

# 触觉学习影响动作技能习得效率的实验研究\*

游茂林<sup>1</sup>, 袁诗婧<sup>2</sup>

(1. 江西师范大学体育学院, 南昌 330022; 2. 华中师范大学体育学院, 武汉 430074)

**摘要:**如何提高动作技能习得效率是动作学习与控制(Motor Learning and Control)领域的重点课题。已有研究肯定了触觉学习的有益性,但干预方案缺乏稳定性或练习内容简单,为此研制了一种新型体育器材来创建有效的触觉学习条件,然后开展为期2周、每周4次的实验干预,发现:在缺乏动作概念指导的情况下触觉学习产生的习得效率较低,而一旦练习者建立了动作概念,触觉学习明显产生了比认知学习更高的习得效率,而且认知学习有利于初学者掌握复杂动作技能,触觉学习有利于掌握简单动作技能,所以建议初学者采用“概念打底,触觉推进”的动作技能学习策略。

**关键词:**运动技能;学习模式;习得效率;认知学习;触觉学习;实验

**中图分类号:**B842.5

**文献标志码:**A

**文章编号:**1003-5184(2025)01-0027-11

根据动作学习(Motor Learning)相关理论,动作习得主要有2种途径:一种是看和听教师(练)的示范与讲解,另一种是在教师(练)的帮助下固定动作姿态并切身感受动作过程。这两种学习模式的工作机制不同:前者通过视听知觉过程将动作分解为一系列信息单元以驱动动作复制(Bekkering et al., 2000),是一种将抽样的概念和知识转化为具体动作执行的跨模态过程;后者基于触觉感受器将感知到的信息传递至大脑以形成动作图式(Goldstein & Brockmole, 2018),是一种依托本体感知觉建立动作系统的过程。由于认知的发生地在大脑,感觉的发生地在感觉器官(郭茂鹏,朱永红,2018),而运动学习主要依赖大脑运动区域的可塑性(Ostry et al., 2010),因本体觉敏度训练会增强人体对动作信号的解读能力(Hecht et al., 2001),所以随着本体感知觉系统对动作习得成效的影响得到重视,研究者们开始探究触觉学习与动作习得效率的关系。

## 1 文献综述

20世纪40~50年代,运动学习(Motor Learning)研究处于“任务方法”(task-approach)时期,流行刺激-反应(S-R)理论(张英波,2003)。在20世纪60年代末,进入信息处理方法阶段(Ligh, 1990),重视运动技能学习的认知过程,而不是动作表现,受到Adams等心理学家的大力支持。

随着采用线性定位运动任务实验的出现,Adams(1971)根据控制论提出“闭环控制系统”理论(Closed-Loop Control System),认为运动行为是由一系列链式反应演化而来,这些反应使用本体感觉反馈作为感觉刺激物,以产生运动中的后代输出信

号。而Schmidt(1975)假设控制肌肉活动顺序和时间的广义运动程序,已经通过事前练习获得,学习者经过形成回忆模式、使用不同的程序参数(例如力量、持续时间、轨迹)、根据增强反馈(KR)和不同的初始条件进行练习等阶段,获得正确的运动技能。他在此基础上提出针对非连续运动学习的图式理论,后来又根据体育运动中的快速反应动作(如投掷、射门)特征,认为这类动作过程无法进行太多的反馈调节,需要预设“动作程序”,所以提出“开环控制系统”理论(Open-Loop Control System)(Schmidt, 1988)。

受计算机技术发展的影响,Stallings(1982)指出动作信息加工过程是由感觉输入、知觉过滤、短时储存、有限注意通道、运动控制、运动输出和信息反馈依次循环进行的。这促使研究者认识到认知努力只是“参与运动决策的脑力工作”(Lee et al., 1994),而本体感知觉产生的反馈能减少认知工作量(Brickman et al., 1996),所以观察学习和短时间尺度的模仿需要知觉与运动过程之间建立某种形式的协调,通过对动作过程的知觉,激活内部认知机制(Meltzoff & Moore, 1997)。该过程包括:刺激确认(stimulus-identification)、反应选择(response-selection)和反应程序(response-programming)等三个阶段,产生感觉-动作迁移(PAT)效应,继而获得动作行为习得成效(Meltzoff & Prinz, 2002)。

为了检验本体感知觉对运动学习的影响,研究者通过屏蔽视觉输入以凸出本体感知觉输入的作用,例如Cordo(1994)蒙上30名被试的眼睛来消除视觉信息输入,然后用实验装置固定被试的右臂,使

\* 基金项目:湖北省高等学校省级教学研究项目“采用自制器材解决体育教学难点的实践研究”(2022140)。

其在水平方向从  $120^\circ$  向  $158^\circ$  匀速或非匀速被动平移,要求被试在肘部经过设置在  $145^\circ$  的目标时迅速张开右手,发现本体感知觉训练能够帮助被试准确完成动作任务,且几乎不需要认知学习;Sergio 和 Scott (1998) 比较先天性盲人、蒙眼的视力正常者和有视力者完成特定手部运动的表现,发现先天性盲人与有视力者的手部运动几乎没有差异,甚至在某些情况下表现得更准确。这可能缘于大脑感觉运动皮质区掌控着神经肌肉联动能力(郭峰等,2021),所以强化相应功能的本体感知觉能够提高运动水平(李旭龙等,2021)。

考虑到知觉与动作信息之间是双向传递的,运动训练会增强人体对动觉信号的解读能力(Hecht et al., 2001),所以动作技能的获得很大程度上由体感输入推动(Ageberg et al., 2001)。这是因为动作技能由与反射和意识神经系统整合在一起的感官、前庭和视觉反馈来维持(Ageberg et al., 2001),而运动动作具体表现为知觉和行为之间的关系,或者是如何识别刺激和选择反应(Proctor & Miles, 2014),所以运动系统(如小脑)和触觉关联系统(如体感和顶叶后皮质)在本体感知觉重排中发挥了作用(Rossi et al., 2021)。其中,触觉是对刺激的基本属性进行加工(Carlson, 2010),而知觉则涉及解释事件或加工整体信息等更高水平的脑活动(Meyers, 2004)。当触觉传导通道来自肌、腱、关节等感受器的冲动传向大脑和小脑,就会促使个体感知到自己的肢体位置和关节状态(李新旺, 2017),这些信息在大脑中构成动作概念。实验证明触觉学习\*可以提高运动学习成效,例如 Hecht (2001) 用连杆将蒙眼被试与主试相连,让被试感受主试拉动连杆传递的动作过程信息,然后根据动觉印象进行演练,发现被试的动作表现较为准确;Feygin 等人(2002)要求被试在三种训练条件(触觉、视觉、触觉+视觉)下学习复杂的 3D 运动(手部在空间 X、Y 和 Z 轴上完成一项路径固定、路线平滑的画圈运动),然后在两种回忆条件(有视觉、无视觉)下重演,通过对动作的位置、姿态、定时和优美进行评价来反映学习效果,发现触觉引导有利于动作技能学习。

近年来研究者在智能机器人的支持下进一步探索触觉学习效率,例如 Cuppone 等人(2016)在被试手腕上安装触觉机器人,要求练习者在不使用视觉的情况下进行特定的手腕伸展运动,触觉机器人可以提供错误动作反馈,为期 3 天的训练后发现练习者的本体感觉水平提高;Elangovan (2017) 使用机器

