

视觉空间注意研究中的 N2pc 成分述评*

姚树霞¹ 杨 东¹ 齐森青¹ 雷 燕¹ Cody Ding^{1,2}

(¹西南大学心理学院, 重庆 400715) (²美国密苏里大学圣路易斯分校, 圣路易斯 63121)

摘 要 N2pc 与空间选择性注意密切相关, 反映了一种对当前任务相关刺激的注意分配过程。N2pc 自我特性的研究主要涉及理论解释、测量方法、源定位以及影响因素等方面, 而其实验范式主要有视觉搜索和视觉短时记忆搜索两种范式。以 N2pc 为指标的研究主要分为与视觉空间注意相关的基础性研究和应用性扩展研究。今后 N2pc 的研究应该在不断深入细化自身特性研究、做好基础性研究的同时, 更多的向应用性扩展研究拓展。

关键词 视觉空间注意; N2pc; 空间过滤加工理论; 目标增强说

分类号 B842

1 引言

N2pc 是一种与空间选择性注意密切相关的 ERP 成分, 反映了对当前任务相关刺激所进行的空问选择加工(Luck & Hillyard, 1994a; Eimer, 1996; Woodman & Luck, 1999, 2003)。它最早是由 Luck 等人(1994b)发现并正式命名的, “N”代表负波(negative), “2”是指该成分大约出现在刺激呈现后的 200ms 至 300ms 之间, 而“pc”是指它的头皮分布位置——目标刺激的对侧脑后区域(posterior-contralateral) (Luck, 2005; Luck & Hillyard, 1994a)。N2pc 是一种较大的单侧脑后负波(Luck & Hillyard, 1994b), 其波幅常被用作对目标刺激注意分配量的指标(Luck, 2005), 而其潜伏期则反映了对目标刺激注意分配的时间点(Brisson, Robitaille, & Jolicoeur, 2007)。

近 20 年来, 在空间注意与视觉选择等研究领域, N2pc 得到了广泛的研究, 不仅在其自身特性的研究方面得到了不断的深入细化(如 Mazza, Turatto, & Caramazza, 2009; Kiss, van Velzen, & Eimer, 2008), 而且, 还以 N2pc 为指标对视觉空

间注意的神经机制进行了有意义的探索(如 McDonald, Hickey, Green, & Whitman, 2009; Lorenzo-López, Amenedo, & Cadaveira, 2008)。在此基础上, 大量的研究以 N2pc 为指标, 对与视觉空间注意的神经机制有关的领域进行了应用性的扩展研究, 并且, 这种应用性的扩展研究与日俱增, 逐渐成为该领域的另一个研究热点。

2 N2pc 自身特性的探讨

2.1 两种 N2pc 理论解释的争鸣

由于在利用视觉搜索任务所进行的 N2pc 研究中, 刺激序列往往是由目标和分心物混合而成的, 所以, 在进行选择性的注意加工时, N2pc 的产生就可能有两种原因, 一种是简单的对目标进行了选择性的促进加工, 另外一种则是从相反的方向抑制了对分心物的加工从而凸显了目标刺激。这两种原因到底是哪一种, 目前还存在很大的争议, 并由此形成了两种主要理论: 空间过滤加工理论与目标选择加工理论。

2.1.1 空间过滤加工理论

空间过滤(spatial filtering)加工理论又叫模糊消解理论(Ambiguity Resolution Theory)、抑制说(suppression hypothesis), 是由 Luck 等人(1994a)在对 N2pc 的早期研究中提出的, 他们认为, N2pc 反映的是一种空间过滤加工, 即目标的识别是通过抑制目标周围的分心物的竞争信息来实现的

收稿日期: 2011-09-29

* 西南大学国家重点学科“基础心理学”项目(NSKD11011); 重庆市哲学社会科学重点项目(2010TBWT-1-02)。

通讯作者: 杨东, E-mail: yangd@swu.edu.cn

(Luck, 2005; Luck & Hillyard, 1994a; Luck, Girelli, McDermott, & Ford, 1997)。为此, Luck 等人(1994a)进行了一系列的实验来验证这一假设, 实验中他们主要对干扰刺激进行了操作, 以减少或消除注意系统对干扰刺激抑制的可能性, 从而避免抑制作用的发生。结果发现, N2pc 对干扰刺激的呈现与否非常敏感, 只有当干扰物与目标伴随出现时, 才会引发 N2pc, 而当被试能够根据刺激的简单特征排除干扰刺激时, N2pc 就会消失; 更重要的是, 当移除干扰刺激只呈现目标刺激, 或者使干扰刺激与当前任务具有相关进而消除对其的抑制作用, 又或者是使刺激序列中所有的项目都保持一致, 这时候都不会出现 N2pc。这些研究结果表明, N2pc 与抑制作用是伴随出现的, 这与空间过滤加工理论的假设是一致的。另外, Luck 等人(1997)还从增加抑制作用的角度出发, 发现干扰刺激数目的增加会引发更大的 N2pc, 这再次验证了空间过滤加工理论的可信性。

空间过滤加工理论认识到了注意资源的有限性, 但它过分关注对干扰刺激的抑制, 却忽视了对目标特征自上而下的识别、加工。并且, Luck 等人(1994a)研究发现, 与目标具有较高相似性的非目标刺激同样会引发与目标相似的 N2pc, 这是抑制说所不能解释的。我们认为, 对这种非目标刺激的加工实际上就是对潜在目标的识别、确认的加工过程, 也就是说抑制说并不能排除对任务相关刺激的选择加工过程。

2.1.2 目标增强说

目标增强说(target enhancement)是与抑制说相对立的一种理论。有研究发现, 在一个给定的视野中(比如左视野)只有一个目标刺激, 而与此同时相应的另一个视野中(右视野)也只有一个单独的干扰刺激, 这时仍然观察到了清晰的 N2pc (Brisson & Jolicoeur, 2007a, 2007b, 2007c; Dell'Acqua, Sessa, Jolicoeur, & Robitaille, 2006; Robitaille & Jolicoeur, 2006; Jolicoeur, Sessa, Dell'Acqua, & Robitaille, 2006a, 2006b)。在这种条件下, 目标周围并不存在来自干扰刺激的竞争信息, 也就无所谓对分心物的抑制或是过滤, 这是与空间过滤加工理论的假设相矛盾的。对于这一结果, Eimer(1996)认为, N2pc 更有可能反映的是对任务相关刺激进行选择加工的神经过程, 这一过程更多是受对任务相关特征敏感的自上而下的

