

无意识的情绪面孔加工及其潜在神经机制

徐茜^{①②}, 蒋毅^{①*}

① 中国科学院心理研究所, 脑与认知科学国家重点实验室, 北京 100101;

② 中国科学院大学, 北京 100049

* 联系人, E-mail: yijiang@psych.ac.cn

2012-04-26 收稿, 2012-07-23 接受

国家重点基础研究发展计划(2011CB711000)、国家自然科学基金(31070903)和中国科学院“百人计划”(KSCX2-EW-BR-5)资助

摘要 随着探索无意识信息加工实验技术的日渐精湛, 越来越多的研究表明, 无意识的视觉信息能够对人类的认知和行为产生影响. 本文综述了由自下而上的视觉输入强度不足而非注意资源不足而导致的无意识情况下人们对恐惧面孔加工的实验研究. 采用视觉掩蔽、双眼竞争、眼间抑制等范式的研究和对脑损伤病人的研究均互为印证发现, 一些皮层下结构(如上丘、丘脑和杏仁核)以及它们之间的功能连接对无意识的恐惧面孔加工起到重要作用, 从而可以推测人类对情绪面孔(尤其是带有威胁性的恐惧面孔)的加工可能得益于一条绕过初级视觉皮层的皮层下快速通路. 但这条通路对无意识恐惧面孔加工的贡献还需要更多来自于揭示因果关系而非相关关系的实验研究的证据, 并且这条高效的通路在意识上又会发挥何种作用亦有待于今后的研究考察.

关键词

无意识
情绪面孔
神经机制
杏仁核
上丘
丘脑

感觉输入中只有一小部分能够最终到达人类的意识, 正如我们听不见频率在 20 Hz 以下的声音、看不见比红光的波长更长的色光. 但我们看不见的世界依然会对我们的认知和行为产生影响, 如 20 世纪 70 年代发现的盲视(blindsight)现象^[1,2], 很多心理学家甚至个别生物学家开始对视觉意识产生兴趣^[3], 并在实验室中采用特殊的刺激呈现方式营造无意识的视觉^[4]. 随着研究无意识视觉信息加工实验技术的日臻精湛, 无意识下的视觉加工引起了越来越多研究者的关注, 这方面的文献卷帙浩繁.

无意识下视觉系统对低水平视觉刺激, 如朝向、空间频率、运动方向的加工已得到广泛的支持^[2,5-8]. 可是, 对较高水平的视觉特征, 如情绪信息、语义信息的无意识加工方面的证据则并不一致, 而且一些研究仅描述了现象, 对无意识下高水平信息加工的深层机制的探讨却尚欠透彻. 本文将重点举引有关无意识下情绪面孔(尤其是恐惧面孔)的加工及其潜在机制的实验并加以评述.

1 无意识情绪信息加工的证据及其与意识上加工的分离

让视觉刺激处于意识水平之下的方法有多种, 一些研究者根据方法的不同把无意识知觉分为两类: 注意无意识(attentional unawareness 或者 preconscious processing)和感觉无意识(sensory unawareness 或者 subliminal processing)^[9,10]. 当注意资源被过分占据于对任务的加工, 而忽略了一些与任务无关的视觉刺激的存在被称为注意无意识, 如变化视盲、无注意视盲、注意瞬脱等, 极端情况则是单侧忽视病人^[11]; 而由于刺激本身自下而上的输入不够强、没能传达到更高级脑区造成的无意识则称作感觉无意识, 如视觉掩蔽、双眼竞争、眼间抑制等, 极端情况是视觉皮层有缺损的病人. 一些研究者提出意识和注意涉及不同的机制, 无需意识的并不等同于无需注意的^[12]. 所以本文将只讨论感觉无意识情况, 即由自下而上视觉输入过于微弱而致的无意识情绪面孔加工, 而

不去探讨视觉输入足够,却因自上而下的注意资源被占据情况下的情绪加工^[13,14]。

1.1 视觉掩蔽范式

视觉掩蔽技术是较早出现的一种让视觉刺激输入处于阈下水平的方法^[15],具体做法是让情绪面孔只呈现数十毫秒甚至更短时间,紧接着被中性面孔所替代。大量文献发现情绪视觉刺激可以在被掩蔽的情况下仍得到加工^[9,16]。当然,得出此结论的关键在于要严格保证被试意识不到被掩蔽的面孔的情绪特征,因此以下所列的研究都会介绍一下他们的意识测量方法。

常被后人引为支持证据的是一篇关于厌恶条件作用(aversive conditioning)的研究^[17],研究者用正电子发射成像(positron emission tomography, PET)采集了男被试观看4张生气面孔时的局部血流量,其中2张可见,2张被掩蔽,可见、不可见的面孔中各有一张先前被厌恶条件化(conditioned stimulus +, CS+),剩余两张则没有(conditioned stimulus-, CS-),被试在观看的同时需要完成生气面孔探测任务。结果发现,被掩蔽的生气面孔均没有被探测到。在面孔不可见时,被试的右侧杏仁核的内侧、下侧部分却对CS+比CS-有显著更强的激活;而对于可见的面孔,左侧杏仁核对CS+的激活显著更强。这种阈上阈下呈现方式导致的激活模式的分离,有力地证明了杏仁核对意识和意识下的刺激有不同的加工机制。但值得注意的是,无意识下右侧杏仁核的激活差异来自于对比CS+和CS-,CS+因为之前总是和带有厌恶情绪色彩的噪声匹配,从而被赋予了负性情绪(有被试的皮肤电变化为参考),但这种差别未必反映了情绪信息,也可能是二者的生物意义(或惩罚性)不同造成的。故该研究中发现的神经机制与无意识学习的机制更加契合,但也侧面说明生气面孔可以在无意识下得到进一步加工。