人外骨骼训练被试掌握特定的手腕运动,结果显示机器人提供的感觉条件可以提高本体觉敏度和腕关节动作准确性,相关实验印证了触觉学习有利于提高运动学习效率。

此外,Wong 等人(2012)发现同时接受视觉和机器人辅助示范的学习者比仅接受视觉演示的学习者在运动速度和位置准确性上表现得更好;Frikha (2019)分析被试通过口语指导、触觉、混合反馈(口语指导+触觉)学习新的体操动作的效果,发现触觉和口语联合指导组学生的成绩提升最为明显。这提示:触觉学习优势并不排斥认知学习的作用,“触觉+认知”学习模式可能是动作学习的较优途径。但是:(1)触觉反馈的前提是被试建立了一定的动作概念,否则触觉获得的刺激无法对大脑进行激活,也就不会产生明显的习得成效,那么“触觉+认知”学习的理想结合模式是什么?(2)不管是连杆运动,还是手把手的传授,都无法保证传输给练习者的动作信息持续稳定,因为主试自身演练的动作过程无法始终如一,而智能机器人仅用来引导被试完成规划路线的手腕屈伸动作,由于动作结构简单,无法屏蔽练习者已有类似动作概念的干扰作用(Meltzo et al., 1997),那么触觉学习对掌握较为复杂的动作技术是否有效?因此,本研究精心创建了一种稳定的触觉学习条件,用于考察运动技能习得过程中认知学习与触觉学习的关系。

## 2 研究方法

### 2.1 实验对象

在 D 大学公开招募一批没有羽毛球运动经历的在校大学生自愿参加实验,要求他们在实验期间没有选修羽毛球课或参加任何形式的羽毛球技术训练(选择羽毛球运动技术作为实验内容,仅缘于研究者承担羽毛球教学训练工作,目前没有确切证据表明运动项目对触觉学习效果产生影响)。邀请 3 名羽毛球教练员(1 人为国家级运动健将,2 人为国家二级运动员,均承担羽毛球教学工作 8 年以上),对被试的运动技能进行独立评估(具体方法将在“2.5 评价方法”部分详述),只要有 1 名教练员认为被试具备一定的羽毛球运动技术基础,就将该名被试剔除。共遴选出 32 名大学生参加实验,根据他们报名先后顺序分入 3 组。实验前明确告知被试实验内容、计划、目的和要求,他们均知情同意。由于向实验对象提出参训要求(不具备羽毛球运动技能、实验期间不能参加实验干预以外的任何羽毛球运动

\* 本研究所称“触觉”不是“触摸感觉”的广义,而是指对特殊动作形态的本体感知觉。我们回味一下握筷、握笔、握手、握乒乓球拍、握网球拍、握羽毛球拍的“触觉”,就能轻易理解动作触觉的含义。

技能学习活动、能够完成连续 2 周共 8 次训练),在此过程中部分同学因上课、实习、伤病、考试等原因退出,最终有 16 人完成实验(认知学习组 6 人,触觉学习组 5 人,混合学习组 5 人)。实验对象存在较高的淘汰率,旨在尽可能高水平的呈现实验效果。参考欧阳文珍(2001),王爱民、金洪源和刘勇(2008)

对心理学实验中有关小样本的规定,以及彭凡、张力为和周财亮(2023)对体育科学实验样本量的建议,采用  $G * Power 3.1.9.7$  进行事后检验,设置效应量为 0.8、显著性为 0.05、分为 3 组、样本总量为 16 人,得出 Power 值为 0.835。

表 1 实验对象基本情况信息表

分组	编号	性别	训练时间	训练地点	参训情况	实验前测试结果			
						静握	抽球	挑球	击高远球
认知训练组	A01	女	2019 年 11 月 19 日至 12 月 3 日,星期一、三、五和六晚上 18:30—19:30	D 大学北区体育馆舞蹈练功房	完成	1.00	0.33	1.00	0.00
	A02	女			学习时间冲突,中途退出	—	—	—	—
	A03	男			身体疼痛,中途退出	—	—	—	—
	A04	男			完成	0.00	0.33	0.33	0.00
	A05	女			完成	0.33	0.67	0.67	0.00
	A06	女			完成	0.00	0.33	0.33	0.00
	A07	男			民乐团训练,中途退出	—	—	—	—
	A08	女			家人来访,中途退出	—	—	—	—
	A09	男			完成	0.33	1.00	0.67	0.67
	A10	男			参加比赛,中途退出	—	—	—	—
	A11	男			完成	1.33	0.67	1.00	0.33
感知训练组	B01	女	2019 年 12 月 3 日至 15 日,星期一、三、五和六晚上 18:30—19:30		完成	0.33	0.33	0.33	0.00
	B02	男			学习时间冲突,中途退出	—	—	—	—
	B03	男			完成	1.00	1.00	0.33	0.33
	B04	女			完成	0.67	1.00	1.00	0.00
	B05	男			学习时间冲突,中途退出	—	—	—	—
	B06	男			学习时间冲突,中途退出	—	—	—	—
	B07	男			完成	1	0.67	0.67	0.33
	B08	男			完成	0.33	0.33	0.00	0.00
	B09	女			学习时间冲突,中途退出	—	—	—	—
	B10	男			学习时间冲突,中途退出	—	—	—	—
	B11	女			学习时间冲突,中途退出	—	—	—	—
混合训练组	C01	男	2020 年 11 月 18 日至 12 月 1 日,星期一、五、六、七晚上 18:30—19:30		完成	0.33	0.33	0.33	0.00
	C02	男			班级活动冲突,中途退出	—	—	—	—
	C03	男			学习时间冲突,中途退出	—	—	—	—
	C04	男			学习时间冲突,中途退出	—	—	—	—
	C05	女			完成	0.33	0.33	0.33	0.00
	C06	女			故意隐瞒技术基础,中途退出	—	—	—	—
	C07	男			完成	0.67	0.67	0.67	0.67
	C08	女			完成	1.33	1.00	0.33	0.00
	C09	女			完成	0.00	0.00	0.00	0.00
	C10	男			实习时间冲突,中途退出	—	—	—	—

注:3 名羽毛球教练员对被试各项技术进行评分(分值介于 0~5 分):0 表示完全错误,5 表示完全正确,然后计算平均得分。

2.2 实验器材

为了满足触觉学习实验要求,研究人员历时 4 年,专门研制了一种羽毛球正手持拍技术定型/矫正

器(游茂林,2021),获授权国家发明专利 2 项和国家实用新型专利 4 项\*,并荣获第二届全国大学生体育产业创新创业大赛(总决赛)金奖。该器材安

\* 国家发明专利编号: ZL201811291126.3 和 ZL201710195491.3; 国家实用新型专利编号: ZL201720314619.9、ZL201720316403.6、ZL201821521164.9 和 ZL201920104025.4。

装在羽毛球拍柄上,通过器材表面的 2 个指套固定练习者拇指和食指的位置(该器材能够帮助练习者生成正确持拍手型的原理,在前述已发表的论文和已获授权的专利申请文书中进行了详细介绍,本文不再赘述),从而自动形成正确的羽毛球正手持拍技术手型(正手持拍是羽毛球运动的一种持拍技术,表现为握拍时的手型及运动中的发力,不受左右手限制,且不涉及手腕、手臂等部位的挥拍动作)。实验中被试通过本体感知觉将触觉获得的正手持拍动作信息上传至大脑进行加工,形成相应的动作概念,并通过多次练习予以巩固,从而帮助他们形成正确的正手持拍技术动作图式。实验过程中,不向触觉学习组被试提供任何可视或可听的指导信息,仅通过器材上特殊设计的结构达到规范其正手持拍手型的目的,这种约束感会帮助他们产生相应的本体感知觉,从而利用这种“触觉—知觉”的内隐学习机制发展动作技能(图 1)。