神经机制控制的, 而不是对目标周围干扰刺激的过滤或者抑制。

Mazza 等人(2009)的研究为目标增强说提供了进一步的证据。他们根据抑制说的假设从不同角度设计了三个实验: 实验 1 中, 他们采用了目标一致与目标变化(不能产生抑制)两种条件; 实验 2 对目标和干扰物的位置进行了操纵, 分为远和近(需要更多的抑制作用)两个维度; 实验 3 对干扰物的同质性和异质性(需要更多的抑制作用)进行了操纵。结果发现, 在不能产生抑制作用的实验 1 的变化条件下引起的 N2pc 与目标一致条件是没有显著差异的, 而在需要更多的抑制作用的实验 2 与实验 3 的两种条件下引发的 N2pc 与对比条件下的 N2pc 也没有显著差异, 并没有表现出对抑制程度的敏感性, 这与抑制说的假设是相违背的。因此, Mazza 等人认为, N2pc 反映的是基于目标特征的对任务相关刺激进行选择加工的过程, 而非对干扰物的抑制。

目标增强说只是片面的强调对任务相关刺激的选择加工, 而忽视了对来自周围干扰刺激信息的过滤或抑制, 也是比较片面的。并且, Mazza 等人(2009)的研究发现, 相同条件下较多干扰物所引起的 N2pc 波幅要远远大于较少干扰物引起的波幅, 这时的目标本身特征并没有变化。因此, 目标增强说并不能解释 N2pc 的差异, 而只能归因于不同数量的干扰物需要不同程度的抑制作用, 也就是说, Mazza 等人的研究也并不能完全排除对干扰物的抑制作用。

2.1.3 第三种理论

与以上两种理论所不同的是, Hickey 等人(2009)认为, 在视觉搜索中注意系统并不只是依靠单一的注意机制来发挥作用的, 而是以一种并行的机制发挥作用的。其中, 一类机制负责目标刺激加工, 而其它的机制则通过对干扰刺激的抑制而发挥作用。Hickey 等人进行了一系列实验来验证这一假设, 他们通过操纵目标刺激与干扰刺激的呈现位置(单侧视野与垂直中线)来获得或排除单侧效应, 从而成功分离出了 N2pc 所包含的两种成分—— P_D (distractor positivity)成分和 N_T (target negativity)成分, 其中 P_D 成分大约出现于刺激呈现后 200~280ms 之间, 是位于干扰刺激对侧的一个正波(也就是位于目标刺激同侧的负波), 头皮位置主要在背内侧皮层, 反映了与干扰刺激

的抑制相关的神经过程;而 N_T 成分则大约出现于刺激呈现后175~325ms之间(与 N_1 的时间窗口有所重叠),到达波峰的时间点要早于 P_D (250ms vs 289ms),是位于目标刺激对侧的一个负波,头皮位置主要在腹外侧皮层,反映了与目标刺激的加工相关的神经过程。并且,Hickey等人指出, N_T 成分所反映的目标加工过程有两种可能的解释:一种是这一过程可能是通过抑制干扰刺激信息向负责目标表征的神经细胞输入而实现的,这一解释与Luck等人(1997)的观点是一致的;另一种则是通过直接增强对目标刺激的加工而实现的。因此,N2pc既反映了对目标刺激的加工过程,也反映了对干扰刺激的抑制过程,两种过程是以一种并行的机制发挥作用的。

Hickey等人(2009)的研究为我们提供了关于N2pc的第三种理论,它不仅很好的调和了空间过滤加工理论与目标增强理论的争执,而且也更符合注意系统运行的经济性原则:在对外界刺激进行加工时,一方面,注意系统会根据当前的任务调用认知资源,并根据目标特征对潜在的目标刺激进行选择加工;而另一方面,注意系统又会限制认知资源向与当前任务无关的干扰刺激进行分配,抑制对干扰刺激的加工,这样,注意系统就会更有效率的加工与当前任务相关的目标刺激,从而更加有利于当前任务的完成。

2.2 获得N2pc的研究范式

当前关于空间注意的研究主要围绕知觉层面和视觉短时记忆层面进行探讨,所以,比较常见的N2pc的研究范式主要是视觉搜索范式和视觉短时记忆搜索范式及其变式。

2.2.1 视觉搜索(visual search)范式

视觉搜索范式是最早对N2pc进行研究时所采用的经典范式(Luck & Hillyard, 1994b),直到如今,其仍然是研究N2pc的主流范式。该任务的实验过程通常是,首先在屏幕上呈现一个目标与分心物混合的刺激序列,然后要求被试根据事先规定的目标对刺激序列进行搜索,最后判断刺激序列中是否存在目标或报告目标出现的位置,整个过程中,注视点始终出现在屏幕中央。

在此范式的基础上,又衍生出了一些该范式的变式,比如,在实验开始前并不告知被试什么是目标刺激,而是在刺激序列出现之前呈现一个目标指示物来提供目标特征信息,例如目标的颜

色或者形状(Kuo, Rao, Lepsien, & Nobre, 2009; Dell'Acqua, Sessaa, Toffaninb, Luriac, & Jolicoeur, 2009)。

2.2.2 线索-目标(cue-target)范式

视觉搜索范式只能用来探讨纯粹的视觉选择过程,但对于一些旨在探索注意的提前转移对目标选择的影响的研究,却是无能为力的,而线索-目标范式则弥补了这一缺陷。线索-目标范式实际上是一种位置线索提示程序与视觉搜索范式的结合,最早来源于Posner的损失与增益(costs and benefits)范式(Posner, 1980)。这里的提示线索与视觉搜索范式中的目标指示物的不同之处在于前者具有的是空间提示意义,能够提供目标的位置信息,而后者具有的是与目标刺激相同的特征,从而提供将要搜索的目标信息。这种空间线索一般以箭头的形式(Kiss et al., 2008; Seiss, Kiss, & Eimer, 2009)或者利用动态的颜色变化对目标位置进行线索化(Brisson & Jolicoeur, 2008; McDonald et al., 2009),箭头或颜色变化能够引导注意的转移,从而影响被试对目标的选择加工过程。

