

视觉忽略的特点及其空间注意的脑网络机制*

张艳明¹ 胡洁¹ 马佳妮¹ 单桂香¹ 宋为群^{1,2}

视觉忽略(visual neglect, VN)是多种成分障碍的综合征,其中最突出的是注意障碍。目前,忽略功能机制的研究正在从患者的行为分离表现转移到证明可能存在的成分障碍方面,以及治疗方案之间的相互作用^[1-2]。近年来,忽略中注意障碍的解剖研究有所进展,对注意加工过程相关的脑网络通路的解剖和功能的理解也得到相应的提高。本文主要综述了脑注意环路的解剖功能及视觉忽略的表现,其中额-顶网络通路起了关键作用。

1 注意加工的分类

一种生物生活在多种生物体混合的环境中,其为了生存及达到某种需求,它需要选择适合的刺激,但是由于能力有限,他们必须忽视其他一些不重要的物体。因此,环境中物体之间的竞争会引起生物的注意。注意的神经机制是通过考虑生物的需求及感觉刺激的强度解决竞争关系^[3]。

注意现象包含一系列特异的神经认知机制,该神经认知机制之间是相互制约的。例如,Pararsuraman等^[4]已经证实注意成分的相互作用及三种独立的组成部分:①选择:某些物体加工过程的输入;②警觉:维持持续注意的能力;③控制:计划不同的活动及协调能力。空间注意与基于物体的非注意之间比较,空间选择性注意在物体加工过程中速度和精确性具有明显的优势。在生活中,人们往往是通过转移目光、移动头部和身体转向重要的刺激物。为了持续注意目标,生物通过空间选择性注意不断适应环境的变化,这与以下两种机制有关:①为了能够出现相应的行为动作或逃避动作,允许加工处理有益或有害的突发情况;②有些事情会分散注意力,但是能够维持最终的行为动作,如反射性方式(例如,当按汽车喇叭时引起行人的注意)或自控方式(例如,当行人信号灯显示等待时,行人就不能通过马路)引导注意力注意空间中的物体。对新异刺激的定位主要是外源性注意的作用,外源性注意主要负责引导感知注意相关的靶目标^[5-6]。

在觉察、知觉和注意的脑机制中忽略是研究的重点,尤其是对视觉空间忽略患者的研究中对注意加工过程和神经

中枢基础分析做出了重要的贡献。忽略最严重的特征是对左侧范围内物体的定向注意障碍。然而,忽略患者的空间注意障碍不能一概而论,主要涉及外源性定向注意^[7]。例如Rastelli等^[8]研究证实,在忽略患者中右侧视觉范围内出现靶目标能够诱导患者的病理性注意偏移。因此,右侧范围内的物体具有引起患者注意的趋势,这与基于物体和外源性注意之间的特性关系是一致的。

Chica等^[9]通过对正常受试者的行为学、神经心理学、神经病理学和神经影像学研究证实,内源性注意对近阈值刺激的觉察知觉影响比较小。He等^[10]研究表明半球间、半球内具有相互作用,右半球腹侧注意网络(ventral attentional network, VAN)受损导致双侧半球背侧注意网络(dorsal attentional network, DAN)之间的功能失衡,左侧背侧额-顶网络出现过度兴奋性,这会引引起注意力偏向右侧范围内的物体而忽略左侧范围内的物体。Asplund等^[11]通过fMRI对额下回联合区(BA9、BA44、BA6)的作用进行了研究,阐明了额下回连接区在自下而上和自上而下之间有一定的作用。因此,在忽略患者中,注意的非空间方面的障碍可能导致空间偏移的加剧。

忽略相关障碍的另一个重要的特征是,空间注意和凝视有利于捕获右侧范围内的物体,而正常的受试者可能不会表现出此类行为,这是因为在加工过程中能够抑制重复的定位相同物体。当在同一空间位置发生两个连续的视觉事件时,对第二个事件更容易产生反应。然而,如果两个事件之间间隔超过300ms时,对第二个事件反应会比对第一个事件的反应慢,此类现象称之为返回抑制(inhibition of return, IOR)。忽略患者的IOR是不正常,而右侧脑损伤不伴有忽略的患者,他们对双侧空间内的IOR是正常的。Bourgeois等^[12]研究证实了IOR依赖于右侧半球的额-顶注意网络。

