功能技能的表现和运动控制特征

概念:各种运动技能表现的具体特征为我们理解运动控制提供了基础。

章 **7**

完成本章后，您将能够

* 描述费茨定律，并解释它与速度-精度权衡现象的关系
* 定义术语*理解；*描述一个理解的例子；从运动控制的角度，讨论理解动作的各个组成部分之间的关系；讨论视觉在理解中的作用
* 描述笔迹如何提供了一个很好的例子，说明运动等效的概念和视觉对笔迹的影响
* 描述对称和非对称双手协调的区别，讨论为什么非对称双手协调比对称更难学
* 描述与行走和跑步步态模式相关的节奏关系，在运动过程中保持头部稳定性的作用，以及在特定运动速度下与步态转换相关的特征
* 描述捕捉移动物体的三个运动阶段以及视觉在每个阶段中扮演的角色，并回答在物体飞行过程中能够看到自己的手是否重要的问题
* 讨论视觉如何影响移动物体的打击，以及这种影响告诉我们这种类型的动作的控制
* 描述当行动目标是接触物体或避免接触环境中的物体时，视觉如何影响运动

# 应用

适当的指导和实践干预程序对于帮助人们有效地获得或恢复技能是很重要的。正如你在第5章和第6章中看到的，对运动控制理论和运动控制中涉及的感觉过程的基本理解构成了这些程序发展的基础的重要部分。考虑下面两个例子。如果一个人

145

在伸手、抓握和用杯子喝水时有困难，治疗师将如何制定适当的干预策略来帮助患者掌握这种技能？这个问题的答案的一个重要部分来自于与理解的马达控制有关的研究。或者，假设一个网球班的新生在学习发球时遇到了问题，因为他或她不能协调抛球和球拍的运动，而这些运动必须同时发生才能成功发球。电机控制

146 单元二■电机控制简介

研究人员已经确定了双手协调的一些明显特征，为教师和教练提供了一些关于如何克服网球发球问题的见解。

这两个例子说明了对运动控制过程和与特定运动技能相关的特征的理解可以帮助你洞察在技能学习和康复环境中帮助人们克服表现问题的情况。我们可以考虑更多的例子，但这两个应该让你看到如何应用对性能和运动控制特征的理解来与追求学习或重新掌握运动技能的人一起工作。在本章讨论中，您将了解与各种技能相关的具体性能和电机控制特性。其中一些是特定运动技能所独有的；其他的在几项技能中很常见。如果你期望帮助你未来职业中的人学习或康复的技能包括在内，你可以发现具体的表现

确定每种类型的技能都包含独特的表现特征，这些特征对于我们理解运动控制过程和为帮助人们学习或恢复技能的从业者提供指导是必不可少的。在本章接下来的几节中，我们将考虑研究人员在考虑这些目标的情况下研究的几种更为突出的运动技能类型。这些技能没有特别的顺序，但提供了各种技能来建立第5章和第6章中讨论的概念如何应用于特定的功能性运动技能。

重要的是要指出，在这些技能的讨论中，我们将把感觉系统参与运动控制的讨论主要限制在视觉的作用上。虽然，正如你在第六章中读到的，前庭、触觉和本体感觉的感觉信息在功能技能的运动控制中起作用，但对这些作用的讨论超出了本入门书的范围。

你需要的性能和电机控制特性 要考虑到便于获取这些

技能。如果你希望帮助人们学习的技能

复原不包括在内，信息呈现

应该会给你提供一个知识库，你可以根据这个知识库来具体应用这些技能。

**要解决的应用问题选择一项在你未来的职业中你希望帮助人们学习或康复的运动技能。什么是**

当这些人学习或恢复这项技能时，这项技能的表现特征会给他们带来明显的困难？在帮助这些人学习或恢复技能的策略和程序中，你应该考虑哪些运动控制特征？

# 讨论

第五章中讨论的运动控制理论和第六章中讨论的感觉信息的作用来源于研究人员对人们在许多不同情况下执行各种日常和运动技能的观察。这些观察有

# 速度-准确性技能

许多运动技能要求一个人既要速度又要准确。例如，在足球比赛中踢点球，在棒球和垒球比赛中投快球，在钢琴上以快节奏弹奏歌曲，以及快速打字，都需要快速准确的动作来实现成功的表演。对于这些技能来说，速度和精确度的要求是由技能本身决定的。其他运动技能需要肢体运动的准确性，但不需要速度。例如，许多手动**瞄准技能**涉及手向目标移动，要求手以表演者确定的速度到达目标。这些技能包括将钥匙插入钥匙孔、将笔放入笔杆、在电脑键盘上打字以及穿针。

对于两种类型的速度准确性技能，那些需要快速和准确的运动和那些需要以未指定的速度准确运动的技能，我们通常观察到一种被称为速度准确性权衡的现象。这个

第7章■性能和电机控制特性 147

意味着移动的精度要求会影响移动速度，因此强调精度会降低速度，而强调速度会降低精度。因此，我们通常用速度来换取准确性，反之亦然。考虑在上述两种技能的例子中，这种权衡是如何发生的。对于足球中的点球，当球员试图以最快的速度踢球时，典型的结果是踢得不准确。相反，当球员试图将球踢到球门的一小部分来强调准确性时，结果往往是球踢得太慢，无法越过守门员。例如，将钥匙放入钥匙孔，将钥匙向钥匙孔移动过快通常会导致钥匙孔丢失，而强调准确性会导致手的移动变慢。

## 费茨定律

证明速度-精度权衡的研究证据可以追溯到1899年由R.S.Woodworth发表的一篇文章，他是运动控制研究的先驱之一(见Elliott，Helsen&Chua，2001，关于Woodworth的实验和对研究的影响的综述)。在接下来的半个世纪里，运动技能表现中速度-准确性权衡的证据变得如此普遍，以至于开发了一种数学定律来预测给定特定准确性特征的运动速度。这条法律，也就是众所周知的费茨定律，是由保罗·费茨(1954)根据他的工作描述的。它已经成为与人类行为相关的最重要的“法则”之一。在科学中，定律指的是当涉及某些变量时，可以预测结果或结果的情况。

费茨定律预测了一个要求速度和精度的姿势的运动时间，在这个姿势中，一个人必须尽可能快而准确地移动到一个目标。预测绩效结果的变量是移动*距离*和*目标*大小。根据费茨定律，如果我们知道这两个变量的空间维度，我们就可以预测击中目标所需的运动时间

目标。用数学术语来说，费茨定律将这种关系描述为

MT=*a*+*b*对数(2*D*/*W*2)

式中

MT是运动时间

和b是常数

距离移动了吗

是目标宽度或大小

也就是说，移动时间将等于移动距离的两倍除以目标宽度的对数2。随着移动距离的增加，移动将花费更长时间，随着目标尺寸变小，移动速度将降低，以确保移动准确。换句话说，有一个速度-精度的权衡。费茨指出，由于目标尺寸和运动距离之间的合法关系，方程对数(2*D*/瓦)为速度-准确度技能提供了一个难度**指数**2。这个

手动瞄准技能涉及手臂、手和/或手指向目标移动的运动技能；例如，将钥匙插入钥匙孔，用线将针穿入，以及在计算机键盘上打字。

速度准确性权衡运动技能表现的一个特征，其中技能的执行速度受运动准确性要求的影响；代价是速度越快精度越低，反之亦然。

**费茨**定律一种人类行为定律，当移动距离和目标尺寸已知时，规定瞄准运动的运动时间；它被量化为MT=a+*b*对数(2*D*/瓦特)，其中a和b是常数，*W*=目标宽度，D=从起点到目标的距离2。

根据费茨定律，**难度指数**是对完成一项既需要速度又需要准确度的技能的难度的定量测量；它以对数(2*D*/瓦特)计算，其中瓦特=目标宽度，D=从起点到目标的距离2

目标。

148 单元二■电机控制简介



《在线学习中心实验手册》第7章的实验7a为您提供了一个机会，让您可以用特征来执行相互敲击的任务，从而体验费茨定律如何描述速度和精度之间的权衡。

**实验室链接**

通过用手指触摸物体，他们认为费茨定律“仍然是数学模拟指向方法的核心研究之一。。."并且已经被发现是“执行指向任务所需的平均时间的良好预测器”(第16页)。

如果我们将费茨定律应用于本节前面所描述的运动技能，应该可以看出这一定律对教学的影响

索引指定标识越高，任务越困难。这是因为更困难的任务需要更多的运动时间。

图7.1a显示了几个将不同标识字符化的重复点击任务维度的例子。图7.1b显示了带有这些和其他标识的任务的大致移动时间，以说明当人们被指示准确移动(即击中目标)时，任务难度和移动速度之间的关系。

费茨定律适用于许多技能。费茨最初的计算是基于一个相互敲击的任务，在这个任务中，参与者在指定的时间内尽可能快地在两个目标之间做重复的来回运动。对于这项任务，他们被告知要强调准确性。

虽然费茨定律是在实验室任务的基础上发展起来的，但重要的是要注意到，合法的速度-精度关系也适用于广泛的运动技能表现情况。例如，研究表明，当人们执行手动瞄准任务时，例如向目标投掷飞镖、够到或抓住不同大小的容器、弹钢琴、将钉子从一个位置移动到一个孔中，以及将屏幕上的光标移动到目标上，他们的动作表现出费茨定律预测的运动时间特征。

ElLahib、Tekli和Issa(2018年)的一项研究得出的结论说明了Fitts定律在人机交互任务中的应用。基于他们的指向任务的工作，一种普通的计算机任务，其中一个人用指向设备或

行动和实践。例如，假设一名足球运动员被要求通过踢球来练习在点球上得分，这样球就可以尽可能快地到达球门三个不同大小的区域。费茨定律预测，将球踢到最大区域的速度最高。相反，最慢的速度将表征球被踢到最小的区域。在本书的后面(第六单元)，我们将讨论在这种情况下帮助一个人达到速度和准确性的练习条件。

与速度精度权衡相关的***开环和闭环电机控制过程***。研究人员提出了几个假设来解释与速度-精度权衡相关的电机控制过程。大多数人都详细阐述了伍德沃斯(1899)的原始假设，即两个运动控制过程在肢体快速移动到目标的过程中起作用。一种是开环控制过程，最初发生，将肢体移动到目标附近，初始运动的速度、方向和精度由中枢神经系统控制，没有反馈。第二个过程涉及*闭环控制*，其中关于肢体相对于目标的位置的视觉反馈用于引导肢体的“归位”阶段，以确保其准确地落在目标上。自伍德沃斯以来提出的假设侧重于提供运动开环或闭环或两个阶段中涉及的运动控制活动的更详细描述。然而，所有人都同意，正如我们在第6章中讨论的，可用时间的长短是一个人能否像肢体一样进行运动矫正的主要决定因素

第7章■性能和电机控制特性 149

1. 不同距离和目标宽度的相同标识:

**ID=3** 距离=4cm；目标宽度=1厘米

距离=8cm；目标宽度=2厘米

相同距离的不同标识:

**ID=1**

**ID=2**

距离=2cm；目标宽度=2厘米

距离=2cm；目标宽度=1厘米

**b.** 350

移动时间(毫秒)

300

250

200

150

100

50

0

1 2

3 4 5

难度指数

**图7.1**(a)具有不同目标尺寸和/或距离特征的往复敲击任务的难度指数示例。任务难度根据标识进行索引，标识越高，任务越难。ID按照费茨定律方程计算:ID=log(2∙距离/宽度)2。(请注意，D是从每个目标的近边缘开始测量的。)(b)五种不同难度指数的往复敲击任务的每次敲击的大致移动时间(毫秒)。

接近目标。这意味着，如果在初始开环阶段运动速度过快，当肢体接近目标时，视觉反馈将没有足够的时间来产生运动调整。

视觉***信息***在速度-精度权衡中的作用。当我们考虑到我们的感觉-知觉系统在速度-准确性技能表现中的作用时，比如将钥匙插入钥匙孔，视觉在成功表现中起着主导作用。然而，值得注意的是，盲人也显示了费茨定律的影响，因为

