



# 视觉系统中的性别差异\*

仝 娜<sup>1,2)</sup> 匡神兵<sup>1,2)\*\*</sup>

(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) 中国科学院大学心理系, 北京 100101)

**摘要** 大脑性别差异一直是神经科学领域中的一个热门话题. 以前的性别差异研究往往关注与高级认知相关的脑区结构和功能差异, 而对低级感知觉系统中的性别差异没有足够的重视. 近年来, 越来越多的研究表明, 男性和女性在视知觉功能上也存在着明显的差异. 本文首先回顾和梳理了视觉系统中存在性别差异的行为学和神经生物学证据, 然后对视觉系统中性别差异的来源提出了两种可能的解释, 接着讨论了视知觉功能存在性别差异的进化学意义, 最后强调了在感知觉研究中把性别作为一个实验变量的重要性, 并对后续的性别差异研究提出了一些具体的建议.

**关键词** 性别差异, 视觉系统, 颜色知觉, 运动知觉, 性激素

**中图分类号** B84, B842

**DOI:** 10.16476/j.pibb.2020.0398

大脑性别差异一直是神经科学领域研究者们广泛关注的话题之一<sup>[1-2]</sup>. 然而, 这些关注的焦点主要是集中在大脑高级认知功能上 (比如语言<sup>[3]</sup>、情绪<sup>[4]</sup>、记忆<sup>[5]</sup>等), 而在低级感知觉功能方面的相关研究则相对较少. 许多脑疾病的发病率有着明显的性别偏好, 比如自闭症谱系障碍 (ASD)<sup>[6-7]</sup>和注意力缺陷多动症 (ADHD)<sup>[8]</sup>等多发于男性患者, 而女性则更易患抑郁症<sup>[9]</sup>、焦虑症<sup>[10-11]</sup>和阿尔茨海默病 (AD)<sup>[12]</sup>等. 这些特殊群体往往伴随着不同程度的视觉信息加工损伤<sup>[13-14]</sup>. 比如, 自闭症患者普遍存在视觉运动知觉受损, 他们缺乏把局部信息整合成全局知觉的能力<sup>[14]</sup>, 阿尔茨海默病患者的视觉功能障碍更是包含了视知觉四个最基本的领域 (运动知觉、深度知觉、颜色知觉和对比度知觉)<sup>[15]</sup>. 这些研究结果暗示, 男性和女性的视觉系统可能在结构和功能上存在着显著的差异 (并不是像很多人认为的不存在或微小到可以忽略不计).

到目前为止, 视觉系统中的性别差异这一现象尚未引起研究者的足够重视, 特别是在一些与低级感知觉功能相关的研究中, 研究者们并没有严格控制被试的性别, 或者简单地认为某种实验结果在男性和女性上同样成立或等效. 探讨视觉系统中的性别差异问题有助于深入理解人类大脑信息加工的

特点, 有益于理解为什么一种性别比另一种性别更容易受到某种脑疾病的影响, 为寻找脑疾病的行为学和神经生物学指标提供更加全面的科学指导.

本文将基于已有的研究证据尝试对视觉系统中的性别差异现象进行综述和探讨. 我们首先梳理了性别差异在视敏度、对比度、颜色以及运动这四个基本视知觉能力上的行为证据, 接着总结了视觉系统中存在性别差异的神经生物学证据, 然后对这种差异的来源和进化学意义进行了讨论, 最后强调了在视知觉研究中把性别作为一个实验变量的重要性, 并对未来的性别差异研究工作进行了展望.

## 1 视觉系统性别差异的行为学证据

### 1.1 视敏度: 男性优于女性

视敏度是指眼睛分辨物体细节的一种能力. 研究者们发现在视敏度任务上男性表现得更好<sup>[16-18]</sup>. Ishigaki等<sup>[19]</sup>开展了一项大样本的发展性研究, 发现从童年期5岁开始, 男性比女性有着更好的辨别能力, 在15岁时达到最大差异. 视敏度性别差异也可从动物研究中观察到, 与雌性大鼠相比, 雄性大

\* 国家自然科学基金 (31600845) 资助项目.

\*\* 通讯联系人.

Tel: 18701391298, E-mail: kuangsb@psych.ac.cn

收稿日期: 2020-11-04, 接受日期: 2021-01-07

鼠的游标视敏度阈值更低<sup>[20]</sup>。关于视敏度性别差异的原因,目前并没有明确的解释,一个相对流行的解释来自进化的视角。狩猎者-采集者假说(hunter-gatherer hypothesis)认为,在原始社会,男性必须外出狩猎需要从更远的距离识别猎物或者威胁物,需要辨别远处物体的细节,这种假说能够很好地解释在视敏度上发现的性别差异<sup>[16]</sup>。同样支持该假设的证据是,有研究发现男性在远空间(far space)任务上的表现明显更好,而女性在近空间(near space)任务上表现出色,这很符合女性和男性在狩猎采集社会中分别扮演的角色<sup>[21]</sup>。