相对更为直接的另一个早期证据是来自Whalen等人^[18]的一项fMRI(functional magnetic resonance imaging)研究,10名男被试中有8人完全看不见被掩蔽面孔的情绪色彩,且实验后让他们对所有出现过的恐惧、快乐和中性面孔做再认判断,结果选择的都只有中性面孔。分析这8人的数据发现,被掩蔽的恐惧面孔比快乐面孔更强地激活了全脑范围内仅有的几个区域:双侧杏仁核、无名质(substantia innominata,

SI)和下侧前额叶。且只有杏仁核的BOLD(blood-oxygen-level-dependent)信号强度符合恐惧面孔强于基线、快乐面孔弱于基线的模式。该研究第一次证明了杏仁核对于探测不可见的危险信号的贡献,美中不足的是没有把被掩蔽的情绪面孔和中性面孔作对比。他们的后续研究^[19,20]均验证了此结论,且发现相对于正常人,创伤后应激相关障碍(posttraumatic stress disorder, PTSD)患者的杏仁核对被掩蔽的恐惧面孔有显著更强的反应;当掩蔽换为无意义噪声图片时,相比较于被掩蔽的快乐面孔,杏仁核对被掩蔽的恐惧面孔的反应却显著更弱。此外,关于无意识快乐面孔的神经机制尚没有一致发现,研究也较少,例如Killgore和Yurgelun-Todd^[21]发现观看被掩蔽的快乐面孔时,双侧杏仁核和扣带回的BOLD信号强度反而比基线水平显著更强;而且Jurueña等人^[22]发现左侧杏仁核对被掩蔽的快乐面孔比中性面孔有更强的激活。但有可能是因为在后两个实验中,只有快乐和悲伤面孔,所以快乐面孔的突出性相对更高,而Whalen等人^[18]的研究中快乐面孔的突出性会被恐惧面孔淹没。

虽然后来又有一些支持无意识恐惧面孔加工的证据^[23,24],但有研究者认为,这些研究对意识的控制过于主观,于是Phillips等人^[25]采用了严格的分辨阈限(discrimination threshold,即被试区分不出是否为情绪面孔的临界点)作为无意识指标,发现相比较于基线水平,可见的恐惧面孔确实更强地激活了右侧杏仁核和其他区域,但位于分辨阈限以下的恐惧面孔没有更强地激活杏仁核,只有左侧尾状核(caudate nucleus)、左侧额下回(inferior frontal gyrus)等区域有更强的激活。无独有偶,Pessoa等人^[26]用信号检测论方法绘出每名被试的ROC曲线(receiver operating characteristic curve)算出A'作为指标,发现当情绪面孔呈现短至33ms时,对于A'显示不能意识到情绪信息的被试,恐惧面孔比中性面孔并没有在杏仁核激活上出现差异,而对于A'显示能意识到的被试,才出现了杏仁核激活的差异。也就暗示,如果采用更为严格的无意识指标,以前发现的无意识加工其实都是一种意识加工,这些都对无意识下恐惧面孔的加工提出了挑战。

我们不禁要问,是不是采用严格的意识测量指标,就不能发现无意识下的恐惧面孔加工了呢?其实也不尽然,Williams等人^[27]采用分辨阈限

(discrimination threshold)和更加严格的探测阈限(detection threshold, 即被试区分不出有没有视觉刺激出现的临界点)作为意识测量指标. 在一项 ERP(event-related potential)研究中发现, 相比较于中性面孔, 可见的恐惧面孔在呈现 400 ms 时在 Fz 和 Cz 位点记录到的 N4 成分波幅显著更大, 位于分辨阈限以下(包括位于探测阈限以下)的恐惧面孔在 200 ms 时在 Fz 和 Cz 位点记录到的 N2 成分波幅显著更大, 而位于探测阈限以下的恐惧面孔在 Fz, Cz 和 Pz 位点出现 P1 成分的潜伏期显著更短. 可见随着意识水平越来越微弱, 大脑对恐惧信号的检测和加工却越来越迅速. 他们在后续的一项 fMRI 研究^[28]中, 也发现探测阈限以下的恐惧面孔相对于中性面孔更强地激活了双侧杏仁核、腹侧 ACC (anterior cingulate cortex, 前扣带回)和右侧腹侧 MPFC (medial prefrontal cortex, 内侧前额叶), 而对于完全可见的情况, 恐惧面孔更强地激活了左侧杏仁核、背侧 ACC、视觉联合皮层(如梭状回)以及一些额叶区域. 相比较于阈上恐惧和中性面孔的脑激活差异, 阈下恐惧和中性面孔的脑激活差异更强地激活了右侧下丘脑和右侧腹侧 ACC. 研究者推测意识上的恐惧表情加工更多地涉及了一些脑区的背侧区域, 而意识下的恐惧表情加工则更多涉及腹侧区域. 同样, Liddell 等人^[29]也采用了探测阈限作为无意识指标, 发现可见和不可见情况下, 恐惧面孔和中性面孔的 ERP 波形出现了双分离, 即可见的恐惧面孔比中性面孔诱发的 P3 成分显著更强, 而不可见的恐惧面孔比中性面孔诱发的 N2 成分和早期 P3a 成分更强. 他们又做了后续 fMRI 研究^[30], 发现对比被掩蔽的恐惧面孔和中性面孔, 强烈激活的皮层下区域有左侧上丘(superior colliculus, SC)、左侧丘脑的 pulvinar、双侧杏仁核和双侧 ACC, 此外还有一些因为唤醒度提升带来的高级皮层区域(包括 MPFC、左额下扣带回、左额上扣带回、颞叶皮层等)的激活. 此外, Whalen 等人^[31]采用迫选任务在实验后检测了被试的意识, 使用信号检测论的辨别力 d' 做指标, 发现无论 d' 高于还是低于随机水平, 实验结果均一致发现被掩蔽的恐惧面孔的眼白(即黑色的眼球和白色的眼周)比快乐面孔的眼白、恐惧面孔的眼黑(即白色的眼球和黑色的眼周)、快乐面孔的眼黑都显著更强地激活了左侧的腹侧杏仁核. 这些研究均为严格无意识下的情绪面孔加工提供了很好的支持证据.

