

一般智力的神经机制

党彩萍 全 鹏 刘联琦*

〔摘 要〕 本文探讨支持一般智力的几个脑部位和脑特征;具体归纳支持一般智力的几个特定脑部位,即脑的大小、额区和顶区、白质和灰质等;进一步揭示这些脑区神经网络联接的整体效率是支持一般智力的主要因素,尤其在额顶区,且高智力者的该特征更为明显;同时指出未来研究中,纵向追踪是探讨这个问题的有效手段,且有必要将来自不同神经成像技术的数据标准化。

〔关键词〕 一般智力;额叶;顶叶;灰质;白质

一般智力的神经机制是什么?自 Gall 于 1825 年提出颅相学以来,这个问题争论了近两个世纪。那么,人脑的哪些部位和特征可支持一般智力的活动?脑的大小、额区和顶区、灰质和白质等与一般智力的联系是否密切?智力脑的研究方法有哪些?一般智力神经机制的未来研究方向是什么?本研究主要梳理以往关于这些问题的研究结论,以较准确地界定这些问题。

一般智力(general intelligence)这个概念与 Spearman 在 1904 提出智力的一般因素(g)有一些差异(Jung & Haier, 2007)。笔者认为在广泛意义上,前者更强调智力的一般性,并包含后者。早期的智力神经成像研究主要关注一般智力,其评估方式多采用瑞文推理测试(Raven's Progressive Matrices, RPM)、卡特文化公平测试(Cattell's Culture Fair Intelligence test)及韦氏智力量表(Wechsler Adult Intelligence Scale, WAIS-R)、智商量表(Full Scale Intelligence Quotient, FCIQ)等公认的经典量表或 g 因素负荷较高的任务。也有研究使用游戏来测量一般智力,如知觉迷宫测试(Perceptual Maze Test, PMT)、象棋、围棋等。但是,早期关于智力功能和结构成像的研究通常没有做到全面测试。严谨的一般智力测试通常需要一系列量表,仅仅一个测试远远不够,这种思路也越来越普遍。本文所述的一般智力概念和测试方法包含了早期和当前研究。

一系列关注一般智力神经机制的研究采用了各种神经成像范式,包括结构成像和功能成像两类。所涉及的脑成像技术主要包括:关注结构成像的核磁共振成像(Magnetic Resonance Imaging, MRI)和基于体素的形态测量法(Voxel-based Morphometry, VBM);测量脑血流量和葡萄糖代谢的正电子断层扫描(Positron Emission Tomography, PET)和功能核磁共振成像(functional Magnetic Resonance

* 党彩萍,心理学博士,广州医科大学心理学系副教授,510182;全鹏,心理学博士,广东医学院心理学系讲师,510000;刘联琦,广州市民政局精神病院副主任医师,510180。本文系“广州市教育局广医高层次人才队伍 14 年青年骨干教师科研项目”(B148008)阶段性成果。

Imaging, fMRI) 以及静息态功能磁共振成像 (Resting-state fMRI, R-fMRI); 测量水分子运动的弥散张量成像 (Diffusion Tensor Imaging, DTI)。

一、脑的大小与一般智力的联系性

“头大的人更聪明吗”? 这种将脑的大小与一般智力联系起来的探索可以追溯到 19 世纪早期。虽然这种粗浅的现象描述曾饱受批判, 但近代的脑成像实验间接支持了二者的联系性。

脑的大小如何测量? 以往研究通常直接测量头的外部尺寸, 如头围(head circumference, HC), 并有研究表明二者存在相关。如 Ivanovic 等(2004, pp. 461 - 479) 从不同的社会经济阶层挑选 96 名高中毕业生(WAIS-R 得分 > 120; WAIS-R 得分 < 100), 结果发现, HC 与 IQ 存在显著正相关。一般而言, 用 HC 评估“头”比较准确, 但是它并不能精确地评估“脑”。

一系列神经成像技术使脑内容积(brain volume, BV) 的测量变成现实。Wickett、Vernon 和 Lee (2000, pp. 202 - 215) 总结: “以往研究团队使用不同的扫描仪器、不同被试和不同智力测试, 结果大都表明, IQ 和 BV 的相关平均为 0.4。”可见, 较大脑区可以预测较高的智力。

现代代表性观点当推 McDaniel(2005, pp. 337 - 346) 对 37 项神经成像研究中 1530 个被试的数据进行的元分析, 分析发现 BV 和一般智力测试得分之间存在一个比较小、但很一致的相关值(.33)。也有研究主张, 整体 BV 可以解释一般智力(或 IQ) 大约 16% 的变异。

