章 **2**

测量

电机性能

概念:运动表现的测量对于理解运动学习至关重要。

完成本章后，您将能够

* 描述绩效结果衡量标准和绩效生产衡量标准之间的区别，并举例说明
* 描述简单、选择和区分RT情况之间的差异
* 描述衡量绩效结果准确性的三种方法，即要求一维和二维离散空间和/或时间准确性的技能，以及要求空间和时间准确性的连续技能
* 定义运动的三个运动学度量，并描述一种计算特定运动的每个度量的方法
* 描述肌电图可用于提供人体运动信息的方式
* 描述几种在运动技能表现过程中测量大脑活动的技术
* 描述角度-角度图如何提供有关肢体或肢体片段协调特征的有用信息
* 描述两种量化运动技能表现过程中协调性测量的方法

# 应用

假设你是一名体育老师，教你的学生打网球。你会用什么样的表现来衡量学生的进步？考虑几个可能性。你可以数出发球区的发球次数。或者你可以在发球区做一些标记，这样“更好”的发球，就其得分而言，会比其他发球得分高。或者你可以制定一个与学生的服务形式相关的措施。

现在想象你是一名物理治疗师，正在帮助一名中风患者重新学习走路。您将如何衡量患者的进展，以确定您所做的是否有利于他或她的康复？你有几种可能的行走特征可供选择。例如，你可以计算每次步行的步数或步行距离；这些措施可以给你一些进展的总体指标。如果你想更多地了解一些特定的与行走相关的特征，你可以测量这个人行走时的平衡和姿势稳定性。



26

第2章■电机性能的测量 27

或者你可以通过分析腿、躯干和手臂运动的运动学特征来评估这个人正在取得的生物力学进步。这些测量中的每一个都是有价值的，并且会告诉你关于每个儿子走路表现的一些不同的东西。

在这两种绩效评估情况下，作为一名教育者或治疗师，您最关心的是使用一个或多个绩效衡量标准来进行评估。作为解决这个问题的第一步，您必须确定您应该衡量哪些方面的绩效，以进行有效的绩效评估。然后，你必须确定如何衡量这些方面的表现。下面的讨论将通过描述几种不同的运动技能表现测量来帮助你了解如何完成这个两步测量过程。在本文中，我们将参考本章介绍的各种方法，特别是当研究人员使用这些方法来研究各种概念时。



要解决的应用问题选择一项你可能会在未来职业中帮助他人学习或重新学习的运动技能。您应该衡量此人在此技能方面的哪些表现，以有效评估其表现能力和局限性？描述你用来评估这个人的这些方面表现的方法，并描述这些方法将如何帮助你决定如何帮助这个人。

技能。例如，显示一个人走了多远、一个人跑了多快、一个篮球运动员得了多少分的指标都可以告诉我们这个人的表现。绩效结果度量为我们提供了关于行动结果的信息，其中主要关注的是任务目标是否完成。

*请注意，绩效结果测量并没有告诉我们任何关于导致观察结果的肢体、头部或身体运动的信息。这些测量也没有提供任何关于神经系统活动和每个动作所涉及的各种肌肉的信息。要了解这些类型的特征，我们必须使用性能***生产***度量。这一类的测量告诉我们大脑和身体是如何产生结果的。它们告诉我们神经系统是如何运作的，肌肉系统是如何运作的，以及在一个人执行一项技能之前、期间或之后，四肢或关节是如何运动的。性能生产测量提供与运动和神经运动过程分析水平相关的信息。*

虽然可能存在其他类别的表现措施，但这两个代表了本文中的运动技能表现措施。表2.1给出了这两类措施的例子。在本讨论的剩余部分，我们将讨论一些在运动学习和控制研究文献中发现的更常见的性能指标的几个例子。



# 讨论

**表现结果测量一类运动技能表现测量，表示表现一项运动技能的结果或结果**

(例如，一个人走了多远，一个人跑了多快，一个篮球运动员得了多少分)。

**性能产生测量一类运动技能性能测量，它表明神经、肌肉和骨骼系统在运动技能(肢体运动学、力、脑电图、肌电图等)执行过程中的功能。).**

有多种方法来衡量运动技能的表现。组织多种类型的运动性能测量的一个有用方法是创建与不同级别的性能观察相关的两个类别。这些类别映射到第一章中介绍的不同层次的分析——动作、运动和神经运动过程。我们称之为第一类绩效**结果**措施。该类别中包括指示执行运动的*结果结果或*结果的测量

28 第一单元■运动技能和能力介绍

表2.1两类运动技能表现测量

**措施或实例**

**项目大类 测量设备 性能示例**

1. 绩效结果 完成任务的时间， 跑一英里的时间量 例如秒、分钟、小时 或者键入一个单词

反应时间，例如，秒，毫秒 发令员的枪和

运动开始

执行标准时的误差量在移动中距离目标的厘米数，例如，声发射、CE、VE 再现标准肢体位置错误的数量或百分比 罚球失误数

成功尝试的次数 豆袋击中目标的次数时间开/关目标 光标接触的秒数

计算机跟踪任务中的目标

开/关平衡时间 以鹳的姿态站立的秒数

距离 垂直跳跃高度

试验或重复直至完成 试验或重复次数，直到

所有回答都是正确的

1. 表演制作 移位 移动测量时肢体移动的距离 计算机显示器上的光标指向目标

速度 将计算机显示器上的光标移动到目标时肢体移动的速度

加速 将计算机显示器上的光标移动到目标时的加速/减速模式

连接角 击球时手臂各关节撞击时的角度

关节扭矩 垂直起跳时膝关节的净关节力矩

肌电图 在快速屈曲运动中二头肌最初发射的时间

脑电图 拍摄动画时的脑电波模式

射箭运动中的箭

正电子发射地形图 在键盘上打字时大脑区域活跃

计算机键盘功能磁共振 手指成像时大脑区域活跃 敲击节拍器

# 反应时间

表示一个人准备和开始一个动作需要多长时间的常用指标是**反应**时间(RT)。图2.1显示RT是指示所需运动的信号(刺激)*开始*和运动开始之间的时间间隔。请注意，RT不包括任何

与特定动作相关的运动，但仅指运动开始前的时间。

刺激(或“开始”)信号是行动的指示。在实验室或临床环境中，信号可以采取多种形式之一，如光、蜂鸣器、电击、屏幕上的单词或口头单词或声音。因此，该信号可以涉及任何

第2章■电机性能的测量 29

警报信号

“走”

信号

开始

回应的

响应的终止

早期

时间

响应时间

反应时间

移动时间

图2.1与反应时间和运动时间的典型测量相关的事件和时间间隔。

感觉系统——视觉、听觉或触觉。可以要求这个人做任何类型的移动。例如，这个人可能需要将一根手指从一个电报键上移开，按下一个键盘键，说一个词，踢一个板，或者走一步。最后，为了评估最佳反应时，应在刺激信号之前给出某种类型的警告信号。

**反应时作为一种性能测量的使用反应时间作为人类运动技能表现的一种流行测量有着悠久的历史。虽然RT可以用作评估一个人启动所需动作的速度的性能指标，但研究人员和从业者也可以将其作为推断与执行运动技能相关的其他特征的基础**1**。最常见的是确定一个人在准备采取必要行动时可能使用的环境背景信息，这将是第8章的讨论主题。例如，如果一种表现情况比另一种情况导致更长的反应时，研究人员可以确定是什么导致了不同的反应时长度，然后可以告诉我们一些关于对我们准备一个行动所需时间的影响。在第八章中，你将研究研究人员使用逆转录病毒疗法作为性能测量的几种方法，以研究我们如何准备进行运动技能以及影响这种准备的因素。**

关于实时技术的历史和用途的广泛回顾，请参见迈耶、奥斯曼、欧文和殷蒂斯(1988)的一篇文章，该文章讨论了实时技术作为“心理计时”的一个关键指标的使用，该指标研究了人类表现背后基于时间的心理过程1。

实时技术的另一个用途是评估一个人预测所需行动的能力，并确定何时开始行动。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意识到后卫的动作表明后卫应该传球而不是射门。当以这种方式使用时，实时技术提供了关于决策的信息。因此，除了指示一个人对信号的反应有多快之外，RT还提供了一个窗口，用于检查一个人在准备产生所需动作时如何与表演环境交互。

## 将反应时与运动时间和反应时间联系起来

在任何情况下，一个人必须根据信号移动，可以评估两个额外的性能指标。您在图2.1中将这些度量标准视为移动时间和响应时间。移动时间(MT)在RT结束时开始。它是开始和结束之间的时间间隔