ElLahib和col-leals(2018)的研究表明，盲人参与者可以使用振动触摸屏点击屏幕上的特定形状。

视觉在速度准确性技能中的具体作用取决于肢体运动的阶段。尽管前一节中描述的假设为这些技能提出了两个不同的运动阶段，开环和闭环阶段，但研究人员普遍认为，包括第三个阶段对于理解视觉在控制过程中的作用很重要。这个额外的阶段包括完成技能所需的动作准备。

150 单元二■电机控制简介

|  |  |
| --- | --- |
|  | **仔细看看** |
| **关于费茨定律解释的争议**  研究人员尚未就速度精度权衡的电机控制解释达成一致。下面是一些仍然有支持者的突出假设的例子。重要的是要理解，这些假设与快速手动瞄准任务相关的速度-精度权衡的解释有关，而快速手动瞄准任务是在权衡的初始演示中涉及的任务类型。(见埃利奥特等人，2001年，更详细的讨论这些，和其他，假说和相关的研究证据。)   * **间歇性反馈假说。克罗斯曼和** 时间。其结果是，手臂被强有力地古德伊夫(1983)提出，开环控制 在快速手动瞄准的启动过程中，向目标推进并达到精确 基于指定的力量和时间。   ing任务。但是当手臂向目标移动时， 因为力的大小和时间与移动有关——人间歇地使用反馈来产生 运动可变性，即运动速度的增加，这是 导致更多可变运动。修正轨迹，直到接触到目标。运动 不准确的结果，这个人需要  时间(MT)随着距离的增加而增加 下一次尝试时降低手臂速度。  rower的目标是因为修正的次数 **多重子运动假说。迈耶又增加了。对于相互瞄准任务，一些** 同事们(1988，1990)采用了这两种MT增加的因素，因为人们花费更多 与每个目标接触以评估视觉的间歇反馈和脉冲计时时间 假设。他们提议在开始之前  反馈并计划下一个目标的行动。 运动，这个人设计了一个初始的冲动，   * **冲动时间假说。施密特和科尔-** 然后被执行。如果运动是精确的(1979年)提出许多速度精度 速率，不需要更多。但是如果反馈任务涉及的动作太快而不允许 运动期间表示该运动为使用视觉反馈来进行校正 将是不准确的，人准备和执行-在运动。在这些情况下，他们 切割调整初始速度的子运动。假设一个人编写命令 这个过程一直持续到这个人产生一个动作开始的提前。这些命令 准确的动作。子运动的数量作为“脉冲”传递给肌肉 made与运动时间有关，而targetdis是在特定量期间产生的力 (参见姚和费奇曼，1999)。 | |

图7.2说明了这一阶段与执行手动瞄准技能(将钥匙插入钥匙孔)的两个运动阶段之间的关系，这是一个速度-精度权衡发生的技能示例。

*第一*个阶段是动作*准备*阶段，当一个人决定完成一项涉及速度-准确性权衡的技能时，这个阶段就开始了。在这一阶段，人使用视觉来确定表征行动将发生的环境背景的调节条件。例如，对于将钥匙插入钥匙孔的动作，监管条件将包括钥匙的尺寸、形状和重量以及尺寸、位置和空间方向

钥匙孔。这些特征将指定肢体运动的方向和距离以及情况的精度要求。连同由感觉系统检测到的其他相关信息，例如触摸将提供的键的特征，该感觉信息将被传输到中枢神经系统，以准备特定的运动特征来发起和执行预期的动作。

动作准备阶段包括选择基于速度或准确性的策略来完成技能。最近的功能磁共振成像证据表明，所选择的策略激活了不同的大脑区域(Vallesi，McIntosh，Cressentini&Stuss，2012)。这一证据为

第7章■性能和电机控制特性 151

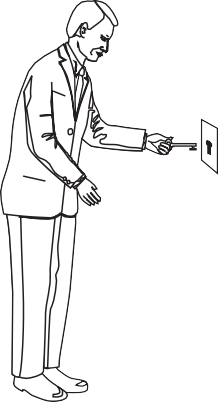
**初始飞行阶段**

动作:弹道开环初始肢体运动，使钥匙靠近钥匙孔[~95%的运动时间]

**视觉介入:监测肢体位移和速度；注视点以大约50%的角度移向锁眼**

接触锁眼的时间(重合，

即，与肢体运动的峰值加速度相结合)



**准备阶段**

**动作:手握钥匙，方向类似钥匙孔**

**视觉参与:评估监管条件，以确定执行动作所需的运动规格[即，锁孔大小、位置、空间方向、距离]**

**终止阶段**

**动作:在钥匙孔中插入钥匙的时间和空间校正；插入密钥**

**视觉介入:聚焦钥匙和锁眼；提供所需的时间和空间信息**

将钥匙插入钥匙孔的移动校正

**图7.2**将钥匙插入门锁钥匙孔的三个运动阶段。在这个图中，视觉的使用被描述来说明在执行手动瞄准技能时感觉信息的一个重要来源的作用。

当不同的大脑区域参与运动的准备时，观察到的行为权衡。

*第二阶段*通常被称为初始飞行阶段。它包括肢体向目标方向运动的开始，在我们的例子中是锁眼。正如你在前一节中读到的，这种运动相对较快(即弹道)，并且不受感觉反馈的影响。虽然视觉在这一阶段起着次要作用，但它获取肢体位移和速度信息，并获取接触时间信息，这些信息将在以后当移动靠近目标时用于进行移动修改。研究人员继续争论在这个阶段对运动肢体视觉的需求

(参见埃利奥特，赫尔森和蔡美儿，2001年，关于这个问题的研究的讨论)。

第三阶段是*终止阶段。*它开始于目标被击中之前，结束于目标被击中之时，在我们的例子中，目标是将钥匙插入钥匙孔。在这一阶段，肢体和目标的视觉很重要，以便将运动精度信息传输到中枢神经系统，并进行任何必要的运动校正，使人能够实现击中目标的行动目标。

这里要考虑的最后一点是技能中*视觉*和*运动*相互作用的方式，涉及速度和准确性的权衡。请注意，预期的动作会影响视觉的运作方式。在手动瞄准任务的三个阶段中

152 单元二■电机控制简介

如上所述，将钥匙放入钥匙孔的意图引导视觉聚焦于钥匙孔本身，这在运动准备阶段提供了运动需要符合的关键调节条件。这一阶段的视觉信息也为钥匙向钥匙孔移动的初始运动轨迹和速度奠定了基础。在终止阶段，将钥匙插入钥匙孔的动作目标引导视觉检测速度和精度信息，这将允许精确的运动调整来实现动作目标。

# 握捉

理解是一个通用术语，用来描述涉及到伸手抓住物体的动作。研究证据表明，理解中涉及的运动包括三个不同的组成部分:运输、抓握和物体

操纵。对象操作组件是指理解动作的功能目标。这意味着理解抓握控制的一个重要部分——不同于指向和瞄准运动——与人在抓住物体后打算如何处理它有关。该部件的重要性在于它影响运输和抓取部件的运动学和动力学特性。例如，如果一个人想拿起一个杯子来喝水，其运输和抓握特性将与拿起杯子并将其移动到桌子上不同位置的人相关的特性不同(参见Newell&Cesari，1999，关于这个问题的运动控制含义的讨论)。事实上，正是因为对象操纵组件与其他两个组件的关系，理解必须被视为不同于到达和指向对象的操作的操作。

为了达到相同的物体操纵目标，对于一个抓握动作，人们可以使用不同的运动特征来抓握物体。

stockbyte/GettyImages；朱尔斯·弗雷泽/盖蒂影像公司

第7章■性能和电机控制特性 153

|  |  |
| --- | --- |
|  | **仔细看看** |
| **运用运动疗法提高偏瘫患者的理解能力和其他上肢技能**  偏瘫患者(即一只手拧松螺栓、捡起硬币并将其移至身体一侧时出现部分瘫痪)很难使用一只手臂，通常是在指定的位置，等等。“塑形”是指由于中风或其他中枢神经系统疾病，如大脑练习小部分功能任务和进行性麻痹。两种物理康复干预从战略上增加了策略的复杂性和难度，这些策略已被证明是有效的治疗部分，直到实际的功能任务可以执行。  对患有上肢损伤的个体的治疗提供了描述CIMT有效性的结果，特别是对于改善和增加***Effectiveness of CIMT:*** Numerous research studieshemiparesis are called *constraint-induced movementtherapy*(CIMT)and*hand-armbimanualintensive*  *治疗*(习惯)。这两种干预的目标是dailyfunctionaluseoftheimpairedarm.(Forareview  pies是为了鼓励使用受损的手臂 ofthehistorydevelopmentCIMTandresearch  证明了它的有效性，见弗里茨，布茨，或与另一只手臂form。这对人们来说很常见&Wolf,2012.)  偏瘫患者最终不能使用受损的 The HABIT therapy was first introduced by  arm at all, a condition known as learned disuse. 安德鲁·戈登和他的同事们(见戈登·施内- byTheCIMTtherapy,whichwasfirstintroduced 德，钦南和查尔斯，2007年，讨论了一个 EdwardTaubandcolleagues(seeTaub,Crago,& 儿童治疗的随机对照试验  患有偏瘫性脑瘫)Uswatte,。它还涉及到内部-  受损手臂进行biman的活动——使用夹板、石膏或吊索固定未受损的手臂 ory on which CIMT is based), involves constraining ualtaskswiththeunimpairedarm.  强迫使用受损的手臂。大多数  支持这种治疗效果的证据习惯的一般方案:强化治疗来自中风患者，尽管这种治疗的更多过程包括使用最近报道的用于脑瘫儿童双臂参与游戏和功能活动的应用(见戈登，查尔斯，其中包括精细和手法粗大运动狼，2005年，对这项研究的简要回顾)。 技能，两周内12天中有10天。类似于CIMT的“塑造”方法也包括在内***The general protocol of CIMT:*** The therapy is an。需要积极参与的强化程序——习惯的***有效***性:戈登等人(2007年)报道的一项对照试验研究中，最初对患者和治疗师进行了几个小时的随机分组，该试验为期两周。患者通常在手部使用评估方面有其单一的改善，并且在醒着使用受损的手臂和手部的90%的时间内增加了成对的手部约束，并且在连续14天的整个双手时间内，在此期间使用手部。自那份报告以来的研究综述表明，他们参与了六个小时的密集重复任务，为习惯治疗实践和“塑造”的有效性提供了支持。任务包括拧螺丝和(例如，克莱珀，克拉辛斯基，吉尔和哈利勒，2017年)。 | |

## 理解成分之间的关系

从电机控制的角度来看，抓握包括手臂将手传送到物体，因为手形成抓握物体所需的抓握特征。这里感兴趣的一个电机控制问题涉及*运输*和抓取部件之间的关系。

虽然最初回答这个问题的尝试提出这些成分是相对独立的(例如，Jeannerod，1981，1984)，但最近的证据证明这两个

抓住一个可能静止或移动的物体的动作。

154 单元二■电机控制简介

|  |  |
| --- | --- |
|  | **仔细看看** |
| **将费茨定律与用杯子喝酒联系起来**  在拉塔什和扬宗琨(2002)的实验中，轮辋的内径为1.67(即10/6=1.67)。这四名研究人员研究了人们如何抓握、拿起和啜饮杯子的大小和水位，得出了16个身份。  就像他们在日常生活中做的那样。  作为这项研究的一部分，他们开发了一种方法来确定内径和运动时间之间的关系，运动时间是解释杯子大小的难度指数:当参与者的运动时间和杯子中的液体量。研究人员用来研究费茨定律的任务结果与费茨定律的预测一致，即他们认为任务的准确性对运动时间的影响对于最低的身份证是最快的，对于最高的身份证是最慢的。  嘴里的东西不会溢出来。他们的逻辑是  满杯需要更多的移动——将结果与协调精***度***的控制联系起来，因此是一个多自由度的更困难的任务:基于比不太满的杯子。而且，如果符合ID和MT之间的关系，以及其他Fitts定律，这个任务应该需要更多的运动相关的运动测量(头部角度，马克杯倾斜时间)而不是运输不太满的马克杯。 角度和头部位置)，研究人员得出结论  “内径可被视为计算难度指数的一个重要参数:四个杯子反映了不同直径(3.2、6.5、8.5和10.0厘米)的自然移动中的任务限制，即从杯子中啜饮一口”(第147页)。在充满6或7级水的条件下，从0.5开始对神经系统的协调控制  1.0 从边缘到底部的一小部分。研究人员计算了每个杯子尺寸的内径，并完成了这项任务(这项任务通过确定杯子直径与自由度的比率来控制许多水位)，这一结论意味着水位与杯子*边*缘的距离——杯子直径与容器距离的比率，杯子直径/水位距离帐篷边缘的距离(厘米)直接影响神经边缘。例如，直径为10厘米的杯子，该系统的空间和时间组织充满水，距离边缘1厘米，具有适当的协调元素的标识，以允许人10(即，10/1=10)；同一个杯子装了6厘米的水，从杯子里喝出来的水不会溢出杯子里的东西。 | |