### 2.3 实验设计

采用 3(组别:认知学习组、触觉学习组和混合学习组)×2(测量时间:前测,后测)混合实验设计,组别为被试间变量,测量时间为被试内变量。其中,认知学习组采用讲解示范教学法;触觉学习组佩戴羽毛球正手持拍技术定型/矫正器进行训练,采用与

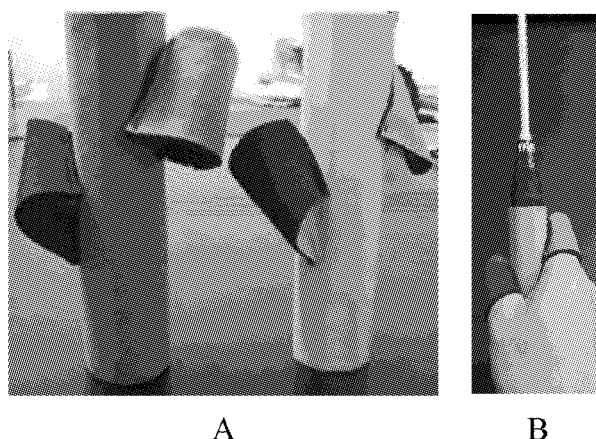


图 1 实验器材实物图

认知学习组相同的训练内容(比如挥拍、挑球),根据教练员的要求自主练习,但全程不提供口语或示范指导;混合学习组佩戴羽毛球正手持拍技术定型/矫正器,采用与认知学习组相同的讲解示范教学内容进行练习。由于 Shapiro-Wilk 检验结果显示,三组被试演练 4 种羽毛球运动技术(静握、抽球、挑球、击高球)时的正手持拍手型得分,均不符合正态分布( $p > 0.05$ ),所以选择非参数检验方法(Kruskal-Wallis)分析三组被试的前测正手持拍技术水平,可见各组在演练 4 种技术动作时展现的正手持拍手型不存在明显的组间差异(表 2)。

表 2 三组被试正手持拍手型的基线水平比较

演练技术	中位数(上下四分位数)			$\chi^2$	$p$
	认知学习组	触觉学习组	混合学习组		
静握	1.665(0~2.83)	0.67(0.5~2.165)	0.33(0.165~1)	1.455	0.483
抽球	0.5(0.33~2.7525)	0.67(0.33~3)	0.67(0.165~1.165)	0.522	0.77
挑球	0.835(0.33~3.1675)	0.67(0.165~1.665)	1.33(0.335~1.33)	0.307	0.858
击高球	0.335(0~2.0825)	0.33(0~0.665)	0(0~0.335)	1.647	0.439

经与被试沟通协商,确定每次训练的日期和时间。实验时间和频率如表 1 所示,三组训练的时间长度和频率相同,各持续 2 周、每周训练 4 次(避免认知强化以及运动兴趣提升促进主动学习带来的干扰,从而有效呈现认知与触觉学习效应)、每次训练 1 小时。考虑到气温可能影响被试的学习效果(宛霞等,2019),故将第三组训练时间定在 2019 年 11 月 18 日至 12 月 1 日,确保三组被试在相似的气温条件下完成实验。

为了避免羽毛球场地引起的条件反射效应对实验结果造成干扰(Christoforou,2021),保证被试将注意力集中在训练内容上,所以将实验地点设在 D 大学北区体育馆的舞蹈练功房,研究人员根据训练和测评要求布置相关条件。

### 2.4 实验过程

三组被试均在教练员 L(羽毛球国家二级运动

员、校大学生羽毛球队助理教练)和 2 名助理教练员(体育硕士研究生)的指导下完成训练计划。具体过程如下:(1)每堂训练课前,同组所有被试在教练员带领下完成 10 分钟的热身练习;(2)根据教练员的指令完成羽毛球正手持拍技术练习(40 分钟);(3)第一组和第三组在教练员的指导下(集体指导和单人指导相结合)进行练习(10 分钟),第二组根据教练员的口令(如“预备”(感受持拍动作)、“开始”(挥拍))进行练习(10 分钟)。虽然引导被试练习的方式不同,但练习的内容、顺序和时长均一致(持拍动作与挥拍动作是 2 种运动技术,触觉学习组没有教授持拍动作,但在第一次训练课时由教练员空手向该组被试演示和指导学习挥拍动作 10 分钟);(4)要求所有被试不要在非训练时间加练。每名被试准时参加每次训练,若请假,须在第 2 天上午 9:00~10:00 参加补训,累计请假超过 3 次的被试

将退出实验。为了避免实验信息对被试造成干扰，说是实验。  
对外宣称组织开展课外免费羽毛球辅导训练，而不

表 3 实验训练方案

分组	训练内容						
	热身	挥空拍	抽球	挑球	击高远球	持拍手型训练	挥空拍
认知学习组		根据教练员的口语指导和示范进行练习				个人练习,教练指导	
触觉学习组	慢跑 专项拉伸 体育游戏	佩戴羽毛球正手持拍技术定型/ 矫正器进行练习(无指导)				根据教练员指令进行练习	
混合学习组		佩戴羽毛球正手持拍技术定型/矫正器, 根据教练员的口语指导和示范进行练习				个人练习,教练指导	
练习时间	10 分钟	每项技术练习 10 分钟(共 40 分钟)				10 分钟	

2.5 评价方法

研究人员采用 HUAWEI Mate 30 手机抵近拍摄被试正手持拍的静态、抽球、挑球和击高球时的手部视频,每段视频时长 10~20 秒,清晰、全面展现被试的持拍手型。第一周训练期间(4 次课),教练员先演示用正手持拍技术(教练员面向触觉学习组被试演示时不握拍,空手演示)练习静握、抽球、挑球、击高球等动作(各示范 5 次),然后按照各组训练计划指导被试练习。其中抽球、挑球和击高球练习,要求被试用正手持拍技术击打身前悬挂的羽毛球若干次(根据被试身高确定悬挂高度)。为了检验训练效果,第 4 次和第 8 次训练结束后,各组全体被试原地休息 30 分钟(均不持拍),再按照前述测评方法拍摄被试完成各项指定动作时的正手持拍手型(每项动作完成 5 次,特殊情况下要求被试适当增加完成的次数),被试测试时不佩戴羽毛球正手持拍技术定型/矫正器。将视频发送给 3 名羽毛球教练员进

行独立评价(分值介于 0~5 分),0 为最低分、5 为最高分,被试正手持拍手型得分是 3 名教练员评分和的平均值\*。由于学习时间、训练内容、基础水平相当,所以各组被试的学习效率可以通过中测和后测成绩予以体现。

3 结果与分析

3.1 运动学习效果的组内比较

采用 Friedman 检验纵向比较三组被试在前、中、后测阶段的正手持拍手型(表 4),可见三组被试均从训练中获得较大进步( $p < 0.001$ ),其中:认知学习组在击高球时的正手持拍技术( $p = 0.006$ ),触觉学习组在静握( $p = 0.050$ )、挑球( $p = 0.029$ )和击高球( $p = 0.039$ )时的正手持拍技术,以及混合学习组则在静握( $p = 0.015$ )、抽球( $p = 0.015$ )、挑球( $p = 0.015$ )和击高球( $p = 0.016$ )时的正手持拍技术,发生了显著的前、后测差异。

