

奖励影响注意选择的认知加工机制^{*}

范玲霞¹ 齐森青² 郭仁露³ 黄 博¹ 杨 东¹

(¹ 西南大学心理学院, 重庆 400715)

(² 陕西师范大学现代教学技术教育部重点实验室、教师专业能力发展中心, 西安 710062)

(³ 温州大学心理与行为研究所, 温州 325035)

摘 要 奖励不仅能够塑造行为, 也能影响个体的内部心理过程。在注意选择过程中, 与奖励联结的刺激能够吸引注意资源。当目标刺激与奖励联结时, 能够易化注意选择过程; 当分心刺激与奖励联结时, 能够阻碍注意选择过程。可见, 奖励从不同角度对注意选择产生影响。奖励对注意选择的影响可能有其特有的认知机制, 并且奖励对注意的捕获效应受到许多因素的调节, 如奖励预测、工作记忆容量、人格特质及刺激的新异性。未来的研究应该尝试将奖励影响注意选择的研究成果应用于不良注意偏向临床干预的实践领域。

关键词 奖励; 注意选择; 注意捕获; 奖励驱动

分类号 B842

1 引言

环境中数以万计复杂的刺激信息, 而个体加工外在信息的认知资源是有限的。为了解决这种矛盾, 注意系统运用有限的资源选择部分信息进行更深层次的认知加工。注意选择主要通过任务相关信息的增强以及对任务无关信息的抑制而高效完成的。注意选择的内容对个体至关重要, 如果注意能快速定向环境中有价值的信息, 个体就更可能获益; 如果注意能快速定向环境中的危险刺激, 个体就更可能有足够的时间对威胁刺激做出反应, 从而避免受到伤害。由此可见, 注意系统对某个刺激的优先选择除了取决于任务要求外, 可能也和个体趋利避害的本能倾向紧密相关 (Anderson, Laurent, & Yantis, 2011a)。

目前研究者普遍认同的两种注意选择加工的机制有: 自上而下的概念驱动的关注选择; 自下而上的刺激驱动的关注捕获 (Buschman & Miller, 2007; Connor, Egeth & Yantis, 2004)。当饥饿的时

候, 我们搜寻食物, 渴的时候, 我们搜索水源, 我们会根据当前需求或任务要求的不同而有意识地去选择相关刺激同时忽略无关刺激, 这就是自上而下的目标驱动的关注选择 (Anderson, 2013; Lien, Ruthruff, & Johnston, 2010), 这种有意识的注意选择能够有效减少无关刺激物的干扰 (Wolfe, Butcher, Lee, & Hyle, 2003)。而自下而上的刺激驱动的关注捕获是指新异性突显刺激会自动的吸引个体的注意, 得到注意的优先加工。新异性刺激对个体可能意味着危险或机会, 如果注意快速朝向这些刺激就有可能使个体及时逃避危险或获得利益, 因此, 这些刺激即使与任务无关甚至会干扰行为表现, 也会自动的获取注意资源, 得到进一步的认知加工。大量研究表明新异性分心物与目标同时出现在搜索集中时, 对目标刺激的搜索效率会显著降低 (Itti & Koch, 2000; Anderson, 2013)。虽然这两种注意选择理论得到了普遍认同和广泛关注, 然而, 随着对注意领域研究的深入, 研究者逐渐发现这两种理论并不能解释所有的注意现象 (Hutchinson & Turk-Browne, 2012), 例如, 最近被越来越多研究者关注的金钱奖励对注意选择的引导, 可能就不能简单用自上而下或自下而上的注意理论来解释。

从桑代克的效果率到斯金纳的强化理论, 我

收稿日期: 2013-11-22

^{*} 教育部人文社会科学研究一般项目 (11XJC190003); 中央高校基本科研业务费专项资金重点项目 (SWU1209317)。

通讯作者: 杨东, E-mail: yangd@swu.edu.cn

们都可以看到奖励在塑造行为方面的巨大力量。然而,奖励不仅能够改变行为,近年来越来越多的研究发现金钱奖励也能够影响个体的内部心理过程(Della Libera & Chelazzi, 2006),例如,在注意选择过程中,与金钱奖励相关的刺激,即使与任务无关,在注意加工中也会处于优势地位(Anderson et al., 2011a; Anderson, Laurent, & Yantis, 2011b; Hickey, Chelazzi, & Theeuwes, 2010a; Della Libera & Chelazzi, 2006)。在选择性注意的过程中,当目标刺激与金钱奖励联结时,能够易化注意选择过程,促使个体将注意更快的分配到与奖励相联结的目标刺激上(Hickey, Chelazzi, & Theeuwes, 2010b, 2010c; Krebs, Boehler, Egner, & Woldorff, 2011)。然而,奖励联结不总是产生易化效应,当金钱奖励和任务无关的分心物或者其特征相联结时,会对目标选择过程产生阻碍效应(Hickey et al., 2010a, 2010b; Kiss, Driver, & Eimer, 2009; Kristjansson, Sigurjonsdottir, & Driver, 2010)。由此可见,奖励从不同的角度影响了注意选择过程,当奖励与目标刺激联结时,奖励可能通过影响自上而下的目标驱动的注意机制而易化注意的选择;当奖励与分心刺激联结时,可能通过影响自下而上的刺激驱动的注意机制而阻碍目标的选择。

奖励对注意选择影响的多样性意味着其认知加工机制的复杂性。动机突显性理论(Berridge & Robinson, 1998)认为和奖励相关的中脑多巴胺系统增强了与奖励联结刺激的知觉表征突显性,提高了个体选择该刺激的动机,从而,个体有意识的增加了选择该刺激的概率,进而影响了注意选择过程。该观点认为奖励对注意选择的影响是通过自上而下的目标驱动的注意机制而起作用的。而有的研究者认为奖励和刺激的联结,增加了刺激的突显性从而使该刺激自动的捕获了注意,该观点认为奖励对注意选择的作用是通过自下而上的注意加工机制而起作用的(Anderson et al., 2011b)。也有研究认为奖励对注意的引导不依赖于自上而下或自下而上的注意加工,它有独立的加工机制(Awh, Belopolsky, & Theeuwes, 2012; Hickey et al., 2010a, 2010b),目前对此加工机制的探讨还没有定论。本文将从两个角度综述奖励对注意选择过程的影响,同时,对奖励影响注意选择的认知机制及影响因素进行深入探讨。

