

卒中后单侧空间忽略的神经机制及康复的研究进展*

张艳明¹ 胡洁¹ 霍速¹ 岳月红² 宋为群^{1,3,4,5}

视觉空间障碍是卒中后患者常见的功能障碍,单侧空间忽略(unilateral spatial neglect, USN)是其中最严重的认知功能障碍之一。USN为卒中后患者对来自病灶对侧空间的刺激不能正确定位、报告或反应,不能注意到来自对侧的视觉、听觉、触觉等刺激,甚至会导致严重的功能障碍,现仍缺乏特别有效的治疗措施^[1-2]。

目前,USN的神经机制仍不十分清楚,有研究表明,卒中后的USN很大程度上与视觉注意的自上向下和自下向上的障碍有关,该过程是由中脑的上丘(superior colliculi, SC)所介导。USN常常发生在右侧大脑半球受损后,偶尔发生在左侧大脑半球。在临床上经常见到左侧USN患者,严重的USN患者表现为只吃盘子中右侧的食物或是因不注意左侧而经常碰到左侧空间中的物体。对于轻度或中度的USN患者来说,他们没有意识到跌倒风险的增加,而且康复效果不佳。虽然经过大量的试验研究,但是目前还没有形成标准化治疗忽略的方法,降低患者的残疾程度及提高患者的日常生活能力将是研究的重点^[3]。

一般认为忽略是空间定向系统中的一种障碍,定向是对特定空间区域的选择或对与之相关物体或空间进一步感知和认知的过程。定向可能涉及眼球外在运动,与视网膜中央凹对齐,或不伴有眼球外在运动的注意内部转移。忽略与注意转移过程中某一环节的缺失有关,包括注意开始启动、注意分离转移及注意再次启动^[4]。因此,在对单侧空间忽略治疗时应该考虑到定向功能损伤的情况。通过对动物实验及临床研究探讨USN的神经机制,为有效治疗USN提供可靠的理论依据。本文主要综述了SC与USN之间的关系及SC在USN康复治疗过程中的作用。

1 单侧空间忽略的解剖学基础

目前争论的焦点主要是单侧空间忽略是由哪些脑区受损导致的,不同部位损伤所致USN的表现不同,如右顶颞联合区、角回、右顶叶下部、海马旁回和右颞上部皮质^[5-7]。有学者提出视觉注意是由许多功能独立的神经解剖网络所介导的,空间注意和定向的关键部位是后顶叶皮质,如与忽略有关的两个额顶通路:背侧通路(如顶内沟和额叶眼动区)和

腹侧通路(如颞顶联合区和额叶腹侧皮质)^[8]。Corbetta等^[9]研究发现卒中后患者单独的腹侧通路受损将会导致忽略,而背侧通路解剖结构是完整的,但是缺乏功能性平衡,例如卒中后USN患者左顶叶背侧皮质兴奋性增加,而右侧则兴奋性降低。在视觉扫描过程中,后顶叶皮质将信息输出到额叶眼动区(FEF)及其相邻的运动前区^[10]。另外,在FEF和皮质下之间存在直接的内部连接,如SC。Fecteau等^[11]研究发现SC对注意力集中发挥着重要的作用,这种作用为更好地理解SC在USN中的作用提供了理论基础,为USN患者制定合理有效的治疗方案提供了有力证据。

2 上丘的神经解剖及其功能

SC定位在中脑的背侧,在视觉搜索过程中参与了空间注意中眼跳运动、固定^[12]和控制的调节^[13]。SC由三层结构组成:浅层、中层和深层,主要接收来自对侧视野范围内的视觉输入^[14],SC是与视觉反射有关的脑区,在整合眼球运动的机制中起重要作用。浅层主要负责视觉输入的处理,深层主要协助于对视觉刺激反应时头部位置和眼球运动^[12]。更具体地说,浅层接收来自视网膜通路的信息输入,主要受从纹状皮质和纹外皮质到外侧膝状体—纹状区通路投射的影响。深层接收来自前额皮质、FEF和顶叶皮质的信息输入。由此可见,空间注意在这些皮质和皮质下回路之间达到了一种平衡状态。例如,从浅层到枕叶的投射,该投射可以反过来连接顶叶、前额叶和扣带回皮质,有助于调节空间注意,而中层和深层参与了注意的获取^[11,15]。在不同的注意机制中都涉及了SC,包括注意和返回抑制作用的竞争处理模型和丘脑与FEF连接^[16]。

