

用双任务测定技术测量手-脚协调水平*

李怀龙**^{1,2} 杨群会² 庞新光³ 张洁³ 张侃²

(¹ 淮北煤炭师范学院, 淮北 235000; ² 中国科学院心理研究所, 北京 100101;

中国人民解放军空军招收飞行员工作办公室北京 100089)

摘要 基于多重任务的心理信息加工原理, 提出一种可以更好地利用分离的双重任务操作绩效测量和计算操作者手脚协调能力的方法, 并提出手-脚协调估计值 K 的计算方法。经手脚协调任务实验验证, 手-脚协调估计值 K 可以较好地用于测量操作者的手脚协调能力。

关键词: 手-脚协调能力 手-脚协调 双重任务 追踪

1 前言

1.1 问题提出

运动协调能力是任何操作技能都必须具备的心理品质, 其中包括眼-手之间、双手之间、手-脚之间的协调能力。按照威斯(Wiess, 1941)的观点, 运动协调是指大量“运动组分”之间的一种有序关系。即: 运动协调是与特定运动任务有密切关系的一组相关活动^[1]。从认知的观点来看, 这样的一组活动涉及信息的输入、中枢加工和信息的输出^[2]。因此, 协调能力是个体的心理资源。协调能力的水平是个体心理资源的数量表示, 在执行特定任务时这种资源会得到调用, 并以外在行为表现出来。不同个体由于协调能力在水平上的差异, 在需要调用这部分资源执行相关任务时, 会在任务的操作绩效上表现出不同。依此, 手-脚协调能力可以被描述为: 个体在利用手脚进行有目的的相关操作过程中, 心理资源在与操作有关的一组活动之间的分配、平衡与调节, 以获得操作绩效最大化的能力。而手-脚协调能力水平(简称手-脚协调水平)就是这种能力在量上的差异。

飞行员在执行飞行任务过程中需要不断地对飞机内外部环境和飞行仪表进行目测, 对操纵杆、舵、油门手柄等执行相应的操作, 将手、脚动作与目测的信息进行匹配, 这种匹配的准确性、敏捷性、连贯性极大地依赖于飞行员的协调能力, 包括手-脚协调能力。因此, 在选拔飞行员时, 对飞行员手-脚协调水平的有效估计将有重要意义。

1.2 研究思路

鉴于以上对手-脚协调能力及其水平的认识, 本研究基于以下基本假设: (一) 手-脚协调能力是存在的, 并在手-脚并用的操作任务中表现出来; (二) 不同个体的手-脚协调能力在水平上是有差异的, 应该在相应的操作任务的绩效上有不同的表现; (三) 手脚并用任务的操作绩效仅是手-脚协调的能力水平的外在表现, 而不是手-脚协调水平, 因而操作绩效并不能完备地表达协调水平。

为了能够有效地估计手-脚协调水平, 采用次任务测定技术。即: 在双任务条件下, 用被试的操作绩效的转化形式来估计其手-脚协调水平。

为了叙述方便, 用 K 来表示手-脚协调水平的估计值,

很自然认为手-脚协调水平高的被试在相关任务中, 应该有更好的表现。在双任务条件下, 可以用两方面的量来表达 K 。一方面, 手操作绩效 E_h 与脚操作绩效 E_f 的和 ($E_h + E_f$) 应该与 K 成同方向递进关系。也就是说, 手-脚协调水平越高, 手操作绩效 E_h 与脚操作绩效 E_f 的和 ($E_h + E_f$) 值也越大, 反之亦然。另一方面, 手操作绩效 E_h 与脚操作绩效 E_f 的差别越大, 手-脚协调水平越低, K 值越小。也就是说, 手-脚协调水平 K 值越高, 手操作绩效 E_h 与脚操作的绩效 E_f 的差的绝对值 ($|E_h - E_f|$) 值应该越小, 反之亦然。为了使得手操作绩效 E_h 与脚操作的绩效 E_f 在量纲上的一致, 需要将两者都转换为标准分, 以 Z_h 表示双任务条件下手操作绩效的标准分, Z_f 表示双任务条件下脚操作绩效的标准分。因此 K 值可以用下列 (a) 式来估计 (注: a 为待定参数)

$$K = \frac{Z_h + Z_f}{a + |Z_h - Z_f|} \quad (a)$$

(a) 式子中的 a 必须满足使分母不为零, 并保证 K 对 Z_h 和 Z_f 的一阶偏导数都不小于零, 以便在 Z_f 不变的情况下, K 值与 Z_h 同方向递增, 在 Z_h 不变的情况下, K 值与 Z_f 的同方向递增。为此我们考察:

$$\text{当 } Z_h \geq Z_f \text{ 时, } \frac{\partial K}{\partial Z_h} = \frac{a - 2Z_f}{(a + Z_h - Z_f)^2}, \quad \frac{\partial K}{\partial Z_f} = \frac{a - 2Z_h}{(a + Z_h - Z_f)^2}$$