**反应**时间(RT)信号(刺激)开始和反应开始之间的时间间隔(例如，游泳短跑比赛开始的“开始”信号和游泳者第一次可观察到的运动之间的时间)。

**运动时间:运动开始和完成之间的时间间隔。**

30 第一单元■运动技能和能力介绍



**仔细看看**

**在决策情况下使用实时技术和机器翻译评估技能表现问题的例子**

**运动技能示例**

足球比赛中，进攻队员必须在接球后尽快完成任务。如果线路员在执行任务时一直很慢，问题可能是他没有足够注意球的折断，他不确定他的任务，或者他在执行任务时动作太慢。前两个问题与RT有关(球弹起和线员脚开始移动之间的时间)；第三个与运动疗法有关(脚开始运动和完成分配之间的时间)。通过在实际情况下评估RT和MT，教练可以更好地了解线路员问题的原因，并开始帮助线路员改善问题的特定部分。

**汽车驾驶示例**

假设你正在驾驶模拟器中帮助一名学生减少他或她在街上突然出现一个物体时停车的时间。将RT和MT分开会让你知道慢停时间是否与决策或移动速度问题有关。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(脚从油门松开到脚接触刹车踏板之间的时间)是恒定的，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，你知道问题是与运动相关的。在这两种情况下，通过测量RT和MT，你可以更具体地帮助这个人在这些情况下提高他或她的表现。



运动的完成。响应时间是总时间间隔，同时涉及RT和MT，RT和MT的一个重要特点是它们是相对*独立的*度量。这意味着RT不预测MT，反之亦然。RT和MT作为绩效衡量指标的独立性表明，如果一组人中的一个人在绩效情况下具有最快的RT，那么该人可能不具有该组中最快的MT。因此，实时和机器翻译可以测量人类行为的不同方面。你会学到更多关于独立性的知识

第三章中的这两个性能指标。

## 实时环境的类型

图2.2描述了三种最常见的实时场景。为了说明的目的，这个图显示了作为刺激信号的光和作为所需运动的从计算机键盘键抬起手指。然而，这里讨论的三种反转录情况不需要局限于这些特征。

当一种情况只涉及一个信号，并且只需要一个动作来响应时，RT情况被称为简单RT。在示例中

如图2.2所示，当灯亮时，人必须从键盘上抬起手指。另一种实时情况是选择实时，其中有一个以上的信号必须响应，每个信号都有一个特定的响应。图2.2中的例子表明，人必须通过从键盘上抬起食指来响应红光，通过从不同的键上抬起中指来响应蓝光，以及通过从第三个键上抬起无名指来响应绿光。第三种RT情况是判别RT，这里也有一个以上的信号，但只有一个响应。在图2.2的例子中，只有当红灯亮时，才要求人从电报机钥匙上抬起手指。如果蓝色或绿色的灯亮着，这个人应该没有反应。

虽然这些简单的、选择的和辨别的RT情况的例子指的是实验室条件，但是这些不同类型的RT情况也存在于日常生活和运动环境中。例如，田径短跑运动员在开始比赛时会遇到*简单的*RT*情况*。然后，他或她听到来自启动器的口头警告信号

第2章■电机性能的测量 31

**简单RT 选择RT 歧视RT**

刺激光

红

红 蓝色 格林（姓氏）；绿色的 红 蓝色 格林（姓氏）；绿色的

反应

密钥

食指

指标

中指

戒指

食指

图2.2三种不同类型的反应时测试情况:简单反应时、选择反应时和辨别反应时

听到枪响，这是开始奔跑的信号。选择实时场景在日常活动中更常见，例如当你开车来到一个有三个可能信号的十字路口，每个信号都需要不同的动作。如果灯是红色的，你必须踩下刹车踏板并完全停止。如果灯是黄色的，你需要准备停车。而且如果信号是绿色的，可以继续保持踩下油门踏板通过路口。垒球击球手每次面对一个球场时都会经历不同的情况。他们必须辨别哪些球会落在好球带内，并且只在那些球上挥杆。他们必须抑制任何偏离好球区的倾向。在这个例子中，每一个音高代表一个需要辨别的刺激，而每一次挥杆代表一种反应。

## 实时间隔组件

通过使用肌电图(EMG)，这将在本章后面讨论，来测量RT情况下肌肉活动的开始，研究人员可以将RT分成两个组成部分。肌电图记录将显示刺激信号出现后肌肉活动增加的时间。然而，在刺激信号开始和肌肉活动开始之间有一段时间。这种“安静”的时间间隔是逆转录的第一个组成部分，被称为前运动

*时间。第二个组成部分是从肌肉活动增加到可观察到的肢体运动实际开始的时间段。这个RT分量称为电机时间。您可以在图2.3中看到RT是如何被分割的。此外，你可以在本章末尾的图2.10中看到一些断裂RTs的实际例子，图2.10给出了肌电图记录的例子。RT间期与三个肌肉群的肌电图记录一起显示。虽然图中未显示，但每次肌电图记录的运动前时间是开始前的时间间隔*

**反应**时间包括反应时间和运动时间的时间间隔；即从信号(刺激)开始到反应完成的时间。

简单反应时，当情况只涉及一个信号(刺激)时，只需要一个反应。

当情况涉及一个以上的信号并且每个信号需要它自己特定的响应时，**选择**反应时间。

**当情况涉及一个以上信号但只有一个响应时，即只涉及其中一个信号时的反应时间；其他信号不需要响应。**

32 第一单元■运动技能和能力介绍

刺激开始

马达前部件

电机组件

肌电图

可观察到的运动开始了

**图2.3分段反应时间的示意图，表明肌电图信号活动与反应时间期的运动前和运动成分之间的关系。**

时间

反应时间



在线学习中心实验手册第2章中的实验2为您提供了一个测量和比较RT和MT的机会。

**实验室链接**





肌肉活动；运动时间是记录肌肉活动的反应时间隔的剩余时间。正如你将在第八章中看到的，通过将反应时间隔分为两部分，研究人员在理解行动准备过程中的兴趣能够获得对一个人准备行动时发生的事情的更具体的见解。大多数研究人员认为，运动前时间是一种从环境通过神经系统向肌肉本身接收和传递信息的手段。这个时间间隔通常被认为是一个人在准备行动时进行的感知和认知*决策活动*的指标。运动时间间隔表明在可观察到的肢体运动发生之前有肌肉活动。研究人员普遍认为，这种活动表明肌肉中存在一个时间滞后，这是克服肌肉后肢体惯性所需要的

接收收缩命令。

# 误差测量

一个人由于执行一项技能而犯的错误的数量在人类行为研究和日常生活活动和体育运动中占有突出的地位。精度可以包括空间精度和/或时间精度。空间精度是指涉及空间维度的情况，如距离。时间*准确*性是指涉及时间维度的情况。对于这两种准确度情况，误差测量允许我们评估以准确度为行动目标的技能的表现。从伸手抓杯子、向目标投掷飞镖、沿着指定的路径行走，到在街上驾驶汽车，各种技能都需要人们执行要求空间和/或时间准确性的动作。为了评估这些类型技能的绩效结果，每个儿子相对于目标犯的错误数量是一个重要且有意义的绩效衡量标准。

错误度量不仅提供性能准确性的指标，而且某些类型的错误度量还告诉我们性能问题的可能原因。如果绩效评估不止一次，情况尤其如此。对于一系列重复(通常在运动技能指导或康复设置中)

第2章■电机性能的测量 33



教师或治疗师可以确定观察到的运动不准确是由于一致性问题还是与偏差相关的问题。不一致的表现是一次又一次的尝试。有偏差的表现是指在某个特定的方向上出错，例如，在一次又一次的试验中，它可能会太慢或达不到目标。这些重要的措施为医生选择合适的干预措施提供了基础，以帮助患者克服不准确性。一致性问题表明，完成这项技能所需的基本动作模式尚未获得，而偏差问题表明，该人已经获得了动作模式，但难以适应具体的表演情况要求。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例子。

## 评估一维运动目标的误差

当一个人必须在一个维度上移动一个肢体一个特定的量时，比如当一个病人试图达到一个特定的膝盖伸展时，所产生的空间误差将会是一个特定的距离或者超过目标。类似地，如果棒球中的投手试图以一定的速度投球，产生的时间误差相对于目标来说要么太慢，要么太快。在这些情况下，测量误差量只需找出性能值(例如15厘米、5秒、20秒)与目标值或目标值之间的差异。如果患者的目标是将膝盖伸展至150度，而她将膝盖伸展至130度，她的动作将会过短20度(130-150=20)，而如果她将膝盖伸展至170度，将会过长20度(170-150=+20)。

*我们可以计算至少三种误差度量，以评估重复性能的一般精度特性，并推断精度问题的可能原因。为了获得成功实现目标的一般指标，我们计算***绝对***误差。不良事件是每次重复的实际表现和目标之间的绝对差异。对于多次重复的情况，总结这些差异*