### 1.2 对比度敏感性:男女孰优无定论

对比度敏感性是指人或动物感知亮度变化的能力。Brabyn和McGuinness<sup>[22]</sup>测量了具有不同空间频率和对比度的移动光栅(grating)。他们发现,女性在低空间频率下具有更高的敏感性,而男性在高空间频率下具有更高的敏感性。在另外一个研究中,Abramov等<sup>[16]</sup>则发现,男性在整个空间频率上的敏感性都要优于女性,且这种性别差异在高空间频率下更加明显。这两个研究工作尽管结论不一致,但均肯定了男女间存在对比度敏感性的差异。然而,在其他几项使用Gabor刺激的研究中,研究者们却发现男女在对比度敏感性方面并没有显著差异<sup>[17, 23]</sup>。目前,在对比敏感度上是否存在性别差异还没有统一的结论,这可能是由于各研究采用了不同的实验任务和视觉刺激所致。

### 1.3 颜色敏感性:女性优于男性

颜色敏感性是指人类辨识颜色的能力。在颜色知觉中,一个很明显的性别差异现象就是男性色觉缺陷患者更多。色觉缺陷是由于编码颜色信息的视锥细胞(cone)功能缺陷所导致的。视锥细胞按照不同的光谱敏感性可分为3种类型,分别是对长波敏感的L-cones、对中波敏感的M-cones,以及对短波敏感的S-cones。其中,编码L-cones和M-cones的基因都位于X染色体上,因而,男性患色觉缺陷的概率要远远大于女性<sup>[24]</sup>,而很多女性也成为隐性的携带者。在健康人群中,颜色知觉能力也是有性别差异的。研究发现,不管是初级的颜色加工(如色调辨别、色彩敏感性<sup>[25-27]</sup>)还是高级的颜色加工(如颜色词记忆和颜色词汇量<sup>[28-29]</sup>),女性的表现要普遍优于男性。

### 1.4 视觉运动知觉:男性优于女性

运动知觉是指检测周围环境中物体运动的能力。Billino等<sup>[30]</sup>以随机运动点(random dot

kinematogram, RDK)作为刺激,考察人类被试辨别RDK整体运动方向的能力。他们发现,女性的运动知觉阈值要高于男性,这表明在把局部信息整合成全局运动方向的能力方面,女性要弱于男性。在RDK运动速度辨别任务上,男女间也存在着类似的差异<sup>[31]</sup>,且这种差异是不依赖于年龄的。视觉运动知觉能力存在“女弱男强”这一现象不光在RDK刺激上被观察到,在光栅刺激上也是如此。在最近的一项研究中,Murray等<sup>[32]</sup>考察了男女在判断光栅刺激运动方向的能力,他们测量了被试们能够辨识光栅运动方向所需的最短时间(即时间阈值)。结果发现,男性被试的时间阈值比女性被试要短得多,且这种性别差异只存在于高对比度的光栅条件下。当光栅的对比度很低时,时间阈值在男女间并没有显著差别。这些结果表明,男女间的时间阈值高低并不是因为其大脑处理信息的速度有所区别,而是男性和女性在运动知觉能力方面存在着差异。

周围环境中其他生物体的运动叫生物运动。研究表明,生物运动的知觉能力也存在着“女弱男强”的性别差异。男女在婴儿时期已经表现出不同的生物运动加工能力<sup>[33]</sup>。研究者们给被试呈现两种类型的生物运动刺激,包括正常的和打乱的PLW(point-light walker),并要求受试者判断哪一种是正常的。结果表明,无论年龄大小,女性的辨别阈限均高于男性<sup>[30]</sup>。近来一项研究也发现了类似的差异模式<sup>[17]</sup>,研究者们要求被试判断PLW的运动方向,发现男性方向判断的正确率要高于女性。

众所周知,老化(aging)会大大削弱大脑视觉信息加工的能力<sup>[34-36]</sup>。但是老化是否会影响人们在视觉加工中所观察到的性别差异呢?目前,关于视觉信息加工能力存在性别和年龄交互效应的研究主要集中在视觉运动知觉方面<sup>[37-39]</sup>,而在视敏度、对比度、颜色等其他视觉属性上均尚未见相关报道。在这些视觉运动知觉的研究中,研究者们发现,不管是基于RDK的随机运动点<sup>[37-38]</sup>还是基于PLW的生物运动<sup>[39]</sup>,老年男性的知觉表现均显著优于老年女性,而在年轻组中没有发现显著的性别差异。这表明,大脑处理视觉运动信息时男性优于女性的现象是动态的,“男强女弱”在步入老年阶段后可能才更容易显现出来。

表1对上述四种视觉属性中发现的性别差异现象进行了总结。

Table 1 A summary of sex differences in visual perception  
表1 视知觉能力的性别差异研究汇总

| 视觉属性 | 样本量<br>(男/女) | 年龄范围<br>(岁) | 性别差异 | 参考文献 |
|------|--------------|-------------|------|------|
| 视敏度  | 16/36        | 16~38       | 男>女  | [16] |
|      | 284/342      | 18~82       | 男>女  | [17] |
|      | 110/126      | 16~67       | 男>女  | [18] |
|      | 433/393      | 5~92        | 男>女  | [19] |
| 对比度  | 16/36        | 16~38       | 男>女  | [16] |
|      | 87/113       | 18~90       | 男=女  | [17] |
|      | 20/20        | 18~25       | 男=女  | [23] |
| 颜色   | 36/69        | 16~61       | 女>男  | [25] |
|      | 18/22        | 21~61       | 女>男  | [26] |
|      | 19/19        | 未知          | 女>男  | [27] |
| 运动   | 87/113       | 18~90       | 男>女  | [17] |
|      | 57/62        | 20~82       | 男>女  | [30] |
|      | 27/37        | 17~71       | 男>女  | [31] |
|      | 18/15        | 18~30       | 男>女  | [32] |