*组件根据任务需求临时耦合并协同交互(即，合作地)。这意味着，尽管伸展和抓握是两个独立的运动组成部分，但它们以相互依赖的方式发挥作用。证明这种耦合关系的最有说服力的证据来自当手向物体移动时手指和拇指的移动分析。例如，在他们极具影响力的研究中，雅柯布逊和古代尔(1991)表明，物体的大小和离手的距离会影响手指和拇指之间的距离(即抓握孔)在伸手可及的传输部分达到最大值的时间。有趣的是，他们和其他人(例如，基耶菲&真蒂鲁奇，1993；胡，*

Osu，Okada，Goodale&Kawato，2005；Volcic&Domini，2016)发现，无论物体*大小*和距离如何，最大抓握*孔*径和*手*闭合发生在动作总运动持续时间的大约三分之二处。研究人员提出了一个数学模型，可以预测任何手部运动持续时间的时间关系，为手部运动和握力孔径的时间耦合提供了更确切的支持(胡等人，2005)。与刚刚描述的研究相一致，该模型表明，当手在整个伸展运动的持续时间内大约是三分之二时，出现最大抓握孔径。

此外，研究证据表明，运输和抓取组件的运动学

第7章■性能和电机控制特性 155

当物体在运输过程中突然意外移动时(例如，Gen-tilucci，Chieffi，Scarpa，Castiello，1992)，以及当需要避开障碍物才能到达物体时(例如，Saling，Alberts，Stelmach，Bloedel，1998)。这些运动学上的变化为这样的结论提供了额外的支持，即在抓握动作的伸展和抓握部分之间有很强的时间耦合。因此，理解是第五章中描述的肌肉和关节如何作为一个协调*结构*协同合作，使人们在各种情况下实现一个行动目标的又一个例子。

## 视觉在理解中的作用

抓握动作是一种速度准确性技能，因为需要准确的手部动作，并且动作速度会受到准确性需求的影响。因此，我们应该期望发现视觉以类似于我们在前面关于速度-准确性技能的章节中讨论的方式参与到理解动作中。其实就是这样，只有一个例外。例外情况涉及理解动作的对象操作组件。

与我们之前讨论的速度-准确性技能中的角色一致，视觉通过提供关于环境环境的调节条件的信息来帮助理解行动的计划。调节条件信息与人对物体的预期用途一起被传输到中枢神经系统，中枢神经系统随后为运输准备空间和时间特性的“大概”估计，并掌握到达运动的组成部分。一项研究提供了关于视觉信息在中枢神经系统规划活动中的重要性的证据，该研究要求参与者接触和掌握各种不同的物体(维尔哈根、迪克尔曼、梅登多普和托尼，2012年)。

接下来，当手向物体移动时，视觉通过检测手何时接触物体起着重要的作用，从而可以适当地控制抓握孔的定时。它还提供了关于相对于对象的大小、形状，

和方向，从而可以适当地控制把手的空间特性。中枢神经系统将使用与这些运动特征相关的视觉反馈来根据需要修改运动，以实现理解动作目标。事实上，研究表明，当一个人在运输阶段的最初阶段看不到物体时，抓握特性会受到负面影响(福井和因努伊，2006)。与我们前面讨论的速度准确性技能不同，视觉监控抓握本身，以补充触觉和本体感受反馈，确保抓握在物体的抓握和操作过程中根据需要进行调整。而且，正如沃奇和多米尼(2016)所发现的那样，抓取动作是“平滑且自动地适应当前的视觉反馈”。。."(第2174页)即使忽略视觉反馈而仅依赖触觉反馈可能更有利。

正如你在第六章中读到的，双眼视觉增强了抓握动作的表现，尤其是在握力大小和力量的准备方面(杰克逊，新港和肖，2002)。此外，布朗、哈尔珀特和古代尔(2005)的研究表明，由于中央视觉和周边视觉的不同作用，特别是它们与视觉感知和视觉行动这两个视觉系统有关，当人直接看物体时，理解技能的表现会得到提高。凝视点的这种指向允许两个视觉系统在理解动作中最佳地发挥作用。

## 理解与费茨定律

关于抓取的电机控制方面，需要注意的最后一点是，它体现了速度精度的权衡特性。事实上，研究人员已经确定费茨定律始终适用于实验室任务和日常生活活动的理解。例如，在布斯马、马腾纽克、麦肯齐和扎尔(1994)的一项实验中，根据费茨定律的预测，移动距离和物体宽度会影响抓握过程中的移动时间。此外，这些物体特征影响动作的运动运动学。运动学证据的相关性在于它提供了一种方法

156 单元二■电机控制简介

|  |  |
| --- | --- |
|  | **仔细看看** |
| **理解情况说明电机控制适应性**  Steenbergen，Marteniuk和，例如，在运输阶段，handveloc-Kalbfleisch(1995)提供了一个很好的例子，说明了速度明显更快，峰值速度更早适应电机控制系统。我们看到杯子空了。当人们改变动作的时候，对光圈时间的这种适应性也根据杯子的特性而变化。最大-一个特定的行动，以适应特点，最大限度地把握光圈发生在较早的运输任务的情况。作者询问了整杯的具体情况，这种情况要求用右手或左手抓住更多的裤子，以达到运动精度。就泡沫聚苯乙烯杯子的协调性而言，它要么是满的，要么是空的。参与动作的特定关节，参与者将裤子冻住，抓住位于肩部、肘部和腕部自由度前30厘米处的杯子，然后将杯子放在距离关节20厘米的圆形目标上，在完全向右或向左的抓握动作中。手推杯和空杯的运动分析。然而，当杯子满时，端口和抓握阶段显示出有趣的差异，参与者在移动过程中增加了稳定性——在运动水平上，取决于人们使用哪只手进行躯干姿势调整，以及杯子是满的还是空的。向前移动肩膀。 | |

解释为什么移动时间随着物体宽度的减小而增加。运动学显示，随着物体尺寸的减小，运动减速阶段所涉及的时间增加，这表明与较小物体相关的运动时间的增加是由于人在肢体接近物体时降低了肢体的速度。这意味着，当一个人伸手去拿一个有小手柄的杯子时，不仅传输和抓握运动学不同于伸手去拿一个没有手柄的杯子，而且移动时间也会更慢，因为抓握小手柄的精度要求增加了。

拉塔什和扬宗琨(2002年)报告了一种将理解行为与费茨定律联系起来的不同方法。他们开发了一种识别难度指数的方法，该指数可以解释杯子的大小和杯子里的液体量。他们推断，从杯子里伸手、抓东西和喝水需要准确性，这应该会影响手臂的运动速度以及相关肢体的协调性，这意味着费茨定律应该适用。但是这种类型的任务的精度组件不同于手动瞄准任务。用杯子或任何容器喝水，不仅涉及容器或手柄的大小，还涉及它有多满。这是因为所涉及的运动是将容器从它的位置运送到人的嘴里

而不会溢出里面的东西。在他们的实验中，研究人员开发了一种杯子大小和水位的比率，可以计算出难度指数，就像费茨定律预测的从杯子最初移动到饮用者口腔的移动时间一样。

## 对实践的启示

从应用的角度来看，关于理解的运动控制研究证据对于帮助人们提高理解能力的实践条件的发展具有重要的意义。由于伸展、抓握和物体操作之间的合作关系，理解练习或治疗策略涉及功能活动是必要的(例如，吴、特罗姆布利、林、胳肢-德根，1998年；温斯坦、伍尔夫和施魏格夫，2015年)。此外，由于伸展和抓握部件的运动特征根据物体特征以各种方式相互作用，所以练习包括伸展、抓握和操纵各种物体特征和操作目标是很重要的。最后，由于理解的组成部分之间的相互依赖关系，将到达、掌握和物体操纵目标分开，这样一个人就可以分别练习每个组成部分，这是没有好处的。值得注意的是，澳大利亚的研究人员已经把

第7章■性能和电机控制特性 157

这些开发虚拟现实系统的建议旨在提高创伤性脑损伤患者的接触和抓握技能。该系统(称为元素)使参与者参与各种运动，以获得虚拟对象的各种形状、大小和位置(芒福德等人，2012年)。

|  |  |
| --- | --- |
|  | **仔细看看** |
| **运动等效性的手写演示**  **写下你的签名 比较空间特征**   1. 手里拿着笔。 **of the Four Handwriting Samples** 2. 手里拿着笔。 1.描述你看到的相似之处。 3. 嘴里叼着一支笔。 2.描述你看到的差异。 4. 用你喜欢的手在黑板上。   毫无疑问，无论哪个肌肉群参与了书写动作，你签名的特定元素都保持不变。你能够让不同的肌肉群来书写你的签名，这证明了书写行为是如何体现运动对等的概念的。自20世纪40年代以来，研究人员已经报道了这种演示的变体(例如，拉什利，1942；Raibert，1977)。 | |

# 笔迹

对笔迹控制机制的研究是运动控制研究中的一个突出主题。研究*人*员普遍认为，不同的控制机制参与控制人们*写写*的东西(字母、单词、数字等)。)以及*它*们是*如何*写的(产生字母、单词等的笔画。，在书写表面上)。

当我们从解剖学的角度考虑书写行为时，我们发现在肢体部分的参与方面有很大的个体差异。但是当研究人员从一个人身上获得笔迹样本时，他们为伯恩斯坦(1967)所说的运动等效性提供了强有力的证据。也就是说，一个人可以适应写作环境的特定需求，并调整大小、力量、方向，甚至肌肉的参与来适应这些需求。值得注意的结果是，在字母形式、书写倾斜、笔画生成的相对力度和笔画之间的相对时间等特征上有很大程度的相似性。人们已经

改变移动时间和书写尺寸等特征没有什么困难。

手写控制的复杂性使得很难开发一个简单的控制模型来描述这个过程的组成部分。一个人可以用自己喜欢的手、不喜欢的手、一只脚或嘴里含着一支笔来写自己的签名或熟悉的短语。这表明至少书写的空间特征在记忆系统中以抽象的形式表现出来。此外，这种运动等效能力表明协调结构参与了手写控制。

手工操作的另一个有趣的特点是几个控制过程同时发生。要写一个句子，一个人必须使用词汇和语义认知过程，以及运动控制过程。写作需要人从记忆中提取单词。这些词必须有符合作者意图的含义。书面句子需要特定的语法结构。这些单词需要一定的拼写，这涉及到人的肢体运动，以产生特定的字母，这些字母的大小和形状与他或她正在书写的内容相称。此外，

**电机等效性**电机控制系统的能力，使人能够在各种情况和条件下实现行动目标(例如，用任何一只手书写签名)。

158 单元二■电机控制简介

图7.3Smyth和Silvers实验中的手写示例显示了与无视觉书写相关的错误[底线在(a)；其他箭头的右侧]与用视觉书写相比。(a)显示偏离水平方向的误差；(b)将错误显示为添加和删除笔画；

显示添加和删除字母；(d)显示添加或删除重复的双字母；(e)显示字母的反转。资料来源:Smyth，M.M.，&Silvers，G.(1987)。视觉在笔迹控制中的作用。*心理学报，65*，47–64。