表 4 三组被试组内比较分析结果

	总体情况				认知学习组( $n=6$ )			触觉学习组( $n=5$ )			混合学习组( $n=5$ )				
	中位数 上下四分位数	$\chi^2$	$p$		中位数 上下四分位数	$\chi^2$	$p$		中位数 上下四分位数	$\chi^2$	$p$		中位数 上下四分位数	$\chi^2$	$p$
静握_前	0.67(0.33~2.08)	17.935	***	0.000	1.665(0~2.83)	4.261	0.119		0.67(0.5~2.165)	6.000*	0.050		0.33(0.165~1)	8.400*	0.015
静握_中	3.33(2.753~4)				3.33(2.503~4.168)				3.67(1~4.165)				3(3~4.5)		
静握_后	3.835(3.415~4.585)				3.67(3.165~3.753)				3.67(1.665~4.335)				4.67(4.33~5)		
抽球_前	0.67(0.33~2.335)	15.77	***	0.000	0.5(0.33~2.753)	5.727	0.057		0.67(0.33~3)	3.263	0.196		0.67(0.165~1.165)	8.400*	0.015
抽球_中	3.165(1.415~3.67)				3.335(2.08~4.33)				1.67(1~3.5)				3.33(1.83~4.17)		
抽球_后	3.835(2.498~4.248)				3.67(2.833~3.753)				2.33(0.835~4.165)				4.33(4~4.835)		
挑球_前	0.835(0.33~1.33)	16.935	***	0.000	0.835(0.33~3.168)	4.261	0.119		0.67(0.165~1.665)	7.053*	0.029		1.33(0.335~1.33)	8.400*	0.015
挑球_中	3(1.415~3.67)				3.335(1.503~4.33)				1.33(1~3.165)				3(2.5~4.17)		
挑球_后	3.67(3~4.33)				3.67(2.833~3.67)				2.33(0.835~4.165)				4.33(4.165~4.665)		
击高球_前	0(0~0.67)	25.051	***	0.000	0.335(0~2.083)	10.333	**	0.006	0.33(0~0.665)	6.500*	0.039		0(0~0.335)	8.316*	0.016
击高球_中	3(1.415~3.918)				2.665(1.33~3.753)				1.67(0.83~3.665)				3.67(2.335~4.33)		
击高球_后	4.165(3.415~4.67)				4.335(3.585~4.67)				2.67(0.83~4.335)				4.67(4.165~4.835)		

注: \* $p < 0.05$ ; \*\* $p < 0.01$ ; \*\*\* $p = 0.00$ ,下同。

进一步分析发现:(1)认知学习组被试技术进步的效果量介于 0.880~1.601,在演练击高球时(Cohen's  $d = 1.601$ )表现出的正手持拍技术取得明

显进步( $p < 0.05$ ),演练抽球时(Cohen's  $d = 1.399$ )表现出的正手持拍技术进步成效达到临界显著性( $p = 0.057$ );(2)触觉学习组被试演练抽球

\* 目前没有针对羽毛球正手持拍技术的评分标准,而采用专家评判法评估运动技术水平,是一种较为常用的判断方法。

时表现出的正手持拍技术进步较低 (Cohen's  $d = 0.393$ ), 而演练静握、挑球和击高球时表现出的学习进步较大 (Cohen's  $d > 0.8$ ), 均发生了显著性变化 ( $p < 0.05$ ); (3) 混合学习组被试在演练 4 种动作时表现出的正手持拍技术都取得明显进步 ( $p < 0.05$ ), 效果量均较大 (Cohen's  $d$  值介于  $0.796 \sim 2.7$ )。

通过事后比较分析, 可见三组被试的正手持拍技术变化均只存在显著的前测与后测差异, 其中认知学习组仅在击高球时表现出前后差异显著的正手持拍技术 ( $p = 0.004$ ); 触觉学习组在静握和击高球时表现出的正手持拍技术的前后差异达到临界显著性 ( $p$  值分别为  $0.053$  和  $0.081$ ), 挑球时的前后差异显著 ( $p = 0.034$ ); 混合学习组在静握 ( $p = 0.013$ )、抽球 ( $p = 0.013$ )、挑球 ( $p = 0.013$ ) 和击高球 ( $p = 0.022$ ) 时均表现出前后差异显著的正手持拍技术。这提示: 经过 8 周训练, 认知学习组的进步效率最低, 触觉学习组的进步效率居中, 而混合学习组的进

步效率最明显。

综上所述: 在动作技能学习初期, 混合学习和认知学习表现出比触觉学习更好的进步成效, 而且混合学习效果具有较强的稳定性。可见: (1) 通过认知学习建立相应的动作概念可能是运动技术形成初始阶段的关键任务; (2) 触觉学习体现出增效作用, 但动作技能学习初始阶段不宜进行单纯的触觉学习。

### 3.2 运动学习效果的中/后测比较

采用 Kruskal - Wallis 检验各组被试在中、后测时演练静握、抽球、挑球和击高球的正手持拍技术 (表 5), 结果显示: 三组被试中测得分不存在显著的组间差异 ( $p > 0.05$ ), 而后测时静握 ( $p = 0.016$ )、抽球 ( $p = 0.03$ ) 和挑球 ( $p = 0.018$ ) 的正手持拍技术表现出显著的组间差异。这提示: 1 周的练习还不足以体现不同学习方法的习得成效差异, 而完成 2 周练习后, 不同学习方法的习得效率开始表现出明显差异。

表 5 三组被试中测与后测得分的比较

		中位数(上下四分位数)			$\chi^2$	$p$
		认知学习组	触觉学习组	混合学习组		
中测	静握	3.33(2.503~4.168)	3.67(1~4.165)	3(3~4.5)	0.192	0.908
	抽球	3.335(2.08~4.33)	1.67(1~3.5)	3.33(1.83~4.17)	2.212	0.331
	挑球	3.335(1.503~4.33)	1.33(1~3.165)	3(2.5~4.17)	3.036	0.219
	击高球	2.665(1.33~3.753)	1.67(0.83~3.665)	3.67(2.335~4.33)	2.417	0.299
后测	静握	2.67(2.67~3.165)	1.33(1.33~1.665)	4.33(4.33~4.33)	8.221*	0.016
	抽球	2.33(2.33~2.833)	0.67(0.67~0.835)	4(4~4)	6.992*	0.03
	挑球	2.33(2.33~2.833)	1.33(1.33~1.83)	4(4~4.165)	7.98*	0.018
	击高球	3.33(3.33~3.585)	0.33(0.33~0.83)	4(4~4.165)	4.722	0.094

由表 6 可见, 后测时被试演练静握、抽球和挑球的正手持拍技术存在一定的组间差异 (中测结果不存在显著性差异, 故未在表中予以呈现), 具体而言: (1) 认知学习组与触觉学习组在演练各项动作时的正手持拍技术均无显著性差异 ( $p > 0.05$ ); (2) 认知学习组与混合学习组在演练静握 ( $p = 0.026$ ) 和挑球时 ( $p = 0.032$ ) 的正手持拍技术存在显著性