2 视觉系统性别差异的神经生物学证据

2.1 结构差异

视觉皮层的结构存在性别差异. 一项针对人脑的形态计量学研究发现, 人类视觉皮层的左右不对称性 (left-right asymmetry) 在男性和女性间存在差异. 其中, 右半球编码运动信息的脑区 MT (middle temporal lobe) 区与初级视皮层 V1 区 (primary visual cortex) 的体积比在男性中更大<sup>[40]</sup>. 研究者认为, 较大的 MT 脑区可能使得男性具有相对更强的能力来处理和整合信息, 这可以解释观察到的男性具有优越的运动加工能力和视觉空间能力的现象. 同样, 一项功能磁共振成像研究表明, 男性展现出较大的初级视觉皮层和顶叶联合皮层结构, 与之对比的是, 与语言加工相关的脑区则在女性中更大<sup>[41]</sup>. 一项采用大样本的功能连接研究显示, 男性的感觉运动皮层和视觉皮层之间的功能连接强度更高, 而女性在用于社会感知的默认模式网络中具有更强的连接<sup>[42]</sup>. 这些视觉系统结构的性别差异可能是男女具有不同的视知觉能力的神经生物学基础.

2.2 神经活动差异

视觉诱发电位 (visual evoked potentials) 是与视觉刺激事件相关的脑电 (EEG) 反应. 通常, 在模式反转诱发电位中, 女性展现出更大的波幅, 而男性的潜伏期则更长, 尤其是对于 P100 成分<sup>[43-47]</sup>. 这种差别是稳定的, 从童年<sup>[48-49]</sup>到老

年<sup>[44, 50]</sup>, 在整个生命周期中都可以看到. 一些研究认为, 女性较小的头围可以解释这种差异<sup>[45, 48, 51]</sup>, 但其他研究认为, 神经内分泌因素如激素水平<sup>[52-54]</sup>, 可能在这种性别差异中发挥了作用<sup>[43, 47]</sup>. 在白色闪烁的光刺激下, 女性的静息 EEG 振幅比男性要高<sup>[55]</sup>. 功能磁共振成像研究也表明, 对光刺激反应的性别差异确实存在, 但这些差异随着视觉刺激参数的不同而不同. 一些研究观察到, 与女性相比, 男性初级视觉皮层的血氧水平依赖 (blood oxygen level dependent, BOLD) 信号的反应更强<sup>[56-58]</sup>, 但这与其他研究人员的发现则刚好相反<sup>[59-60]</sup>. 在一项关于生物运动的功能磁共振成像研究中, 被试被动地观察正常 PLD (point-light display) 和打乱的 PLD. 结果发现, 与男性相比, 女性在正常的生物运动知觉过程中, 与社会认知相关的脑网络 (包括杏仁核、内侧颞回和颞极) 活动强度增加. 然而, 这些性别差异在 16 岁以下的被试中并不显著. 研究人员认为, 支持女性社会认知的神经回路从青春期开始就与男性不同<sup>[61]</sup>, 这可能是与社会认知相关的脑疾病发病率存在性别差异的基础. 一项脑磁图 (magnetoencephalogram, MEG) 研究揭示了生物运动加工的时间过程的性别差异. 结果表明, 在一个试次 (trial) 的早期阶段, 女性表现出更强的皮质反应 (cortical response), 主要在右侧顶叶和双侧颞叶, 而在后期阶段, 男性在右侧额叶和枕叶表现出更强的皮质反应<sup>[62]</sup>.

3 视觉系统性别差异的来源

3.1 来自高级认知功能脑区自上而下的反馈调制

前文阐述了视觉系统中存在性别差异的行为学和神经生物学证据. 但是, 视觉系统中的性别差异是如何产生的呢?

首先, 视觉系统中的性别差异可能来自于高级认知相关的脑区中性别差异的反馈调制. 众所周知, 视觉系统是人类接受外界环境信息的主要途径, 视觉信息是一切高级认知功能的基础. 视觉信息在视觉皮层经过加工处理后, 投射到高级联合皮层以及皮层下结构以支持不同的高级认知功能. 同时, 这些高级认知脑区又会发送大量的反馈连接到低级的视觉皮层, 调制视觉信息的加工和处理<sup>[63]</sup>. 因为它们处于一个动态的交互过程, 所以, 高级认知功能上存在的性别差异有可能会迁移到低级视觉系统中去.

但是,与自上而下迁移论相比,一个更加激进的假说是,高级认知功能上的性别差异有可能部分承袭自低级视觉加工中的性别差异.近来一项研究发现,老年人记忆能力的不同实际上是因为他们看到的不同,该研究提示高级认知功能的变化可能部分反映了视觉加工本身的差别<sup>[64]</sup>.这种观点认为,低级视觉系统中存在的性别差异不是源自于高级认知脑区,而是基于视觉皮层本身,来自性激素的影响.