3 上丘在单侧空间忽略中的作用

3.1 竞争处理模型

竞争处理模型即认为每个大脑半球主要参与对侧视觉空间的注意,而同时抑制来自同侧大脑半球对注意的作用。因此,右侧半球的受损将会降低对左侧空间的注意,破坏右侧半球的注意处理器,失去对左侧半球注意机制的抑制,导致注意力过度的向右侧转移(如左侧USN)。在动物研究中

DOI:10.3969/j.issn.1001-1242.2012.09.023

*基金项目:国家自然科学基金(30770714,81171024);北京市自然科学基金(7052030)

1 首都医科大学宣武医院康复医学科,北京,100053; 2 河北省人民医院神经内科; 3 教育部神经变性病重点实验室; 4 认知功能障碍临床研究与康复基地; 5 通讯作者

作者简介:张艳明,男,治疗师;收稿日期:2011-12-01

已经验证了竞争处理模型的神经机制,越来越多的证据表明SC至少是此神经生理学机制的一部分^[17-18]。Wilkinson等^[19]对猫的单侧SC注射蝇蕈醇后,在视野检查时出现明显的对侧空间忽略,而步行过程中的视觉运动的精确度还会保留,由此可以推测,SC不仅参与了中层的注意调节,同时也会在更高级认知任务中调节注意加工过程。Rushmore等^[18]对患有USN的猫进行了研究表明(对顶后皮质进行冷失活诱导USN或对视觉皮质进行单侧毁损),同侧SC低兴奋性而对侧SC的深层和中间层则有高兴奋性,而USN恢复后(冷却对侧SC而同侧SC或顶后皮质最初冷却仍然存在),可以观察到对侧SC的兴奋性降低,由此表明对SC兴奋性的调节很可能有利于USN的恢复,这就意味着对患者的治疗目标应该着重于对侧SC兴奋性的调节。以上的研究支持USN竞争处理模型,当右侧SC过度抑制时,左侧SC就会过度兴奋而失去抑制,这就导致注意力过度转移向右侧视觉范围。

Vuilleumier等^[20]临床研究表明,左侧视觉忽略不只是简单的右侧顶叶后部皮质受损,同样也是大脑半球间兴奋性失衡的结果,右侧对左侧的失抑制作用后将会导致注意力过度向右侧转移。Weddell等^[21]报告了一例34岁脑肿瘤男性患者,伴有双侧SC梗死,该患者经过脑水肿处理后出现右侧额叶继发性损伤,而后出现左侧USN;7个月后该患者的USN完全恢复,通过MRI检查表明由于肿瘤的复发导致左侧SC出现新的损伤,这就解释了该患者USN恢复的原因;17个月后由于该患者复发的肿瘤扩展到右侧SC,因此又出现了新的右侧USN,由此可见患侧视觉定向能力的恢复是由于健侧上丘受损所致。Weddell^[21]讨论了右侧额叶损伤能够降低右侧皮质—皮质下回路的功能,导致左侧USN。随后左侧上丘的受损解决了不平衡性,因此视觉忽略得到缓解。由此可见,皮质及皮质下半球之间的平衡对视觉注意的保持是很有必要的,视觉忽略可能是由于大脑半球间兴奋性不平衡所致。

3.2 返回抑制作用(inhibition of return, IOR)

返回抑制是指在视觉搜索过程中,对已经注意到的物体或位置进行反应时受到了抑制,因此在视觉搜索过程中有利于对新信息的处理加工。当右侧半球受损后,左侧USN患者的IOR受损,患者不能脱离对右侧视觉空间的注意,以及不能将外源性注意力向左侧转移^[22]。Siéroff等^[4]对卒中后伴有USN的患者研究中描述了返回抑制(inhibition of return, IOR)的障碍,卒中后伴有USN的患者右侧靶目标第二次刺激反应比第一次更快,而在健康对照组及无USN患者中双侧靶目标视觉搜索刺激反应都要慢一些。Bartolomeo等^[23]研究表明右侧脑卒中患者可能对右侧范围内目标有更好的搜索能力,他们通过对右侧空间的注意而表现出左侧USN,这些发现涉及USN的复杂性和异质性,为目前治疗策略效率不一致提供了可能的解释,为来自健侧视觉信息的异常处理提供