1.2 双眼竞争范式

以上可见, 来自视觉掩蔽的证据虽然很多, 但研究结果上依然存在分歧, 争论的焦点往往是对视觉意识的测量, 早期研究多依赖于主观报告, 或者实验之后的再认测试, 新近的研究则采用了较为客观的迫选任务的正确率、信号检测论的辨别力、甚至探测阈限作为判断意识有无的指标. 有研究质疑道, 视觉掩蔽范式中情绪图片的呈现时间即便缩短至 17 ms, 也仍有部分被试可以探测出情绪面孔的存在^[32], 可见不同个体对视觉掩蔽范式下的情绪面孔的敏感度并不一致^[33,34]. 而且神经影像学的证据表明, 被成功掩蔽的视觉刺激能沿着腹侧视觉通路从 V1, V2, V4 一直传递到 TEO 区域, 即 IT 区域(inferior temporal cortex)^[35], 而杏仁核的活动大部分来自于 IT 区域^[36], 所以通过视觉掩蔽技术证明的无意识下情绪信息加工仍不够令人信服.

又由于和双眼竞争十分类似的闪烁抑制(flash suppression)被证明能阻断皮层水平的视觉输入向皮层下杏仁核的传输^[37], 且双眼竞争能有效阻断被抑制图片得到 IT 皮层(如 FFA, PPA)的加工^[38-40], 于是有研究者率先利用视觉中的经典现象——双眼竞争来考察更加严格意义上的无意识情况下的情绪信息加工. 在经典的双眼竞争实验中, 当我们将两张半透明的图片——红色人脸和绿色房子(或者绿色房子和红色人脸)叠加在一起, 让视力正常者透过红绿眼镜观察的时候, 观察者会看到人脸和房子的交替变化, 伴随转变过渡时看见的短暂融合, 但 500 ms 内人们往往只看到一种图像占主导, 对于每名观察者, 每次占意识主导的那个图像总是红色或者总是绿色. Williams 等人^[41]利用不同被试的不同偏向, 让被试每 500 ms 内只能看到叠加图中的人脸或者房子, 被试的任务是 1-back 工作记忆任务, 人脸包含 3 种面部表情: 恐惧、中性或快乐. 结果发现无论人脸的表情如何, 相比较于人脸占主导、房子被抑制的时间段, 人脸被抑制、房子占主导时, 对面孔敏感的纹状皮层双侧梭状回的激活强度显著下降. 更为关键的是, 当人脸占主导时, 只有恐惧的人脸比中性人脸更强地激活了右侧杏仁核, 快乐的人脸和中性的人脸在杏仁核上没有激活强度差别; 而人脸处于被抑制阶段时, 恐惧和快乐的人脸都比中性的人脸更强地激活了杏仁核, 只是恐惧人脸更强激活的是双侧杏仁核, 而快

乐的人脸更强激活的只有右侧杏仁核。研究者推测,杏仁核对意识上的情绪面孔的加工更为精细(只对恐惧面孔有反应),而对于被抑制在视觉意识之外的情绪面孔的加工则较为粗糙(对恐惧和快乐面孔均有反应),可能是因为无意识的情绪加工通路发生在皮层下、没有经过纹状皮层,神经信号传递较快,所以不够精细。但研究者并没有直接对比无意识下的恐惧和快乐人脸的杏仁核激活情况,况且显而易见的是,无意识下恐惧人脸比快乐人脸在左侧杏仁核的激活是不同的,所以无意识下杏仁核应当有可能区分出恐惧和快乐情绪。而且实验中并没有确保被试每次看到的都是自己偏向的颜色的图片,所以研究者通过被试对颜色的偏向推测出的被试知觉和他们的实际知觉可能不完全一样。Pasley 等人^[36]也使用 fMRI 手段观察了被试加工被掩蔽的人脸时的脑激活情况,但更为严格地控制了双眼竞争中掩蔽不成功的情况。实验中被试佩戴红蓝眼镜,每一个 2500 ms 的试次里,一只眼睛看见的是红色的不断变化的房子,另一只眼睛看见的是蓝色的目标刺激(人脸或椅子),通过让目标刺激从蓝色背景中渐渐出现再逐渐消失的办法使得目标刺激更好地被抑制。为了严格操纵无意识条件,研究者让被试一旦看见人脸或者椅子(哪怕是局部成分)则按键报告,被试主要是对看见的变化中的房子做 1-back 工作记忆任务。一旦有报告看到人脸或椅子或者 1-back 任务出现错误的试次均作废。选取的兴趣区有上丘、丘脑、杏仁核以及对人脸和椅子敏感的 IT 皮层(分别是外侧和内侧梭状回)。通过对比加工被抑制的恐惧人脸和椅子的脑区激活情况,发现被抑制的恐惧人脸只比椅子更强地激活了左侧杏仁核。更关键的是,被抑制的恐惧人脸并没有比椅子更强地激活 IT 皮层,且使用每个人在定位任务(object localizer protocol)中定出的具体 IT 区域分析个体数据时,发现 IT 区域的激活没有因被掩蔽的图片是人脸或是椅子而不同,且与双眼都看房子时的激活一致。可见,阈下呈现的恐惧人脸不能到达腹侧视觉通路的高级区域(颞下皮层),但仍能比阈下呈现的椅子更强地激活了杏仁核。研究者还进一步使用 PPI (psychophysiological interaction)分析了几个脑区激活的相关程度,发现只有在加工阈下恐惧人脸时,左侧杏仁核与左侧 SC, SC 和背部外后侧丘脑之间的激活显著正相关。这暗示上丘和丘脑也参与了无意识下对恐惧人脸的加工。