2 注意环路的结构

目前,有学者对脑网络结构的解剖、功能、动力学及病理学进行了大量的研究,有利于研究注视和注意的解剖定位,

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2014.09.021

*基金项目:国家自然科学基金资助项目(30770714、81171024、81371194);北京市自然科学基金资助项目(7052030);首都医学发展科研基金(2007-2068);高等学校博士学科点专项科研基金(20091107110004);北京市卫生系统高层次卫生技术人才培养计划(2009-3-62);北京市新世纪百万人才工程资助

1 首都医科大学宣武医院康复医学科,北京,100053; 2 通讯作者。作者简介:张艳明,男,主管技师; 收稿日期:2013-09-13

该网络结构中主要包括前额叶背外侧皮质(prefrontal cortex, PFC)和后顶叶皮质(posterior parietal cortex, PPC),两种结构的神经元活性具有相互依赖性^[13]。

Buschman等^[13]对猴子进行了研究,当猴子受到选择视觉扫描目标刺激时,类似PPC和PFC区出现兴奋性的协调性。然而,PFC和PPC具有独特的动力学特征,当通过刺激进行注意选择的时候(自下而上或外源性定位)或通过自上而下的目标引导的时候(内源性定位),似乎是使用两种不同的“语言”,尤其是,自下而上的信号首先出现在顶叶皮质,具有代表性的 γ 波在额-顶联合区增加,而自上而下的信号首先出现在额叶皮质,与 β 波同步发生。Corbetta等^[17]研究提出空间注意存在复杂的额-顶网络结构,在提示-靶试验过程中DAN(顶上回、额-眼动区、背外侧PFC)的血氧水平依赖性(blood oxygenation level dependent, BOLD)反应升高;当受试者对无效提示-靶反应时,VAN(颞-顶联合区和腹侧额叶皮质)的BOLD反应升高。由此可见,DAN对空间定向起主要作用,而VAN在探索意外与行为相关事件过程中占主导作用。根据示踪技术及解剖研究,证实存在三个不同的额-顶通路:①背外侧通路即上众束I(superior longitudinal fasciculus I, SLF I);起源于Brodmann分区5(Brodmann area, BA)、BA7,投射到BA8、BA9和BA32;②中间通路即上众束II(SLF II);起源于BA39、BA40,通过顶下小叶(inferior parietal lobe, IPL)止于前额的BA8、BA9;③腹外侧通路即上众束III(SLF III);起源于BA40,止于BA44、BA45和BA47^[15-16]。Thiebaut等^[17]研究表明,SLF III在VAN内连接脑,而DAN是通过同源的SLF I连接。SLF II将VAN的顶叶成分与DAN的额叶成分连接起来,因此,在VAN和DAN之间可以进行直接的联络。

一般认为视觉忽略症状与IPL受损有关。最近多项研究表明,忽略症状不是由于局部皮质受损所致,而是很大程度上与脑网络通路功能障碍有关,这些网络通路结点包括PPC、外侧前额叶皮质(dorsal lateral prefrontal cortex,DLPFC)、颞顶联合区(temporo-parietal junction, TPJ)和枕叶^[18]。在注意空间定向过程中,这些网络通路结点表现出BOLD反应增加。忽略症状很大程度上与右侧半球额-顶网络通路受损有关,然而,白质的局部损伤及SLF成分受影响也会导致严重、短暂的忽略症状。Karnath等^[19]研究表明,在右侧大脑半球中空间定向加工过程的解剖基础基于外侧裂神经网络通路,该神经网络通路包括颞上回、顶下小叶和额叶腹外侧皮质,其神经元能够提供我们身体空间位置及运动的信息,在调节身体空间位置过程中起到关键作用。

3 脑损伤后视觉忽略障碍

3.1 忽略综合征(neglect syndrome)

