面这个来自*追踪*这项连续运动技能的执行实例。在这项技能的执行过程中，受试者需要移动操纵杆、方向盘或控制杆，使物体（如光标）沿着指定的路径移动。指定的路径可以用位移曲线来进行运动学描述，同时，位移曲线还可以用来表示受试者的追踪表现，如图2.6所示。如果我们想了解受试者追踪指定路径的准确程度，就需要计算均方根误差值。  **均方根误差（RMSE）**一种用于连续运动技能的误差测量指标，表示在特定的表现采样时间内所产生的表现曲线和标准表现曲线之间的误差量。 |
| **误差**  **振幅**  **响应**  **时间**  **周期**  **刺激**  **图2.6** 受试者在每个指定时间间隔内响应和刺激之间的差异用于计算一个均方根误差（RMSE）值。来源：Franks, I. M. et al.(1982). The generation of movement patterns during the acquisition of a pursuit tracking task. *Human Movement Science, 1,* 251–272.  **时间**  **周期** | |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **深度阅读**  **计算平均AE，平均CE和VE**  **其中，**  **步幅序号**  **总数**  **平均**  ***x* = 第*i*次的分数**  ***T =* 目标分数**  ***k =* 重复次数**   |  |  | | --- | --- | | **计算并使用误差值来评估步态的准确性、偏差和一致性** | | | 假设你是乔和萨姆的物理治疗师，你需要帮助他们在走路时一直保持50厘米的步幅。为了确定两个人需要的干预方法，你让他们每个人在跑道上走六步。下图显示了他们每一步的表现结果。每一步50厘米的距离目标在整个跑道上被标记为垂直线；数字则表示每一步脚的实际位置，通过他们与目标相距的方向（“+”即太远，“-”即太近）和距离（单位厘米）来表示。 | 请注意，乔和萨姆具有*相同的*AE，但是   * 乔的CE是负的且较高，但VE很低，这意味着他这6步的步长往往都比他的目标步长短。 * 萨姆的CE是正的且较低，但VE很高，这意味着他这6步的步长与目标步长相比有高有低。   ***讨论问题：***基于CE和VE的不同，对物理治疗师来说，是乔的康复问题更困难，还是萨姆的更困难呢？为什么？ | |  | | |  |  | | |
| 均方根误差可以通过确定受试者追踪表现的位移曲线与指定路径的位移曲线之间的误差量来计算（见图2.6）。均方根误差的实际计算过程相当复杂，需要使用计算机程序，该程序能够在预定义的时间点对受试者相对于指定路径的移动进行采样和记录，例如每秒100次（100赫兹，注意1赫兹=1次/秒），计算指定路径的位置与受试者移动的位置之间的差值。这意味着 | 对于100赫兹的例子，每秒有100个误差值。如果指定重复性操作的时间为5秒钟，那么就有500个误差值。计算机再对整个路径误差值进行平均就能得到一个值，即均方根误差。 |

|  |  |
| --- | --- |
| **运动学测量指标**  运动学测量指标历来与生物力学相关，目前已经成为运动学习与控制研究中运动表现的重要描述指标。**运动学（kinematics）**一词是指在不考虑力或质量的情况下对运动的描述。对运动学特征最常用的三个描述子涉及物体空间位置的变化、速度以及速度的变化，分别用*位移*、*速度*和*加速度*来表示。  运动学测量指标属于执行过程测量，以运动技能执行时对特定身体节段动作轨迹的记录为基础，该记录过程通常称为*运动捕捉*。在运动捕捉中，首先使用胶带、记号笔、特殊的反光球或发光二极管（light-emitting diodes，LEDs）等物品在准备测量的身体关节部位做出标记，然后研究人员使用录像机或特殊的照相机记录这个人的技能执行过程，再用专门的计算机软件对这些记录进行分析。这种方法已经被广泛应用于商业动作分析系统中。其它工具，像直接测量关节角度的测角仪和直接测量全身或部分身体加速度的加速度计，也可以用来进行运动学测量。  另一种获得运动学测量的方法是记录这个人移动物体的轨迹，前面图2.6所描述的追踪任务就是这种情况。在这里，计算机采样（即以指定的速率每秒检测）并记录追踪装置的移动轨迹。在这个例子中，桌面上的水平控制杆是追踪装置，安装在控制杆轴上的电位计提供移动相关的信息，由计算机进行采样。类似地，还可以对操纵杆、鼠标或滚球的移动进行采样。  **位移**  我们要讨论的第一个运动学测量指标是**位移（displacement）**，即*动作中肢体或关节在空间位置的变化*。位移描述了人在执行动作时空间位置的变化。在计算位移时，我们通常使 | 这项研究中的受试者在各个关节、身体和头部都有反光标记点，用于运动学动作分析。  理查德·马奇尔博士 |
| 用动作分析系统确定某一时刻移动装置或标记关节在空间中的位置（二维分析中使用X-Y坐标；三维分析中使用X-Y-Z坐标）。然后分析系统确定下一采样时刻关节的位置。分析系统以特定的速率对这些空间位置进行采样，采样率因分析系统不同而异。  **运动学** 不考虑力或质量的运动描述，它包括位移、速度和加速度。  **位移** 述肢体或关节在运动过程中空间位置变化的运动学测量指标。 |