最近, Lerner 等人^[42]也探究了双眼竞争中情绪面孔加工的问题,他们让被试在 fMRI 仪器中进行自然的人脸-房子双眼竞争,用按键报告看见的是人脸、房子还是二者的融合,有恐惧人脸-房子的条件和中性人脸-房子的条件,各包含 8 个 36 s 的双眼竞争。结果发现,恐惧人脸占主导时,其更强地激活了背侧杏仁核,而恐惧人脸被抑制时,其更强地激活了腹侧杏仁核,且并非由占主导的房子所引起。这印证了 Williams 等人^[28]2006 年的 fMRI 研究,但是无意识和意识的恐惧面孔加工是否在于腹侧背侧的分离尚有待更多的研究。

1.3 眼间抑制范式

在双眼竞争技术的基础上,研究者又发展出了连续闪烁抑制(continuous flash suppression, CFS)或眼间抑制(interocular suppression)范式^[43,44],具体而言是向观察者的优势眼连续、快速地闪现一系列不同的随机色块拼成的图像,同时向非优势眼的相应位置呈现目标图像(如人脸),观察者会在较长一段时间内报告看不到目标图像。于是有研究者采用眼间抑制范式结合 fMRI 手段记录了被试观看可见和不可见的恐惧人脸、中性人脸、打乱的中性人脸(scrambled face)时大脑的神经活动,以加工打乱人脸时的脑激活为基线,发现当人脸可见时,FFA (fusiform face area)、右侧颞上沟(superior temporal sulcus, STS)和杏仁核对所有完整人脸的激活均很强烈;而人脸不可见时,FFA 对恐惧和中性人脸的激活均显著下降,但仍然有微弱的激活,而 STS 仅对恐惧人脸有微弱的激活,杏仁核对恐惧人脸仍有和可见条件下程度相当的强激活,对中性人脸的激活也显著下降^[45]。比较不可见的恐惧和中性人脸的结果是:FFA 对二者的加工没有显著性差异,而 STS 和双侧杏仁核均对恐惧人脸的激活显著更强。这暗示,无意识下至少 STS 和双侧杏仁核对恐惧面孔有特殊反应,而位于腹侧视觉通路较高水平的 FFA 虽然仍能加工面孔,但不能区分面部表情。研究者^[46]又继续用 ERP 考察了大脑皮层各区域对不可见的恐惧中性人脸加工的时间特征,发现不可见的人脸诱发的波形与可见的类似,只是幅度明显更小,从 220 ms 之后,不可见的恐惧人脸比中性人脸在 STS 附近产生的脑电波幅度显著更大。而对于人脸可见的情况,恐惧人脸比中性人脸在双侧枕颞区诱发了更大波幅的 N170。这说明无意识情

况下,虽然恐惧信息没有得到枕颞区的加工,但依然可以通过其他方式到达位于视觉通路的 STS 区域,这条通路有可能是一条绕过皮层的快速通路。

近年来研究者^[47]又基于 CFS 范式提出了一个被后人称作突破 CFS 范式(breaking continuous flash suppression paradigm^[48])的新方法,如正立面孔被发现比倒立面孔能显著更快地突破抑制,而且在双眼都呈现面孔的控制实验中,突破抑制时间没有差异^[47],这说明,在无意识水平,正立面孔比倒立面孔具有加工优势。用到情绪领域,研究者发现恐惧面孔比快乐和中性面孔都显著更快地突破了抑制,即便倒立过来亦如此;而且只呈现眼睛时,恐惧面孔的眼睛比快乐或中性面孔的眼睛也显著更快地突破了抑制^[49]。不过遗憾的是研究者并没有做控制实验,从而不能推测出时间差异是由情绪差异带来的,还是人们对不同情绪面孔的决策标准不同而导致的。

1.4 脑损伤研究

前文说到感觉无意识的极端情况是视觉皮层受损的病人,所以来自盲视病人的研究能更好地证明无意识的情绪信息加工现象。早在1999年,de Gelder等人^[50]对著名的左侧枕叶缺损病人 GY 的研究发现,他能对呈现在右侧视野的动态情绪表情做出远高于随机水平的辨别判断,对于静态表情也能做出显著稍高于随机水平的辨别。研究者进一步记录了 GY 判断静态情绪面孔的性别时的脑电信号,发现在 Oz 记录位点(靠近纹外皮层),对于正常的左视野和受损的右视野的情绪面孔均在类似时间点出现了 P1 和 N1 波,只是受损视野的波潜伏期相对较长,波幅也较小。但这种将可见与不可见情绪面孔加工相类比而做出推断的方式并不能证明情绪信息在受损的视野得到了加工,因为研究者并没有直接比较受损视野的情绪面孔与中性面孔。