右半球SLF II暂时性失活会减弱视觉注意的对称性分布,破坏右半球的SLF网络经常会出现相关的功能障碍,如左侧视觉忽略^[20]。右半球损伤中约有一半的患者患有左侧空间忽略,最常见的原因是脑血管病,但是在脑瘤、阿尔兹海默病和皮质萎缩的患者中也会发生^[21]。忽略患者经常会注意不到自身环境中某一部分空间内发生的事情(通常是左侧),有时会忘记吃盘子中左侧部分的饭菜或碰撞左侧空间中的障碍物^[22]。

左侧忽略的患者经常会增加注意右侧空间场景内细节的趋势,他们经常注意不到自己患有此种疾病(如疾病失认症)^[23]。左侧脑损伤患者表现出右侧空间忽略的症状,此类疾病是极少见的或是比较严重的一种形式。对患者来说,忽略本质上是一种功能障碍,影响患者的生活质量。对此类疾病的诊断是相当重要的,针对性的康复治疗是有效果的,药物治疗同样也有一定的效果。在床边进行简单的纸-笔测试就很容易进行诊断^[24]。

3.2 忽略中的知觉不对称

对注意障碍的研究能够阐明视觉忽略的多种特征。Urbanowski等^[25]研究在直线二等分试验中,对直线右侧远端提示引起患者对右侧注意的捕获,选择在直线二等分试验中有右侧偏移的患者,患者想象中是否存在右侧终点将会影响患者想象直线的左侧终点。当看到右侧终点时,想象与实际的两个线段是不对称。Charras等^[26]研究表明,忽略患者左半球的过度兴奋导致对直线右侧部分高估,而对直线左侧部分低估是由于右侧半球注意网络功能受损所致。

视觉对消是视觉忽略更重的一种形式,主要反映了患者对呈现在双侧视觉范围的靶目标同时加工时出现障碍,即患者无法注意到病灶对侧的事物,尽管单独在该侧呈现刺激时尚可注意到。患侧知觉障碍与视觉对消有关,视觉对消常见于双侧竞争病态偏移的结果,引起视觉对消的关键部位是TPJ受损,而顶内沟(intraparietal sulcus, IPS)在多靶目标竞争过程中也起到了关键作用^[27]。

3.3 忽略和非空间注意:警觉的作用

目前,空间注意机制失调在忽略中的作用是研究的重点。Husain等^[28]研究表明忽略患者的其他注意功能也会受损,如警觉。Kusnir等^[29]对正常受试者进行研究,在觉察知觉阈值附近呈现靶刺激,阶段性警觉能够影响知觉分辨和觉察知觉,表明阶段性警觉不仅仅能够影响患者的运动准备,也会直接影响知觉的加工过程。

Bartolomeo等^[30]研究表明,阶段性听觉警觉能够提高视觉刺激物的主观性知觉,推测阶段性听觉警觉能够激活忽略患者的右侧半球额-顶网络通路。注意网络通路之间的相互作用涉及到警觉、定位及执行功能的控制,Chica等^[31]对16例忽略患者进行成组研究,调节警觉强度能够改善忽略患者的

忽略症状,阶段性声调警觉可以改善忽略患者的定向能力,提高患者消除忽略侧空间内冲突的能力,这些患者的损伤部位主要涉及到右侧岛叶和白质下。右侧岛叶与持续性注意有关,与前扣带回有重要的联系,是控制认知和消除冲突的关键部位^[32]。Chica等^[31]研究表明,通过调节忽略患者的警觉和定向功能能够改善患者消除冲突的能力。

3.4 想象忽略(imaginal neglect)

空间忽略更复杂的症状是约1/3的忽略患者同时伴有忽略所想象图像的左半部分。当描述记忆某一地方的时候,这些患者就会遗漏所想象空间的左半部分,称之为“想象”忽略或表征性忽略(representational neglect)。患者经常会花很多时间观察周围的环境,但是比较抽象的想象区域却难以获得代偿,经过康复训练或信息提示(如看看你的左侧)效果也不理想^[33]。