除以重复次数将会得到重复的平均绝对误差。声发射提供了关于一个人在一次重复或一系列重复中所犯错误*大小*的有用信息。该分数为您提供了此人的会话准确度的一般指数。但是仅仅根据不良事件评估绩效隐藏了关于不准确绩效来源的重要信息。为了获得这一信息，我们需要两个额外的误差测量。

*一个人的表现可能不准确的一个原因是，这个人有过度射门或未达到目标的倾向，这被称为表现偏差。为了获得这一信息，我们必须计算***常数***误差***(CE)***，这是与目标的有符号(+/)偏差。当经过一系列的重复计算后，CE提供了一个有意义的指标，表明人们在进行技能训练时倾向于偏向某个方向。计算循环执行效率包括进行用于确定不良事件的相同计算，除了代数符号用于每次重复的性能。请注意，我们可以计算一次重复的不良事件和不良事件，但我们通常会对几次试验的不良事件和不良事件进行平均。*

一系列重复的表现不准确的另一个原因是表现的一致性(或者相反，可变性)，这是通过计算变量误差(VE)来衡量的——这一衡量*标准*非常类似于一系列重复的个人消费支出分数的标准偏差。标准差告诉你每次复读的平均分数离CE有多远。

**绝对**误差(AE)目标或标准的无符号偏差，代表误差量。一种不考虑偏差方向的误差大小的度量。

**与目标或标准的有符号(+/)偏差；它表示误差的数量和方向，并作为性能偏差的度量。**

可变误差(VE)表示性能可变性(或相反，一致性)的误差分数。

34 第一单元■运动技能和能力介绍

## 二维运动目标的误差评估



5厘米 y

h

x

当执行技能的结果要求垂直和水平方向的准确性时，评估误差的人必须对一维评估方法进行修改。二维定位的一般精度测量称为径向误差，它类似于一维情况下的声发射。要计算一次重复的RE，请计算由X轴(从目标中心水平延伸)和Y轴(从表演位置中心垂直延伸)相交形成的直角三角形的斜边

结果)。该计算包括以下步骤:

* 测量水平方向(即X轴)的误差长度；平方这个值。
* 测量垂直方向(即Y轴)的误差长度；平方这个值。
* 将X轴和Y轴误差的平方值相加；求总数的平方根。

图2.4测量径向误差以评估性能准确性的示例。表演场景包括一个人向圆形目标投掷飞镖。投掷的目标是击中目标的中心(用+表示)。投掷击中由O.RE指示的位置是由X轴和Y轴相交形成的直角三角形的斜边(h)。以下与此位置相关的X轴和Y轴距离的示例演示了此投掷的RE计算。

给出了稀土元素的计算实例

x轴距离10厘米

→ 102 100

如图2.4所示。要确定一系列重复的平均RE，只需计算该系列总RE的平均值。

绩效偏差和一致性在二维情况下比在一维情况下更难评估

y轴距离 5厘米

→ 52 25

总和 125

兹就 {125 11.2 厘米

维数，因为代数符号+和-对于二维情况没有什么意义。汉考克、巴特勒和费奇曼(1995)详细描述了二维情况下偏差和一致性的计算方法。这种计算通常只在运动学习和控制研究中使用，我们将在这里考虑解决问题的一般方法，而不是深入研究这种计算的细节。对于一系列的重复，研究人员或从业者可以通过观察实际的位置分组来获得对偏差和*一致*性的定性*评估*。例如，如果两个高尔夫球手从同一个位置在练习果岭的一个洞各推杆六个球，结果如图2.5所示，对每个高尔夫球手推杆分组的快速评估显示，高尔夫球手有具体但不同的问题需要克服，以提高他们的推杆表现。虽然两个高尔夫球手都打了一个洞

推杆，高尔夫球手A将其他五个球分散开

这个球洞表明了动作*一致*性的问题，而高尔夫球手B将其他五个球分组到球洞的右边，这表明了动作偏差的问题。对于一维情况，评估这些特征的实际好处是，用于提高性能的策略会因偏差和一致性情况而不同。

## 评估持续技能的误差

前面两节中描述的误差测量是基于离散技能的准确性目标。一些连续运动技能也需要准确性。例如，当一个人必须沿着一条特定的路径行走时，绩效评估可以包括衡量这个人在这条路径上走得有多好。或者如果一个人在一个汽车模拟器中，并且必须按照计划驾驶汽车沿着道路行驶

**高尔夫球员甲**



**高尔夫球员乙**

第2章■电机性能的测量 35

**一个屏幕，一个性能的衡量标准，可以基于这个人在路上的表现。这些类型技能的误差测量必须不同于用于评估离散技能表现的误差测量。连续技能常用的误差分数是均方根误差(RMSE)，你可以把它看作连续任务的不良事件。为了理解如何确定和使用这种误差度量，请考虑下面的例子，该例子来自于执行一项称为“pur-suitetracking”的连续技能。为了执行这项技能，受试者移动操纵杆、方向盘或控制杆，使物体(如光标)沿着指定的路径移动。指定的路径可以运动学地描述为位移曲线。图2.6提供了一个例子。位移曲线代表受试者的跟踪性能。来确定有多准确**





**图2.5二维表现结果误差定性评估的高尔夫推杆示例。高尔夫球员A和B在果岭上的一个洞推杆六个球。高尔夫球手A的六次推杆分组显示了高度的表现可变性，而高尔夫球手B显示了向球洞右侧推杆的强烈表现偏差(即趋势)。**

**均方根误差(RMSE)一种用于连续技能的误差度量，表示在特定的性能采样时间内，所产生的性能曲线和标准性能曲线之间的误差量。**

振幅

错误

反应

刺激

t1t2t3

长吨

射击练习（同TargetProjectile）

时间

时期

**图2.6**受试者在每个指定时间间隔的反应和刺激之间的差异用于计算一个均方根误差(RMSE)分数。来源:来自Franks，I。

*M. 等人(1982年)。追踪任务获得过程中运动模式的产生。人类运动科学，1，251–272。*

36 第一单元■运动技能和能力介绍

**仔细看看**



**计算并使用误差分数评估步态的准确性、偏差和一致性**

假设你是和乔和萨姆一起工作的物理治疗师。你和他们一起工作，在走路时保持一致的50厘米步幅。为了确定他们每个人需要的干预方法，你让他们两人在跑道上走六步。下图显示了它们每一步的表现。每一步的50厘米距离目标被标记为横跨跑道的垂直线；这些数字通过显示方向(+=太远)来表示脚在每个步幅上的位置；乔和萨姆没有达到目标步幅。

请注意，乔和萨姆都有*相同的AE，*但是

* 乔的负CE很高，但ve很低，这意味着他的6步往往比他的步长目标步长短。
* 萨姆的正CE较低，但ve较高，这意味着他的6步长与目标步长不一致。

***讨论问题:基于CE和VE的不同，物理治疗师在乔或萨姆面前会有更困难的康复问题吗？为什么？***

**山姆·乔**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| −15 | +15 −12  −12 | −10 | +10 −12  −12 | −12 | +12  −5 | +5 |

在哪里

平均值。AE=σ∣*xT*∣/*k*

*x*=复读分数，*T*=目标分数

*k*=重复次数

**计算平均AE、平均CE和VE:**

平均值。英国国教会 Z(*xT*)/*k*

拥有 Z(*x*Avg。CE)/*k*2

受试者追踪特定的路径，我们将计算RMSE分数。

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | 自动曝光装置 | 自动曝光装置 | 英国国教会 | 英国国教会 |
| 步幅号。 | 普通人 | 山姆（男名） | 普通人 | 山姆（男名） |
| 1 | 15 | 15 | −15 | 15 |
| 2 | 12 | 12 | −12 | −12 |
| 3 | 10 | 10 | −10 | 10 |
| 4 | 12 | 12 | −12 | −12 |
| 5 | 12 | 12 | −12 | 12 |
| 6 | 5 | 5 | −5 | 5 |
| 个合 | 66 | 66 | −66 | 18 |
| 平均值 | 11 | 11 | −11 | 3 |
| 拥有 |  |  | 3.1 | 11.0 |

通过确定受试者跟踪性能产生的位移曲线和指定路径的位移曲线之间的误差量来计算RMSE(见图2.6)。RMSE的实际计算是复杂的，需要一个计算机程序，该程序可以采样和记录受试者在预定点相对于特定路径的运动

