



选择性注意对无意识加工的调节作用及潜在机制*

吴禧芊^{1,2)} 张西磊^{1,2)**} 蒋毅^{1,2)} 王亮^{1,2)}

(¹⁾ 中国科学院心理研究所, 北京 100101; (²⁾ 中国科学院大学心理学系, 北京 100049)

摘要 意识和无意识经常被看作是动态转换的一体两面, 理解意识与无意识相互转换的认知神经机制是当今科学的重大挑战。注意在这个转换过程中发挥关键作用。但是, 过往研究主要关注注意对意识的影响, 而注意对无意识过程的影响长久以来被忽略了。一个曾比较流行的观点认为无意识加工过程是自动化的, 不受注意的调节。然而, 该观点近来被逐渐抛弃。在视觉传递通路中, 注意可以调节源眼信息、朝向信息的无意识加工过程; 在语义系统中, 注意能自上而下地增强目标关联性强的, 并抑制目标关联性弱的无意识语义过程; 在情绪系统中, 除了目标关联性之外, 由注意负荷操纵的注意供给水平也能调节意识下的情绪加工过程。这些研究有助于更充分理解注意与意识的关系。综合来看, 注意既可能是产生意识的必要条件, 也可能是(某些)无意识加工的必要条件。未来应深入研究注意调节无意识过程的认知和神经机制, 尤其是这些机制在不同注意类型和不同感觉通道间的共性和个性。

关键词 注意, 无意识加工, 视觉加工, 语义加工, 情绪, 注意敏化模型

中图分类号 B842

DOI: 10.16476/j.pibb.2024.0025

理解意识的产生机制是当今科学的重大挑战。复杂的生存环境使得人类每时每刻都面对着大量的感觉输入, 只有少部分进入意识, 大部分则处于无意识。就像冰山一样, 意识过程是浅露在水面之上的冰山头, 无意识过程则是隐藏在水下巨大的底座。理解意识的产生过程必须理解信息在无意识与意识状态之间转换的认知与神经机制。在这个转换过程中, 注意发挥着关键作用^[1], 不仅帮助近阈刺激更容易进入意识, 而且能进一步提高阈上信息的加工深度^[2-6]。然而, 注意是否也改变了无意识过程? 相比近阈限和阈上过程, 注意对无意识过程的影响长久以来被忽略了。研究注意对无意识信息加工的影响对于理解注意在意识产生过程中的作用以及注意与意识的关系十分必要。

此外, 无意识过程的组织和调节过程与人类的生存和发展密切相关。例如, 快速的无意识情绪过程(如无意识恐惧)虽利于快速应对威胁提高生存机会, 但过度而不受控制的无意识情绪却可能导致焦虑症、恐怖症等精神障碍^[7], 反复的知觉和行为训练虽通过形成高度自动化的无意识过程而提高效率, 但过于顽固的无意识过程也会反过来妨碍新

技能的学习。研究注意对这些无意识过程的调节作用有助于开发新型干预方法来维护心理健康、提高行为绩效。相比其他感觉模态, 视觉是人类加工环境信息的主要通道, 视觉所介导的信息也会无意识地激活语义、情绪等认知系统, 同时, 研究无意识视觉加工过程的研究范式最完备、研究成果也最充分。鉴于此, 本综述主要梳理注意调节视觉所介导的无意识加工过程(主要包含视觉加工本身、语义加工和情绪加工)的相关研究。

1 注意的定义及机制

注意被认为是一种允许大脑选择某些信息并进行充分加工的认知机制^[8]。注意有多种类型, 分别对应于不同的维度。一个维度是依据被注意信息的来源将注意划分为外源性注意(external

* 科技创新 2030 (2021ZD0204200, 2021ZD0203800), 国家自然科学基金(32100863, 32020103009, 31830037)和中国科学院心理研究所自主部署项目(E1CX1910)资助。

** 通讯联系人。

Tel: 18614060167, E-mail: zhangxilei@psych.ac.cn

收稿日期: 2022-01-20, 接受日期: 2024-04-01

attention) 和内源性注意 (internal attention), 取决于注意选择的信息是来自外部感觉刺激输入还是内部已有的信息; 另一维度是根据信息选择的主动性/被动性将注意划分为目标导向的注意 (goal-directed attention) 和刺激驱动的注意 (stimulus-driven attention), 前者基于任务或计划主动地进行信息选择, 后者基于刺激的显著性水平被动地被信息捕获^[9]。对于外在刺激 (如一张视觉图片), 注意既可以被动地不自主地被它捕获, 又可以按照计划主动地受控制地指向它。最近研究表明, 目标导向性和刺激驱动性注意选择机制同样适用于内在的信息表征^[10]。在已有文献中, 刺激驱动的注意如何调节无意识活动, 尤其是如何调节内在信息的无意识加工过程, 在很大程度上还是空白, 过往研究尚未关注刺激驱动的注意如何调节其他无意识过程。因此, 本文主要总结目标引导的选择性注意如何调节外在刺激诱发的无意识活动。

目标驱动的注意可以被指向特定的空间位置、知觉特征或其他与任务相关的信息, 对应于既部分重叠又不完全相同的神经机制。当把注意指向空间位置, 对脑损伤病人和健康人群的神经影像学研究表明, 额上皮层和顶叶皮层等区域参与空间注意对视觉反应的调节^[11-13]。功能性磁共振成像 (fMRI) 研究中也发现, 将注意力指向特定空间位置的过程中, 顶叶皮层和额叶皮层表现出持续的反应^[14]。指向特征的注意是否与空间注意采用共同的神经机制一直存在争论。大量的研究都支持其与注意空间位置时涉及的额顶网络存在明显重叠: 将注意力指向客体特征时也会导致额上 (superior frontal) 和后顶叶皮层 (posterior parietal) 活动的增加^[15-16]。有一些研究则发现, 两种注意涉及的额顶网络存在特异性: 额顶叶网络的某些区域, 如顶叶上部 (superior parietal)、额上以及双侧楔前叶 (bilateral precuneus) 可能特异于空间注意, 在注意空间位置时表现得更为活跃^[17-19]。当人们根据信息和特定任务的相关性进行注意选择时, 被认为由顶内沟 (intraparietal sulcus) 和额叶视区 (frontal eye fields) 负责控制^[20-21]。虽然不同的注意控制涉及的神经机制存在些许差异, 但值得注意的是, 不论何种注意控制过程, 额顶网络都发挥着重要的作用。

注意资源的容量是有限的, 许多信息在相互竞争注意资源的过程中此消彼长。Lavie 等^[22-23] 提出的负荷理论 (load theory) 认为存在两种选择性注