2.2.3 视觉短时记忆搜索(visual short-term memory search)范式

已有的fMRI研究表明,视觉搜索与视觉短时记忆搜索条件下所涉及的空间注意选择过程具有大体相同的神经机制(Nobre et al., 2004),这就为把Luck等人最初利用视觉搜索任务所发现的N2pc成分的研究扩展到记忆领域提供了依据(Luck & Hillyard, 1994a; Kuo et al., 2009; McDonald et al., 2009; Dell'Acqua et al., 2009)。

视觉短时记忆搜索范式与知觉条件下视觉搜索范式的刺激材料呈现顺序刚好相反,该实验程序是:首先在屏幕上呈现一个记忆序列,然后呈现一个被试所要搜索的目标提示线索(cue),这时被试要根据这一目标提示线索去回溯记忆序列,判断目标是否出现或其出现的位置(Kuo et al., 2009; McDonald et al., 2009; Dell'Acqua et al., 2009)。

2.3 N2pc的测量方法

N2pc的测量方法与其它ERP成分有所不同。实质上,N2pc是一种对侧减去同侧波形得到的差异波,具体来说就是:出现在对侧视野的目标在单侧脑后区域所引起的脑电反应要比同侧视野目标所引起的脑电反应更负。因此,N2pc的测量方法通常可以对多对电极点加以平均或者根据每对

电极点的显著性程度进行单独取点来求得,比如 PO7/PO8, P7/P8, P3/P4, TP7/TP8, O1/O2 等电极点 (Kuo et al., 2009; Brisson & Jolicoeur, 2007a; Dell'Acqua, Pesciarelli, Jolicoeur, Eimer, & Peressotti, 2007; Hickey et al., 2009; Kiss, Jolicoeur, Dell'Acqua, & Eimer, 2008)。下面我们以常见的 PO7/PO8 为例(Brisson and Jolicoeur, 2008; Hickey, McDonald, & Theeuwes, 2006; Kiss et al., 2008; McDonald et al., 2009)作进一步阐述。

首先,明确对侧、同侧。对侧、同侧是相对于脑区位置而言的。N2pc 实验设计中,目标必须是分布在单侧视野的,那么相对于 PO7(左半球)而言,左侧视野的目标即为同侧目标,而右侧视野的目标即为对侧目标;同理,相对于 PO8(右半球)来说,右侧视野的目标即为同侧目标,而左侧视野的目标即为对侧目标。然后,分别求出左半球脑区(PO7)与右半球脑区(PO8)条件下对侧、同侧波形的总平均。需要指出的是,这时求出的对侧与同侧波形是有脑区的左右之分的。最后,去脑区的单侧化,求出对侧和同侧波形的总平均。因为 N2pc 指的是对侧目标要比同侧目标在单侧脑后区域引起的波形更负,所以无论是左半球还是右半球,虽然所指的脑区位置是不同的,但其所对应的同侧和对侧目标在实质上是一致的,都指的是相应脑区的对侧和同侧。所以,我们就可以对左半球(PO7)与右半球(PO8)的同侧与对侧波形求平均,从而得到没有左右脑区之分的一个同侧波形和一个对侧波形(见图 1)。这时用对侧减去同侧做差异波分析就会在大约 200~300ms 之间观察到一个 N2pc 波(Dell'Acqua et al., 2009; Luck & Hillyard, 1994b; Woodman & Luck, 2003)。

2.4 N2pc 的源定位

早期利用 ERP 技术对 N2pc 定位研究发现, N2pc 大体上分布在脑后区域,并主要集中于枕叶皮层(Luck & Hillyard, 1994b),研究没有发现早期的顶叶来源,原因在于头骨所产生的电阻以及头皮的导电性,使得刺激所诱发的电压分布十分模糊。为了弥补 ERP 技术的这一缺陷, Hopf 等人(2000)利用在空间定位上更为精确的脑磁扫描技术(MEG)试图为 N2pc 提供更为详细的源定位信息。他们发现 N2pc 有两个不同的脑区来源:一个是早期的顶叶来源(180~200 ms);另一个是晚期

的枕-颞叶来源。这与人研究中顶叶涉及“启动对与任务相关刺激位置上引发的注意转移”(Corbetta, Shulman, Miezin, & Petersen, 1995)以及枕-颞叶涉及“注意选择的执行”(Heinze et al., 1994)的发现是一致的,进一步增加了 MEG 技术对 N2pc 源定位的可信性。

2.5 影响 N2pc 的因素探讨

2.5.1 搜索负荷对 N2pc 的影响

Jolicoeur, Brisson 和 Robitaille (2008)与 Kuo 等人(2009)的研究发现,无论是在视觉搜索还是在视觉短时记忆搜索条件下, N2pc 波幅对搜索负荷(2 个或 4 个)的变化并不敏感 (Kuo et al., 2009; Jolicoeur et al., 2008)。Kuo 等人认为,这或许是因为 N2pc 所反映的神经机制“对搜索序列中相互竞争的刺激数量相对不敏感”所致(Kuo et al., 2009)。Dell'Acqua 对视觉短时记忆搜索条件下 N2pc 波幅在高低负荷条件之间表现出来的一致性产生了质疑,认为其原因在于:与视觉搜索条件不同的是,在视觉短时记忆条件下,刺激序列的变大会相应增加记忆的负荷,而两个随机多边形的记忆负荷已经十分接近视觉短时记忆的容量了(Luria1, Sessa1, Gotler, Jolicoeur, & Dell'Acqua1, 2009)。为此, Dell'Acqua 等人(2009)分别在视觉搜索条件下和视觉短时记忆搜索条件下对刺激序列的大小(2 个和 4 个)进行了操作,结果发现,在视觉搜索条件下, N2pc 波形确实并没有随着负荷发生变化;然而在视觉短时记忆条件下, 4 个负荷条件下的 N2pc 波幅相对于 2 个负荷产生了相当程度的衰减,这可能是由于记忆负荷的增加大大降低了回溯搜索的效率而引起的。

然而, Mazza 等人(2009)的研究却发现视觉搜索任务中, N2pc 是会受到搜索负荷影响的。他们在两个实验中分别采用了 4 个、20 个与 5 个、21 个的搜索负荷,结果发现,高负荷条件下所得到的 N2pc 波幅要显著大于低负荷条件下的 N2pc 波幅。造成他们之间不同结论的原因可能是搜索负荷之间差异大小的不同造成的。