|  |  |
| --- | --- |
| 例如，一般录像带采样率是60赫兹，这意味空间位置每秒被检测和记录60次。如果分析系统允许，采样率还可以更大。这样把移动装置或肢体在每个采样时刻的空间位置绘制出来，就形成一条位移曲线。图2.7中描绘了腕关节在整个飞镖投掷过程中不同时刻的位移。  **速度**  第二个运动学测量指标是**速度（velocity）**，即位移对时间的导数。*速度*是*指物体位置相对于时间的变化率*，即位置变化的快慢和方向（通常用正负号来指明方向）。动作分析系统通过将位移除以时间得出速度。也就是说，将空间位置的变化（时刻1和时刻2之间的距离差）除以时间的变化（时刻1和时刻2之间的时间长度）。速度总是以位置-时间曲线的形式展现在图表中（参见图2.7，其中速度曲线与位移曲线描绘的是同一动作）。通常我们用单位时间内的位移量来表示速度。图2.7投掷飞镖的例子中，就是用每秒移动的度数来表示手腕速度。零速度表示手腕的位置在采样时间段内没有发生变化；正值表示手腕朝一个方向移动；负值表示其朝相反的方向移动。  **加速度**  第三个运动学测量指标是**加速度（acceleration）**，描述了动作中速度的变化。我们通常用速度的变化量除以变化过程所持续的时间得到加速度。如图2.7所示，在位移图和速度图的基础上，我们也绘制了加速度图，将加速度曲线描绘为时间的函数。加速度曲线描绘了手臂移动时手腕动作的加速和减速情况。正负号表示加速度产生的两个相反的方向，即加速与减速。加速度越大说明速度变化得越快。 | **线性运动和角运动**  在对动作的运动学描述中，位移、速度和加速度既可以用来形容线性运动，也可以形容角运动。理解这两种运动类型之间的区别具有重要意义，并且该区别在动作分析中也非常关键。*线性运动*是指直线上的运动，涉及整个身体或物体在相同的时间内移动相同的距离。*角运动*，有时也称为*旋转运动*，是指围绕旋转轴发生的运动，涉及特定的身体节段绕关节转动，其中关节就是身体节段运动的旋转轴。例如，如果你想对走路进行运动学描述，这种从一个位置移动到另一个位置的动作使用线性运动描述比较合适，因为整个身体都是线性移动的。但是，如果你想描述走路过程中脚的动作特征，角运动描述则更为合适，因为在走路过程中，脚是绕踝关节旋转的。  研究人员描述角运动的一种常见方法是，测量动作中肢体段绕关节旋转的运动。图2.8呈现了两个实例，上半部分是一位熟练跑者的角-角图。根据Enoka（2008）的研究，由于我们是通过身体节段相互之间的旋转而产生移动的，*角-角图*对动作中两关节之间关系的描述，为我们提供了一种可以深入了解动作的查看方式。角-角图通常绘制的是两个相邻身体节段之间的夹角（即关节角）对应其中一个身体节段的角度。  图2.8在一个跑步步幅周期中的四个相位（即脚离地、脚触地、对侧脚离地和对侧脚触底）对膝关节和大腿的角位移进行了对比。需要注意的是，这个角-角图中所形成的心形图是步态中经典的膝关节-大腿 |

|  |  |
| --- | --- |
|  | **图2.7** 投掷飞镖过程中腕关节位移、速度和加速度的记录。在每个图中，X轴是飞镖投掷手臂的总运动时间的百分比，垂直线表示释放飞镖的瞬间，大约发生在手臂总运动时间的51%处。*来源：*数据来自以下文献的实验中一个受试者，Jeansonne, J. J. (2003). *The effect of environmental context on performance outcomes and movement coordination changes during learning of complex motor skill*. Ph.D. dissertation, Louisiana State University. |

腕关节位移

释放飞镖

释放飞镖

释放飞镖

腕关节速度

腕关节加速度

角度（度）

角速度（度/秒）

角加速度（度/秒/秒）

%手臂运动时间

%手臂运动时间

%手臂运动时间

|  |  |
| --- | --- |
| **熟练跑者**  **伸**  **屈**  **膝关节**  **（弧度）**  **大腿**  **（弧度）**  **向后旋转**  **向前旋转**  **试验编号 612**  **速度 4.2 m/s**  **三名膝关节以下截肢者**  **膝关节**  **（弧度）**  **大腿（弧度）**  **图2.8**熟练跑者(上图)和三名膝关节以下截肢者(下图)在跑步过程中膝关节-大腿关系的角-角图。缩写表示同（左）侧脚触地（IFS）、同侧脚离地（ITO）、对（右）侧脚触地（CFS）和对侧脚离地（CTO），它们是跑步步幅的四个组成部分。*资料来源：*Enoka, R. M., et al. (1978). Below knee amputee running gait. *American Journal of Physical Medicine and Rehabilitation*, 61, 70–78. | |
| 关系图。图的下半部分是类似的角-角图，只不过数据来自三个膝关节以下截肢并戴假肢的人。这里值得注意的是，截肢者在支撑开始阶段不会像熟练跑者那样弯曲膝关节。这些例子表明，运动学测量指标的一个重大 | 好处是能够使我们描述一项技能在动作执行过程中的关键组成部分的特征。 |

