

短时距估计中的标量特性*

刘瑞光^{1,2}

黄希庭²

(¹江西师范大学教育学院,南昌 330027) (²西南大学心理学院,重庆 400715)

摘要 使用单任务研究程序,采用预期式研究范式和再现时距的研究方法,从心理物理学的视角,通过三个实验系统地考查了人类短时距估计的标量特性、变异源、时距估计中的转换点和韦伯函数的形态等问题。结果表明,刺激物的运动、变化、速度和物理时距是被试进行短时距估计的重要变异源;被试在实验中表现出高估较短时距和低估较长时距的倾向,时距估计的转换点为 11.1s;计时过程中得到的韦伯函数是个分段连续函数,韦伯函数的拐点有两个 12s 和 21s,这两点与本研究得到的时距估计转换点具有部分一致性。

关键词 时间估计,标量特性,变异源,韦伯函数,转换点。

分类号 B842

1 引言

时间是物质存在的一种基本形式。在实验心理学早期阶段,吉布森从生态学的视点将时间看作是源于事件知觉的一种抽象理论。冯特认为,时间是源于感觉数据的一种复杂组织活动,这种组织过程就是时间知觉^[1]。史蒂文斯将“时间”看作是体现为神经系统内部活动的一种刺激物,可以划分为量的连续体(prothetic continuum)和质的连续体(meta-thetic continuum)两个方面,分别表现为神经系统的“累加”活动和潜在的“组织与期望”活动^[2,3]。在对时间的研究方面,研究者习惯于将时间认知的研究分为时间知觉和时间记忆。时间知觉又称为“知觉到的现在”,其范围几乎在 5s 之内;超过此范围的刺激序列已经不能被知觉为一个整体单元,当属时间记忆的范畴。随着心理时间研究范围的扩大和研究内容的深化,研究已经由早期对时间概念的认识、理论假设的提出和对时间信息加工机制的探讨,发展到从物理、生理和心理等多个层面上对于时间记忆标量特性的考察。

心理时间的研究历史,经历了一个从外显到内隐,由定性到定量的发展过程。20 世纪六七十年代的有关研究主要侧重于对被试的外部时间反应进行

考察,这种计时活动是外显的(explicit)。根据时间估计是在被试完成实验任务之前知道的还是在作出时间判断之后得知的又分为“预期式时间估计”(prospective time estimation),和“回溯式时间估计”(retrospective time estimation)^[4]。20 世纪 80 年代, Jones 和 Bolts 的动态注意模型的提出强调了自然环境在人们的时间判断中所起的作用,主张环境由事件组成、并具有某种程度的相关性,它不仅是物理规则的体现,而且决定着几个连续时间范围的开端与结束。该模型认为,时间估计的准确性(减少偏见错误)依赖于时间相关性,变异性的减少更可能与起决定作用的注意模式有关^[5,6]。

随着研究的不断深入,人们开始认识到个体内部线索和信息加工对时间记忆过程产生的影响,这种计时活动是内隐的(implicit)。 Craik 研究发现,预期式时间估计过程包括记忆中一个事件的重构,这个重构过程由外部线索引发,或在缺乏外部线索的条件下由自我线索或信息加工过程引发^[7]。 Einstein 和 McDaniel 区分出了基于事件(Event-based)和基于时间(Time-based)的两类预期式时间记忆任务,前者要求被试在某个外部事件出现时完成某项任务,后者则要求被试在将来某个时刻或某段时间之后完成某项任务。对于“基于时间”的

收稿日期:2005-11-03

* 国家自然科学基金项目(30270467)、教育部高校博士点专项科研项目(20040635001)、西南大学国家重点学科基础心理学科科研项目(西国重 04002)、香港王雪冬教育基金项目、江西师范大学博士启动基金项目和科研计划基金项目。

通讯作者:黄希庭, E-mail: xthuangu@swu.edu.cn, 电话: 023-68252469; 刘瑞光, E-mail: zh2005112@sina.com, 电话: 0791-3055920

预期式记忆任务来说,假设不使用外部记忆术(设置闹钟),则没有明显的或特别的外部事件引发要完成的行为,人们必须通过监控时间的流逝来引发自己的时间估计行为^[4]。

对时间记忆的定性研究可追溯到 20 世纪 60 年代早期的时距区分思想,即存在一个中心时钟控制着人类的时间估计。源于此假设的许多模型都能解释大多数极短时距区分任务中的观察数据,时距区分的变异源都与这个时钟装置有关^[3]。“标量计时”(Scalar timing)最早来源于 20 世纪 70 年代 Gibbon 的标量期望理论(Scalar expectancy theory)^[8,9]。正像 Gibbon 所指出的那样,时间是动物学习实验中一个无所不在的变量,为此有必要解释时间知觉是如何调节被试的行为的。该模型的中心论点是,变异具有多种特性,其特性之一表现为与目标时间相关的数据分布的数量转换,另一方面也可以解释一个随机变异源(如时钟)的效应^[10]。

研究者对于最新的和相关的记忆问题的探讨兴趣,为本领域的实验研究提供了有益的指导。20 世纪 90 年代, Gibbon 等人提出的标量计时理论(Scalar timing theory)在时间知觉领域引用最为广泛,该理论不仅能解释动物研究领域的许多数据,成功地解释了人类对于不同时间任务的计时,而且有关标量特性的不同形式及其历史根源在此理论中也得到了详细的描述。该理论认为,人类的计时装置——时间加工器(又称计时器)由 4 个内部相关装置组成:(1)时钟。它是由一个产生一定频率脉冲的调节器、一个由外部刺激驱动的开关和一个确定的延迟控制所到达的累加器组成的。(2)工作记忆储存。(3)参照记忆储存。(4)比较器。因此由时间加工器所决定的标量计时模型由 3 个过程组成:(1)时钟过程。一个开关控制着由连续运动的调节器所发射的脉冲的累加。这个过程由调节器产生的脉冲组成,脉冲又由开关传送到累加器,脉冲在累加器中获得累加。(2)记忆过程。这一过程包括两个子过程:工作记忆和参照记忆。对于一个给定的试验来说,工作记忆负责接收来自累加器的脉冲;而参照记忆对于一个试验的计数值分布的储存起着关键性作用。(3)比较(决策)过程。它主要由一个比较器组成,这个过程与计时、记忆和决策相关。对于一个给定的试验来说,来自累加器的脉冲被用作当前时间的内部表征(a 值),这个表征与一个来自参照记忆的 m 值相比较,标量计时模型为这个比较过程提供了一系列决策规则^[3,10]。