意机制: a. 在高知觉负荷 (high perceptual load) 时, 注意资源被耗尽, 导致很难处理许多其他未被注意的信息; b. 在低知觉负荷 (low perceptual load) 时, 注意资源更有可能溢出至其他计划外的信息, 并使之得到加工。有时, 人们甚至需要有意识地抑制这些与任务无关的信息来克服注意的溢出。在已有研究注意对无意识过程调节作用的文献中, 研究者不仅通过控制注意的指向揭示注意“全或无”的区别, 也通过操纵任务负荷研究注意“多与少”的区分。使用这些方法, 研究者对比了不同注意条件下无意识加工过程所引起的行为、电生理或神经影像上的差异, 从而揭示注意对无意识过程的调节作用及潜在机制。

2 无意识加工过程的范围和限制

无意识是与意识相对立的过程。研究者们可以通过多种方式呈现视觉刺激, 使它们处于无意识状态。这些方式主要分为两类。一类使刺激在知觉水平上无法检测, 如双眼竞争、掩蔽等。双眼竞争范式中, 分别向两只眼睛呈现不同的刺激, 左眼和右眼接收的刺激相互竞争, 在一段时间内, 只有一只眼睛的刺激占据优势最终进入意识。与双眼竞争范式不同, 掩蔽范式通过在短暂呈现的目标刺激之后再出现另一个刺激, 使目标刺激被掩蔽刺激掩盖而变得不可见。相比之下, 另一类利用注意资源的有限性使刺激处于无意识状态, 如注意瞬脱范式: 快速呈现的刺激流中, 紧跟着第一个目标刺激出现的第二个目标因为得不到足够的注意而难以被检测出。

在输入大脑的海量信息中, 只有少部分得到充分加工进入意识, 大部分都局限于无意识加工, 但其加工范围还存在争议^[24]。以视觉信息加工为例, 大脑对视觉信息的处理遵循着层级加工的原则。进入视网膜的信息携带源眼标记 (即标记图像来自哪只眼睛的神经信号), 然后经由外侧膝状体传递给初级视觉皮层 (V1), 负责分辨亮度、对比度、颜色、单个物体的朝向和运动方向等低阶视觉信息。然后信息通过两种皮层视觉处理流进行加工: 一种是背侧的、与动作相关的“无意识”流, 另一种是腹侧的、与感知相关的“意识”流。腹侧流处理空间中物体的颜色、形状和相关属性的信息, 而背侧流处理空间中物体的绝对大小、方向和视点相关属性的信息^[25]。腹侧流过程通常与视觉意识相关, 病变会损害视觉感知, 但视觉运动控制完好, 背侧

流可以在没有视觉意识时处理信息，背侧流的病变会损害视觉运动控制，同时保持视觉感知完好无损^[26]。

初级视觉过程的无意识加工存在确凿的证据，但高级皮层中的无意识过程加工还存在很多争议。Zou等^[27]研究发现，早期视觉皮层能够加工不可见光栅的朝向信息，但该信息无法到达额叶和顶叶等高级脑区。然而，最近一项使用神经网络模型对fMRI数据进行解码并定位无意识内容神经表征的研究发现，无意识内容可以从分布在腹侧通路及额中回、额下回的多体素模式活动中解码^[28]。对非人类灵长类动物的电生理研究同样发现，腹外侧前额叶可以表征无意识内容^[29]，且该区域状态的波动介导了视觉信息在意识感知和无意识状态之间自发的转换^[30]。大脑中处理无意识信息的位置对于探讨意识的产生机制至关重要，无意识信息处理的程度取决于刺激类型和注意资源等因素^[31]。

随着实验技术和实验范式的发展，无论是简单的视觉信息（如朝向）还是复杂的视觉信息（如语义、情绪）的无意识加工，都获得了大量研究证据的支持。Fang和He^[32]通过双眼竞争范式研究视觉通路对不可见刺激的加工，结果发现，背侧通路可以对不可见的工具图像做出反应，虽然在双眼竞争范式中，通常认为信息被阻挡在V1区，但视觉信息可能通过皮层下投射或大细胞通路逃脱眼间抑制并达到背侧皮层。另一项fMRI的研究发现^[33]，与面孔加工相关的梭状回（FFA）在面孔处于无意识时也得到激活，只是相对于可见面孔，活动大大减弱，而右侧颞上沟（STS）和杏仁核在恐惧面孔的意识上或意识下加工中都得到显著激活。对语义加工的研究发现，即使在不可见时，启动词也能改变后续刺激的语义加工过程，即无意识语义启动效应^[34]。在无意识情绪加工方面，研究者发现负性刺激相对于中性刺激能更快地突破抑制进入意识^[35]；神经影像学领域也有大量关于无意识情绪加工的证据，无论是健康人群或皮层盲患者，无意识恐惧面孔都能够引起杏仁核的反应^[36-37]。

这些实验研究提示，大脑对于不可见视觉信息的处理程度具有丰富的层次性，并不局限于简单的视觉信息，而是可以被处理到更高级的层次。但是，无意识信息加工的限制是什么？这个过程是被注意力调制，还是独立于注意自动化进行？下文将从无意识视觉加工、无意识语义加工和无意识情绪

加工3个方面探讨这个问题。

3 注意调节无意识视觉加工

光栅刺激经常被用来研究无意识视觉加工。在经典的无意识朝向适应范式中，光栅的朝向能够无意识加工，实验者可以通过朝向适应量，量化无意识加工的程度。Bahrami等^[38]使用连续闪光抑制（CFS）范式探究了空间注意对光栅朝向信息无意识加工的影响，发现空间注意能够影响不可见刺激的加工。当人们重复观看向某一方向倾斜的光栅，会把接着出现的竖直光栅感知为向相反方向倾斜的光栅，这一现象称为倾斜后效。倾斜后效的效应量可以用来衡量朝向适应程度。实验程序包含两个阶段，在适应和注意阶段，被试的一只眼睛被连续呈现环形正弦光栅作为适应刺激，该光栅相对于竖直方向向左或向右倾斜固定角度，同时另一只眼睛被呈现正方形掩蔽图像，使光栅变得不可见。在这期间，掩蔽图像的四个角的任一位置偶尔会出现白色目标刺激（字母X），中央位置则固定出现白色正方形和一个对目标出现位置有预测作用的侧向突起。要求被试在看见目标字母时迅速按键表明检测到目标，该反应过程不影响其他刺激的连续呈现。该任务通过控制目标在每个位置出现的概率、目标数量、大小和显示时间，从而操纵注意的指向使得注意力资源可以有效地导向指定位置。适应和注意阶段结束后，屏幕的四个角的任意位置短暂出现一个倾斜光栅，要求被试判断光栅是顺时针还是逆时针倾斜，从而通过测量倾斜后效反映无意识的朝向适应。结果表明，空间注意力调节了CFS范式下对不可见光栅的朝向适应。当测试光栅出现在适应过程中注意到的空间位置时，相较于未注意的位置，不可见的光栅引起了显著的朝向适应。注意力的分配明显增加了无意识朝向信息的处理，人类初级视觉皮层对外周不可见刺激的反应受到同时进行的中央凹任务的注意力需求的调节。另一项使用相同的范式的研究还将上述注意调节效应从空间注意拓展到基于特征的注意过程^[39]。