综上所述可以发现,在知觉条件下的视觉搜索任务中, N2pc 对搜索负荷是相对不敏感的,只有当其负荷差十分明显时,这种差异才会显现出来;而在视觉短时记忆条件下, N2pc 却对记忆负荷差相对较为敏感。

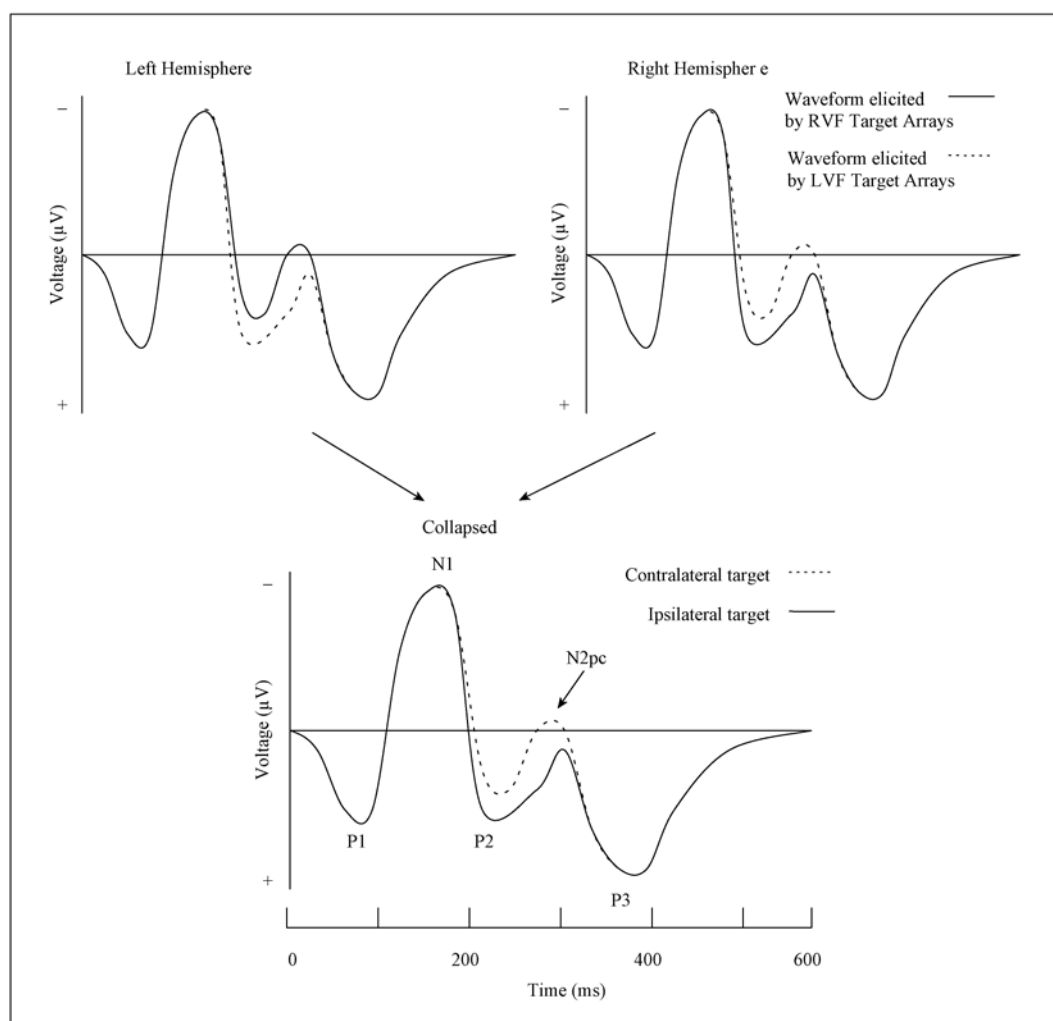


图1 N2pc 算法示意图

(引自 Woodman & Luck, 2003)

2.5.2 空间提示线索对 N2pc 的影响

空间提示线索一般可分成两类,一类是内源性线索,另一类是外源性线索。Kiss 等人(2008)利用线索-目标(cue-target)范式研究了内源性线索对 N2pc 的影响。线索是以箭头的形式出现的,并且总能有效提示目标出现的位置,从而引导注意的转移。结果发现,具有提示线索的试次与没有提示线索试次之间所引起的 N2pc 在潜伏期和波幅之间都没有显著差异。Brisson 和 Jolicoeur (2008)与 Seiss 等 (2009)等人则探讨了线索的有效性对 N2pc 的影响,实验中能够正确指示目标位置的有效线索试次占大部分(60%和 66.6%),结果发现线

索的有效与否也对 N2pc 并没有影响。这些研究说明 N2pc 与内源性线索所造成的注意的提前转移联系并不密切,它所反映的神经机制与这种注意转移是两种不同的神经过程。

然而,McDonald 等人(2009)在对返回抑制现象的一项研究中发现,外源性线索会对 N2pc 产生不同的影响。这种外源性线索与 Kiss 等人研究中的线索的不同之处在于,它与目标位置没有必然的联系,因而与任务是无关的。当线索能够有效提示目标位置时,会引发较小的 N2pc;而当线索不能有效提示目标位置时,则会引发较大的 N2pc。

由此我们可以发现,外源性线索与内源性线索对视觉选择的影响是不同的,这可能是由于外源性线索是以一种自下而上的方式来俘获注意的,是不受意识与当前活动目的所控制的,它相对于内源性提示线索的自上而下的运行机制会给随后的目标加工带来更大的不确定性,从而对 N2pc 产生更为明显的影响。

2.5.3 刺激材料的性质

很多研究发现,刺激材料的性质也会对 N2pc 的波幅产生影响。首先,干扰刺激与目标刺激的相似程度可以影响 N2pc。Luck 等人的研究发现,与目标刺激具有较高相似性的干扰刺激同样会引发 N2pc,但其波幅要小于目标引起的 N2pc 波幅;而与目标刺激具有较高区分度的干扰刺激却不能引发 N2pc (Luck & Hillyard, 1994a, 1994b)。原因可能是:具有较高相似性的干扰刺激与目标刺激分享了较多的共同特征,从而会引发注意系统对这些共同特征进行加工,而直到经过进一步的辨别加工发现它并不是目标刺激时才会将其排除,从而引发了一定程度的 N2pc;而具有较高区分度的干扰刺激,与目标刺激具有明显不同的特征,因而可以很快的被作为干扰刺激而排除掉,从而不会引发显著的 N2pc 效应。