2 奖励对注意选择的影响及其加工机制

2.1 奖励易化注意选择

2.1.1 奖励反馈易化注意选择

奖励对个体的适应性至关重要,因为奖励意味着对个体行为的积极肯定,这会增加机体适应环境的可能性。我们都知道如果一个行为发生总是伴随着奖励,个体就会倾向于做出类似的行为(Camara, Manohar, & Husain, 2013; Noonan, Mars, & Rushworth, 2011)。近年来,有研究发现如果对某个目标的选择经常伴随奖励,个体会倾向于选择该目标刺激。例如 Hickey 等人(2010a)在其研究中,首先要求被试在呈现的刺激中搜索一个与众多分心物形状不同的刺激,形状相同的分心物中有一个分心物的颜色与其他分心物不同,称为新异性分心物,被试对目标做出反应之后将得到大小不等的奖励反馈,奖励反馈之后仍然是一个类似的视觉搜索任务,也存在目标和新异性分心物,只是该试次中呈现的目标颜色和新异性分心物的颜色可能与上一试次中的目标颜色和新异分心物颜色一致(一致条件),也可能相反(即该试次中目标颜色和上一试次中新异性分心物的颜色一致,而新异性分心物的颜色和上一试次中目标颜色一致,即翻转条件),通过分析发现:一致条件下,高奖励反馈之后的试次中,被试对目标选择的速度更快,效率更高,而且即使被试清楚的知道将注意导向高奖励反馈的目标刺激会不利于行为表现,这种易化效应仍然十分明显;而低奖励反馈的试次中,前后试次的目标颜色和分心物颜色一致时,并没有明显的促进目标选择,这说明了实验中观察到的易化效应并不是简单的启动效应引起的,而确实是因为奖励反馈起了作用。随后的脑电研究发现,高奖励反馈下,前后试次目标颜色和分心物颜色一致的情况下,目标刺激对侧的 P1 波幅增大, N2pc 波幅也增大,反映了对目标刺激的知觉加工增强,注意分配更多;前后试次目标颜色和分心物颜色翻转的情况下,新异性分心物对侧的 P1 波幅增大, N2pc 波幅增大,反映了对新异性分心物的知觉加工增强,注意分配更多。N2pc 是一种与空间选择性注意密切相关的脑电成分,反映了注意的空间分配, N2pc 波幅越大,说明分配的注意就越多(姚树霞, 杨东, 齐森青, 雷燕, Cody Ding, 2012; Eimer, 1996)。P1 和 N2pc 波幅

的增大都说明了高奖励反馈的目标刺激特征再次作为目标出现时, 对该目标刺激的知觉加工增强, 易化了对目标的注意选择(Hickey et al., 2010a, 2010b)。

奖励反馈对注意选择有易化效应, 但并不确定该易化效应的出现是因为奖励启动了目标使得目标具有注意优势, 从而使得目标的选择效率更高, 还是奖励抑制了分心物使得分心物更难被选择, 从而促进了对目标的选择。为了探明这一问题, Hickey 等人(2010c)在上述实验范式的基础上做了改进, 为了验证奖励对目标的启动效应, 使新异性分心物的颜色保持不变, 目标和其他分心物的颜色是红色或绿色随机呈现, 每个试次之后都有大小不同的奖励反馈, 在此种条件下, 出现了非常明显的高奖励易化效应, 即得到高奖励反馈的颜色再次作为目标特征出现时, 对目标的选择明显加快; 为了验证奖励对分心物的抑制作用, 使目标和其他分心物的颜色保持不变, 新异性分心物的颜色是红色或绿色随机呈现, 此种条件下, 并没有发现被试对高奖励反馈下新异性分心物颜色的抑制效应。因此, 他们认为奖励反馈对注意选择的作用是分离的, 能够促进目标的加工但不能抑制分心物的加工。

以上的行为和脑电数据都表明, 奖励反馈不仅能塑造行为, 也能影响个体的内部心理过程, 如选择性注意, 当个体选择某个目标后出现了高奖励反馈, 可能激发了个体更快的选择该目标的动机, 那么当该目标刺激再次出现时, 为了尽可能多的获得奖励, 个体就会倾向于又快又准选择该目标刺激。目标刺激的奖励反馈对个体注意选择过程的易化说明了奖励相关刺激能够吸引注意资源。

2.1.2 奖励训练易化注意选择

先前的奖励反馈任务范式中, 个体的选择性注意行为受到即时奖励反馈的影响, 而 Della Libera 和 Chelazzi (2009)发展出奖励训练任务范式。在训练阶段, 被试对目标刺激做出正确反应之后会得到不同程度的奖励反馈(高奖励 0.10、低奖励 0.01), 告诉被试奖励反馈是根据行为表现给予的, 但实际上某种刺激对应某种奖励是由主试事先安排好的。对其中一种目标刺激, 正确反应之后有 80% 的高奖励、20% 的低奖励, 称为高奖励联结刺激; 对另一种刺激, 正确反应之后则有

20% 的高奖励、80% 的低奖励, 称为低奖励联结刺激。在测试阶段, 去掉奖励反馈观察个体的选择性行为是否会受先前奖励学习的影响。关键在于, 在测试阶段, 被试的注意选择与奖励无关, 因为被试被明确告知奖励已经被撤销。Raymond 和 O'Brien (2009)通过此范式以面孔为材料对被试进行训练, 测试阶段是一个新旧面孔辨别的注意瞬脱任务, 发现即使在注意资源贫乏的情况下, 对高奖励面孔的辨别效率也更高, 说明了奖励训练使刺激更具有竞争性, 更能吸引注意资源, 从而促进了个体对该刺激的加工。随后, Braem, Verguts, Roggeman 和 Notebaert (2012)的研究发现, 奖励试次之后的冲突适应效应更强烈, 这说明奖励训练能够调节冲突适应效应, 影响认知控制。

此外, 姚树霞等人(2013)在 Libera 等人的研究基础上, 探究愤怒面孔优势效应是否可以通过奖励联结而改变。研究中将愤怒面孔和低奖励建立联结, 将高兴面孔和高奖励建立联结, 在测试阶段去掉奖励之后发现愤怒面孔优势效应消失了, 也就是说经过奖励训练之后, 被试对高兴面孔的反应加快, 对愤怒面孔的反应变慢, 这种调节效应也反映在了 N2pc 波幅上, 和低奖励联结的愤怒面孔引发的 N2pc 波幅相比中性条件变小。

以上研究证据表明, 刺激和奖励经过多次联结训练之后, 更容易吸引注意资源, 从而被注意优先选择。

2.1.3 奖励预期易化注意选择

上面介绍的奖励反馈和奖励训练, 呈现的奖励都是真实的金钱奖励数额, 而 Kiss 等人(2009)的研究中, 呈献给被试的是积分点, 并告诉被试积分点可以换取奖金, 这样被试得到的反馈只是预期的奖励, 他们的研究发现刺激选择之后的预期奖励水平也会影响被试的注意选择过程, 这在行为与神经层面都有所体现: 相比于低奖励刺激, 高奖励刺激作为目标时, 被试对目标搜索的反应时更快, 引发的 N2pc、SPCN 的波形更大。N2pc 反映了注意的空间分配(姚树霞等人, 2012; Eimer, 1996; Woodman & Luck, 2003); 而 SPCN 反映了注意选择之后对目标的加工, 波幅越大, 表明目标刺激得到了更多的加工(Mazza, Turatto, Umiltà, & Eimer, 2007; McCollough, Machizawa, & Vogel, 2007)。因此, N2pc 波幅的增加表明注意更多的分配到与奖励联结的目标刺激上, 从而促进了注意

选择的效率,而SPCN的波幅变化说明了奖励预期可能不仅影响选择性注意早期阶段的加工,也影响了其晚期阶段的加工。Kreb,Boehler和Woldorff(2010)采用Stroop经典任务进行的研究中,也采用符号Color\$,Color0来表示奖励预期,Color\$的呈现代表有奖励,Color0的呈现代表无奖励。行为数据表明,和任务相关的维度与预期奖励联结时,被试对目标的选择更快更容易。随后的fMRI证据显示,对存在预期奖励反馈的目标进行反应的时候,双侧伏核区域的活动增强,该区域和奖励加工密切相关,同时观察到与认知控制相关脑区活动的增强,如背外侧前额叶皮层、右侧额下回、前脑岛等,此外还发现,梭状回两侧脑区活动也有所增强(Kreb et al., 2011),这都说明了预期奖励影响了个体的注意选择过程,高奖励预期提高了注意选择的效率。