个人必须用适当的力量握住书写工具，以使这些字母形成。人类在相对较短的时间内完成这些不同的认知和运动要素的能力表明了书写行为背后的控制过程的复杂性和优雅性。

## 视觉和笔迹

大量的研究证据表明，视觉在控制手写行为中起着重要的作用。Smyth和Silvers(1987)提供了这个角色的最好证明之一，他表明一个人被要求闭着眼睛写字时，会在一些字母上增加额外的笔画，在一些字母上省略笔画，并复制一些字母。如果一个人写作时视觉反馈被延迟，这个人会犯很多错误，包括重复和添加字母。

基于他们自己和其他人的研究，史密斯和西尔弗斯提出视觉在控制笔迹方面有两种不同的功能。一个功能是帮助作者*控制单词*的整体空间*排列*

在水平线上。我们在图7.3中看到了这个函数的一个例子，从没有视力的人身上采集的笔迹样本显示了与水平线的明显偏差。视觉的第二个功能是帮助书写者产生*准确的*书写*模式，*例如书写材料所需的适当的笔画和字母。图7.3再次证明了这一点。没有视力的人可以添加或省略笔画，添加额外的字母，删除字母，颠倒字母1。

# 双手协调技能

除了单手**协调**技能外，人们还会进行许多需要双臂同时动作的运动技能，也就是双手协调。有时两个肢体基本上做同样的事情(对称的双手协调)；这发生在有人划船或者坐轮椅的人转动轮子的时候

关于手写中各种感觉反馈作用的研究综述和综合，见欧阳丹丹和韦莱(2015)1。

第7章■性能和电机控制特性 159

为了向前或向后移动。但是从运动控制的角度来看，更有趣的是不对称的双手协调情况，其中每个肢体必须做不同的事情。例如，吉他弹奏者用一只手握住琴弦来确定和弦，而用另一只手拨弦或打击琴弦来产生声音。一个熟练的鼓手可以用一只手产生一个节奏，同时用另一只手产生另一个节奏。网球中的发球要求运动员用一只手臂将球抛向空中，同时用另一只手臂以非常不同的运动方式移动球拍。从瓶子上拧开盖子需要每只手做不同的动作，因为一只手拿着瓶子。

## 双手协调偏好

关于双手协调技能的表现，一个耐人寻味的问题是:为什么执行要求不对称的技能比对称的双手协调更难？例如，为什么用一只手揉肚子，同时用另一只手轻敲头顶很困难？这项任务显然比每只手做同样的动作更难完成(尤其是第一次尝试)。这个问题的答案是基于运动控制系统的一个重要特征:它对控制肢体运动的内在偏好；它更喜欢对称。对于两臂来说，这意味着两肢*更喜欢*同时做同一件事。这种偏好有助于对称双手技能的表现，但也会导致不对称技能的问题。

最早证明电机控制系统倾向于协调两臂一起运动的研究涉及离散运动的同时表现。在现在被视为经典的一系列实验中，凯尔索、索萨德和古德曼(1979)让人们同时用每只手臂对具有相同或不同费茨难度指数值的目标进行快速瞄准运动。结果显示了双臂协调的时间基础，因为它们以相似的运动时间运动，不仅是两个目标

相同的标识值，但也适用于具有不同标识值的两个目标。

在刚才描述的双手协调任务中，两个瞄准任务中难度较大的(根据费茨定律定义)会影响手臂执行难度较小的任务的性能。也就是说，与只移动相同距离的手臂相比，需要移动较短距离的手臂(即难度较低的任务)会变慢。当*任务复杂性*差异表征双手协调任务时，也有类似的结果。例如，斯温嫩、施密特、尼科尔森和夏皮罗(1990)在一项实验中使用的任务要求参与者以不同的时空模式快速移动手臂。这项任务包括以简单的单向屈臂运动移动一只手臂，同时以两部分屈臂和伸展运动移动另一只手臂。双臂在800毫秒的运动时间内完成动作。在练习开始时，参与者通常用每只手臂做出相似的运动模式，这通常类似于一只手臂所需的更复杂的两部分运动。

**双手协调的运动控制研究人员不确定双手协调是如何控制的。目前，我们知道两臂耦合成一个更倾向于时空对称的协调结构。并且两臂之间的同相关系(即两臂同时弯曲然后延伸)似乎是主要的对称模式。此外，我们知道，通过练习，一个人可以学会分开(有时被称为“分离”)两个肢体，同时不对称地移动他或她的手臂。但是，我们还不了解参与这一分解过程的控制机制。一些研究人员(例如，Verschueren等人，1999年a)报告说**

**双手协调**一种需要同时使用双臂的运动技能；该技能可能需要两臂以相同或不同的空间和/或时间特征移动。

160 单元二■电机控制简介



在线学习中心实验手册第7章的实验7b为您提供了一个执行对称和不对称双手协调任务的机会，这将使您体验对称双手协调的内在协调特性，即使技能的行动目标的实现需要不对称双手协调。

**实验室链接**

对人们来说是困难的过程。但是，作为经验和研究证据(例如，科瓦奇，布坎南和谢伊，2010年；李，斯温嫩和Verschueren，1995；Swinnen等人，1990年；沃尔特和斯温嫩，1994)告诉我们，当人们得到适当的指导、反馈和练习时，他们就能成功地运用这些技能。在第五单元和第六单元中，我们将考虑练习者可以用来促进不对称双手协调技能学习的一些策略。

本体感受反馈在这一过程中很重要的证据，而其他人(例如，迈克斯纳，克泽尔，克诺布里奇和普林茨，2001)提出视觉反馈是执行复杂的不对称双手协调的基础。(见谢伊，布坎南和肯尼迪，2016年，对这个问题相关研究的最新审查。)

运动控制理论激发了关于人们如何学会分开四肢的两种不同观点。那些支持运动程序理论的人主张广义运动程序的参与，但对于两个新的广义运动程序的开发是否使每个手臂由一个单独的程序控制，或者一个广义运动程序的开发是否使每个手臂可以独立地执行，存在分歧。从动力系统理论来看，控制问题相当简单。臂在空间和时间上耦合的初始趋势代表了以特定相对相位关系为特征的吸引子状态。但是，在实践中，稳定的模式是不稳定的，随着新的模式变得稳定，新的吸引子出现了。(参见Boyles，Panzer&Shea，2012；Oliveira&Ivry，2008年；和谢伊，布坎南，肯尼迪，2016年，更深入的讨论双手运动的运动控制。)

## 对实践的启示

意识到双手协调倾向的教师、教练和治疗师将认识到需要特别关注那些正在学习需要手臂来执行不同时空运动模式的技能的人。双手运动所需的解链可以是

# 捕捉移动的物体

在许多方面，捕捉一个对象就像前面讨论的理解动作。然而，有两个重要的区别。第一，捕捉涉及到拦截一个运动物体；理解通常包括静止的物体。第二，捕捉动作对物体的把握结束动作；理解通常包括用被抓住的物体做一些事情。虽然在一些运动场合，如棒球和垒球，有时球员必须在接球后将球从手套中取出并投球，但这种情况是特定的运动和特定的情况，不包括在接球的讨论中。

## 捕捉物体的三个阶段

要抓住一个物体，这个人必须首先将手臂和手移向迎面而来的物体。然后，他或她必须塑造手来抓住物体。最后，手指必须抓住物体。

威廉姆斯和麦克里(1988)提供了研究证据，证明了他们对11岁男孩试图用一只手接球的研究中的接球阶段(图7.4)。对捕捉动作的动作分析显示了以下顺序。球飞行的前160到240毫秒没有手臂运动。然后，肘部弯曲逐渐开始，并在大约80%的球飞行中缓慢而均匀地继续。大约在同一时间，手指开始伸展。手开始从迎面而来的球上收回，直到大约一半的球飞行时间过去。然后上臂绕着肩膀加速，导致手被移动到所需的空间位置

第7章■性能和电机控制特性 161

赶上

25

50

75

球飞行]

手臂不动

开始屈肘和伸指

手开始从球上收回，并且是

空间定位的

最终手指定位

图7.4接球时手臂、手和手指的运动特征与球飞行时间的百分比的关系。资料来源:威廉姆斯和麦卡里(1988)的数据。*人*类*运动*研究*杂志*，14，241–247。

拦截球。接住球的男孩比没有接住球的男孩提前80毫秒开始最后的定位动作。当75%的球飞行完成时(接触前113毫秒)，每个成功的男孩的手和手指都处于准备接球的状态。

这些结果表明，视觉提供了先进的信息，使运动控制系统能够在球到达之前在空间和时间上设置手臂、手和手指，以便个人可以接球。这里特别值得注意的是，人的抓握动作是基于球实际接触手之前获得的视觉信息，而不是基于球击中手之后获得的反馈。在触球前阶段，本体感觉的参与程度还不太清楚。然而，我们知道本体感受和触觉反馈在接触后变得相关，因为捕捉者需要对抓握进行调整。研究证据还表明，当一个人捕捉到对捕捉物体至关重要的信息时，中央视觉和周边视觉都会起作用。

## 物体的视觉和捕捉

抓住一个物体，比如一个球，是一种复杂的感知动作技能，这给研究人员理解视觉和运动控制系统如何相互作用的努力带来了挑战。这些研究工作的结果已经确定了影响成功捕捉的几个因素，这些因素具体涉及对物体的视觉观察。

***视觉接触时间。***一个因素是与运动物体视觉接触的时间。研究证据表明，在两个关键时期需要持续的视觉接触

物体飞行中的时间:飞行的最初部分和与手接触之前的时间。每个时间段需要多少时间还没有确定，这无疑取决于具体情况。

一些研究人员报告了一些证据，表明对初始飞行的观察应该持续到球到达顶点(阿马齐格、阿马齐格、波斯特和比克，1999)，尽管其他人指出只有最初的300毫秒的飞行才是重要的(例如，怀廷、吉尔和斯蒂芬森，1970)。这里重要的一点是，在物体的初始飞行阶段，与物体的视觉接触需要一段时间，这段时间足以获得确定飞行方向和距离的信息。(参见Lopez-Molinar等人，2010年，关于支持这一点的更多最新证据。)

就飞行最后阶段与物体的视觉接触而言，研究证据表明，手接触前200至300毫秒的时间段对于成功捕捉至关重要(Sav-elsbergh，Whiting，Pijpers，&vanSantvoord，1993)，尽管精确的时间量可能取决于情况的具体特征，特别是物体飞行的时间长度和速度(见Bennett，Davids，&Craig，1999)。在球飞行的最后阶段需要看到球，这是为了获得手和手指最终空间定位的具体接触时间信息，以及在抓住物体的过程中手指闭合的时间。

在这两个时间段之间与飞行中物体的视觉接触呢？埃利奥特和他的同事(例如埃利奥特，祖贝里克和米尔格拉姆，1994)的研究表明，在这段时间内与球的连续视觉接触并*不*重要。埃利奥特等人(1994)的研究表明

162 单元二■电机控制简介



在线学习中心实验手册中的实验7c为您提供了一个机会，让您可以比较什么时候可以接球，什么时候看不到手。

**实验室链接**

虽然计算tau的数学显然更为复杂，但它为确定捕捞时间提供了直观的依据。

手的视觉和捕捉。与接*球*相关的一个重要问题*是*:一个人必须能够在球的整个*飞行*过程中*看到*他*或她*的*手*才能成功接球吗？在其中一个

人们可以通过每80毫秒*间歇地*看到球飞行的短暂“快照”(大约20毫秒)来捕捉飞行时间为1秒的球。因此，人们可以使用球飞行特征的视觉样本来获得接球所需的信息。这种使用手套间视觉检测信息来捕捉物体的能力有助于我们理解冰球守门员如何捕捉冰球，或者足球守门员如何捕捉球，即使他或她必须通过几对腿在通往球门的途中视觉跟踪球。

τ和抓。关于物体视觉和捕捉的另一个重要的运动控制问题是:运动控制系统是否使用视觉变量τ来使人们能够捕捉物体？尽管对于这个问题的答案有相当多的争论(见Caljouw，vanderRamp&Saversbergh，2004，关于这个问题的更完整的讨论)，大量的研究证据表明，当捕捉一个物体时，tau参与解决接触时间的问题，尽管tau本身似乎不足以解释视觉在捕捉中的作用(Mazyn，Lenoir，Montagne，Saversbergh，2004)。