由于早期标量计时模型的时钟、记忆、比较过程分别由 3 个、2 个和 1 个部分组成。时间判断的准确性依赖于这些装置的功能,每个部分都被看作一个变异源,同时时间加工也受到被试激活水平和注意水平的影响。标量计时模型具有很多潜在的变异源,有些是数量的,有些不是数量的,数量变异源对其他变异源具有最终的决定作用^[9,10]。这个模型的标量特性是与时间估计的变异呈协相关的一种韦伯分数,由主观时距的变异除以平均主观时距得到的一个常数来表示。换句话说,当重新量化为平均主观时距的一个函数时,心理时间的误差分布是一个常数,这个模型很适合于解释人类计时任务中获得的数据。

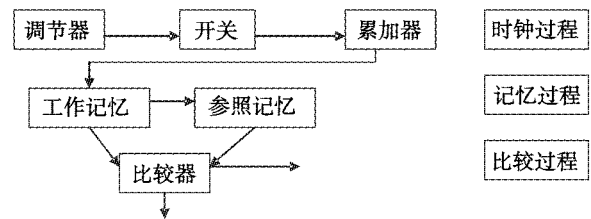


图 1 早期的标量计时模型

以上模型提供了一种整合心理时间的观点,即模型的呈现是在一个合理的小样本中时距估计理论整合的结果,这一观点涉及到流逝时间的心理量度。关于心理时间的研究提供的几种证据表明,实验条件的轻微变化都可以导致时间操作的变异,这些证据支持了分割心理时间的说法,这一观点关注时间判断所产生的变异。两种观点分别与时间估计的效度(估计时距)和信度(变异性)有关。这些研究大多是针对于极短时距进行的,因此模型的理论假设受到传统的韦伯区分定律的支持。Killeen 和 Weiss 研究发现,实验中被试进行一系列时间判断,可以减少时距估计值与目标真实时间值之间的差异,同时也减少目标真值附近时距估计值分布的标准误。分割策略能够改进计时,时距估计的整体变异等于分割时距的变异与计数成分的变异之和。三者之间的关系表示为: $\sigma_t^2 = At^2 + Bt + C$ 其中 t 是一个时距估计中的变异,参数 A 表示一个标量,即韦伯分数,这个参数主要与计数器的变异相联系;参数 B 主要与调节器的变异相联系;参数 C 与计数器产生的一个常定错误有关,例如计数活动的开端和结束。仅当 A 大于 0 时,公式表示严格意义上的韦伯定律($B = C = 0$);当 A, C 大于 0 时,公式代表韦伯定律的拓展形式;如果 $A = C = 0$,即仅有 B 大于 0,此公式就

是一种 Poisson 计时,此时计时器的活动与 Poisson 加工类似,它运动的速度足够快以至于能解释整个变异,其中,A 值决定着 B 值。此框架表明,标准差是变异和时间之间基本关系的最好的线性描述^[11,12]。

尽管分时段加工成为 20 世纪 90 年代计时模型的主要特点,在用于计时的调节器数量的看法上研究者之间存在较大分歧,Gibbon 等人的标量计时理论与大多数计时模型都承认用于计时的时钟装置中只存在一个调节器,这个调节器具有特殊的复杂功能,由其所产生的脉冲发射速率是影响计时的重要因素。有些时间理论强调几个调节器的共存,它们都对人类的计时操作具有特定的贡献^[12,13]。有证据显示,被试偏爱的时距分布是一个双峰分布(在 272ms 和 450ms 处获得两个峰值),这一结果支持多种振荡器参与计时的论点。动物的研究结果也提供了对后种论点的支持^[13,14]。

Treisman 及其同事提出了一个由时间调节系统和计数系统所组成的时间加工模型,他们认为,时间加工机制由两部分组成:一个时间调节器和一个计数器。调节系统又包括三个相关的装置:(1)时间振荡器(temporal oscillator,简称 TO),负责具有固定频率 F_0 的脉冲发射,此频率提供了一个与参照记忆一致的恒定的参数值。(2)控制单元,负责对振荡器发射的脉冲进行转换。(3)测定单元(calibration unit,简称 CU),其作用是确定最终的输出 F_p —调节系统的一系列脉冲,即将原始脉冲 F_0 与一个校正因素 cf 相乘,其最终的输出(即与参照值相比较一个增加或减少的频率值)(CU): $F_p = F_0 \times cf$ 依赖于调节器激活水平(外部刺激频率)的增加或减少,这个激活水平或是由来自中心控制源的信息所确定,或是由足够强的感觉输入所组成(sensory inputs,简称 SI)^[15,16]。该模型既适用于时间知觉也适用于运动行为的计时控制。Treisman 及其同事研究还发现,在时距估计期间,人们对一定频率的刺激节奏的感知可以改变时间振荡(TO)的频率,从而最终决定着时间估计^[16]。