### 3.2 来自性激素的影响

大量研究表明,性激素可以很好地解释高级认知功能上的性别差异<sup>[65-67]</sup>,在视觉系统中,性激素也发挥着重要作用.首先,在恒河猴和大鼠的视觉皮层神经元上,可以观察到许多雄激素受体<sup>[68-69]</sup>,早期暴露于雄激素对新生大鼠初级视皮层发育性细胞死亡有抑制作用<sup>[70]</sup>,改变了大鼠视觉皮层的发育,因此导致雄性大鼠初级视觉皮层的第二层和第三层神经元数量比雌性大鼠要多18%~24%<sup>[71-72]</sup>.在以人类被试为研究对象的研究中,在绝经前的女性视网膜色素上皮中检测到雌激素受体(estrogen receptor),但在男性和绝经后女性中没有发现<sup>[73]</sup>.这些性激素受体是性激素作用的靶点,能对视知觉能力产生影响.有一些研究发现了生理周期能调节女性视觉表现,并提示激素水平的变化可能对视觉加工产生影响<sup>[74-76]</sup>.研究者们发现,视觉敏感性和视觉诱发电位的测量在排卵期达到高峰,而排卵期

是雌激素水平最高的时期<sup>[54, 77]</sup>.这些发现强调了在未来视觉研究中控制女性生理周期的重要性.然而,目前尚不清楚性激素水平是如何影响视觉加工的.一种可能的想法是,性激素通过调节神经化学系统的功能,特别是抑制性神经递质 $\gamma$ -氨基丁酸(GABA),进而影响到视觉加工.与这种推测吻合的是,研究发现枕叶皮质中GABA递质的浓度受到生理周期的调节<sup>[78]</sup>,而GABA递质对视觉加工是至关重要的,比如,视觉皮层的静息态GABA浓度可以有效地预测视觉刺激诱发的伽马震荡频率和BOLD信号的强度<sup>[79]</sup>,以及朝向辨别任务上的行为表现<sup>[80]</sup>.

## 4 视觉系统性别差异的进化学意义

综上所述,男性和女性在视知觉能力方面是存在着明显性别差异的.这种差异主要表现为,男性有着更好的空间视敏度和运动知觉能力,而女性则在辨识物体颜色方面的能力更胜一筹(图1a).事实上,视知觉能力的性别差异不仅仅局限于这些低级的感知觉功能,在更为复杂的视知觉功能(比如面孔识别)上也有所体现.有研究表明,相比于男性,女性对于面孔有着更好的辨别和记忆能力<sup>[81-82]</sup>.我们推测,视知觉能力的性别差异可能与视觉的双通道理论相关.该理论认为<sup>[83]</sup>,视觉信息的加工主要是由视觉系统的腹侧通路(负责识别物体的颜色、形状及面孔等)和背侧通路(主要负责

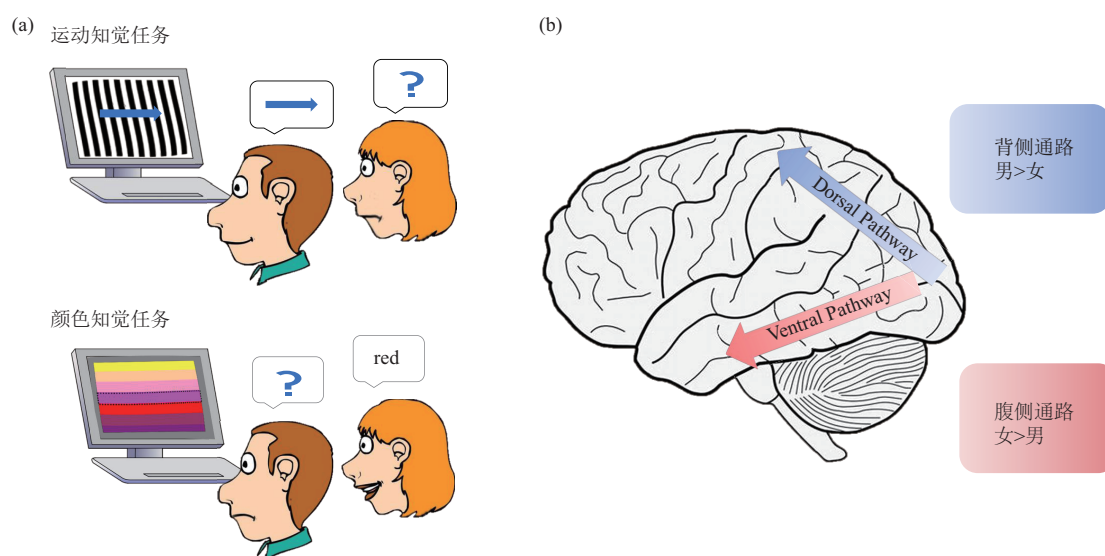


Fig 1 Diagram of sex differences in dorsal and ventral visual pathways

图1 男女在视觉加工背侧和腹侧通路上的差异

(a) 女性在颜色知觉任务上表现更好,而男性在运动知觉任务上表现更好。(b) 视觉系统的性别差异主要体现为男女在视觉系统背侧和腹侧通路上处理信息能力的分工与侧重.

处理运动和空间信息) 分别完成的. 因此, 视知觉的性别差异可以归纳为男性和女性在这两个视觉通路的信息处理上有所分工, 即男性在背侧通路上的信息加工更有优势, 而女性则更擅长于加工腹侧通路上的信息 (图1b).