时间，如每秒100次(100赫兹；注意，1赫兹=1次/秒)。在100个采样点的每一个点上，计算指定路径位置和受试者运动位置之间的差异。这意味着对于100赫兹的例子，每秒钟有100个错误分数。如果指定的模式是5秒，重复将有500个错误分数。然后，计算机通过计算总路径的平均误差分数，从中得出一个分数，RMSE。

第2章■电机性能的测量 37

# 运动学测量

传统上与生物力学相关的运动学测量已经成为运动学习和控制研究中的重要性能描述符。运动学这个术语指的是不考虑力或质量的运动描述。三个最常见的这样的描述符指的是一个物体在空间位置上的变化，它的速度，和它在速度上的变化。用来指这些运动特征的术语是位移、速度和*加速度。*

运动学测量是性能产生测量，其基于当一个人使用通常被称为运动捕捉的程序执行技能时记录特定身体片段的运动。该程序首先用胶带、记号笔、特殊反光球或发光二极管以独特的方式标记与感兴趣的身体部位相关的关节。然后，研究人员将儿子的技能表现记录在录像带上或通过使用特殊的照相机。计算机软件被开发来计算运动学测量，然后分析记录。这种方法在商业上使用

可用的运动分析系统。其他工具，如直接测量关节角度的测角仪和直接测量全身或身体部位加速度的加速度计，也可用于记录运动学测量值。

获得运动学测量的另一种方法是记录人对物体的运动，这是前面描述的追踪任务的情况，如图2.6所示。这里，计算机采样(即，以指定的每秒速率检测)并记录跟踪设备的移动。在这个例子中，桌面上的水平杠杆是移动装置。附在杠杆轴上的电位计提供计算机采样的运动相关信息。类似的运动样本可以从操纵杆、鼠标或滚珠的运动中获得。

## 移位

*感兴趣的第一个运动学度量是位移，它是在运动期间肢体或关节的空间位置的变化。位移描述了一个人在空间位置上的变化*

这项研究的参与者在各种关节、身体和头部位置都有反射标记，用于运动学运动分析。

理查德·马奇尔博士

开展一项运动。我们通过使用运动分析系统来计算位移，以识别给定时间运动装置或标记关节在空间中的位置(根据其在二维分析中的X-Y坐标或其在三维分析中的X-Y-Z坐标)。然后，系统确定下一次采样时该关节的位置。分析系统以特定的速率对这些空间位置进行采样，

不考虑力或质量的运动描述；它包括位移、速度和加速度。

**位移描述肢体或关节在运动过程中空间位置变化的运动学度量。**

38 第一单元■运动技能和能力介绍

其根据所使用的分析系统而变化。例如，常见的录像带采样率为60Hz，这意味着每秒钟检测并记录60次空间位置。根据所用的分析系统，取样速度可能更快。因此，运动装置或肢体的空间位置可以针对每个采样时间绘制为位移曲线。你可以在图2.7中看到一个例子，在投掷飞镖的过程中，腕关节的位移在不同的时间被描绘出来。

## 速度

第二个感兴趣的运动学度量是**速度**，它是基于时间的位移导数。速度，我们通常称之为速度，是指物体位置相对于时间的变化率。也就是说，这种位置的变化发生得有多快，这种变化是在什么方向上发生的(正负符号经常用来指定方向)？运动分析系统通过位移除以时间得出速度。也就是说，将空间位置的变化(在时间1和时间2之间)除以时间的变化(从时间1到时间2)。速度总是以位置-时间曲线的形式出现在图表上(见图2.7，其中速度曲线基于与位移曲线相同的运动)。我们用每一段时间的位移量来表示速度。图2.7中的掷镖示例显示了手腕的速度，即它每秒移动的度数。零速度表示手腕的位置在采样的时间段内没有变化。正值表示手腕向一个方向移动，负值表示手腕向相反方向移动。

## 加速

第三个运动学指标是**加速**度，它描述了运动过程中速度的变化。我们用速度的变化除以时间的变化，得到速度的加速度。我们还将加速度曲线描述为时间的函数，如图2.7中的加速度图所示，它也基于该图中的位移和速度图。加速曲线描绘了加速和减速

手臂移动时手腕的运动。正负符号意味着加速发生在相反的方向，即加速与减速。快速加速意味着速度变化很快。

## 线性和角运动

在运动的运动学描述中，位移、速度和加速度的测量可以指直线运动或角运动。这些运动类型之间的区别对于理解是很重要的，也是运动分析中的一个重要区别。线性运动是指直线运动，包括所有物体在相同时间内移动相同距离。角运动，有时也称为旋转运动，是指围绕旋转轴发生的运动，涉及特定的身体部位围绕关节旋转，关节是身体部位运动的旋转轴。例如，如果你想描述行走的运动学，线性运动描述适用于从一个位置到另一个位置的运动，因为整个身体是线性运动的。但是，如果要描述行走时的足部运动特征，角运动描述更合适，因为行走时足部绕踝关节旋转。

研究人员描述肢体运动的一种常见方式是，在运动发生时，测量肢体绕关节旋转时的运动。两个例子如图2.8所示。该图的顶部显示了熟练跑步者的角度-角度图。根据Enoka(2008)，因为我们通过围绕彼此旋转身体部分来移动，角度-角度图提供了一种通过观察运动期间两个关节之间的关系来检查运动的深刻方法。角度-角度图通常绘制两个相邻身体部分之间的角度与一个身体部分的角度。

在图2.8中，膝关节的角位移与大腿的角位移在跑步步幅的四个离散事件中进行了比较:起跳、对侧蹬踏、对侧蹬踏和对侧蹬踏。请注意，这个角度-角度图产生了一个心形图案，这是典型的膝盖-大腿

第2章■电机性能的测量 39

65

55

45

35

**角度(度)**

25

15

5

–5

–15

–25

–35

0

**手腕位移**

10 20 30 40 50 60 70 80 90

省道释放

**手臂运动时间**

100



100

–0

**角速度(度/秒)**

–100

–200

–300

–400

–500

–600

0

10 000

**角加速度(度/秒/秒)**

8 000

6 000

4 000

2 000

0

–2 000

–4 000

–6 000

–8 000

–10 000

0

**手腕速度**

10 20 30 40 50 60 70 80 90

省道释放

**手臂运动时间对手腕加速度的影响**

省道释放

10 20 30 40 50 60 70 80 90

**手臂运动时间**

100

100

**图2.7**投掷飞镖过程中腕关节位移、速度和加速度的记录。X轴

在每个图表中是投掷飞镖的手臂运动的总运动时间的百分比。每个图中的垂直线表示省道的释放，大约发生在手臂运动总运动时间的51%。来源:数据来自一个实验中的一个部分

*J.J.(2003年)。复杂运动技能学习过程中环境对表现结果和运动协调性变化的影响。路易斯安那州立大学博士论文。*

40 第一单元■运动技能和能力介绍

**熟练的赛跑运动员**



2

3 n

试用标识612

速度4.2米/秒

国际贸易组织(InternationalTradeOrganization)

设想

立方尺/秒(cubicfeetpersecond)

首席技术官(ChiefTechnologyOfficer)

n

0

4

**扩展**

3 n

**膝盖** 2

**(rad)** n

2

1

**弯曲**

0

3

4 5 6 7

**反向旋转**

**大腿(弧度)**

**前冲**

**三名膝盖以下截肢者**

4



12314

2.7 m/s



637

3.7 m/s

设想

国际贸易组织(InternationalTradeOrganization)

首席技术官(ChiefTechnologyOfficer)

立方尺/秒(cubicfeetpersecond)



432

3.8 m/s

3

**膝盖** 2

**(rad)**

1

0

3 4 5 6 7

**大腿(弧度)**

**图2.8***显示熟练的跑步者(上图)和三名膝盖以下截肢者(下图)在跑步过程中膝盖-大腿关系的角度-角度图。缩写表示同侧(左)脚踏(IFS)、同侧起跳(ITO)、对侧(右)脚踏(CFS)和对侧起跳(CTO)，它们是跑步步幅的四个组成部分。资料来源:伊诺克，R.M.，等人(1978年)。膝盖以下截肢者跑步步态。美国物理医学和康复杂志，61，70–78。*

步态中的关系模式。图的底部显示了三个儿子的类似图表，他们在膝盖以下截肢，并戴着假肢。值得注意的是，截肢者的膝关节在

像熟练的跑步者一样开始站姿。这些例子表明，运动学测量的一个重要特点是，它们使我们能够描述一项技能在运动过程中关键组成部分的特征。

第2章■电机性能的测量 41

900

S3试验1号膝盖 S3试验五膝 S3试验45膝 S3试验80膝

S3试180膝

600

**扭矩(牛米)**

300

0

–300

0 40 80 120 160 200 240 280 320 360 400

**时间(毫秒)**

*图2.9桑德斯和艾伦的一项实验结果显示，在受试者从平台上跳下并立即开始最大高度的垂直跳跃后，一名受试者在与表面接触期间的膝盖扭矩。图表上的每一条线都代表了图表上的键所标注的试验的性能。资料来源:桑德斯(1993年)。人类运动科学，12，299–326。*