上述研究中,无论是奖励反馈、奖励预期还是奖励训练,当目标和高奖励有关时,都发现了奖励对注意选择过程的易化效应,这说明了与奖励联结的刺激能够吸引注意资源。有许多研究者尝试探讨产生此效应的原因机制。动机突显性理论认为,多巴胺系统在奖励引导注意选择的效应中起到了很重要的作用,多巴胺使奖励联结刺激在神经系统中的知觉表征增强,使个体产生“想要”的动机,从而增加了该刺激的动机突显性,使其更容易吸引注意资源(Berridge & Robinson, 1998; Berridge, 2012; Hickey & Zoest, 2012; Laurent, 2008)。而且fMRI研究还发现奖励提高行为表现的同时,也增强了与知觉、认知、奖励相关脑区的神经活动(Pessoa & Engelmann, 2010)。这表明神经系统通过各种联结将动机信号传播到大脑皮层,增强了信号的加工,具有强烈动机意义的信息传达到相应的脑区,从而这些刺激被个体优先选择。这些解释认为奖励是通过提高自上而下的有意识注意加工过程而影响注意选择的(Awh et al., 2012)。但是,Hickey等人(2010a)的研究中发现的高奖励反馈刺激特征引发的P1、N2pc波幅,则表明奖励对注意的易化效应发生在视觉加工的早期阶段,并不能简单的用内源性注意加工机制来解释。我们认为要探讨奖励影响注意选择的内部机制,必须先探明奖励作用于注意选择的阶段,从而分阶段探讨奖励影响注意选择的机制,而前人的研究并没有对此问题进行系统

深入的探讨,这也是该领域未来研究中需要重点解决的议题。

2.2 奖励阻碍目标的选择

奖励对个体并不是有百利而无一害。奖励能够易化个体的注意选择,但是不适当的奖励联结却也会干扰个体对目标的搜索,影响其行为表现。例如,Anderson等人(2011b)在研究中对训练-测试范式(Della Libera & Chelazzi, 2009)稍加修改,在训练阶段,要求被试在六种颜色不同的圆圈中搜索红色或绿色的圆,红色和绿色即为目标颜色,然后判断该圆内的线条朝向。被试又快又准的反应之后给予不同水平的奖励反馈,奖励与某种颜色的联结是主试事先安排的,但却告知被试奖励是根据任务表现得到的,主试安排其中一种目标颜色与80%高奖励、20%低奖励联结,另一种目标颜色则相反:与80%的低奖励、20%的高奖励联结。在测试阶段,要求被试从六个颜色不同的形状中搜索一个和其他刺激不同的形状,判断该形状内线条的朝向,并且不再对被试又快又准的按键反应给予奖励反馈。测试阶段50%的试次中,总有一个非目标客体的颜色是训练阶段中与奖励联结的红色或绿色,例如,训练阶段将红色和高奖励联结,绿色和低奖励联结,那么测试阶段,有25%试次中存在一个红色分心物,25%试次中存在一个绿色分心物。红色和绿色不会成为测试阶段目标的颜色,并告知被试,测试阶段的目标是形状,颜色是与任务无关的维度,应该忽略。尽管颜色与任务无关,尽管不再对被试反应给予奖励反馈,在测试阶段,当分心物具有与高奖励建立联结的颜色特征时,该刺激却仍自动的捕获了注意,降低了视觉搜索的效率。Anderson, Laurent和Yantis(2013)把这类现象命名为价值驱动的注意捕获。随后,为了验证测试阶段观察到的捕获效应确实是奖励起了作用,而排除选择历史对奖励捕获效应的干扰,他们进行了控制实验,相同的程序,唯一不同的是训练阶段不再给予奖励反馈,结果在测试阶段并没有发现注意的捕获效应,这说明确实是因为奖励使刺激捕获了注意,与训练阶段的目标重复出现无关。另一项研究中,将奖励和自身就具有新异性的刺激建立联结,新异性刺激作为分心物时,本身对注意就有捕获效应,该研究发现新异性刺激和高奖励联结之后再次作为分心物时,对注意的捕获效应增大,从而对目

标选择的阻碍效应增大(Anderson et al., 2011a)。

以上研究是以反应时为指标, 其结果表明高奖励刺激作为分心物时相比低奖励刺激作为分心物时, 增加了目标搜索的反应时。但这并不能说明高奖励刺激一定得到了注意捕获, 也可能是因为新异性刺激吸引注意之后由于与高奖励联结而在个体注意中保持的时间更长才导致了反应时的延长, 可能影响了注意保持的过程而并不是注意捕获的过程。注意捕获和注意保持是不同的心理过程, 注意捕获是自下而上的加工, 是无意识的将注意分配到某些突显性刺激上的过程(Theeuwes, Belopolsky, & Olivers, 2009)。而注意保持则是刺激吸引注意之后在脑海中对刺激自上而下的执行加工(Belopolsky, Schreij, & Theeuwes, 2010; Theeuwes, Vries, & Godijn, 2003), 因此奖励训练使刺激捕获注意的说法遭到了怀疑。随后, Theeuwes 和 Belopolsky (2012)的研究为此提供了直接的证据, 他们使用更为直接的眼动测量方法, 通过观测个体的眼动轨迹来推测个体注意的空间分配。眼动是能够反映注意空间转移的可靠指标(Godijn & Theeuwes, 2004; Theeuwes et al., 2009), 对眼动数据进行分析发现, 和高奖励联结的新异刺激比和低奖励联结的新异刺激更能吸引眼睛的注意, 即使是在奖励消失的情况下, 这种效应仍然存在。Anderson 和 Yantis (2012)则对与任务无关的普通刺激(不具有新异性)进行奖励训练, 通过眼动测量技术观察到高奖励联结的刺激即使不具有新异性, 即使与任务无关, 也能吸引更多的注意, 更进一步验证了奖励能够捕获注意的说法。此外, 姚树霞等人(2013)最新的脑电研究也发现, 在测试阶段, 当目标呈现在正中间时, 与高奖励联结的不具新异性的分心刺激引发了 N2pc 波幅, 表明奖励分心物捕获了注意, 控制实验也排除了分心物的熟悉性对注意效应的干扰。因此 N2pc 证据表明, 奖励联结刺激作为分心物时确实能够自动捕获注意, 进而阻碍了对目标刺激的选择。

上述大量证据证明了奖励对注意选择的阻碍效应, 但是并没有探讨奖励对注意选择的效应能够持续多长时间。Della Libera 和 Chelazzi (2009)对此进行了研究, 他们在奖励训练几天后进行无奖励反馈测试, 仍发现了奖励联结刺激对注意选择的影响。Anderson 等人(2013)的研究得到了更

令人惊讶的结果, 训练阶段与奖励联结的刺激在一年半之后作为分心物时仍能够捕获注意, 而在这一年半之内, 被试没有接受任何的奖励训练, 可见奖励对注意选择的作用并不是暂时的而是持久的(Anderson & Yantis, 2013)。