为什么男性和女性会存在视觉信息处理的分工呢? 可以从进化论的狩猎者-采集者假设来尝试解释这个现象<sup>[84]</sup>. 狩猎者-采集者假设认为, 男性和女性在社会中所承担的角色决定了他们发展出各自优势的能力以保证良好的生存. 在原始社会, 男性需要外出狩猎寻找食物, 而女性则承担家庭劳务以及抚养后代的责任, 这种早期的经验会导致他们发展出不同的能力. 具体来说, 男性外出狩猎, 他们需要敏锐的视力, 同时还要注意识别周围是否有威胁, 需要迅速检测环境中物体 (包括猎物) 的运动信息, 并据此做出合适的运动行为 (捕猎还是逃跑). 对女性来说, 她们活动范围更窄, 主要负责收集居住地周围可用的树枝果子等, 因而需要对物体特征的辨别和物体分类更敏感, 同时她们需要抚养后代与其他人进行社交, 因而能更好地识别面孔. 这种假设可以很好地解释我们所观察到的性别差异现象: 即男性在视觉运动加工能力上好过女性, 而女性在物体识别 (颜色、面孔等) 优于男性.

## 5 总结和展望

本文总结和梳理了视觉系统性别差异的行为学和神经生物学证据. 与高级认知功能相比, 性别差异在低级感知觉体系中的存在并没有得到足够的重视, 视觉系统中的性别差异尽管相对较为细微, 但它是确实存在的, 这有力地证明了男性和女性“看待”世界确实不同<sup>[85]</sup>, 即使在相对较低水平的感知觉领域也是如此. 视觉系统中的性别差异可以大致归纳为, 女性在腹侧通路上的信息加工能力 (如颜色知觉、人脸识别等) 更优, 男性在背侧通路上的信息加工能力 (如运动知觉、空间视敏度等) 更强. 这种视觉信息加工的男女分工侧重不同可能对物种的生存和进化具有重要的意义.

虽然已有一些针对视觉系统性别差异的研究, 但是到目前为止, 人们对它的了解还十分有限, 一些研究结果仍然存在不一致的情况, 一些关键问题还没有得到解决. 本文结合现有研究的不足和空白, 提出以下几点建议:

a. 相比于高级认知功能中的性别差异研究, 探

讨视觉系统中存在的性别差异研究的数量和深度远远不够, 性别差异的内在脑机制仍是亟待解决的科学问题. 本综述旨在能够引起研究者们关注视觉领域的性别差异现象, 在论文写作中应该报告样本的性别构成, 并在实验设计和数据分析中把性别作为一个重要的实验变量考虑进去.

b. 具体到如何研究视觉系统中性别差异的问题, 尽管部分行为学研究已经报道了性别差异, 但神经机制的证据相对较少且没有发展性研究. 未来应该考虑有机结合神经科学的技术手段 (比如磁共振成像、脑电、电生理记录、神经调控等)、行为学测量、纵向的发展研究, 这些研究方法的联合应用有助于人们理解视觉系统性别差异发生的脑机制及其时间进程.

c. 性激素对高级认知功能和低级视觉信息加工均有重要的影响, 因此, 后续研究可以记录和分析影响大脑和行为的女性生理周期和雌性动物发情期等变量, 这些变量可能有助于解释性别内和性别间的变异性. 未来探讨性激素对视觉系统的影响的研究可以从以下几个方面考虑: (i) 利用动物模型可以外显地控制激素水平, 比较有无激素条件以及激素浓度高低条件下的视觉加工表现和大脑激活模式. (ii) 在人类被试中, 出于道德和伦理的考虑, 外显地操纵激素水平是有限的, 但绝经后的女性则提供了一个很好的研究机会. 与绝经前女性相比, 绝经后妇女在认知任务上表现较差, 但在接受雌激素替代治疗后表现提高<sup>[86]</sup>. 此外, 研究者们可以测量当前血清或唾液中的雌激素浓度, 然后在不同浓度的激素期间测试受试者. (iii) 通过药物干预的方法, 比如, 测量和比较女性在使用口服避孕药阶段和不用药阶段的视觉加工表现.

## 参 考 文 献

- [1] Cahill L, Aswad D. Sex influences on the brain: an issue whose time has come. *Neuron*, 2015, **88**(6): 1084-1085
- [2] McCarthy M M, Woolley C S, Arnold A P. Incorporating sex as a biological variable in neuroscience: what do we gain?. *Nature Reviews Neuroscience*, 2017, **18**(12): 707-708
- [3] Wallentin M. Putative sex differences in verbal abilities and language cortex: a critical review. *Brain and Language*, 2009, **108**(3): 175-183
- [4] Williams L M, Mathersul D, Palmer D M, *et al.* Explicit identification and implicit recognition of facial emotions: I. Age effects in males and females across 10 decades. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology*, 2009, **31**(3): 257-277
- [5] Pauls F, Petermann F, Lepach A C. Gender differences in episodic