差异, 抽球时的正手持拍技术存在临界显著性差异 ( $p = 0.0721$ ); (3) 触觉学习组与混合学习组在演练静握、抽球和挑球时的正手持拍技术存在临界显著性差异。根据检验统计量的正负号, 可知混合学习组的进步效率最高, 其次是触觉学习组, 而认知学习组的进步效率最低, 但认知学习组与触觉学习组的习得成效差异不明显。

表 6 8 次训练后的组间比较分析结果

后测	认知学习组 - 触觉学习组			认知学习组 - 混合学习组			触觉学习组 - 混合学习组		
	检验统计	SE	$p$	检验统计	SE	$p$	检验统计	SE	$p$
静握	-0.500	2.853	1.000	-7.500	2.853	0.026	-7.000	2.980	0.056
抽球	0.567	2.849	1.000	-6.433	2.849	0.072	-7.000	2.975	0.056
挑球	-0.233	2.834	1.000	-7.233	2.834	0.032	-7.000	2.960	0.054

### 3.3 三种学习模式下动作技能习得成效的发展趋势

分析发现, 三组被试在第二阶段取得的进步效率均出现不同程度的降低, 仅认知学习组在击高球 (Cohen's  $d = 1.170$ ) 和触觉学习组在挑球 (Cohen's  $d = 1.785$ ) 时表现出的正手持拍技术取得明显进步 ( $p < 0.05$ ), 混合学习组在 4 项测试上均无明显变化。而经过 8 周训练后, 认知学习组在演练 4 项动作时表现的正手持拍技术进步效果量较大 (Cohen's

$d$  介于  $0.948 \sim 2.468$ ), 触觉学习组除了抽球时表现的进步效果量位于中等水平 (Cohen's  $d = 0.475$ ), 演练其余 3 项动作时表现出的进步效果量均较大 (Cohen's  $d$  介于  $0.928 \sim 1.54$ ), 混合学习组在 4 项测试中均表现出较大的进步效果量 (Cohen's  $d$  介于  $5.354 \sim 13.925$ )。可见, 对于初学者而言混合学习模式最有效, 能够在短期内快速提高运动技术水平。

根据三组练习者在4项演练中表现出的正手持拍技术发展趋势(图2),可见被试的正手持拍技术水平均不断提高(斜率大于0),但是:(1)前4次训练,混合学习组提高的幅度最大,其次是认知学习

组,触觉学习组提高的幅度最小;(2)后4次训练,混合学习组在演练静握、抽球和挑球时表现的正手持拍技术进步幅度优于其余2种学习模式,而触觉学习组在演练静握(0.53 vs 0.17)、抽球(0.34 vs 0.22)

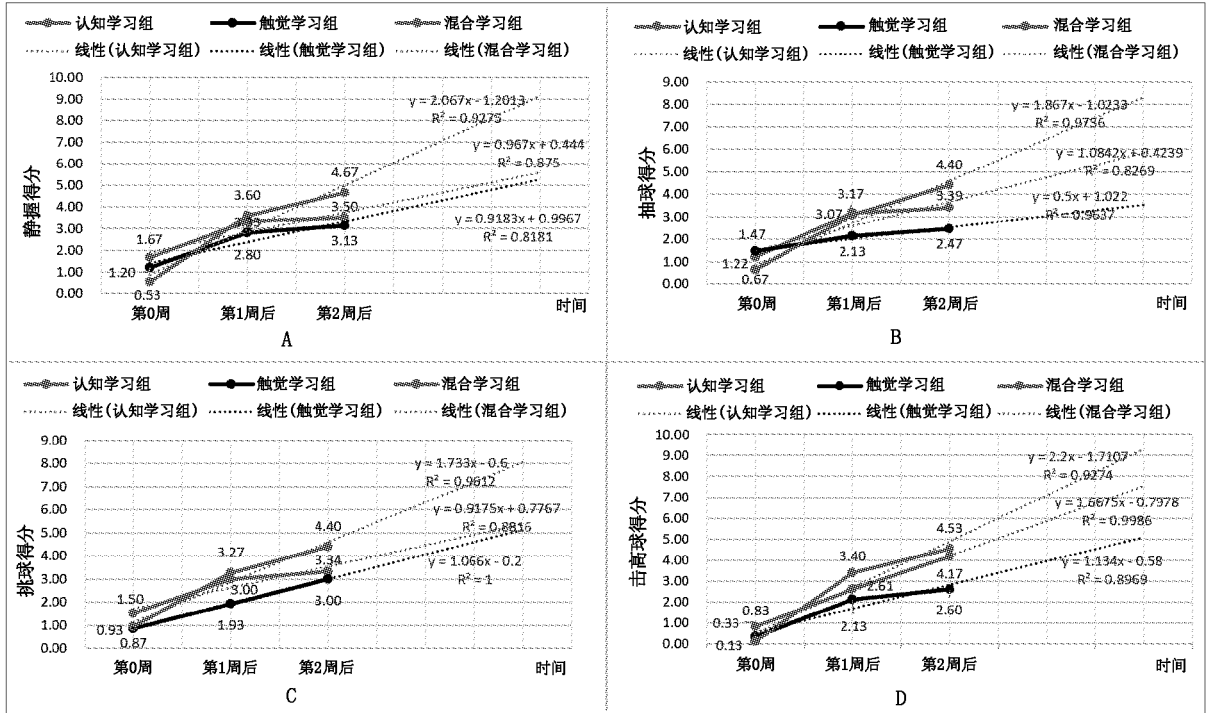


图2 三种学习模式下动作技能习得成效的发展趋势与线性预测结果

和挑球(1.07 vs 0.34)时表现的正手持拍技术进步幅度优于认知学习组,认知学习组仅在演练击高球时表现的正手持拍技术进步幅度优于混合学习组和触觉学习组;(3)相较于认知学习组(1.83、2.17、1.84、3.34)和触觉学习组(1.93、1.23、2.27),混合学习组(4.14、3.37、3.37、4.4)明显取得了更大的进步;(4)从三组被试表现出的正手持拍技术发展趋势看,混合学习组和触觉学习组取得的进步优于认知学习组,而且触觉学习组表现出较好的后发优势,似乎练习者一旦建立了动作技术概念,触觉学习就会发挥积极的增效作用;(5)认知学习促使运动技术进步从无到有的提升效率高于从有到强;(6)第一阶段的进步幅度越大,第二阶段的进步幅度就越小,这提示动作技能习得效率的增幅可能存在逐渐放缓的趋势。

3.4 三种学习模式下习得简单运动技能与复杂运动技能的效率比较

比较分析发现,前测静握、抽球、挑球时的正手持拍技术得分均显著高于击高球时的正手持拍技术得分( $t_{静握-击高远球}=2.429, p=0.028$ ;  $t_{挑球-击高远球}=2.676, p=0.017$ ;  $t_{挑球-击高远球}=2.878, p=0.012$ ),表明演练静握、抽球和挑球动作时表现正手持拍技术相对简单,而演练击高球时表现正手持拍技术较困难。同时研究人员征询上述3名羽毛球教练员的意见,均认为静握展示正手持拍技术容易,抽球和挑球过程中表现正手持拍技术稍难,击高球时保持正手持拍技术最难,所以将静握展示正手持拍技术作为简单运动技能,击高球时表现正手持拍技术作为复杂运动技能。