由于 Z_h 和 Z_f 的取值 99% 以上都在 $(-3, 3)$ 之间, 从而 $Z_h + Z_f$ 的取值 99% 以上都落在 $(-6, 6)$ 之间,

只有当 $a \geq 6$ 时, 才能保证 $\frac{\partial K}{\partial Z_h} \geq 0$ 和 $\frac{\partial K}{\partial Z_f} \geq 0$ 恒成立

同理: 在 $Z_h < Z_f$ 时, 由于 Z_h 和 Z_f 处于对称位置, 可以获得同样的结果。因此, (a) 式中取 $a = 6$, 从而 K 的取值 99% 以上是在 $(-1, 1)$ 之间。(a) 式中取 $a = 6$ 后 (a) 式变为下面的 (b) 式:

$$K = \frac{Z_h + Z_f}{6 + |Z_h - Z_f|} \quad (b)$$

如果 K 值能够较好地表达手-脚协调能力水平, 那么 K 值至少必须满足以下条件:

(1) K 值必须较好地拟合正态分布。这是由于个体的手-脚协调能力在水平上是有差异的, 而且从概念出发可以认为 K 值的总体应该是服从正态分布的。

* 本研究获得国家自然科学基金项目 (30270465) 的资助

** 第一作者简介: 李怀龙, 男, 淮北煤炭师范学院, 副教授。E-mail: lihlong@hbcnc.edu.cn

(2) 双任务时, K 值必须与手-脚操作的工作负荷负相关。是因为手-脚协调水平越高, 则在操作时调用中枢资源越少, 从而工作负荷越低, 反之亦然。

(3) 在手-脚耦合方式下的操作绩效应该与 K 值同方向变化。原因在于手-脚耦合方式下, 操作绩效很大程度上依赖于手-脚协调水平。

(4) 在(b)式中, 在 Z_h 不变的情况下 K 的值应与 Z_f 值同方向递增变化; 在 Z_f 不变的情况下 K 值应与 Z_h 值同方向递增变化。从推导(b)式的过程中可以看出这个必要条件已经满足。为了验证手-脚协调水平的估计计算式(b)式的前三个必要条件, 我们采用双任务测定法。即同时进行由手操作的主任务和由脚操作的次任务。双任务测定技术本来是用来测定工作负荷的, 但由于其基本思想适合考察对剩余资源的充分调用的情况, 而被用来进行双任务条件下手-脚协调水平的估计。双任务采用计算机模拟的两种飞行操作, 通过设计手、脚操作的单任务和双任务, 考察单任务和双任务条件下手操作和脚操作绩效的变化, 来说明采用双任务考察手-脚协调水平的可能性; 考察双任务中手-脚操作绩效与 K 值的关系、K 值的分布、K 值与工作负荷的关系, 来验证上面(1)、(2)两个必要条件; 通过设计手-脚耦合的追踪任务, 考察 K 值与其操作绩效的关系来验证必要条件(3), 也是对 K 值表达手脚协调有效性的检验。

2 实验一

2.1 实验材料

2.1.1 被试: 200 名高中三年级学生, 年龄在 17—19 岁(全部为男性)

2.1.2 仪器: 用两台 DellP4 台式计算机, 显示器为 14 英寸彩色监视器, 实验时被试离显示器约 50cm, 实验由计算机程序控制, 测验结果由计算机自动记录。

2.2 任务描述

在实验中, 被试被要求分别在单任务和双任务条件下完成两个由计算机模拟的飞行操作任务——一个是主任务, 另一个是次任务。

主任务采用右手操作的一阶控制二维补偿追踪, 被试用操纵杆控制追踪环来完成, 追踪环的直径为 1440 个 Twips(1 个像素 = 15 个 Twips), 每次任务持续 1 分钟, 追踪的绩效以追踪环套住目标(目标为一随机移动的模拟小飞机, 直径为 180 个 Twips)的时间占 1 分钟时间的百分比来计算(精确到 1/56 秒), 因此可以认为主任务的绩效是一个连续变量。