Bartolomeo等^[34]研究表明,想象与知觉忽略之间存在双重联系,对想象忽略的研究提出了特异方法论,一般情况下,使用不同的测试方法评定空间知觉和空间想象,可以使用纸-笔试验描述知觉和想象记忆,而记忆的描述更依赖于语义记忆,那么即使存在想象忽略也会有对称性描述。Rode等^[35]通过磁共振成像(magnetic resonance imaging, MRI)研究表明,想象忽略可能是由于额-顶网络通路功能受损所致,导致患者向左侧定位功能受损,另外胼胝体后部受损也会阻止长期记忆空间信息的对称性加工。Bourlon等^[36]研究表明,想象忽略可能是由于内源性注意的自上而下加工过程受损所致,而外源性注意受损主要导致知觉忽略。

4 小结

注意加工过程主要是由脑的额-顶网络通路起作用,但是目前还未完全解释清楚其对右侧半球的作用。脑损伤后阻碍患者对空间中物体的感知,导致患者功能障碍。目前,我们尚缺乏治疗视觉空间注意障碍的有针对性、可行性的有效治疗方法,脑损伤患者注意网络功能障碍的治疗方法尚需探索。

参考文献

[1] Paolo B, Michel T, Ana BC. Brain networks of visuospatial and their disruption in visual neglect[J]. *Front Hum Neurosci*, 2012, 6(4):1—10.
 [2] Cate AD, Herron TJ, Kang X, et al. Intermodal attention modulates visual processing in dorsal and ventral streams[J]. *Neuroimage*, 2012, 63(3):1295—1304.
 [3] Manqun GR. Neural mechanisms of visual selective attention[J]. *Psychophysiology*, 1995, 32(1):4—18.
 [4] Parasuraman R, Greenwood PM, Alexander GE. Selective impairment of spatial attention during visual search in Al-

zheimer's disease[J]. *Neuroreport*, 1995, 6(14):1861—1864.
 [5] Di FA, Parisi D, Bartolomeo P. Modeling orienting behavior and its disorders with “ecological” neural networks[J]. *Cogn Neurosci*, 2007, 19(6):1033—1049.
 [6] Callejas A, Lupiáñez J, Funes MJ, et al. Modulations among the alerting, orienting and executive control networks[J]. *Exp Brain Res*, 2005, 167(1):27—37.
 [7] Corbetta M, Shulman GL. Spatial neglect and attention networks[J]. *Annu Rev Neurosci*, 2011, 34:569—599.
 [8] Rastelli F, Funes MJ, Lupiáñez J, et al. Left neglect: is the disengage deficit space- or object-based[J]? *Exp Brain Res*, 2008, 187(3):439—446.
 [9] Chica AB, Bartolomeo P. Attentional routes to conscious perception[J]. *Front Psychol*, 2012, 3:1.
 [10] He BJ, Snyder AZ, Vincent JL, et al. Breakdown of functional connectivity in frontoparietal networks underlies behavioral deficits in spatial neglect[J]. *Neuron*, 2007, 53(6):905—918.
 [11] Asplund CL, Todd JJ, Snyder AP, et al. A central role for the lateral prefrontal cortex in goal-directed and stimulus-driven attention[J]. *Nat Neurosci*, 2010, 13(4):507—512.
 [12] Bourgeois A, Chica AB, Migliaccio R, et al. Cortical control of inhibition of return: evidence from patients with inferior parietal damage and visual neglect Cortical control of inhibition of return: evidence from patients with inferior parietal damage and visual neglect[J]. *Neuropsychologia*, 2012, 50(5):800—809.
 [13] Buschman TJ, Miller EK. Top-down versus bottom-up control of attention in the prefrontal and posterior parietal cortices[J]. *Science*, 2007, 315(5820):1860—1862.
 [14] Corbetta M, Shulman GL. Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain[J]. *Nat Rev Neurosci*, 2002, 3(3):201—215.
 [15] Wedeen VJ, Rosene DL, Wang R, et al. The geometric structure of the brain fiber pathways[J]. *Science*, 2012, 335(6076):1628—1634.
 [16] Toba MN, Cavanagh P, Bartolomeo P. Attention biases the perceived midpoint of horizontal lines[J]. *Neuropsychologia*, 2011, 49(2):238—246.
 [17] Thiebaut SM, Dell'acqua F, Forkel SJ, et al. A lateralized brain network for visuospatial attention[J]. *Nat Neurosci*, 2011, 14(10):1245—1246.
 [18] Doricchi F, Thiebaut SM, Tomaiuolo F, et al. White matter (dis) connections and gray matter (dys) functions in visual neglect: gaining insights into the brain networks of spatial awareness[J]. *Cortex*, 2008, 44(8):983—995.
 [19] Karnath HO, Rorden C, Ticini LF. Damage to white mat-

