

伸手拦截启动中的信息利用*

唐日新¹ 张智君² 刘玉丽² 赵亚军²

(¹ 南京大学社会学院心理系, 南京 210093) (² 浙江大学心理与行为科学系, 杭州 310028)

摘要 通过两项实验考察时空信息对拦截运动启动的影响: 实验一为知觉估计实验, 通过释放匀速小球模拟拦截过程; 实验二为特定拦截路线情景下的拦截行为实验, 即固定手的拦截方向, 但容许拦截速度自由控制。结果发现, 拦截行为的启动基于综合信息, 在所拦截物体作慢速运动的情景下拦截行为启动偏早, 而在快速运动的情景下启动偏晚, 结果不支持单纯用 τ 理论解释启动行为。本研究对手的速度伴随效应提出了新的解释。

关键词 拦截运动; τ ; 运动启动; 速度伴随效应

分类号 B842

1 问题的提出

拦截(Interception)是指在视觉的引导下, 手或其他身体部位启动运动, 趋向目标, 并最终在某一位置上与运动目标相遇。刹车等活动也可包含在这类运动之中。近年来, 对于拦截运动方面的研究层出不穷, 且研究角度和侧重点各不相同。人根据何种信息启动拦截动作和对动作进行调整? 如何调整? 这些都是研究者们关心的问题。研究人在拦截中如何进行调整就不能不涉及接触时间的问题。

研究者将目标物体运动到观察者的时间(或者观察者运动到目标物的时间)称之为“碰撞时间”(Time to Collision)或“接触时间”(Time to Contact)。对于拦截运动, 需要进行接触时间的估计, 生态心理学认为时间变量是可以直接知觉的。在 Gibson“直接知觉”理论的基础上, Lee (1976, 1980) 提出, 人可以利用 τ 信息直接估计碰撞时间, 而不必借助运动物体的速度、距离和加速度等信息。这里, τ 是物体视觉大小(如视角)与该大小的瞬时变化的比值。根据 Lee 的观点, τ 是可以直接知觉到的。Tresilian (1991)总结了 τ 的定义, 并进行了区分。他把运动的视觉流域中“物体相对于视觉焦点的距离

与其瞬时扩张的比值”称为“global τ ”, 而把“运动中物体上两点的视角与视角瞬时变化的比值”定义“local τ ”1 型(图 1), 把“物体作为一个整体来计算该物体视觉立体角与瞬时变化的比值”定义为“local τ ”2 型(图 2)。后两种为一类, 皆为“local τ ”。

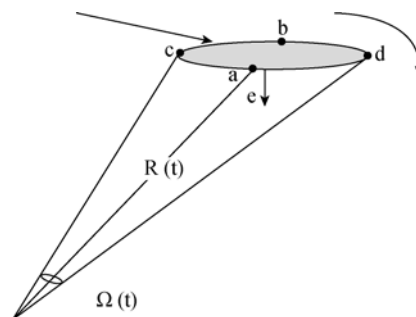


图 1 Local τ 1 型示意图

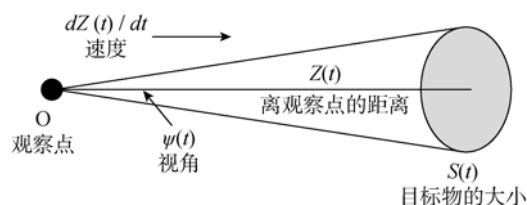


图 2 Local τ 2 型示意图

收稿日期: 2008-12-19

* 高等学校博士学科点专项科研基金(20050335093)、江苏省博士后科研启动项目(0109003006)、江苏省博士后科研资助项目(0109003402)资助。

通讯作者: 张智君, E-mail: zjzhang@zju.edu.cn

为什么可将 τ 作为接触的估计量呢? 下面以 Local τ 2 型为例, 作简要的数学推导(Tresilian, 1991)。

当物体沿视轴运动时, $\Psi(t)$ 为视角大小, S 为目标大小, $Z(t)$ 为目标与眼的距离

由图 2 可以看出: $\psi(t) \approx S / Z(t)$

求导后计算得: $\psi(t) / [d\psi(t) / dt] = -Z(t) / [dZ(t) / dt]$

而 TTC 即为物体到观察点的时间, 或者说是接触时间

$$\tau(t) = \psi(t) / [d\psi(t) / dt] = -Z(t) / [dZ(t) / dt] = TTC$$

图 1 与图 2 推导类似, 只是 $\psi(t)$ 为 ab 或 cd 的视角。

τ 理论提出之后, 也得到了众多证据的支持(Warren Jr, Young, & Lee, 1986; Wann, Edgar, & Blair, 1993; Kim, Turvey, & Carello, 1993; Kaiser & Mowafy, 1993; Yilmaz & Warren Jr, 1995), 这些研究发现一般成年人利用 τ 来估计碰撞时间。并且从动物研究方面也获得了许多直接证据(Lee & Reddish, 1981; Wagner, 1982; Davies & Green, 1990), 这些研究一般对飞行动物落地时的动作进行考察, 发现动作的启动一般在 τ 达到一定时间时进行。而 Shankar 和 Ellard (2000) 的研究则表明, 沙鼠的动作也利用估计接触时间来进行。Kayed 和 van der Meer (2000) 发现, 6~7 月大的婴儿即可根据接触时间(利用 τ 估计)信息眨眼。许多研究认为即使在加速的情况下动物和人仍然利用 τ 估计接触时间而不考虑加速度(Lee, 1981; Senot, Prevost, & McIntyre, 2003; Benguigui, Ripoll, & Broderick, 2003)。

许多研究者则反对 τ 理论, 他们认为拦截或者减速运动的启动是在离目标一定距离时进行(Law et al. 1993; Wann, 1996; Port et al., 1997), 另外一些研究者则承认 τ 的作用, 但是认为, 人整合了多种信息, τ 仅仅是其中之一(Andersen & Kim, 2001; Tresilian, 1999; Kim & Grocki, 2006; Bastin & Montagne, 2005)。其他因素会影响到接触时间估计, 如深度线索(DeLucia, Kaiser, Bush, Meyer, & Sweet, 2003; DeLucia, 2004)等。