Morris 等人^[51]又接着用 fMRI 手段进一步研究了病人 GY 对正常和受损视野的情绪面孔、厌恶条件化的面孔的 BOLD 信号反应,发现虽然 GY 报告看不见受损视野有面孔出现,但仍能对该视野的静态恐惧和快乐面孔做出正确率高于 75% 的辨认。呈现在正常视野的情绪面孔比呈现在受损视野的情绪面孔更强地激活了右侧纹状皮层、右侧梭状皮层和右侧前额叶。呈现在受损视野的恐惧面孔比快乐面孔更强地激活了双侧杏仁核,而呈现在正常视野的恐惧面孔

比快乐面孔只更强地激活了左侧杏仁核。呈现在受损视野的条件化面孔(CS+)比非条件化面孔(CS-)更强地激活了双侧杏仁核与上丘。进一步回归分析发现,杏仁核与上丘、杏仁核与后侧丘脑的正向共变只存在于看不见的恐惧面孔,而看不见的快乐面孔出现的均是负向共变。类似的,杏仁核与后内侧丘脑的正向共变仅存在于看不见的 CS+, 看不见的 CS- 则出现二者的负向共变。该实验更好地证明了盲视病人能够在一定程度上加工受损视野的恐惧面孔,并且其神经调节机制与上丘、后侧丘脑和杏仁核有关。

当然,病人的研究也存在其缺陷,因为病人的脑部缺损后,可能由于大脑的可塑性,其发展出其他代偿的通路,而并非无意识下的通路对其无意识加工起到贡献,这种可能性在一定程度上会削弱了病人研究的证据。于是 Pegna 等人^[52]对近期经历大脑双侧视觉皮层损毁的被试进行观察,发现他完全看不见任何视觉刺激。在迫选任务中,辨别简单形状、面孔性别的成绩均处于随机水平,而辨别面孔情绪时,则显著高于随机水平,且辨别情景的威胁性时,又降至随机水平,这说明这位病人在视觉皮层受损不久,还不能分辨简单视觉特征时,就能对面孔情绪做出反应。进一步使用 fMRI 观察发现相对于看中性面孔,他在看情绪(恐惧、快乐或生气)面孔时右侧杏仁核的激活显著更强。该证据比以往的盲视案例更强地支持了没有视觉皮层参与下的面孔情绪信息加工的存在。

此外,如果能短暂干预正常人的脑活动,观察其行为或生理反应,也能够说明问题,TMS (transcranial magnetic stimulation)技术恰好具备这样的特点。曾有研究在 TMS 诱发的盲点位置(注视点附近靠右侧),给被试呈现 17 ms 与外周视野目标刺激(即小黑点)一样的干扰刺激,发现相比较于没有干扰刺激时,有干扰刺激但被试完全看不到它的所有试次中,他们需要更长的时间将目光由注视点转移到目标刺激上,但要求按键报告目标刺激位置时,无论干扰刺激是否存在,反应时没有显著差异^[53]。也就是说,即使干扰刺激处于盲点不能被视觉皮层加工时,也能被加工到影响眼动任务的层次,这说明控制眼动的任务与视觉皮层的激活无关,而与控制眼动有关的早期神经解剖结构就是上丘,所以这暗示上丘能够绕过视觉皮层在一定程度上加工感觉刺激。这里,按键反应时无差异可能是因为任务涉及到空间定位,需要

更高级脑区的参与,而经过上丘的加工通路不能传达到较高的负责空间定位的皮层.那么对于情绪信息的加工是否有例外呢?Jolij 等人^[54]给被试呈现 16 或 33 ms 的简笔画人脸组成的 2×2 矩阵(其中只有一个情绪人脸,其他是中性人脸),呈现完延迟 50~290 ms 后,使用 TMS 抑制 V1 及周边早期视觉区域的活动,让被试先判断出现的情绪人脸的表情是快乐还是悲伤,然后再判断情绪人脸是在加号左边还是右边,发现当人脸矩阵只出现 16 ms,延迟 110 或 130 ms 施加 TMS 时,两个任务的正确率最低.但有趣的是,即便被试的空间定位正确率完全处于随机水平,他们的情绪分辨任务的成绩却显著更高,单独把延迟 110 和 130 ms 的空间定位出错的试次拿出来分析,发现对于延迟 110 ms 施加 TMS 的试次,情绪分辨任务显著高于随机水平.也就是说即便人们根本看不到情绪面孔,不能对其做空间定位,但他们在一定程度能辨别出情绪面孔的表情.该证据更有力地证明了我们对于情绪信息的加工可以不通过 V1 而完成.

1.5 小结

综上,可以看到大多数研究均采用情绪面孔作为实验材料,并将其与中性表情的面孔做对照,从而探究人们能否加工面孔的情绪信息,研究涉及到的情绪表情大多数是恐惧表情,因为反映威胁信号的恐惧表情最具有进化意义.早期证明情绪无意识加工的文献大多集中于探讨杏仁核的加工,接着出现了更多来自全脑分析的神经影像学研究,才发现了更多的脑区参与其中,尤其是一些皮层下的结构,皮层下快速通路也逐渐明晰,研究者推断情绪信息可能会沿着上丘、丘脑(尤其是 pulvinar)传达到杏仁核,再投射到广泛的其他与情绪加工有关的高级皮层区域(如 STS).文献中也有为数不多的几篇 ERP 研究,但如果情绪信息在无意识下只能通过皮层下通路传达到杏仁核的话,采用只能记录大脑皮层信号的 ERP 手段的研究并不能很好地揭示出无意识情绪加工的全部,但考虑到杏仁核激活之后可能会投射到 STS 和部分视觉皮层^[55],所以 ERP 中记录到的无意识情绪信息加工可能是来自于该后期过程.