# 动力学

动力学这个术语指的是在研究运动时对力的考虑。*运动学*指的是不考虑运动原因的运动描述符，而动力学指的是作为运动原因的力。换句话说，正如苏珊·霍尔(2019)在她的生物力学教科书中所说，“力可以被认为是作用在身体上的推或拉”(第61页)。人类运动可以包括外部和内部的力量来源。比如重力和空气阻力是影响跑步和走路的外力；水阻力是一种影响游泳运动的外力。肌肉通过对身体关节的推拉为内力提供基础。

要了解力的作用在我们理解人类运动中的重要性，一种方法是注意到牛顿的三个运动定律都提到了力的作用。在他的第一定律中，力是启动、改变或停止运动所必需的。他的第二定律表明，力影响物体动量的变化率

对象。他的第三定律认为力参与了两个物体之间相互作用的动作和反应。

人体运动的一个重要的力相关特征是人体运动包括身体部分围绕其关节轴的旋转。力对这种旋转的影响称为*关节*扭矩，或旋转力(参见图2.9，了解如何用图形表示关节扭矩的示例)。因为

**速度描述物体位置相对于时间的变化率的运动学度量。它是由位移除以时间(例如，米/秒，公里/小时)得出的。**

**加速**度:描述运动过程中速度变化的运动学度量；我们衍生

它是由速度除以时间的变化得出的。

**动力学研究力作为运动原因的作用。**

42 第一单元■运动技能和能力介绍

在许多不同类型的力及其对人类运动的影响中，研究运动技能学习和控制的研究者通常将力的测量作为他们研究的一部分。

研究人员可以使用力板、力传感器和应变仪等设备直接测量特定的力。他们使用力板来测量地面反作用力，这涉及到物体(如人)和地面之间的相互作用。测力板是实验室和诊所中进行运动研究和康复的常用测力装置。研究人员使用力传感器和应变仪来测量肌肉产生的力；这些在实验室和临床环境中很流行，用于确定受试者执行肢体运动任务时产生的力的大小。

牛顿第二运动定律允许我们通过考虑力与速度或加速度以及物体质量的关系来间接测量力:力=质量×*加速度。*因此，如果加速度可以通过运动的运动学分析来评估，我们就可以计算力，而不需要使用机械和电子测力仪器。

当物体在空气和水中运动时，运动科学家对作用在物体上或由物体推动的力非常感兴趣。这些力是用流体力学的方法计算的，流体力学是流体力学的一个分支，研究流体是如何流动的。了解高尔夫球在空中飞行时或在水中运动时作用在手上或球拍上的升力和阻力，可以为设计新设备和新运动技术以提高人类表现提供见解。例如，继罗伯特·施莱霍夫(1979年)在游泳推进的流体力学方面的开创性工作之后，马里尼奥和他的同事(2010年)报告说，在每次游泳划水的划水阶段，手指稍微张开可以显著增强推进力，范·霍韦林根和科尔-里格斯(2018年)最近证实了这一发现。因此，一个非常微妙的技术修改可以对性能产生戏剧性的影响。

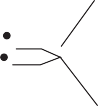
**肌电图**

运动涉及肌肉的电活动，可以通过**肌电图**来测量。研究人员通常通过将表面电极附着在肌肉上的皮肤上，或者将细金属丝电极插入特定的肌肉来实现这一点。这些电极检测肌肉的电活动，然后可以用计算机或测谎仪记录下来。图2.10显示了腿的同侧股二头肌(BFi)和对侧股二头肌(BFc)以及肩带的前三角肌(AD)的一些电活动的肌电图记录，该任务需要人根据信号将他或她的手臂从反应时键移动到肩膀正前方的位置。为这些肌肉呈现的肌电信号显示了肌肉中何时开始电活动；我们可以通过每块肌肉痕迹的频率和高度的增加来识别这种活动。在图中，实时键移动的实际开始是由实时记录结束时的垂直线指定的(图2.10中的第5行)。

研究人员以多种方式使用肌电图信息。与运动学习和控制问题最相关的一个是使用肌电图记录来指示肌肉何时开始和结束激活。与肌肉不活动时相比，当肌电图记录的频率和高度增加时，肌肉活动开始。当肌电图记录包括参与同一运动的几块肌肉时，研究人员可以通过观察肌肉激活模式的顺序来了解运动协调的过程。例如，在图2.10中，在移动手臂的信号之后，第一个显示激活的肌肉是同侧的股二头肌(Bfi)，它是与移动的手臂在身体同一侧的腿部肌肉；接下来依次是前三角肌，在实验中，它根据运动类型移动手臂。这个激活序列告诉研究人员，在实验中进行的简单手臂运动不仅仅涉及手臂肌肉活动。研究人员将肌肉活动的顺序解释为身体为手臂做准备

第2章■电机性能的测量 43

警告刺激



密钥释放

反应时间

**任务肌肉**

前三角肌

**姿势肌肉**

同侧股二头肌(BFi)

对侧股二头肌(BFc)

**顺序**

1.

1. 车架一体化结构
2. 广告
3. 英国时尚协会
4. 射线检验

刺激开始

*图2.10使用肌电图记录来测量运动反应。左边的图显示了反应时间仪器和每个电极的位置，以记录每个感兴趣的肌肉群的肌电图。右图显示了三个肌肉群的肌电图记录和反应的反应时间间隔。来源:李，韦恩。(1980).运动行为杂志，12，187。*

像这样的运动首先激活负责稳定身体姿势的腿部肌肉。

## 第二届世界麻将运动会

全肌肉机械肌电描记术是一种相对较新的、非侵入性的测定肌肉活动的技术。它通过传导电流的针来检测和测量最大经皮神经肌肉刺激(PNS)后肌肉腹部的侧向位移。激光传感器通常用于测量肌肉腹部的位移。受刺激肌肉腹部的起伏与肌肉肌腱内纵向张力的发展相关，尽管起伏在时间上滞后于张力。wMMG相对于EMG的一个优点是，越来越多的证据表明，它有可能估计单块肌肉中的肌纤维成分(德约杰维奇，

瓦伦西奇，克内兹和埃尔森，2001年；Gorelick&Brown，2007，Than，Seidl，&Brown，2019)。

## 近红外光谱技术

近红外光谱(NIRS)是另一种测量肌肉活动的非侵入性方法。它本质上决定了肌肉中的氧化水平。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，在那里被吸收或散射，从而可以确定血容量的变化以及氧合血浓度的变化

**肌电图**是一种记录肌肉或一组肌肉电活动的测量技术。



44 第一单元■运动技能和能力介绍

血红蛋白、脱氧血红蛋白和氧细胞色素氧化酶。该方法通常使用至少两个波长不同的光探针，最常见的是760纳米和800纳米。较长的波长被氧合血红蛋白和脱氧血红蛋白同等吸收，而较短的波长主要被脱氧血红蛋白吸收。然后，两种探针之间的吸收差异被用作骨骼肌耗氧量的指标。

因为NIRS使用的光波长可以穿透头骨，这项技术也被用来评估大脑活动。研究大脑的科学家对这项技术特别感兴趣，因为它便宜又便携，与本章下一节讨论的更成熟的大脑活动测量方法相比，它可能具有很大的优势。然而，NIRS有一些缺点，这使得许多人质疑它作为一种测量大脑活动的技术的最终价值。例如，在光被散射之前，光探针不能很深地穿透到大脑中，并且对于不同类型的组织，给定波长的光的路径长度并不为人所知。因此，NIRS只能提供关于大脑最外层——皮层——的信息。此外，它的空间分辨率有限。NIRS仍然具有便携的优势；这一优势对运动科学家来说尤其重要，因为它可以在参与者运动时测量大脑活动。然而，随着研究人员开发新的方法，从更传统的大脑活动测量(如脑电图)收集的信号中去除与运动相关的伪影，这种优势可能正在消失。Nordon，Hairston&Ferris，2018)。

# 大脑活动测量

随着研究大脑活动的技术的增加，越来越多的运动学习和控制研究人员正在研究大脑活动和运动技能表现之间的关系。而不是依赖行为测量

推断大脑活动，这些研究人员使用各种技术来测量大脑活动本身。这些技术中的大多数都是从医院和临床环境中改编而来的，用于诊断目的。对于从神经促进过程的水平研究运动学习和控制的研究人员来说，这些技术提供了一个窗口，可以了解一个人在执行运动技能时的大脑活动。在接下来的章节中，我们将简要讨论一些更突出的大脑活动测量技术，这些技术被运动学习和控制研究人员使用，你将在本书的其他章节中看到。