以上研究多数通过考察刹车或者避让行为, 变化视觉信息, 根据人在运动中何时启动来研究接触时间估计所利用的信息。此外, 手如何拦截物体也成为人们关注的对象。对手的拦截运动的研究主要集中于一个现象, 就是速度伴随效应。

van Donkelaar, Lee 和 Gellman (1992) 的研究表明, 当伸手拦截移动物体时, 无论遮挡住手, 还是让手可见, 目标物体运动越快, 伸手运动的时间均越短。伸手拦截速度随物体运动速度增加而增加的现象被称为“速度伴随效应”(Speed coupling effect)。许多研究也证实了这一点(Chieffi, Fogassi, Gallese, & Gentilucci, 1992; Carnahan & McFadyen, 1996)。

对于这种现象, 研究者们给出了不同的解释。Brenner 和 Smeets (1996) 认为, 速度伴随效应起源于补偿从看到物体到启动手运动之间的时间延迟。有研究者认为, 在目标快速运动的情景下, 被试为获得较长的注视时间(因而有更好的估计)而采取了较快拦截的策略, 这可能是速度伴随效应出现的原因。Peper 等人(1994)考察了对球的拦截运动, 认为被试的策略不是对拦截点位置和目标到达时间进行预测, 而是对目标即时信息加以利用。因此, 只有手的运动速度与物体的运动速度相适应, 才能保证拦截的准确性。Mason 和 Carnahan (1999) 的研究支持了这一观点。Tresilian 和 Lonergan (2002) 的研究则认为, 速度伴随效应可能与时间限制有关, 因为快速目标通过拦截区域时间短, 因此手的拦截运动也加快。

近来研究发现, 速度伴随效应并不必然出现, 实验条件变化时这种现象可能会消失。Caljouw, van der Kamp 和 Savelsbergh (2004) 的研究逼迫被试将快速运动的球横击到较近的位置, 而慢速的球击到较远位置, 发现速度伴随效应消失。作者认为可能与被试在这种任务要求下对动作启动的阈限进行调整有关。

从以上可以看出, 在接触时间估计的研究中, 一些研究者认为人在刹车时主要利用了时间信息 τ (Lee, 1976), 而另外有研究者认为, 当人离目标点一定距离时开始启动减速(Law et al., 1999; Port et al., 1997)。其他研究者则认为利用了多种信息(Andersen & Kim, 2001)。对此, 我们希望在手的拦截启动中进行验证, 考察拦截运动启动所利用的视觉信息, 以往这类研究非常少。手的拦截与刹车在信息类型上存在差异, 在刹车时整个视野运动形成光流阵, 而在手的拦截时仅有物体在运动。在对刹车进行控制时, 需要对刹车的性能进行估计, 在手进行拦截时则需要对手的运动估计, 而对自身肢体运动的估计比起刹车来更熟悉。Fajen (2005) 的研究认为刹车本身的性能会影响到刹车行为。而伸手拦

截行为可以排除这种影响。

前人研究往往将有运动参与的接触时间估计与知觉估计混合在一起。当对有运动参与的接触时间估计时, 由于可以调整随后的运动, 它只反映人的启动模式, 而不是纯粹的时间估计。而在人本身无法参与的碰撞运动中, 它才反映了人对接触时间的估计。两者不应该混为一谈。因此我们希望利用知觉估计实验和伸手拦截实验来考察拦截过程中信息的利用问题。通过两个实验的对比, 可以看出两者是否存在差异。

手的启动与随后的运动状态是紧密相关的。同样的拦截运动, 手启动早或晚对后面的运动的时间影响非常大。如果启动过晚, 则剩余的拦截时间较短, 运动的速度必然较大; 如果启动过早, 则情景正相反。有些研究对启动进行了控制, 要求看到物体后就迅速启动。在这种情景下, 可能会出现因时间短而难以形成对物体速度的准确知觉, 进而影响随后的动作调整。因此, 速度伴随效应是否由于启动的原因导致呢? 值得我们去探讨。

此外, 手的最初启动运动受到何种信息影响, 是否具有倾向性, 也是我们研究所关心的内容。以往研究并未涉及这一点。

2 实验一: 伸手拦截启动中知觉估计的信息利用

2.1 研究目的

在伸手拦截物体时, 除需对运动物体进行估计外, 人同时还要考虑自身的运动, 并根据实时信息加以调整。为简化问题, 本实验将运动路线和运动速度加以控制, 在此情景下单独考察启动拦截的知觉估计。具体地说, 通过释放一个以特定速度、沿特定方向运动的小球来模拟拦截运动。本实验的其他情景尽量与后续实验相一致, 以进行比较。事实上, 手的启动偏向性与知觉估计是两个不同的问题, 而前人研究并没有加以区分。

总之, 本实验将考察在拦截运动中人的知觉估计是单独利用了 τ 变量, 还是单独利用了距离信息, 或者是综合了多种信息的结果。

2.2 实验方法

本实验的自变量包括物体的速度和大小。前人研究显示, 这些变量均影响接触时间估计(DeLucia, 1991; DeLucia & Warren, 1994)。另外, 本实验还将所释放小球离拦截点的距离作为变量进行探讨, 考察不同距离下是否有相似的效应。

具体地说, 大小不同的物体球(大、小)以不同的速度(快、中、慢)作匀速直线运动, 被试在不同距离(远、近)上释放一小球, 释放后小球以匀速直线运动。释放小球的时间可自由控制, 被试的任务是让所释放的小球其与运动物体相遇。收集小球释放时离拦截点的距离(即启动距离), 并计算小球的接触时间。

与前人研究范式不同的是, 本实验主要分析人的反应倾向性, 而不是准确性。

图 3 为实验情景的示意图, 实际运动中无任何标志。

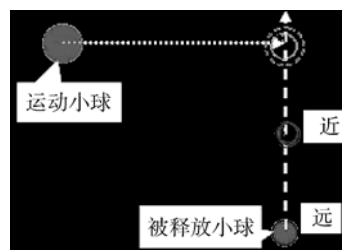


图3 实验一情景示意图
(虚线箭头为两小球的运动方向)

2.2.1 实验材料 本实验利用计算机程序呈现刺激(图4), 利用 Borland C++编程。运动物体为左上侧的红色球, 分小球(直径约为 1cm)和大球(直径约为 1.8cm)两种情况, 运动速度分快速(16cm/s)、中速(12cm/s)和慢速(8cm/s)三种情况。被释放小球(右下侧红色小球)的大小(直径约为 1cm)和运动速度(20cm/s)固定, 与运动球的垂直距离有远(大约 18cm)和近(大约 9cm)两种情况。

