

自由拦截启动策略与信息利用^{*}

唐日新^{1,2} 张智君² 刘玉丽²

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

摘 要 手的启动方向自由, 伸手拦截不同速度的运动小球。本研究通过考察手启动时的运动参数, 研究自由启动的情况下的信息利用和拦截策略, 并且考察了人的启动模式。结果发现, 自由拦截时手的拦截区域相对固定, 在物体快速运动情景下启动晚, 而在慢速下启动早, 可能综合利用了接触时间和距离信息, 存在速度伴随效应, 手的拦截启动策略为启动有相对稳定的角度和加速度, 并不随物体运动速度和物体大小的改变而改变。

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

对运动物体进行拦截是一个复杂的过程, 无论拦截者静止还是自身也运动, 人们都需要实时预测与运动物体在何时何处会发生碰撞, 从而进行趋向或者规避。拦截运动的研究对于人工智能, 交通和军事等领域都有重要意义, 因此也引起研究者们浓厚的兴趣。一般说来, 击球, 刹车, 跨越障碍以及飞行动物的落地都是拦截运动研究的范畴。

对拦截运动的研究涉及很多方面, 例如运动控制, 击中策略等等, 其中人们根据何种信息来进行拦截成为研究的热点之一。但是, 由于不同拦截行为差距较大, 研究者采取的研究方法和实验情景不同, 结果之间很难直接比较, 目前并未形成统一的理论和实验范式。

一些研究者以伸手拦截运动为平台, 从运动物体属性入手, 考察这些属性对拦截行为的影响。van Donkelaar, Lee 和 Gellman (1992)的研究表明, 当被试伸手拦截移动物体时, 尽管都被要求尽快拦截, 但是目标物体运动越快, 伸手拦截的时间越短。这种现象被称为“速度伴随效应”(Speed coupling effect)。也就是说, 运动物体的速度影响手拦截的平均速度(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。如为了补偿从看到物体到启动手运动之间的时间延迟(Brenner & Smeets, 1996)、为了获得更长的注视时间(Mason & Carnahan, 1999)、人对即时运动信息的利用需要手的运动速度与物体的运动速度相适应(Peper, Bootsma, Mestre, & Bakker, 1994), 或速度-准确率权衡运用到不同速度目标上的结果(Tresilian & Lonergan, 2002)等。但是这些解释互相争论, 都有实验证据支持和反对。

此外, 还有人分析了物体运动速度对拦截行为其他运动指标影响。例如 Brenner 和 Smeets (1996)通过实验发现, 个体根据速度信息决定什么时候(when)击中目标, 根据位置和运动方向信息决定在何处(when)击中目标。Brouwer, Brenner 和 Smeets (2002)则认为, 个体可能利用平均速度信息, 而非实际速度信息来确定拦截位置。Brouwer, Smeets 和 Brenner (2005)发现物体速度和大小都影响拦截时间。

从以上看, 这些研究一般定性分析物体运动信息对整个拦截过程的影响。一方面, 单一的运动信息如速度等可能会影响多个运动指标, 一个运动指标可能受多种信息的影响, 其机制是复杂的, 因此

收稿日期: 2009-09-03

* 浙江省自然科学基金项目(Y207527)、中国博士后基金项目(20090461100)、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

这种研究思路无法深入解释拦截运动的视觉信息利用。另一方面,这类研究多数考察拦截过程,对于运动启动考察不多,一般要求被试看到物体尽快启动,在实际生活中,我们往往都有时间观察运动物体,并自己决定启动时间。这种自由启动下的拦截行为启动可能与实验中的不同,而启动可能会对随后的拦截行为也造成影响。因此,有必要考察自由启动下视觉信息的利用问题。

那么,我们何时启动去拦截运动物体呢?这可能涉及到对碰撞时间的估计问题。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)。生态心理学采用另一个思路进行研究,他们认为时间变量是可以直接知觉的,由 Gibson 奠定基础,也被称为“直接知觉”理论。他们认为环境提供的信息非常丰富,人或者动物可以直接从环境中利用信息,而不必进行复杂的整合和表征等。人和动物都是活动的,但是他们可以从动态的刺激中拾取不变性(invariants)。这个理论的重要证据就是动物可能没有高级的心理过程但是仍然生活的很好(Michaels & Carello, 1981)。Lee(1976), Lee 和 Reddish (1981)提出人可以利用 τ 估计碰撞时间,而不需要借助运动物体的速度、距离和加速度等信息。从数学推导上也可以证明利用 τ 变量估计接触时间的正确性。 τ 变量是物体视觉大小(如视角)与该大小的瞬时变化的比值。后来 τ 定义推广为任何变量 X 与其瞬时变化率 dX/dt 的比值。