2 无意识加工在意识上加工中的作用

对大鼠的神经解剖学证据表明,有两条并行通路通往杏仁核,一条是从丘脑经皮层到杏仁核,别外

一条是从丘脑直达杏仁核^[56].也分别有实验证据表明视觉或听觉输入可以直接从大鼠的视觉或听觉丘脑到达杏仁核^[57,58],所以才激发了早期研究者想证明人类在视觉加工时也有该通路的灵感.后人的研究也不断验证了皮层下快速通路的存在.

既然皮层下快速通路如此有效,那么它在意识上的情绪信息加工中是否也会起到作用呢?近期一项 MEG 研究^[59]让被试判断情绪和中性面孔的性别,同时给予标准听觉刺激或者以 10% 概率出现的 oddball 听觉刺激,发现在刺激加工 185 ms 左右在颞叶皮层就出现了 oddball 听觉刺激的更强的信号,而当同时看见的是恐惧面孔时信号更强,而进一步使用贝叶斯模型对比发现,使用双通路模型(既有皮层通路又有皮层下通路)比单通路模型(皮层通路)能更好地解释所有条件下的信号.这暗示皮层下通路在意识上的加工中也起了作用,而且无论视觉刺激是中性抑或情绪面孔,无论听觉刺激是否有新意,皮层下通路均会工作.所以,皮层下快速通路在意识上的情绪信息加工、甚至非情绪性信息加工中是否也发挥作用是今后研究者值得深入探究的问题.

3 结语与展望

综上所述,面孔的情绪信息具有进化上的意义,尤其是带有威胁性的情绪信息,因而来自动物研究的一些结果在人类实验中也同样得以发现.研究已证实杏仁核能够探测可见情况下突出的视觉刺激(包括恐惧或者开心的情绪表情).但是,情绪面孔能否在无意识情况下仍得到加工依然是争议热点之一,一部分反对无意识情绪面孔加工的研究所争论的焦点在于情绪面孔不能在注意资源被占据时得到加工^[60].但正如前文所述,无意识包含 2 类:一是注意无意识,二是感觉无意识.本文所举证据皆来自感觉无意识的情绪面孔加工证据,无论是采用视觉掩蔽范式、双眼竞争范式、眼间抑制范式,抑或初级视觉皮层缺损的病人研究和 TMS 实验方法,绝大部分研究均发现无意识下面孔(尤其是威胁性的面孔)的情绪信息可以得到加工.只有为数不多的几篇使用视觉掩蔽范式的实验发现无意识下恐惧面孔并不比中性面孔更强地激活杏仁核,但他们的发现并不足以驳倒无意识下恐惧面孔加工存在的可能性:首先,有研究表明人们对阈下恐惧面孔的敏感性和他们的焦虑水平有一定正相关^[34],可能其选择的被试更多是

低焦虑水平群体;其次,即便被试的焦虑水平较高,对阈下恐惧面孔足够敏感,他们的实验结果也只能削弱杏仁核在无意识恐惧面孔加工中的贡献,可能其他脑区例如尾状核等区域^[25]或者研究者没有考察的皮层下结构(如下丘和丘脑)^[26]对无意识加工起到更大作用.大多数支持证据表明,感觉无意识下恐惧面孔的加工机制涉及杏仁核的特异性激活以及杏仁核与上丘、上丘和丘脑之间的特异性功能连接.这暗示在动物实验中发现的上丘-丘脑-杏仁核通路,可能在人脑中也存在,并且在视觉刺激处于感觉阈限以下、不能传达到较高脑区时,该通路才得以凸显.

不过,关于该通路是否的确存在依然有一些反驳观点^[61],所以该领域仍有待更充分的研究.希望

今后在无意识情绪面孔加工领域,多一些对面孔情绪信息能否在经过客观测量保证的无意识的条件下被加工的神经机制的揭示.今后的研究应当注意确保视觉刺激的严格无意识,可利用客观分辨任务的正确率或信号检测论的 d' 作为无意识指标;此外,希望研究者更多地采用能够解释皮层间信号传递关系、能够揭示因果关系而不只是相关关系的方法,如有效功能连接中的 Granger causality 方法^[62]、经颅磁刺激(TMS)技术等来探究无意识下情绪信息加工的神经通路和网络.今后的研究还可以从对比注意无意识和感觉无意识下情绪面孔加工的神经机制异同的角度来展开,也可以从个体差异的角度探讨无意识的情绪信息加工及其神经机制.