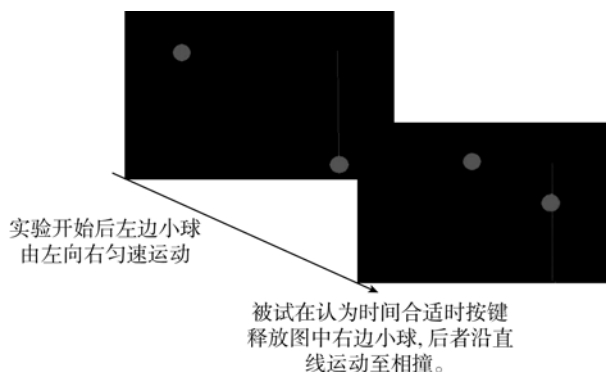


图4 实验一流程示意图

2.2.2 实验仪器和装置 在室内无灯光照明环境下进行。实验刺激通过 Viewsonic 19 英寸宽屏液晶显示器呈现, 显示器的分辨率为 1280×780 像素。

被试的位置固定,与屏幕距离约 40cm。

2.2.3 任务和程序 实验采用 2 (运动球大小: 大 vs 小) × 3 (运动球大小速度: 快、中、慢) × 2 (释放球的距离: 远 vs 近) 的完全被试内设计, 每种情境重复 10 次, 共 2×3×2×10=120 次试验, 顺序随机。实验开始后, 呈现运动小球和被释放小球, 同时有“beep”声提示, 运动小球从左向右运动, 起始位置在一定范围内随机。当被试认为时机适当时, 按键盘“↑”键释放右下侧小球, 该小球以固定速度作匀速直线运动, 被试应尽可能使两球中心相遇。程序自动判断两球是否相撞。为与实际拦截实验保持一致, 本实验增加了结果反馈, 即如果两球相遇, 则显示“击中”, 否则显示“错过”。停顿 4 秒后, 进入下一个 trial。完成 60 个 trial 后, 被试休息 3 分钟。实验前进行练习, 让被试熟悉所释放小球的速度。在练习的准确率达到 50%, 并且连续三次以上击中后, 开始正式实验。

2.2.4 被试 15 名大学生(7 名男性, 8 名女性)作为被试参加该实验, 被试的视力或矫正视力正常, 均为右利势手, 年龄在 21~28 周岁。

2.3 结果与分析

2.3.1 物体大小、速度和释放距离对启动距离的影响 计算小球释放时运动物体离拦截点的启动距离,单位为像素, 由于启动距离不同时方差相差过大, 对数据进行对数转换(取 lg 值)并进行线性转换后, 得到其平均启动距离和标准差。表 1 为不同因素组合条件下启动距离的平均值和标准差。

表 1 不同物体大小、速度和释放距离下的平均启动距离和标准差

速度		远距离		近距离	
		大	小	大	小
慢	<i>M</i>	1.84	1.89	0.71	0.68
	<i>SD</i>	0.38	0.38	0.20	0.21
中	<i>M</i>	3.10	2.95	1.31	1.19
	<i>SD</i>	0.28	0.27	0.24	0.14
快	<i>M</i>	3.49	3.43	1.81	1.59
	<i>SD</i>	0.29	0.26	0.27	0.20

对实验结果采用重复测量方差分析, 因不符合球形检验, 采用 Greenhouse-Geisser 矫正值。后面数据凡不符合球形检验的数据均采用此修正值, 不再重复说明。重复测量的方差分析结果表明, 物体运动速度对启动距离的影响非常显著, $F(2, 28) = 232.47, p < 0.001, \eta^2 = 0.94$ 。两两比较后结果表明,

不同速度间差异均达到 $p < 0.001$, 即速度越快, 启动距离越大。物体大小对启动距离影响显著, $F(1, 14) = 9.66, p = 0.01, \eta^2 = 0.41$, 大物体的启动距离更大。释放距离对启动距离影响显著, $F(1, 14) = 1659.55, p < 0.001, \eta^2 = 0.99$, 释放距离越大, 启动距离也越大。物体速度和释放距离的交互作用显著, $F(2, 28) = 26.40, p < 0.001, \eta^2 = 0.65$ 。物体速度和大小的交互作用显著, $F(2, 28) = 3.68, p = 0.04, \eta^2 = 0.21$ 。释放距离和物体大小的交互作用不显著, $F(1, 14) = 1.67, p = 0.22, \eta^2 = 0.11$ 。物体速度、大小和释放距离的交互作用不显著, $F(2, 28) = 0.84, p = 0.44, \eta^2 = 0.06$ 。

为了直观说明结果, 我们以远距离释放为例, 将单独利用距离信息启动的情况与远距离下的平均启动距离进行对比说明信息利用情况, 如图 5 所示。

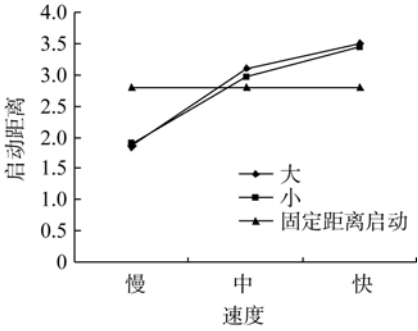


图 5 远距离释放条件下小球不同大小和不同速度的启动距离与固定启动距离的对比

2.3.2 物体大小、速度和释放距离对接触时间估计的影响 根据物体的速度和启动距离可以计算所释放小球的接触时间。结果见表 2。其中, 时间为转换后时间, 即启动距离(像素)除以目标小球水平速度的相对值, 然后做对数转换(取 lg 值)后再做线性变换, 避免出现负值。

表 2 不同物体大小、速度和释放距离下的平均接触时间及其标准差

速度		远距离		近距离	
		大	小	大	小
慢	<i>M</i>	3.25	3.33	1.40	1.35
	<i>SD</i>	0.62	0.62	0.33	0.35
中	<i>M</i>	3.12	2.96	1.17	1.04
	<i>SD</i>	0.31	0.29	0.27	0.15
快	<i>M</i>	2.25	2.29	0.97	0.79
	<i>SD</i>	0.39	0.21	0.22	0.17