τ 理论提出之后,研究者们从成人(Warren, Young, & Lee, 1986; Wann, Edgar, & Blair, 1993; Kim, Turvey, & Carello, 1993; Kaiser & Mowafy, 1993; Yilmaz & Warren, 1995), 动物研究 (Lee & Reddish, 1981; Wagner, 1982; Davies & Green, 1990; Shankar & Ellard, 2000)以及婴儿研究(Kayed & van der Meer, 2000)中都找到支持的证据。

当然 τ 理论也遇到反对意见, Tresilian (1999)分析了以往的研究结果,认为 τ 假设是错的,估计碰撞时间所利用的信息与任务情景有关,有多种来源(τ 仅是其中之一)。其他研究证据也支持这个观点(Kim & Grocki, 2006; Bastin & Montagne, 2005)。其它因素如物体大小,深度知觉等也会影响到接触时间估计(Smith, Flach, Ddittman, & Stanard, 2001; DeLucia, 1991; DeLucia & Warren, 1994; DeLucia, Kaiser, Bush, Meyer, & Sweet, 2003; Delucia, 2004)。

另外一些研究者则认为拦截或者减速运动的

启动不需要估计接触时间,而是在离目标一定距离时进行。Law 等人(1993)的实验表明,对接触时间的判断主要依赖相对距离信息。Wann(1996)对以前支持 τ 假设的实验做了重新审视,认为很多实验结果可用另外一个变量 ζ (相对距离的比值)来解释。Port, Lee, Dassonville 和 Georgopoulos (1997)的研究中,一部分被试在距离达到一定阈限值时启动拦截,而另一些被试在 τ 达到一定阈限值时启动拦截。Andersen 和 Kim (2001)在实验中加入两种干扰:扩张信息干扰和位置干扰,结果发现当两种干扰都存在时绩效更差。由此可以看出,拦截运动的启动可能依据距离或者位置等空间信息。

从以上结果看,可能影响拦截运动接触时间估计的信息很多,但是多数研究者也承认 τ 信息的作用,只是认为不是起唯一作用(Tresilian, 1999; Kim & Grocki, 2006; Bastin & Montagne, 2005)。因此,可以推测,距离信息或者 τ 信息可能在不同任务和不同情境下被利用。

近年来,人们开始思考以往不同类型的拦截运动研究, Zago, McIntyre, Senot 和 Lacquaniti (2009)认为以往的研究方法迥异,背后体现了构造主义和生态心理学的不同思想。构造主义思想考察以往经验,反应滞后等作用,认为需要在脑中构建内部运动模型,而生态心理学则重视视觉变量的利用,如接触时间的估计。Tresilian (2005)针对拦截运动研究的复杂性,认为不同任务导致不同的拦截,他将已有的拦截模型归于两类,一种为前计划控制模型(Preprogrammed control models),认为拦截快速物体时启动后不需要利用目标的运动信息,而直接按照计划的运动时间进行拦截,有人(Merchant, Zarco, Prado, & Oswaldo Pe'rez, 2009)称之为预测模型(Predictive model);另一种为持续控制模型(Continuous perceptuomotor control model),拦截启动后人不断调整自己的运动,常见于追踪拦截运动物体等,也被称为反应模型(Merchant et al., 2009)。以往伸手拦截运动的研究多数符合前计划控制模型的情况,一般要求看到物体要迅速击中,研究拦截中手的运动受到何种因素影响。这里可能存在的一个问题是,拦截者没有充分的时间进行计划,因此之前的经验就可能在下一轮的拦截中利用。证据之一就是 de Lussanet, Smeets 和 Brenner (2001)的研究表明人们击中目标的方式依赖于先前目标的速度。但是这也可能是视觉信息不足导致,而不是人在拦截中的固定模式。目前研究者们开始关心快速