## 脑电图

像骨骼肌和心肌一样，大脑产生电活动，这可以通过**脑电图**来测量。神经学家通常使用脑电图来评估大脑疾病。研究人员使用同样的无创无痛程序，这类似于记录骨骼肌的表面肌电图。脑电图记录包括在一个人的头皮上放置几个电极。通常，电极被放置在头皮上的标准位置，以测量电极下数千或数百万个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要或设备限制而变化。电极可以单独放置在头皮上，或者像在研究环境中更常见的那样，包含在弹性帽或软帽中的适当位置。

脑电图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。因为大脑活动是有节奏的，脑电图记录与特定的节奏有关，这些节奏通常被称为波。根据节奏活动的速度可以识别出四种波(见图2.11)。最快的节奏是β波，它发生在大脑皮层的一个区域活跃的时候；接下来是*阿尔法波，*发生在安静、清醒的状态；*θ波*仅次于最慢，出现在一些睡眠状态；最慢的是δ波，这是深度睡眠的特征。一般来说，精神活动

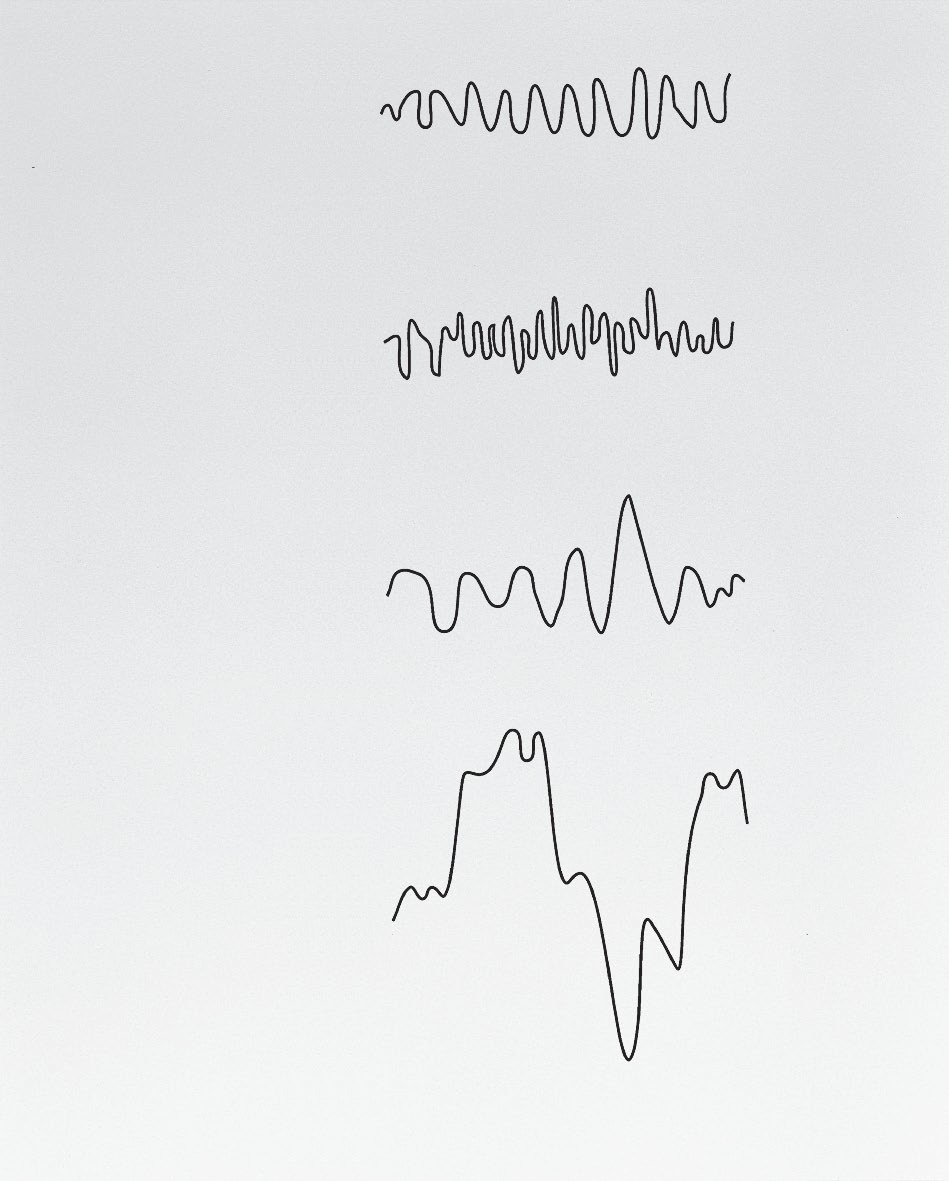


mag40703\_ch02\_026-052.indd44 下午3:54

第2章■电机性能的测量 45



**a.**



阿尔法波

β波

θ波

三角洲波



**b.**

**图2.11**(a)头部附有电极的病人。(四次脑电图描记。

1. phanie/科学资源

产生快速的β波，而非做梦睡眠和昏迷产生缓慢的θ波。

在运动技能表现的研究中，研究人员使用脑电图来调查几个

问题(参见哈特菲尔德和希尔曼，2001年，哈特菲尔德，豪夫勒，洪，斯伯丁，2004年，和霍姆斯和赖特，2017年，对这一研究文献的评论)。最流行的是描述熟练运动员的大脑皮层兴奋性特征，包括在运动中表现运动员在表演前或表演中的精神状态，如步枪锐利射击(如Deeny，Hillman，Janelle，&哈特菲尔德，2003)，手枪射击(Loze，Collins，&Holmes，2001)，飞镖投掷(Radlo，Sternberg，Singer，Barba，&Melnikov，2002)，高尔夫(Crews&Landers，1993)和射箭(Landes等人，1991)。虽然脑电图较少用于研究运动技能的学习(例如，埃特尼尔，惠特尔，兰德斯，彼得鲁泽罗，萨拉扎，1996；Grand等人，2015年；兰德斯等人，1994)，值得注意的是，研究人员已经显示出可考虑的兴趣，在运动中的实验的发展是否可以促进基于脑电图

**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，根据节律活动的速度来识别。**

46 第一单元■运动技能和能力介绍

神经反馈培训(如Ring，Cooke，Kavus-sanu，McIntyre，&Masters，2015；项，侯，廖，廖，&胡，2018)。

## 宠物

脑电图作为一种评估大脑活动的技术的局限性之一是，它仅限于大脑皮层表面的活动，而不能显示特定大脑区域活动的解剖结构。神经成像技术的发展为特定大脑区域的活动提供了清晰和精确的图像，克服了这一局限性，为研究人员更好地理解可观察到的运动技能表现和大脑活动之间的关系提供了令人兴奋的机会。正电子发射形貌术是这些技术中的第一种。正电子发射断层扫描发展于20世纪70年代，显示大脑中的血流或代谢活动，并提供一个进入大脑所有区域的窗口。这项技术包括将放射性溶液注入血液或吸入血液，其中原子发射带正电荷的电子(即正电子)。正电子与血液中电子的相互作用产生电磁辐射光子。然后，这些发射正电子的原子的位置可以通过扫描仪找到，在扫描仪中，探测器拾取光子在大脑中的位置(详见熊、康纳斯和帕拉迪索，2001年)。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“点亮”大脑区域；计算机程序捕捉并产生这些活跃大脑区域的图像。当“点亮”的大脑区域根据色谱进行颜色增强时，研究人员可以确定每个区域的活动量。

使用正电子发射断层成像的运动学习和控制研究人员让一个人参与到可以在正电子发射断层扫描仪中执行的运动技能的执行中，该扫描仪仅围绕头部，但要求该人在整个扫描过程中仰卧。当一个人执行这项技能的特定方面时，正电子发射断层扫描会检测到激活的大脑区域。尽管正电子发射断层扫描作为一种神经成像技术仍然很受研究人员的欢迎

对认知和运动活动的神经基质感兴趣，近年来它在这类研究中的应用已经减少。主要原因是改进技术的发展，这种技术可以提供更高的图像分辨率，更具成本效益，并且不需要将放射性同位素注入血流。然而，聚酯仪器的持续技术创新表明，它将继续与研究人员和临床医生相关(伯格和切里，2018年)。