次任务采用双脚操作的一阶控制一维补偿追踪, 被试用脚踏控制一模拟的小飞机转动, 使飞机保持水平, 次任务的绩效以被试在 1 分钟内成功调节飞机平衡的时间占一分钟时间的百分比来计算(精确到 1/56 秒), 因此可以认为次任务的绩效也是一个连续变量。手操作一阶控制二维补偿追踪的输入方程是:

$$x(t+1) = x(t) + \Delta x(t) + r(t+1)$$

$$y(t+1) = y(t) + \Delta y(t) + r(t+1)$$

$x(t)$ 、 $y(t)$ 分别表示时间 t 时目标的横坐标位置和纵坐标位置, $0 < x(t) < 11500$, $0 < y(t) < 6500$, $\Delta x(t)$ 、 $\Delta y(t)$ 分别表示时间 t 时目标在水平方向和垂直方向获得的增量, 其

值均在 $(-150, 150)$ 之间变化。 $r(t)$ 为 t 时获得的随机增量, 其值在 $(-10, 10)$ 之间变化。(单位为 Twips)

双脚操作一阶控制一维补偿追踪的输入方程是:

$$\theta(t+1) = \theta(t) + \text{sign}(t+1) \times (\Delta\theta(t+1) + r(t+1) \times 9^\circ)$$

其中: $\text{sign}(t+1) = 1$ or -1 , $\theta(t)$ 为时间 t 时, 目标所在位置与水平方向的夹角, 夹角在 $(-90^\circ, 90^\circ)$ 之间。 $\Delta\theta(t)$ 表示时间 t 时角度上获得的增量, 其值在 $(-9^\circ, 9^\circ)$ 之间变化。 $r(t)$ 为 t 时获得的随机增量, 在 $(0, 1)$ 之间变化。

2.3 实验设计

本实验采被试内单因素重复测量。

2.4 实验程序

每个被试先在单任务条件下执行主任务三次每次一分钟, 第三次成绩作为主任务在单任务条件下的绩效; 再执行次任务三次每次一分钟, 第三次成绩作为次任务在单任务条件下的绩效; 最后同时执行主任务和次任务两次, 并向被试说明手操作是主任务, 脚操作是次任务, 第二次主任务与次任务的绩效分别作为主任务与次任务在双任务条件下的绩效。以上实验次数均经过预实验证明在完成上述各次操作后, 被试的操作水平已达平台期。

2.5 实验结果分析

2.5.1 不同任务条件下操作绩效之间的关系

删除 2 个极端数据, 删除量小于 2%。利用 spss10.0 进行配对样本 T 检验, 得到结果: 单任务条件下主任务绩效 ($M = 52.29$, $SD = 24.20$) 与双任务条件下主任务绩效 ($M = 47.05$, $SD = 23.61$), 有显著差异 $t(198) = 6.12$, $p < 0.01$, 绩效显著下降; 单任务条件下次任务绩效 ($M = 49.88$, $SD = 19.52$) 与双任务条件下次任务绩效 ($M = 16.36$, $SD = 11.66$), 有显著差异 $t(198) = 33.54$, $p < 0.01$, 绩效显著下降。无论是主任务还是次任务在双任务下操作绩效均低于单任务条件下操作绩效。可见, 双任务条件下, 确实存在资源竞争。

利用 spss10.0 对单任务和双任务条件下主任务和次任务手操作绩效的关系进行 Spearman 相关分析, 得到表 1 所示的相关系数表。

表 1 主任务绩效之间的相关(实验一)

	1	2	3	4
1 主任务(单)	-			
2 次任务(单)	0.463**	-		
3 主任务(双)	0.867**	0.472**	-	
4 次任务(双)	0.591**	0.710**	0.597**	-

注: $n = 198$ **表示 $p < 0.01$

表 1 表明, 无论在单任务条件下还是在双任务条件下, 主任务与次任务的绩效都显著正相关, 因而可以认为手操作的追踪任务(主任务)与脚操作的追踪任务(次任务)利用的心理资源有部分是相同的; 即使在单任务条件下, 不存在手-脚之间的协调, 主任务与次任务的绩效也是较高的正相关 ($r = 0.463$, $p < 0.01$), 可见仅用手脚追踪的绩效来表达手-脚协调水平是不够完备的。因此, 我们试图用(b)式中的 K 值来表达手-脚协调水平。