其次,目标的定义方式也会影响 N2pc。Luck 等人(1995, 1997, 1998)的研究发现,当目标刺激是以几个特征结合的方式定义时(比如,绿色的、水平长条),要比单个特征定义的目标刺激(比如,绿色长条)引起的 N2pc 更大。这可能的解释是:注意系统在对以几个特征结合的目标进行加工时,进行的是多个维度的特征加工,这就要比单个特征的目标加工占用更多的注意资源(Treisman & Gelade, 1980),从而会引起更大的 N2pc。

2.5.4 任务设计的不同

研究发现,辨别任务相对于探测任务会引发更大的 N2pc。如果实验中要求被试报告目标刺激出现的位置,那么这种任务要求就要比仅仅要求被试判断目标是否存在所引起的 N2pc 更大(Luck et al., 1997)。这可能的解释是:报告目标位置时,除了要判断目标是否存在以外,还要进一步确认目标出现的位置,这个过程可能耗费了更多的注意资源。

以上是当前对 N2pc 有显著影响的几个重要因素的探讨。虽然我们尽可能的列出了 N2pc 的影

响因素,但影响 N2pc 的因素还远不止于此,未来尚需要更多、更精细的实验研究来进一步挖掘。

3 以 N2pc 为指标对视觉空间注意的神经机制的研究

近年来, N2pc 的相关研究与日俱增,所涉及的研究领域也不断扩展,但总的来说,可以分为与视觉空间注意相关的基础性研究和应用性扩展研究两大类。

3.1 与视觉空间注意相关的基础性研究

由于 N2pc 具有明确的功能意义,它在对空间注意神经机制的基础性研究中有着其它 ERP 成分所不具有的独特优势,因此,当前的许多基础性研究也是以 N2pc 为视觉空间注意的指标来进行研究的。

第一,情绪面孔的研究。Holmes 等人(2009)与 Feldmann-Wüstefeld 等人(2011)利用 N2pc 为指标对愤怒面孔的探测优势效应进行了研究,发现相对于高兴面孔,愤怒面孔会引起更早更大的 N2pc,也就是说愤怒面孔相比于高兴面孔不仅能得到更多的注意分配,而且被探测到的时间也更快,这为愤怒面孔的探测优势效应提供了直接的脑电证据支持。而且,愤怒面孔不仅具有探测优势效应, Fenker 等人(2010)的研究还发现,愤怒面孔还能够以一种自下而上的方式俘获注意。在实验中,让被试进行一项辨别任务,而愤怒面孔是与任务无关的,但是却能引发显著的 N2pc,说明与任务无关的愤怒面孔能够以一种自动的方式影响注意加工过程,并且这种影响是不受与任务相关的注意加工的影响的。除了愤怒面孔的研究,也有研究者利用 N2pc 对与任务无关的恐惧面孔的注意加工机制进行了探讨,与 Fenker 等人的研究不同的是,该研究中不是所有的试次都需要进行任务操作。研究发现,在不需要任务操作时与任务无关的恐惧面孔能够引发较显著的 N2pc,但是和与任务无关的愤怒面孔所不同的是,当需要进行任务操作时,恐惧面孔所引起的 N2pc 会产生明显的衰减,表明虽然与任务无关的恐惧面孔能够自动地俘获注意,但是却会受到当前的目标加工过程的影响(Eimer & Kiss, 2007)。

第二,刺激加工性质的探讨。Hickey 等人(2006)的研究发现,当干扰刺激与目标刺激处于相反的两个视野中时,比目标更为突出的干扰刺

激能够先于目标刺激引发一个显著的N2pc,表明这种高度突出的干扰刺激能够以一种自下而上的方式早于目标刺激俘获注意。但是这一结果并不能排除自上而下的加工过程对干扰刺激俘获注意的影响,Holguín 等人(2009)就揭示了任务相关性这一自上而下的加工过程对注意俘获的影响,他们发现,只有当新异刺激与当前任务相关而不能完全作为干扰刺激被排除时,才能引发显著的N2pc。更有力的支持来自于采用线索-目标范式的研究,研究发现,只有当线索序列中的无关刺激与当前任务设置的目标刺激匹配时,无关刺激才能引发N2pc,表明了任务设置这一自上而下的神经机制对注意俘获的决定性作用(Eimer & Kiss, 2010; Kiss & Eimer, 2011; Ansorge, Kiss, Worschech, & Eimer, 2011)。

上述的刺激加工性质的研究,仅仅局限于对无关刺激加工机制的探讨,而任务设置对目标刺激选择加工的影响则是有所不同的。Eimer 等人(2011)研究发现,当被试事先知道目标特征时,在进行视觉搜索时,非目标刺激干扰作用的存在与否对目标所引起的N2pc并没有显著影响;而当被试事先并不知道目标特征,这时目标的加工就会受到非目标刺激的干扰,引起N2pc的严重衰减以及潜伏期的延后。这些结果表明,事先获悉目标特征这种自上而下的认知过程能够迅速解决注意竞争,抑制无关刺激吸引注意,从而促进目标的选择加工。

第三,视觉短时记忆中空间注意分配的研究。已有的fMRI研究表明,视觉搜索与视觉短时记忆搜索条件下所涉及的空间注意选择过程具有大体相同的神经机制(Nobre et al., 2004),而以N2pc为指标的ERP研究再次验证了这一结论:视觉短时记忆搜索与视觉搜索条件下对目标进行选择时,所引起的N2pc在波幅和潜伏期上是大体相同的(Dell'Acqua et al., 2009; Kuo et al., 2009)。而Kumar 等人(2009)则从另一个角度出发,研究了工作记忆中存储的记忆项目对随后视觉搜索中的目标加工的影响,发现当目标出现在记忆项目同侧时,所引起的N2pc要比目标出现在记忆项目对侧或者记忆项目不在搜索序列中出现时更大,潜伏期也要更短,说明工作记忆可以调节刺激间的相互竞争并以此来决定目标选择的效率。