与此同时,人们对于时间估计中韦伯函数的考查也经历了漫长发展过程。早在 20 世纪 30 年代,Mach 第一个测定了关于时间的韦伯定律,他发现韦伯定律对于 16ms 至 8000ms 之间的时间间隔不适用。在 375ms 处人的时间知觉获得最大的感受性,此时韦伯分数获得最小值。Drak 和 Bott 报告说,获得最大感受性的时距在 300ms 到 800ms 之间^[3]。

Fraisse 等人发现最低的韦伯分数分别在 600ms 和 500ms 处获得。Kristofferson (1980)以自己为被试进行了时距区分任务中的 240 次试验,每个标准时距包括 20 个时间间隔,从 100ms 到 1480ms,韦伯定律能很好地解释前 5 个时段的试验。当仅考虑后面 3 个时段时,Kristofferson 发现,韦伯函数是一个分段函数。他因此提出的假设是,韦伯分数是通过过多的练习加以转换的,没有减少变异性(内部噪音)的训练就不可能发现心理时间的标量特性;时间体验不是连续的,而是由一系列间断的时间片段和知觉瞬间组成。

Grondin 最新研究发现,使用视觉信号与使用听觉信号产生的效应极其类似,对于视觉信号来说,当标准时距在 600ms 到 900ms 之间时,韦伯分数保持恒定,两者都小于 1200ms 处的韦伯分数。Getty 的研究显示,时间感受性最好的时距是在 2s 附近(小于 2s),在 2s 附近存在一个转换点,此点处韦伯分数随着较长的时距而增加。避免韦伯分数增加的一种方法是允许被试使用外部计数策略和分割策略。在最近一项时距区分任务中,Grondin 发现,对于 1.2s 的时距来说,外部计数策略可以减少阈限估计,此时差别阈限和物理时间之间的基本关系趋于稳定^[17-20]。这些研究结果支持一个共同的论点就是:人类具有一个适宜的时距范围,可以获得最小的韦伯分数,即获得最大的时间感受性。早期研究结果表明,在时间知觉过程中,人们分辨最准确的时间间隔大体上在 0.2s 至 2s 之间,在这个范围内,存在着一个由高估较短时距到低估较长时距的转换点^[20,21]。这些研究都是针对于极短时距进行的,对于短时距范围内有关问题的探讨较为少见。近期有关短时距计时行为的研究表明,短时距条件下的时间估计转换点是在 10s 左右^[22]。

由于短时距估计的标量特性与人类的时间信息加工密切相关,影响时距估计的变异源复杂多样,因此这方面的研究具有重要的意义和必要性。先前的研究者大多使用双任务研究程序,实验刺激物通常以听觉方式呈现给被试,并且时距范围大多是针对于极短时距(小于 5s)而进行的,其研究多属于时间知觉范畴,对于时间记忆尤其是对于短时距(5s ~ 24s)估计过程中标量特性和变异源的研究极为少见。本研究选取 6s 至 24s 的时距范围,使用单任务研究程序,通过视觉方式呈现几何形刺激物,以心理物理学方法作为方法学基础,采用预期式研究范式和再现时距的研究方法,通过 3 个实验对短时距估

计的标量特性和变异源进行系统考查。通过对实验因子的有效控制和操纵,探讨影响短时距估计的变异源,确定时间估计的差别阈限、韦伯函数的形态以及短时距估计中的转换点等问题。

2 实验1 短时距估计中刺激物的运动和时距效应

由于物理时间的连续性和心理时间的离散性原因,本研究选取了刺激的两种状态(静止和运动)和所研究时距(6s~24s)的7个水平,旨在通过有效控制实验自变量更加准确地考查刺激的运动和物理时距对短时距估计的韦伯函数标量特性和变异源的影响。基于先前研究提出以下研究假设:刺激的运动特性和物理时距因素对被试的短时距估计行为具有显著的影响,短时距估计中的韦伯函数是一个分段函数,并且存在着时距估计的转换点。

2.1 方法

2.1.1 被试 20名山东科技大学电气自动化专业的大学生自愿参加了本实验,7名女性,13名男性。他们的认知和操作能力正常,实验后被试得到了适量的报酬。

2.1.2 仪器和刺激 一台奔腾-III计算机和 Philip 高分辨率显示屏。刺激序列和被试的反应记录都由计算机自动完成。

2.1.3 实验设计 本实验采用 2×7 被试内因素设计。实验因素有两个:刺激运动(两个水平:0cm/s, 1cm/s)和物理时距(7个水平:6s, 9s, 12s, 15s, 18s, 21s, 24s)。

2.1.4 程序 本实验分为两个阶段:练习阶段和实验阶段。在被试开始实验操作之前给予适当的指导语,限制被试使用计数或打拍子等外部策略,以保证实验结果真实、准确、可靠。被试进入练习阶段之后,通过两次按下空格键再现4种目标时距(3s, 9s, 15s, 21s)。目标时距是一段无声的时距,以“预备”信号的消失到“开始”信号的呈现之间的时距为标志,四种目标时距在练习过程中随机平衡呈现,数据记录由计算机自动完成。练习目的旨在减少被试的反应变异,增加时间估计的准确性。被试练习达到75%的准确性即可进入实验阶段(精确到10ms)。

进入正式实验阶段以后,每次试验都以计算机屏幕上一个预备信号“预备”一词的呈现为标志,此信号呈现1000ms后自动消失。随后,计算机屏幕左侧的一个条形刺激物(长5cm,宽1cm)(颜色为黑

色)或静止或以1cm/s的速度自左向右运动,当刺激物的呈现时间达到7种物理时距(目标时距)(6s, 9s, 12s, 15s, 18s, 21s, 24s)之一时自动消失。刺激物在屏幕上消失后,屏幕中央呈现一个提示信号“开始”。被试端坐在计算机屏幕前,眼睛距屏幕的距离为65cm。被试用右手拇指按下“空格”键后提示信号消失,计算机计时开始,当被试估计流逝的时间与刺激物的呈现时间相当时,尽快用右手拇指按下空格键结束时距估计。每次试验结束后计算机自动记录刺激物的运动状态、刺激物的呈现时间和被试的再现时距。然后屏幕上再次出现预备信号,标志着下一轮试验的开始。实验过程中刺激物的运动状态和各种目标时距平衡随机出现,刺激物的初始位置在本实验中相同。在14种实验条件的每种条件下,每个被试须完成8次测试,共须完成112次测试。