启动拦截至少所需时间问题(Marinovic, Plooy, & Tresilian, 2008; 2009)。

事实上, 现实中我们遇到更多的情况是有较多时间可以判断物体的运动方向和速度, 然后自身决定在适当时间启动拦截。对于这类拦截运动, 以往研究并不多。Tresilian (2005)认为, 击中任务中信息表征主要涉及两个方面: 多久击中(how long to take to get there)和往哪运动(when to go)。前一个问题涉及到接触时间估计问题, 以往研究中, 多数利用虚拟现实等考察人刹车的启动来考察接触时间估计的情况。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), 还有人(唐日新, 张智君, 刘玉丽, 赵亚军, 2010)考察了在固定手的拦截路线的情况下发现时间和空间信息可能都起作用。自由启动的情境与以往研究存在差异, 拦截点(即为击中目标时的位置)不确定, 启动的时刻自由控制, 人们在自由启动时可能在运动物体距离拦截点一定接触时间内启动, 也可能在运动物体到达某个位置时启动。另外, 由于拦截点不是固定的, 人们在拦截中可能先计划未来拦截点, 然后估计运动物体与拦截点的距离或者接触时间等进行拦截, 或者根据物体运动速度等信息改变拦截点的位置, 因此在这种情景下拦截利用何种信息值得我们进一步考察, 不同的拦截策略下可能信息利用的方式也不同。后一个问题则与拦截启动有关, 直线拦截中, 拦截点与手的启动方向有关, 那么启动方向是否受到物体运动速度, 物体大小等影响呢? 是否存在固定的拦截策略呢?

拦截策略的选择也受到拦截启动的影响, 在拦截不同速度的物体时启动的早或者晚会影响随后的运动时间。从速度伴随效应来看, 人们在拦截快速运动物体时运动更快, 如果这一现象也存在于自由伸手拦截中, 那么人们如何更快拦截运动物体呢? 一种策略可以通过减小拦截的路径, 即尽量垂直于物体运动的路线减小运动距离, 从而快速拦截物体。另一种策略就是拦截快速或者慢速物体时拦截路径不变, 但是速度加快。当然也可能既增大速度, 又减少运动距离。在不同策略下, 手的运动参数也大大不同, 通过对启动参数的分析可以进一步考察拦截启动的规律。如果速度伴随效应不存在, 那么手的拦截又存在什么样的模式呢? 这也是我们关心的内容。

综上所述, 本实验希望考察在自由拦截启动中的信息利用情况, 验证速度伴随效应在自由拦截启动是否存在。另外, 在自由启动情境下, 人的拦截策略也是我们研究的内容, 即在不同的实验条件下人采用固定的启动模式, 还是随物体速度改变相应改变拦截启动的方向和加速度等。从以往研究来看, 对接触时间估计的研究一般有固定的拦截点, 我们在实验设计中采用直线拦截, 一方面简化拦截过程, 排除其他因素影响, 另一方面通过对拦截启动的研究也可以分析人对拦截点的计划, 利用伸手启动拦截的时间等指标考察人根据何种信息启动拦截。手的启动运动参数也通过仪器进行收集, 对人的拦截启动的策略进行分析。此外, 物体大小可能对接触时间估计产生影响(Smith et al., 2001), 由于不确定其是否会对手的运动参数产生影响, 我们也对此进行研究。

2 实验方法

由于每个人都有自身运动特点, 因此实验采用 3×2 的完全被试内设计。自变量为物体速度(慢速、中速、快速)和物体大小(大、小)。其中, 物体速度和物体大小的具体界定在实验材料中详细叙述。因变量为手启动时物体所在的位置(启动点位置)、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)、手启动的加速度和角度。

2.1 被试

15 名大学生(7 名男性, 8 名女性)作为志愿者参加该实验, 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, 实验后获得报酬。

2.2 实验材料

实验刺激使用程序在电脑上呈现, 利用 Borland C++ 与 Optotrak 系统混合编程。运动物体为红色球, 小球自左向右运动, 分小球(直径约为 1cm, 视角约为 0.025 弧度)和大球(直径约为 1.8cm, 视角约为 0.045 弧度)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。

2.3 实验仪器和装置

实验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 1 为实验情景图), 两套 Optotrak3020

运动捕获系统摄像头(图 2)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。Optotrak 3020 测量的 RMS 精度为 0.2mm,采样频率为 200Hz。图 3 为实验装置图。

2.4 任务和程序

实验采用 3×2 完全被试内设计,每种情境重复 10 次,共 3×2×10=60 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,起始位置在一定范围内随机。被试认为时机适当时,启动手的拦截运动,并沿直线尽可能快地击中目标中心。规定只有当小球到达被试矢状面右侧后才能启动拦截。记录手启动时小球离拦截点的距离(启动距离)、手最初的加速度及其运动角度。程序判断手与小球是否相遇,如果相遇则显示“击中”,否则显示“错过”。间隔 4 秒后,进入下一个 trial。实验前先进行练习,在准确率达到 50%并且连续三次以上击中后开始正式实验。