3.2 与视觉空间注意相关的应用性扩展研究

除了基础性研究领域,N2pc的应用也逐渐向与实践活动结合更加紧密的研究领域扩展,并不断展现出它的优势。

第一,特殊群体的注意偏向研究。Fox 等人(2008)以N2pc为指标探讨了特质焦虑个体对威胁性刺激的注意偏向,结果发现,高水平特质焦虑个体在认知加工的早期阶段就表现出了更强的对威胁性刺激的注意偏向,从而弥补了以往研究在动态加工过程上证据不足的问题。而关于恐血症患者注意偏向的研究则更能表现出N2pc的特性优势。先前的关于恐血症个体注意偏向的研究,并没有得到相应的行为上或者是脑电证据的支持(Buodo, Peyk, Junghöfer, Palomba, & Rockstroh, 2007; Sawchuk, Meunier, Lohr, & Westendorf, 2002),Buodo 等人(2010)利用N2pc再次对这一问题进行了研究,发现相对于控制组,恐血症被试对创伤流血刺激较其它刺激会引发更大的N2pc,从而证明了恐血症个体确实存在对于流血相关刺激的注意偏向。

以上关于特殊群体注意偏向及其调节因素的研究表明,特质焦虑个体或恐血症患者所具有的异常行为很大程度上可能源于他们特殊的注意偏向,这种偏向使他们更容易去识别、发现相关的消极刺激,并且表现出脱离困难以及更容易进行进一步的深层次加工。这些研究可以为我们洞悉特殊群体的内在神经机制、临床表现以及心理干预和治疗提供很好的理论与实验证据。

第二,视觉空间注意功能的老龄化研究。N2pc在空间注意能力的退化方面也有所应用,Lorenzo-López 等人(2008)研究发现,老年人被试相对于年轻被试对目标刺激所引起的N2pc要更小,并且表现出了明显的延迟,表明视觉空间注意的分配能力会随着年龄的增长而逐渐退化;同时,无关干扰刺激并没有引发N2pc,也弥补了以往研究中认为老年人反应速度及准确性降低是由于注意力集中以及抑制无关刺激能力退化的观点的缺陷。

第三,奖励对视觉选择的调节作用。相关研究发现,奖励等动机性因素对N2pc具有显著的调节作用。Kiss 等人(2009)把对不同目标的正确反应与不同水平的奖励相结合,结果发现,相对于低水平奖励的目标,高水平奖励的目标会引起

更早更大的 N2pc (Kiss, Driver, & Eimer, 2009)。Hickey 等人(2010)的研究把不同的颜色与不同水平的奖励相结合,而以形状来定义目标特征,从而使得颜色成为任务无关特征,发现只有当分心物颜色与高水平奖励的颜色一致时,才会引起 N2pc,而当与低水平奖励的颜色一致时,则不会引发 N2pc,因此,该研究认为,奖励对视觉选择具有一种不受策略与内源性注意控制等因素制约的直接影响。

4 小结与展望

N2pc 具有明确的功能意义,反映了在视觉搜索过程中对当前任务相关刺激的选择加工,它对刺激材料呈现方式的要求以及它的测量方法都有其独特性,并且, N2pc 的波幅及潜伏期会受到诸多因素的影响。因此, N2pc 是一个重要但又尚需要系统、深入研究的 ERP 成分。目前,虽然 N2pc 在空间注意领域得到了越来越多的关注和应用,但在迅速发展的同时,也存在很多不足和值得进一步探讨的地方。

首先,当前的 N2pc 研究,更多的还是集中在视觉空间注意加工过程的基础性领域,并且在这些基础性研究中,对 N2pc 自身特性以及影响因素等方面的系统研究也不够成熟。具体表现在:

第一,已有的文献表明, N2pc 确实会受到诸多因素的影响,因此,在实验研究中,怎样结合实验目的,对影响 N2pc 的诸多因素进行有效的实验控制,是研究者要考虑的关键问题。另外,目前影响 N2pc 的因素还没有完全弄清楚,因此,对影响因素还需要进行系统思考,以尽可能挖掘出其它潜在的影响因素,从而能更好的避免实验过程中无关因素的潜在影响。还有,需要指出的是,现有的关于 N2pc 影响因素的研究,多集中于对 N2pc 的波幅差异的比较上,对其潜伏期影响因素的研究相对较少,潜伏期的差异能够为我们提供注意分配的时间信息 (Brisson, Robitaille, & Jolicoeur, 2007),并能充分发挥出 ERP 技术在时间精确性上的优势,也具有较大的应用价值。因此,对潜伏期影响因素的研究应该成为今后研究者关注的一个焦点。

第二, N2pc 的脑定位在方法上多以 ERP 的源定位为主,但该方法的空间定位精确性相对较差,虽然 MEG 技术(如 Hopf et al., 2000)可以在一定程

度上弥补它的缺陷,但相关研究并不多见,未来可以通过多种技术手段的整合来实现更精确的定位,特别是利用 fMRI 和 MEG、ERP 技术的结合,弥补彼此的不足,以更精确的揭示视觉选择机制的脑定位问题,这应该成为一个重要的思考方向。

第三,已有研究利用 N2pc 探讨了听觉干扰对视觉信息选择的影响 (Gherri & Eimer, 2011),但绝大多数的 N2pc 研究还是都集中在视觉领域,而在其它感觉通道上(如,听觉)是否也存在这种单侧效应还是未知的,能否扩展以及怎样去扩展 N2pc 的跨通道研究,也是值得思考的一个问题。

其次,以前关于 N2pc 的研究主要以基础性研究居多,因此, N2pc 的实验任务和研究材料多以简单的几何图形为主,这自然导致它们所能反映出的社会性意义十分有限,只能反映出一些基本的认知过程。未来的研究应该在不断扩展 N2pc 研究领域的同时,结合实验目的引入一些外部生态效度比较高的实验材料(比如,情绪面孔图片、生活场景图片等),从而探索更为广阔领域的人类注意系统的视觉选择机制。

另外,常见的 N2pc 研究多以视觉搜索为主要的实验范式,虽然它对刺激材料的空间分布以及干扰刺激的伴随出现有其特殊要求,但结合 N2pc 的特性不难发现, N2pc 可应用的实验范式还是比较灵活的,比如,返回抑制任务 (McDonald et al., 2009; Dell'Acqua et al., 2009)、双任务范式 (Kumar et al., 2009)。因此,未来的研究应该在经典实验范式的基础上,根据实验目的进行改进或者进一步创新。

