

- 医学(物理医学与康复医学分册),2002,22(1):5-13.
- [31] Freynet A, Falcoz PE. Does non-invasive ventilation associated with chest physiotherapy improve outcome after lung resection [J]? *Interact CardioVasc Thorac Surg*, 2008,7(6):1152-1154.
- [32] Novoa N, Ballesteros E, Jiménez MF, et al. Chest physiotherapy revisited: evaluation of its influence on the pulmonary morbidity after pulmonary resection[J]. *European Journal Cardio-Thoracic Surgery*, 2011, 40(1): 130-135.
- [33] Benzo R, Wigle D, Novotny P. Preoperative pulmonary rehabilitation before lung cancer resection: Results from two randomized studies[J]. *Lung cancer*, 2011, 74(3): 441-445.
- [34] 李建华, 许志生, 边仁秀, 等. 重症监护病房的康复医学治疗进展[J]. *中国康复医学杂志*, 2011, 26(11): 1084-1087.
- [35] 毛玉, 黄东锋, 官向东, 等. 外科重症监护室中物理治疗对于患者的干预效应和结局分析[J]. *中国康复医学杂志*, 2010, 25(9): 850-853.
- [36] Malkoc, Mehtap, Karadibak, et al. The effect of physiotherapy on ventilatory dependency and the length of stay in an intensive care unit[J]. *International Journal of Rehabilitation Research*, 2009, 32(1): 85-88.
- [37] Vestbo J, Hurd SS, Agustí AG, et al. Global strategy for the diagnosis, management and prevention of chronic obstructive pulmonary disease: GOLD executive summary [J]. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 2013, 187(4): 347-365.
- [38] 孙芳艳, 钱培芬. 慢性阻塞性肺疾病综合肺康复方案的研究进展[J]. *中华护理杂志*, 2010, 45(8): 755-757.
- [39] Ries AL, Bauldoff GS, Carlin BW, et al. Pulmonary Rehabilitation: Joint ACCP/AACVPR Evidence-Based Clinical Practice Guidelines[J]. *Chest*, 2007, 131(5): 4S-42S.
- [40] 王龙兵, 吴卫兵, 刘晓丹, 等. 不同运动锻炼方法对稳定期慢性阻塞性肺疾病患者康复效果研究进展[J]. *中国运动医学杂志*, 2014, 33(4): 364-369.
- [41] 徐桂兰. 呼吸训练对老年慢阻肺患者的康复疗效[J]. *中国伤残医学*, 2008, 5(6): 88-89.
- [42] Tang CY, Taylor NF, Blackstock FC. Chest physiotherapy for patients admitted to hospital with an acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease (COPD): a systematic review[J]. *Physiotherapy*, 2010, 96(1): 1-13.

自闭症患者视觉信息加工的超常能力概述 及其机制研究进展

樊越波, 彭晓玲, 黄丹

【关键词】 自闭症; 视觉加工; 功能补偿; 神经影像

【中图分类号】 R49; R749.94 【DOI】 10.3870/zgkf.2015.01.017

自闭症谱系障碍(Autism Spectrum Disorder, ASD)是一种神经发育障碍,但部分自闭症者同时具备一些超凡的“能力”^[1],对自闭症者特殊能力的探究,不仅将促进我们对自闭症者奇特认知现象的理解,也将有助于我们对自闭症者优势技能的开发利用。视觉是自闭症者最主要的信息加工通道,对自闭症者在视觉加工通道上的优势现象进行深入探究将最大化地作用于针对于自闭症者的教育和从业技能的训练。本文将对自闭症视觉加工优势的研究及其神经机制进行综述,以明晰未来的研究取向。

基金项目:广东省科技计划项目(2012B031800005)

收稿日期:2014-09-09

作者单位:广州儿童孤独症康复研究中心,广州 510540

作者简介:樊越波(1963-),女,副主任医师,主要从事儿童广泛性发育障碍方面的研究。

通讯作者:黄丹, fandaomaoyan@163.com

1 自闭症者在视觉加工上的优势表现

1.1 自闭症者在视觉搜索上的优势 研究者通常采用两类搜索任务来观察自闭症与其他群体的搜索能力的差异,一类为镶嵌图片任务(Embedded Figure Test, EFT),另一类为非镶嵌式的搜索任务。研究者发现,不论 ASD 儿童还是成人,也不管是否高功能 ASD 群体,在 EFT 任务中,ASD 组始终具有优于正常对照组的搜索任务表现^[2]。但前提是 EFT 任务的材料不能过于简单,Schoolz 等^[3]发现当使用儿童版本的搜索材料时,自闭症组的搜索优势就不能被探测出来。而在非镶嵌式搜索任务中,研究者发现无论干扰刺激是简单还是复杂,高自闭症谱系商数得分组始终具有优于低得分组的搜索效率^[4]。