了进一步的证据。Sapir等^[24]验证了SC在IOR中发挥重要作用的理论,受试者为中脑后部出血,通过给予或不给予提示,测试鼻侧和颞侧视野呈现反应时,对右侧受损SC呈现刺激时未观察到IOR(左眼的颞侧视野和右眼的鼻侧视野),而对左侧受损SC呈现刺激时出现了IOR(右眼的颞侧视野和左眼的鼻侧视野),该研究指出了SC在IOR中的作用。

3.3 额叶眼动区

有研究发现SC与额叶眼动区FEF存在内部联系,该区域涉及自主性和反射性扫视反应的控制,视扫描反应影响视觉注意转移。负责自主性视扫描活动的FEF神经元与SC主要存在两方面的连接:直接的额顶通路;通过尾状核和黑质的间接连接^[25]。涉及主要的反射性视扫描的FEF神经元同样与顶下皮质存在内部连接,通过丘脑的背内侧核向SC输出信息^[26]。事实上,SC与FEF之间直接和间接的连接对影响视扫描活动的视觉注意通路具有重要的作用。动物神经解剖学的研究结果同样也支持SC在常规反射性视扫描中的作用^[27-28]。最近,Negger等^[29]研究发现SC的兴奋性和视扫描速度之间存在负相关,因此增加SC的兴奋性与增加视扫描潜伏期有关,这些研究支持在注意一定向反应中存在SC及其相关FEF共同作用。

Heide等^[25]研究了卒中后患者视觉扫描运动,这些患者患有顶叶下部、FEF、辅助运动区和前额叶背外侧皮质等部位局灶损伤,只有右顶叶损伤患者视觉扫描潜伏期延长,与USN的严重程度有关。另外,该组患者视觉搜索范围向右侧偏移,这也与USN的严重程度有关。FEF损伤组患者同样表现出了视觉搜索范围向右侧偏移并且存在视觉搜索障碍。该研究表明后顶部和FEF损伤对健侧视觉搜索起关键作用,但是SC的作用机制仍不清楚,而动物研究表明了SC在视觉扫描活动过程中是必要的。Ro等^[30]利用经颅磁刺激对成年健康受试者进行视觉搜索任务的研究,目的在于进一步探讨IOR与FEF之间的功能关系。在呈现提示和靶目标之间使用TMS作用于右侧FEF(暂时干扰该功能区的作用),右侧FEF的IOR受到影响减少。由此可见,SC和FEF之间的内部联系在IOR调节过程中可能发挥着重要的作用。

4 上丘在单侧空间忽略康复治疗中的作用

4.1 眼罩治疗

Sylvester等^[31]利用功能磁共振成像(functional magnetic resonance imaging, fMRI)研究证实了颞侧视野呈现比鼻侧视野提示有更强的SC活动。Bertini等^[32-33]利用多余靶效应(redundant target effect, RTE)及颜色分析颞—鼻不对称和SC的作用,多余靶效应为双侧刺激比单侧刺激反应时更快。为了验证单侧SC的功能,对正常受试者利用左右侧眼罩进行研究发现颞侧视野呈现对隐蔽注意的定向反射有较

大的作用。因为视觉信息是通过交叉和不交叉通路投射到纹状区皮质,右眼眼罩导致左侧SC接收大部分来自左侧颞侧视觉范围(左侧鼻侧偏盲)内的传入。完全遮挡左侧USN患者的右眼将会出现左眼加工处理颞侧偏盲的视觉输入,投射到患侧上丘(可能降低兴奋性),同样鼻侧偏盲的,投射到健侧上丘(可能增加兴奋性)。因此,由于SC接收双侧视觉输入,可以认为利用该治疗技术缓解SC间的竞争及稳定其兴奋性是不恰当的,这就解释了单侧眼罩治疗卒中后USN效果差的问题^[34]。