|  |  |
| --- | --- |
| **转矩（Nm）**  **时间（ms）**  **3号受试者试验1 膝关节**  **3号受试者试验5 膝关节**  **3号受试者试验45 膝关节**  **3号受试者试验80 膝关节**  **3号受试者试验180 膝关节**  **图2.9** 桑德斯和艾伦的一项实验结果，显示了受试者从平台上跳下，并立即开始最大高度的纵跳后与地面接触期间的膝关节转矩。图中的每一条线都代表了左上角图例中所标注的试验。*资料来源：*Sanders, R. H., & Allen, J. B. (1993). *Human Movement Science*, 12, 299–326. | |
| **动力学**  **动力学（kinetics）**一词是指运动研究中对力的讨论。*运动学*在描述运动时不考虑运动产生的原因，而*动力学则认为力是运动产生的原因*。换言之，正如Susan Hall（2015）在其生物力学教科书中所述，“力可以被认为是作用在身体上的推力或拉力”（第61页）。人体动作的力量来源包括外力和内力两种。例如，重力和空气阻力属于影响跑步和走路的外力，水阻力属于影响游泳动作的外力，肌肉通过推拉身体关节产生的是人体动作的内力。  *牛顿三大运动定律*都提到了力的作用，从这里可以看出力在我们理解人体动作中起着非常重要的作用。牛顿第一定律指出，力是产生、改变或停止运动的原因； | 第二定律表明，力会影响物体动量的变化率；第三定律则认为，在两个相互作用的物体之间，力表现为作用力与反作用力。  人体动作与力相关的一个重要特征是，人体运动包含身体节段绕其关节轴的旋转运动。力对该旋转运动的作用称为*关节转矩*，或旋转力（图形化关节转矩的示例参见图2.9）。  **速度** 描述物体位置相对于时间的变化率的运动学指标，计算方式为位移除以时间（例如，米/秒，千米/小时）。  **加速度** 描述运动过程中速度变化的运动学指标，计算方式为速度的变化除以时间的变化。  **动力学** 对作为运动产生原因的力进行的研究。 |

|  |  |
| --- | --- |
| 由于力的种类繁多及其对人体动作的影响，运动技能学习与控制的研究人员逐渐将力的测量融入到自己的研究中。  研究人员可以使用测力台、测力传感器和应力计等设备直接测量某些力。测力台可以用来测量物体（如一个人）与地面之间相互作用时产生的地面反作用力。测力台在运动和康复实验室以及临床实践中是一种常用的测力设备。测力传感器和应力计则被用来测量肌肉力量。它们在实验室和临床环境中很受欢迎，用于确定受试者在执行肢体动作任务时产生的肌力大小。  牛顿第二运动定律允许我们通过力与速度或加速度以及物体质量之间的关系来间接测量力：*力=质量×加速度*。因此，如果可以通过对动作的运动学分析得到加速度，我们就可以不必使用机械和电子力学测量设备来计算力了。  体育科学家对作用于身体或物体（由身体驱动在空中或水中移动）上的力越来越感兴趣。这些力可以用流体动力学中的方法进行计算，流动动力学是一门研究流体如何流动的流体力学分支。当高尔夫球在空中飞行，手或桨在水中移动时，了解作用在其上的升力和阻力，可以为设计新设备以及新动作技能提供依据，从而提高人类的运动表现。例如，继Robert Schleihauf（1979）在游泳推进力的流体动力学方面进行了开创性研究工作之后，Marinho和他的同事们（2010）发现，在每次游泳动作的划水阶段，稍微张开手指可以显著提高推进力，van Houwelingen和他的同事证实了该发现。由此可见，运动技能中的一点微小的修改就可以对运动表现产生惊人的效果。 | **肌电图**  动作包含肌肉的电活动，可以用**肌电图（Electromyography，EMG）**来测量。研究人员通常将表面电极贴到肌肉上方的皮肤上，或将电极丝插入到特定肌肉中来完成测量。这些电极检测到肌肉的电活动，然后由计算机或多导生理记录仪记录下来。图2.10展示了一些肌电图，记录了腿部同侧股二头肌（BFi）和对侧股二头肌（BFc），以及肩带三角肌前束（AD）在执行任务中的电活动。该任务要求受试者在收到信号后，将自己的手臂从反应时键移动到肩部的正前方。这些肌肉的肌电信号显示了肌肉电活动开始的时间，我们可以通过每一块肌肉在记录中频率和高度的增加将其识别出来。离开反应时键这一动作的实际开始时间，在图中由反应时记录（图2.10中第5条线）末尾的垂直线表示。  研究人员使用EMG信息的方式多种多样，其中一个和运动学习与控制问题最相关的方式是，利用EMG记录来确定肌肉激活开始和结束的时间。当EMG记录的频率和高度与肌肉不活动时相比增加时，肌肉激活开始。当EMG记录包括参与同一动作的几块肌肉时，研究人员可以通过观察肌肉激活顺序的模式来深入了解动作协调的过程。例如，在图2.10中，移动手臂的信号发出后，第一块显示激活的肌肉是同侧股二头肌（BFi），它是与移动手臂位于身体同侧的腿部肌肉；接下来是三角肌前束（AD），它移动手臂完成实验要求的动作。该激活顺序告诉研究人员，实验中进行的简单手臂动作涉及的不仅仅是手臂肌肉的活动。研究人员将该肌肉活动顺序解释为，这表明身体首先激活负责稳定身体姿态的腿部肌肉来为这种手臂动作做准备。 |