表7 不同学习模式下习得简单与复杂运动技能效率的比较

测试阶段	测试项目	认知学习组			触觉学习组			混合学习组		
		<i>t</i>	<i>p</i>	<i>Cohen's d</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>Cohen's d</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	<i>Cohen's d</i>
中测-前测	静握	2.156	0.084	0.880	1.812	0.144	0.810	5.887**	0.004	0.796
	击高远球	3.922*	0.011	1.601	2.784*	0.050	1.245	6.038**	0.004	2.700
后测-中测	静握	0.597	0.577	0.244	1.202	0.296	0.538	2.135	0.100	2.419
	击高远球	2.867*	0.035	1.170	1.506	0.207	0.301	1.734	0.158	0.775
后测-前测	静握	2.321	0.068	0.948	2.785*	0.050	1.245	31.138***	0.000	13.925
	击高远球	6.046**	0.002	2.468	3.056*	0.038	0.928	22.604***	0.000	10.109

结果显示(表7):(1)经过前4次练习,混合学习组在掌握简单运动技能和复杂运动技能上均取得显著性进步,而认知学习组与触觉学习组只在掌握复杂运动技能上取得显著性进步;(2)经过后4次练习,触觉学习组和混合学习组没有取得明显进步,而认知学习组习得复杂运动技能时再次取得明显进步;(3)经过8次练习,混合学习组和触觉学习组掌

握简单运动技能和复杂运动技能均取得明显进步,而认知学习组仅掌握复杂运动技能取得明显进步。可见,认知学习促进练习者掌握复杂运动技能的效果优于触觉学习,而触觉学习有利于掌握简单运动技能,两种学习模式相结合,将帮助练习者习得简单和复杂运动技能时均取得大幅进步。

表8 不同阶段采用不同学习模式习得简单与复杂运动技能效率的比较

测试阶段	测试项目	认知学习组 - 触觉学习组				触觉学习组 - 混合学习组				认知学习组 - 混合学习组			
		<i>t</i>	<i>p</i>	均差	Cohen's <i>d</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	均差	Cohen's <i>d</i>	<i>t</i>	<i>p</i>	均差	Cohen's <i>d</i>
中测	静握	0.632	0.543	0.533	0.371	-0.888	0.400	-0.800	0.562	-0.478	0.644	-0.267	0.562
	击高远球	0.576	0.579	0.478	0.344	-1.482	0.177	-1.268	0.937	-1.122	0.291	-0.790	0.682
后测	静握	0.559	0.601	0.368	0.351	-2.366	0.071	-1.532	1.496	-4.705	0.001	-1.164	2.897
	击高远球	1.863	0.125	1.568	1.169	-2.346	0.074	-1.934	1.484	-1.191	0.264	-0.366	0.737

由表8可见,认知学习组的进步效果量比触觉学习组高,但混合学习组相较于触觉学习组在掌握复杂运动技能方面取得的进步效果量高于混合学习组相较于认知学习组的变化,而且混合学习组相较于认知学习组掌握简单运动技能的进步效果量,高于混合学习组相较于触觉学习组的变化。由于触觉学习组与混合学习组的干预差异在于缺少认知学习,认知学习组与混合学习组的干预差异在于缺少触觉学习,可见触觉学习有利于掌握简单运动技能,而认知学习有利于掌握复杂运动技能。

#### 4 讨论

##### 4.1 面向初学者建立“概念打底,感觉推进”的运动学习模式

在第一阶段的练习中,认知学习组和混合学习组的进步效率优于触觉学习组;在第二阶段的练习中,触觉学习组的进步效率优于认知学习组,表明对于初学者而言应先强化动作技能概念,否则触觉获得的动作信息在大脑皮层难以形成有效的认知图式,也就无法生成有效的神经-肌肉联系,所以一旦被试建立动作技能概念,触觉学习会大幅提升动作学习成效。这可能缘于认知学习产生的运动表象和动作观察活动有助于以明确和持续的方式进行有目标的运动任务学习(Taube et al., 2014),这种模仿有意义的动作比漫无目的的演练更有利于习得运动技能(Carmo & Rumiat, 2009),因为大脑中有关运动技能的概念得到强化(例如触觉学习组经过1周的训练,获得的动作技术信息在大脑中形成累积效应,建立了一定的动作技术概念,为后续触觉学习奠定了动作图式基础)。同时多模式增强反馈比单模式增强反馈能更早达到神经激活阈值(Feygin et al., 2002; Sigrist et al., 2013),例如同时接受视觉指导和机器人辅助的练习者比仅接受视觉指导的练习者表现出更好的动作学习效果(Wong et al., 2012),

所以混合学习的效率最高(Frikha et al., 2019)。因此,针对初学者习得运动技能,首先要着力帮助他们建立正确的动作概念,然后强化动作状态和动作过程感知,采用“概念打底,感觉推进”的运动学习模式,才能显著提高练习者的习得成效。

##### 4.2 运动技能习得成效主要表现为神经-肌肉联动效率

学习羽毛球正手持拍技术具体表现为控制一种特殊的手部姿势,而姿势控制是由与反射和意识神经系统整合在一起的感官、前庭和视觉反馈来实现维持与调节作用(Ageberg et al., 2001),所以触觉在运动学习中起着重要作用(Beets et al., 2012),特别是在学习的早期阶段(Vahdat et al., 2014),本体感知觉能够加强初级运动皮层(M1)、初级躯体感觉皮层(S1)、补充运动区(SMA)和背侧运动前区皮层(PMD)等大脑神经网络功能的连接(Ostry & Gribble, 2016)。同时Milot等人(2010)和Marchal-Crespo等人(2015)发现,触觉引导特别有助于初学者,因为在运动技能学习的初级阶段,运动的体感目标尚不清晰,而触觉学习在体感系统中发挥着至关重要的作用(Bernardi et al., 2015; Ostry & Gribble, 2016),所以多项采用触觉机器人引导的被动手部运动实验发现,机器人辅助产生的运动感觉训练可以提高本体觉敏度,相应关节完成特定三维运动任务的准确性同步提高(Chiyohara et al., 2020; Cuppone et al., 2016; Elangovan et al., 2017; Mostafa et al., 2019; Hart & Henriques, 2016; Wong et al., 2012)。这意味着本体感知觉反馈会实现和加强神经-肌肉联动的具体化,促进肌肉记忆形成,继而提高大脑输出的动作信息驱动神经肌肉联动的效率,而漫无目的的触觉学习虽然能够建立一定的肌肉记忆,但缺乏明确的神经-肌肉驱动联系,导致运动技能提升效率不足。



#### 4.3 勤练可能比博学更有利于动作技能习得

看视频不能成为林丹! 认知学习是一个自上而下的学习过程,为了成功模仿认知到的动作信息,需要将认知信息与动作系统集成,以建立正确的运动概念(Wild et al., 2010),而触觉引导为运动系统提供了额外的本体感觉和体感线索,从而帮助学习者加强动作规划(Patton & Mussa-Ivaldi, 2004),使练习者更容易地将口头指令与运动任务联系起来,能够显著改善学习成效(Feygin, 2002),例如由机器人辅助的训练,被试的本体感觉和运动技能习得成效均发生明显变化(Elangovan, 2017)。本体感觉和运动学习之间存在互动关系(Ostry & Gribble, 2016),学习运动技术后,本体感觉功能会增强;反之,本体感觉训练也会改善运动学习成效(Wong et al., 2011, 2012),所以通过8次练习,触觉学习组和混合学习组取得的进步效果量明显优于认知学习组,触觉学习体现出较好的后发优势,表明练习者一旦建立动作技术概念,触觉学习将发挥更为重要的促进作用。可见,认知学习生成动作概念,若得到触觉学习至下而上的反馈作用,强化神经-肌肉联动关系,有助于提高动作技能习得效率,因为触觉学习会将认知习得的抽象动作概念具体化,或者增强神经-肌肉联动效率,所以坚持触觉学习可能比增加认知学习获得更好的习得效果。