1.2 自闭症者在视觉空间构建上的优势 木块图测

试(Block Design Test, BDT)是韦氏智力测试中的一个分测试,通过利用两色立方体木块拼出先定的平面图形以测查被试将整体信息分割成局部的能力,也体现了个体对空间的知觉能力。Shah 等^[5]发现 ASD 组完成任务的优势并非来源于空间加工能力改变,而是与对局部-整体信息加工的能力相关。Caron 等^[6]证实了在均衡空间加工能力的前提下,ASD 组依然能够比对照组更快地完成 BDT 任务。但 ASD 执行 BDT 任务的加工优势却不如视觉搜索任务稳定,有研究者认为 ASD 患者完成 BDT 任务的优势似乎更倾向与存在于某个特定亚型的群体中,如语言功能发育迟滞的自闭症群体^[7-8]。

1.3 自闭症者在知觉区分上的优势 自闭症者虽然在识别社会性刺激(如面孔)上存在不足,但 Pallett 等^[9]发现 ASD 青少年识别物品的能力却显著优于正常青少年。在 Plaisted^[10]早期的研究中也发现,高功能 ASD 组对于高混淆图片的区分能力优于正常对照组,只是由于正常被试者具有较强的学习能力,当新异材料变为熟悉材料后,正常对照组对于图形的区分能力大幅提升,导致 ASD 组的区分优势不再显现。在对于动态视觉刺激加工的过程中,研究者也发现自闭症者具有增强的知觉区分能力^[11]。

1.4 自闭症者较少受到视错觉的影响 Happe 等^[12]发现与学习困难儿童组以及正常儿童组相比,ASD 儿童组在对 6 种常见的二维视觉错觉图形进行判断时较少受到错觉的影响,表现出更高的判断准确性。然而 Ropar 等^[13]用类似于 Happer 的错觉图形观察自闭症者在执行判断任务时发现 ASD 组并不出现优于对照组的表现^[14]。面对这一矛盾,研究提出可能是在执行任务时使用了不同的指导语,如使用“这两者看上去一样长么?”以及“这两者一样长么?”这两种指导语可能引起研究结果的差异。对自闭症者是否具有减弱的错觉敏感性,Mitchell 等^[15]利用三维的 Shepard 错觉图形进行了进一步的验证,他们的研究结果表明自闭症者与正常被试者都受到错觉信息的影响,但自闭症者对错觉的敏感性小于正常对照组。总体而言,研究者发现 ASD 群体在多种视觉加工任务中都出现加工优势,但这些优势基本停留在初级的感知觉加工水平。

2 自闭症者视觉加工优势的认知理论解释

2.1 视觉加工优势源于功能损伤的代偿 ASD 是一种在生命早期就出现的发展性障碍,为弥补自闭症者某些大脑功能的缺失,自闭症者可能因此获得其他的代偿功能,其中包括优越的视觉加工能力。早期弱的中央统合(Weak Central Coherence, WCC)理论和心