奖励对注意选择的影响不仅具有持久性, 还具有泛化性。奖励学习对注意的影响并不局限于与奖励联结相同的刺激, 和奖励联结刺激有共同特征但不完全相同的刺激也能捕获注意。例如, Krebs 等人(2010)用颜色 Stroop 任务进行的研究中, 将颜色和奖励联结, 任务是要求被试判断颜色而忽略字义, 在字义和颜色不一致的条件下, 虽然字义和奖励无关, 但当字义和高奖励联结颜色一致时(如红色和高奖励联结, 要求被试判断红字的书写颜色, 可能是蓝色或黄色等), 冲突效应增强, 也就是被试对书写颜色的反应变慢。一方面说明了视觉表征和奖励的联结泛化到了语义表征上, 另一方面也说明了与奖励联结的某些特征的出现也能够捕获注意, 阻碍注意选择过程。例如, Anderson, Laurent 和 Yantis 等人(2012)的研究发现: 即使训练阶段和测试阶段的任务不同, 呈现的刺激不同, 奖励联结刺激的某些特征的出现也会影响注意选择。此外, Camara 等人(2013)采用眼动捕获范式, 发现不仅奖励联结刺激能够捕获注意, 奖励呈现的位置也能引导注意的空间分配, 当分心物呈现在奖励出现的位置时, 得到更多的眼动捕获, 被试对目标反应的正确率降低。

上述大量研究证据表明当奖励与分心物联结时, 阻碍了注意选择, 说明奖励联结刺激捕获了注意资源。究其原因, 有的研究认为是由于奖励和刺激联结之后增加了刺激的突显性, 通过影响自下而上的注意加工而阻碍了目标的选择(Anderson et al., 2011b), 而有的研究中得到不同观点, 他们将目标设置为突显性最高的刺激, 目标驱动的自上而下的加工使目标已经具有了加工优势, 刺激驱动的自下而上的加工会使目标的选择优势更明显, 按照推断, 在这种情况下, 为了顺利完成任务, 个体自上而下的注意加工机制本应引导个体排除无关刺激的干扰, 但是与高奖励联结的分心刺激仍然影响了注意选择, 因此, 他们认为奖励对注意的引导作用可能有其独立的机制, 不能简单的用自下而上或是自上而下的注意加工机制来解释(Anderson et al., 2011a)。此外,

Hickey 等人(2010a; 2010b)的研究中,和奖励联结的刺激既有可能成为目标,也有可能成为分心物,结果发现无论是目标还是分心物,奖励联结刺激的出现都捕获了个体的注意。最新的眼动研究也说明了奖励对注意的眼动捕获不受策略性努力的影响(Hickey & Van Zoest, 2013),这充分说明奖励对注意的影响是独立于内源性的注意系统而起作用的。Shomstein 和 Johnson (2013)进一步研究发现,在注意选择中具有自动化特征的空间线索效应也受到了奖励的调节,当出现高奖励时,只有奖励能够引导注意选择,而自动化的注意选择效应却消失,说明奖励能够独立于自下而上的注意过程而作用于注意选择。此外, Lee 等人(2013)的最新研究用自下而上的注意训练程序将奖励和刺激建立联结,发现在需要自上而下注意资源且不再存在奖励的任务中,先前与高奖励特征匹配的激励作为分心物时,当搜索目标也是与训练阶段高奖励联结刺激匹配,则对搜索任务的干扰不大,但当搜索目标和训练阶段低奖励联结刺激匹配时,则大大的干扰了行为表现。该研究说明奖励既能调节自下而上的注意加工,也能影响自上而下的注意过程,更加验证了奖励对注意选择影响具有其独立机制的说法。目前,奖励阻碍注意选择的作用机制仍处于争论中,需要进一步探讨。

2.3 奖励影响注意选择的原因机制探讨

上述大量研究证据中,奖励与目标联结易化了注意选择过程,奖励与分心物联结阻碍了注意选择过程。无论是易化还是阻碍,都证明了与奖励联结的刺激能够吸引注意资源。那么奖励对注意选择的影响是怎么实现的?有着怎样的神经基础?近年来研究者试图对这些问题进行解释。Small 等人(2005)的研究第一次探讨了奖励性动机对视觉刺激的注意加工过程的调节,发现奖励动机增强了和自上而下注意控制相关的脑区活动,也发现了和动机相关的脑区,如后顶叶皮层的激活。而随后的众多研究也关注到了奖励作为动机的作用(Dodd & Flowers, 2012; Pessoa, 2009; Pessoa & Engelmann, 2010),他们认为当被试觉得更好的行为表现能够得到更高的奖励,金钱奖励就成了表现优秀的动机,为了得到更多的奖励,被试就会尽力使自己的行为表现又快又准(Levy & Glimcher, 2012; Navalpakkam, Koch, Rangel, & Perona, 2010; Padmala & Pessoa, 2010)。具体来说,

被试完成了一次视觉搜索任务之后,得到了高奖励反馈,那么个体就会偏向于选择视觉搜索中的目标,而视觉搜索中的分心物则更容易被抑制,因为这更有利于被试做出又快又准的反应从而得到奖励。然而,上述的奖励影响注意选择的研究中,大多数研究在实验之前都是告知被试奖励是根据行为表现给予的,被试在实验中并不知道对哪一个目标刺激反应会得到更多的高奖励,而且并没有文献报告被试意识到了目标与奖励联结的概率,在没有意识到的情况下,被试却对主试安排的高奖励联结刺激做出了比低奖励联结刺激更快的反应,这表明奖励不太可能是通过有意识动机影响注意选择的,而在 Kiss 等人(2009)的研究中,明确告知被试对其中一种颜色的目标做出反应会得到高奖励,对另一种颜色的目标做出反应会得到低奖励,这样在实验过程中,被试就会有意识的将颜色和不同水平的奖励联结起来,对高奖励颜色反应的动机更强,此时,奖励对注意选择的影响才更可能是因为有意识动机的作用。随后的研究中,可以操纵被试是否意识到颜色与奖励之间的联结这两种情况,观察不同状况下被试的行为数据和脑机制的变化,来深入探究动机在奖励引导注意中的作用。

Della Libera, Perlato 和 Chelazzi(2011)的研究中,直接告诉被试奖励的呈现是随机的,然后观察奖励对注意的引导效应。他们认为奖励对视觉选择性注意的影响是通过两种奖励学习机制实现的:一种就是主动的监控行为和结果之间的关系,通过提高动机来影响注意过程,这种学习机制也就是我们上面提到的奖励通过影响动机而引导注意选择;另一种是被动的觉察刺激和偶然出现的奖励之间的联系,由于奖励的呈现具有偶然性,就削弱了动机的作用。这两种学习机制的运用主要取决于被试对奖励的知觉,如果被试认为奖励是对优秀表现的反馈,那么就会主动监控自己的行为表现和结果之间的关系,如果被试认为奖励是随机出现的,那么被试就处于被动的觉察状态(Chelazzi, Perlato, Santandrea, & Della Libera, 2013)。这两种奖励学习机制都使得奖励联结刺激在视觉皮层的表征增强(Frankó, Seitz, & Vogels, 2009; Weil et al., 2010)。虽然他们意识到了动机水平的分离,但是并没有对之进行操纵。此外,一项最近的研究通过转换任务发现试次之间预期奖励

水平的增加提高了个体的认知灵活性,从而使个体的执行控制能力增强,行为表现更好(Shen & Chun, 2011)。也有研究者认为,奖励对注意的影响是学习和行为重复的结果,认为高奖励反馈的目标刺激会使被试的记忆痕迹更强,使得学习效果更好反应更迅速(Chelazzi et al., 2013)。