|  |  |
| --- | --- |
| **警告**  **刺激**  **工作肌肉**  **顺序**  **三角肌前束（AD）**  **支撑肌肉**  **同侧股二头肌（BFi）**  **对侧股二头肌（BFc）**  **释放键**  **反应时（RT）**  **刺激开始**  **图2.10使用肌电图（EMG）来测量运动反应。**左图显示了反应时测试装置以及测量肌肉群EMG的每个电极的位置，右图显示了三个肌肉群的EMG记录以及对应响应的反应时。*资料来源：Lee, Wynne. (1980). Journal of Motor Behavior, 12, 187.* | |
| **全肌肉机械描记术**  全肌肉机械描记术是一种比较新的、无创的测定肌肉活动的技术。它通过一根传导电流的针检测并测量肌腹在最大经皮神经肌肉刺激（Percutaneous Neuromuscular Stimulation，PNS）后的侧向位移。通常使用激光传感器测量肌腹的位移。受刺激肌腹的升降与肌肉肌腱纵向张力的产生相关，但在时间上存在一定的滞后。与EMG相比，wMMG的一个优势是，越来越多的证据表明它有潜力估计单个肌肉中的肌纤维组成（Djordjevic, Valencic, Knez, & Erzen, 2001; Gorelick & Brown, 2007，Than，Seidl， & Brown， 2019）。 | **近红外光谱**  近红外光谱（Near infrared spectroscopy，NIRS）是另一种无创测量肌肉活动的方法。它本质上是测定肌肉的氧合水平。波长在600-1000纳米之间的光可以穿透皮肤、骨骼、脂肪和结缔组织，在这些地方被吸收或散射，从而可以测定血容量的变化，以及氧合血红蛋白、脱氧血红蛋白和氧合细胞色素氧化酶浓度的变  **肌电图** 一种记录肌肉或肌肉群电活动的测量技术。 |

|  |  |
| --- | --- |
| 化。这种方法通常使用至少两种不同波长的光探针，最常用的是760纳米和800纳米。波长较长的被氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白等比例吸收，而波长较短的则主要被脱氧血红蛋白吸收。这样两个光探针之间的吸收差异就可以被用作骨骼肌耗氧量的指标。  由于NIRS所使用的光波长度可以穿透颅骨，因此该技术也被用于评估大脑活动。研究大脑的科学家对这项技术特别感兴趣，因为它既便宜又便携，与本章下一小节即将介绍的更为成熟的大脑活动测量方法相比，它具有巨大的潜在优势。然而，NIRS有一些缺点，使得许多人质疑它作为一项测量大脑活动技术的最终价值。例如，在光被散射之前，光探针无法非常深入到大脑中，并且对于不同类型的组织，给定光波长度的通路长度也不是很清楚。因此，NIRS仅限于提供大脑最外层，即皮质层的相关信息。此外，它的空间分辨率也非常有限。但NIRS仍然具有便携的优势，这一优势对于运动科学家来说尤为重要，因为它可以在受试者移动时测量其大脑活动。然而，随着研究人员开发出了新方法，可以从更为传统的脑活动测量方法（如EEG）所采集的信号中去除移动相关的干扰，这种优势可能也就消失了（Kline, Huang, Snyder, & Ferris, 2015；Nordon, Hairston, & Ferris，2018）。  **大脑活动测量指标**  随着越来越多研究大脑活动技术的出现，越来越多运动学习与控制的研究人员去研究大脑活动与运动技能表现之间的关系。这些研究人员不依赖于行为测量指标去推断大脑活动， | 而是使用各种技术来测量大脑本身的活动。这些技术中的大部分都来自医院和临床环境，它们在那里主要用于诊断。对于从神经运动过程这个层次研究运动学习与控制的研究人员来说，这些技术提供了一个观察人在执行运动技能时大脑活动的窗口。下面我们将简要讨论一些运动学习与控制的研究人员主要使用的大脑活动测量技术，你也将在本书的其他章节中看到这些技术。  **脑电图**  像骨骼肌和心肌一样，大脑也会产生电活动，可以通过**脑电图（Electroencephalography，EEG）**来测量。神经科医生通常使用EEG评估大脑疾病。研究人员也使用同样无创无痛的程序，与记录骨骼肌的表面EMG相似。测量EEG需要在人的头皮上放置几个电极。通常情况下，电极被放在头皮上的标准位置，以测量电极下方数千或数百万神经元活动产生的电压波动。电极的数量可以根据研究人员的需求或设备的限制而不同。电极可以单独放置在头皮上，也可以放在有弹性的帽子或软帽中适当的位置上，后者在科研环境中更为常见。  EEG电极对检测到的电活动通过导线传输到放大器和记录设备。由于大脑活动是有节律的，因此EEG记录也有特定的节律，通常被称为*波*。根据节律性活动的速度可以识别出四个波（如图2.11所示）。节律最快的是*β波*，当大脑皮层的某个区域处于活动状态时产生；其次是在安静清醒状态下产生的*α波*；*θ波*是倒数第二慢，会在某些睡眠状态产生；最慢的是*δ波*，是深度睡眠的特征。总的来说，脑力活动会产生快速的β波，而无梦的睡眠和昏迷则产生慢速的θ波。 |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **a.** |  | |
| **b.** | α波  β波  θ波  δ波 | 运动员在运动技能执行之前或期间的精神状态，涉及的运动项目如步枪射击（如Deeny，Hillman，Janelle和Hatfield，2003），手枪射击（Loze，Collins和Holmes，2001），飞镖投掷（Radlo，Sternberg，Singer，Barba和Melnikov，2002），高尔夫球（Crews＆Landers，1993）和射箭（Landers等，1991）。尽管EEG在运动技能学习研究中的使用频率很少（Etnier，Whitwer，Landers， Petruzello， & Salazar，1996； Grand et al.，2015； Landers et al.， 1994），但值得注意的是，研究人员对基于EEG的神经反馈训练是否可以用来促进体育专长的形成展现出了极大的兴趣（如Ring， Cooke，Kavus-sanu，McIntyre, & Masters，2015；Xiang，Hou，Liao，Liao，& Hu，2018）。  **脑电图（EEG）：**通过放置在人头皮上的几个表面电极检测大脑皮层表面特定区域的电活动来记录大脑活动。大脑活动被记录为*波*，根据节律性活动的速度来识别。 |
| **图2.11** （a）头部附有电极的病人。（b）四种脑电图描记。（a）芬妮/科学来源  (a) phanie/科学资源 | |
| 在运动技能表现的研究中，研究人员已经使用EEG研究了几个问题（有关本研究文献的综述，参见Hatfield和Hillman，2001；Hatfield，Haufler，Hung，& Spalding, 2004；Holmes & Wright， 2017）。最热门的研究问题是描述熟练运动员的大脑皮层兴奋性特征，包括搞清楚 | |