对实验结果采用重复测量方差分析。重复测量的方差分析结果表明, 物体运动速度对接触时间的影响非常显著, $F(2, 28) = 37.12, p < 0.001, \eta^2 = 0.73$ 。两两比较后结果表明, 不同速度间差异均达到 $p < 0.001$, 即速度越快, 接触时间越短。释放距离对启动距离的影响显著, $F(1, 14) = 1143.04, p < 0.001, \eta^2 = 0.99$ 。物体大小对接触时间的影响接近显著, $F(1, 14) = 3.83, p = 0.07, \eta^2 = 0.22$ 。速度和释放距离的交互作用显著, $F(2, 28) = 10.81, p < 0.001, \eta^2 = 0.44$ 。物体速度和大小的交互作用不显著, $F(2, 28) = 2.51, p = 0.1, \eta^2 = 0.15$ 。释放距离和物体大小的交互作用不显著, $F(1, 14) = 1.83, p = 0.20, \eta^2 = 0.12$ 。物体速度、大小和释放距离的交互作用不显著, $F(2, 28) = 0.951, p = 0.40, \eta^2 = 0.06$ 。

为了直观说明结果, 我们以远距离释放为例, 将单独利用时间信息启动的情况与远距离下的平均接触时间进行对比, 如图 6 所示。

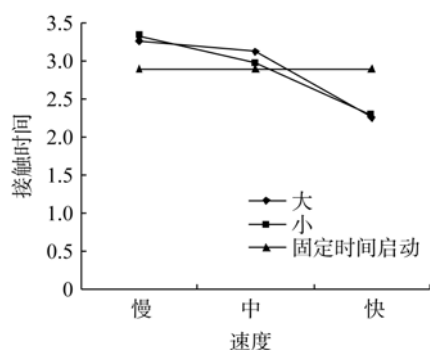


图 6 远距离释放条件下小球不同大小和不同速度的接触时间与固定接触时间的对比

2.4 讨论

从以上结果可以看出, 在不同运动速度条件下, 接触时间和启动距离都有显著差异, 表明人的运动启动既不是单纯根据空间信息(距离达到某个阈限值), 也不是单纯根据时间信息(即 τ 到达某个阈限值), 而都存在着一定的偏差。从结果上看, 被试可根据意识到的速度差异来调整释放时间, 无法单独用距离假设来解释; 但在不同速度下拦截启动的倾向性不同, 在物体快速运动时启动偏晚, 而慢速运动时启动偏早。因此如果 τ 理论成立, 其倾向性应该是一致的。

随着物体运动速度的改变, 接触时间估计的准确性发生具有倾向性的变化。具体地说, 对于快速物体, 启动将偏晚, 而对于慢速运动物体, 启动将偏早。尽管要求被试尽快拦截运动物体, 但在拦截

快速物体时手的运动速度更快。即从不同速度条件下的接触时间比较看, 人对快速运动物体的接触时间有低估的倾向, 对慢速和中速运动物体有高估的倾向。这个估计偏差是在知觉层面的, 无法用接触时间估计的 τ 理论来解释。在实际拦截中, 由于手的运动可以调整, 所以无法判断启动反应是否过迟或过早。而在本实验中, 这一偏向性得以完整显现。对这一现象的解释, 可从两个方面入手。一种可能性是, 其中一些人依据 τ 而另一些人依据距离信息来启动运动。但是, 从单个数据来看, 本实验并未显示出明显的个体差异。另一种可能性是, 人在启动运动的过程中综合考虑了 τ 和距离信息, 将反应局限在一定的空间范围内。

物体大小影响启动距离, 但并未影响对接触时间的估计。这与前人研究并不一致, 前人在对刹车等活动研究中发现物体大小影响对接触时间的估计(DeLucia, 1991; Delucia & Warren, 1994; Smith et al., 2001)。可能的原因是, 在刹车等活动中, 利用 τ 来估计接触时间, 属于 global τ 型, 因此物体大小对接触时间的估计有影响。

释放距离影响启动距离和接触时间, 这是由距离不同时所释放小球的运动时间存在差异所致。不同释放距离下效应基本是一致的。

3 实验二: 特定拦截路线下伸手拦截启动中的信息利用

3.1 研究目的

从实验一的结果可以看出, 人对运动物体接触时间的估计存在一定的倾向性, 这种倾向性会影响拦截运动中手的启动。在实际的拦截运动中, 由于人可以对手的运动进行实时调整, 因此, 启动时的选择既可以先依据 τ 估计(接触时间达到一定阈限)来进行, 也可能基于其他视觉变量, 如距离信息等, 然后在实际拦截过程中在进行适当的调整。因此, 手的启动倾向性与接触时间的估计是两个不同概念, 本实验将单独对手的启动倾向性进行考察。同时考察速度伴随效应的产生是否与手的启动倾向有关。

关于自由启动情景下物体运动属性对手启动参数的影响, 已有文献并未涉及。

因此, 在本实验中, 对拦截路线进行操纵, 考察沿不同路线(方向)拦截时手的运动情况。

3.2 实验方法

采用 $3 \times 2 \times 3$ 的完全被试内设计。其中, 自变量

为物体运动速度(慢速、中速和快速)、物体大小(大、小)以及手与人体矢状面的夹角(0° 、 30° 和 45°); 因变量为手启动时物体离拦截点的距离(启动距离)、物体将要到达拦截点的时间(接触时间)和手启动的初速度。

本实验控制了手与运动球的距离(大约 18cm)。同时, 由于运动距离过短时手的快速启动将受到较大影响, 因此, 本实验将小球释放距离限定在 18cm(远)的情景。

3.2.1 实验材料 实验材料同实验一, 仍采用计算机程序呈现, 只是将实验一远距离释放小球所在的位置改为手的启动点。同时呈现手的运动路线, 让被试沿线运动。图 7 列举了运动角度为 30° 时的刺激呈现情景。要求手沿着图中直线方向运动。

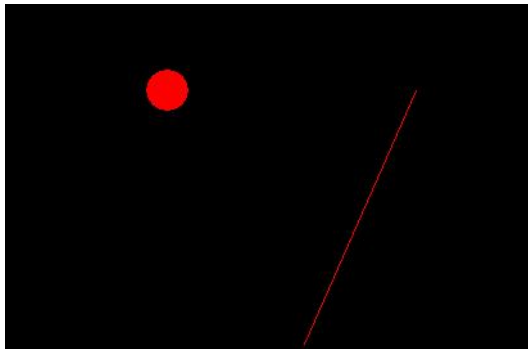


图 7 实验二示意图(运动角度为 30° 时的情景)