理理论(Theory of Mind, TOM)为支持这种思想较具有代表性的两个理论。WCC 理论认为上文提及的视觉加工任务,如完成视觉搜索、视觉构建、视觉区分任务,归结而言都属于需要克服整体信息干扰,从而对局部信息进行加工的任务^[5,16-17]。正是由于自闭症者整体加工能力的不足,使其在这些任务中受到较少的来自整体视觉信息的干扰,可以更集中于对局部信息的加工,因而在这些任务加工中存在优势。错觉和完型加工的产生被研究者认为来源于个体具有自动整合视觉元素的倾向^[18],除本文前面所述自闭症者具有更低的错觉敏感性^[15],Brosnan^[18]和 Bolte 等^[19]发现在观察视觉材料时自闭症组比对照组缺乏使用某些完型加工原则(如“相似性”原则)对信息进行加工,这些研究预示着自闭症者整合静态视觉信息的能力减弱。Atkinson 等^[20]发现自闭症者对动态视觉信息的整合能力也存在不足。心理理论在一定程度上也支持视觉加工优势的代偿思想。心理理论认为自闭症者对自己和他人的心理状态进行推测,并据此对他人行为做出因果性预测和解释的能力减弱^[21]。由于个体对外界环境的理解能力减弱,将导致其与外界的联系减少,但为保持个体信息接收的稳定,自闭症者将出现较强的内部心智关注,形成多方面认知加工的优势,其中包括视觉加工方面的优势,以此来弥补对外界行为预测和解释能力的不足^[22]。Jarrold 等^[23]采用眼部运动的任务和 EFT 任务发现不论正常成人还是 ASD 成人,心理理论的能力越差的个体,视觉搜索速度越快。然而,一些研究发现自闭症者对整体信息加工的能力并未受损^[4,24],这样自闭症者对视觉信息的整合能力不足的观点受到冲击。另外,心理理论能力与视觉加工能力之间的关系也不够稳定,如 Morgan 等^[25]发现学龄前自闭症幼儿的社交技能和视觉搜索的能力并未存在相关,这些表明代偿说的思想还不足以解释自闭症者的视觉加工优势现象。

2.2 视觉加工优势源于自闭症者内在的特质 面对功能代偿解释的局限,学者们认为其他神经发育障碍群体没有出现类似于自闭症者的认知加工优势,是因为自闭症者的优势源自于其本身的内在特质,这是一种先天的认知加工风格或者加工优势^[26]。研究者发现 1/2 的自闭症孩子的父亲,以及 1/3 的自闭症孩子的母亲出现类似自闭症孩子的任务加工优势,间接的支持了视觉加工优势源于自闭者内在的特质的观点^[27]。修正后的 WCC 理论、知觉功能促进化理论(Enhanced Perceptual Functioning Account, EPF)和 Baron-Cohen 的移情-系统化(Empathizing Systemizing Account)理论都支持这种特质说的思想。修正

后的 WCC 理论认为自闭症者的加工优势源于其本身具有对局部信息知觉的偏好,而正常人存在的是对整体信息加工的偏好,在执行视觉搜索等针对局部进行加工的视觉任务时,自闭症者由于存在对于局部信息知觉的偏好,因此出现任务加工优势。EPF 理论认为在执行视觉任务时出现加工优势是由自闭症者本身增强的对局部信息知觉的能力导致的^[28]。移情-系统化理论的观点则认为自闭症者具有内部的驱动去理解现实事物的结构和规则,希望获取事物内在的系统构架的倾向。也正是由于具有这种倾向,使得自闭症者对事物的细节具有高度的专注力和兴趣,从而出现对视觉局部信息加工的优势^[29]。尽管这三种理论存在一定的差异,但都可以在不同程度上解释自闭症者在视觉加工任务中,不仅存在对局部信息加工的优势,而且具有完整的对整体信息进行整合的能力这一现象。对这三种理论的验证正成为现今自闭症认知加工领域的热点问题,特别是伴随着认知神经科学的发展,众多的学者们试图从神经机制方面理解自闭症者的视觉优势。

3 自闭症者视觉加工优势的神经机制探究

3.1 大脑特定区域的功能活动的异常 在一些视知觉加工任务中,ASD 组大脑激活的区域主要集中于枕-颞-顶叶等大脑后部区域,激活范围明显少于对照组^[30-31],但大脑后部区域的激活强度显著高于对照组^[32-33]。大脑激活区域的减少,尤其是缺乏前额叶区域的激活,可能反应了自闭症者在完成视觉加工任务时受到减弱的来自大脑的自上而下的调控。而枕-颞-顶叶等大脑后部区域激活程度的增高则提示自闭症者存在更自动的视觉空间加工过程^[30]。在完成 EFT 等视觉任务时,被试需要在抑制对整体信息加工偏好的同时完成对局部视觉信息的加工,而正由于自闭症者存在减弱的大脑自上而下的调控和更自动的视觉加工过程,使其不需很大的努力来抑制整体信息的干扰,并可以自动专门化的完成对局部视觉信息的加工,最终促使自闭症者在这些任务中存在加工优势^[30]。对于在执行视觉加工任务时 ASD 组大脑的激活状况,Spencer 等^[34]却发现了不同的结果,他们观察到自闭症者大脑视觉区域的血氧活动信号低于对照组,而额叶和颞叶区域的激活却高于对照组。研究结果的差异,可能是由于任务设置和任务难度的差异所致。Spencer 等^[34]发现大脑各个区域的激活程度与任务难度相关,在执行一定难度的视觉任务时,自闭症者的大脑枕叶等区域可能不需要很费力的激活就可以完成任务,而他们的额叶区域却需要比普通入非更大的努力,