2.2 结果与分析

2.2.1 效应检验 对实验获得的有效数据进行重复测量两个因素的方差分析(ANOVA),结果表明,刺激物的运动效应显著, $F(1, 19) = 5.95, p < 0.05$;刺激呈现的物理时距因素的主效应极其显著, $F(6, 114) = 4748.96, p < 0.01$;刺激运动与物理时距的交互作用不显著, $F(6, 114) = 0.51, p > 0.05$;对被试在各种物理时距条件下时距估计的均值进行多重比较(如表1所示)可得,被试对于6s与21s、9s与21s及15s与21s时距的估计值差异显著,对于12s和21s时距的估计值表现出极其显著的差异,对于其它时距的估计值差异不显著。

表1 各种物理时距条件下再现时距绝对误差均值的比较

物理时距	12s	15s	9s	6s	18s	24s	21s
15s	0.06						
9s	0.09	0.04					
6s	0.11	0.05	0.02				
18s	0.23	0.18	0.15	0.13			
24s	0.44	0.38	0.35	0.33	0.20		
21s	0.62**	0.56*	0.53*	0.51*	0.38	0.18	

注: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

2.2.2 韦伯分数 将被试在刺激静止和运动两种实验条件下的估计时距及常误分数和各种物理时距条件下的估计时距、差别阈限及韦伯分数列表(如表2、表3所示)。由表2可知,被试对运动刺激的时距估计值比对静止刺激的时距估计值更高一些。当物理时距大于12s时,被试对运动刺激的时距判

断更准确些。在 9s 和 12s 之间存在一个转换点,被试对小于或大于此值的时距分别呈现出高估和低估

倾向,使用二次插值法计算出此点的值为 10.8s。

表 2 各种实验刺激运动条件下被试的估计时距和常误分数

	速度(cm/s)	物理时距(s)						
		6	9	12	15	18	21	24
估计时距(s)	0	6.2	9.14	11.71	14.48	17.37	19.75	23.12
	1	6.46	9.48	11.84	14.95	17.71	20.56	23.56
常误分数	0	1.033	1.016	0.993	0.965	0.975	0.915	0.963
	1	1.077	1.053	0.987	0.997	0.984	0.979	0.982

表 3 各种物理时距条件下被试的估计时距、差别阈限和韦伯分数

物理时距(s)	6	9	12	15	18	21	24
估计时距(s)	6.33	9.31	11.78	14.72	17.54	20.16	23.34
差别阈限(s)	0.33	0.31	-0.22	-0.28	-0.46	-0.84	-0.66
韦伯分数	0.055	0.034	0.018	0.019	0.026	0.04	0.028

由表 3 可以得知,被试的时距判断准确性在 6s 至 24s 范围内不等,在 12s 的时距处获得最小的差别阈限值和韦伯分数,此时获得最大的感受性,即时距判断的准确性最高;在 12s 至 15s 这段时距内,被试判断时距的误差基本维持恒定;之后随着物理时距的增加,主观判断时距的准确性减少,在 21s 的时距处获得最大的绝对误差值和较大的韦伯分数,此时获得较小的时间感受性,即时间判断准确性较差。之后随着物理时距的继续增加,判断的准确性又呈现出提高的趋势。

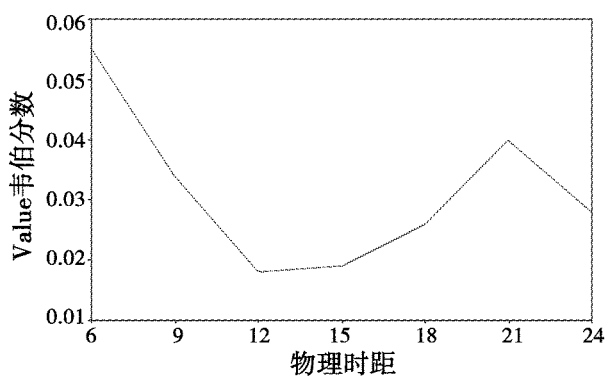


图 2 韦伯函数图

以物理时距为横坐标,韦伯分数为纵坐标画出韦伯函数图(如图 2 所示),由图 2 可知,韦伯函数在 6s 至 24s 范围内是一个分段连续函数。韦伯函数的拐点出现在 12s 和 21s 处,这两个拐点与被试主观判断时距的转换点 10.8s 具有部分一致性。

3 实验 2 短时距估计中刺激物的旋转角度效应

为了进一步考察刺激物在短时距估计过程中的动态变化效应,实验 2 又将刺激物的变化因素(通过刺激物的旋转而实现)作为一个自变量进行控制研究。在前一实验的基础上作出以下研究假设:由于较大的旋转角度在单位时间内产生较多的变化,刺激物的变化对于被试的时间估计行为具有显著的影响。

3.1 方法

3.1.1 被试 16 名山东科技大学应用电子专业的大学生充当被试自愿参加了本实验,6 名女性,10 名男性。被试的认知和操作能力正常,实验后都得到一定的报酬。

3.1.2 仪器和材料 同于实验 1。

3.1.3 实验设计 本实验采用嵌套设计。实验操纵两个因素:刺激的旋转角度和物理时距。

3.1.4 程序 程序基本同于实验 1。不同之处是刺激物在运动过程中发生旋转,旋转角度有 4 个:90°,180°,270°,360°,它们分别嵌套在两种物理(目标)时距(9s,21s)之中。本实验共产生 4 种实验条件,每种实验条件下采用平衡随机化方法对被试进行逐一测试,每个被试共须完成 32 次测试。