3.2.2 实验仪器和装置 在室内无灯光照明环境下进行。实验刺激通过 Viewsonic 19 英寸宽屏液晶显示器呈现, 显示器的分辨率为 1280×780 像素。被试的位置固定, 与屏幕距离约 40cm。被试的运动指标通过加拿大 NDI 公司生产的 Optotrak3020 运动测量系统获得。方法为: 在右手食指指甲跟上粘贴 1 个红外标记器(Marker)(图 8 为实验情景图), 两套 Optotrak3020 系统动态、实时记录红外标记器的坐标, 通过 API 和 Borland C++编程使 Marker 与运动小球处在相同的坐标系中, 以方便进行比较, 通过实时数据处理判断是否击中。Optotrak3020 测量的 RMS 精度为 0.2mm, 采样频率为 200Hz。图 9 为实验装置图。

3.2.3 任务和程序 实验采用 $3 \times 2 \times 3$ 完全被试内设计, 每种情境重复 10 次, 共 $3 \times 2 \times 3 \times 10 = 180$ 次试验, 呈现顺序随机。实验开始后, 被试将右手食指(带有 Marker)放于起始点, 左手食指轻轻放在 Marker 上遮挡, 同时呈现运动小球。机器发出“beep”声提示后, 运动小球从左向右运动, 起始

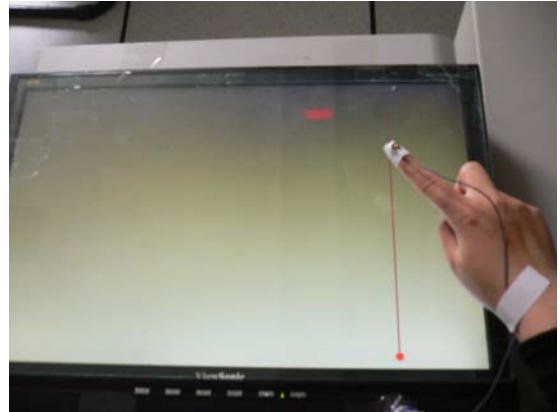


图 8 拦截实验情景图

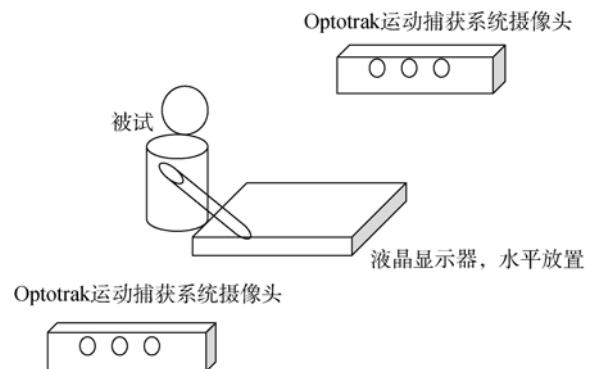


图 9 拦截实验装置图

位置在一定范围内随机。当被试认为时机适当时, 启动手的拦截运动, 要求被试沿显示的路线运动, 尽可能快地击中小球中心。测量手启动时运动物体(运动小球)离拦截点的距离(启动距离)、手最初的加速度以及运动角度, 并计算接触时间。程序判断是否相撞, 如果相撞则显示“击中”, 如果没有相撞则显示“错过”。停顿 4 秒后, 进入下一个 trial。在第 60 个和第 120 个 trial 结束后, 被试分别休息 3 分钟。实验前先进行练习, 当练习的准确率达到 50%, 并且连续三次以上击中后, 开始正式实验。

3.2.4 被试 与实验一相同。

3.3 结果与分析

3 名被试因某些启动角度数据偏差过大、启动反应时间过长或运动时间过长而被剔除, 实验结果只对 12 名被试的数据进行分析。收集被试启动运动的加速度和启动时物体所在位置等数据。

3.3.1 物体大小、运动速度和手的运动角度对启动距离的影响 先看分析启动距离, 即手开始运动时小球离拦截点的距离。表 3 为物体大小、速度和手的运动角度等不同条件组合下的平均启动距离和标准差资料。

对数据进行重复测量方差分析。结果发现: 物体大小显著影响启动距离, $F(1, 11)=37.32, p < 0.001, \eta^2=0.77$, 即物体越大, 启动距离也越大; 物体运动速度对启动距离影响显著, $F(2, 22)=33.96, p < 0.001, \eta^2=0.76$, 三种速度两两比较均达到 $p < 0.001$, 速度越快, 启动距离越大; 手的运动角度对启动距离影响显著, $F(2, 22)=42.92, p < 0.001, \eta^2=0.80$, 对三种角度进行两两比较, 差异均达到 $p < 0.001$, 角度越大, 启动距离越大。

分析速度和大小的交互作用, $F(2, 22)=3.34, p > 0.05, \eta^2=0.233$, 效应不显著。大小与角度的交互作用也不显著, $F(2, 22)=2.36, p = 0.12, \eta^2=0.18$ 。速度与角度的交互作用显著, $F(4, 44)=4.95, p < 0.01, \eta^2=0.31$ 。对此, 进行简单效应分析, 发现在慢速下不同角度的启动距离差异显著, 0° 与 30° 下 $p < 0.01$, 30° 与 45° 下 $p < 0.01$, 而 0° 与 45° 下 $p = 0.001$; 在中速和快速下结果相同, 两两比较下均达到 $p <$

0.001 。速度、角度和大小的交互作用不显著, $F(4, 44)=1.56, p = 0.20, \eta^2=0.13$ 。

为与实验一相比较, 对 0° 情况的数据进行分析。结果发现: 速度对启动距离的影响显著, $F(2, 22)=13.96, p < 0.001, \eta^2=0.55$, 速度越快, 启动距离越大; 大小对启动距离的影响为 $F(1, 11)=3.93, p = 0.07, \eta^2=0.26$, 无显著差异; 速度和大小的交互作用不显著, $F(2, 22)=0.25, p = 0.78, \eta^2=0.02$ 。

实验一中物体速度对启动距离影响显著, 速度越快启动距离越大。这一点与实验二相同。但是物体大小对启动距离的影响也显著, 与实验二不同。

3.3.2 物体大小、运动速度和手的运动启动角度对启动接触时间的影响 对启动时剩余的接触时间进行分析。与实验一一样, 数据为相对时间, 即启动距离(像素)除以所释放小球的速度的相对值。表4为各个因素不同水平下的接触时间平均值和标准差。

表3 不同物体大小、速度和手的运动角度下的平均启动距离和标准差(单位: 像素)