2.5.2 K 值对正态分布的拟合

删除 2 个极端值, 删除量小于 2%, 利用 spss10.0 进行描

述统计分析得到统计量 K 值描述如表 2 所示

表 2 K 值的数字特征(实验一)

n	平均数	标准差	最小值	最大值
198	-0.02	0.27	-0.54	0.50

按 1 个标准差为单位将其取值分成 6 组,各组频数分布状况如图 1 所示

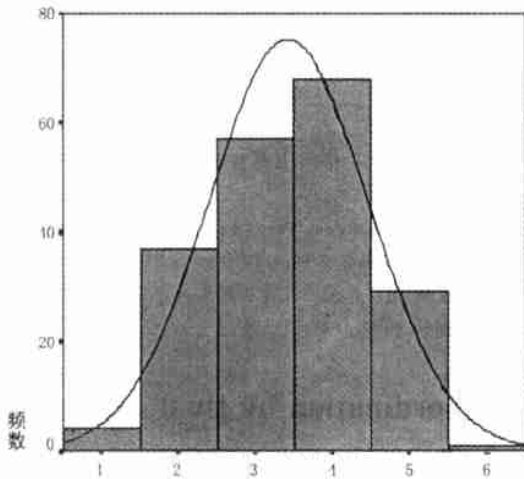


图 1 K 值分组频数分布直方图

从图 1 可以看出 K 值较好地拟合正态分布。支持对条件(1)的满足。

2.5.3 双任务条件下 K 值与工作负荷的关系

删除 2 个极端数据,删除量小于 2%,采用次任务估计工作负荷的计算公式:

工作负荷 =

$$\frac{\text{单任务作业时次任务的工作绩效} - \text{双任务作业时次任务的工作绩效}}{\text{单任务作业时次任务的工作绩效}}$$

(c)

获得本实验中被试的工作负荷的有效数据如表 3 所示。

表 3 双任务条件下被试工作负荷

n	最小值	最大值	平均数	标准差
198	0.13	1	0.69	0.18

n 为有效样本容量

利用 spss10.0 进行 Spearman 相关分析获得 K 值与工作负荷的相关系数 $r = -0.76$ ($n = 198, p < 0.01$)。可得出结论:在双任务条件下,K 值与工作负荷高度负相关。也就是说,K 值越高,被试的工作负荷越低,反之亦然。这一实验数据提供了对条件(2)的支持。

3 实验二

为了对 K 值的有效性进行进一步的检验,我们设计手-脚耦合的追踪任务。

3.1 任务描述:

任务采用右手与双脚操作的一阶控制二维补偿追踪,被试用右手操纵操纵杆控制追踪环垂直方向的变化,用双脚操纵脚踏控制追踪环水平方向的变化来完成,每次任务持续 1 分钟,追踪的绩效以追踪环套住目标(追踪环和目标同实验一)的时间占 1 分钟时间的百分比来计算(精确到 1/56 秒)。

其一阶控制二维补偿追踪的输入方程同手控制一阶控制二维补偿追踪的输入方程:即:

$$x(t+1) = x(t) + \Delta x(t+1) + r(t+1)$$

$$y(t+1) = y(t) + \Delta y(t+1) + r(t+1)$$

$x(t)$ 、 $y(t)$ 分别表示时间 t 时目标的横坐标位置和纵坐标位置, $0 < x(t) < 11500$, $0 < y(t) < 6500$, $\Delta x(t)$ 、 $\Delta y(t)$ 分别表示时间 t 时目标在水平方向和垂直方向获得的增量,其值均在 $(-150, 150)$ 之间变化。 $r(t)$ 为 t 时获得的随机增量,其值在 $(-10, 10)$ 之间变化(单位为 Twips)。

3.2 实验材料

3.2.1 被试:146 名高中三年级学生,年龄在 17—19 岁(全部为男性)

3.2.2 仪器:用两台 DellP4 台式计算机,显示器为 14 英寸彩色监视器,实验时被试离显示器约 50cm,实验由计算机程序控制,测验结果由计算机自动记录。

3.3 实验程序

每个被试首先执行实验一中的任务,操作任务类型和操作顺序完全同实验一,然后执行手-脚耦合操作一阶控制二维补偿追踪任务两次,每次 1 分钟,第二次成绩作为此任务的操作绩效。

3.4 实验结果分析

实验二中 K 值与手脚耦合绩效的数字特征如表 4

表 4 K 值和手脚耦合绩效的数字特征(实验二)