图 1 拦截实验情景图



图 2 Optotrak 运动捕获系统摄像头

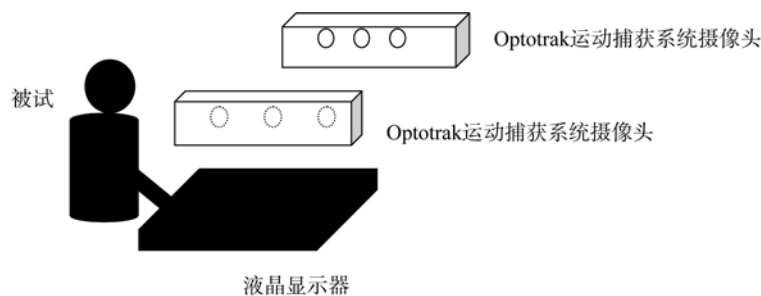


图 3 拦截实验装置图

3 结果与分析

被试人数为 15 人,3 名被试数据被剔除,实验结果只对 12 名被试的数据进行分析。剔除的标准为如果被试反应时过长,或者由于拦截过慢,启动角度过大等原因未在物体运动出屏幕前击中屏幕,则判断为不合格数据,不计入结果。当有两个以上 trial 的不合格数据超过 2 次时,该被试的实验数据废弃。因此收集手启动时的加速度和角度,以及启动时物体所在位置、启动距离(启动时物体位置与击中时物体所在的位置之间的距离)等数据,进行 SPSS 统计,对每个指标进行重复测量方差分析。

3.1 物体大小和运动速度对启动点位置的影响

先对启动时小球所在位置进行比较。图 4 表示的是 6 种不同情景下启动点位置的平均值和标准差(手启动时小球离电脑屏幕左边缘的距离,单位为

像素)。为表述方便,将慢速运动的较小物体简称为“慢小”,而将快速运动的较大物体简称为“快大”,其他类推。

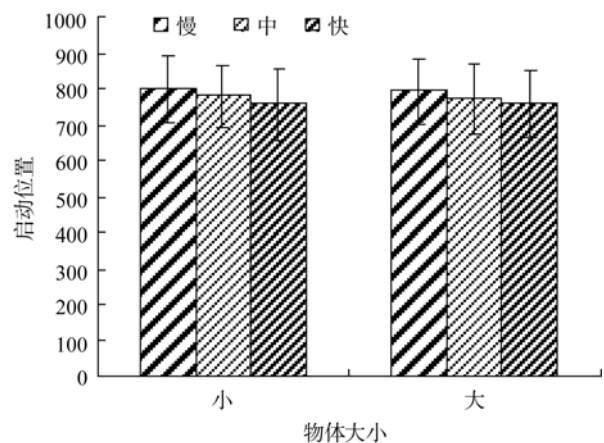


图 4 不同物体大小和运动速度下的平均启动位置和标准差(单位:像素)

对数据进行重复测量方差分析, 如果不符合球形检验则采用 Greenhouse-Geisser 矫正值, 后面数据同样处理。结果发现, 运动速度对启动点位置的影响显著, $F(2,22) = 16.49, p < 0.001$, 两两比较均有显著差异, 其中慢速与中速 $p = 0.01$, 中速与快速 $p = 0.007$, 慢速与快速 $p < 0.001$, 即速度越大, 启动越早。物体大小对启动点位置影响不显著, $F(1,11) = 0.52, p = 0.49$ 。运动速度和物体大小的交互作用也不显著, $F(2,22) = 0.38, p = 0.69$ 。

3.2 物体大小和运动速度对启动距离的影响

计算手启动时小球所在位置与最终拦截点之间的距离, 作为启动距离。图 5 表示的是 6 种不同情景下的平均启动距离和标准差, 单位为像素。

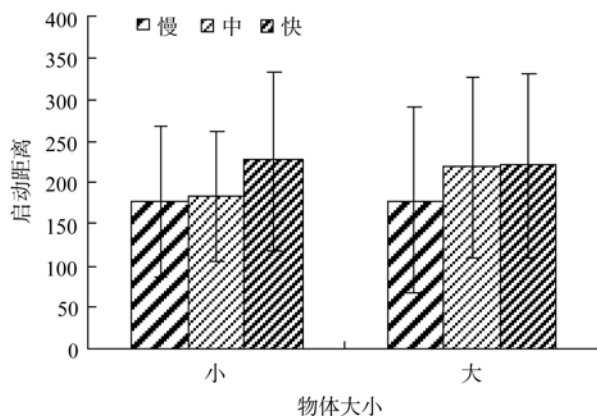


图 5 不同物体大小和运动速度下的平均启动距离和标准差(单位: 像素)