其实, 并非整个 BV 都与一般智力相关, 只有几个特定兴趣区的容量(the volume of regions of interest, ROIs) 才与一般智力相关密切。部分研究发现, 控制了整个脑区后, 与一般智力相关密切的区域在额叶、顶叶和颞叶、以及海马和小脑(Toga & Thompson, 2005, pp. 1 - 23)。Colom 等(2010, pp. 489 - 501) 概括到, 比较典型的几个具体脑的容量和一般智力存在中等相关(0.25—0.50)。

这些研究结果使争论了 170 多年的问题越来越清晰, 即总体 BV 与一般智力确实存在正相关(Colom, Karama, Jung & Haier, 2010, pp. 489 - 501)。原因可以追溯为: 一般智力水平的高低通常取决于人脑两个半球共同组成的神经联接所发挥功能的强弱, 而并非单一的结构所能控制。脑中存在着一种分散式系统(distributed system), 若干个脑部位的连同作用是决定一般智力水平高低的关键因素。

另外, 该类结论的证据, 也来源于科学家将人和动物的 BV 进行对比的实验。但是, 一些典型的认知能力是鲸目动物、灵长类动物与人类共有的, 比如自我认知、符号交流、解决复杂问题等。而这些能力与脑总体特征的联系似乎比单一的脑尺寸这个因素更有助于解释一般智力的差异。由此, 这又是对脑的大小与一般智力密切联系这一结论的质疑。可见, 二者的联系性虽然达成了一些基本共识, 但仍然需要进一步验证。

二、额叶、顶叶与一般智力的相关性

哪些脑区可以揭示一般智力的差异? 不同研究支持了不同的脑区。虽然对于具体的脑区仍存在一些争议, 但多数研究结果都涉及到额叶与顶叶皮层, 且强调并非所有脑区对于解释一般智力的差异都非常重要。

Jung 和 Haier(2007, pp. 135 - 187) 选取了在 1988—2007 年期间发表的 37 篇结构和功能神经成

像文章,其中的一般智力测试包括流体和晶体智力、推理、g 因素,甚至一些推理游戏。基于这些研究揭示的一般智力神经机制的共性,他们汇总了多个研究共同关注的几个分散脑区,通过白质结构将顶区和额区皮层联系起来,提出顶额整合理论(Parieto-Frontal Integration Theory, P-FIT)。该理论主张,一般智力水平反映了顶—额神经网络连接如何有效加工信息。其中,背外侧前额(dorsolateral prefrontal)皮层的几个离散部位(BAs 9, 45, 46, 47)和顶叶皮层的几个部位(BAs 7 和 40)可能是人类智力最重要的脑区。同时, P-FIT 模型仍然强调,一般智力的个体差异源于多个脑区神经网络连接或信息传输的有效性,故额、枕、顶和颞四个脑区都参与一般智力,并表现为 4 个可区分的信息加工阶段:

第一阶段,加工感觉信息(假设人类获得信息先从视听觉开始):主要发生在枕叶和颞叶。具体表现在纹外(extrastriate)皮层(BAs 18, 19)和梭状回(fusiform gyrus)(BA 37)和韦尼克氏区(Wernicke's area, BA 22)。前两个区主要负责识别和阐述视觉信息,后一个区主要负责分析和阐述听觉信息。

第二阶段,整合和抽象感觉信息:主要发生在顶叶,具体在缘上回(supramarginal gyrus)(BA 40),顶上小叶(superior parietal lobule)(BA 7)和角回(angular gyrus)(BA 39)。

第三阶段,加工信息:顶区和额区(BAs 6, 9, 10, 45-47)相互作用,主要进行问题解决、评价和假设检验。

第四阶段,选择和抑制反应(获得最好的解之后):前扣带回(anterior cingulate, BA 32)主要负责这些活动。

由上可见, P-FIT 模型强调人脑可以将多种功能进行整合以完成不同的工作,这非常符合人脑各个局部之间协同合作的原理。另外,额叶、顶叶与一般智力的相关性在这个模型中尤其得到了凸现。

许多研究结果支持了该模型强调的额顶叶皮层。比如, Gray、Chabris 和 Braver (2003, pp. 316-322)使用 fMRI 技术揭示:侧前额(lateral prefrontal)和顶(parietal)区调节流体智力和工作记忆的相关性。Gläscher 等(2010, pp. 4705-4709)使用基于体素的损伤症兆图(voxel-based lesion-symptom mapping)技术检测 241 位脑损伤病人,同样发现额顶区分散的神经连接与 g 相关显著。Masunaga 等(2008, pp. 607-615)用 fMRI 扫描被试执行卡特文化公平智力测验的脑区,发现刺激—反应连接的学习激活了顶叶皮层,而概括、评价假设和选择策略活动激活了额叶皮层。这和以前使用瑞文推理测试所作的脑成像研究结论相一致。可见,额顶区参与了人类一般智力活动。有趣的是, Tang 等(2010, pp. 293-303)让 40 个年轻被试操作一系列 n-back 工作记忆任务,同时使用 DTI 和 fMRI 两种技术检测其脑活动。结果, n-back 任务激活的脑区主要在右侧前额叶和双侧顶叶。可见,与一般智力密切联系的工作记忆,其激活的脑区也与一般智力相近。