Roth等^[35]对19例正常受试者进行了眼罩和空间注意优势眼作用的研究,右眼优势组左眼戴眼罩后证实更少的偏移,而左眼优势组右眼戴眼罩时得出类似的结果。另外,右眼优势受试者在进行右侧空间任务时错误更少,而左眼优势组却是完全相反的结果。两组在进行直线二等分试验时遮挡非优势眼改善明显。由此可见,非优势侧眼戴眼罩可能会增加健侧大脑半球优势注意系统的功能。如果某人右眼是优势眼,左眼戴眼罩,左侧大脑半球的注意系统受到刺激而右侧大脑半球激活系统受到抑制,右侧大脑半球卒中患者遮挡右眼,左侧忽略可能抑制健侧大脑半球而刺激患侧大脑半球,使双侧兴奋性趋于平衡而缓解USN的症状。Swan等^[14]研究表明左侧USN的患者右眼带眼罩,来自左侧视野的信息将会主要刺激右侧SC,由此可推测降低左侧SC的兴奋性将会降低注意过度向右侧转移,因此可以缓解左侧的USN。

Zeloni等^[36]对卒中后左侧USN患者右半侧眼罩为期1周的研究,治疗组的USN症状明显地缓解,他们指出SC兴奋性的调节有利于改善USN症状的程度。况且,颞-鼻不对称也可以解释半侧眼罩比单个眼罩治疗USN更有积极作用。遮挡每只眼的右半侧(例如,右眼的颞侧视网膜和左眼的鼻侧视网膜)可以阻止来自到达右侧上丘的视觉输入,而遮挡每只眼的左侧却是相反的结果,半侧眼罩治疗更适合于缓解SC之间的竞争和恢复兴奋性的不平衡。Barrett等^[37]总结了只有右侧大脑半球受损的患者半侧眼罩治疗有积极的作用,而颞-顶-枕叶损伤伴有双侧视觉通路受损的患者经过单侧眼罩治疗USN症状的改善是有限的。半侧眼罩治疗也会影响IOR作用,如果一个右侧脑损伤的患者,为了注意左侧刺激而不能脱离来自右侧刺激的注意,那么利用右半侧眼罩阻断右侧视野应该能够抑制注意力向右侧视野范围的转移,这就有可能改善IOR而缓解USN症状^[24]。

4.2 棱镜适应治疗

棱镜适应是另外一种治疗USN的方法,该方法可以有效地缓解USN症状。Rossetti等^[38]研究表明棱镜适应可以作为—种警觉信号,戴上棱镜后可以将忽略患者的视线转向忽略侧,促进患者忽略的恢复。Serino等^[39]对卒中后左侧USN患者进行棱镜适应治疗,治疗组戴上向右侧视野偏移10°的棱

镜,对照组戴普通护眼镜,为期2周,每天30min,结果表明治疗组比对照组有明显的改善。Tilikete等^[40]在最近的研究中将棱镜适应应用到了改善姿势控制能力方面,如经过棱镜适应后能够有效地改善姿势控制的平衡能力。空间注意机制中存在半球不对称性,棱镜适应是否对右侧忽略也会有治疗作用,Bultitude等^[41]研究了1例右侧空间忽略的患者接受棱镜适应训练后,其忽略症状得到了缓解。

棱镜适应的作用机制目前仍不清楚,尽管对肢体运动功能有一定的效果和眼睛搜索运动过程有所转移,但是棱镜适应并没有改变知觉的偏移或右侧空间注意的缺失。当卒中后左侧USN的患者使用棱镜后,视野向右侧转移,这样患者主要接收来自右侧颞侧和鼻侧范围内的信息,由于存在颞侧—鼻侧不对称,这就意味着左侧上丘受到较强的刺激,右侧也会受到刺激,这就能够解释运动功能有所改变而知觉仍然偏移^[42]。Danckert等^[43]研究发现棱镜适应可能对背侧通路(视觉引导行为)比腹侧通路(知觉加工处理)作用更大。Corbetta等^[9]研究发现卒中后左侧USN患者的腹侧通路受损,棱镜适应可能对背侧通路有一定的作用而对受损的腹侧通路没有作用。因此,卒中后USN患者可以通过使用棱镜代偿他们的缺陷,而不是恢复知觉加工处理的能力。

5 小结

卒中后单侧空间忽略是一种复杂的功能障碍,在治疗方面面临着巨大的挑战,由于临床试验证据的缺乏限制了我们对进行治疗。经过大量的研究,USN的治疗方法有了新的进展和发现,能够对USN神经机制更好的理解,为USN制定有效治疗措施提供可靠的理论依据,有助于引导我们对治疗方法进行改进^[44]。本文主要总结了SC在USN中的机制及康复中的作用,平衡双侧SC的兴奋性有利于USN的恢复。眼罩治疗及棱镜适应在USN治疗过程得到了一定的应用,但是其作用机制需要进一步的研究,USN治疗过程中涉及环境及人为因素的影响,在制定康复策略时需要考虑多种因素、多种方法,更好地改善患者的功能障碍,提高患者的生存质量。