参考文献

- 1 Poppel E, Held R, Frost D. Residual visual function after brain wounds involving central visual pathways in man. *Nature*, 1973, 243: 295–296
- 2 Weiskrantz L, Warrington E K, Sanders M D, et al. Visual capacity in the hemianopic field following a restricted occipital ablation. *Brain*, 1974, 97: 709–728
- 3 Crick F, Koch C. Are we aware of neural activity in primary visual cortex. *Nature*, 1995, 375: 121–123
- 4 Kim C Y, Blake R. Psychophysical magic: Rendering the visible 'invisible'. *Trends Cogn Sci*, 2005, 9: 381–388
- 5 Rajimehr R. Unconscious orientation processing. *Neuron*, 2004, 41: 663–673
- 6 Boyer J L, Harrison S, Ro T. Unconscious processing of orientation and color without primary visual cortex. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2005, 102: 16875–16879
- 7 Weiskrantz L, Barbur J L, Sahraie A. Parameters affecting conscious versus unconscious visual-discrimination with damage to the visual Cortex (V1). *Proc Natl Acad Sci USA*, 1995, 92: 6122–6126
- 8 Sahraie A, Weiskrantz L, Barbur J L, et al. Pattern of neuronal activity associated with conscious and unconscious processing of visual signals. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1997, 94: 9406–9411
- 9 Tamietto M, de Gelder B. Neural bases of the non-conscious perception of emotional signals. *Nat Rev Neurosci*, 2010, 11: 697–709
- 10 Dehaene S, Changeux J P, Naccache L, et al. Conscious, preconscious, and subliminal processing: A testable taxonomy. *Trends Cogn Sci*, 2006, 10: 204–211
- 11 Vuilleumier P, Schwartz S. Beware and be aware: Capture of spatial attention by fear-related stimuli in neglect. *Neuroreport*, 2001, 12: 1119–1122
- 12 Koch C, Tsuchiya N. Attention and consciousness: Two distinct brain processes. *Trends Cogn Sci*, 2007, 11: 16–22
- 13 Bahrami B, Lavie N, Rees G. Attentional load modulates responses of human primary visual cortex to invisible stimuli. *Curr Biol*, 2007, 17: 509–513
- 14 Anderson A K, Christoff K, Panitz D, et al. Neural correlates of the automatic processing of threat facial signals. *J Neurosci*, 2003, 23: 5627–5633
- 15 Esteves F, Ohman A. Masking the face: Recognition of emotional facial expressions as a function of the parameters of backward masking. *Scand J Psychol*, 1993, 34: 1–18
- 16 Ohman A. Automaticity and the amygdala: Nonconscious responses to emotional faces. *Curr Dir Psychol Sci*, 2002, 11: 62–66
- 17 Morris J S, Ohman A, Dolan R J. Conscious and unconscious emotional learning in the human amygdala. *Nature*, 1998, 393: 467–470
- 18 Whalen P J, Rauch S L, Etcoff N L, et al. Masked presentations of emotional facial expressions modulate amygdala activity without explicit knowledge. *J Neurosci*, 1998, 18: 411–418
- 19 Rauch S L, Whalen P J, Shin L M, et al. Exaggerated amygdala response to masked facial stimuli in posttraumatic stress disorder: A functional MRI study. *Biol Psychiat*, 2000, 47: 769–776

- 20 Kim M J, Loucks R A, Neta M, et al. Behind the mask: The influence of mask-type on amygdala response to fearful faces. *Soc Cogn Affect Neur*, 2010, 5: 363–368
- 21 Killgore W D, Yurgelun-Todd D A. Activation of the amygdala and anterior cingulate during nonconscious processing of sad versus happy faces. *NeuroImage*, 2004, 21: 1215–1223
- 22 Juruena M F, Giampietro V P, Smith S D, et al. Amygdala activation to masked happy facial expressions. *J Int Neuropsych Soc*, 2010, 16: 383–387
- 23 Dimberg U, Thunberg M, Elmehed K. Unconscious facial reactions to emotional facial expressions. *Psychol Sci*, 2000, 11: 86–89
- 24 Morris J S, Ohman A, Dolan R J. A subcortical pathway to the right amygdala mediating “unseen” fear. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1999, 96: 1680–1685
- 25 Phillips M L, Williams L M, Heining M, et al. Differential neural responses to overt and covert presentations of facial expressions of fear and disgust. *NeuroImage*, 2004, 21: 1484–1496
- 26 Pessoa L, Japee S, Sturman D, et al. Target visibility and visual awareness modulate amygdala responses to fearful faces. *Cereb Cortex*, 2006, 16: 366–375
- 27 Williams L M, Liddell B J, Rathjen J, et al. Mapping the time course of nonconscious and conscious perception of fear: An integration of central and peripheral measures. *Hum Brain Mapp*, 2004, 21: 64–74
- 28 Williams L M, Liddell B J, Kemp A H, et al. Amygdala-prefrontal dissociation of subliminal and supraliminal fear. *Hum Brain Mapp*, 2006, 27: 652–661
- 29 Liddell B J, Williams L M, Rathjen J, et al. A temporal dissociation of subliminal versus supraliminal fear perception: An event-related potential study. *J Cogn Neurosci*, 2004, 16: 479–486
- 30 Liddell B J, Brown K J, Kemp A H, et al. A direct brainstem-amygdala-cortical ‘alarm’ system for subliminal signals of fear. *NeuroImage*, 2005, 24: 235–243
- 31 Whalen P J, Kagan J, Cook R G, et al. Human amygdala responsivity to masked fearful eye whites. *Science*, 2004, 306: 2061
- 32 Pessoa L, Japee S, Ungerleider L G. Visual awareness and the detection of fearful faces. *Emotion*, 2005, 5: 243–247
- 33 Maxwell J S, Davidson R J. Unequally masked: Indexing differences in the perceptual salience of “unseen” facial expressions. *Cogn Emot*, 2004, 18: 1009–1026
- 34 Etkin A, Klemenhagen K C, Dudman J T, et al. Individual differences in trait anxiety predict the response of the basolateral amygdala to unconsciously processed fearful faces. *Neuron*, 2004, 44: 1043–1055
- 35 Bar M, Biederman I. Localizing the cortical region mediating visual awareness of object identity. *Proc Natl Acad Sci USA*, 1999, 96: 1790–1793
- 36 Pasley B N, Mayes L C, Schultz R T. Subcortical discrimination of unperceived objects during binocular rivalry. *Neuron*, 2004, 42: 163–172
- 37 Kreiman G, Fried I, Koch C. Single-neuron correlates of subjective vision in the human medial temporal lobe. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2002, 99: 8378–8383
- 38 Tong F, Engel S A. Interocular rivalry revealed in the human cortical blind-spot representation. *Nature*, 2001, 411: 195–199
- 39 Tong F, Nakayama K, Vaughan J T, et al. Binocular rivalry and visual awareness in human extrastriate cortex. *Neuron*, 1998, 21: 753–759
- 40 Almeida J, Mahon B Z, Nakayama K, et al. Unconscious processing dissociates along categorical lines. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2008, 105: 15214–15218
- 41 Williams M A, Morris A P, McGlone F, et al. Amygdala responses to fearful and happy facial expressions under conditions of binocular suppression. *J Neurosci*, 2004, 24: 2898–2904
- 42 Lerner Y L, Singer N, Gonen T, et al. Feeling without seeing? Engagement of ventral, but not dorsal, amygdala during unaware exposure to emotional faces. *J Cogn Neurosci*, 2012, 24: 531–542
- 43 Fang F, He S. Cortical responses to invisible objects in the human dorsal and ventral pathways. *Nat Neurosci*, 2005, 8: 1380–1385
- 44 Tsuchiya N, Koch C. Continuous flash suppression reduces negative afterimages. *Nat Neurosci*, 2005, 8: 1096–1101
- 45 Jiang Y, He S. Cortical responses to invisible faces: Dissociating subsystems for facial-information processing. *Curr Biol*, 2006, 16: 2023–2029
- 46 Jiang Y, Shannon R W, Vizueta N, et al. Dynamics of processing invisible faces in the brain: Automatic neural encoding of facial expression information. *NeuroImage*, 2009, 44: 1171–1177
- 47 Jiang Y, Costello P, He S. Processing of invisible stimuli: Advantage of upright faces and recognizable words in overcoming interocular suppression. *Psychol Sci*, 2007, 18: 349–355
- 48 Stein T, Hebart M N, Sterzer P. Breaking continuous flash suppression: A new measure of unconscious processing during interocular suppression? *Front Hum Neurosci*, 2011, 5: 167