|  |  |
| --- | --- |
| **正电子发射断层扫描**  作为评估大脑活动的技术，EEG的一个局限性是它仅能检测到大脑皮层表面的活动，而无法弄清楚特定区域活跃的大脑解剖学结构。*神经成像技术*的发展克服了这一局限，并为研究人员能够更好地理解可观察到的运动技能表现与大脑活动之间的关系提供了令人兴奋的机会。神经成像技术是一种能为特定大脑区域的活动提供清晰、准确图像的技术。**正电子发射断层扫描（Positron emission topography，PET）**是首个神经成像技术，诞生于20世纪70年代，可以显示大脑中的血流或代谢活动，并为观察大脑的所有区域提供了一个窗口。该技术需要向血液中注射或吸入放射性溶液，在该溶液中原子发射带正电的电子（即正电子）。正电子和血液中的电子相互作用产生电子辐射的光子。这些发射正电子的原子所在的位置可以通过扫描仪找到，在扫描仪中，探测器可以探测到光子在大脑中的位置（更多详细资料，参见Bear，Connors & Paradiso，2001）。然后计算机程序分析大脑神经元中光子的活动水平。增加的活动会使相应的大脑区域被“点亮”，计算机程序就可以捕捉并绘制这些活动的大脑区域的图像。当这些被“点亮”的大脑区域根据色谱图进行颜色增强显示时，研究人员就可以确定每个区域的活动量。  运动学习与控制的研究人员在使用PET成像对受试者的运动技能表现进行测试时，该技能需要是能在PET扫描仪中执行的。同时，PET扫描仪虽然仅包围头部，但却要求受试者在整个扫描过程中保持仰卧位。当受试者具体执行该技能时，PET扫描会检测到活动的大脑区域。尽管对认知和运动活动的神经基质感兴趣的研究人员仍然广泛使用PET这种神经成像技术，但近年来，PET在这种类型研究中的使用已经减少了。主要原因是改进技术的开发，该技术可 | 以提供更高的图像分辨率，性价比更高，并且不需要向血液中注射放射性同位素。然而，PET仪器的不断技术创新表明，它会继续对研究人员和临床医生具有重要的意义（Berg & Cherry,，2018）  **功能性核磁共振成像**  核磁共振成像（magnetic resonance imaging，MRI）是一项在许多医院和诊所常见的诊断技术。MRI机器或扫描仪含有一个磁场，该磁场会重新排列人体的氢原子，这是为人体组织创建超清晰的二维和三维图像的基础。MRI可以从任何方向（即平面）以几毫米厚的“切片”形式，为人体的任何部位成像。除了为人体组织成像外，MRI还可以通过检测血液的氧合特征来评估血流的变化。为了研究大脑功能，研究人员通过使用功能性核磁共振成像（functional magnetic resonance imaging，fMRI）来利用MRI的血流检测功能。*“功能性”*一词很重要，因为研究人员使用该技术去观察一个人在执行任务时大脑的功能（即活动）。当大脑的一个部位处于活动状态时，更多的血液就会流向该区域。fMRI检测到血流变化，并可以提供显示指定时刻大脑活动区域的彩色图像。同时，它通过计算血液氧合水平（blood oxygenation level dependent，BOLD）振幅来提供量化结果，该振幅被研究人员用来确定大脑活动区域。当研究人员汇报自己使用fMRI的情况时，通常都会描述获取切片的特定大脑区域，以及切片的大小和方向。使用fMRI进行运动学习与控制实验的一个重要环节是，研究人员需要让受试者执行可以在MRI机器的物理限制和约束内执行的任务，这与PET的使用限制一样。尽管fMRI对于运动学习与控制的研究来说相对较新，但我们发现有越来越多的研究在使用它。你将在本书的多个章节中看到一些示例。 |