对数据进行重复测量分析。物体运动速度对启动距离的影响显著, $F(2,22) = 3.91, p = 0.035$, 速度越大启动距离越大。两两比较, 慢速与快速的差异显著, $p = 0.017$, 慢速与中速的差异不显著 $p = 0.16$, 中速与快速的差异也不显著 $p = 0.218$ 。物体大小对启动距离影响不显著, $F(1,11) = 1.00, p = 0.34$ 。运动速度和物体大小的交互作用也不显著, $F(2,22) = 1.48, p = 0.249$ 。

3.3 物体大小和运动速度对接触时间的影响

计算启动时小球到达最终拦截点的接触时间, 即为手启动到拦截小球的时间。通过启动距离(单位为像素)除以小球相对速度获得。图 6 表示的是 6 种不同情景下接触时间的平均数和标准差。由于未进行单位换算, 表中接触时间的单位为相对值。

对数据进行重复测量分析。运动速度对接触时间的影响显著, $F(2,22) = 10.69, p = 0.001$, 两两比较都有显著差异, 慢速与中速为 $p = 0.022$, 中速与

快速为 $p = 0.04$, 慢速与快速为 $p = 0.002$, 即速度越大, 接触时间越短。物体大小对接触时间的影响不显著, $F(1,11) = 0.87, p = 0.371$ 。运动速度和物体大小的交互作用也不显著, $F(2,22) = 0.96, p = 0.399$ 。

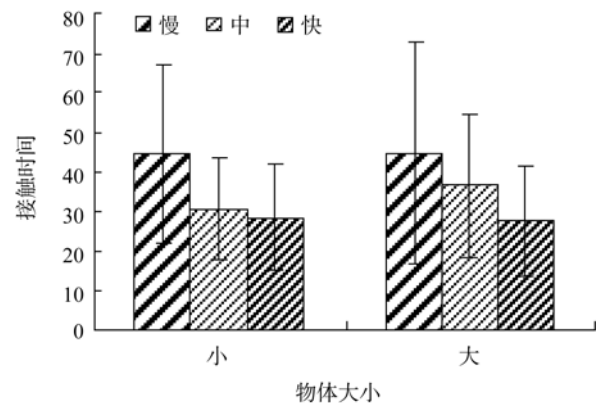


图 6 不同物体大小和运动速度下的平均接触时间和标准差(单位为相对值)

3.4 物体大小和运动速度对手启动角度的影响

对手的最初启动角度进行分析, 为偏离被试矢状面的角度, 通过计算被试启动后手指偏离起点位置的正切值获得。图 7 表示的是 6 种不同情景最初运动角度的平均值和标准差, 单位为角度的正切值。其中, 总的平均角度正切值大约为 0.56, 对应的角度大约为 29.2° 。

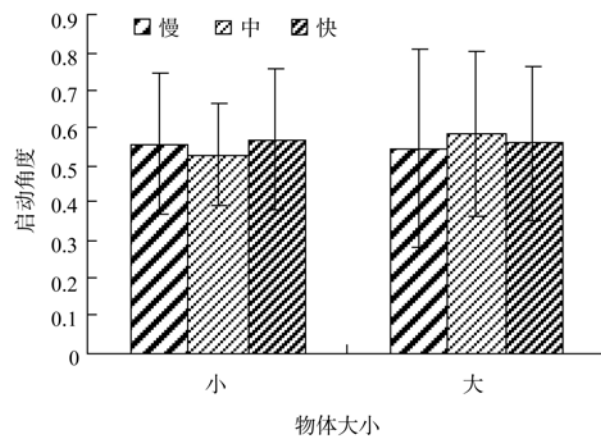


图 7 不同物体大小和运动速度下的平均启动角度和标准差(角度的正切值)