才能促使任务的完成。此外,研究者发现自闭症者在执行视觉加工任务时表现出大脑激活的偏侧化,与正常人相比,自闭症者更常利用大脑右侧区域来实现对视觉任务的加工^[30-31]。这与自闭症者大脑右半球的病理化优势的说法相吻合,即由于左半球受损,继而代偿性的出现大脑右半球的功能优势。有研究者认为,自闭症的发生与母体子宫内睾丸素水平过高有密切的关系,而高度的睾丸素可以导致胎儿左半球发育迟滞,右半球就产生代偿功能,使自闭症者优势脑转到右脑^[22]。右半球是典型的认知脑,自闭症者右侧优势脑的存在将促使他们在认知加工任务中出现优势。

3.2 大脑特定区域功能协同活动异常 研究发现在静息状态下,自闭症者大脑存在减弱的长程连接以及增强的局部连接^[35-37]。大脑额叶区域与其他区域连接的减弱,被认为反应了大脑对信息的高级整合能力的下降,大脑区域内局部连接的增强则可能反应了大脑对特定领域加工的专门化。然而在执行视觉加工任务中,关于自闭症额叶区域与其他大脑区域长程连接的改变却出现矛盾的研究结果,Damarla^[32]发现自闭症者额、顶叶,以及额、枕叶的功能连接减弱,但在 Keehn^[37]的研究中自闭症组大脑额-枕叶之间的功能连接增强。虽然 McGrath^[38]等利用心理旋转任务发现,任务难度的变化会影响被试大脑神经协同活动状况(如随着任务难度增加,ASD 组出现大脑功能连接的抑制,对照组出现连接的增强),但是否由于任务难度的不同引起上述结果的差异仍需进一步的验证。值得注意的是,尽管对于自闭症者额叶的长程连接状况的研究还存在争议,自闭症者大脑枕叶区域内功能连接的增强结果却较为稳定,这可能为自闭症者对视觉信息知觉能力的增强提供神经机制方面的支持。

3.3 大脑结构的异常 大脑的结构是功能活动变化的基础。在临床观察中,自闭症儿童尤其是婴儿显示出比正常儿童增大的大脑头围。O'Reilly 等^[39]研究显示大头围组在完成 EFT 任务中表现出相对于小头围组的明显的优势,支持了自闭症者对视觉信息的加工优势可能与大脑结构的改变有关。有学者认为自闭症婴幼儿大脑头围的增大反应的可能是大脑白质纤维的过度连接^[40]。Wolff 等^[41]研究发现自闭症幼儿可能确实存在改变的大脑白质纤维结构。从神经影像学研究结果上看,当前对自闭症者视觉加工优势的认知解释都可以找到一定的证据支持。如在执行视觉加工任务时,自闭症者额叶区域激活的缺乏,长程连接的减弱,以及右半球的病理优势在一定程度上支持了功能损伤的代偿说。而执行视觉加工任务时,自闭症者枕叶区域激活的提高以及枕叶内连接的增强则提示自闭

症者可能存在对视觉信息加工更自动的专门化过程,这可能与自闭症者本身的特质有一定的关系。

4 总结与展望

近年来,自闭症者在认知加工上的奥秘吸引了越来越多的关注,研究发现自闭症者在视觉搜索、视觉构建、视觉区分和视错觉任务上存在一定的优势,但由于自闭症个体行为表现的差异较大、认知加工优势的类型多样,并且缺乏能将各个认知过程进行分离的实验范式,研究者尚未就自闭症者的优势加工能力的认知解释达成共识。但从目前的研究趋势而言,研究者从基于代偿的思想向特质说转化,更倾向于针对自闭症群体特有的加工优势进行探测,以此获得与自闭症的加工优势直接相关的证据。另外,因神经影像技术能够直观的探究自闭症者在视觉加工过程中的神经活动,利用神经影像学的方法对自闭症者视觉加工优势进行深入探究是今后研究的必然趋势。在未来利用神经影像学技术对视觉加工优势的研究中,研究者不但需要扩展实验任务的种类,严格控制实验任务的难度,还需在研究中对自闭症的亚型、年龄范围等进行进一步的细化。随着研究的深入,研究者更应通过长期的纵向追踪,来探究自闭症者视觉加工优势与病程发展变化的关系。