最后, N2pc 的应用性扩展研究目前虽然已经开始兴起,但还相对不足。未来的 N2pc 研究,应该在做好基础性研究的同时,更多的向应用性较强的领域扩展。例如,不同人格特质个体(如,焦虑、高攻击性个体)的注意机制研究就是一个值得重点关注的领域。目前。在这方面已经有一些研究,但还不够深入。例如,虽然已有研究对特质焦虑个体的注意机制进行了探讨(如, Fox et al., 2008),但特质焦虑与真正的焦虑症患者是不同的,焦虑症患者在程度及其临床表现上都要比特质焦虑个体更为严重,这种差异是否可以从注意机制的区别上找到原因,还需要进行更为深入的研究;再比如,高攻击性特质的暴力犯罪者,他们的暴

力攻击行为是否与其注意机制有关, 也可以通过 N2pc 的研究来得到证实; 还比如, 动机性因素对人的行为具有重要的调节作用, 而动机性因素对视觉选择机制的调节等相关研究目前还比较少见。虽然已有一些关于奖励对注意选择机制调节的研究(如, Kiss et al., 2009; Hickey et al., 2010), 但其他的动机性因素, 比如情绪性动机等, 还没有研究者利用 N2pc 对其进行研究。

参考文献

- Ansorge, U., Kiss, M., Worschech, F., & Eimer, M. (2011). The initial stage of visual selection is controlled by top-down task set: New ERP evidence. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 73, 113–122.
- Brisson, B., & Jolicoeur, P. (2007a). Electrophysiological evidence of central interference in the control of visuospatial attention. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14, 126–132.
- Brisson, B., & Jolicoeur, P. (2007b). The N2pc component and stimulus duration. *NeuroReport*, 18, 1163–1166.
- Brisson, B., & Jolicoeur, P. (2007c). Cross-modal multitasking processing deficits prior to the central bottleneck revealed by event-related potentials. *Neuropsychologia*, 45, 3038–3053.
- Brisson, B., & Jolicoeur, P. (2008). Express attentional re-engagement but delayed entry into consciousness following invalid spatial cues in visual search. *PLoS ONE*, 3, e3967.
- Brisson, B., Robitaille, N., & Jolicoeur, P. (2007). Stimulus intensity affects the latency but not the amplitude of the N2pc. *NeuroReport*, 18, 1627–1630.
- Buodo, G., Peyk, P., Junghöfer, M., Palomba, D., & Rockstroh, B. (2007). Electromagnetic indication of hypervigilant responses to emotional stimuli in blood-injection-injury fear. *Neuroscience Letters*, 424, 100–105.
- Buodo, G., Sarlo, M., & Munafò, M. (2010). The neural correlates of attentional bias in blood phobia as revealed by the N2pc. *Social Cognitive and Affective Neuroscience*, 5, 29–38.
- Corbetta, M., Shulman, G. L., Miezin, F. M., & Petersen, S. E. (1995). Superior parietal cortex activation during spatial attention shifts and visual feature conjunction. *Science*, 270, 802–805.
- Dell'Acqua, R., Pesciarelli, F., Jolicoeur, P., Eimer, M., & Peressotti, F. (2007). The interdependence of spatial attention and lexical access as revealed by early asymmetries in occipito-parietal ERP activity. *Psychophysiology*, 44, 436–443.
- Dell'Acqua, R., Sessa, P., Jolicoeur, P., & Robitaille, N. (2006). Spatial attention freezes during the attentional blink. *Psychophysiology*, 43, 394–400.
- Dell'Acqua, R., Sessa, P., Toffanin, P., Luriac, R., & Jolicoeur, P. (2009). Orienting attention to objects in visual short-term memory. *Neuropsychologia*, 2, 419–428.
- Eimer, M. (1996). The N2pc component as an indicator of attentional selectivity. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 99, 225–234.
- Eimer, M., & Kiss, M. (2007). Attentional capture by task-irrelevant fearful faces is revealed by the N2pc component. *Biological Psychology*, 74, 108–112.
- Eimer, M., & Kiss, M. (2010). Top-down search strategies determine attentional capture in visual search: Behavioral and electrophysiological evidence. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 72, 951–962.
- Eimer, M., Kiss, M., & Nicholas, S. (2011). What top-down task sets do for us: An ERP study on the benefits of advance preparation in visual search. *Journal of Experimental Psychology. Human Perception and Performance*, 37, 1758–1766, doi:10.1037/a0024326.
- Feldmann-Wüstefeld, T., Schmidt-Daffy, M., & Schubö, A. (2011). Neural evidence for the threat detection advantage: Differential attention allocation to angry and happy faces. *Psychophysiology*, 48, 697–707.
- Fenker, D. B., Heipertz, D., Boehler, C. N., Schoenfeld, M. A., Noesselt, T., Heinze, H. J., et al. (2010). Mandatory processing of irrelevant fearful face features in visual search. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22, 2926–2938.
- Fox, E., Derakshan, N., & Shoker, L. (2008). Trait anxiety modulates the electrophysiological indices of rapid spatial orienting towards angry faces. *NeuroReport*, 3, 259–263.
- Gherri, E., & Eimer, M. (2011). Active listening impairs visual perception and selectivity: An ERP study of auditory dual-task costs on visual attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 23, 832–844.
- Heinze, H. J., Mangun, G. R., Burchert, W., Hinrichs, H., Scholz, M., Münte, T. F., et al. (1994). Combined spatial and temporal imaging of brain activity during visual selective attention in humans. *Nature*, 372, 543–546.
- Hickey, C., Chelazzi, L., & Theeuwes, J. (2010). Reward changes salience in human vision via the anterior cingulate. *The Journal of Neuroscience*, 30, 11096–11103.
- Hickey, C., Di Lollo, V., & McDonald, J. J. (2009). Electrophysiological indices of target and distractor processing in visual search. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21, 760–775.
- Hickey, C., McDonald, J. J., & Theeuwes, J. (2006).