对数据进行重复测量方差分析。运动速度对启动角度的影响不显著, $F(2,22) = 0.09, p = 0.912$ 。物体大小对手的启动角度的影响不显著, $F(1,11) = 0.24, p = 0.636$ 。运动速度和物体大小的交互作用也

不显著, $F(2,22) = 0.89, p = 0.427$ 。

3.5 物体大小和运动速度对手的最初加速度的影响

对手的最初加速度进行分析, 具体平均值和标准差见图 8。加速度为相对值(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)。

对运动数据进行重复测量方差分析。物体速度对手的启动加速度的影响不显著, $F(2,22) = 1.19, p = 0.324$ 。物体大小对启动加速度的影响不显著, $F(1,11) = 0.39, p = 0.543$ 。运动速度和物体大小的交互作用也不显著, $F(2,22) = 0.92, p = 0.413$ 。

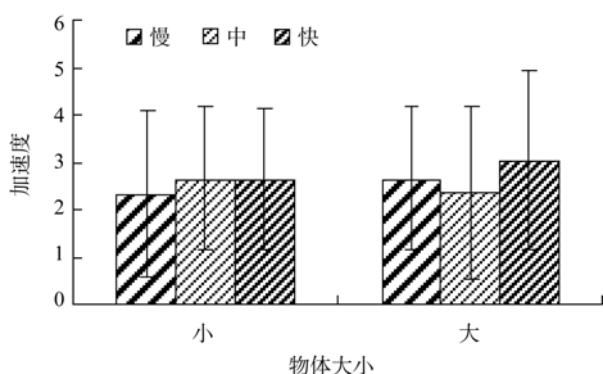


图 8 不同物体大小和运动速度下的平均最初加速度和标准差(单位: 相对值)

4 讨论

从实验结果来看, 运动物体的速度对启动点的位置, 启动距离和接触时间均有显著的影响, 而对手的启动角度和启动加速度影响不显著。物体大小对各个指标影响均不显著。下面将对实验结果进行详细的讨论。

4.1 拦截点预期

从结果上看, 物体运动速度对启动点(手启动时小球的位置)影响显著, 对启动距离(手启动时小球位置与拦截时小球位置的距离)影响显著, 对手的启动角度影响却不显著。从数据上看, 不同速度的启动角度正切值非常相近, 大概在 0.56 左右。由于小球到启动点的垂直距离是固定的, 因此在近似直线运动情景下手的拦截点是相对固定的, 结果与 Brenner 和 Smeets (1996) 的研究一致, 只是本实验中被试的启动时间自由。也就是说, 人在自由启动对物体进行拦截时, 无论物体运动速度如何, 人倾向于在相对固定的区域进行拦截, 而不是随着物体速度的变化而改变, 而物体不同运动速度下启动

点位置是变化的, 即人并不是看到物体运动到某个固定位置而启动拦截, 而是尽量在固定位置击中。在固定路线的拦截中(唐日新等, 2010)人的拦截区域则存在显著差异。也就是说, 在自由拦截中人们倾向于固定拦截区域, 原因可能是同时估计两个变化的点(物体和拦截点)不如估计一个变化(物体)更准确。但是为什么被试不固定启动区域, 改变拦截区域呢, 即当物体运动到某个位置启动拦截, 而随着速度的不同改变拦截点, 这可能还涉及到拦截策略问题, 在后面我们将详细探讨。

4.2 信息利用与速度伴随效应

根据实验结果, 物体不同速度下手的启动距离和启动时的接触时间均有显著差异, 表明人的拦截既不是在接触时间达到一定值时启动, 也不是在启动距离达到一定值时启动。结果不支持单独利用 τ 假设(Lee, 1976)或者距离假设(Law et al., 1999; Port et al., 1997)来解释人的拦截启动。从结果中看, 对于快速物体, 手的启动将偏晚, 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, 出现了速度伴随效应。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, 对慢速运动物体有高估的倾向。唐日新等(2010)的研究采用了固定拦截路线的方式, 也发现在物体慢速下启动偏早而在快速下启动偏晚, 作者提出这可能与信息的综合利用有关, 即综合利用了距离信息和接触时间信息, 可能存在一个容易启动的区域, 离这个区域越近, 越容易启动, 导致手的拦截并不是完全根据接触时间来进行启动。本实验中拦截路线是不固定的, 仍然出现了类似的结果, 可能原因与之相同。不同的是, 唐日新等(2010)的实验中击中区域是由于拦截路线的固定而固定的, 本实验是被试自主采用了固定拦截区域的策略。