除了行为学证据，神经影像学的研究为注意对初级视觉皮层的调节作用提供了更有力的支持。Watanabe等^[40]同样使用CFS范式，将一只眼睛中的光栅作为目标刺激，同时将多个较小的光栅呈现给不同或同一只眼睛以操纵对目标刺激的可见性。当它们呈现给不同的眼睛时，由于眼间抑制减弱刺激驱动的神经理活动的增益^[41]，目标变得不可见；

反之, 目标可见。同时, 通过设置不同的任务, 将被试的注意指向或远离在目标位置和非目标位置目标刺激。在非注意条件下, 被试被要求在注视中心快速呈现的字符序列一系列字符中探测给定字符, 从而忽略目标刺激; 在注意条件下, 要求被试报告目标刺激的可见性而忽略字符序列。研究者比较了不同条件下所测量的V1区域血氧水平依赖 (blood oxygenation level dependent, BOLD) 信号振幅, 结果发现, 无论目标刺激可见或不可见, 都观察到显著的注意效应。换句话说, 注意对V1活动的增强效应在刺激不可见的无意识状态下也能发生。

Watanabe等^[40]的研究表明, 注意可以影响无意识视觉刺激的神经处理。但是, Smout等^[42]对Watanabe等的上述研究提出了质疑。他们认为上述研究观察到的注意力的影响可能仅反映了即使在没有外部驱动刺激的情况下也会发生的神经元活动的基线变化, 而与特定刺激的无意识加工过程无关。通过改善实验设计, Smout等使用头皮脑电 (EEG) 技术来测量嵌入在噪声中的不可见刺激的神经表征, 并评估自上而下的空间注意力对这些无意识信号的神经表征的影响。该实验中, 以一定的频率在屏幕左侧和右侧同时向被试呈现包含噪声和不可见信号的图像流, 每个图像流的对比度偶尔会下降。通过箭头将被试的注意指向两侧图像流中的一个, 并要求被试报告被注意的图像流中对比度发生变化的次数。图像流中噪声和信号呈现的固定频率不同, 研究者测量了二者各自的稳态视觉诱发电位 (SSVEP) 响应强度, 从而在被注意或忽视的条件下比较不可见信号引起的神经反应强度。实验结果显示, 在被注意的图像流中, 对不可见信号的神经反应显著大于忽视流中的神经反应, 这表明空间注意增强了无意识视觉信号的神经表征。为注意力调节不可见信号的神经表征提供了直接证据。注意对视觉加工过程的调节作用还体现在无法被意识到的源眼加工阶段。Zhang等^[43]使用双眼竞争范式, 在两只眼睛中呈现不同刺激使它们相互竞争。同时, 向某一只眼睛中呈现注意线索, 要求被试将注意指向该线索。通过这种方式, 注意也指向了线索所在的源眼信息。发现由线索引起的自上而下的注意可以调节对目标刺激的抑制时间: 当注意力被引导到与目标同时呈现在同一只眼睛上的线索时, 目标的抑制时间显著短于注意被引导到与噪音同时呈现在同一只眼睛上的线索时。在实验中, 被试无法区分线索来自哪一只眼睛, 证明注意可以调节特定

单眼通道的信息。

这些研究表明, 无意识视觉信息的加工受到注意的影响, 注意增强了视觉系统不同阶段的无意识神经表征的强度。接下来探讨在更复杂的无意识认知过程中注意的调节作用。

4 注意调节无意识语义加工

在无意识语义加工的研究中, CFS范式通常用来操纵被试对语义刺激的意识水平。关于使用CFS范式研究眼间抑制期间无意识语义信息的命运, 存在相互矛盾的证据。一些研究发现, CFS期间, 语义信息得到加工并促进随后出现的与之相关的刺激的加工, 即出现了语义启动效应^[44]。然而, 另一些研究没有发现不可见刺激语义处理的证据^[45]。

基于前人“眼间抑制 (例如, 双眼竞争现象) 依赖注意”的研究结论, 例如当注意力被转移时双眼竞争就会停止^[46], Eo等^[47]提出假设: 在眼间抑制过程中, 将注意从被抑制的信息眼中的目标位置移开, 有可能通过减弱噪音眼对信息眼的抑制来促进信息眼中的无意识语义加工。这或许可以调和文献中相互矛盾的结果。为验证这一假设, 他们结合CFS范式和线索提示范式研究注意对无意识语义的调节作用, 并使用N400成分测量无意识语义处理过程。N400对一个单词与先前建立的语义上下文之间的不匹配程度十分敏感^[48]。发现只在不注意条件 (即提示位置与目标词位置不一致) 观察到N400对事件相关电位 (event-related potential, ERP) 的调节, 而注意条件却没有。这支持了Eo等的猜测, 注意力的减少确实可能通过减弱噪音眼对信息眼的抑制来促进信息眼中的无意识语义加工。

然而, 最近几项研究并没有复现Eo等的实验结果。研究者^[49-50]预期不可见启动数字与空间注意位置一致性影响CFS范式下无意识语义加工, 但是实验结果并没有发现位置不确定性对语义启动效应的影响。为了进一步探讨CFS范式下无意识信息加工及注意的作用, Handschack等^[51]使用fMRI和多变量模式分析, 在注意和不注意条件分别解码被CFS抑制的物体类别, 同样未发现这两种条件下解码准确性的差异。这些结果表明, 注意可能不是CFS范式下无意识语义加工结果不一致的关键因素。CFS范式是对双眼竞争范式的改进, 在双眼竞争中信息被阻挡在V1区^[32], 而语义加工涉及更高级的皮层区域, CFS范式下未发现无意识语义加工

可能是腹侧通路被抑制所导致的。未来使用CFS范式研究无意识语义加工以及注意的调制时,对于范式参数的选择,如掩蔽图片和启动词的对比度等,需要进行更深层的探讨,获得更标准化的程序,减少实验结果的不一致。