- 49 Yang E, Zald D H, Blake R. Fearful expressions gain preferential access to awareness during continuous flash suppression. *Emotion*, 2007, 7: 882–886
- 50 de Gelder B, Vroomen J, Pourtois G, et al. Non-conscious recognition of affect in the absence of striate cortex. *Neuroreport*, 1999, 10: 3759–3763
- 51 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: 1241–1252
- 52 Pegna A J, Khateb A, Lazeyras F, et al. Discriminating emotional faces without primary visual cortices involves the right amygdala. *Nat Neurosci*, 2005, 8: 24–25
- 53 Ro T, Shelton D, Lee O L, et al. Extrageniculate mediation of unconscious vision in transcranial magnetic stimulation-induced blindsight. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2004, 101: 9933–9935
- 54 Jolij J, Lamme V A F. Repression of unconscious information by conscious processing: Evidence from affective blindsight induced by transcranial magnetic stimulation. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2005, 102: 10747–10751
- 55 Pessoa L, Kastner S, Ungerleider L G. Attentional control of the processing of neural and emotional stimuli. *Cogn Brain Res*, 2002, 15: 31–45
- 56 LeDoux J E. Emotion circuits in the brain. *Annu Rev Neurosci*, 2000, 23: 155–184
- 57 Shi C J, Davis M. Visual pathways involved in fear conditioning measured with fear-potentiated startle: Behavioral and anatomic studies. *J Neurosci*, 2001, 21: 9844–9855
- 58 Campeau S, Davis M. Involvement of subcortical and cortical afferents to the lateral nucleus of the amygdala in fear conditioning measured with fear-potentiated startle in rats trained concurrently with auditory and visual conditioned-stimuli. *J Neurosci*, 1995, 15: 2312–2327
- 59 Garrido M I, Barnes G R, Sahani M, et al. Functional evidence for a dual route to amygdala. *Curr Biol*, 2012, 22: 129–134
- 60 Pessoa L, McKenna M, Gutierrez E, et al. Neural processing of emotional faces requires attention. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2002, 99: 11458–11463
- 61 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: 773–782
- 62 Brovelli A, Ding M Z, Ledberg A, et al. Beta oscillations in a large-scale sensorimotor cortical network: Directional influences revealed by Granger causality. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2004, 101: 9849–9854

Unconscious processing of emotional faces and its probable neural mechanism

XU Qian^{1,2} & JIANG Yi¹

¹State Key Laboratory of Brain and Cognitive Science, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

²University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

With the advancement of techniques in probing unconscious visual processing, an increasing number of researches have demonstrated that unconscious visual information could have an impact on human being’s cognition and behavior. This review mainly introduces those studies regarding processing of fearful faces which are rendered subconscious through weak bottom-up inputs rather than insufficient top-down attentional resources. Studies that adopted backward masking, binocular rivalry, and interocular suppression paradigms and those conducted on patients who suffered from visual cortex lesion have shown converging evidence that some subcortical structures, like superior colliculus, thalamus, and amygdala, and the functional connectivity between these regions contribute to the unconscious processing of fearful faces. It is thus suggested that the human brain is able to process unconscious emotional faces through a rapid subcortical route bypassing early visual cortex. However, this route still needs further studies to delineate its causal instead of correlational relationship with unconscious processing. In addition, how the highly efficient subcortical route adds to the conscious processing of emotional faces is worthy of future investigations.

unconscious, emotional faces, neural mechanism, amygdala, superior colliculus, thalamus

doi: 10.1360/972012-676