启动距离随物体速度的增大而变大, 但是接触时间(从手启动到拦截的时间)变短, 出现了速度伴随效应。与前人的解释不同, 本实验着眼于拦截快速物体和慢速物体启动的早晚不同而导致这种效应的发生, 尽管被试都被要求快速拦截物体。如前所述, 启动拦截的时间不同是由于综合利用了接触时间和距离信息导致。

此外, 物体大小对于各项指标均无显著影响, 这与以往研究(Smith et al., 2001)结果不同, 可能由于本实验的情境为伸手拦截, 与刹车等情境不同导致的。与 Brower 等(2005)的结果也不同, 可能与速

度估计时间较长, 计划较充分有关。

4.3 拦截策略与启动模式

自由拦截与固定拦截路线是不同的, 被试可以调整启动的加速度, 启动的方向或者启动的时间, 不同的组合都可以达到成功拦截。我们可以通过数据来看是否存在规律性, 即对于拦截不同速度的问题, 人到底采用何种拦截策略呢?

物体对启动点影响显著, 对启动距离影响显著, 而对手的启动角度和启动加速度影响不显著。从生态心理学的角度看, 不同速度的差异是很大的, 因此人拦截时根据速度进行相应的调整, 变量应该是存在显著差异的。如果有些变量比较稳定, 则表明人的运动存在倾向性, 即有些运动指标在不同速度下是基本保持一致的。从结果看, 人通过调整启动点和启动距离来适应拦截不同运动速度物体的要求, 即速度增大时启动更早, 启动点位置离拦截区域远, 启动距离更大, 而速度慢时启动点离拦截区域近, 启动距离较小。物体运动速度对启动角度无显著影响, 运动启动角度可能存在理想值。从结果上看大约为 29.2° 。这一角度与物体运动属性无关。另外, 启动加速度也没有显著差异, 而在固定拦截角度时, 不同角度下启动加速度存在显著差异(唐日新等, 2010)。这说明人的自由拦截运动存在惰性或者说有某种理想拦截模式, 当运动物体速度不同或者大小不同时, 拦截启动加速度和角度基本稳定。

为什么会出现这个结果呢, 由于之前研究很少由被试自由控制伸手拦截启动的时间, 因此只能进行初步的探索。可能的原因之一是当启动越接近垂直于物体运动方向时, 拦截的路程越短, 但是运动时间也越短, 这就意味着需要较快的加速和减速, 消耗更多的能量。反之当启动方向越平行于物体运动方向时, 拦截速度越小, 但是运动路程越长, 这仍然需要消耗较大的能量, 因此需要有中间状态的权衡, 启动角度缩小到一定范围内摆动。那么, 是否达到实验的启动角度平均值 29.2° 消耗的能量就最小, 拦截模式达到最优呢? 这需要进一步分析。

另外一种可能是, 拦截的区域相对固定, 由于启动时间由被试控制, 也就是说被试主动把拦截点控制在一定范围内, 而不是通过不断改变启动角度, 扩大拦截范围进行拦截。尽管手臂运动范围很大, 运动包络面较广, 但是手臂的运动存在运动舒适范围, 因此把拦截控制在这个范围内可能由于手臂的运动最舒适, 或者手臂运动最灵活, 拦截的成功率

最高。

此外, 将启动角度和启动加速度固定可能有便于控制的好处, 人在拦截中面对不同速度和不同大小的物体进行拦截, 如果频繁改变启动角度, 则需要不断调整手的运动加速度, 不利于控制, 练习效果也不好。而在固定启动角度和加速度的情况下, 拦截中只需要调节手运动的速度即可, 这样的控制方式比较经济。

5 结论

本实验获得如下结果:

(1) 自由拦截时人的拦截区域相对固定, 在物体快速运动情景下启动偏晚, 接触时间短, 而在慢速下启动偏早, 接触时间长。存在速度伴随效应, 可能启动综合利用了接触时间和距离信息。