3.2 结果与分析

3.2.1 效应检验 计算出每个被试再现时距的均值,按照三个标准差原则去除两个无效数据。对实验数据进行方差分析,结果表明,物理时距因素的主

效应不显著 $F(1,2) = 7.88, p > 0.005$; 刺激物旋转角度的主效应极其显著 $F(2,60) = 100.25, p < 0.01$ 。进一步计算出各种实验条件下被试的再现时距及相对误差(如表4所示)得知,在9s和21s两种物理时距条件下,随着旋转角度的增加,被试的时距估计一致地呈现出由低估转变为高估的倾向。

表4 各种实验条件下的再现时距及相对误差(单位:s)

物理时距(s)	旋转角度(°)			
	90	180	270	360
9s	6.10 (-2.9)	11.82 (2.82)		
21s			17.25 (-3.75)	22.54 (1.54)

3.2.2 韦伯分数 计算出各种刺激变化条件下的韦伯分数并绘出直方图(如图3所示)。由图3得知,旋转角度为360°时得到了最小的韦伯分数,此时被试具有最大的感受性,时间判断准确性最高。旋转角度为90°时得到的韦伯分数最大,此时被试获得最低的时间感受性,时间判断不准确,即在90°旋转角度条件下被试的计时行为产生了最大的变异。图3中呈现出的一般趋势为,随着刺激物旋转角度的增加,被试的时间感受性增强。当考虑误差方向时,由9s和21s的物理时距条件下时距估计值、误差值、韦伯分数和常误分数(如表5所示)可知,被试对两种物理时距都表现出一致的低估倾向,与21s的时距相比,被试对9s时距的判断具有更高的准确性。

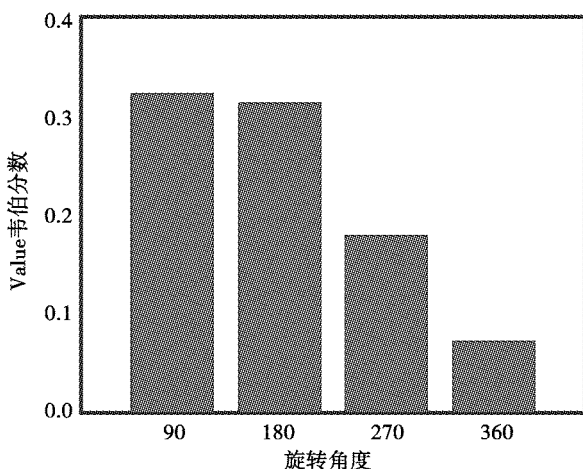


图3 各种实验条件下的韦伯分数直方图

表5 各种物理时距条件下的再现时距、差别阈限、韦伯分数和常误分数表

物理时距(s)	再现时距(s)	差别阈限(s)	韦伯分数	常误分数
9	8.96	-0.04	0.0044	0.996
21	19.9	-1.1	0.0524	0.948

4 实验3 短时距估计中刺激物的旋转方向和运动速度效应

本实验在前一实验的基础上增加了两个因素:刺激物的旋转方向(通过刺激物的旋转而实现)和运动速度,目的是进一步研究短时距估计中的标量特性和变异源。

4.1 方法

4.1.1 被试 19名山东科技大学机电一体化专业的大学生自愿充当被试参加本实验,7名女性,12名男性。被试的认知和操作能力正常,实验后得到一定的报酬。

4.1.2 仪器和材料 计算机硬件条件与实验1相同。不同之处是刺激物在以一定速度运动过程中还向不同的方向旋转。

4.1.3 实验设计 本实验设计采用被试内设计。实验操纵的因素有3个:刺激速度(0cm/s, 1cm/s, 3cm/s, 5cm/s),物理时距(6s, 12s, 18s, 24s),刺激的旋转方向(+90°, -90°)。

4.1.4 程序: 实验程序基本同于实验1。不同之处是刺激物在以一定速度(0cm/s, 1cm/s, 3cm/s, 5cm/s)运动和旋转的过程中所产生的旋转角度都是90°,旋转方向有两个水平:顺时针(+90°)和逆时针(-90°)。本实验共产生32种处理组合,在每种实验条件下采用平衡随机化方法对被试进行逐一测试,即每个被试共须完成192次测试。

4.2 结果与分析

4.2.1 效应检验 对实验数据进行重复测量三个因素的方差分析,结果表明,时距因素的主效应极其显著, $F(3,54) = 228.55, p < 0.01$; 刺激物运动速度的主效应显著, $F(3,54) = 3.48, p < 0.05$; 物理时距和速度的二阶交互作用也显著, $F(9,162) = 2.21, p < 0.05$ 。刺激物旋转方向因素的效应不显著, $F(1,18) = 0.05, p > 0.05$; 时距与旋转角度的二阶交互作用 [$F(3,54) = 1.11, p > 0.05$]、速度与旋转角度的二阶交互作用 [$F(3,54) = 0.46, p > 0.05$]、以及速度、时距与旋转方向的三阶交互作用 [$F(9,162) = 1.56, p > 0.05$]都不显著。

通过时距和速度之间显著的二阶交互作用的简

单效应检验得知,速度因素在 6s [$F(3, 162) = 0.46, p > 0.05$] 和 12s [$F(3, 162) = 1.46, p > 0.05$] 时距条件下差异不显著;当物理时距为 18s 时,速度的效应极其显著 $F(3, 162) = 5.41, p < 0.01$;而当物理时距为 24s 时,速度的效应也极其显著 $F(3, 162) = 14.95, p < 0.01$ 。这一结果说明,当刺激的呈现时距为 6s 时,在各种运动速度条件下,被试的再现时距一致地呈现高估倾向,判断误差较小。刺激的呈现时距为 12s 时,被试的时间估计值在 12s 左右摆动,时间判断的绝对误差极小。对于 18s 和 24s 的物理时距来说,被试的时间估计都呈现出极其显著的低估态势,判断的准确性较差。