- memory and visual working memory including the effects of age. *Memory*, 2013, **21**(7): 857-874
- [6] Halladay A K, Bishop S, Constantino J N, *et al.* Sex and gender differences in autism spectrum disorder: summarizing evidence gaps and identifying emerging areas of priority. *Molecular Autism*, 2015, **6**(1): 36
- [7] Mandy W, Chilvers R, Chowdhury U, *et al.* Sex differences in autism spectrum disorder: evidence from a large sample of children and adolescents. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 2011, **42**(7): 1304-1313
- [8] Arnett A B, Pennington B F, Willcutt E G, *et al.* Sex differences in ADHD symptom severity. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 2015, **56**(6): 632-639
- [9] Nolen-Hoeksema S. Gender differences in depression. *Current Directions in Psychological Science*, 2001, **10**(5): 173-176
- [10] Bekker M H J, Van Mens-Verhulst J. Anxiety disorders: sex differences in prevalence, degree, and background, but gender-neutral treatment. *Gender Medicine*, 2007, **4**(B): S178-S193
- [11] McEwen B S, Milner T A. Understanding the broad influence of sex hormones and sex differences in the brain. *Journal of Neuroscience Research*, 2017, **95**(1-2): 24-39
- [12] Rocca W A, Bower J H, Maraganore D M, *et al.* Increased risk of parkinsonism in women who underwent oophorectomy before menopause. *Neurology*, 2008, **70**(3): 200-209
- [13] Norton D J, McBain R K, Pizzagalli D A, *et al.* Dysregulation of visual motion inhibition in major depression. *Psychiatry Res*, 2016, **240**(6): 214-221
- [14] Simmons D R, Robertson A E, McKay L S, *et al.* Vision in autism spectrum disorders. *Vision Research*, 2009, **49**(22): 2705-2739
- [15] Albers M W, Gilmore G C, Kaye J, *et al.* At the interface of sensory and motor dysfunctions and Alzheimer's disease. *Alzheimer's & Dementia*, 2015, **11**(1): 70-98
- [16] Abramov I, Gordon J, Feldman O, *et al.* Sex & vision I: spatiotemporal resolution. *Biology of Sex Differences*, 2012, **3**(1): 20
- [17] Shaqiri A, Roinishvili M, Grzeczkowski L, *et al.* Sex-related differences in vision are heterogeneous. *Scientific Reports*, 2018, **8**(1): 7521
- [18] Burg A, Hulbert S. Dynamic visual acuity as related to age, sex, and static acuity. *Journal of Applied Psychology* 1961, **45**(2): 111-116
- [19] Ishigaki H, Miyao M. Implications for dynamic visual acuity with changes in age and sex. *Perceptual and Motor Skills*, 1994, **78**(2): 363-369
- [20] Seymoure P, Juraska J M. Vernier and grating acuity in adult hooded rats: the influence of sex. *Behavioral Neuroscience*, 1997, **111**(4): 792-800
- [21] Sanders G. Testing predictions from the hunter-gatherer hypothesis - 2: sex differences in the visual processing of near and far space. *Evolutionary Psychology*, 2007, **5**(3): 666-679
- [22] Brabyn L B, McGuinness D. Gender differences in response to spatial frequency and stimulus orientation. *Attention Perception & Psychophysics*, 1979, **26**(4): 319-324
- [23] Solberg J L, Brown J M. No sex differences in contrast sensitivity and reaction time to spatial frequency. *Perceptual and Motor Skills*, 2002, **94**(3): 1053-1055
- [24] Delpero W T, O'Neill H, Casson E, *et al.* Aviation-relevant epidemiology of color vision deficiency. *Aviation Space and Environmental Medicine*, 2005, **76**(2): 127-133
- [25] Abramov I, Gordon J, Feldman O, *et al.* Sex and vision II: color appearance of monochromatic lights. *Biology of Sex Differences*, 2012, **3**(1): 21
- [26] Kuehni R G. Determination of unique hues using munsell color chips. *Color Research and Application*, 2001, **26**(1): 61-66
- [27] Murray I J, Parry N R A, McKeefry D J, *et al.* Sex-related differences in peripheral human color vision: a color matching study. *Journal of Vision*, 2012, **12**(1): 18
- [28] Pérez-Carpinell J, Baldoví R, Fez M D D, *et al.* Color memory matching: time effect and other factors. *Color Research and Application*, 1998, **23**(4): 234-247
- [29] Simpson J, Tarrant A W S. Sex- and age-related differences in colour vocabulary. *Language and Speech*, 1991, **34**(1): 57-62
- [30] Billino J, Bremmer F, Gegenfurtner K R. Differential aging of motion processing mechanisms: evidence against general perceptual decline. *Vision Res*, 2008, **48**(10): 1254-1261
- [31] Snowden R J, Kavanagh E. Motion perception in the ageing visual system: minimum motion, motion coherence, and speed discrimination thresholds. *Perception*, 2006, **35**(1): 9-24
- [32] Murray S O, Schallmo M P, Kolodny T, *et al.* Sex differences in visual motion processing. *Curr Biol*, 2018, **28**(17): 2794-2799. e2793
- [33] Tsang T, Ogren M, Peng Y, *et al.* Infant perception of sex differences in biological motion displays. *Journal of Experimental Child Psychology*, 2018, **173**(9): 338-350
- [34] Bennett P J, Sekuler R, Sekuler A B. The effects of aging on motion detection and direction identification. *Vision Res*, 2007, **47**(6): 799-809
- [35] Betts L R, Sekuler A B, Bennett P J. The effects of aging on orientation discrimination. *Vision Res*, 2007, **47**(13): 1769-1780
- [36] Biehl S C, Andersen M, Waiter G D, *et al.* Neural changes related to motion processing in healthy aging. *Neurobiology of Aging*, 2017, **57**(9): 162-169
- [37] Andersen G J, Atchley P. Age-related differences in the detection of three-dimensional surfaces from optic flow. *Psychol Aging*, 1995, **10**(4): 650-658
- [38] Gilmore G C, Wenk H E, Naylor L A, *et al.* Motion perception and aging. *Psychology and Aging*, 1992, **7**(4): 654-660
- [39] Pilz K S, Bennett P J, Sekuler A B. Effects of aging on biological motion discrimination. *Vision Research*, 2010, **50**(2): 211-219
- [40] Amunts K, Armstrong E, Malikovic A, *et al.* Gender-specific left-right asymmetries in human visual cortex. *Journal of Neuroscience*, 2007, **27**(6): 1356-1364
- [41] Brun C C, Lepore N, Luders E, *et al.* Sex differences in brain structure in auditory and cingulate regions. *Neuroreport*, 2009, **20**(10): 930-935
- [42] Ritchie S J, Cox S R, Shen X, *et al.* Sex differences in the adult