对于注意如何影响无意识语义加工这一问题,Kiefer等^[52]关注源于任务集(task set)的自上而下的控制对无意识语义加工过程的调节作用。任务集是一个十分灵活的认知操作系统,帮助个体预先配置完成任务所必需的知觉、注意、记忆和运动过程,个体可以利用任务集有效地完成任务操作^[53]。关于任务集如何影响无意识信息加工,Kiefer等^[52]提出了注意敏化模型:任务集使任务相关的加工路径敏化,使任务无关的加工路径脱敏,从而影响无意识的信息流。后续的实验为该模型提供了生理学上的支持。Martens等^[54]结合掩蔽范式和ERP技术,证明由任务集引导的自上而下的控制调节了无意识语义加工。实验先通过语义或知觉分类任务,即要求被试根据图片在语义上(如生物或非生物)或感知上(如圆形或长形)的特征进行分类,分别诱导语义或知觉任务集。随后,先后给被试呈现一个因掩蔽而不可见的启动词,以及一个可见的目标词,要求被试判断目标词是否是一个真实的单词。这些操作的目的是考察无意识启动词对目标词的阈下启动效应是否受到任务集的调节。行为和电生理的结果都显示:语义任务集增强了阈下启动效应,而知觉任务集减弱了阈下启动效应。自上而下的注意控制可能是通过强调任务相关的处理路径来调节无意识语义加工过程。

Ulrich等^[55]使用功能磁共振成像技术,参照Martens等^[54]研究中的引导任务范式,希望揭示无意识加工的注意敏化模型的脑机制。研究者认为,无意识认知的注意敏化是通过大脑区域之间功能交流的动态调节实现的,当前激活的任务集可以通过临时建立不同的功能网络来影响神经处理路径中的无意识信息流。fMRI技术能够测量大脑激活和功能连接,来探测这种无意识加工过程的注意控制机制。神经影像学结果显示,只有在进行语义引导任务后,即激活语义任务集后,被掩蔽的启动词才能够调节包括腹侧枕颞和额下回在内的语义处理网络的活动,在进行知觉特征引导任务时,这些语义通路中的神经活动减弱,没有达到统计学意义。相对于知觉引导,语义引导下左侧腹侧枕颞区和左侧额上回前部的功能连接增强;相对于语义引导,知觉

引导下左侧腹侧枕颞区与右半球视觉感知的大脑区域,如枕下回、舌回、梭状回、颞下回、后侧颞中回和楔前叶的功能连接显著增强。这些结果说明了对无意识语义加工的注意控制是通过根据任务集将大脑区域临时和动态地整合到不同的功能网络中而建立的。

除了任务集之外,注意负荷也能独立调控无意识语义加工过程。Hung等^[56]发现,阈下启动词和阈上目标词之间的单词和颜色的不一致会导致对非目标单词的反应变慢,并且是在进行低负荷任务(报告目标词)而非高负荷任务(报告目标词的颜色)时才会观察到这一结果。该研究通过设计不同的实验任务操纵注意负荷的高低,但在不同的任务下,由任务本身诱发的注意可能选择性地激活不同的任务集。根据注意敏化模型,任务集的激活会影响无意识启动对随后出现的目标刺激的干扰。因此,实验结果能否用注意负荷进行解释则产生了疑问。为更好地分离任务集与注意负荷的作用,研究者改变了目标词,在保持启动词和目标词语义关系的同时消除二者正字法相似性,这导致了相对任务负荷的逆转:报告目标词的颜色任务现在是一个低负荷任务;报告目标词是相对高负荷的。结果表明,颜色命名时,存在无意识语义不一致效应,单词命名时,不存在无意识语义不一致效应。上述结果共同表明,注意负荷能够单独(不依赖任务集)调节无意识语义加工过程。

5 注意调节无意识情绪加工

情绪性信息尤其是威胁性信息,对人类具有重要的生存意义。即使没有意识,大脑也可以处理情绪信息。例如,无意识的情绪面孔(如恐惧、愤怒、悲伤)相对于中性面孔更强烈地激活了杏仁核的活动^[36]。在神经环路上,意识下的情绪加工过程可能依赖一条依次经过上丘、丘脑枕到达杏仁核的皮层下快反应通路^[57]。虽然情绪刺激可以无意识加工,但这不代表无意识情绪加工不需要注意。基于意识上情绪加工的研究,Pessoa和Ungerleider^[58]认为,情绪并不是自动处理的,而是和中性刺激一样,需要竞争注意资源。

Wang等^[59]通过设置高低两种知觉负荷来操纵注意,并结合ERP和被掩蔽的面孔图片来评估注意对无意识恐惧加工的调节作用。研究者将面部表情图片呈现在外周并掩蔽,使得被试无法意识到情绪信息。同时,在屏幕中央呈现4个字符组成的

人造词汇。被试在4个组块(Block)中完成目标词检测任务: 按键区分人造词中的目标字母(X或N), 在低负荷条件下, 人造词由相同的字母组成, 高负荷条件下, 人造词由不同的字母组成; 另外2个Block中完成面孔辨别任务, 判断面孔的情绪(中性/恐惧)。面孔辨别任务中, 注意力焦点在面孔上, 额叶区电极的ERP显示: 恐惧面孔相对于中性面孔诱发的N2振幅显著降低, P3振幅显著增加。目标词检测任务中, 注意力焦点在字母上, 但被试在低负荷任务中比在高负荷任务中更快更准确地检测到字母; 与面孔辨别任务的ERP结果相似, 相较于中性面孔, 低负荷任务与恐惧面孔的N2减少和P3振幅增加相关, 但在高知觉负荷任务中, 没有观察到ERP成分的变化。结果表明, 无意识恐惧面孔的加工依赖于知觉负荷, 注意力资源是无意识恐惧加工所必需的。

除了注意负荷, 工作记忆中被注意的信息也可以调节无意识情绪加工。在工作记忆中保持某个目标特征意味着该特征处于被注意的状态, Liu等^[60]首先探讨工作记忆对无意识情绪加工的调节作用。被试先在工作记忆中记住一张情绪面孔, 使用延迟匹配范式发现, 当被CFS掩蔽的面孔情绪类型与工作记忆中的情绪类型相同时, 相比情绪类型不同时, 情绪面孔更快地突破抑制。但是, 这种意识促进作用特异于威胁性情绪面孔(恐惧和愤怒)的无意识加工, 而不发生于高兴面孔和中性面孔条件。这项研究挑战了认为无意识恐惧加工完全自动化且不受高级认知干扰的传统观点, 证明工作记忆中的恐惧表征可促进无意识恐惧加工, 从而提示无意识加工过程允许非自动化过程的参与。