(2) 在自由拦截时, 人的启动通过调整启动点和启动距离来适应不同速度的变化, 有相对稳定的角度和加速度, 并不受物体运动速度和物体大小的影响。

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.
- Brenner, E., & Smeets, J. B. J. (1996). Hitting moving targets: co-operative control of “when” and “where”. *Human movement science*, 15(1), 39–53.
- Brouwer, A. M., Brenner, E., & Smeets J. B. J. (2002). Hitting moving objects: is target speed used in guiding the hand? *Experimental Brain Research*, 143(2), 198–211.
- Brouwer, A. M., Smeets, J. B. J., & Brenner, E. (2005). Hitting moving objects: effects of target speed and dimension on movement time. *Experimental Brain Research*, 165(1), 28–36.
- Carnahan, H., & McFadyen, B. J. (1996). Visuomotor control when reaching toward and grasping moving targets. *Acta Psychologica*, 92(1), 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(3), 142–144.
- de Lussanet, M. H. E., Smeets, J. B. J., & Brenner, E. (2001). The effect of expectations on hitting moving targets: influence of the preceding target's speed. *Experimental Brain Research*, 137(2), 246–248.
- 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.
- 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.
- Marinovic, A., Plooy, A., & Tresilian, J. R. (2008). The time course of amplitude specification in brief interceptive actions. *Experimental Brain Research*, 188(2), 275–288.
- Marinovic, A., Plooy, A., & Tresilian, J. R. (2009). Preparation and inhibition of interceptive actions. *Experimental Brain Research*, 197(4), 311–319.
- Mason, A. H., & Carnahan, H. (1999). Target viewing time and velocity effects on prehension. *Experimental Brain Research*, 127(1), 83–94.
- Merchant, H., Zarco, W., Prado, L., & Pérez, O. (2009). Behavioral and neurophysiological aspects of target interception. *Advances in experimental medicine and biology*, 629(2), 201–220.
- Michaels, C. F., & Carello, C. (Eds) (1981). *Direct perception*. New jersey: Prentice Hall.
- 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, 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.
- 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(3), 406–420.
- 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(1), 21–37.
- Smith, M. R. H., Flach, M. J., Ddittman, S. M., & Stanard, T. (2001). Monocular optical constraints on collision control. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 27, 395–410.
- Tang, R. X., Zhang, Z. J., Liu, Y. L., & Zhao, Y. J. (2010). What kinds of information are used in the onset of interception with hand ? *Acta Psychologica Sinica*, 42, 507–517.
- [唐日新, 张智君, 刘玉丽, 赵亚军. (2010). 伸手拦截启动中的信息利用. *心理学报*, 42, 507–517.]
- Tresilian, J. R. (1999). Visually timed action: time-out for ‘ τ ’? *Trends in Cognitive Sciences*, 3(8), 301–310.
- Tresilian, J. R. (2005). Hitting a moving target: Perception and action in the timing of rapid interceptions. *Perception & Psychophysics*, 67(1), 129–149.
- Tresilian, J. R., & Lonergan, A. (2002). Intercepting a moving target: effects of temporal precision constraints and movement amplitude. *Experimental Brain Research*, 142(2), 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(1), 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.
- Zago, M., McIntyre, J., Senot, P., & Lacquaniti, F. (2009). Visuo-motor coordination and internal models for object interception. *Experimental Brain Research*, 192(4), 571–604.

The Role of Information and Movement Pattern in the Onset of Free Hand Interception

TANG Ri-Xin^{1,2}; ZHANG Zhi-Jun²; LIU Yu-Li²

(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

Interception is a specialized sequence of visual guided actions that occurs when human hands or other body parts initiate an approach to opposing moving target and finally catch them at a certain spatial location. When humans can decide the interception direction of the hand and the time of the startup, what kinds of information do they use to start the interception? It is difficult to estimate time-to-collision (TTC) because the interception zone is not certain. The first aim of the present study was to investigate the role of temporal information and spatial information in hand interceptions of a moving target. In addition, the speed coupling effect has been explained by different and inconsistent theories. The second aim of this study was to examine whether or not this phenomenon existed in free interception and whether or not there was any particular identifiable movement pattern in the interception.

Fifteen undergraduate students participated in the experiment. All of them had normal vision or vision correction to normal. The experiment's program was run on a Dell computer using Borland C++ Builder. Subjects were asked to hit the moving ball using their index fingers along linear. 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 position of target ball (startup point) when the hand started to move and the distance between the startup point and the interception point when the finger hit the ball. 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 if the target ball moved more quickly, and it was longer when the target ran more slowly. (2) The startup direction and acceleration of the hand were not affected significantly by the velocity of the target ball. The results did identify a specific movement pattern in the startup of interception.

The conclusions are directed by the study: There is fixed area in interception. It appears that tau and distance may both be used in startup. The speed coupling effect is related to the error of the estimate. The direction and acceleration are stable when subjects start intercepting.

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