大量的神经机制研究也努力探讨奖励对注意选择的影响机制(Louie, Grattan, & Glimcher, 2011; O'Doherty, 2004)。知觉学习的强化理论认为与奖励配对的刺激能够增强神经过程(Seitz & Watanabe, 2005), Frankó 等人(2009)的研究也发现与奖励配对的刺激在视觉皮层的表征增强。fMRI 证据显示,对高奖励预期联结的目标进行反应的时候,双侧伏核区域的活动增强,该区域和奖励加工密切相关,同时观察到活动增强的区域还有与认知控制相关的脑区,如背外侧前额叶皮层、右侧额下回、前脑岛、后顶叶皮层等,此外还发现,梭状回两侧脑区活动增强(Krebs et al., 2011; Peck, Jangraw, Suzuki, Efem, & Gottlieb, 2009; Serences, 2008)。

奖励不仅对人类来说至关重要,对动物也极具诱惑。早在 19 世纪末期,巴甫洛夫通过将食物和中性刺激建立联结,使狗对中性刺激产生了和食物相同的唾液分泌反应,称为巴甫洛夫条件反射。随后,大量的研究者开始关注该领域,他们试图探讨奖励刺激对动物行为选择的影响、影响的发生条件和神经机制。和人类的奖励刺激不同,在动物的研究中,研究者所用的奖励大都是食物或水等动物生存所必需的东西(Schultz, 2004)。虽然刺激不同,但是食物和水对动物来说和钱对人类来说一样都具有生存意义。研究发现动物面对食物或水等这些与奖励相关的刺激时,在行为选择上,会倾向选择可能获得奖励的行为,这和人类面对奖励的表现一致;在神经活动上,发现了眶额叶皮层、杏仁核、纹状体及腹外侧前额叶皮层等脑区的激活(Fisher, Brown, Aron, Strong, & Mashek, 2010; Hassani, Cromwell, Schultz, 2001; Paton, Belova, Morrison, & Salzman, 2006; Schultz, 2004),人类在价值联结的学习中,眶额叶皮质也起到了重要的作用(Raymond, 2009)。可见奖励对人和动物的影响机制有一定的共通性,我们可以通过研究动物大脑更加准确的探讨奖励作用的过程和神经机制,从而为我们探明人类面对奖励时

的心理过程和行为选择提供参考。

关于奖励对注意选择作用阶段的探讨, Kiss 等人(2009)的研究中观察到奖励引起 SPCN 波幅的变化,说明了奖励可能不仅影响选择性注意早期阶段的加工,也影响了其晚期阶段的加工。Serences 等人(2010)的研究也表明刺激的习得价值不仅会影响早期感觉区域皮层活动的强度,也可能影响刺激加工的晚期阶段,如反应阶段。然而,这些研究并没有专门探讨奖励作用于注意的阶段,如果要深入探究奖励的作用机制,需要寻找一种能够分离奖励作用的早期阶段和晚期阶段的方法,来具体深入探讨作用阶段问题。

关于奖励影响注意选择的认知机制以及奖励作用于注意的阶段探讨,虽然有了一定的成果,但不同的研究者有不同的看法,还没有统一、清晰的定论,仍是未来需要研究者深入研究的一个焦点。

3 影响奖励驱动注意选择的因素

上述研究可知,奖励能够使刺激更容易吸引注意资源。与目标联结时,能够促进注意选择,与分心物联结时,能够阻碍注意选择,并且奖励对注意选择的影响也有大小之分,该部分在最新的研究基础上,尝试全面揭示奖励驱动注意选择大小的调节因素,例如,测试阶段的奖励反馈、工作记忆容量、人格特质及刺激的新异性,下面将一一详述。

3.1 奖励反馈的预见性

以往关于奖励驱动注意捕获的研究中,测试阶段都没有奖励反馈,那么,经过训练,奖励联结建立之后,奖励联结刺激对注意的捕获效应会受其他无关奖励反馈的干扰吗?为了解答这个问题,Anderson 等人(2013)采用和以往研究类似的实验范式(Anderson et al., 2011a)进行研究,在实验中,训练阶段和先前研究类似:将颜色 and 不同水平的奖励联结,在测试阶段,要求被试选择不同于其他刺激的形状,训练阶段与奖励联结的颜色总是作为与任务无关的分心物呈现,然而,与先前研究不同的是,该研究中测试阶段做出正确反应之后也会有大小不同的奖励反馈,但是该奖励反馈是针对形状选择的反馈,与颜色无关,结果却表明与高奖励联结的颜色对注意的捕获效应受到了对形状的奖励反馈的影响,具体表现为:在

测试阶段,当分心物颜色和高奖励联结且对形状选择反馈的奖励数额较高的情况下,奖励联结颜色对注意的捕获效应最大。可能是因为,此时奖励的预见性较高,符合自己的高奖励预期,个体就会倾向于做出更好的行为表现。当分心物颜色和低奖励联结且对形状选择反馈的奖励数额较低的情况下,奖励联结刺激的注意捕获效应最小。说明奖励驱动的注意捕获受奖励预测认知机制的调节。在 Sali, Anderson 和 Yantis (2013)的研究中,更直接的探讨了奖励呈现的稳定性、可预见性对认知控制的调节。他们发现训练阶段持续获得奖励的被试相比训练阶段没有持续获得奖励的被试,在测试阶段更不可能改变认知策略,做出新的行为选择。

3.2 工作记忆容量

工作记忆容量是指个体在短时间内保持信息的数量,经研究个体平均最多记忆四个单位的信息(Awh, Barton, & Vogel, 2007)。工作记忆容量存在个体差异,有研究表明工作记忆容量较低的个体在注意选择过程中更容易受分心物的干扰(Fukuda & Vogel, 2009; 2011),由此可见工作记忆容量一定程度上反映了个体的抗干扰能力。Anderson 等人的研究发现工作记忆容量和奖励联结分心物的注意捕获效应量呈负相关:对工作记忆容量较低的个体来说,奖励联结分心物的注意捕获效应较强,即干扰效应越强(Anderson et al., 2011a)。随后的眼动研究也表明,工作记忆容量和奖励联结刺激捕获眼动的程度存在负相关关系,即个体的工作记忆容量越高,奖励联结分心物捕获注意的次数就越少(Anderson & Yantis, 2012)。

我们认为工作记忆容量对奖励驱动注意捕获效应大小的调节可以用注意负荷理论解释。注意负荷理论认为个体对分心物进行抑制时需要一定的注意控制资源,这些资源帮助个体明确目标和分心物的异同,从而更快的选择目标同时抑制分心物(Lavie, Hirst, de Fockert, & Viding, 2004),工作记忆容量较低的个体注意控制资源较少,缺乏足够的认知资源明确目标和分心物的界限,因此,个体对分心物的抑制效果较差,更容易受奖励联结分心物的干扰,奖励驱动注意捕获效应就更大。

3.3 人格特质

奖励对注意的影响很容易受个体特质差异的

调节,例如冲动性特质。研究表明,冲动性特质高的个体更容易受奖励联结分心物的影响(Anderson et al., 2011a),这可能是因为冲动性特质与个体执行控制能力密切相关(Stanford et al., 2009),个体的冲动性特质得分越高,说明个体执行控制能力越弱,从而个体在注意选择的过程中越容易受奖励联结分心物的干扰,奖励驱动的注意捕获效应就越大。