但是, 一项关于空间注意与情绪加工的研究并未发现无意识情绪加工及注意调节的证据^[61]。这项ERP研究表明, 在情绪加工的早期和晚期阶段, 都需要视觉意识, 空间注意只在晚期阶段被需要。在该实验中, 同时呈现在注视点两侧的面孔具有不同的情绪信息, 这两个面孔可能竞争神经表征, 当一张面孔与另一个类似的显著刺激竞争时, 可能需要视觉感知才能对其进行充分有效的处理, 导致没有观察到加工情绪和中性面孔时ERP成分的差异。

通过梳理意识下情绪加工与注意的研究, 虽然已有初步证据表明注意对无意识情绪加工过程有调节作用, 但是在方法上还有局限性, 并且对于其背后神经机制的探讨并不充分。在方法上, 目前大部分的实验都采用面孔材料作为情绪刺激, 但面孔材

料除了情绪信息还有其他的视觉信息(如轮廓), 使用联结学习的方式制造视觉信息等价的情绪材料是克服该局限的有效办法, 有研究发现, 低空间频率的中性刺激可以快速获得条件化恐惧^[62]。在神经机制上, 杏仁核是情绪加工通路的一个关键节点, 其接受通过皮质上慢通路和皮质下快速通路传入的视觉信息, 并通过对视觉区的直接反馈投射、或向控制注意力资源分配的额叶区的投射来调节视觉处理区域的活动^[58, 63]。未来的研究可以通过更高时空分辨率的测量技术, 考察杏仁核、视觉区以及额顶网络的功能连接来进一步探讨注意调节无意识情绪加工的神经机制。

6 总结与展望

注意在视觉、语义和情绪这3种不同类型的无意识加工过程中都发挥重要的调节作用。对于无意识视觉加工过程, 注意可以调节低水平的视觉信息, 如朝向, 并在早期视觉皮层引起更强的无意识视觉响应。在相对复杂的信息加工过程注意也发挥着调节作用: 对于无意识语义加工过程, 注意的调节最直接地体现在任务集对任务相容的无意识语义过程的促进作用, 由任务集诱导的大脑各区域功能连接是实现上述注意控制作用的潜在机制。同时, 注意还可能通过调节双眼间的竞争抑制强度来间接影响无意识语义过程, 从而凸显了注意在无意识过程中引起的系统(而非局部)改变。对于无意识情绪加工过程, 注意的调节作用体现为注意负荷以及意识内容的相关性对意识下情绪加工过程的调节作用, 但对其神经机制的探讨还十分匮乏。

这3方面研究共同修正了无意识加工过程完全自动化而不受注意调节的传统观点, 揭示了注意系统对于无意识过程的普遍调节作用。在已知的潜在机制中, Kiefer等^[52]提出的注意敏化模型有望为基于任务相关性的注意调节作用提供统一见解。根据该模型, 注意调节无意识过程的作用机制与调节意识上信息加工过程类似: 注意不仅能自上而下地增强与任务相关的无意识过程, 而且能减弱与任务无关的无意识过程。这种调控机制有助于围绕目标(goal)组织有意识和无意识过程, 从而更有效地实现目标。但是, 当任务关联性保持不变, 注意焦点的位置(离焦点越近, 享受的注意资源越多)却依然能够显著调节无意识的视觉朝向适应过程, 注意负荷的高低(无关任务的负荷越低, 溢出到情绪刺激的注意资源越多)也显著调节无意识的情绪加

工过程。这提示注意对无意识过程的调节作用至少取决于任务关联性和注意供给水平这两个因素。我们推测：a. 无意识过程与任务目标的关联性决定注意的调节方向，与目标相容的无意识过程得到促进，而与目标无关或不相容的无意识过程受到抑制；b. 投入注意资源的多寡决定注意调节作用的程度，投入的注意资源越多，注意调节作用的强度越大，反之则越小（图1）。之前一项操纵了空间注

意和任务相关性的研究发现，任务关联性可以促进对快速呈现的视觉图片的类别加工，且这种促进效应在注意条件和不注意条件都显著，但在空间注意条件相比不注意条件具有统计上边缘显著的更好的促进效应^[64]。这项研究中图片的意识水平介于完全无意识和清晰意识之间的模糊状态，但其结果为我们的两因素模型提供了一定的证据。

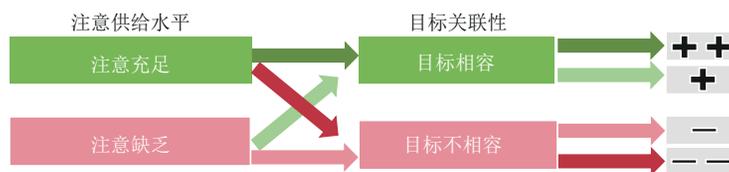


Fig. 1 Model hypothesis of attention regulating unconscious information processing

图1 注意调节无意识信息加工的两因素模型猜想

注意对无意识过程的调节作用取决于任务关联性和注意供给水平：无意识过程与任务目标的相关性决定了注意的调节方向，与目标相容的过程会被促进，而与目标无关或不相容的过程会被抑制；而注意资源的投入程度则决定了注意调节的强度，资源投入越多，调节作用越强，反之则越弱。需要说明的是，虽然该模型继承了敏化模型的基本观点，承认注意对意识和无意识过程的调节作用具有相似性，但是，考虑到意识和无意识过程本身存在本质区别，我们认为注意调节无意识过程可能还存在独特性的方面，这亟待进一步探索。

注意和意识的关系一直是研究者争论的话题。一方面，注意和意识在功能和机制上存在重叠，早期对于不注意盲视、注意瞬脱等现象的研究表明，注意不集中会导致意识的缺失，因此一些人认为注意和意识密不可分^[65]。另一方面，注意对无意识刺激起作用或被吸引^[66-67]，在没有注意的情况下也可以意识到某些刺激^[68]，这些研究结果支持注意和意识可以双重分离。但是，Noah和Mangun^[69]认为，注意对意识感知是必要的，双重分离的观点并不正确。这与Cohen等^[8]提出的理论相同：注意是选定信息到达意识的必要条件，没有被注意的信息无法到达意识。

研究注意对无意识过程的调节作用和机制有助于更充分理解意识和注意的关系。根据前文对注意与无意识加工的关系的总结，不难发现：空间注意可以在神经表征水平上独立于意识而运作^[40, 42]；源自任务集和工作记忆的自上而下控制也可以在无意识下发挥作用^[54, 60]；注意负荷对情绪刺激以及语义加工的影响也已经扩展到无意识处理^[56, 59]。最近的研究还发现，集合感知（从一组相似对象中提取汇总统计信息的能力被称为集合表征）独立于意识，但需要注意力资源^[70]。这些实验结果均表明，注意和意识在功能上是分离的，且与注意是意