- human brain: evidence from 5216 UK biobank participants. *Cerebral Cortex*, 2018, **28**(8): 2959-2975
- [43] Celesia G G, Kaufman D, Cone S. Effects of age and sex on pattern electroretinograms and visual evoked potentials. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1987, **68**(3): 161-171
- [44] Chu N-S. Pattern-reversal visual evoked potentials: latency changes with gender and age. *Clinical EEG (electroencephalography)*, 1987, **18**(3): 159-162
- [45] Guthkelch A N, Bursick D, Scwabassi R J. The relationship of the latency of the visual P100 wave to gender and head size. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1987, **68**(3): 219-222
- [46] Malcolm C, McCulloch D L, Shepherd A. Pattern-reversal visual evoked potentials in infants: gender differences during early visual maturation. *Developmental Medicine & Child Neurology*, 2002, **44**(5): 345-351
- [47] Sharma R. Visual evoked potentials: normative values and gender differences. *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 2015, **9**(7): CC12-15
- [48] Dion L A, Muckle G, Bastien C, *et al.* Sex differences in visual evoked potentials in school-age children: what is the evidence beyond the checkerboard?. *International Journal of Psychophysiology*, 2013, **88**(2): 136-142
- [49] Emmerson-Hanover R, Shearer D E, Creel D J, *et al.* Pattern reversal evoked potentials: gender differences and age-related changes in amplitude and latency. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1994, **92**(2): 93-101
- [50] Fein G, Brown F F. Gender differences in pattern reversal evoked potentials in normal elderly. *Psychophysiology*, 1987, **24**(6): 683-690
- [51] Gregori B, Pro S, Bombelli F, *et al.* Vep latency: sex and head size. *Clinical Neurophysiology*, 2006, **117**(5): 1154-1157
- [52] Avitabile T, Longo A, Caruso S, *et al.* Changes in visual evoked potentials during the menstrual cycle in young women. *Current Eye Research*, 2007, **32**(11): 999-1003
- [53] Marsh M S, Smith S. Differences in the pattern visual evoked potential between pregnant and non-pregnant women. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol*, 1994, **92**(2): 102-106
- [54] Yilmaz H, Erkin E, Mavioglu H, *et al.* Changes in pattern reversal evoked potentials during menstrual cycle. *International Ophthalmology*, 1998, **22**(1): 27-30
- [55] Wada Y, Takizawa Y, Zheng-Yan J, *et al.* Gender differences in quantitative EEG at rest and during photic stimulation in normal young adults. *Clinical EEG (electroencephalography)*, 1994, **25**(2): 81-85
- [56] Cohen M S, Dubois R M. Stability, repeatability, and the expression of signal magnitude in functional magnetic resonance imaging. *J Magn Reson Imaging*, 1999, **10**(1): 33-40
- [57] Cowan R L, Frederick B D B, Rainey M, *et al.* Sex differences in response to red and blue light in human primary visual cortex: a bold fMRI study. *Psychiatry Research Neuroimaging*, 2000, **100**(3): 129-138
- [58] Levin J M, Ross M H, Mendelson J H, *et al.* Sex differences in blood-oxygenation-level-dependent functional MRI With primary visual stimulation. *American Journal of Psychiatry*, 1998, **155**(3): 434-436
- [59] Hedera P, Wu D, Collins S, *et al.* Sex and electroencephalographic synchronization after photic stimulation predict signal changes in the visual cortex on functional MR images. *American Journal of Neuroradiology*, 1998, **19**(5): 853-857
- [60] Kastrup A, Li T Q, Glover G H, *et al.* Gender differences in cerebral blood flow and oxygenation response during focal physiologic neural activity. *J Cereb Blood Flow Metab*, 1999, **19**(10): 1066-1071
- [61] Anderson L C, Bolling D Z, Schelinski S, *et al.* Sex differences in the development of brain mechanisms for processing biological motion. *Neuroimage*, 2013, **83**(12): 751-760
- [62] Pavlova M A, Sokolov A N, Bidet-Ildei C. Sex differences in the neuromagnetic cortical response to biological motion. *Cereb Cortex*, 2015, **25**(10): 3468-3474
- [63] Grill-Spector K, Malach R. The human visual cortex. *Annual review of Neuroscience*, 2004, **27**(1): 649-677
- [64] Wynn J S, Amer T, Schacter D L. How older adults remember the world depends on how they see it. *Trends in Cognitive Sciences*, 2020, **24**(11): 858-861
- [65] Berenbaum S A, Bryk K L K, Beltz A M. Early androgen effects on spatial and mechanical abilities: evidence from congenital adrenal hyperplasia. *Behavioral Neuroscience*, 2012, **126**(1): 86-96
- [66] Hines M. Sex-related variation in human behavior and the brain. *Trends in Cognitive Sciences*, 2010, **14**(10): 448-456
- [67] Pasterski V, Hindmarsh P, Geffner M, *et al.* Increased aggression and activity level in 3- to 11-year-old girls with congenital adrenal hyperplasia (CAH). *Hormones and Behavior*, 2007, **52**(3): 368-374
- [68] Clark A S, Maclusky N J, Goldman-Rakic P S. Androgen binding and metabolism in the cerebral cortex of the developing rhesus monkey. *Endocrinology*, 1988, **123**(2): 932-940
- [69] Nuñez J, Huppenbauer C, Mcabee M, *et al.* Androgen receptor expression in the developing male and female rat visual and prefrontal cortex. *Journal of Neurobiology*, 2003, **56**(3): 293-302
- [70] Nuñez J L, Jurgens H A, Juraska J M. Androgens reduce cell death in the developing rat visual cortex. *Developmental Brain Research*, 2000, **125**(1): 83-88
- [71] Nuñez J L, Lauschke D M, Juraska J M. Cell death in the development of the posterior cortex in male and female rats. *The Journal of Comparative Neurology*, 2001, **436**(1): 32-41
- [72] Reid S M, Juraska J M. Sex differences in neuron number in the binocular area of the rat visual cortex. *The Journal of Comparative Neurology*, 1992, **321**(3): 448-455
- [73] Ogueta S B, Schwartz S D, Yamashita C K, *et al.* Estrogen receptor in the human eye: influence of gender and age on gene expression. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 1999, **40**(9): 1906-1911