【参考文献】

- [1] Treffert DA. The savant syndrome: an extraordinary condition. A synopsis: past, present, future[J]. Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci, 2009, 364(1522): 1351-1357.
- [2] White SJ, Saldana D. Performance of children with autism on the Embedded Figures Test: a closer look at a popular task[J]. J Autism Dev Disord, 2011, 41(11): 1565-1572.
- [3] Schlooz WA, Hulstijn W. Boys with autism spectrum disorders show superior performance on the adult embedded figures test[J]. Res Autism Spect Dis, 2014, 8(1): 1-7.
- [4] Almeida RA, Dickinson JE, Maybery MT, et al. A new step towards understanding Embedded Figures Test performance in the autism spectrum: the radial frequency search task[J]. Neuropsychologia, 2010a, 48(2): 374-381.
- [5] Shah A, Frith U. Why do autistic individuals show superior performance on the block design task[J]. J Child Psychol Psychiatry, 1993, 34(8): 1351-1364.
- [6] Caron MJ, Mottron L, Berthiaume C, et al. Cognitive mechanisms, specificity and neural underpinnings of visuospatial peaks in autism[J]. Brain, 2006, 129(7): 1789-1802.
- [7] Kaland N, Mortensen EL, Smith L. Disembedding performance in children and adolescents with Asperger syndrome or high-functioning autism[J]. Autism, 2007, 11(1): 81-92.
- [8] Kana RK, Liu Y, Williams DL, et al. The local, global, and neural aspects of visuospatial processing in autism spectrum disorders [J]. Neuropsychologia, 2013, 51(14): 2995-3003.
- [9] Pallett PM, Cohen SJ, Dobkins KR. Face and object discrimination in autism, and relationship to IQ and age[J]. J Autism Dev Disord, 2014, 44(5): 1039-1054.
- [10] Plaisted K, O'Riordan M, Baron-Cohen S. Enhanced discrimination of novel, highly similar stimuli by adults with autism during a perceptual learning task[J]. J Child Psychol Psychiatry, 1998, 39(5): 765-775.
- [11] Chen Y, Norton DJ, McBain R. Enhanced local processing of dynamic visual information in autism: evidence from speed discrimination[J]. Neuropsychologia, 2012, 50(5): 733-739.
- [12] Happe FG. Studying weak central coherence at low levels: children with autism do not succumb to visual illusions. A research note[J]. J Child Psychol Psychiatry, 1996, 37(7): 873-877.
- [13] Ropar D, Mitchell P. Are individuals with autism and Asperger's syndrome susceptible to visual illusions [J]. J Child Psychol Psychiatry, 1999, 40(8): 1283-1293.
- [14] Ropar D, Mitchell P. Susceptibility to illusions and performance on visuospatial tasks in individuals with autism [J]. J Child Psychol Psychiatry, 2001, 42(4): 539-549.
- [15] Mitchell P, Mottron L, Soulières I, et al. Susceptibility to the Shepard illusion in participants with autism: reduced top-down influences within perception[J]. Autism Res, 2010, 3(3): 113-119.
- [16] Happe FG. Wechsler IQ profile and theory of mind in autism: a research note[J]. J Child Psychol Psychiatry, 1994, 35(8): 1461-1471.
- [17] Siegel DJ, Minshew NJ, Goldstein G. Wechsler IQ profiles in diagnosis of high-functioning autism[J]. J Autism Dev Disord, 1996, 26(4): 389-406.
- [18] Bolte S, Holtmann M, Poustka F, et al. Gestalt perception and local-global processing in high-functioning autism [J]. J Autism Dev Disord, 2007, 37(8): 1493-1504.
- [19] Brosnan MJ, Scott FJ, Fox S, et al. Gestalt processing in autism: failure to process perceptual relationships and the implications for contextual understanding[J]. J Child Psychol Psychiatry, 2004, 45(3): 459-469.
- [20] Atkinson AP. Impaired recognition of emotions from body movements is associated with elevated motion coherence thresholds in autism spectrum disorders[J]. Neuropsycholo-