另一个调节奖励效应的人格因素是奖励敏感性特质, Hickey 等人(2010b, 2010c)的研究表明对奖励更敏感的个体会把注意资源更多的分配到能够预测奖励的刺激上,即更容易受奖励联结刺激的影响。行为和脑电证据也表明中脑多巴胺系统(Berridge & Robinson, 1998)在视觉搜索的注意选择过程中有重要的作用,前部扣带回是多巴胺系统的一部分,前部扣带回的活动可以预测奖励效应的大小,前部扣带回活动越强烈,奖励对注意的引导效应越大。这进一步说明了受奖励影响更大的个体对奖励联结刺激更加敏感,选择的动机更强。此外,齐森青等人(2013)最新的脑电研究发现奖励联结分心物引发的 N2pc 波幅和奖励敏感性特质得分成负相关,即奖励敏感性特质得分越高, N2pc 的波幅越负(更大),说明奖励联结分心物吸引了更多的注意。这可能是因为奖励敏感性特质得分高的个体对奖励更加敏感,刺激与奖励联结之后使得该刺激的突显性更强,更能吸引奖励敏感个体的注意。这也揭示了在面对奖励刺激时,不同的人格特质差异导致了奖励联结刺激对个体的影响不同。

3.4 刺激的物理属性

物理上具有新异性和突显性的刺激能够自动捕获注意,与价值联结的刺激因为增加了刺激的突显性从而也能够捕获注意。有研究表明奖励对新异性刺激的注意捕获有调节作用(Anderson et al., 2011b),那么刺激的新异性对奖励驱动的注意捕获效应有没有调节作用呢?周晓林等人(2013)用训练测试范式对此进行研究,结果发现:训练阶段将颜色与奖励联结,会影响测试阶段对形状的视觉搜索效率,而训练阶段将形状和奖励联结,则对测试阶段颜色的视觉搜索效率没有影响,他们认为可能是因为颜色比形状更具有物理突显性,颜色的物理突显性相比奖励联结形状的突显性更强,更加吸引注意,因此当更具物理突显性的颜

色作为目标时,与价值联结的形状刺激就不能成功捕获注意。然而,当形状和更强烈的惩罚或疼痛刺激相联结的时候,又能够出现注意捕获效应,表明与形状联结的价值足够大的时候,也能捕获注意,该研究说明价值驱动的注意捕获效应受刺激的物理突显性的调节(Wang, Yu, & Zhou, 2013)。

4 小结与展望

综上所述,奖励对注意选择具有引导作用,奖励不仅能够易化注意的选择,也能够阻碍注意的选择,而且奖励水平的高低也决定了其对注意引导效应的大小,但是奖励对注意的引导效应的大小同时受到多种因素的调节,如测试阶段的奖励反馈、工作记忆容量、被试的人格特质和刺激的物理属性等,尽管该领域成果颇丰,但也存在一些问题及后续研究的新视角值得考虑。

首先,就实验材料来说,上述奖励对注意引导效应的文献中所用的材料大多是简单的视觉刺激:如颜色、形状等,并没有很多文献探讨复杂刺激的视觉搜索是否也受奖励的引导,只有在最新的研究中,研究者用情绪面孔做材料,探讨奖励对面孔搜索的影响作用,发现将本身具有优势效应的愤怒面孔和低奖励建立联结之后,再测阶段被试的愤怒面孔优势效应消失(Qi, Zeng, Ding, & Li, 2013),此研究为调节焦虑被试对威胁刺激的注意偏向提供了理论上的支持。此研究给我们的启示是:未来我们可以将奖励和一些特殊刺激建立联结,探讨适应不良的注意偏向受奖励调节后能否消失、以及有利于个体的注意偏向有没有可能因为价值联结而恢复,比如研究肥胖病人对食物的注意偏向会不会因为奖励的适当呈现而消失,或者可以研究奖励能否矫正焦虑被试对负性刺激的注意偏向等,并探讨奖励对临床干预的效应能够持续多长时间,我们认为奖励对注意的引导和这些具有临床意义的议题结合起来具有很重要的实践意义。此外,就呈现的反馈刺激来说,上述研究中与刺激联结的都是奖励刺激,效价相同,只是水平不同,未来我们可以探讨效价不同的奖励和惩罚对注意选择的不同影响,个体天生具有趋利避害的倾向,观察趋利和避害对个体行为选择的影响有何不同。另外,也可以关注奖励学习使刺激获得的优势效应会不会因为金钱

数额的增加而增加,金钱的数量和捕获的程度有着什么样的关联,为在实践领域的应用奠定更丰富的理论基础。

其次,关于奖励影响注意选择原因的探讨上,有研究者推测,奖励对注意选择的影响可能是被试主动监控了行为和奖励之间的关系,增强了被试对高奖励联结目标刺激反应的动机(Libera et al., 2011),但是在实验中,并没有研究者采用科学的检测手段,如实验、问卷等评估被试对刺激和奖励之间关系的觉察状况以及对刺激反应的动机水平。因此,随后探讨奖励影响注意选择的原因机制时,这些都是可以改进的方面。而且,奖励驱动的注意加工、目标驱动注意加工及刺激驱动的注意捕获之间的联系和区别到目前为止都不清晰,并不能很明确的说明究竟奖励对注意选择影响的原因机制是依赖于自上而下或自下而上的认知加工,还是独立作用的。不同的研究者得出的结论并不一致,我们认为研究者之所以得到不同的观点可能是因为他们设置的实验条件的不同:首先,观察的奖励联结刺激引导注意的阶段不同,有的关注奖励驱动注意加工的早期阶段,有的关注奖励驱动注意加工的晚期阶段;其次,奖励联结刺激呈现的方式也不同,有的研究将奖励联结刺激作为目标呈现,有的研究却将其一直作为分心物呈现而不作为目标呈现;再次,指导语不同,有的明确告知被试奖励和刺激之间的关系,有的却告诉被试奖励是根据任务表现给予的,使被试意识不到奖励和刺激之间的关系,指导语不同造成被试在实验中注意选择的心理过程也会有所不同,因此对奖励影响注意选择的机制解释也不同。我们认为,可能存在一个灵活的注意控制机制,当被试意识到目标和奖励有关,自上而下的注意加工机制就会起主导作用,引导个体注意偏向更可能得到奖励的刺激;而当奖励联结刺激总是作为分心物呈现时,虽然目标驱动加工机制告诉个体要忽视这些分心刺激,但由于有意识或无意识的知觉到某种分心物的特性和奖励有关,个体追求利益的本能使得这些奖励联结刺激与普通的刺激相比更具突显意义,自下而上的注意控制使得这些有相对突显性的奖励联结刺激自动捕获了注意,从而干扰了目标的选择。也有可能如Anderson所说,奖励对注意的引导是一个独立于目标驱动注意加工及刺激驱动注意加工的注意机

制,有其特有的加工机制,这也是随后该领域需要深入研究的一个重点问题(Anderson, 2013)。

再次,就奖励引导注意选择的影响因素方面来说,这部分的研究尚少,已有的研究也只是停留在比较表层的方面,比如,研究虽然发现了工作记忆容量和奖励引导注意的效应量有相关关系,但是并没有用实验的方法来具体验证个体工作记忆资源的状况对奖励驱动注意捕获的影响是怎样的。对影响因素的研究可以帮助我们运用此理论时找到合适的条件和方法,使得理论在实践方面的应用更加科学有效,我们坚信此领域的研究将为探究注意偏向的临床干预新方法做出很大的贡献。