|  |  |
| --- | --- |
| **脑磁图**  *脑磁图（magnetoencephalography，MEG）*是最先进的大脑活动评估技术之一。该评估技术是EEG（注意词尾“encephalography”的相似性）的一个变体。EEG评估大脑中的电活动，而MEG评估的是大脑神经元活动时产生的磁场。对研究人员来说，MEG的好处之一是，它可以直接测量大脑功能，这不同于其它大脑测量指标，例如fMRI和PET，它们都属于二级测量指标，因为它们都是根据脑代谢来评估大脑活动的。MEG提供了非常高的时间分辨率，因此特别适用于鉴别受损的脑组织，这对诊断和手术，以及在进行认知和运动活动时观察大脑的活动都至关重要。MEG的记录系统使用传感器来检测大脑中由于神经元活动而产生的磁场，并通过分析这些磁场的空间分布来确定大脑活动的位置。研究人员通常将MEG的结果与EEG和MRI的结果相结合。MEG结果的增加为与受试者从事活动相关的活动大脑结构提供了更准确的定位。  **经颅磁刺激**  **经颅磁刺激（transcranial magnetic stimulation，TMS）**是一种评估直接决定运动活动的大脑活动的方法。与扫描并记录大脑的电、磁或血流活动的大脑活动测量方法不同，TMS会激发或抑制大脑皮层特定区域的活动，从而导致该区域的正常活动暂时中断。因此，就可以根据一个人大脑区域在这种刺激方式下的行为，来推断该大脑区域的功能。TMS需要在人的头骨上外置一个线圈，具体放置则根据感兴趣的大脑皮层位置。从线圈发出的磁场短脉冲（称为脉冲）就会指向大脑皮层的该区域，从而在大脑中产生电流。由于该电流会改变大脑特定区域的活动，因此研究人员经常使用 | TMS来验证由其他大脑活动测量方法（如fMRI或PET）预测的大脑区域功能。对确定运动学习与控制的神经学基础感兴趣的研究人员发现，TMS对他们的研究来说是一项非常有用的技术。当TMS应用到大脑运动皮层的特定区域时，它会在身体对侧的相应肌肉中引发*运动诱发电位（motor evoked potential，MEP）*。MEP的幅度提供了连接大脑皮层和肌肉之间的神经束的兴奋指数，可以通过EMG进行测量。当反复应用TMS（rTMS）时，它能引起大脑活动的持久变化，使被刺激的大脑区域变得更加敏感。你将在本书的多个章节中看到使用这些技术的示例。  **fMRI（功能性磁共振成像）**一种大脑扫描技术，当一个人在磁共振成像扫描仪中执行技能或活动时，通过检测血液氧合特征来评估血流的变化。它提供了特定时间活跃大脑区域的清晰图像，并能提供大脑区域活动水平的定量信息。  **TMS（经颅磁刺激）**一种评估大脑活动的非侵入性方法，包含定位到大脑皮层特定区域的短脉冲磁波（称为脉冲）。这种磁活动的脉冲暂时中断大脑该区域的正常活动，使得研究人员可以在大脑该区域不起作用时观察受试者的行为。 |

|  |  |
| --- | --- |
| **测量协调性**  动作相关的协调性研究是近年来运动学习与控制研究中比较令人兴奋的现象之一。其中一个原因是基于方法论的。在基于计算机的动作分析技术问世之前，动作的运动学测量是一项昂贵且费时费力时的过程，需要逐帧分析慢动作胶片。随着基于计算机的动作分析系统的开发，涉及复杂技能的研究急剧增加，这使得协调性的评估成为可能。  测量问题涉及如何最好地评估协调性，这涉及关节或肢体和身体节段之间的动作关系。尽管研究人员已经开发出了几种量化协调性特征的方法，我们这里只介绍其中两种作为示例。所有这些方法的共同特点是，在一个人执行运动技能时，分析特定时间和空间模式下肢体和肢体段的动作。观察这些模式的方法之一是创建动作中关节和肢体节段之间的角-角图，如图2.8中所示的是膝关节和大腿。但是，这就形成了一个涉及角-角图的测量问题。接下来我们就会讨论这个问题。  **角-角图的量化评估**  随着研究人员获得分析复杂动作的能力，他们倾向于只给出肢体段关系的定性运动学描述。但是，为了从这些描述中推断出协调性，研究人员还需要对它们进行量化评估。尽管研究人员已经提出了多种技术，但互相关技术已经被广泛接受。 | ***互相关技术*** 由于研究人员对两个关节在特定时间点上的关系感兴趣，因此，描述两个关节协调模式的角-角图有助于相关性分析。由于关节的动作分析提供了许多可比较的数据点（回顾本章前面有关运动学测量指标的讨论），因此可以将两个关节的每个数据点相关联。在这里，数据点是指在特定时间点的X-Y空间位置，这个特定时间点就是动作分析软件对关节空间位置进行采样的时刻。做这种类型的相关需要一个称为互相关的统计程序，统计一段时间内发生的感兴趣的关系。无需描述计算互相关的细节，只需要产生一个相关系数即可，该系数就可以用来解释两个关节所遵循动作模式的相似程度。（有关互相关技术的更多信息，参见Mullineaux，Bartlett & Bennett，2001 以及Li & Caldwell, 1999。）  **相对相位作为一种协调性测量指标**  许多运动技能都包括周期性动作。这意味着它们会重复一段时间某个动作模式，例如走路或跑步（图2.8中步态的踏步循环就是周期性动作的一个示例）。这类运动技能特别有趣，因为它们提供了一个测量协调性的量化方法，即在技能执行的整个或部分周期，计算两个肢体段或肢体之间的相对相位。周期性动作的*相位*指周期中一个特定的点。由于周期中的任何点都涉及肢体或肢体段的空间位置和时间点，因此肢体或肢体段的动作就可以通过表征动作时空特征关系的位移-速度曲线图来描述。 |