## 核磁共振成像

*磁共振成像*是许多医院和诊所使用的一种常见诊断技术。磁共振成像机或扫描仪包含一个磁场，可以重新排列人体的氢原子，这成为创建非常清晰的人体组织二维和三维图像的基础。核磁共振成像可以在几毫米厚的“切片”中从任何方向(即平面)产生身体任何部分的图像。除了对身体组织成像之外，磁共振成像还可以通过检测血液氧合特性来评估血流的变化。为了研究大脑功能，研究人员利用核磁共振成像的血流检测能力。功能性这个术语很重要，因为研究人员使用这种技术来观察一个人在执行任务时的大脑功能(即活动)。当大脑的一部分活跃时，更多的血液被导向该区域。功能磁共振成像(fMRI)可以检测血流变化，并可以提供显示特定时间活动大脑区域的彩色图像，还可以通过计算BOLD(血氧水平依赖)幅度来提供定量结果，研究人员使用BOLD来确定大脑的活动区域。当研究人员报告他们使用功能磁共振成像时，他们通常会描述提取切片的特定大脑区域以及切片的大小和方向。将功能磁共振成像用于运动控制和学习实验的一个重要方面是，由于正电子断层扫描仪的限制，研究人员需要让参与者参与到可以在其中执行的任务中

第2章■电机性能的测量 47



核磁共振成像机器的物理限制和约束。虽然功能磁共振成像在运动控制和学习研究中的应用相对较新，但我们发现越来越多的研究报告了它的应用。你会在这本书的不同章节中看到一些例子。

## 梅格

大脑活动评估的最新技术进展之一是脑磁图(MEG)。评估是脑电图的一种变化(注意“脑电图”的相似性)。脑电图评估大脑中的电活动，而脑磁图评估大脑中神经元活动产生的磁场。对研究人员来说，脑磁图的优势之一是它提供了大脑功能的直接测量；这不同于其他大脑测量方法，如功能磁共振成像和正电子发射断层扫描，它们是次要的测量方法，因为大脑活动是在大脑代谢的基础上进行评估的。脑磁图提供了非常高的时间分辨率，这使得它对于识别受损的脑组织特别有用；这对于诊断和外科手术，以及在认知和运动活动过程中观察大脑活动都是至关重要的。脑磁图的记录系统包括使用传感器来检测大脑中由神经元活动引起的磁场。分析这些场的空间分布并用于确定活动的位置。研究人员通常将脑磁图的结果与脑电图和核磁共振成像的结果相结合。脑磁图结果的增加提供了与受试者参与的活动相关的活动脑结构的更精确的定位。

## （同terms）合同或协议书的条件

评估大脑活动的一种方法是经颅磁刺激(TMS)，其直接目标是确定运动活动。与涉及大脑扫描和记录大脑电、磁或血流活动的大脑活动测量类型不同，经颅磁刺激刺激或抑制大脑皮层特定区域的活动。因此

特定大脑区域的功能是根据一个人在大脑区域受到这种刺激时的行为来推断的。经颅磁刺激包括在感兴趣的大脑皮层位置将线圈放置在人的颅骨上。从这个线圈中，一个磁场的短脉冲(称为脉冲)指向皮层的那个区域。脉冲在大脑中感应出电流。由于这种电流会改变特定区域的大脑活动，研究人员通常使用经颅磁刺激来验证大脑区域的功能，该功能是基于从脑活动测量(如功能磁共振成像或正电子发射断层扫描)中得出的预测功能。

对确定运动控制和学习的神经基础感兴趣的研究人员发现经颅磁刺激是他们研究的有用技术。当经颅磁刺激应用于大脑运动皮层的特定区域时，它会在身体相对侧的相应肌肉中引发运动诱发电位(MEP)。运动诱发电位的振幅可以通过肌电图来测量，它提供了连接皮层和肌肉的神经束兴奋性的指标。当经颅磁刺激被反复应用时，它可以引起大脑活动的更持久的变化，使受刺激的大脑区域更容易受到影响

磁共振成像(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进行技能或活动时，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。

**经颅磁刺激(TMS)是一种评估大脑活动的非侵入性方法，包括指向大脑皮层特定区域的短脉冲磁场(称为脉冲)。这种磁性活动的脉冲**

暂时中断大脑该区域的正常活动，这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。

48 第一单元■运动技能和能力介绍

去改变。您将在本书的各个章节中看到这些技术的使用示例。

# 测量协调

最近运动学习和控制研究中一个更令人兴奋的现象是对运动相关协调的研究。其中一个原因是基于方法论。在基于计算机的运动分析技术出现之前，运动的运动学测量是一个昂贵、劳动密集型和耗时的过程，包括对慢动作电影的逐帧分析。随着基于计算机的运动分析系统的发展，涉及复杂技能的研究急剧增加，这使得能够评估协调性。

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部分之间的运动关系。虽然研究人员已经开发了几种量化协调特征的方法，但我们将只考虑两种方法作为衡量协调的可能方法的例子。所有这些方法的共同之处在于，当一个人执行运动技能时，分析肢体和肢体片段在特定时间(即时间)和空间(即空间)模式中的运动。观察这些模式的方法之一是创建与肢体部分相关的关节运动的图形角度图，例如图2.8中描述的膝盖和大腿关节。然而，关于角度-角度图的测量问题已经发展。我们接下来讨论这个问题。

## 角度-角度图的定量评估

随着研究人员获得了分析复杂运动的能力，他们倾向于只报告肢体部分关系的定性运动学描述。然而，为了从这些描述中做出关于协调的推论，研究人员需要提供以下方面的定量评估

他们。尽管研究人员提出了各种各样的技术，但互相关技术已被普遍接受。

***互相关技术。描述两个关节协调模式的角-角直径图有助于相关性分析，因为研究人员对两个关节在特定时间点的关系感兴趣。因为关节的运动分析提供了许多数据点来进行比较(回想一下本章前面关于运动学测量的讨论)，所以可以将一个关节的每个数据点(特定时间点的X-Y空间位置:即运动分析软件对关节在空间中的位置进行采样的时间)与另一个关节的每个数据点相关联。要进行这种类型的关联，需要一个称为交叉关联的统计过程，当感兴趣的关系在一段时间内发生时，就需要交叉关联。与其描述计算互相关的细节，不如说它产生了一个相关系数，该系数被解释为两个关节遵循相似运动模式的程度。(有关互相关技术的更多信息，请参阅Mullineaux，Bartlett&Bennett，2001，和李&考德威尔，1999。)***

**作为协调措施的相对相位许多运动技能涉及循环运动。这意味着他们在一定时间内重复一个运动模式，例如行走或跑步(图2.8中步态的步循环是一个循环运动的例子)。这些类型的技能特别有趣，因为它们提供了一种可量化的方法来衡量协调性。这是通过计算技能的一个周期或一个周期的一部分中两个肢体段或肢体之间的相对相位来实现的。循环运动的一个***阶段***是指循环中的一个特定点。因为循环中的任何点都涉及肢体或肢体段的空间位置和时间点，所以肢体或肢体段的运动可以是**

第2章■电机性能的测量 49

**游泳动作协调性指数**



**仔细看看**

Chollet和他在法国的同事开发了一种游泳划水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划水成绩具有实用价值(Chollet，Chalies，Chatard，2000)。

**协调指数**

研究人员从基于视频的优秀游泳运动员表现的运动分析中得出IdC。四个摄像头(一个在水下，一个在游泳池边的水上手推车上，一个提供正面水下视图，一个在游泳池上方跟踪游泳者的头部)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例子。Chollet，Seifert和Carter(2008)计算了每个游泳者不同游泳速度下手臂运动的IdC。IdC是根据中风六个阶段的左右臂位置数据计算的:1。手进入水中并抓住；2. 拉；3. 推；4. 手滞后时间；5. 清算；6. 恢复。推拉阶段的持续时间相加，以建立一个推进阶段；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=(第一个右臂行程推进开始和第一个左臂行程推进结束的时间)第二个右臂行程推进开始和第一个右臂行程推进结束的时间*

这项实验包括14名国际标准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. 最小化清除阶段。。。手在大腿的滞后时间。。。通过在这个特定阶段提高手速。. .
2. 修改他们的手扫从“双峰”到“三峰中风模式”与部分优先清理阶段。. .
3. 补偿清除阶段的速度损失。。。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滞后时间”(第681页)。

由位移-速度图描述，该图描绘了运动的空间和时间特征之间的关系。该图被称为相位图(或相位部分特征)，表示肢体或肢体部分在一个轴上的角位移和在另一个轴上的角速度。当以这种方式绘制一个循环运动时，结果是一个类似于图2.12中的图形，它是基于一个踏步循环的站姿部分(从一只脚的脚跟撞击到脚尖离开)的腿部运动

同一只脚)。相位图上的数据点是在运动分析中特定时间采样的X-Y坐标(例如，如果采样率为100赫兹，将有100个X-Y坐标数据点)。运动相位的计算很复杂，这里就不描述了。但是通过查看图2.12的底部面板，您可以看到相位角是如何从相位图中导出的。这里从X-Y坐标的原点到相位图上的特定点画一条线。最终*角*度是该点的相位角