速度		小			大		
		0°	30°	45°	0°	30°	45°
慢	<i>M</i>	47.51	61.89	88.70	57.56	70.21	96.60
	<i>SD</i>	23.32	16.18	44.05	20.41	17.02	25.17
中	<i>M</i>	58.15	65.94	94.42	67.19	97.00	121.93
	<i>SD</i>	22.02	17.77	34.62	21.08	27.70	22.43
快	<i>M</i>	70.42	90.12	133.93	75.46	116.13	141.29
	<i>SD</i>	34.02	34.66	43.72	27.38	29.66	24.08

表4 不同物体大小、速度和手的运动角度下的平均接触时间和标准差

速度		小			大		
		0°	30°	45°	0°	30°	45°
慢	<i>M</i>	11.88	15.47	22.18	14.39	17.55	24.15
	<i>SD</i>	5.83	4.04	11.01	5.10	4.25	6.29
中	<i>M</i>	9.69	10.99	15.74	11.20	16.16	20.32
	<i>SD</i>	3.67	2.96	5.77	3.51	4.61	3.74
快	<i>M</i>	8.80	11.27	16.74	9.43	14.52	17.66
	<i>SD</i>	4.25	4.33	5.47	3.42	3.71	3.01

注: 单位为相对值(下同)。

对数据进行重复测量方差分析。物体大小对手的启动接触时间的影响显著, $F(1, 11)=28.28, p < 0.001, \eta^2=0.72$, 物体越大, 启动接触时间越长。物体运动速度对启动接触时间的影响显著, $F(2, 22)=24.45, p < 0.001, \eta^2=0.69$, 三种速度两两比较均达到 $p < 0.001$, 速度越快, 启动接触时间越短。手的运动角度对启动接触时间影响显著, $F(2,$

$22)=35.93, p < 0.001, \eta^2=0.77$, 对三种角度进行两两比较, 差异均达到 $p < 0.001$, 角度越大, 启动时接触时间越长。分析速度和大小的交互作用, $F(2, 22)=2.19, p = 0.14, \eta^2=0.17$, 差异不显著。大小与角度的交互作用也不显著, $F(2, 22)=1.53, p = 0.24, \eta^2=0.12$ 。速度与角度的交互作用不显著, $F(4, 44)=1.29, p = 0.29, \eta^2=0.11$ 。速度、角度和大小的

交互作用不显著, $F(4, 44)=1.22$, $p=0.32$, $\eta^2=0.1$ 。

同样, 对 0° 下的数据进行单独分析。结果发现: 速度对接触时间的影响显著, $F(2, 22)=12.68$, $p<0.001$, $\eta^2=0.60$, 速度越快, 启动接触时间越短; 大小对启动接触时间的影响为 $F(1, 11)=4.32$, $p=0.06$, $\eta^2=0.31$, 差异不显著; 速度和大小的交互作用不显著, $F(2, 22)=1.02$, $p=0.38$, $\eta^2=0.09$ 。

实验一中速度对启动接触时间影响显著, 与实

验二相同。大小对接触时间影响也不显著, 这一点与实验二 0° 情景下相同, 但是与实验二物体大小对启动接触时间的主效应不同。

3.3.3 物体大小、运动速度和手的运动启动角度对手的启动加速度的影响 与实验一不同的是, 本实验增加了手的启动加速度指标, 即计算在启动时手的加速度, 其值为相对值(通过前六个点的坐标计算速度和加速度, 由于并未除以采样时间等, 单位为相对值)。具体结果如表 5 所示。

表 5 不同物体大小、速度和手的运动角度下的平均初加速度和标准差

速度		小			大		
		0°	30°	45°	0°	30°	45°
慢	<i>M</i>	2.21	2.26	2.87	2.34	3.00	3.17
	<i>SD</i>	1.02	0.96	1.32	1.07	1.38	1.59
中	<i>M</i>	2.92	3.51	3.63	2.26	3.02	3.48
	<i>SD</i>	1.78	2.45	1.59	1.00	1.06	1.37
快	<i>M</i>	2.11	2.66	3.39	2.42	3.38	3.60
	<i>SD</i>	1.09	0.91	1.74	1.34	2.10	1.68

对数据进行重复测量方差分析。物体运动速度对启动加速度的影响显著, $F(2, 22)=3.72$, $p=0.04$, $\eta^2=0.25$, 两两比较, 慢速与中速差异显著, $p=0.034$, 其他不显著。手的运动角度对启动加速度的影响显著, $F(2, 22)=5.10$, $p=0.02$, $\eta^2=0.32$, 两两比较发现 0° 与 45° 情况下差异显著, $p=0.03$, 其他不显著。物体大小对手的启动加速度影响不显著, $F(1, 11)=0.51$, $p=0.49$ 。分析速度和大小的交互作用, $F(2, 22)=2.87$, $p=0.08$, $\eta^2=0.21$, 差异不显著。大小与角度的交互作用也不显著, $F(2, 22)=0.85$, $p=0.44$ 。速度与角度的交互作用不显著, $F(4, 44)=0.47$, $p=0.76$, $\eta^2=0.04$ 。速度、角度和大小的交互作用不显著, $F(4, 44)=0.32$, $p=0.86$, $\eta^2=0.03$ 。

3.4 讨论

前面提到, 手的启动偏向性与接触时间的知觉估计是两个不同的问题。在本实验中, 虽然在不同的物体运动速度下手的启动距离存在差异, 但启动时剩余的接触时间在慢速下较长, 在快速下较短, 这与实验一结果一致, 出现了速度伴随效应。这样, 在拦截点固定的情况下, 在拦截快速运动物体时, 剩余时间较短, 因此在随后的运动中必须加快速度拦截, 这是导致速度伴随效应的可能原因。以往许多研究要求被试在见到运动物体后尽快启动, 那种情况下也出现了速度伴随效应(Brenner & Smeets, 1996; Smeets & Brenner, 1995), 原因是什么呢? 我

们认为, 这与固定拦截点的情景是相似的。尽管被要求迅速启动, 但由于对不同运动速度物体的接触时间估计存在偏差, 因此, 在选择拦截点时, 在快速运动情景下物体到拦截点距离偏短, 在慢速下偏长。手的速度伴随效应通过本实验得到了一个新的解释。

从结果上看, 在实验二中, 0° 下物体速度对于启动距离和接触时间影响与实验一释放小球情况非常相似, 表明两者对视觉信息利用方式可能是一致的。即手的启动时刻的选择也综合了两种信息的结果。