参考文献

- 姚树露, 杨东, 齐森青, 雷燕, Cody Ding. (2012). 视觉空间注意研究中的 N2pc 成分述评. *心理科学进展*, 20(3), 365–375.
- Anderson, B. A. (2013). A value-driven mechanism of attentional selection. *Journal of Vision*, 13(3), 1–16.
- Anderson, B. A., Laurent, P. A., & Yantis, S. (2011a). Learned value magnifies salience-based attentional capture. *PLoS ONE*, 6(11), e27926.
- Anderson, B. A., Laurent, P. A., & Yantis, S. (2011b). Value-driven attentional capture. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(25), 10367–10371.
- Anderson, B. A., & Yantis, S. (2012). Value-driven attentional and oculomotor capture during goal-directed, unconstrained viewing. *Attention Perception Psychophys*, 74(8), 1644–1653.
- Anderson, B. A., Laurent, P. A., & Yantis, S. (2012). Generalization of value-based attentional priority. *Visual Cognition*, 20(6), 647–658.
- Anderson, B. A., & Yantis, S. (2013). Persistence of value-driven attentional capture. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 39(1), 6–9.
- Anderson, B. A., Laurent, P. A., & Yantis, S. (2013). Reward predictions bias attentional selection. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 262.
- Awh, E., Barton, B., & Vogel, E. K. (2007). Visual working memory represents a fixed number of items regardless of complexity. *Psychological Science*, 18(7), 622–628.
- Awh, E., Belopolsky, A. V., & Theeuwes, J. (2012). Top-down versus bottom-up attentional control: A failed theoretical dichotomy. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(8), 437–443.
- Belopolsky, A. V., Schreij, D., & Theeuwes, J. (2010). What is top-down about contingent capture? *Attention, Perception, & Psychophysics*, 72(2), 326–341.
- Berridge, K. C. (2012). From prediction error to incentive salience: Mesolimbic computation of reward motivation. *European Journal of Neuroscience*, 35(7), 1124–1143.
- Berridge, K. C., & Robinson, T. E. (1998). What is the role of dopamine in reward: Hedonic impact, reward learning, or incentive salience? *Brain Research Reviews*, 28(3), 309–369.
- Braem, S., Verguts, T., Roggeman, C., & Notebaert, W. (2012). Reward modulates adaptations to conflict. *Cognition*, 125(2), 324–332.
- Buschman, T. J., & Miller, E. K. (2007). Top-down versus bottom-up control of attention in the prefrontal and posterior parietal cortices. *Science*, 315(5820), 1860–1862.
- Camara, E., Manohar, S., & Husain, M. (2013). Past rewards capture spatial attention and action choices. *Experimental Brain Research*, 230(3), 291–300.
- Chelazzi, L., Perlato, A., Santandrea, E., & Della Libera, C. (2013). Rewards teach visual selective attention. *Vision Research*, 85, 58–72.
- Connor, C. E., Egeth, H. E., & Yantis, S. (2004). Visual attention: Bottom-up versus top-down. *Current Biology*, 14(19), 850–852.
- Della Libera, C., & Chelazzi, L. (2006). Visual selective attention and the effects of monetary rewards. *Psychological Science*, 17(3), 222–227.
- Della Libera, C., & Chelazzi, L. (2009). Learning to attend and to ignore is a matter of gains and losses. *Psychological Science*, 20(6), 778–784.
- Della Libera, C., Perlato, A., & Chelazzi, L. (2011). Dissociable effects of reward on attentional learning: From passive associations to active monitoring. *PLoS ONE*, 6(4), e19460.
- Dodd, M. D., & J. H. Flowers. (2012). The influence of attention, learning, and motivation on visual search. In S. Yantis, B. A. Anderson, E. K. Wampler, & P. A. Laurent (Eds.), *Reward and attentional control in visual search* (vol. 59, pp. 91–116). Nebraska Symposium on Motivation.
- Eimer, M. (1996). The N2pc component as an indicator of attentional selectivity. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 99(3), 225–234.
- Fisher, H. E., Brown, L. L., Aron, A., Strong, G., & Mashek, D. (2010). Reward, addiction, and emotion regulation systems associated with rejection in love. *Journal of Neurophysiology*, 104(1), 51–60.
- Frankó, E., Seitz, A. R., & Vogels, R. (2009). Dissociable neural effects of Long-term Stimulus–Reward pairing in macaque visual cortex. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22(7), 1425–1439.
- Fukuda, K., & Vogel, E. K. (2009). Human variation in overriding attentional capture. *The Journal of Neuroscience*, 29(27), 8726–8733.