参考文献

- [1] 王芎斌,陈晓春,宋为群.经颅磁刺激技术治疗偏侧忽略的研究进展[J].中国康复医学杂志,2005,20(9):715—718.
- [2] 徐倩,霍速,宋为群.听觉空间忽略研究进展[J].中国康复医学杂志,2008,23(6):574—576.
- [3] Ogourtsova T, Korner-Bitensky N, Pitto A. Contribution of the superior colliculi to post-stroke unilateral spatial neglect and recovery[J]. Neuropsychologia, 2010, 48(9):2407—2416.
- [4] Siéroff E, Decaix C, Chokron S, et al. Impaired orienting of attention in left unilateral neglect: a componential analysis[J]. Neuropsychology, 2007, 21(1):94—113.
- [5] Beis JM, André JM, Baumgarten A, et al. Eye patching in unilateral spatial neglect: efficacy of two methods[J]. Arch

- Phys Med Rehabil, 1999, 80(1):71—76.
- [6] Mort DJ, Malhotra P, Mannan SK, et al. The anatomy of visual neglect[J]. Brain, 2003, 126(Pt9):1986—1997.
- [7] Karnath HO, Fruhmann Berger M, Küker W, et al. The anatomy of spatial neglect based on voxelwise statistical analysis: a study of 140 patients[J]. Cerebral Cortex, 2004, 14(10):1164—1172.
- [8] Corbetta M, Shulman GL. Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain[J]. Nat Rev Neurosci, 2002, 3(3):201—215.
- [9] Corbetta M, Kincade MJ, Lewis C, et al. Neural basis and recovery of spatial attention deficits in spatial neglect[J]. Nature and Neuroscience, 2005, 8(11):1603—1610.
- [10] Mesulam MM. Spatial attention and neglect: parietal, frontal and cingulate contributions to the mental representation and attentional targeting of salient extrapersonal events[J]. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci, 1999, 354(1387):1325—1346.
- [11] Fecteau JH, Bell AH, Munoz DP. Neural correlates of the automatic and goal-driven biases in orienting spatial attention[J]. J Neurophysiol, 2004, 92(3):1728—1737.
- [12] Schneider KA, Kastner S. Visual fMRI responses in human superior colliculus show a temporal-nasal asymmetry that is absent in lateral geniculate and visual cortex[J]. Neurophysiology, 2005, 94:2491—2503.
- [13] Himmelbach M, Erb M, Karnath HO. Activation of superior colliculi in humans during visual exploration[J]. BMC Neurosci, 2007, 8:66.
- [14] Swan L. Unilateral spatial neglect[J]. Physical Therapy, 2001, 81(9):1572—1580.
- [15] Bell AH, Fecteau JH, Munoz DP. Using auditory and visual stimuli to investigate the behavioral and neuronal consequences of reflexive covert orienting[J]. J Neurophysiol, 2004, 91(5):2172—2184.
- [16] Bartolomeo P, Chokron S. Orienting of attention in left unilateral neglect[J]. Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 2002, 26(2):217—234.
- [17] Lomber SG, Payne BR, Cornwell P. Role of the superior colliculus in analyses of spaces: superficial and intermediate layer contribution to visual orienting, auditory orienting, and visuospatial discriminations during unilateral and bilateral deactivations[J]. J Comp Neurol, 2001, 441(1):44—57.
- [18] Rushmore RJ, Valero-Cabre A, Lomber SG, et al. Functional circuit underlying visual neglect[J]. Brain, 2006, 129:1803—1921.
- [19] Wilkinson EJ, Richardson JL, Sherk H. Accurate visual guidance despite severe neglect[J]. European Journal of Neuroscience, 2007, 25(7):2214—2223.
- [20] Vuilleumier P, Hester D, Assal G, et al. Unilateral spatial neglect recovery after sequential strokes[J]. Neurology, 1996, 46(1):184—189.
- [21] Weddell RA. Subcortical modulation of spatial attention including evidence that the Sprague effect extends to man[J]. Brain Cogn, 2004, 55(3):497—506.
- [22] Bartolomeo P, Siéoff E, Chokron S, et al. Variability of response times as a marker of diverted attention[J]. Neuropsychologia, 2001, 39(4):358—363.