4.2.2 韦伯分数 从本实验中各种物理时距条件下被试的再现时距、差别阈限和韦伯分数列表(表 6)中得出,被试对于 6s、12s、18s 和 24s 再现时距的平均常误分数分别为 1.11、0.99、0.90 和 0.89。在 0cm/s、1cm/s、3cm/s 和 5cm/s 的刺激速度条件下时距估计的平均常误分数分别为 0.97、0.94、0.98 和 1.01。这说明,被试高估 6s 的较短时距、低估 18s 和 24s 的较长时距。在 6s、12s、18s 和 24s 的各种物理时距条件下,运动刺激都具有时距延长效应,运动序列的联合效应分别代表了减少时间判断总变异的 4.4%、2%、8.2% 和 3.5%。

从表 6 中各种时距条件下的差别阈限(相对误差)来看,被试对 6s 的时距产生高估,而对大于 12s 的时距产生了低估现象。由此可知,在 12s 附近存在一个时间估计转换点,使用二次插值公式计算出的时间估计转换点为 11.14s。与实验 1 中得到的 10.8s 转换点的平均值是 11.1s,这一结果支持了本研究的预测。

表 6 各种时距条件下的再现时距、差别阈限、韦伯分数表

物理时距(s)	再现时距(s)	差别阈限	韦伯分数
6	6.43	0.66	0.11
12	11.89	-0.11	0.01
18	16.21	-1.79	0.10
24	21.42	-2.58	0.11

由表 6 还得知,被试在 12s 时距处获得最小的韦伯分数,从而获得最大的时间感受性。在 6s 和 24s 的物理时距条件下,被试获得最大的韦伯分数,此时具有最小的时间感受性,时间判断力最差。被试在 18s 时距条件下获得的韦伯分数居中,时间感受性也居中。以物理时距为横坐标、韦伯分数为纵坐标绘出韦伯函数图(如图 4 所示),从图 4 中可以

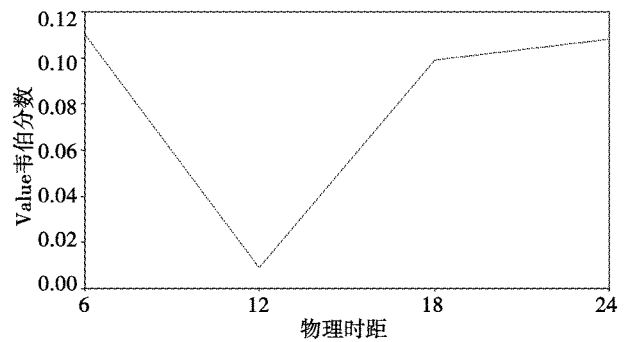


图 4 韦伯函数图

看出,韦伯函数是一个分段连续函数;韦伯函数的拐点在 12s 附近,24s 附近是否存在一个拐点有待于进一步研究。

5 讨论

5.1 短时距估计的标量特性可以解释变异源的效应

本研究发现,实验中呈现的物理时距为被试的时距估计行为提供了重要的线索。刺激物的运动变化也表现出了显著的实验效应,因为变化是自然环境的一个重要特性,“变化”概念具有重要的生态学意义。时间估计既指向于刺激事件的运动和速度,同时又受其影响,变异性与时间长度之间的函数关系对于标量计时模型的建构具有重要的理论意义^[23]。本研究表明,与静止的实验条件相比,运动着的刺激由于包含更多的变化因而具有更加显著的实验效应。刺激物的运动速度显著地影响着被试的时距估计,慢速运动和快速运动条件下的时距估计呈现出显著差异。实验三中时距和速度之间显著的交互作用表明,速度对时间估计的影响实际上由刺激时距所决定。对于 18s 和 24s 的时距来说,较快的运动速度与较长的时距判断相关联;而对于 6s 和 12s 的时距来说,较快的运动速度与较短的时距判断相关联。这一结论既是对 Tayama、Brown 等人研究结果的整合^[24],也是对这一问题更为完善的解释。

刺激物在运动过程中所发生的旋转变也给了被试的时间估计行为提供了重要的线索,随着刺激物旋转角度的增加,被试的时距估计呈现出由低估向高估转变的倾向。刺激物的旋转方向对被试的时间估计行为没有显著的影响,这一结果也说明,刺激的旋转变化和刺激运动特性属于不同的时间线索,前者更多地通过影响人的内部节奏对时距估计产生影

响,而后者则更多地通过人对时间的体验或对时间流逝的认知起作用^[25]。

5.2 短时距估计的转换点反映了人类时间信息加工水平的变化

无论是对于静止刺激还是运动刺激来说,被试一致地对较短时距的判断产生了正的常性误差,对较长时距的判断产生了负的常性误差,这种误差规律在一种宽泛的实验条件下体现出被试作出时间判断的反应偏向。从时间判断的相对误差或差别阈限来看,随着时距的增加,差别阈限由正值变化到负值,在这种误差值的转化过程中,存在着一个转换点。本研究得出的时间估计转换点是 11.1s,这一结果与先前有关研究得出的结论一致^[22]。由此可见,对于短时距区分任务来说,研究者得出的时间估计转换点基本一致。而在极短时距的区分任务中,近期研究得出的时间估计转换点是在 1s 至 2s 之间^[25, 26]。综合本研究 and 以往有关研究的结果发现,不同的时距范围存在着不同的时间估计转换点,相同时距范围内得出的转换点的差异可以用实验过程中的随机误差和实验误差来解释。