识的必要条件的观点并不矛盾。综合来看，注意可能是产生意识的必要条件，也可能是（某些）无意识加工的必要条件。

未来研究有必要进一步探讨不同类型的注意调节无意识过程的共性和个性。根据前文所述，自上而下的注意可以被引导在空间位置、特征或客体、与任务相关的信息等，背后的神经机制有重叠之处但也存在差异。那么，是否所有的自上而下的注意控制都能影响无意识加工？例如有研究者发现，基于特征的注意可以调节不可见刺激的加工而空间注意只调节意识上的视觉加工^[39]，但空间注意又在其他的实验被证明对无意识加工有调节作用^[38]。注意系统在空间位置、特征水平和客体水平分别如何分配注意资源，以及如何跨水平地调节无意识过程等都是亟待进一步研究的重要问题。除了视觉模态外，无意识过程还普遍存在于听觉、触觉、嗅觉等其他感觉模态。同时，视觉、语义和情绪也不足以代表普遍的认知加工问题，与其他认知功能相关的无意识过程是否一样受到注意的调节还有待研究。因此，未来研究也应深入考察注意对无意识过程的调节作用在不同感觉通道以及不同认知功能模块间的共性和个性。

在神经机制上，已有研究证明了额顶网络在调

节意识加工中的作用^[71]。另有研究提示, 前额叶皮质自上而下的信号控制在调节无意识的认知过程中发挥关键作用^[72]。然而, 目前的研究还没有充分讨论注意对无意识加工的调节机制, 额叶发挥调节作用的具体机制也知之甚少。在未来的研究中, 可以视觉相关过程为突破口, 结合fMRI、脑电/磁图和颅内脑电等技术, 系统探讨注意对无意识加工过程的调节作用。比如, 调节作用发生在哪些阶段, 额顶网络、颞枕皮层在注意和不注意条件下活动差异, 以及它们之间存在怎样的功能连接等问题。

参 考 文 献

- [1] Lamme V A F. Separate neural definitions of visual consciousness and visual attention; a case for phenomenal awareness. *Neural Netw*, 2004, **17**(5-6): 861-872
- [2] Lansner J, Jensen C G, Petersen A, *et al.* Three weeks of SSRI administration enhances the visual perceptual threshold - a randomized placebo-controlled study. *Psychopharmacology*, 2019, **236**(6): 1759-1769
- [3] Cavanaugh M R, Barbot A, Carrasco M, *et al.* Feature-based attention potentiates recovery of fine direction discrimination in cortically blind patients. *Neuropsychologia*, 2019, **128**: 315-324
- [4] Anderson A K, Christoff K, Panitz D, *et al.* Neural correlates of the automatic processing of threat facial signals. *J Neurosci*, 2003, **23**(13): 5627-5633
- [5] Anton-Erxleben K, Carrasco M. Attentional enhancement of spatial resolution: linking behavioural and neurophysiological evidence. *Nat Rev Neurosci*, 2013, **14**(3): 188-200
- [6] Duncan J, Owen A M. Common regions of the human frontal lobe recruited by diverse cognitive demands. *Trends Neurosci*, 2000, **23**(10): 475-483
- [7] van Honk J, Peper J S, Schutter D J L G. Testosterone reduces unconscious fear but not consciously experienced anxiety: implications for the disorders of fear and anxiety. *Biol Psychiatry*, 2005, **58**(3): 218-225
- [8] Cohen M A, Cavanagh P, Chun M M, *et al.* The attentional requirements of consciousness. *Trends Cogn Sci*, 2012, **16**(8): 411-417
- [9] Katsuki F, Constantinidis C. Bottom-up and top-down attention: different processes and overlapping neural systems. *Neuroscientist*, 2014, **20**(5): 509-521
- [10] van Ede F, Board A G, Nobre A C. Goal-directed and stimulus-driven selection of internal representations. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2020, **117**(39): 24590-24598
- [11] Gitelman D R, Nobre A C, Parrish T B, *et al.* A large-scale distributed network for covert spatial attention: further anatomical delineation based on stringent behavioural and cognitive controls. *Brain*, 1999, **122**(Pt 6): 1093-1106
- [12] Posner M I, Walker J A, Friedrich F J, *et al.* Effects of parietal injury on covert orienting of attention. *J Neurosci*, 1984, **4**(7): 1863-1874
- [13] He X, Lan Y, Xu G, *et al.* Frontoparietal regions may become hypoactive after intermittent theta burst stimulation over the contralateral homologous cortex in humans. *J Neurophysiol*, 2013, **110**(12): 2849-2856
- [14] Corbetta M, Kincade J M, Ollinger J M, *et al.* Voluntary orienting is dissociated from target detection in human posterior parietal cortex. *Nat Neurosci*, 2000, **3**(3): 292-297
- [15] Zhou H, Desimone R. Feature-based attention in the frontal eye field and area V4 during visual search. *Neuron*, 2011, **70**(6): 1205-1217
- [16] Serences J T, Schwarzbach J, Courtney S M, *et al.* Control of object-based attention in human cortex. *Cereb Cortex*, 2004, **14**(12): 1346-1357
- [17] Giesbrecht B, Woldorff M G, Song A W, *et al.* Neural mechanisms of top-down control during spatial and feature attention. *NeuroImage*, 2003, **19**(3): 496-512
- [18] Galashan D, Siemann J. Differences and similarities for spatial and feature-based selective attentional orienting. *Front Neurosci*, 2017, **11**: 283
- [19] Greenberg A S, Esterman M, Wilson D, *et al.* Control of spatial and feature-based attention in frontoparietal cortex. *J Neurosci*, 2010, **30**(43): 14330-14339
- [20] Bressler S L. Set-related neurocognitive networks//Liljenström H. *Advances in Cognitive Neurodynamics (IV)*. Dordrecht: Springer, 2015: 111-116
- [21] Rushworth M F, Paus T, Sipila P K. Attention systems and the organization of the human parietal cortex. *J Neurosci*, 2001, **21**(14): 5262-5271
- [22] Lavie N, Beck D M, Konstantinou N. Blinded by the load: attention, awareness and the role of perceptual load. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 2014, **369**(1641): 20130205
- [23] Lavie N, Hirst A, de Fockert J W, *et al.* Load theory of selective attention and cognitive control. *J Exp Psychol Gen*, 2004, **133**(3): 339-354
- [24] Shin K, Stolte M, Chong S C. The effect of spatial attention on invisible stimuli. *Atten Percept Psychophys*, 2009, **71**(7): 1507-1513
- [25] Milner A D, Goodale M A. Two visual systems re-viewed. *Neuropsychologia*, 2008, **46**(3): 774-785
- [26] Goodale M A, Milner A D. Separate visual pathways for perception and action. *Trends Neurosci*, 1992, **15**(1): 20-25
- [27] Zou J, He S, Zhang P. Binocular rivalry from invisible patterns. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2016, **113**(30): 8408-8413
- [28] Mei N, Santana R, Soto D. Informative neural representations of unseen contents during higher-order processing in human brains and deep artificial networks. *Nat Hum Behav*, 2022, **6**(5): 720-731
- [29] Kapoor V, Dwarakanath A, Safavi S, *et al.* Decoding internally generated transitions of conscious contents in the prefrontal cortex without subjective reports. *Nat Commun*, 2022, **13**(1): 1535
- [30] Dwarakanath A, Kapoor V, Werner J, *et al.* Bistability of prefrontal