- gia, 2009, 47(13): 3023-3029.
- [21] Boucher J. The theory of mind hypothesis of autism; explanation, evidence and assessment[J]. *Br J Disord Commun*, 1989, 24(2): 181-198.
- [22] 曹漱芹. 孤独症群体的孤岛能力[J]. *心理科学进展*, 2013(8): 1457-1465.
- [23] Jarrold C, Butler DW, Cottington EM, et al. Linking theory of mind and central coherence bias in autism and in the general population[J]. *Dev Psychol*, 2000, 36(1): 126-138.
- [24] Almeida RA, Dickinson JE, Maybery MT, et al. Visual search performance in the autism spectrum II: the radial frequency search task with additional segmentation cues[J]. *Neuropsychologia*, 2010, 48(14): 4117-4124.
- [25] Morgan B, Maybery M, Durkin K. Weak central coherence, poor joint attention, and low verbal ability: independent deficits in early autism[J]. *Dev Psychol*, 2003, 39(4): 646-656.
- [26] Happe F, Vital P. What aspects of autism predispose to talent[J]. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 2009, 364(1522): 1369-1375.
- [27] Happe F, Briskman J, Frith U. Exploring the cognitive phenotype of autism; weak "central coherence" in parents and siblings of children with autism; I. Experimental tests[J]. *J Child Psychol Psychiatry*, 2001, 42(3): 299-307.
- [28] Mottron L, Dawson M, Soulières I, et al. Enhanced perceptual functioning in autism: an update, and eight principles of autistic perception[J]. *J Autism Dev Disord*, 2006, 36(1): 27-43.
- [29] Baron-Cohen S, Ashwin E, Ashwin C, et al. Talent in autism: hyper-systemizing, hyper-attention to detail and sensory hypersensitivity[J]. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 2009, 364(1522): 1377-1383.
- [30] Lee PS, Foss-Feig J, Henderson JG, et al. Atypical neural substrates of Embedded Figures Task performance in children with Autism Spectrum Disorder[J]. *Neuroimage*, 2007, 38(1): 184-193.
- [31] Manjaly ZM, Bruning N, Neufang S, et al. Neurophysiological correlates of relatively enhanced local visual search in autistic adolescents[J]. *Neuroimage*, 2007, 35(1): 283-291.
- [32] Damarla SR, Keller TA, Kana RK, et al. Cortical under-connectivity coupled with preserved visuospatial cognition in autism: Evidence from an fMRI study of an embedded figures task[J]. *Autism Res*, 2010, 3(5): 273-279.
- [33] Bolte S, Hubl D, Dierks T, et al. An fMRI-study of locally oriented perception in autism; altered early visual processing of the block design test[J]. *J Neural Transm*, 2008, 115(3): 545-552.
- [34] Spencer MD, Holt RJ, Chura LR, et al. Atypical activation during the Embedded Figures Task as a functional magnetic resonance imaging endophenotype of autism[J]. *Brain*, 2012, 135(Pt 11): 3469-3480.
- [35] Maximo JO, Keown CL, Nair A, et al. Approaches to local connectivity in autism using resting state functional connectivity MRI[J]. *Front Hum Neurosci*, 2013, 25(7): 598-605.
- [36] Keown CL, Shih P, Nair A, et al. Local functional over-connectivity in posterior brain regions is associated with symptom severity in autism spectrum disorders[J]. *Cell Rep*, 2013, 5(3): 567-572.
- [37] Keehn B, Shih P, Brenner LA, et al. Functional connectivity for an "island of sparing" in autism spectrum disorder: an fMRI study of visual search[J]. *Hum Brain Mapp*, 2013, 34(10): 2524-2537.
- [38] McGrath J, Johnson K, Ecker C, et al. Atypical visuospatial processing in autism; insights from functional connectivity analysis[J]. *Autism Res*, 2012, 5(5): 314-330.
- [39] O'Reilly H, Thiebaut FI, White SJ. Is macrocephaly a neural marker of a local bias in autism[J]. *Dev Cogn Neurosci*, 2013, 6(2): 149-154.
- [40] Courchesne E, Pierce K. Brain overgrowth in autism during a critical time in development: implications for frontal pyramidal neuron and interneuron development and connectivity[J]. *Int J Dev Neurosci*, 2005, 23(2-3): 153-170.
- [41] Wolff JJ, Gu H, Gerig G, et al. Differences in white matter fiber tract development present from 6 to 24 months in infants with autism[J]. *Am J Psychiatry*, 2012, 169(6): 589-600.