转换点的存在既反映了人们在时间信息加工过程中所出现的一种偶然的“心理表征”,又反映了时间信息加工从一个水平到另一个水平的变化。因为分时段加工是时间表征的基础,在时钟、记忆和比较(决策)各个加工过程中都存在不同的加工水平,既有初级加工和高级加工、生理加工和心理认知加工之分,又有知觉水平上的加工和记忆层面上的加工之别。时间信息加工受到所呈现的时序信息特性、个体激活状态、注意、期望和加工策略等各种时序因素和非时序因素的影响^[21]。本研究的时距区分任务属于时间记忆范畴,时间表征和加工是在记忆过程中实现的。来自于累加器的信息被用作当前信息加工的时间表征,与来自参照记忆中的信息进行整合与转换,整合与转换加工是通过工作记忆中的一个“瓶颈”来完成的^[27, 28]。转换点也正是反映了人们在时间估计过程中时序信息加工水平的变化。

5.3 韦伯函数的特性影响着时间信息加工方式

从本研究描画出的韦伯函数图得知,韦伯函数是个分段连续函数,该函数在 6s 至 9s 间呈现递减趋势,在 9s 至 18s 间呈现递增趋势,18s 至 21s 和 21s 至 24s 之间又分别呈现出递减和递增态势,9s 至 12s 范围内的韦伯分数保持一个稳定的低值,这个时距范围内的时间感受性较高,判断较准确。本研究得出了单峰分布的韦伯函数,从而在计时机制

上支持单一时钟假设。

韦伯函数的分段连续性从一方面说明了人们的时间体验或时间记忆是由知觉片段或瞬间所组成,心理时间是离散的;从另一方面又反映了物理时间的连续性本质。因为作为标量特性的韦伯函数来源于物理时距的数量转换,影响短时距估计的变异源有些是数量的,有些是非数量的,而数量化变异源对于其他变异源具有最终决定作用^[3]。研究结果支持了时间信息加工过程中分割与整合的观点,片面强调整合的观点或分割的观点都是欠合理的,而应当将时间信息加工方式与时距范围、加工水平、加工机制、影响因素的特性等综合起来进行考查^[19],较合理的解释是在某一个时距范围或加工水平上,都有一种占优势的加工方式,同时时间体验又源于整合与分割两种加工方式的整合。

综合先前研究以及本研究结果可以发现,在极短时距和短时距的不同条件下,韦伯分数都有一个保持恒定的范围。韦伯分数的相对稳定性既反映了人们的时间感受性在一段标准刺激量上保持不变,又体现出一系列试验之间时间的变异性,即两个刺激量之间的最小可觉差随时间单调增加,差别阈限是时间的单调递增函数。韦伯函数拐点的存在反映了人们时间估计过程中的策略变化,人们对于极短时距、短时距和长时距的判断或估计常运用不同的策略。一些外部计数策略的使用能够提高人们对于极短时距的感受性,使得韦伯分数减小^[21]。然而外部计数策略有助于减少时间估计变异性的假设不能削弱内部时钟所起的作用,因为一种能够激活元素特质(或脉冲)的中心计时资源决定着每次计时的时刻^[29]。

人类计时过程中存在的潜在变化表明,心理时间既是一种量的连续体,又是一种质的连续体^[28]。未来的研究应在此基础上考查激活、情绪、注意、期望等因素对人们时间记忆的影响,对于标量特性与时间信息加工过程、加工水平、加工状态的关系进行考证,深入地揭示标量特性对于时间信息加工机制的制约和决定作用,可以在更加宽泛的时距范围内考查时间记忆的标量特性及变异源等有关问题。

6 结论

本研究结果显示,刺激物的运动、变化、速度和物理时距等因素是被试短时距估计的重要变异源;被试在短时距(6s ~ 24s)估计中的时间估计转换点是 11.1s;短时距估计过程中的韦伯函数是个分段