- states gates access to consciousness. *Neuron*, 2023, **111**(10): 1666-1683.e4
- [31] Lin Z, He S. Seeing the invisible: the scope and limits of unconscious processing in binocular rivalry. *Prog Neurobiol*, 2009, **87**(4): 195-211
- [32] Fang F, He S. Cortical responses to invisible objects in the human dorsal and ventral pathways. *Nat Neurosci*, 2005, **8**(10): 1380-1385
- [33] Jiang Y, He S. Cortical responses to invisible faces: dissociating subsystems for facial-information processing. *Curr Biol*, 2006, **16**(20): 2023-2029
- [34] Chien S E, Chang W C, Chen Y C, *et al.* The limits of unconscious semantic priming. *Curr Psychol*, 2023, **42**(30): 26824-26835
- [35] Gayet S, Paffen C L, Belopolsky A V, *et al.* Visual input signaling threat gains preferential access to awareness in a breaking continuous flash suppression paradigm. *Cognition*, 2016, **149**: 77-83
- [36] Morris J S, DeGelder B, Weiskrantz L, *et al.* Differential extrageniculostriate and amygdala responses to presentation of emotional faces in a cortically blind field. *Brain*, 2001, **124**(Pt 6): 1241-1252
- [37] Dannlowski U, Ohrmann P, Bauer J, *et al.* Amygdala reactivity predicts automatic negative evaluations for facial emotions. *Psychiatry Res*, 2007, **154**(1): 13-20
- [38] Bahrami B, Carmel D, Walsh V, *et al.* Spatial attention can modulate unconscious orientation processing. *Perception*, 2008, **37**(10): 1520-1528
- [39] Kanai R, Tsuchiya N, Verstraten F A J. The scope and limits of top-down attention in unconscious visual processing. *Curr Biol*, 2006, **16**(23): 2332-2336
- [40] Watanabe M, Cheng K, Murayama Y, *et al.* Attention but not awareness modulates the BOLD signal in the human V1 during binocular suppression. *Science*, 2011, **334**(6057): 829-831
- [41] Yuval-Greenberg S, Heeger D J. Continuous flash suppression modulates cortical activity in early visual cortex. *J Neurosci*, 2013, **33**(23): 9635-9643
- [42] Smout C A, Mattingley J B. Spatial attention enhances the neural representation of invisible signals embedded in noise. *J Cogn Neurosci*, 2018, **30**(8): 1119-1129
- [43] Zhang P, Jiang Y, He S. Voluntary attention modulates processing of eye-specific visual information. *Psychol Sci*, 2012, **23**(3): 254-260
- [44] Bahrami B, Vetter P, Spolaore E, *et al.* Unconscious numerical priming despite interocular suppression. *Psychol Sci*, 2010, **21**(2): 224-233
- [45] Kang M S, Blake R, Woodman G F. Semantic analysis does not occur in the absence of awareness induced by interocular suppression. *J Neurosci*, 2011, **31**(38): 13535-13545
- [46] Zhang P, Jamison K, Engel S, *et al.* Binocular rivalry requires visual attention. *Neuron*, 2011, **71**(2): 362-369
- [47] Eo K, Cha O, Chong S C, *et al.* Less is more: semantic information survives interocular suppression when attention is diverted. *J Neurosci*, 2016, **36**(20): 5489-5497
- [48] Luck S J, Vogel E K, Shapiro K L. Word meanings can be accessed but not reported during the attentional blink. *Nature*, 1996, **383**(6601): 616-618
- [49] Benthien F M, Hesselmann G. Does location uncertainty modulate unconscious processing under continuous flash suppression?. *Adv Cogn Psychol*, 2021, **17**(1): 3-14
- [50] Handschack J, Rothkirch M, Sterzer P, *et al.* No effect of attentional modulation by spatial cueing in a masked numerical priming paradigm using continuous flash suppression (CFS). *PeerJ*, 2023, **11**: e14607
- [51] Handschack J, Rothkirch M, Sterzer P, *et al.* Probing the attentional modulation of unconscious processing under interocular suppression in a spatial cueing paradigm. *Cortex*, 2022, **153**: 32-43
- [52] Kiefer M, Martens U. Attentional sensitization of unconscious cognition: task sets modulate subsequent masked semantic priming. *J Exp Psychol Gen*, 2010, **139**(3): 464-489
- [53] Sakai K. Task set and prefrontal cortex. *Annu Rev Neurosci*, 2008, **31**: 219-245
- [54] Martens U, Ansorge U, Kiefer M. Controlling the unconscious: attentional task sets modulate subliminal semantic and visuomotor processes differentially. *Psychol Sci*, 2011, **22**(2): 282-291
- [55] Ulrich M, Adams S C, Kiefer M. Flexible establishment of functional brain networks supports attentional modulation of unconscious cognition. *Hum Brain Mapp*, 2014, **35**(11): 5500-5516
- [56] Hung S M, Wu D A, Shimojo S. Task-induced attention load guides and gates unconscious semantic interference. *Nat Commun*, 2020, **11**(1): 2088
- [57] Wang Y, Luo L, Chen G, *et al.* Rapid processing of invisible fearful faces in the human amygdala. *J Neurosci*, 2023, **43**(8): 1405-1413
- [58] Pessoa L, Ungerleider L G. Neuroimaging studies of attention and the processing of emotion-laden stimuli. *Prog Brain Res*, 2004, **144**: 171-182
- [59] Wang L, Feng C, Mai X, *et al.* The impact of perceptual load on the non-conscious processing of fearful faces. *PLoS One*, 2016, **11**(5): e0154914
- [60] Liu D, Wang L, Wang Y, *et al.* Conscious access to suppressed threatening information is modulated by working memory. *Psychol Sci*, 2016, **27**(11): 1419-1427
- [61] Qiu Z, Becker S I, Pegna A J. The effects of spatial attention focus and visual awareness on the processing of fearful faces: an ERP study. *Brain Sci*, 2022, **12**(7): 823
- [62] Chen Y, Chen S, Sun Z, *et al.* Rapid unconscious acquisition of conditioned fear with low-spatial-frequency but emotionally neutral stimuli. *Research*, 2023, **6**: 0181
- [63] Pessoa L, Adolphs R. Emotion processing and the amygdala: from a 'low road' to 'many roads' of evaluating biological significance. *Nat Rev Neurosci*, 2010, **11**(11): 773-783
- [64] Peelen M V, Li F F, Kastner S. Neural mechanisms of rapid natural scene categorization in human visual cortex. *Nature*, 2009,