0° 下物体大小对启动时剩余接触时间的影响并不显著, 与实验一结果一致, 但是在所有角度下, 物体大小对启动距离和接触时间影响的主效应显著。也就是说, 在其他角度下, 物体大小对启动时间有显著影响, 具体原因还需进一步探讨。而 0° 下物体大小对启动距离影响不显著, 与实验一结果不一致, 表明手的启动偏向性与接触时间估计还是存在一定差异的。也就是说手的启动也并不完全按照接触时间估计来进行。

物体速度对启动加速度、接触时间和启动距离的影响均有显著效应。也就是说, 被试启动时可能意识到接触时间和启动距离的差异, 因此手的启动加速度也根据速度作出了相应的调整。但是, 这种调整仅在慢速到中速下进行, 而中速与快速相比,

加速度并无显著差异。可能原因是,在中速以上时,由于启动能力等方面的限制,手的加速度趋于稳定,而在中速以下时手的加速度随着速度的增大而增大。那么,为什么人们会调整自身加速度、而不是等待到达同样的接触时间或同样的距离后进行拦截呢?这可能与启动偏向性有关。当速度达到更大时,加速度并无显著差异,这时可能通过调整其他方式(如启动时间)来完成。

在不同运动角度下,启动距离、接触时间和加速度均存在差异。这可能是因为角度不同导致运动路线上的距离出现差异,后者促使被试对运动启动做出调整。

4 总讨论

4.1 接触时间的 τ 理论

生态心理学研究者们对接触时间进行了大量的研究。但是,我们认为,这些研究混淆了接触时间估计和运动启动模式的问题。从前面综述中可以看到,以往研究既有探讨碰撞的知觉估计的(Law et al., 1993),也有考察刹车启动时间(Yilmaz & Warren Jr, 1995)。后一种情况除需对接触时间进行估计外,还涉及到对后续拦截运动的估计。这也是为什么 Wann (1996)和 Port 等(1997)提出人是依据离碰撞点距离达到一定值时启动减速行为的原因。实际上,这种情况下并没有体现人对接触时间的估计,而只反映了人的启动模式,因为人完全可以通过随后的运动调节达到拦截目的。

本研究分别进行了知觉和行为的启动实验,两者的结果是一致的,单独用接触时间和距离信息都不能完全解释本研究结果。由于不涉及其他影响因素,我们认为,拦截运动很可能综合利用了两种信息。即本研究不支持 Lee (1976, 1980)所提出的“完全可以根据 τ 来解释运动启动”的理论。

4.2 是否存在容易启动区域?

在拦截行为的启动问题上,无论在知觉估计实验还是在实际拦截实验中,均发现启动既没有完全依据空间距离(达到一定阈限),也没有完全依据时间信息(τ 到达一定阈限)。在快速运动情景下对拦截行为的启动较晚,而在慢速运动情景下启动较早。我们推测,空间信息可能以下述方式影响启动:存在一个容易启动的区域,离这个区域越近,越容易启动。

4.3 速度伴随效应

对速度伴随效应现象,前人做了很多解释,如

反应延迟(Brenner & Smeets, 1996)、需要维持必需的注视时间(Mason & Carnahan, 1999)、人对即时运动信息的利用(Peper et al., 1994),或速度-准确率权衡(Tresilian & Lonergan, 2002)等。根据本研究的结果,我们提出了新的解释,即人的估计并不纯粹利用接触时间,可能在物体到达某个距离范围时,人更容易启动,而不是根据 τ 是否达到某个阈限来确定启动。这样,在拦截快速物体时,手的启动会相对较晚,即在这种情景下后期运动的时间较短,后者导致速度伴随效应。同理,另一种情景下,当要求被试看到物体即启动拦截,而拦截点不固定时,情况相同。在后一情境下,人对拦截点位置的估计也综合利用了两种信息,从而出现了与实验二中启动距离类似的估计偏差,即在拦截快速物体时估计的拦截点离运动物体偏近,即启动距离也偏小,只能依靠后期快速运动进行弥补。

4.4 运动启动倾向性

在限制启动角度的情景下,在面对不同速度的运动物体时,启动加速度一般会有相应的调整。不过,当物体运动速度达到中速程度以上时,启动加速度的这种变化并没有达到显著的水平。对此的解释是,当人被迫按照固定路线进行拦截时,启动上的偏差只能通过调节手的加速度来适应,而当物体速度达到一定程度时候,可能由于人的能力等方面的限制,启动加速度并未显著增加。

5 结论

本实验获得如下结果:

(1) 从现象上,被试对快速运动物体的接触时间估计偏小,而对慢速运动物体的接触时间估计偏大;无法单独根据接触时间估计的 τ 理论来解释实验结果,即释放小球的时间既不能根据 τ ,也不能根据距离阈限来完全解释,可能是综合作用的结果。

(2) 拦截快速物体时,启动时剩余的接触时间短于拦截慢速物体,与实验一知觉估计时结果一致,可能是速度伴随效应的诱发原因。

(3) 启动加速度在运动速度不同时做出相应调整,但在达到中速以上时,这种影响并不显著;对于速度超出某一限度后启动加速度并没有显著增加的现象,可能源于启动能力等方面的限制。

参 考 文 献

Andersen, G. J., & Kim, R. D. (2001). Perceptual information and attentional constraints in visual search of collision