- Fukuda, K., & Vogel, E. K. (2011). Individual differences in recovery time from attentional capture. *Psychological Science*, 22(3), 361–368.
- Godijn, R., & Theeuwes, J. (2004). The relationship between inhibition of return and saccade trajectory deviations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 30(3), 538–554.
- Hassani O. K., Cromwell, H. C., Schultz W. (2001). Influence of expectation of different rewards on behavior-related neuronal activity in the striatum. *Journal of Neurophysiology*, 85, 2477–2489.
- Hickey, C., Chelazzi, L., & Theeuwes, J. (2010a). Reward changes salience in human vision via the anterior cingulate. *Journal of Neuroscience*, 30(33), 11096–11103.
- Hickey, C., Chelazzi, L., & Theeuwes, J. (2010b). Reward guides vision when it's your thing: Trait Reward-Seeking in Reward-Mediated visual priming. *PLoS ONE*, 5(11), e14087.
- Hickey, C., Chelazzi, L., & Theeuwes, J. (2010c). Reward has a residual impact on target selection in visual search, but not on the suppression of distractors. *Visual Cognition*, 19(1), 117–128.
- Hickey, C., & Van Zoest, W. (2012). Reward creates oculomotor salience. *Current Biology*, 22(7), R219–R220.
- Hickey, C., & Van Zoest, W. (2013). Reward-associated stimuli capture the eyes in spite of strategic attentional set. *Vision Research*, 92, 67–74.
- Hutchinson, J. B., & Turk-Browne, N. B. (2012). Memory-guided attention: Control from multiple memory systems. *Trends in Cognitive Sciences*, 16(12), 576–579.
- Itti, L., & Koch, C. (2000). A saliency-based search mechanism for overt and covert shifts of visual attention. *Vision Research*, 40(10–12), 1489–1506.
- Kiss, M., Driver, J., & Eimer, M. (2009). Reward priority of visual target singletons modulates event-related potential signatures of attentional selection. *Psychological Science*, 20(2), 245–251.
- Krebs, R. M., Boehler, C. N., Egner, T., & Woldorff, M. G. (2011). The neural underpinnings of how reward associations can both guide and misguide attention. *Journal of Neuroscience*, 31(26), 9752–9759.
- Krebs, R. M., Boehler, C. N., & Woldorff, M. G. (2010). The influence of reward associations on conflict processing in the Stroop task. *Cognition*, 117(3), 341–347.
- Kristjansson, A., Sigurjonsdottir, O., & Driver, J. (2010). Fortune and reversals of fortune in visual search: Reward contingencies for pop-out targets affect search efficiency and target repetition effects. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 72(5), 1229–1236.
- Laurent, P. A. (2008). The emergence of saliency and novelty responses from Reinforcement Learning principles. *Neural Network*, 21(10), 1493–1499.
- Lavie, N., Hirst, A., de Fockert, J. W., & Viding, E. (2004). Load theory of selective attention and cognitive control. *Journal of Experimental Psychology: General*, 133(3), 339–354.
- Lee, J., & Shomstein, S. (in press). Reward-Based transfer from Bottom-Up to Top-Down search tasks. *Psychological Science*, doi: 10.1177/0956797613509284
- Levy, D. J., & Glimcher, P. W. (2012). The root of all value: A neural common currency for choice. *Current Opinion in Neurobiology*, 22(6), 1027–1038.
- Lien, M. C., Ruthruff, E., & Johnston, J. C. (2010). Attentional capture with rapidly changing attentional control settings. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 36(1), 1–16.
- Louie, K., Gratton, L. E., & Glimcher, P. W. (2011). Reward value-based gain control: Divisive normalization in parietal cortex. *The Journal of Neuroscience*, 31(29), 10627–10639.
- Mazza, V., Turatto, M., Umiltà, C., & Eimer, M. (2007). Attentional selection and identification of visual objects are reflected by distinct electrophysiological responses. *Experimental Brain Research*, 181(3), 531–536.
- McCollough, A. W., Machizawa, M. G., & Vogel, E. K. (2007). Electrophysiological measures of maintaining representations in visual working memory. *Cortex*, 43(1), 77–94.
- Navalpakkam, V., Koch, C., Rangel, A., & Perona, P. (2010). Optimal reward harvesting in complex perceptual environments. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 107(11), 5232–5237.
- Noonan, M. P., Mars, R. B., & Rushworth, M. F. (2011). Distinct roles of three frontal cortical areas in reward-guided behavior. *The Journal of Neuroscience*, 31(40), 14399–14412.
- O'Doherty, J. P. (2004). Reward representations and reward-related learning in the human brain: Insights from neuroimaging. *Current Opinion in Neurobiology*, 14(6), 769–776.
- Padmala, S., & Pessoa, L. (2010). Interactions between cognition and motivation during response inhibition. *Neuropsychologia*, 48(2), 558–565.
- Paton, J. J., Belova, M. A., Morrison, S. E., & Salzman, C. D. (2006). The primate amygdala represents the positive and negative value of visual stimuli during learning. *Nature*, 439(7078), 865–870.
- Peck, C. J., Jangraw, D. C., Suzuki, M., Efem, R., & Gottlieb, J. (2009). Reward modulates attention independently of action value in posterior parietal cortex. *Journal of Neuroscience*, 29(36), 11182–11191.
- Pessoa, L. (2009). How do emotion and motivation direct executive control? *Trends in Cognitive Science*, 13(4), 160–166.
- Pessoa, L., & Engelmann, J. B. (2010). Embedding reward signals into perception and cognition. *Frontiers in Neuroscience*, 4, 17.

- Qi, S., Zeng, Q., Ding, C., & Li, H. (2013). Neural correlates of reward-driven attentional capture in visual search. *Brain Research*, 1532, 32–43.
- Raymond, J. (2009). Interactions of attention, emotion and motivation. *Progress in Brain Research*, 176, 293–308.
- Raymond, J. E., & O'Brien, J. L. (2009). Selective visual attention and motivation: The consequences of value learning in an attentional blink task. *Psychological Science*, 20(8), 981–988.
- Sali, A. W., Anderson, B. A., & Yantis, S. (2013). Reinforcement learning modulates the stability of cognitive control settings for object selection. *Frontiers Integrative Neuroscience*, 7, 95, doi: 10.3389/fnint.2013.00095.
- Seitz, A., & Watanabe, T. (2005). A unified model for perceptual learning. *Trends in Cognitive Science*, 9(7), 329–334.
- Serences, J. T. (2008). Value-based modulations in human visual cortex. *Neuron*, 60(6), 1169–1181.
- Serences, J. T., & Saproo, S. (2010). Population response profiles in early visual cortex are biased in favor of more valuable stimuli. *Journal of Neurophysiology*, 104(1), 76–87.
- Schultz, W. (2004). Neural coding of basic reward terms of animal learning theory, game theory, microeconomics and behavioural ecology. *Current Opinion Neurobiology*, 14(2), 139–147.
- Shen, Y. J., & Chun, M. (2011). Increases in rewards promote flexible behavior. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 73(3), 938–952.
- Shomstein, S., & Johnson, J. (2013). Shaping attention with reward: effects of reward on space- and object-based selection. *Psychological Science*, 24(12), 2369–2378.
- Small, D. M., Gitelman, D., Simmons, K., Bloise, S. M., Parrish, T., & Mesulam, M. M. (2005). Monetary incentives enhance processing in brain regions mediating top-down control of attention. *Cereb Cortex*, 15(12), 1855–1865.
- Stanford, M. S., Mathias, C. W., Dougherty, D. M., Lake, S. L., Anderson, N. E., & Patton, J. H. (2009). Fifty years of the Barratt Impulsiveness Scale: An update and review. *Personality and Individual Differences*, 47(5), 385–395.
- Theeuwes, J., Belopolsky, A., & Olivers, C. N. (2009). Interactions between working memory, attention and eye movements. *Acta Psychologica*, 132(2), 106–114.
- Theeuwes, J., & Belopolsky, A. V. (2012). Reward grabs the eye: Oculomotor capture by rewarding stimuli. *Vision Research*, 74, 80–85.
- Theeuwes, J., Vries, G.-J., & Godijn, R. (2003). Attentional and oculomotor capture with static singletons. *Perception & Psychophysics*, 65(5), 735–746.
- Wang, L., Yu, H., & Zhou, X. (2013). Interaction between value and perceptual salience in value-driven attentional capture. *Journal of Vision*, 13(3), 5–13.
- Weil, R. S., Furl, N., Ruff, C. C., Symmonds, M., Flandin, G., Dolan, R. J., & Rees, G. (2010). Rewarding feedback after correct visual discriminations has both general and specific influences on visual cortex. *Journal of Neuropsychology*, 104(3), 1746–1757.
- Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2003). Serial deployment of attention during visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29(1), 121–138.
- Wolfe, J. M., Butcher, S. J., Lee, C., & Hyle, M. (2003). Changing your mind: On the contributions of top-down and bottom-up guidance in visual search for feature singletons. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29(2), 483–502.
- Yao, S., Ding, C., Qi, S., & Yang, D. (in press). Value associations of emotional faces can modify the anger superiority effect: Behavioral and electrophysiological evidence. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*.

Toward Understanding the Role of Reward in Attentional Selection

FAN Lingxia¹; Qi Senqing²; GUO Renlu³; HUANG Bo¹; YANG Dong¹

(¹ School of Psychology, Southwest University, Chongqing 400715, China)

(² MOE Key Laboratory of Modern Teaching Technology, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

(³ Institute of Psychology and Behavior, Wenzhou University, Wenzhou 325035, China)

Abstract: Stimulus associated with reward could capture attention, which was called value-driven attention capture (Anderson, 2013). Reward can facilitate attention selection when it was associated with target; while it would slow down target selection when associated with distractor. Reward exerts great impact on attention deployment by unique cognitive mechanism which can be modulated by various factors such as monetary prediction, capacity of visual working memory, personal characteristics and the salience of stimulus. Future studies should try to apply research findings of value-driven attention capture to the intervention of attention dysfunction.

Key words: reward; attention selection; attention capture; value-driven