- [74] Barris M C, Dawson W W, Theiss C L. The visual sensitivity of women during the menstrual cycle. *Documenta Ophthalmologica* 1980, **49**(2): 293-301
- [75] Diamond M, Diamond A, Mast M. Visual sensitivity and sexual arousal levels during the menstrual cycle. *Journal of Nervous and Mental Disease*, 1972, **155**(3): 170-176
- [76] Ward M M, Stone S C, Sandman C A. Visual perception in women during the menstrual cycle. *Physiology & Behavior*, 1978, **20**(3): 239-243
- [77] Parlee M B. Menstrual rhythm in sensory processes: a review of fluctuations in vision, olfaction, audition, taste, and touch. *Psychological Bulletin*, 1983, **93**(3): 539-548
- [78] Epperson C N, Haga K, Mason G F, *et al.* Cortical  $\gamma$ -Aminobutyric acid levels across the menstrual cycle in healthy women and those with premenstrual dysphoric disorder: a proton magnetic resonance spectroscopy study. *Archives of General Psychiatry*, 2002, **59**(9): 851-858
- [79] Muthukumaraswamy S D, Edden R A E, Jones D K, *et al.* Resting GABA concentration predicts peak gamma frequency and fMRI amplitude in response to visual stimulation in humans. *Proc Natl Acad Sci USA*, 2009, **106**(20): 8356-8361
- [80] Edden R A E, Muthukumaraswamy S D, Freeman T C A, *et al.* Orientation discrimination performance is predicted by GABA concentration and gamma oscillation frequency in human primary visual cortex. *The Journal of Neuroscience*, 2009, **29**(50): 15721-15726
- [81] Megreya A M, Bindemann M, Havard C. Sex differences in unfamiliar face identification: evidence from matching tasks. *Acta Psychologica*, 2011, **137**(1): 83-89
- [82] Rehnman J, Herlitz A. Women remember more faces than men do. *Acta Psychologica*, 2007, **124**(3): 344-355
- [83] Goodale M A, Milner A D. Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, 1992, **15**(1): 20-25
- [84] Silverman I, Eals M. Sex Differences in Spatial Abilities: Evolutionary Theory and Data [M]. *The Adapted Mind: Evolutionary Psychology and The Generation of Culture*. New York, NY, US; Oxford University Press. 1992: 533-549
- [85] Vanston J E, Strother L. Sex differences in the human visual system. *Journal of Neuroscience Research*, 2017, **95**(1-2): 617-625
- [86] Bagger Y Z, Tankó L B, Alexandersen P, *et al.* Early postmenopausal hormone therapy may prevent cognitive impairment later in life. *Menopause*, 2005, **12**(1): 12-17

## Sex Differences in The Visual System\*

TONG Na<sup>1,2)</sup>, KUANG Shen-Bing<sup>1,2)\*\*</sup>

<sup>(1)</sup>*State Key Laboratory of Brain and Cognitive Science, Institute of Psychology, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;*

<sup>(2)</sup>*Department of Psychology, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)*

**Abstract** Sex differences in the brain have long been a hot topic in neuroscience. Previous studies on gender differences have focused on brain structures and functions related to higher-level cognition, but less attention has been paid to low-level sensory and perceptual systems. Recently, a growing number of studies have shown that men and women also show remarkable differences in visual processing. In this paper, we started by reviewing the behavioral and neural evidences supporting the notion of sex differences in the visual system. We then proposed two potential explanations and discussed the evolutionary benefits of sex differences in visual perception. Finally, we highlighted the importance of incorporating sex as a biological variable in visual neuroscience research, and offered a few suggestions for future studies on sex differences in the visual system.

**Key words** sex differences, visual system, color perception, motion perception, sex hormone

**DOI:** 10.16476/j.pibb.2020.0398

---

\* This work was supported by a grant from The National Natural Science Foundation of China (31600845).

\*\* Corresponding author.

Tel: 86-18701391298, E-mail: kuangsb@psych.ac.cn

Received: November 4, 2020 Accepted: January 7, 2021