- events *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and performance*, 27, 1039–1056.
- Bastin, J., & Montagne, G. (2005). The perceptual support of goal-directed displacement is context-dependent, *Neuroscience Letters*, 376, 121–126.
- Benguigui, N., Ripoll, H., & Broderick, M. P. (2003). Time-to-contact estimation of accelerated stimuli is based on first-order information. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29, 1083–1101.
- Brenner, E., & Smeets, J. B. J. (1996). Hitting moving targets: co-operative control of “when” and “where”. *Human movement science*, 15, 39–53.
- Carnahan, H., & McFadyen, B. J. (1996). Visuomotor control when reaching toward and grasping moving targets. *Acta Psychologica*, 92, 17–32.
- Chieffi, S., Fogassi, L., Gallese, V., & Gentilucci, M. (1992). Prehension movements directed to approaching objects: influence of stimulus velocity on the transport and the grasp components. *Neuropsychologia*, 30, 877–897.
- Davies, M. N. O., & Green, P. R. (1990). Optic flow-field variables trigger landing in hawk but not in pigeons. *Naturwissenschaften*, 77, 142–144.
- DeLucia, P. R. (1991). Pictorial and motion-based information for depth perception. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17, 738–748.
- DeLucia, P. R. (2004). Time-to-contact judgments of an approaching object that is partially concealed by an occluder. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 30, 287–304.
- DeLucia, P. R., Kaiser, M. K., Bush, J. M., Meyer, L. E., & Sweet, B. T. (2003). Information integration in judgments of time to contact. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology: Human Experimental Psychology*, 56, 1165–1189.
- DeLucia, P. R., & Warren, R. (1994). Pictorial and motion-based depth information during active control of self-motion: size-arrival effects on collision avoidance. *Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance*, 20, 783–798.
- Fajen, B. R. (2005). The scaling of information to action in visually guided braking. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 31, 1107–1123.
- Law, D. J., Pellegrino, J. W., Mitchell, S., Fischer, S. C., McDonald, T. P., & Hunt, E. B. (1993). Perceptual and cognitive factors governing performance in comparative arrival time judgments. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 19, 1183–1199.
- Lee, D. N. A. (1976). Theory of visual control of braking based on information about time-to-collision. *Perception*, 5, 437–459.
- Lee, D. N. A., & Reddish, P. (1981). Plummeting gannets: a paradigm of ecological optics. *Nature*, 293, 293–294.
- Kaiser, M. K., & Phatak, A. V. (1993). Things that go bump in the light: on the optical specification of contact severity. *Journal of Experimental Psychology Human Perception and Performance*, 19, 194–202.
- Kayed N S, & van der Meer, A. (2000). Timing strategies used in defensive blinking to optical collisions in 5-to 7-month-old infants. *Infant behavior & development*, 23(3), 253–270.
- Kim, N. G., & Grocki, M. J. (2006). Multiple sources of information and time-to-contact judgments. *Vision Research*, 46, 1946–1958.
- Kim, N. G., Turvey, M. T., & Carello, C. (1993). Optical information about the severity of upcoming contact. *Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance*, 19, 179–193.
- Mason, A. H., & Carnahan, H. (1999). Target viewing time and velocity effects on prehension. *Experimental Brain Research*, 127, 83–94.
- Peper, L., Bootsma, R. J., Mestre, D. R., & Bakker, F. C. (1994). Catching balls: how to get the hand to the right place at the right time. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 591–612.
- Port, N. L., Lee, D. N. A., Dassonville, P., & Georgopoulos, A. P. (1997). Manual interception of moving targets I. Performance and movement initiation. *Experimental Brain Research*, 116, 406–420.
- Senot, P., Prevost, P., & McIntyre, J. (2003). Estimating time to contact and impact velocity when catching an accelerating object with the hand. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29, 219–237.
- Shankar, S., & Ellard, C. (2000). Visually guided locomotion and computation of time-to-collision in the Mongolian gerbil (*Meriones unguiculatus*): the effects of frontal and visual cortical lesions. *Behavioural Brain Research*, 108, 21–37.
- Tresilian, J. R. (1991). Empirical and theoretical issues in the perception of time contact. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17, 865–876.
- Tresilian, J. R. (1999). Visually timed action: time-out for ‘ τ ’? *Trends in Cognitive Sciences*, 3, 301–310.
- Tresilian, J. R., & Lonergan, A. (2002). Intercepting a moving target: effects of temporal precision constraints and movement amplitude. *Experimental Brain Research*, 142, 193–207.
- Van Donkelaar, P., Lee, R. G., & Gellman, R. S. (1992). Control strategies in directing the hand to moving targets. *Experimental Brain Research*, 91, 151–161.
- Wagner, H. (1982). Flow-field variables trigger landing in flies, *Nature*, 297, 147–148.
- Wann, J. P. (1996). Anticipating arrival: is the τ margin a specious theory? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22, 1031–1048.
- Wann, J. P., Edgar, P., & Blair, D. (1993). Time-to-contact judgment in the locomotion of adults and preschool children. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 19, 1053–1065.
- Warren W. H. Jr., Young, D. S., & Lee, D. N. A. (1986). Visual control of step length during running over irregular terrain. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 12, 259–266.
- Yilmaz, E. H., & Warren, W. H. Jr. (1995). Visual control of braking: a test of the hypothesis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 996–1014.

What Kinds of Information Are Used in the Onset of Interception with Hand ?

TANG Ri-Xin¹, ZHANG Zhi-Jun², LIU Yu-Li², ZHAO Ya-Jun²

(¹*Department of Psychology, School of Social and Behavioral Science, Nanjing University, Nanjing 210093, China*)

(²*Department of Psychology and Behavioral Sciences, Zhejiang University, Hangzhou 310028, China*)

Abstract

What kinds of information do humans use to avoid or achieve a collision? This question has driven a large number of research studies on a variety of topics, including time-to-collision (TTC), and interception. Many studies have been designed around the assumption that TTC is estimated entirely on the basis of ‘tau’, but some other researchers have disagreed with this approach, reasoning instead that observers could start intercepting using relative distance or absolute distance alone. The aim of the present study was to investigate what kind of information is used in interception by hand. In addition, the speed coupling effect, has been explained by different and inconsistent theories. This study was designed to examine whether this phenomenon was related with the startup of hand.

Fifteen undergraduate students participated in both of two experiments. All of them had normal vision or vision correction to normal. Experiment 1’s program was run on a Dell computer using Borland C++ Builder. Subjects were asked to press the key to release a ball, in order to achieve a collision with a moving target ball. The distance between the target ball and the collision point were recorded when subjects released the ball. In experiment 2, Subjects were asked to hit the moving ball using their index fingers along the fixed paths. The tracks of the subject’s hand were recorded by a movement-analysis system based on active infrared markers (Optotrak 3020; Northern Digital). The program also recorded the distance between target ball and the interception point when the hand started to move. All of the dependent variables were analyzed with repeated measure ANOVA.

The results showed that (1) Different velocities of the target ball influenced the distance and time to collision differently. Time to collision was shorter in Experiment 1 if the target ball moved more quickly, and it was longer when the target ran more slowly. The same situation occurred in the interception made by hand. But the effects of the size of the target ball were different in Experiment 1 and 2. (2) The acceleration of the hand was affected significantly by the velocity of the target ball. If the velocity of ball was beyond Medium, there were no significant effects.

The conclusions are directed by the study: These results did not favor the attempts to account interception onset solely with tau hypothesis, nor the distance hypothesis. It appears that tau and distance may both be used in interception. The speed coupling effect is related with the error of the estimate.

Key words interception; tau; onset of movement; speed coupling effect