50 第一单元■运动技能和能力介绍

1. 标准化角速度

1.0

0.5

toeoff

-0.5

脚跟0.5-

击

-0.5

-1.0

-1.0

1. 标准化角位置

1

ф

-1 1



-1

图2.12(a)腿运动的相位图

1.0

相对相位作为协调指数的解释是，两个关节或肢体之间的高度协调与相对相位相关联，该相对相位在运动的几个周期内保持一致。

除了用相对相位作为肢体段间协调性的指标外，研究人员通常用它来描述两臂或两条腿之间，或者一臂与一腿之间的关系。比如走路时两条腿180度异相，因为一个肢体总是比另一个肢体落后半个周期。相反，在跳跃过程中，两条腿是同相的(它们之间的相位关系是0或360度)，因为它们以完全相同的方式运动。当两个肢体之间的相对相位关系在几个运动周期中高度一致时，这两个肢体被认为是强协调的或“紧密耦合的”第11章的图11.4给出了如何用图形表示两臂之间相对相位的例子。

前面段落中描述的相对相位测量被称为连续相对相位，因为它代表了整个周期运动的相对相位

跑步过程中一步循环站姿部分的分段。(从上图所示相位图推导相位角的例子(a).资料来源:改编自Hamill，j.，vanEmmerik，R.E.A.，Heiderscheidt，B.C.，&Li，L.(1999)。下肢跑步损伤的动力系统方法。

*临床生物力学，14，297–308。*

运动时间。研究人员使用相位角来评估运动协调性的一种方法是通过比较特定时间点的两个肢体部分或肢体的相位角。这种比较建立了**相对相**位，相对相位是通过从一个肢体段或肢体的相位角中减去另一个肢体段或肢体的相位角来计算的。相对相位的范围可以从0度(或360度)到180度，0度表示肢体段或肢体之间的同相关系，180度表示*反相*(或异相)*关系。*

运动的周期。另一种类型的相对相位测量，称为点估计相对相位，仅指运动周期中的一个点。作为协调的指标，点估计相对相位是一个更普遍的指标。连续相对阶段提供了更详细的协调分析。

**相对相位:在一个循环运动过程中，两个肢体部分或肢体之间协调性的指标。它基于计算特定时间点上每个肢体段或肢体的相位角，然后从另一个相位角中减去一个相位角。相对相位范围从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。**

第2章■电机性能的测量 51

限制，性能限制来源的位置，和技能提高的证据-



**总结**

理解运动学习的一个基本要素是对运动表现的测量。本文提出的所有概念都是基于研究人员观察和测量运动表现的研究。测量运动表现对于评估运动缺陷以及学生或患者在实践和治疗过程中的表现评估至关重要。在这一章中，我们重点介绍了测量运动表现的不同方法，以及我们在运动学习研究和应用环境中使用这些测量方法的方式。

以下是本章讨论的性能度量问题和示例:

* + 两类绩效测量:绩效结果测量(测量运动活动绩效的结果)和绩效产生测量(测量产生运动活动绩效结果的运动相关特性)。
  + 绩效结果测量示例:反应时间、运动时间以及一维和二维运动目标的三种绩效结果误差测量。
  + 性能生产测量示例:三种运动学测量(位移、速度和加速度)、作为动力学测量的关节扭矩和肌电图。还包括五项大脑活动测量:脑电图、正电子发射断层扫描、功能磁共振成像、脑磁图和经颅磁刺激。
  + 关注运动协调的定性和定量测量，包括互相关技术和相对相位的使用。



**从业者要点**

* + 运动技能表现的测量对于为表现能力的评估提供定量基础是重要的

因为你的干预策略。

* 您可以测量运动技能表现的结果和/或结果的运动和神经基础。根据您需要的绩效相关信息选择措施类型，以便为您的同事实现您的目标。
* 反应时间是一个有用的衡量标准，可以提供关于一个人在特定情况下执行技能的准备情况的信息。
* 错误测量可以提供关于一个人为了达到某项技能的行动目标而需要纠正的运动问题类型的信息。
* 运动学、动力学、肌电图、大脑活动和协调措施可以帮助评估一个人在执行技能时与运动相关的问题。除了需要适当的技术来确定这些措施之外，您还需要确保这些措施得到正确的解释。



**相关阅读**

Barr，W.B.，Prichep，L.S.，Chabot，r.，Powell，M.R.，&McCrea，M.(2012)。测量脑电活动以追踪运动相关脑震荡的恢复情况。*脑损伤，26*(1)，58–66。

伯恩斯坦，M.B.，库珀，N.R.，休斯，g.，罗梅，V.(2019年)。前额经颅交流电刺激改善运动序列产生。行为大*脑研究，*361，39–49。

Boyd，L.A.，Vidoni，E.D.，和Daly，J.J.(2007年)。接听电话:神经影像学和电生理证据对康复的影响。物理疗法，87，684–703。

*Cacioppo，J.T.，Bernston，G.G.，&Nusbaum，H.C.(2008)。神经影像学作为心理科学工具箱中的新工具。心理科学的当前方向，17，62–67。卡森，A.J.(2019)可穿戴脑电图及以后。生物医学工程快报。https://doi.org/10.1007/s13534-018*

-00093-6

费奇曼，M.G.(2015年)。学习方法不当的持续性问题——评伍尔夫等(2014)和伍尔夫等(2015)。*人*类*运动科学，*42，225–231。

m.hallett(2000年)。经颅磁刺激与人脑。*自然，*406，147–150。

52 第一单元■运动技能和能力介绍

金伯利，T.J.，&刘易斯，S.M.(2007)。神经成像技术。物理疗法，*87*，670–683。

Lohse，K.R.，Wadden，k.，Boyd，L.A.，&Hodges，N.J.(2014)。短时间尺度和长时间尺度的运动技能获得:神经影像数据的荟萃分析。*神经心理学，59，*130-141。

Mah，C.D.，Hulliger，m.，Lee，R.G.，和Marchand，A.R.(1994)。人体运动协同学的定量分析:步态的结构模式分析。运动行为杂志，26，83–102。

曼诺，b.，利普西茨，洛杉矶，韦恩，P.M.，彭，C-K.，&李(2013)。复杂性为基础的措施告知太极对患有周围神经病的老年人站立姿势平衡的影响。英国医学委员会*补充和替代医学，13*(87)。

索德伯格(2000)。运动学肌电图数据的使用和解释指南。物理疗法，80，485–498。

VanEmmerik，R.E.A.，Rosenstein，M.T.，McDermott，W.J.，&Hamill，J.(2004)。人类运动的非线性动力学方法。*应用生物力学杂志，20，*396–420。

*沃尔德特，s.，普雷塞尔，h.，德曼特，e.，布劳恩，c.，比尔鲍默，n.，阿尔特森，a.，和梅林，C.(2008)。从脑磁图和脑电图解码的手运动方向。神经科学杂志，28，1000–1008。*





**研究问题**

1. (描述绩效结果测量和绩效生产测量之间的差异。(b)针对电机性能的每种测量方法，给出三个例子。
2. (描述简单反应时、选择反应时和区别反应时的不同情况。(b)分馏RT是什么意思？(c)MT和RT有什么区别？
3. 在动作目标是表现准确性的情况下，通过计算AE、ce、VE可以获得关于一个人表现的哪些不同信息？
4. 根据一系列推杆失误的结果，你如何确定高尔夫球手需要纠正的问题类型？
5. 如何确定连续技能的性能误差，例如在路上驾驶汽车？
6. 描述运动的三种运动学度量，并解释每种度量告诉我们关于运动的什么。
7. 在描述运动时，线性运动和角运动是什么意思？如果你在测量一个人的行走表现，你会在什么时候使用这些类型的分析？
8. 与测量人体运动相关的术语“动力学”是什么意思？
9. 利用肌电图可以获得关于一个动作的哪些信息？
10. 描述三种常用于测量运动技能表现过程中大脑活动的技术。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？
11. 简要描述两种技术，可以用来告诉我们一些关于两个肢体或两个肢体部分的协调特征。

**具体应用问题:**

描述一个你和别人一起帮助他们提高运动技能的情况。您的主管要求您在开始这项工作之前回答几个问题:

1. 你可以用什么绩效结果方法来评估他们的绩效？
2. 每种方法的优缺点是什么？
3. 您会使用哪些结果衡量标准，为什么？
4. 既然你有合适的技术可用，什么运动测量将帮助你评估他们的表现？
5. 运动学测量提供的信息如何帮助你评估他们的技能表现？