#### 4.4 运动技能习得的进步效率存在阈值

动作学习阶段理论认为,在动作学习前期,相关的动作表现特征有紧张、动作不准确、不一致、慢和停顿、不确定、僵硬、错误多等,而到了学习后期则表现为自动完成、准确、一致、流畅、自信、确定、适应、有效和发现错误(Schmidt & Wrisberg, 2008),所以Frikha(2019)发现相较于熟练阶段,被试在习得和保持阶段通过触觉反馈提高体操技能的学习效果更大,但Chiyohara(2020)发现利用外骨骼机器人辅助被试习得飞镖技能,他们的特定关节的运动能力在学习早期就得到显著提升。本研究也发现相较于第一阶段练习取得的进步,被试在第二阶段的进步效率降低,而且三种学习模式的习得效率变化均表现出先快后慢的对数曲线式增长特征,只是触觉学习组和混合学习组的提升效率相对较高。这提示:(1)动作技能习得可能存在某个阈值,当个体的运动技术水平发展到一定程度,继续提升的效率将下降;(2)触觉学习可能有助于提高阈值,所以对于具备一定运动技能的人员而言,加强训练将是提高运动水平的有效手段。不过,该阈值是否存在个体差异,以及阈值是否具有可控性,有待后续研究予以验证。

#### 5 小结

综合而言:(1)认知+触觉的混合学习模式取得的运动技能习得效率较高,而认知学习对于习得复杂运动技能和触觉学习对于习得简单运动技能,也表现出较好的进步效率;(2)对于初学者而言,认知学习的效果优于触觉学习,混合学习的效果优于认知或触觉学习,且在混合学习模式中触觉学习成分发挥了比认知学习更重要的作用,这意味着基于动作技能概念,触觉学习强化的神经-肌肉联系能提升动作技能发展成效;(3)初学者应采用“概念打底,感觉推进”的运动技能学习模式,而形成正确的动作概念之后,需要增加实践练习;(4)运动技能提升效率呈先高后低的发展趋势,而触觉学习可能会提高运动技术发展的阈值。因此,研究认为初学者习得运动技能的最佳模式是先讲解、示范和观察,后进行大量的触觉训练。

#### 参考文献

- 程宇琦,王新.(2021). 感觉交互作用对自由式滑雪空中技巧运动员平衡能力影响的研究. *体育科学*, 41(8), 14-18, 24.
- 郭峰,付彦铭,李东,等.(2021). 不同支撑模式下自由式滑雪空中技巧运动员大脑感觉运动皮质区对下肢肌肉控制模式的研究. *体育科学*, 41(1), 65-74, 82.
- 李新旺.(2017). *生理心理学*. 北京:科学出版社.
- 李旭龙,陈洪鑫,吕思琪,等.(2021). 足球运动对6~12岁儿童下肢本体感觉与平衡控制能力的影响及相关性研究. *西安体育学院学报*, 38(2), 210-218.
- 卢谢峰,韩立敏.(2007). 中介变量、调节变量与协变量:概念、统计检验及其比较. *心理科学*, 30(4), 934-936.
- 欧阳文珍.(2001). *心理学研究中的小样本方法*. 太原:山西人民出版社.
- 彭凡,张力为,周财亮.(2023). 体育科学实验研究如何确定适宜的样本量. *上海体育学院学报*, 47(2), 26-36.
- 宛霞,王晓莉,车召贵,等.(2019, October 11). 从军运会看气象和体育的关系. *中国气象报* (第四版).
- 王爱民,金洪源,刘勇.(2008). 心理干预实验中的单个或少量被试小样本实验设计. *辽宁师范大学学报(自然科学版)*, 31(1), 107-110.
- 王洪彪,周成林,王丽岩.(2008). 国外运动专长研究现状与发展趋势. *上海体育学院学报*, 32(5), 36-40, 89.
- 郭茂鹏,朱永红.(2018). *认知:从感觉到思维*. 广州:广东人民出版社.
- 杨慧婷,王欢.(2020). 幼儿发育性协调障碍感觉统合失调与家庭运动环境的相关性. *中国学校卫生*, 41(1), 86-89, 95.
- 游茂林.(2021). 基于数据手套的羽毛球正手持拍技术定型/矫正器的研制与试用. *中国体育科技*, 57(1), 92-97.
- Adams, J. A., Gopher, D., & Lintern, G. (1977). Effects of visual and proprioceptive feedback on motor learning. *Journal of*