当一个物体直接向人移动时，物体在视网膜上的投影尺寸会随着物体的靠近而以非线性的速度扩大。当物体离得很远时，它膨胀得更慢，但当它越来越近时，它的膨胀率就越来越大。视觉系统正是利用这种通常被称为隐现的角度大小的扩展速率来确定物体何时会与人发生碰撞。对于捕捉动作，这种光学扩展确定了何时必须开始移动，以及必须多快完成才能捕捉到物体。对于不直接向人移动但需要人跑去抓住它们的物体，τ也

Smyth和Marriott(1982)在研究这个问题的第一个实验中，在摄像机上安装了一个屏幕，这样他们就可以看到迎面而来的球，但看不到他们的手。当参与者能够看到他们的手时，他们平均得到20个球中的17.5个。然而，当他们看*不*到自己的手时，他们能够抓住平均

9.2 20个球。更重要的是，当参与者看*不*到他们的手时，他们通常会犯一个手的位置错误:他们不能把他们的手放在正确的空间位置来拦截球。但是当他们能看到自己的手时，他们的典型错误包括抓球:他们过早地开始了抓球所需的手指弯曲。史密斯和万豪的研究结果可能很有趣，因为他们的研究表明，当一个人看不见自己的手时，经验是影响他或她成功的重要因素。正如戴维斯(1988)所说，我们可能会这样想，因为有效利用周边视觉是年龄和经验的函数。因为当我们试图抓住一个迎面而来的物体时，我们用周边视觉来看我们的手，所以我们需要看到我们的手抓住一个球是符合逻辑的

取决于我们的年龄和经验。

费奇曼和施耐德(1985)提供了支持经验影响的经验证据。使用与史密斯和万豪相同的实验程序，他们包括在大学棒球队或垒球队至少有五年经验的参与者。这个实验的结果(图7.5)表明，尽管当有经验的人看不见他们的手时，捕获量减少了，但错误的类型并不取决于参与者是否能看到他们的手。然而，对于没有经验的接球手来说，当他们看不到自己的手时，会出现比抓球错误更多的定位错误。

第7章■性能和电机控制特性 163

20 20

G

P

有经验的

无经验的

无经验的

18 18

16 16

14 14

**渔获量(共20个)**

**错误百分比**

12 12

10 10

8 8

有经验的

6 6

4 4

2 2

0

满的

视觉

没有手的视觉

全视野

0

没有视觉

手的

图7.5费奇曼和施耐德的实验结果显示了有经验的垒球/棒球运动员和没有经验的受试者(20次机会中)右手接球的数量，以及当受试者看不见手或看不见手时，每组犯的错误百分比(基于360次尝试)被归类为定位(P)或抓握(G)错误。资料来源:费奇曼公司和施耐德公司的数据(1985年)。简单单手接球的技能水平、视力和本体感觉。*运动行为杂志，17，*219–299。

研究人员现在普遍认为，接球经验和技术水平都会影响一个人接球时看手的需要(见贝内特、戴维斯和克雷格，1999)。经验丰富、技术娴熟的捕手不需要看手；缺乏经验和低技能的捕手需要对他们的手有所了解。这种差异的原因似乎与父子使用本体感受反馈来捕捉运动物体的能力有关。经验不足、技术水平低的人需要视觉反馈来帮助使用本体感受反馈来空间定位他或她的手臂和手，并有效地抓住物体。就帮助人们提高他们的捕捉技能而言，经验和对手的视觉需求之间的关系表明

初学者和技术水平较低的人应该主要在这样的情况下练习接球，在整个球飞行过程中，从球离开投掷者的手的位置开始，直到球被抓住。

# 击打移动的物体

和捕捉运动物体的动作一样，打击运动物体也涉及到对物体的空间和时间截取。而且，正如我们讨论的捕捉，这个动作的运动控制涉及到动作的协调，这些动作以特定的方式受到视觉的影响。两个研究移动物体撞击的实验说明了视觉是如何影响对这一动作的控制的。

164 单元二■电机控制简介

|  |  |
| --- | --- |
|  | **仔细看看** |
| **一个人如何接住一个需要跑步才能接住的球？**  在许多运动中，运动员必须跑着去接球。一个关于这种情况的运动控制问题引起了科学家们多年的兴趣:一个人用什么控制策略来接球，需要跑一段距离才能接住它？这个问题引起了人们的兴趣，因为人们似乎能够相对容易地学会成功地执行这项技能，这在我们观察儿童学习这项技能的速度时是显而易见的。科学家回答这个问题的主要方法是开发数学模型，确定这项技能中涉及的关键优势，并描述电机控制系统如何管理这些因素。  数学模型将两个三角形的两个角确定为这种捕捉情况中涉及的关键因素(参见麦克劳德、里德和戴恩斯，2001)。这些三角形和角度如图7.6所示。   * 三角形1包括球的飞行和外野手的 因为外野手的位置就是位置。在这个三角形中，临界角是 沿A2及其延长线。外野手计时   外野手注视点的仰角 通过在水平面上向前或向后跑到达球(角度α)。这个角度是- 速度保持α在0到90之间。由空中球位置的直线确定 要接球，需要跑到旁边，随时到外野手在地上的位置 角度α和β都很关键。就像当时的情况和外野手位置的一条线- 其中外野手必须向前或向后跑，到达地面正下方的位置 外场手通过奔跑来确定他们到达球的时间  球。 以保持α的速度向前或向后   * *三角形2包括球的飞行，球的投射-* 介于0和90之间。然而，研究人员没有指出外野手的位置。在这个范围内 然而知道为什么外野手选择空间路径三角形，临界角(β)是由 他们跟着去接球，包括从球投射点到外野手的一条线 β的控制。   位置和从外野手的位置到 麦克劳德、里德和迪恩斯(2001)总结了球正下方的地面位置。 基于这种数学模型的问题研究 人们跑去接球的方式是这样的:“我们和第一章达成了一些共识 理解α是如何被控制的，而不是β”(第1355页)。男子(1968)捕捉场景的原始模型 不管这个问题是如何解决的，重要的是这个人必须直截了当地向前跑 本章讨论的重点或后向。然而，各国之间没有达成共识 视觉系统的关键参与。科学家们发现在这种情况下人必须 视觉似乎以一种需要跑到一边去接球的方式参与进来。 很少有意识地控制那些必须   * *要接住一个需要直接跑动的球-* 被执行以使一个人能够完成该动作   *向前或向后，角度α是主要角度* 目标。 | |

## 视觉与棒球击球

哈伯德和森(1954)多年前进行了一项与视觉在棒球击球中的作用有关的经典实验。使用电影摄影技术，他们发现职业棒球运动员只跟踪球到一个点，在这个点上他们挥杆。这一点与球棒与球接触的点不一致。每个击球手都倾向于使向前一步的开始与

球从投手手中的释放。也许最重要的是，击球手的挥杆持续时间在不同的挥杆中非常一致，这表明击球手是根据即将到来的投球速度来调整挥杆的开始。有趣的是，这些发现与基于tau的击球策略的预期完全一致。也就是说，击球动作的开始发生在接触的关键时刻。

第7章■性能和电机控制特性 165

哈伯德和森的一些发现已经在他们的研究报告中得到验证或扩展。例如，三十年后，Bahill和LarTz(1984)使用了更复杂的技术来密切监控一个大联盟棒球运动员和几个大学棒球运动员的眼睛和头部运动。这项研究是在实验室环境下进行的，模拟了球员对左手投手投给右手击球手的高外线快速球的反应。大联盟球员在视觉上追踪球的时间比大学球员长。大学运动员

|  |  |
| --- | --- |
|  | **仔细看看** |
| **"看着球一直到你的球棒！"**  教练在教学时给出的一个常见指导 值得注意的是，在棒球比赛中，技术较高的击球手观察击球是为了告诉球员，“观察球的时间比技术较低的击球手长。”有鉴于此，是利益相关者。初学者倾向于用球棒挥杆，因为他们注意到研究(如Bahill&LaRitz，1984)击球动作会影响他们的头部位置，并表明击球者可能永远不会看到球棒击中“拉”他们的头部离开位置来看到球/球棒球。如果他们这样做了，那是因为他们已经跳进了接触区。  他们的视觉焦点从球飞行到 从指令的角度来看，这些字符——蝙蝠接触点。他们没有直观地跟踪系统，这表明指导一个人，一路连续击球接触是值得的，因为“看着球一直打到你的球棒。”尽管这实际上是不可能的。击球手不能真正做到这一点，这一指令指导一个人将球跟踪到某一点，然后视觉人的视觉注意力，这样这个人就可以跟踪盟友跳到一个点，在这个点上，他们预测球会在身体上尽可能长的时间内击球，并保持与球棒的接触。 或者她的头处于能够看到球/球棒接触区域的位置。 | |

跟踪球到板前约9英尺处，此时他们的视觉跟踪开始落后于球。这位大联盟球员一直追着球跑，直到球到达本垒板前约5.5英尺的位置，才在他的跑道上落后。此外，无论投球速度如何，这位大联盟球员都遵循同样的视觉跟踪模式，在准备投球时采取的每一个姿势都非常一致。在跟踪球时，他的头部位置在所有的投球中变化不到1度，但他从未移动过身体。

击球还涉及知觉-动作耦合，正如苏门答腊(2008)的研究所示。两个时序特征显示了这种耦合。首先，正如其他研究人员报道的那样，用前脚开始踩踏的时间和相关的体重变化是

球投影点

外野手起点

A1

C2



A2

αβ B

C1

接球手

**图7.6**描述了麦克劳德、里德和迪恩斯提出的马达控制系统必须控制的临界角，这样外野手才能跑着接球。实心圆代表球飞行时的位置；空心圆圈代表必须跑去接球的外野手的位置。该图显示一个球击中了

菲尔德是对的。为了使该图形表示沿着外场员正前方或正后方的线击球，会聚形成角度α和β(在最终球和外场员位置的左侧)的线将在最终球和外场员位置的前方或后方沿着线C2会聚形成这些角度。资料来源:经修改的图1，第1348页，载于麦克劳德出版社、里德出版社和迪恩斯出版社(2001年)。走向统一的外场员理论:我们还不知道什么

*人们如何跑去接球。实验心理学杂志:人类感知和行为，27，1347–1355。*

166 单元二■电机控制简介

|  |  |
| --- | --- |
|  | **仔细看看** |
| **运动员的一般视力训练计划:**  **他们提高运动成绩了吗？**  澳大利亚昆士兰大学的布鲁斯·阿伯内西和他的同事多年来一直宣称，尽管普通视力训练项目(如眼科学)可能有助于改善某些基本的视力功能，但它们并不能提高特定运动的表现。阿伯内西和伍德(2001)提出了三条推理路线，所有这些都有研究证据支持，作为他们立场的基础:   * 高于正常的基本视觉功能(如视网膜中央凹 与外周视力、对比敏感度相同或相似的程序) 用于评估功能的测试。   不喜欢精英运动员。大量的 缺乏实验证据来验证研究表明的视觉优势 优秀运动员的一般视力训练项目的有效性在以下方面是特定运动和感知的 提高运动成绩。事实上，在本质上，也就是视觉的诠释和运用 本文报道了两个具体体育活动的视觉信息实验。 训练项目(运动视觉和眼科学)   * 尽管许多通常测量的视觉功能 通过训练和重复练习，性能得到了前所未有的提高 比起阅读和观看电视直播的泰斯，许多报道的改进发生在 在为期四周的训练中，有视力缺陷的人可以参加网球比赛。并且，练习使用 时间，包括四次20分钟的会议   为了训练特定的视觉功能 每周。 | |

受投球速度的影响；慢速音高比快速音高开始的时间晚。第二，不管投球速度如何，击球手向前移动前脚的开始时间和挥动球棒的开始时间的协调是一致的。因此，这些事件的暂时耦合为投球棒球的击球动作建立了一个发展良好的协调结构。

## 视觉与乒乓球击球

在一项对荷兰五名顶级乒乓球运动员的研究中，布斯马和范维林根(1990，2010)显示了运动员击球动作的不一致性，因为他们使用了在线视觉控制。为了尽可能快而准确地击球，球员们似乎在弥补他们挥杆起始时间的差异。例如，当挥杆开始时球和球拍之间的接触时间较短时，球员通过更快地挥杆来补偿。有证据表明，其中一些球员在移动时对他们的挥杆进行了非常精细的调整。因此，尽管视觉