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **深度阅读**   |  |  |  | | --- | --- | --- | | **泳姿的协调性指数** | | | | 乔里特和他在法国的同事开发了一种泳姿协调性的定量评估方法，他们认为这种方法对于评估和提高优秀游泳运动员的游泳成绩具有实用价值(Chollet，Chalies，& Chatard，2000)。  **协调指数（The Index of Coordination，IdC）**  研究人员通过视频分析优秀游泳运动员的运动得出IdC。四个摄像头(一个在水下，一个在游泳池边的水上推车，一个提供正面水下视图，一个在游泳池上方跟踪游泳运动员的头部)提供了计算IdC所需的数据。  **仰泳协调性和游泳速度**  在一项涉及优秀游泳运动员进行仰泳的实验中，给出了一个在体育环境中如何使用协调性定量评估的极好的例子。Chollet，Seifert和Carter（2008）计算了每个游泳运动员不同游泳速度下手臂运动的IdC。IdC是根据划水动作六个阶段的左右臂位置数据计算的：1. 手入水和抱水；2. 拉水；3. 推水；4. 手停留；5. 出水；6. 空中移臂。拉水和推水两阶段相加构成推进阶段；其他四个阶段的持续时间总和被认为是非推进阶段。 | ***IdC的计算：***  *IdC=（第一次右手臂划水推进阶段开始和第一次左手臂划水推进阶段结束的时间）-（第二次右手臂划水推进阶段开始和第一次右手臂划水推进阶段结束的时间）*  该实验包括了14名国际水平的男子游泳运动员以四种不同的速度进行仰泳。IdC的分析结果显示，游泳运动员无论速度如何，都保持着标准的手臂划水协调模式。  ***对游泳运动员和教练的建议：***基于他们定量协调评估的结果，研究人员提出了三条提高游泳成绩的建议：游泳运动员应该  1. 最小化出水阶段……，并且手在大腿处停留……通过在这个特定阶段提高手速……  2. 将划水模式从“双峰”修改为“三峰”，并在出水时增加推进……  3. 在出水阶段进行速度补偿……通过增加每次划水的距离。  此外，作者声称IdC可以“被教练用来评估仰泳协调中的错误，特别是关于手在大腿的停留时间”(第681页)。 | | |  | |  | | |
| 该曲线图被称为*相位图（或相图）*，在一个轴上显示肢体或肢体段的角位移，在另一个轴上显示其角速度。当以此方式绘制周期性动作的曲线图时，就会得到类似图2.12中所示的曲线图，该图描绘的是一条腿在踏步周期支撑阶段（同一只脚从脚跟着地到脚尖离地）的动作。 | 相位图上的数据点是在动作分析中特定时刻采样的X-Y坐标（例如，如果采样频率是100赫兹，那么就会有100个X-Y坐标数据点）。动作相位的计算是很复杂的，这里就不作说明了。但是通过查看图2.12的下半部分，你可以理解如何从相位图中得出相位角。这里有一条从X-Y坐标系原点到相位图中特定点的直线，得到的角度就是动作中该点的*相位角*。研究人员使用相位角评估动作协调性的一种方法是， |