- ter fiber tracts in acute spatial neglect[J]. *Cereb Cortex*, 2009, 19(10):2331—2337.
- [20] Thiebaut SM, Urbanski M, Duffau H, et al. Direct evidence for a parietal-frontal pathway subserving spatial awareness in humans[J]. *Science*, 2005, 309(5744):2226—2228.
- [21] Bartolomeo P, Thiebaut SM, Doricchi F. Left unilateral neglect as a disconnection syndrome[J]. *Cereb Cortex*, 2007, 17(11):2479—2490.
- [22] Azouvi P, Bartolomeo P, Beis JM, et al. A battery of tests for the quantitative assessment of unilateral neglect[J]. *Restor Neurol Neurosci*, 2006, 24(4-6):273—285.
- [23] Bartolomeo P, Bachoud-Lévi AC, Azouvi P, et al. Time to imagine space: a chronometric exploration of representational neglect[J]. *Neuropsychologia*, 2005, 43(9):1249—1257.
- [24] Bartolomeo P. Visual neglect[J]. *Curr Opin Neurol*, 2007, 20(4):381—386.
- [25] Urbanski M, Thiebaut SM, Rodrigo S, et al. Brain networks of spatial awareness: evidence from diffusion tensor imaging tractography[J]. *Neurol Neurosurg Psychiatry*, 2008, 79(5):598—601.
- [26] Charras P, Lupiáñez J, Bartolomeo P. Assessing the weights of visual neglect: a new approach to dissociate defective symptoms from productive phenomena in length estimation[J]. *Neuropsychologia*, 2010, 48(11):3371—3375.
- [27] de Haan B, Karnath HO, Driver J. Mechanisms and anatomy of unilateral extinction after brain injury[J]. *Neuropsychologia*, 2012, 50(6):1045—1053.
- [28] Husain M, Rorden C. Non-spatially lateralized mechanisms in hemispatial neglect[J]. *Nat Rev Neurosci*. 2003, 4(1):26—36.
- [29] Kusnir F, Chica AB, Mitsumasu MA, et al. Phasic auditory alerting improves visual conscious perception[J]. *Conscious Cogn*. 2011, 20(4):1201—1210.
- [30] Bartolomeo P. A parieto-frontal network for spatial awareness in the right hemisphere of the human brain[J]. *Arch Neurol*, 2006, 63(9):1238—1241.
- [31] Chica AB, Thiebaut SM, Toba M, et al. Attention networks and their interactions after right-hemisphere damage [J]. *Cortex*, 2012, 48(6):654—663.
- [32] Thakral PP, Slotnick SD. The role of parietal cortex during sustained visual spatial attention[J]. *Brain Res*, 2009, 1302:157—166.
- [33] Rode G, Cotton F, Revol P, et al. Representation and disconnection in imaginal neglect[J]. *Neuropsychologia*, 2010, 48(10):2903—2911.
- [34] Bartolomeo P, Zieren N, Vohn R, et al. Neural correlates of primary and reflective consciousness of spatial orienting [J]. *Neuropsychologia*, 2008, 46(1):348—361.
- [35] Rode G, Revol P, Rossetti Y, et al. Looking while imagining: the influence of visual input on representational neglect [J]. *Neurology*, 2007, 68(6):432—437.
- [36] Boursillon C, Duret C, Pradat-Diehl P, et al. Vocal response times to real and imagined stimuli in spatial neglect: a group study and single-case report[J]. *Cortex*, 2011, 47(5): 536—546.