信息可以触发挥杆的开始，并提供关于挥杆的基本特征的信息。视觉还提供在线反馈信息，玩家可以使用这些信息对开始的挥杆进行细微的补偿调整。

# 运动

人们普遍认为，在神经系统水平上，脊髓中的中枢*模式*发生器(CPGs)参与了对人类运动的控制，这种运动有时被称为步态(参见Zehr&Duysens，2004；罗希诺尔、杜布克和戈萨德(2006年)和齐斯金德-康海姆和霍奇曼(2017年)对CpG进行了评论。这些机制为刻板的运动模式，如行走和跑步，提供了基础。我们可以将这种脊椎控制水平的证据追溯到十九世纪末二十世纪初英国诺贝尔奖获得者查尔斯·谢灵顿爵士及其同事的工作(例如，谢灵顿，1906)。

使用一种叫做去脑术的方法，包括切断脑干和脊髓

第7章■性能和电机控制特性 167

|  |  |
| --- | --- |
|  | **仔细看看** |
| **步态控制的动态系统观在物理治疗干预中的应用**  我们可以看到参与运动控制的 瓦格纳尔和毕克(1992)展示了一个人和环境之间动态互动的例子——这个过程的有效性。他们在治疗策略的有效性中使用了环境，即节拍器为偏瘫患者呈现节律，有助于重建正常的节律步态。基于病人。当作者系统地将动力系统控制视角、瓦格纳尔和节奏节拍从每分钟60步增加到96步时，范·埃米里克(1994)建议治疗师利用这些患者改善的各种方法的相位关系来帮助患者获得自发的手臂和腿；这反过来又积极地影响了特定躯干旋转的适当节律结构的产生。  通过系统地改变步态速度来确定步态模式。 | |

谢灵顿从前脑观察到，去大脑的猫表现出类似于完整动物的运动节律性肌肉活动。后来，布朗(1911)更进一步，额外切断了猫的脊髓感觉通路；尽管如此，这只猫还是表现出了适合行走的有节奏的腿部收缩。最近的研究(如格里尔纳，1981，1985)证实并扩展了这些早期的观察结果(参见菲尔德-福特，2000，关于脊髓在运动控制中的作用的极好综述)。

值得注意的是，CPG是一个用来指运动神经元活动的“功能网络，产生节律并形成模式”的术语(Zehr&Duysens，2004，第348页)。对于运动，假设我们每条腿至少有一个位于脊髓中的CPG。尽管研究证据支持基于CPG的人类运动控制，但也有证据表明CPG不是这种控制的唯一基础。几项研究的结果表明，来自肌梭和高尔基腱器官的本体感受反馈可以影响运动运动模式(参见Zehr&Duysens，2004，对这项研究的优秀综述，以及临床意义)。例如，Dietz，Müller和Colombo(2002)机械诱导截瘫和四肢瘫痪患者在跑步机上产生步进运动，并从肌电图记录中发现来自髋关节的传入反馈是运动活动的重要部分的证据。使用钢筋束振动的不同方法

在第6章中描述的技术，健康的参与者(韦尔舒伦，斯温嫩，德卢维尔和德伊森斯，2003)。研究人员表明，特定腿部肌肉的肌腱振动影响行走的摆动和站立阶段肌肉的肌电图振幅和肌肉活动开始时间。

## 运动的节奏结构

为了理解人类如何控制他们能够控制的大范围步态，我们必须考虑更高级别的神经系统参与，以及肌肉骨骼动力学和环境相互作用。运动动作的节奏结构是一个重要的特征，可以用来说明这些不同因素的作用。

在夏皮罗等人(1981)的研究的第五章的讨论中，你看到，根据对菲利普森步周期的四个组成部分的分析，行走和跑步各有一个独特的节奏结构。事实上，这种节奏特征在行走和跑步步态中非常常见，以至于已经开发了数学模型来描述它们的结构。开发这些模型的人认为行走和跑步步态中的腿部运动类似于钟摆的操作(见瓦格纳尔&范·埃米里克，1994；和Donker等人，2001年，关于这些模型的讨论)。

步态模式的节奏结构不限于腿部运动。例如，当一个人走路时，手臂的*运动*和其他动作之间*存在*明显的节奏*关系*

168 单元二■电机控制简介

这种关系的具体特征与行走速度有关。Craik、Herman和Finley(1976)首次证明了这种关系，他们提供了证据，证明行走有两种手臂-腿部协调模式:非常慢的行走有2:1的比例(即每条腿的步幅摆动两次)，速度大于0.75米/秒(1.7英里/小时，或2.72公里/小时)的行走有1:1的比例。范·埃米里克和瓦格纳尔(1996)报告说，额外的研究已经确定，从2:1到1:1的臂-腿关系的转换发生在0.2到1.2米/秒(0.5到2.7英里/小时，或0.3到4.32公里/小时)的步行速度范围内。除了胳膊和腿的关系，骨盆和胸部在行走过程中也表现出有节奏的关系。在较低的速度下，它们彼此同相运动，但在较高的行走速度下会异相。

了解步态模式的这些各种协调特征有什么实际好处？范·埃默里克和瓦格纳尔(1996)提出了一个极好的论点，并附有研究证据，以支持他们的观点，即了解这些特征并将其用作评估技术，使我们能够识别躯干和四肢的协调问题，特别是对于帕金森氏病患者。例如，当以优选的速度行走时，帕金森病患者的骨盆和胸部相位关系与上一段中描述的健康人完全相反。

步态模式的协调特征的另一个临床应用的例子是在一项对最近经历过前交叉韧带置换手术的人的研究中提出的(库尔茨，斯特吉奥，布奇和乔治古利斯，2005)。研究人员计算了脚小腿段和小腿大腿段的相对相位(第二章中讨论的协调量化技术)。结果显示前交叉韧带重建膝关节的相对相位特征不同于正常膝关节。这些差异导致研究人员得出结论，对重建膝关节相关相位动力学的分析将为患者在不同康复阶段的表现提供临床重要信息。

理解步态的节奏协调特征的另一个应用是利用这种理解来开发训练或治疗策略，练习者可以用来帮助人们改善他们的步态。例如，福特、瓦格纳尔和纽维尔(2007)报告的一项实验结果表明，中风后患者在跑步机训练后，步态的几个方面都有所改善，节拍器设置在特定的节奏频率(当跑步机以恒定速度运行时，节拍器系统地增加和减少)，并指示他们根据节拍器的节拍移动手臂和腿。这些改进包括步态节奏、步幅长度、臂-腿摆动协调以及骨盆-胸部旋转的相位关系。(关于中风后干预和步态控制的研究综述，见霍兰兹、佩尔顿、泰森、霍兰兹和范·弗利特，2012年。)

## 头部稳定性和运动

当一个人从事运动活动时，运动控制系统的目标是保持*头*部稳定。研究人员已经证明，在行走、原地行走、原地跑步和跳跃等运动动作中，通过垂直方向和最小水平运动来测量的头部稳定性得以保持(关于该研究文献的简要综述，见克伦威尔、牛顿和卡尔顿，2001；和霍尔特，拉特克利夫，詹格，1999年)。此外，研究人员调查了以他们的优选速度行走的人的头部稳定性特征，发现在优选的行走速度下，头部在垂直和前后平面上的移动量最小(例如，Latt，Menz，Fung，&Lord，2008)。

为什么头部稳定性对保持运动如此重要？答案与头部扮演的角色有关。当我们考虑到头部包含复杂的感觉和运动神经系统组件时，这些组件对于我们在环境中导航和保持姿势稳定以使我们不摔倒是必不可少的，很明显，在运动过程中保持头部的稳定性是很重要的。此外，在运动过程中保持稳定的头部位置可以优化视觉在动作中的使用，在这些动作中，跑步时对物体的视觉是必不可少的

第7章■性能和电机控制特性 169

反之亦然)。虽然这些自发的步态转换对所有人来说都是常见的，但转换发生的速度因人而异。有些人继续以比其他人更高的速度行走，而有些人继续以比其他人更低的速度奔跑。此外，从步行到跑步的转换通常比从跑步到步行的转换速度更快。(关于从步行到跑步转换的运动学特征的更深入的讨论，以及跑步机上的转换与地面上的转换的差异，请参阅DeSmet，塞格斯，Lenoir&DeClercq，2009。)

***为什么***会出现自发的步态转换？研究人员已经开发并测试了几种假设来解释步态转换(见Guerin&Bardy，2008，对这些假设的概述)。其中最普遍的是，这种转变是为了最大限度地减少代谢能量消耗(即VO)2。尽管研究人员已经提供了支持这一假设的证据，但其他人报告的结果却未能支持这一假设(见Hreljac，1993)。目前，还没有确定步态转变的单一原因。有趣的是，特威等人(1999年)表示怀疑一个单一的原因

视觉对于控制不规则地形上的运动至关重要

图像来源

为了实现行动目标。例如，棒球或网球运动员在跑步时必须视觉跟踪球的飞行，以便抓住或击中它。最后，鉴于头部稳定性在运动中的重要性，有趣的是，研究人员发现脑瘫儿童和神经损伤成人通常采用可被视为“非典型”的姿势和步态特征作为策略，以使他们能够在行走时保持头部稳定性(例如，霍尔特，延格，拉特克利夫，汉密尔，1995；霍尔特，拉特克利夫，詹格，1999)。

## 步态过渡

另一个重要的步态特征，在第5章中有简要描述，是从步行到跑步步态的自发变化(以及

因为复杂生物系统的本质。Kao和Ringenbach(2004)发现了支持Turvey等人的结论的证据，证明了步态转换的基础是多种因素，这些因素可能是个体特有的。(关于步态转换决定因素的优秀综述，参见孔等人，2018年。)

## 视觉和运动

在前面的部分，你看到了对运动的控制依赖于本体感觉和视觉，它们是感觉信息的来源，用来控制和修改中枢神经系统产生的运动命令。在这一节中，我们将更具体地观察视觉在两种涉及运动的活动中扮演的重要角色。正如你将看到的，视觉不仅仅是反馈的来源；它也影响动作开始前的动作特征。

170 单元二■电机控制简介

|  |  |
| --- | --- |
|  | **仔细看看** |
| **体操运动员在平衡木上行走时的视觉运用**  香农·罗伯逊和她的同事(如罗伯逊、柯林斯、埃利奥特和斯塔克斯，1994；罗伯逊和埃利奥特，1996)已经表明，熟练的体操运动员在平衡木上表演套路时使用视觉信息。在几项研究中，他们让体操运动员尽可能快地穿过标准平衡木(5米长×10.5厘米宽)。在罗伯逊和埃利奥特(1996)的实验中，九名女大学体育代表队队员在全视觉、无视觉或扭曲视觉(带有向左或向右棱镜定向视觉的护目镜)下完成任务。每种情况的结果如下:  **时间量 次数 步数 数量**  **穿过横梁 步进梁 横梁 表单错误**  全视野 3.0 一秒钟 0.2 7 10  没有愿景 4.0 一秒钟 2.5 8 30  扭曲的视觉 7.5 一秒钟 8.4 9 42  当体操运动员没有视觉或视觉扭曲时，形体错误的增加主要是由于偏离了直立姿势。这些偏差是由于体操运动员在行走时为了保持平衡而进行的姿势调整造成的。 | |

接触物体。当你在日常或体育活动中行走或跑步时，有些情况下你必须用一只或两只脚接触物体。例如，如果你需要穿过一条有很多水坑的街道，当你走路时，你的脚必须接触水坑中的干燥区域。在体育活动中，棒球运动员必须在跑步时踩垒，进行跳马的体操运动员必须在助跑结束时用脚接触跳板，跳远运动员必须在助跑结束时踩跳板到达跳跃区。