- Electrophysiological evidence of the capture of visual attention. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 18, 604–613.
- Holguín, S. R., Doallo, S., Vizoso, C., & Cadaveira, F. (2009). N2pc and attentional capture by colour and orientation-singletons in pure and mixed visual search tasks. *International Journal of Psychophysiology*, 73, 279–286.
- Holmes, A., Bradley, B. P., Nielsen, M. K., & Mogg, K. (2009). Attentional selectivity for emotional faces: Evidence from human electrophysiology. *Psychophysiology*, 46, 62–68.
- Hopf, J. M., Luck, S. J., Girelli, M., Hagner, T., Mangun, G. R., Scheich, H., et al. (2000). Neural sources of focused attention in visual search. *Cerebral Cortex*, 10, 1233–1241.
- Jolicoeur, P., Brisson, B., & Robitaille, N. (2008). Dissociation of the N2pc and sustained posterior contralateral negativity in a choice response task. *Brain Research*, 1215, 160–172.
- Jolicoeur, P., Sessa, P., Dell'Acqua, R., & Robitaille, N. (2006a). On the control of visual spatial attention: Evidence from human electrophysiology. *Psychological Research*, 70, 414–424.
- Jolicoeur, P., Sessa, P., Dell'Acqua, R., & Robitaille, N. (2006b). Attentional control and capture in the attentional blink paradigm: Evidence from human electrophysiology. *European Journal of Cognitive Psychology*, 18, 560–578.
- Kiss, M., Driver, J., & Eimer, M. (2009). Reward priority of visual target singletons modulates event-related potential signatures of attentional selection. *Psychological Science*, 20, 245–251.
- Kiss, M., & Eimer, M. (2011). Attentional capture by size singletons is determined by top-down search goals. *Psychophysiology*, 48, 784–787.
- Kiss, M., Jolicoeur, P., Dell'Acqua, R., & Eimer, M. (2008). Attentional capture by visual singletons is mediated by top-down task set: New evidence from the N2pc component. *Psychophysiology*, 45, 1013–1024.
- Kiss, M., van Velzen, J., & Eimer, M. (2008). The N2pc component and its links to attention shifts and spatially selective visual processing. *Psychophysiology*, 45, 240–249.
- Kuo, B. C., Rao, A. L., Lepsien, J., & Nobre, A. C. (2009). Searching for targets within the spatial layout of visual short-term memory. *Journal of Neuroscience*, 29, 8032–8038.
- Kumar, S., Soto, D., & Humphreys, G. W. (2009). Electrophysiological evidence for attentional guidance by the contents of working memory. *European Journal of Neuroscience*, 30, 307–317.
- Lorenzo-López, L., Amenedo, E., & Cadaveira, F. (2008). Feature processing during visual search in normal aging: Electrophysiological evidence. *Neurobiology of Aging*, 29, 1101–1110.
- Luck, S. J. (2005). *An introduction to the event-related potential technique*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Luck, S. J. (2005). The operation of attention-millisecond by millisecond-over the first half second. In H. Ogmen & B. G. Breitmeyer (Eds.), *The first half second: The microgenesis and temporal dynamics of unconscious and conscious visual processes*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Luck, S. J., & Ford, M. A. (1998). On the role of selective attention in visual perception. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 95, 825–830.
- Luck, S. J., Girelli, M. T., McDermott, M. A., & Ford, M. A. (1997). Bridging the gap between monkey neurophysiology and human perception: an ambiguity resolution theory of visual selective attention. *Cognitive Psychology*, 33, 64–87.
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994a). Spatial filtering during visual search: Evidence from human electrophysiology. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 20, 1000–1014.
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994b). Electrophysiological correlates of feature analysis during visual search. *Psychophysiology*, 31, 291–308.
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1995). The role of attention in feature detection and conjunction discrimination: An electrophysiological analysis. *International Journal of Neuroscience*, 80, 281–297.
- Luria, R., Sessa, P., Gotler, A., Jolicoeur, P., & Dell'Acqua, R. (2009). Visual short-term memory capacity for simple and complex objects. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22, 496–512.
- Mazza, V., Turatto, M., & Caramazza, A. (2009). Attention selection, distractor suppression, and N2pc. *Cortex*, 45, 879–890.
- McDonald, J. J., Hickey, C., Green, J. J., & Whitman, J. C. (2009). Inhibition of return in the covert deployment of attention: Evidence from human electrophysiology. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 21, 725–733.
- Nobre, A. C., Coull, J. T., Vandenberghe, R., Maquet, P., Frith, C. D., & Mesulam, M. M. (2004). Directing attention to locations in perceptual versus mental representations. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16, 363–373.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 3–25.
- Robitaille, N., & Jolicoeur, P. (2006). Fundamental properties of the N2pc as an index of spatial attention:

- Effects of masking. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 60, 79–89.
- Sawchuk, C. N., Meunier, S. A., Lohr, J. M., & Westendorf, D. H. (2002). Fear, disgust, and information processing in specific phobia: The application of signal detection theory. *Journal of Anxiety Disorders*, 16, 495–510.
- Seiss, E., Kiss, M., & Eimer, M. (2009). Does focused endogenous attention prevent attentional capture in pop-out visual search? *Psychophysiology*, 46, 703–717.
- Treisman, A. M., & Gelade, G. (1980). A feature-integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, 12, 97–136.
- Woodman, G. F., & Luck, S. J. (1999). Electrophysiological measurement of rapid shifts of attention during visual search. *Nature*, 400, 867–869.
- Woodman, G. F., & Luck, S. J. (2003). Serial deployment of attention during visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 29, 121–138.

Studies on the N2pc Component in Visual Spatial Attention

YAO Shu-Xia¹; YANG Dong¹; Qi Sen-Qing¹; LEI Yan¹; Cody Ding^{1,2}

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

(² University of Missouri, St. Louis 63121, USA)

Abstract: The N2pc component is closely associated with spatially selective attention and is known to reflect the deployment of spatial attention to task-relevant stimuli. Studies investigating the properties of N2pc mainly focused on, but not limited to, its theoretical explanations, methods of measurement, neural sources, and influencing factors. The experimental paradigms of N2pc primarily consist of visual search and visual short-term memory search. Studies using N2pc as a tool could be divided into two aspects. One was the basic studies that investigated the relevant processing of visual spatial attention. A second centered more on applied research, which was also closely related to the processing of visual spatial attention. The future N2pc studies should further investigate its properties and promote both basic and applied research.

Key words: spatial attention; N2pc; spatial filtering theory; target enhancement theory