- Motor Behavior*, 9(1), 11 – 22.
- Ageberg, E., Zatterstrom, R., Moritz, U., & Friden, T. (2001). Influence of supervised and nonsupervised training on postural control after an acute anterior cruciate ligament rupture: A three – year longitudinal prospective study. *Journal of Orthopaedic & Sports Physical Therapy*, 31(11), 632 – 644.
- Beets, I. A. M., Mace, M., Meesen, R. L. J., Cuyppers, K., Levin, O., & Swinnen, S. P. (2012). Active versus passive training of a complex bimanual task: Is prescriptive proprioceptive information sufficient for inducing motor learning? *Plos One*, 7(5), e37687.
- Berger, S. E., & Adolph, K. E. (2007). Learning and development in infant locomotion. *Progress in Brain Research*, 164, 237 – 255.
- Bernardi, N. F., Darainy, M., & Ostry, D. J. (2015). Somatosensory contribution to the initial stages of human motor learning. *Journal of Neuroscience*, 35(42), 14316 – 14326.
- Black, C. B., & Wright, D. L. (2000). Can observational practice facilitate error recognition and movement production? *Res Q Exerc Sport*, 71(4), 331 – 340.
- Blandin, Y., Lhuisset, L., & Proteau, L. (1999). Cognitive processes underlying observational learning of motor skills. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 52(4), 957 – 979.
- Bluteau, J., Coquillart, S., Payan, Y., & Gentaz, E. (2008). Haptic guidance improves the visuo – manual tracking of trajectories. *PloS One*, 3(3), e1775.
- Chiyohara, S., Furukawa, J. I., Noda, T., Morimoto, J., & Imamizu, H. (2020). Passive training with upper extremity exoskeleton robot affects proprioceptive acuity and performance of motor learning. *Scientific Reports*, 10(1), 9.
- Christoforou, C. (2021). Unconditioned response. In *Encyclopedia of Evolutionary Psychological Science* (pp. 8267 – 8270). Cham: Springer International Publishing.
- Cordo, P., Carlton, L., Bevan, L., et al. (1994). Proprioceptive coordination of movement sequences: Role of velocity and position information. *Journal of Neurophysiology*, 71(5), 1848 – 1861.
- Cuppone, A. V., Squeri, V., Semprini, M., Masia, L., & Konczak, J. (2016). Robot – assisted proprioceptive training with added vibro – tactile feedback enhances somatosensory and motor performance. *PloS One*, 11(10), e0164511.
- Elangovan, N., Cappello, L., Masia, L., Aman, J., & Konczak, J. (2017). A robot – aided visuo – motor training that improves proprioception and spatial accuracy of untrained movement. *Scientific Reports*, 7(1), 17054.
- Ellenburger, T., Boutin, A., Blandin, Y., Shea, C. H., & Panzer, S. (2012). Scheduling observational and physical practice: Influence on the coding of simple motor sequences. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 65(7), 1260 – 1273.
- Ernst, M., & Banks, M. (2001). Does vision always dominate haptics? Los Angeles: Conference on Touch in Virtual Environments.
- Farsi, A., Bahmanbegloo, Z. H., Abdoli, B., & Ghorbani, S. (2016). The effect of observational practice by a point – light model on learning a novel motor skill. *Perceptual and Motor Skills*, 123(2), 477 – 488.
- Feygin, D., Keehner, M., & Tendick, R. (2002, March). Haptic guidance: Experimental evaluation of a haptic training method for a perceptual motor skill. In *Proceedings 10th Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems. HAPTICS 2002* (pp. 40 – 47). IEEE.
- Frikha, M., Chaari, N., Elghoul, Y., Mohamed – Ali, H. H., & Zinkovsky, A. V. (2019). Effects of combined versus singular verbal or haptic feedback on acquisition, retention, difficulty, and competence perceptions in motor learning. *Perceptual and Motor Skills*, 126(4), 713 – 732.
- Gallese, V., Fadiga, L., Fogassi, L., & Rizzolatti, G. (1996). Action recognition in the premotor cortex. *Brain*, 119(2), 593 – 609.
- Grezes, J., & Decety, J. (2001). Functional anatomy of execution, mental simulation, observation, and verb generation of actions: A meta – analysis. *Human Brain Mapping*, 12(1), 1 – 19.
- Grosbras, M. H., Beaton, S., & Eickhoff, S. B. (2012). Brain regions involved in human movement perception: A quantitative voxel – based meta – analysis. *Human Brain Mapping*, 33(2), 431 – 454.
- Hart, B. M., & Henriques, D. Y. P. (2016). Separating predicted and perceived sensory consequences of motor learning. *Plos One*, 11(9), 15, e0163556.
- Hecht, H., Vogt, S., & Prinz, W. (2001). Motor learning enhances perceptual judgment: A case for action – perception transfer. *Psychological Research – Psychologische Forschung*, 65(1), 3 – 14.
- Marchal – Crespo, L., Bannwart, M., Riener, R., & Vallery, H. (2015). The Effect of Haptic Guidance on Learning a Hybrid Rhythmic – Discrete Motor Task. *Ieee Transactions on Haptics*, 8(2), 222 – 234.
- Maslovat, D., Hodges, N. J., Krigolson, O. E., & Handy, T. C. (2010). Observational practice benefits are limited to perceptual improvements in the acquisition of a novel coordination skill. *Experimental Brain Research*, 204(1), 119 – 130.
- Meltzoff, A. N., & Moore, M. K. (1994). Imitation, memory, and the representation of persons. *Infant Behavior and Development*, 17(1), 83 – 99.
- Milot, M. H., Marchal – Crespo, L., Green, C. S., Cramer, S. C., & Reinkensmeyer, D. J. (2010). Comparison of error – amplification and haptic – guidance training techniques for learning of a timing – based motor task by healthy individuals. *Experimental Brain Research*, 201(2), 119 – 131.
- Molenberghs, P., Cunnington, R., & Mattingley, J. B. (2012). Brain regions with mirror properties: A meta – analysis of 125

- human fMRI studies. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 36(1), 341–349.
- Mostafa, A. A., Hart, B. M., & Henriques, D. Y. P. (2019). Motor learning without moving: Proprioceptive and predictive hand localization after passive visuoproprioceptive discrepancy training. *Plos One*, 14(8), 19.
- Mukamel, R., Ekstrom, A. D., Kaplan, J., Iacoboni, M., & Fried, I. (2010). Single – neuron responses in humans during execution and observation of actions. *Current Biology*, 20(8), 750–756.
- Ostry, D. J., Darainy, M., Mattar, A. A. G., Wong, J., & Gribble, P. L. (2010). Somatosensory plasticity and motor learning. *Journal of Neuroscience*, 30(15), 5384–5393.
- Ostry, D. J., & Gribble, P. L. (2016). Sensory plasticity in human motor learning. *Trends in Neurosciences*, 39(2), 114–123.
- Rossi, C., Bastian, A. J., & Therrien, A. S. (2021). Mechanisms of proprioceptive realignment in human motor learning. *Current Opinion in Physiology*, 20(1), 186–197.
- Sergio, L. E., & Scott, S. H. (1998). Hand and joint paths during reaching movements with and without vision. *Experimental Brain Research*, 122(2), 157–164.
- Sigrist, R., Rauter, G., Riener, R., & Wolf, P. (2013). Augmented visual, auditory, haptic, and multimodal feedback in motor learning: A review. *Psychonomic Bulletin & Review*, 20(1), 21–53.
- Taube, W., Lorch, M., Zeiter, S., & Keller, M. (2014). Non – physical practice improves task performance in an unstable, perturbed environment: Motor imagery and observational balance training. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 972.
- Vahdat, S., Darainy, M., & Ostry, D. J. (2014). Structure of plasticity in human sensory and motor networks due to perceptual learning. *Journal of Neuroscience*, 34(7), 2451–2463.
- Wild, K. S., Poliakoff, E., Jerison, A., & Gowen, E. (2010). The influence of goals on movement kinematics during imitation. *Experimental Brain Research*, 204(3), 353–360.
- Wong, J. D., Kistemaker, D. A., Chin, A., & Gribble, P. L. (2012). Can proprioceptive training improve motor learning? *Journal of Neurophysiology*, 108(12), 3313–3321.
- Wong, J. D., Wilson, E. T., & Gribble, P. L. (2011). Spatially selective enhancement of proprioceptive acuity following motor learning. *Journal of Neurophysiology*, 105(5), 2512–2521.
- Wulf, G., Shea, C., & Lewthwaite, R. (2010). Motor skill learning and performance: A review of influential factors. *Medical Education*, 44(1), 75–84.

## The Impact of Perceptual Learning on the Efficiency of Motor Skill Improvement

You Maolin<sup>1</sup>, Yuan Shijing<sup>2</sup>

(1. Physical Education College, Jiangxi Normal University, Nanchang 330022;

2. Physical Education College, Central China Normal University, Wuhan 430074)

**Abstract:** How to improve the efficiency of acquiring motor skills is a classic topic in the field of Motor Learning and Control. It was not until the emergence of intelligent robots in recent years, which provided technology for creating reliable perceptual learning conditions, that a few researchers were able to explore the efficiency of perceptual learning of simple motor skills. In order to test the potential of perceptual learning in acquiring motor skills, this study first developed a new type of sports equipment (with 2 authorized national invention patents and 7 national utility model patents), and then conducted continuous experiments for 2 weeks, 4 times a week. The results showed that: (1) in the absence of correct action concept guidance, the acquisition efficiency of perceptual learning was relatively low, and once the practitioner established the action concept, Perceived learning has significantly produced higher acquisition efficiency than cognitive learning; (2) For beginners, cognitive learning is beneficial for mastering complex motor skills, while perceptual learning is beneficial for mastering simple motor skills; (3) There is a threshold for improving the effectiveness of motor skill acquisition, and perceptual learning may help to increase the threshold. Therefore, beginners should adopt a learning strategy of “concept based, perception driven”, and should not blindly conduct perception training before establishing correct action concepts.

**Key words:** motor skill; learning model; acquisition efficiency; cognitive learning; perceptual learning; experiment