	平均数	标准差	最小值	最大值
K	-0.01	0.25	-0.52	0.55
手脚耦合绩效	38.46	19.4	5.33	79.03

有效样本容量 $n = 145$

利用 spss10.0 对 K 值与手-脚耦合追踪任务操作绩效的关系进行 Spearman 相关分析,得到相关系数 $r = 0.81$, ($n = 145, p < 0.01$),表明 K 值与手-脚耦合操作一阶控制二维补偿追踪任务绩效显著正相关。

从相关分析的结果来看,K 值与手-脚耦合操作一阶控制二维补偿追踪任务绩效是同方向递增的,也就是说,K 值越高其绩效越高,而手-脚耦合操作一阶控制二维补偿追踪任务绩效明显是受手-脚协调水平的正方向影响的,从这个角度来看,实验二的数据也支持 K 值对手-脚协调水平的估计。提供了对条件(3)的支持。

4 讨论与结论

4.1 对(b)式的变换

从以上讨论来看,可以用 K 值来估计在双重任务条件下手-脚协调的能力水平。由于 Zh 和 Zf 都是标准分,从理论上讲,在(b)式中,Zh 和 Zf 的取值 99% 以上都在 $(-3, 3)$ 之间,因而(b)式中的 K 取值 99% 以上在 $(-1, 1)$ 之间,为了方便日常表达,并能将极端值也包括在其中,对其进行一次线性变换($y = 50 + 40x$)使得其值在 $(10, 90)$ 之间变化,也与常识较为接近,因此可以用下列的 K 系数来估计手-脚协调水平:

$$K = 50 + \frac{40(Zh + Zf)}{6 + |Zh - Zf|} \quad (d)$$

其中 Zh 和 Zf 分别表示在双任务条件下手和脚操作绩效的标准分(与(a)式相同)。而从表 2 和表 4 的数据来看,(b)式中 K 的取值范围大致在 $(-0.7, 0.7)$ 之间,可见一般情况下(d)式中 K 的取值范围变化范围应该在 $(20, 80)$ 之间。

4.2 估计方法的局限与进一步需要研究的问题

从实验一和实验二的结果和分析来看,是可以利用(d)中K系数来估计手-脚协调能力水平。但是前面的四个条件只是其必须满足的必要条件,尚不是充分条件,也就是说,K系数能否完备地表达手和脚的协调能力水平还需要进一步验证。

另外,K系数是用绩效的标准分计算得到的,与绩效有很大的关系,因此可能受任务难度的影响,即使在难度完全确定的条件下,K系数的获得还要依赖于相应常模的建立,这也是K系数的最大缺陷。

人或动物在运动其肢体时,几十块肌肉必须以非常有组织的方式合作^[4]。手-脚协调能力是一个极其复杂的心理品质,它是否包括在人的-般协调能力中,还不清楚。这是其一,其二,K系数是否也包括对-般的协调能力的描述,还有待进一步的研究。

5 参考文献

- 1 许崇高,严波涛.儿童动作协调能力发展问题研究的理论进展.西安体育学院学报,1991,(1):31-34
- 2 孙向红,张佩,郭素梅.次要任务的输入通道对操作工效和心理负荷的影响.心理学报,1998,(7):343-347
- 3 朱祖祥,葛列众等.工程心理学.北京:人民教育出版社,2000:313-314
- 4 赫尔曼·哈肯著.郭治安,吕翎译.大脑工作原理——脑活动、行为和认知的协同学研究.上海:上海科技教育出版社,2000:72-73
- 5 朱祖祥.人类工效学.杭州:浙江教育出版社,1994:195-215,512-513
- 6 Wickens, C. D. Engineering Psychology and Human Performance. Columbus, Ohio: A Bell & Howell Company, 1984:291-329
- 7 张智军,朱祖祥.追踪作业中几种心理负荷评估指标敏感性的研究.应用心理学,1997,3(2):27-31

A New Approach to Measuring Hand - Foot Coordination by Dual Tasks

Li Huailong

(The Center of Modern Educational Technology, Huaibei Coal Industry Teacher's College, AnHuiHuaibei, 235000)

Yang Quanhui, Zhang Kan

(Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100101)

Pang Xinguang, Zhang Jie

(The Air Force of PLA, The Recruit Pilot Office, Beijing, 100089)

Abstract A new method of measuring subjects' ability to coordinate hand - foot movements by an index of Coordination Level of Hand Foot was suggested on the basis of principles of time - sharing and dual tasks performance. The results of two empirical experiments indicate that the index of Coordination Level of Hand - Foot is an efficient approach to measuring hand - foot coordination by dual tasks.

Keywords: Index of Coordination Level of Hand - Foot, Hand - Foot Coordination, Dual Task, Tracking