连续函数。

参 考 文 献

- 1 Gibbon J. Origins of scalar timing. *Learning and Motivation*, 1991, 22: 3 ~ 38
- 2 Yang Zhiliang. *Experimental psychology (in Chinese)*. Zhejiang Educational Press, 1998. 3 ~ 518
(杨治良. 实验心理学. 浙江教育出版社, 1998. 3 ~ 518)
- 3 Simon G. From physical time to the first and second moments of psychological time. *Psychological Bulletin*, 2001, 127(1): 22 ~ 44
- 4 Smith R E. The cost of remembering to remember in event - based prospective memory: Investigating the capacity demands of delayed intention performance. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 2003, 29(3): 347 ~ 361
- 5 Jones M R, Bolts M G. Dynamic attending and responses to time. *Psychological Review*, 1989, 96: 459 ~ 491
- 6 Bolts M G. Changes in internal tempo and effects on the learning and remembering of event duration. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, Cognition*, 1994, 20(5): 1154 ~ 1171
- 7 Richard L M. Event - based prospective memory and executive control of working memory. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 1998, 24(2): 336 ~ 349
- 8 Gibbon J. Scalar expectancy theory and Weber's law in animal timing. *Psychological Review*, 1977, 84: 279 ~ 325
- 9 Gibbon J, Church R M, Meck W H. Scalar timing in memory. In: Gibbon J, Allan L (Eds.). *Annals of the New York academy of Science*: 423. Timing and time perception. New York: New York Academy of Science, 1984. 52 ~ 77
- 10 Wearden J H, Simon B. Scalar timing without reference memory: Episodic temporal generalization and bisection in humans. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 2001, 54B(4): 289 ~ 309
- 11 Killeen P R, Weiss N A. Optimal timing and the Weber's function. *Psychological Review*, 1987, 94: 455 ~ 468
- 12 Treisman M, Faulkner A, Nash P L N, Brogan D. The internal clock: Evidence for a temporal oscillator underlying time perception with some estimates of its characteristic frequency. *Perception*, 1990, 19: 705 ~ 743
- 13 Collyer C E, Broadbent H A, Church R M. Preferred rates of repetitive tapping and categorical time production. *Perception and Psychophysics*, 1994, 55: 443 ~ 453
- 14 Church R M, Broadbent H A. Alternative representation of time, number, and rate. *Cognition*, 1990, 37: 55 ~ 81
- 15 Treisman M, Faulkner A, Naish P L N. On the relation between time perception and the timing of motor action: Evidence for a temporal oscillator controlling the timing of movement. *Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 1992, 45A: 235 ~ 263
- 16 Treisman M, Cook N, Nash P L N, Macron J K. The internal clock: Electroencephalographic evidence for oscillatory processes underlying time perception. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1994, 47A: 241 ~ 289
- 17 Kristofferson A B. A quanta step function in duration discrimination. *Perception and Psychophysics*, 1980, 27: 300 ~ 306
- 18 Grondin S. Discriminating time intervals presented in sequences marked by visual signals. *Perception & Psychophysics*, 2001, 63: 1214 ~ 1228
- 19 Claudette F, Nathalie M. Expecting a break in time estimation: Attention time - sharing without concurrent processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2000, 26(6): 1788 ~ 1796
- 20 Smith R E. The cost of remembering to remember in event - based prospective memory: Investigating the capacity demands of delayed intention performance. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 2003, 29(3): 347 ~ 361
- 21 Grondin S, Meilleur W G, Lachine R. When to start explicit counting in a time - intervals discrimination task: A critical point in the timing process of humans. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1999, 25: 993 ~ 1004
- 22 Liu Ruiguang, Huang Xiting. A study on time perceptual cues in visual motion information (in Chinese). *Acta Psychological Sinica*, 1999, 31(1): 15 ~ 20
(刘瑞光, 黄希庭. 运动视觉信息中时间知觉线索的实验研究. 心理学报, 1999, 31(1): 15 ~ 20)
- 23 Brown S W. Time, change, and motion: The effects of stimulus movement on temporal perception. *Perception & Psychophysics*, 1995, 57(1): 105 ~ 116
- 24 Philip P T. Visual feature integration theory: Past, present, and future. *Psychological Bulletin*, 2004, 129(5): 643 ~ 673
- 25 Bolts M G. Changes in internal tempo and effects on the learning and remembering of event duration. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, Cognition*, 1994, 20(5): 1154 ~ 1171
- 26 Jones M R, Yee W. Sensitivity to time changes: The role of context and skill. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1997, 23: 693 ~ 709
- 27 Wearden J H, Grindrod R. Manipulating decision processes in the human scalar timing system. *Behavioral Processes*, 2003, 61(1): 47 ~ 56
- 28 Oberauer K, Kliegl R. Simultaneous cognitive operations in working memory after dual - task practice. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2004, 30(4): 689 ~ 707
- 29 Burle B, Casini L. Dissociation between activation and attention effects in time estimation: Implications for internal clock models. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2001, 27(1): 195 ~ 205

Scalar Property in Short Duration Estimation

Liu Ruiguang^{1,2}, Huang Xiting²

(¹*School of Education, Jiangxi Normal University, Nanchang 330027, China*)

(²*School of Psychology, Southwest University, Chongqing 400715, China*)

Abstract

This article thoroughly reviews the past literature and studies on time perception of a small range of durations. The scalar timing theory of Gibbon (1991) and collaborators, which emphasizes the importance of a central timekeeping mechanism, describes the origin and the function of scalar timing in human performance. Many experimental results support the idea that humans can have a favorite duration, that is, an interval length that gives a lower Weber fraction and maximum sensitivity. A transitional point, perhaps around 2s or less than 2s, decides subjects' timing bias and reflects a fundamental time limitation of humans in processing information. The present study aims at investigating the scalar property and the source of variance in short duration (6s ~ 24s) estimation.

Based on the previous studies, we used the single-task program and incorporated the prospective paradigm in this study. From the perspective of psychophysics and by using a duration reproduction method, three experiments were conducted to investigate the scalar property, the source of variance, the transitional point, and the nature of the Weber function in temporal process of humans. The intervals ranging from 6s to 24s were selected and used as physical durations in the experiments, and a geometric stimulus was presented in visual mode on the computer screen. Fifty-five participants volunteered in the experiments, and all the participants were tested individually in sessions that lasted 50 ~ 60 minutes. The analysis of variance was then conducted on the data collected from these experiments.

The experimental results showed that the motion status (kinetic or static) and the rotating angles significantly affected the participants' temporal judgments. Compared with the static conditions, the effects of kinetic stimulus were more significant. With the increase of rotating angles, the accuracy of duration estimation was increased. Physical durations of stimulus also showed a significant duration-lengthened effect. The speed of stimulus was another important cue used by the participants in estimating durations. The experimental results indicated that lower Weber fractions and the maximum time sensitivity for intervals were in 9s to 12s, and a transitional point occurred at 11.1s where the Weber fraction began to increase with longer durations. In contrary to overestimation of the shorter durations, the participants underestimated the longer durations.

Three major conclusions are derived from this study. First, the motion status, speeds, changes (rotating angles) of stimulus, and physical durations are the main source of variance of temporal judgment. Second, people consistently overestimate the shorter durations and underestimate the longer durations. The transitional point in duration estimation is 11.1s in the range 6s to 24s. Presenting sequences of intervals to humans not only affects the Weber function but also distorts perceived durations. Third, a piecewise continuous function is the best explanation for the Weber function. Inflectional points of the Weber function (12s and 21s) derived from this study are, to some extent, consistent with the transitional point of 11.1s in duration estimation.

Key words time estimation, the scalar property, source of variance, the Weber function, the transitional point.