- [23] Bartolomeo P, Chokron S, Siéoff E. Facilitation instead of inhibition for repeated right-sided events in left neglect[J]. Neuroreport, 1999, 10(16):3353—3357.
- [24] Sapir A, Soroker N, Berger A, et al. Inhibition of return in spatial attention: direct evidence for collicular generation[J]. Nat Neurosci, 1999, 2(12):1053—1054.
- [25] Heide W, Kömpf D. Combined deficits of saccades and visuo-spatial orientation after cortical lesions[J]. Experimental Brain Research, 1998, 123(1—2):164—171.
- [26] Crapse TB, Sommer MA. Frontal eye field neurons with spatial representations predicted by their subcortical input[J]. J Neurosci, 2009, 29(16):5308—5318.
- [27] McPeck RM, Keller EL. Deficits in saccade target selection after inactivation of superior colliculus[J]. Nat Neurosci, 2004, 7(7):757—763.
- [28] Petit L, Beauchamp MS. Neural basis of visually guided head movements studies with fMRI[J]. J Neurophysiol, 2003, 89(5):2516—2527.
- [29] Neggers SF, Raemaekers MA, Lampmann EE, et al. Cortical and subcortical contribution to saccade latency in the human brain[J]. Eur J Neurosci, 2005, 21(10):2853—2863.
- [30] Ro T, Farnè A, Chang E. Inhibition of return and the human frontal eye fields[J]. Exp Brain Res, 2003, 150(3):290—296.
- [31] Sylvester R, Josephs O, Driver J, et al. Visual FMRI response in human superior colliculus show a temporal-nasal asymmetry that is absent in lateral geniculate and visual cortex[J]. J Neurophysiol, 2007, 97(2):1495—1502.
- [32] Bertini C, Leo F, Lüdavas E. Temporo-nasal asymmetry in multisensory integration mediated by the Superior Colliculus[J]. Brain Res, 2008, 1242:37—44.
- [33] Savazzi S, Marzi CA. The superior colliculus subserves inter-hemispheric neural summation in both normals and patients with a total section or agenesis of the corpus callosum[J]. Neuropsychologia, 2004, 42(12):1608—1618.
- [34] Walker R, Young AW, Lincoln NB. Eye patching and the rehabilitation of visual neglect[J]. Neuropsychological Rehabilitation, 1996, 3:219—231.
- [35] Roth HL, Lora AN, Heilman KM. Effects of monocular viewing and eye dominance on spatial attention[J]. Brain, 2002, 125(Pt9):2023—2035.
- [36] Zeloni G, Farnè A, Baccini M. Viewing less to see better[J]. J Neurol Neurosurg Psychiatry, 2002, 73(2):195—198.
- [37] Barrett AM, Crucian GP, Beversdorf DQ, et al. Monocular patching may worsen sensory-attentional neglect: a case report[J]. Arch Phys Med Rehabil, 2001, 82(4):516—518.
- [38] Rossetti Y, Rode G, Pisella L, et al. Prism adaptation to a rightward optical deviation rehabilitates left hemispatial neglect[J]. Nature, 1998, 395(6698):166—169.
- [39] Serino A, Barbiani M, Rinaldesi L, et al. Effectiveness of prism adaptation in neglect rehabilitation: a controlled trial study[J]. Stroke, 2009, 40(4):1392—1398.
- [40] Tilikete C, Rode G, Rossetti Y, et al. Prism adaptation to rightward optical deviation improves postural imbalance in left-hemiparetic patients[J]. Current Biology, 2001, 11(7):524—528.
- [41] Bultitude JH, Rafal RD. Amelioration of right spatial neglect after visuo-motor adaptation to leftward-shifting prisms[J]. Cortex, 2010, 46(3):404—406.
- [42] Ferber S, Danckert J, Joannisse M, et al. Eye movements tell only half of the story[J]. Neurology, 2003, 60(11):1826—1829.
- [43] Danckert J, Ferber S. Revisiting unilateral neglect[J]. Neuropsychologia, 2006, 44(6):987—1006.
- [44] Marshall RS. Rehabilitation approaches to hemineglect[J]. Neurologist, 2009, 15(4):185—192.