|  |  |
| --- | --- |
| **a.归一化的角速度**  **b.归一化的角位置**  **脚尖离地**  **脚跟着地**  **图2.12** （a）跑步中一条腿在跑步单个周期中站立阶段的动作相位图。（b）从上面相位图中得出相位角的示例。*来源：*改编自Hamill, J., van Emmerik, R. E. A., Heiderscheidt, B. C., & Li, L. (1999). A dynamical systems approach to lower extremity running injuries. Clinical Biomechanics, 14, 297–308. | 相对相位除了被用作肢体段之间的协调性指标外，通常还被研究人员用来描述两只手臂或两条腿之间，或一只手臂和一条腿之间的关系。例如，两条腿在走路过程中180度异相，因为一条腿总是比另一条腿落后半个周期。相反，两条腿在跳跃过程中就是同相的（相位关系为0度或360度），因为它们的移动方式完全相同。当两个肢体的相对相位在几个动作周期中保持高度一致时，它们就被认为是高度协调或“紧密耦合”的。第11章的图11.4给出了如何用图表示两只手臂之间的相对相位的示例。  前面描述的相对相位被称为*连续相对相位*，因为它表示的是整个动作周期中周期性动作的相对相位。另一种相对相位称为*点估计相对相位*，仅仅指动作周期中的一个点。作为协调性指标，点估计相对相位比较笼统，连续相对相位则提供更详细的协调性分析。  **相对相位：**在一个循环运动的执行过程中，两个肢体段或肢体之间协调性的指标。首先计算特定时间点每个肢体段或肢体的相位角，然后从一个相位角中减去另一个相位角。相对相位的范围从0度（或360度）到180度，前者表示肢体段或肢体之间的同相关系，后者表示反相（或异相）关系。 |
| 在特定时间点比较两个肢体段或肢体的相位角，从而建立了**相对相位（relative phase）**，通过将两个肢体段或肢体的相位角相减来计算。相对相位的范围为0度（或360度）到180度，表示肢体段或肢体从*同相关系*到*反相（或异相）关系*。相对相位是一种协调性指标，两个关节或肢体之间高度协调就意味着其相对相位在几个动作周期内会保持一致。 |

|  |  |
| --- | --- |
| **小结**  理解运动学习的基本要素是运动表现的测量。本文介绍的所有概念都是建立在研究人员观察和测量运动表现的研究基础之上的。测量运动表现对运动缺陷的评估，以及学生或患者在进行实践或治疗方案中的表现评价至关重要。在本章中，我们重点介绍了测量运动表现的不同方法，以及在运动学习的研究和应用场景中如何使用这些测量指标。  以下是本章中讨论的表现测量问题和示例：   * 表现测量指标分为两类：表现结果测量（测量动作活动执行的结果）和表现过程测量（测量产生动作活动表现结果的动作相关特征）。 * 表现结果测量的示例：反应时（RT），动作时（MT），以及分别对应一维和二维动作目标的三种表现结果误差（AE，CE和VE）。 * 表现过程测量的示例：三个运动学测量指标（位移，速度和加速度），作为动力学测量的关节转矩，以及EMG，同时还包括五项大脑活动的测量指标：EEG，PET扫描，fMRI，MEG和TMS。 * 关于动作协调性的定量和定性测量问题，包括互相关技术和相对相位的使用。   **实践要点**  运动技能表现的测量对于提供一个评估表现能力和局限性的量化基础，定位表现局限性的根源，以及证明干预策略提高了运动技能来说是很重要的。 | * 你可以测量运动技能表现的结果和/或该结果的动作和神经基础。根据你向同伴阐明目标所需要的与表现相关的信息来选择测量指标类型。 * 反应时是一个非常有用的测量指标，可以反映一个人在特定情况下执行技能的准备情况。 * 误差测量指标可以反映一个人为实现运动技能目标所需要纠正的动作问题类型。 * 运动学、动力学、EMG、大脑活动和协调性测量指标有助于评估一个人在执行技能时的动作问题。除了需要恰当的测量技术外，你还需要确保这些测量指标能够被正确解释。   **相关阅读** |

|  |  |
| --- | --- |
| **课后习题**   1. （a）描述表现结果测量和表现过程测量之间的差异。（b）为两种运动表现测量指标各举三个例子。 2. （a）描述简单反应时、选择反应时和辨别反应时之间的差异。（b）将反应时分成两部分意味着什么？（c）动作时与反应时有什么不同？ 3. 当动作目标是表现准确性时，通过计算AE、CE和VE，可以分别获得一个人运动表现的哪些不同信息？ 4. 你如何根据一个高尔夫球手一系列击球失误的结果来判断其需要纠正的问题类型？ 5. 如何确定连续运动技能（如在道路上驾驶一辆汽车）的表现误差？ | 1. 描述动作的三种运动学测量指标，并解释每种测量指标提供的有关动作的信息。 2. 当被用于动作描述时，术语*线性运动*和*角运动*分别是什么意思？ 假设你要描述一个人走路的表现，你会在什么情况下使用这些类型的分析呢？ 3. *动力学*一词在与人体动作测量相关时的含义是什么？ 4. 利用EMG可以获得什么与动作相关的信息？ 5. 描述三种常用于运动技能执行过程中测量大脑活动的技术。就可以使用的运动技能类型而言，每种技术的局限性是什么？ 6. 简要描述两种可以用来告诉我们有关两个肢体或肢体段之间协调性特征的技术。   **具体应用问题**  假设你要帮助一起工作的人提高某项运动技能的表现，你的导师要求你在开始这项工作前先回答几个问题：   1. 你可以用什么表现结果测量来评估他们的运动表现？ 2. 每种测量指标的优缺点是什么？ 3. 你会选用哪种测量指标，以及为什么这么选？ 4. 既然你有合适的测量技术可用，那么什么运动学测量指标可以帮助你评估他们的运动表现呢？ 5. 这些运动学测量指标提供的信息又是如何帮助你评估他们的运动技能表现的呢？ |