为了讨论与在运动活动中用脚接触物体相关的运动控制问题，我们将以跳远为例。这是一项许多研究人员研究过的活动，其结果适用于其他类型的活动。为了成功地完成跳远，运动员需要以最大的奔跑速度接触起跳板。跳远的助跑部分可以被认为类似于瞄准任务；它要求运动员移动一定的距离，然后击中目标。目标是起跳板，长约20厘米(前后)，宽约1.2米(左右)。如果任何部分

运动员的脚超出了板的后边缘(即更靠近着陆坑的边缘)，就被称为犯规，跳跃不算。另一方面，如果脚的末端没有碰到板子，那么跳的距离就短了，因为跳的距离是从板子的后边缘开始测量的。

与助跑相关的运动控制问题是这样的:运动员在助跑过程中做什么来尽可能准确地击中起跳板？一种可能性是，运动员在每次跳跃的每次助跑过程中形成相同的程序化步伐模式。这将意味着，任何错误击中起飞板将是由于错误的编程步骤模式。然而，研究证据表明，这不是运动员所做的。虽然每个跳远运动员在每次助跑中都要走一定的步数，但最后几步的步数在助跑中是不同的。大多数学者现在都同意，这是因为运动员使用视觉信息来指定接触起跳板所需的时间。电机控制系统使用视觉变量τ指定的接触时间信息来确定步幅

第7章■性能和电机控制特性 171

在最后几个步骤中进行调整，以纠正在准备阶段积累的目标误差。如果没有这些调整，运动员要么短板，要么长板。

在一个经典的实验中，李、李斯曼和汤姆森(1982年)拍摄了三名技巧高超的女性跳远运动员在接近跳板时的动作技能。通过分析每个运动员在一系列六次跳远中接近和接触起跳板时的步幅变化，研究人员观察到了几个重要的步态特征。我们将使用其中一名运动员(奥林匹克水平的运动员)的结果来检验这些，如图7.7所示。

最初，运动员的步幅在最初的五至六步中以相对恒定的速度增加；接下来的六步也是如此。在六次跳跃中，这些步伐相对一致。然后，在最后的六步中，一些不同的事情发生了。运动员调整了步幅，这样她就能准确地击中目标。事实上，她在最后一步做了将近50%的调整。图的下半部分显示了她不得不做出这些调整的原因。当运动员在跑道上跑的时候，每一步中微小的不一致都会产生累积效应，所以当她离开跳板五步时，误差会上升到37厘米。如果她没有在剩余的大踏步上调整好自己的步幅，她可能会错过长距离的起跳板。

220



200

**步幅长度(厘米)**

180

160

140

–18 –16 –14 –12 –10 –8 –6 –4 –2 0

**起飞前步幅数**

40



35

**标准误差**

**脚步位置(cm)**

30

25

20

15

10

5

0 –18 –16 –14 –12 –10 –8 –6 –4 –2 0

**起飞前步幅数**

图7.7根据李、利斯曼和汤姆森的实验结果重新绘制，显示步幅特征(上图)和标准

奥林匹克级别的女子跳远运动员六次跳远的失误。资料来源:李，D.N.，利斯曼，J.R.，和汤姆森，J.A.(1982)。跳远的步态调节。

*实验心理学杂志:人类感知和表现，8，448–459。*

172 单元二■电机控制简介

|  |  |
| --- | --- |
|  | **仔细看看** |
| **视觉线索可以帮助帕金森病患者行走**  常见的主要运动障碍之一 研究人员从他们的结果中得出结论，患有帕金森病的人行动迟缓 步幅的调节是步态中的“关键缺陷”(即步态运动障碍)。有两个问题相互关联 帕金森病患者的步态迟缓。尊敬的研究人员和物理治疗师 而视觉提示可以有效的康复这个步态问题。一，什么运动特征- 帮助这些病人调整步态速度的策略。抽搐导致了缓慢？两种可能性是 有证据表明，这些步态节奏的改善，这将意味着困难 在某种情况下，行走速度和步幅的节奏或节拍的特征可以是持久的 研究报告由西达维，安德森，丹尼尔森，长度，这将意味着缓慢是由于 马丁和史密斯(2006)。帕金森患者的步幅比正常人要短。……的答案 在为期四周的视觉训练期间行走这个问题对于第二个问题很重要 地板上的线索与康复策略中使用的线索相似，可以帮助病人 莫里斯等人(1994)实验。在训练结束时——提高自己对行走步态速度的控制？ 为了解决这些问题， 改进了。然而，最令人印象深刻的是，萨默斯(1994)比较了帕累托的行走步态 这些改善在没有金森氏症患者的情况下得以维持，并有年龄匹配的对照组(60岁—— 在列车运行一个月后——85岁),使用视觉提示来指示沿着12米长的 ing结束。最近有证据表明，视觉提示通道以“舒适的速度”和“快速”运行。 *Vitorio等人(2014年)介绍了效益。此外，结果显示:* 对这个问题的研究进行广泛的回顾   * *帕金森病患者走路比常人慢* 显示了大量的证据来支持   *控制参与者在两种速度下，并且有* 视觉提示益处，见Rocha等人(2014年)。  *较短的步幅，但节奏相似。* 鉴于这些视觉线索的结果，有趣的是，研究人员提供了视觉线索，以注意到一些研究人员(例如，贝克，罗彻斯特，帕金森病患者通过放置50厘米×5厘米米拉-&纽伯尔，2007；麦金托什、布朗、莱斯、特，人行道上间隔1997年的纸板带；也参见研究文献综述和对照分析的平均步幅的荟萃分析，由Ghai等人，2018)提供了每种速度的证据。患者被要求展示有节奏的听觉刺激的有效性——在他们行走的时候走过每个楼层标记，这包括在走道之间的特定位置嵌入一个音调。*结果表明:* 音乐中的val为帕金森氏症提供了一个步进的步伐   * *病人的速度和步幅是相似的。行走速度可以通过音乐来改变*   *对于两种速度的控制来说都很大。* 不同的节奏。 | |

这些步幅特征使作者将跳远助跑描述为由两个阶段组成:初始加速阶段，运动员产生固定的步幅模式，随后是调零阶段，运动员调整步幅模式以消除累积误差。他们得出结论，跳远运动员在第二阶段的调整过程是基于在这些步伐之前获得的视觉信息。这意味着视觉系统从板上获取接触时间信息，并指导运动控制系统做出适当的调整

与起跳板接触前剩余步幅的步幅长度调整。

值得注意的是，使用视觉接触时间信息来调节步态并不取决于人的专业知识。虽然李和作者跳远研究的参与者都是高技术的，但新跳远运动员也表现出了与τ影响一致的相似步幅调整(伯格，韦德，格里尔，1994)。

在助跑的第二阶段，每一步的总步幅长度修正的百分比可以作为一种证明的方式

第7章■性能和电机控制特性 173

|  |  |
| --- | --- |
|  | **仔细看看** |
| **行走或跑步时避开障碍物**  康奈尔大学詹姆斯·柯林及其同事的研究(如柯林，1986；Vishton&Cutting，1995)已经表明，如果一个人正在行走或跑步，并且希望在避开障碍物的同时保持脚速，三个时间段是关键的:  **需要时间来** 对于要避免的物体，训练是很重要的   1. recognize that an object needs to be avoided; 人们积极地视觉搜索环境 2. adjust the footfall; 它们在其中运动。为了避免碰撞，每- 3. turn the foot to avoid the obstacle. 儿子必须足够早地识别物体   允许适当的移动调整。那里-  在这三个阶段中，第一个阶段是最关键的，占据了75%的路程 fore,thetherapistorcoachwhofocusestrainingononlymovement-adjustmentaspectofthiswhile the subject is approaching an object. 任务忽略了对象中最关键的部分  **由于早期视觉识别的重要性，对临床康复和运动的启示**recognition. | |

跳远助跑中的知觉-动作耦合。如果τ是影响跳远运动员在这个助跑阶段表现的视觉变量，我们可以看到视觉检测到的接触时间和运动相关性之间存在耦合的证据。这种耦合可以通过总调整百分比和起跳板剩余步数之间的线性关系得到最好的证明。Montagne等人(2000年)在一项涉及不同专业水平的跳远运动员的研究中提出了这种关系的证据。正如你在图7.8中看到的，在离起跳板的最后五步中，调整总量的百分比线性增加。类似于李、利斯曼和汤姆森(1982)对优秀跳高运动员的发现，大约40%的调整量发生在起跳板前的步幅上。

研究人员发现，其他类型的步态也包括基于视觉接触时间信息的运动调整。一些例子是走给定的距离，用特定的脚踩在目标上(劳伦特&汤姆森，1988)；跑步和踩柏油路，就像人们在岩石上过小溪一样(沃伦，杨，&李，1986)；做助跑

40

35



**总调整百分比**

30

25

20

15

10

5

0 –5 –4 –3 –2 –1

**起飞前步幅数**

**图7.8**在蒙塔格内等人的实验中，跳远运动员最后五步的步长调整总量的百分比。资料来源:蒙塔格内等人(2000年)修改的图3。跳远中的知觉-动作耦合控制。运动行为*杂志*，32，37–43。

在女子体操表演中跳跳马时跳到跳板和马背上。在所有这些活动中，人们在接近目标时根据接触时间信息调整步幅。

174 单元二■电机控制简介

|  |  |
| --- | --- |
|  | **仔细看看** |
| **当我们爬楼梯时，视觉提供身体比例信息**  爬楼梯是一种常见的日常活动。但是，研究人员(例如，沃伦，1984)已经表明，如果我们如何知道我们需要爬的楼梯是立管高度等于或小于实际可攀爬高度的88%？也就是说，我们如何知道我们人的腿的长度，这个人会判断楼梯踏步可以用一个典型的向前迈步的动作来爬上一个正常的向前迈步的动作——一组楼梯？视觉在这种情况下以某种方式运作。如果这个比例超过88%，类似于我们如何确定我们是否会使用不同的运动模式爬楼梯的人可以通过门口而不必转动我们的脚步，就像孩子们经常做的那样，他们坐在肩膀上以避免与门的侧面接触——先迈出一步，或者抬起膝盖将小腿放在台阶上。视觉系统首先检测和使用人体比例。在启示语言(第5章)中，楼梯信息涉及*楼梯/台阶高*度与*人的腿*长之比时，以典型模式提供爬楼梯之间的*关系*。立管高度与支腿长度之比等于或小于0.88。 | |

***避免***接触物体。当你走过门口时，你想避免与门口的侧面接触。你是如何成功实现这项运动活动的行动目标的？研究证据表明，视觉为运动系统提供了关于特定身体部位相对于门口大小的身体尺度*信息*。一个人根据与他或她的肩部宽度与门洞宽度的比例相关的视觉感知信息来决定如何定向他或她的身体以穿过敞开的门洞。更具体地说，沃伦和旺(1987)报告说，门道需要比人的肩宽宽1.3倍，这样人们才能确定他或她可以穿过它，而不必转动他或她的肩膀。

当我们需要安全地越过道路上的障碍物时，就会出现不同类型的物体回避情况。为了实现这个目标，人们可以在走路或跑步时采用各种各样的回避策略。帕特拉和他的同事报告了几项研究，他们在这些研究中调查了视觉在人们选择越过障碍的策略中所起的作用(例如，Mohagheghi，Moraes，&帕特拉，2004；Patla等人，2002年)。这里，视觉再次提供预测信息，该信息向电机控制系统指定跨过物体所需的步进模式改变的类型。初级

信息由对象的高度、宽度和形状指定。此外，预测物体有多坚固或脆弱也很重要。例如，人们会增加他们的前腿的高度，这增加了脚趾间隙的量，更多的是对于被认为是脆弱的障碍物，而不是被认为是固体的物体。在Matthis，Yates和Mayhoe(2018)的一项研究中，在各种室外自然地形中，从光滑到非常崎岖的步行者，展示了他们步态的生物力学和眼睛运动之间的精确协调，这些运动收集了步行者指导脚放置所需的信息。步行者保持着对所有地形的持续“前瞻”凝视。