- 460(7251): 94-97
- [65] Posner M I. Attention: the mechanisms of consciousness. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1994, **91**(16): 7398-7403
- [66] Zhang X, Li Z, Zhou T, *et al.* Neural activities in V1 create a bottom-up saliency map. *Neuron*, 2012, **73**(1): 183-192
- [67] Güldener L, Jüllig A, Soto D, *et al.* Frontopolar activity carries feature information of novel stimuli during unconscious reweighting of selective attention. *Cortex*, 2022, **153**: 146-165
- [68] Li F F, VanRullen R, Koch C, *et al.* Rapid natural scene categorization in the near absence of attention. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2002, **99**(14): 9596-9601
- [69] Noah S, Mangun G R. Recent evidence that attention is necessary, but not sufficient, for conscious perception. *Ann N Y Acad Sci*, 2020, **1464**(1): 52-63
- [70] Liu D, Liu W, Yuan X, *et al.* Conscious and unconscious processing of ensemble statistics oppositely modulate perceptual decision-making. *Am Psychol*, 2023, **78**(3): 346-357
- [71] Spagna A, Bayle D J, Romeo Z, *et al.* The cost of attentional reorienting on conscious visual perception: an MEG study. *Cereb Cortex*, 2023, **33**(5): 2048-2060
- [72] Haynes J D, Sakai K, Rees G, *et al.* Reading hidden intentions in the human brain. *Curr Biol*, 2007, **17**(4): 323-328

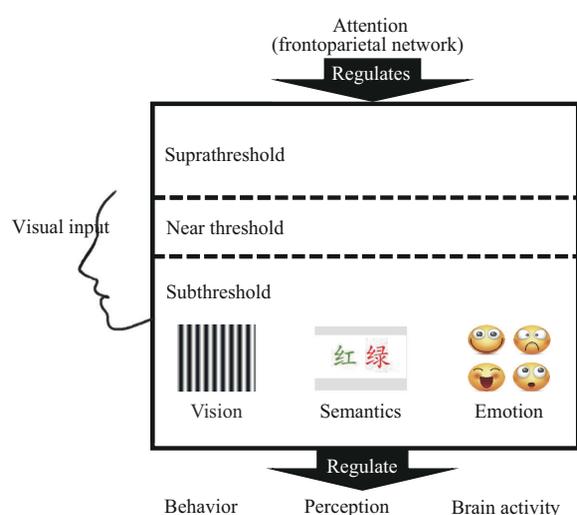
Modulation Effect and Potential Mechanisms of Selective Attention on Unconscious Processing*

WU Xi-Qian^{1,2)}, ZHANG Xi-Lei^{1,2)**}, JIANG Yi^{1,2)}, WANG Liang^{1,2)}

⁽¹⁾Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

⁽²⁾Department of Psychology, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Graphical abstract



Abstract Consciousness and unconsciousness represent a compelling topic in psychology and neuroscience, embodying a dynamic interplay between two fundamental cognitive states. Understanding the cognitive and neural mechanisms underlying their interaction poses a significant challenge. While previous studies have predominantly focused on the impact of attention on consciousness, the influence of attention on unconscious processes has often been overlooked. However, the role of attention in modulating unconscious information processing is paramount, as it can regulate various aspects of unconscious visual processing, including simple visual information, semantic content, and emotional stimuli. Within the visual processing pathway, attention operates at early levels to modulate unconscious visual processing, starting at least from the eye-of-origin and visual orientations. In the semantic system, attention can top-down enhance unconscious semantic processes in a goal-dependent manner, enhancing goal-relevant processes while suppressing goal-irrelevant ones. In the emotional system, attentional load, in addition to target relevance, can regulate unconscious emotional processing.

* This work was supported by grants from STI2030-Major Projects (2021ZD0204200, 2021ZD0203800), The National Natural Science Foundation of China (32100863, 32020103009, 31830037), and the Scientific Foundation of the Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences (E1CX1910).

** Corresponding author.

Tel: 86-18614060167, E-mail: zhangxilei@psych.ac.cn

Received: January 20, 2024 Accepted: April 1, 2024

These findings suggest that the regulatory role of attention on unconscious processes depends on both goal relevance and the amount of attentional resources. Specifically, the goal-relevance of unconscious processes determines the direction of attentional modulation, while the amount of attentional resources allocated determines the extent of modulation. The once-prevailing notion that unconscious processing is automatic and not subject to attentional modulation has been gradually overturned. Current studies indicate that attention can modulate both conscious and unconscious processes, providing a new perspective on the relationship between attention and consciousness. Spatial attention can operate independently from consciousness at the neural representation level. Furthermore, other factors tightly related to attention, such as goal-related task sets, working memory, and attentional load, can all impact unconscious processes. These findings collectively suggest that attention and consciousness are functionally dissociated, supporting the idea that attention is necessary for both conscious and some unconscious processes. In conclusion, unconscious information processing is a complex and intriguing field where attention plays a crucial role. Continued in-depth research in this area is needed to deepen our understanding of how the human brain processes unconscious information and how attention exerts its regulatory influence. This not only requires studying the commonalities and specificities of different types of attention but also examining the sharing and individuality among different sensory modalities and cognitive modules. Theoretically, this not only helps us understand the mechanisms of attention but also sheds light on the mechanisms of consciousness. Studying these issues is also of practical value. Importantly, the organization and regulation of unconscious processes are closely related to human survival and development. For example, while rapid unconscious emotional processes (such as unconscious fear) are beneficial for rapid threat responses and increased survival chances, excessive and uncontrolled unconscious emotional processes can lead to anxiety disorders, phobias, and other mental disorders. Furthermore, while repeated perceptual and behavioral training can improve efficiency by forming highly automated unconscious processes, excessively stubborn unconscious processes can hinder the learning of new skills. Studying the role of attention in regulating these unconscious processes can help develop new intervention methods to maintain mental health and improve behavioral performance.

Key words attention, unconscious processing, visual processing, semantic processing, emotion, attention sensitization model

DOI: 10.16476/j.pibb.2024.0025