**总结**

我们对运动技能表现背后的控制过程的理解很大程度上来自于研究证据，这些研究证据已经确定了与多种技能类型相关联的特定表现特征。这次讨论突出了其中的几个特点。

* 速度-准确性技能要求一个人做出既快速又准确的动作，典型地展示了速度-准确性的权衡。

第7章■性能和电机控制特性 175

也就是说，如果运动必须尽可能精确，人们运动的速度会比精确度不重要时慢。费茨定律为基于任务的移动距离和目标尺寸特征来预测这种权衡提供了数学基础。

费茨定律适用于日常生活活动和运动技能中广泛的运动技能表现情况。

当一个人执行速度精度技能时，开环和闭环电机控制过程都会运行。

视觉在控制速度准确性技能中的作用取决于肢体运动的阶段。

* + 理解技能的表现，包括对物体的伸手和抓握，说明了运动成分的协同时间耦合，使人能够在各种情况下实现行动目标。传送和抓取部件通过调整特定的运动运动学以适应待抓取物体的特定特征和抓取动作的操作目标而相互依赖地起作用。与人工瞄准、指向和伸手不同，抓取运动的运动学在传递和抓取阶段都是变化的，这是表演者在抓取物体后打算对其做什么的函数。

视觉在控制抓握技能中的作用类似于速度准确性技能，除了视觉反馈根据物体预期用途的抓握和物体操纵要求影响抓握部分。

* + 手写显示了一种重要的运动控制特征，称为运动等效性，这意味着一个人可以在各种情况下实现相同的动作目标，这些情况需要根据环境或任务特征(如大小、力量、方向和方向)进行运动调整

肌肉受损。动作的适应性导致了笔迹特征的显著相似性，例如字母形式和笔画之间的相对时间关系等。

视觉影响对水平线上单词的整体空间排列的控制和精确手工图案的产生。

* 双手协调技能要求两臂同时动作。有些任务需要对称的双手协调(即两臂同时以相同的方式执行)；另一些则需要不对称的双手协调(即每只手臂的表现不同)。这些技能的一个重要的运动控制特征是手臂的自然或内在的空间和时间耦合，这意味着我们更喜欢对称地移动手臂。个人经验和研究证据表明，人们可以学会分开手臂来执行不对称的双手协调技能。目前，研究人员还没有确定在这种非耦合、不对称状态下控制手臂的具体运动控制机制，特别是在本体感受和视觉反馈发挥的作用方面。
* 捕捉移动的物体包括类似于抓取动作的控制过程，除了捕捉包括拦截移动的物体和抓取物体结束动作。捕捉包括三个不同的移动阶段:向迎面而来的物体移动手臂和手，塑造手来捕捉物体，以及用手指和手来抓住物体。前两个阶段通常在目标飞行完成75%时完成。

视觉通过向中枢神经系统提供预先的信息，使手臂、手和手指在物体到达前的空间和时间预设成为可能，从而在捕捉控制中发挥重要作用。中央和

176 单元二■电机控制简介

周边视觉以不同方式工作，使人能够捕捉迎面而来的物体。



**从业者要点**

与视觉相关的几个因素影响着捕捉运动物体的行动目标的实现。这些包括与物体视觉接触的时间，物体飞行过程中视觉接触发生的部分，以及在物体飞行过程中是否能看到手。

* 视觉在控制运动物体撞击中的作用与视觉对撞击运动的启动和对启动运动的补偿调节的影响有关。
* 行走和跑步等运动动作的表现特征在于步周期成分、手臂和腿部运动以及骨盆和胸部运动之间存在的节奏关系。此外，头部稳定性的维持是与运动活动相关的重要特征。还有一个运动特征尚未解释为什么会发生，那就是自发的步态转换(从行走到跑步，从跑步到行走)以一定的步态速度发生。

在神经系统水平上，脊髓中的中枢模式发生器为刻板的运动运动模式提供了基础，尽管本体感受和视觉反馈对运动控制也很重要。

可以从两条腿之间以及腿和臂之间的时间关系来观察运动的节奏结构。

视觉在运动控制中的重要性和作用在运动活动中尤其显著，运动活动要求脚在跑完一定距离(例如，在田径比赛中长距离跳跃)后和行走或跑步(例如，上下楼梯)期间接触物体，并避免接触物体(例如，在拥挤的走廊中行走)。

* 当帮助人们初步学习速度准确性技能时，你应该强调实现准确性目标而不是速度目标。
* 将费茨定律应用于实践或训练环境，尤其是在难度指数方面，可以为人们创造更容易和更困难的技能变体提供基础。
* 当帮助人们恢复他们的抓握能力时，提供功能性的抓握活动，包括各种各样的物体尺寸、到达距离、抓握配置和物体用途。
* 在帮助人们学习或恢复书写技能时，强调他们需要看自己写的是什么；监控手写性能的这一方面，以便进行评估和更正。
* 在帮助人们学习或恢复双手协调技能的表现时，要特别注意人们在学习不对称双手协调技能时可能遇到的困难。
* 在帮助人们学习或恢复涉及拦截移动物体的技能时，如接球和击打球或其他物体，强调在物体开始飞行之前和飞行期间尽可能长时间地保持与物体的视觉接触。
* 当帮助人们学习或恢复运动动作时，监控手臂和腿之间的节奏关系，并包括步态表现的这一方面，以进行评估和纠正。
* 当帮助人们学习或恢复运动行为时，强调在运动过程中保持头部稳定的必要性；在运动过程中监控头部运动，以根据头部的垂直方向和水平运动量评估头部稳定性。

第7章■性能和电机控制特性 177

* + 当帮助人们学习或恢复运动动作时，强调需要保持与人在运动过程中需要踩踏或避免接触的物体的视觉接触；监控这方面的运动表现，以便进行评估和修正。



**相关阅读**

布拉德肖，E.J.，&斯派洛，W.A.(2001)。助跑速度和脚靶特征对步长视觉调节的影响。*人*体*运动科学，*20，401–426。

CardosadeOliveira，s.，&Barthelemy，S.(2005)。视觉反馈减少了运动幅度的双手耦合，但没有减少方向的耦合。*实验大脑研究，162，*78–88。

Cesqui，b.，Russo，m.，Lacquanti，f.，d'Avella，A.(2016年)。一手抓一手抓与绩效的关系。*PLoSONE，11*(7):e0158606。doi:10.1371/journal。pone0158606。

Cutting，J.E.，Vishton，*P*.M.，&Braren，P.(1995)。如何避免与静止物体和运动物体碰撞？*心理评论，102，*627–651。

德格罗斯波依斯，j.，希斯，m.，和特伦布莱，L.(2014年)。增强反馈影响上肢到达运动时间，但不能解释违反费茨定律的行为。心理学*前沿*，*6*，800:doi:10.3389/fpsyg.2015.00800

H.L.，Hagan，M.A.，和Pesaran，B.(2011年)。只有后顶叶皮层中连贯的尖峰协调了注视和触及。*神经元，73*(4)，829–841。

弗莱彻，k.，尼尔，a.，&Yeo，G.(2017)。运动任务精度对瞳孔放大的影响。*应用人体工程学，65，*309–315。

Girardi，g.，Lindemann，o.，和Bekkering，H.(2010年)。语境对动作相关物体特征加工的影响。实验心理学*杂志*:*人*类感知和表现，*36*(2)，330–340。

高恩，e.，&Miall，r.(2006)。追踪和绘图任务中的眼手交互。人体运动科学，25，568–585。

Grafton，S.T.(2010)。预测的认知神经科学:最近的发展。*实验大脑研究，*204，475–491。

格雷，R.(2009)。击球手如何利用视觉、听觉和触觉信息来判断棒球挥杆的成功？运动与运动*研究*季刊，80(3)，491–501。

凯尔索，J.A.S.，富克斯，a.，兰卡斯特，r.，霍洛伊德，t.，切因，d.，温伯格，H.(1998)。大脑皮层的动态活动

人脑揭示了运动的等效性。*自然，*392，

814–818.

Koester，d.，Schack，t.，和Westerholz，J.(2016年)。抓握行为的神经生理学:来自事件相关电位的证据。*心理学前沿*。doi:10.3389/fpsyg.2016.01996。

科瓦奇，A.J.，布坎南，J.J.，和谢伊，C.H.(2010年)。不可能是5:3和4:3多频率双手协调。实验大脑研究，201，249–259。

李(2000)。步态过渡速度附近行走和跑步的稳定性景观。*应用生物力学杂志，16，*428–435。

Logan，d.，Kiemel，t.，Dominici，n.，Cappellini，g.，Ivanenko，y.，Lacquaniti，f.，andJeka，J.(2010)。走路时视觉的许多作用。*实验大脑研究，206，*337–350。

曼恩，法学博士，斯普拉格福德，w.，和阿伯内西，B.(2013)。头部轨迹和凝视预测:世界上最好的击球手如何击球。*PLoSONE，8*(3):e58289。doi:10.1371/journal。pone.0058289。

梅塔，J.P.，拉文德，S.A.，贾加辛斯基，R.J.，&萨默里奇，

C. M. (2015).重复不对称举升活动中任务精度要求对行为和生理变化的影响。*人为因素，57(*3*)*，435–446。

*米塞奥，G.F.，&琼斯，医学博士(2017年)。触摸精度调制视觉偏差。运动行为杂志，50，307–311。穆勒，s.，布伦顿，j.，邓普西，A.R.，哈堡，A.G.，&*

里德，C.(2015)。高技能视觉知觉运动打击技能的个体差异。注意力、知觉和*心理物理学，77，*1726–1736。

邮政，D.B.W.，denOtter，A.R.，&Zaal，F.T.J.M.(2014)。在奔跑寻找可接住和不可接住的飞球时，保持你的眼睛一直盯着球。PLoSONE，*9(*3*)*:e92392。doi:10.1371/journal.pone.0092392。

Schieber，M.H.，&Santello，M.(2004)。手的功能:对性能的外围和中心限制。应用生理学*杂志*，96，2293–2300。

舒格，I.M.，谢沃基斯，P.A.，赫尔曼，J.W.，&根蒂利，r.j.(2018)。练习伸展运动时运动表现和精神负荷的变化:团队动力学的观点。*实验大脑研究，236，*433–451。

图雷拉，l.，&林瑙，A.(2014年)。抓握的神经相关因素。《人类神经科学前沿》，8，686:doi:10.3389/fnhum.2014.00686

*范·弗利特，P.M.，&谢里登，M.R.(2007)。偏瘫患者与健康受试者伸手与抓握的协调性。物理医学和康复档案，88，1325–1331。*

*扎戈，m.，麦金太尔，j.，塞诺特，p.，和拉克分特，F.(2009)。物体拦截的唯硕运动协调和内部模型。实验大脑研究，192，571–604。*

Zatsiorsky，V.M.，&Latash，M.L.(2008年)。多指预理解:概述。运动行为*杂志*，40，446–475。

178 单元二■电机控制简介

6. 讨论视觉在棒球或垒球击球技巧中的作用以及视觉的含义



**研究问题**

1. (a)描述在许多运动技能的表现中出现的速度-准确性权衡，并给出两个运动技能表现的例子。(b)费茨定律与速度-精度权衡现象有什么关系？
2. 描述一种理解情况，并指出这种情况的组成部分。(描述每个部件的运动特征，以及它们在不同的理解情况下如何变化。(讨论术语时间耦合的含义以及它与理解行为的关系。
3. (a)讨论书写技巧如何为术语“运动对等”的含义提供一个很好的例子。(b)讨论如果你看不到你正在写的东西，你的书写会受到什么影响。
4. 讨论为什么在第一次尝试时，需要不对称双手协调的技能很难表现出来。
5. 讨论一个人如何在没有看到他或她的手接住球的情况下接住球。

这个角色教一个人这个技能。

1. (a)行走和跑步中涉及的节奏结构有哪两个例子？

描述步态如何适合于使用已识别的顺序参数和控制参数作为评估协调问题的基础。

1. 讨论为什么在运动过程中保持头部稳定很重要。
2. 描述一个人在跑步时必须接触一个或多个物体的情况。

(讨论tau在这种情况下的影响，以及我们如何知道它在儿子表现这项技能时会影响他或她的行为。

**具体应用问题:**

你在从事你选择的职业。描述一项你可以帮助人们学习或提高他们表现的技能(与本章讨论的技能相关)。当你制定策略来帮助你的同事时，你会如何考虑与这项技能相关的特定运动控制特征？