另外,静息态脑成像(R-fMRI)实验也支持了 P-FIT 模型,强调不参与任何刺激任务的脑的自发活动,同样与一般智力的个体差异存在显著相关。一般而言,脑的很大一部分能量消耗在自发性神经活动(代谢活动),而与任何特定刺激或任务并不产生清晰的联系。Biswal 等(2010, pp. 4734-4739)从 35 个国际实验室招募 1414 个被试,发现静息状态下获得的 fMRI 信号中,存在振幅较大的自发性低频波动,且这些低频波动与个体脑区的功能连接密切相关; Song 等(2008, pp. 1168-1176)用 R-fMRI 检测 59 位成年人(WAIS 得分 90-138)在休息时的自发性脑活动及其一般智力的个体差异。他们以双侧背外侧前额叶皮层(bilateral dorsolateral prefrontal cortices, DLPFC)为种子区(seed regions),探讨种子区与其他脑区功能连接(functional connectivity, FA)的强度。结果发现,与一般智力测试得分相关显著的脑部位主要分布在:额、顶、枕和边缘叶。回归分析表明,额叶内的功能连接和脑前后区域的功能连接对于预测智力个体差异都很重要; van den Heuvel 等人(2009, pp. 7619-7624)

也使用 R-fMRI 技术扫描 19 名成人(年龄的 $M \pm SD = 29 \pm 7.8$) 在休息状态下的脑活动,并用图谱分析法计算静息状态下不同脑区的自发信号之间的相关。最后发现,静息状态下脑正常的网状联接特征路径长度 λ 值与一般智力(WAIS-III 测试分数)之间存在很强的负相关,且这种联接最显著的效果,发生在额顶叶这两个区。

三、白质、灰质与一般智力的相关性

白质(white matter)和灰质(gray matter)是中枢神经系统的两个主要元素。人脑剖面中的白质组织,位于皮层深面,由大量髓磷脂(脂质)组成,由连合、联络和投射三类纤维组成,控制着神经元共享的讯号,协调脑区之间的正常运作;而灰质由神经元、神经胶质细胞、毛细血管组成。比较来看,白质反映轴突数量和厚度以及其髓鞘形成程度;灰质反映神经元胞体和树突分支生长的数量和密度。白质支持了信息在脑内流动的有效性,尤其是白质弓形束在脑内信息交流中扮演一个至关重要的角色(Colom, Karama, Jung & Haier, 2010, pp. 489-501);而灰质支持信息加工容量。

弥散张量成像技术(DTI)是目前检测脑白质纤维束最好的无创性成像方法。它能利用组织中水分子自由热运动的各向异性原理,以三维形式呈现神经纤维束的联接和走行分布,能准确评价白质纤维束之间的空间解剖关系和受侵情况。DTI 可获得一系列完整的正常脑白质纤维图像,可显示的纤维束包括:弓状束、上下纵行束、钩回束、视听辐射、前连合、胼胝体、锥体束、薄形束、楔形束、内侧束、红核脊髓束、顶盖脊髓束、中盖束、三叉神经丘脑背侧束、上中下脑脚、动眼和三叉神经根部纤维等。DTI 指标包括:部分各向异性(FA)、平均扩散率(MD)、径向弥散(RA)和轴向弥散(AD)。

另一个测量白质神经化学完整性的技术是磁共振波谱分析(magnetic resonance spectroscopy, MRS),它是测定活体内某一特定组织区域化学成分的唯一的不损伤技术,是磁共振成像和磁共振波谱技术完美结合的产物,是在磁共振成像的基础上又一新型的功能分析诊断方法。现在用于 MRS 检测的核素有 1H 、 ^{13}C 、 ^{19}F 、 ^{23}Na 、 ^{31}P 。

近年来研究使用 DTI 和 MRS 技术揭示了白质完整性(white matter integrity)与一般智力的联系性,强调白质完整性对一般智力的重要作用。比如, Schmithorst 等(2005, pp. 139-147)用这两种技术扫描 47 位儿童和青少年(平均年龄 5—18 岁),选用 DTI 的 2 个指标—部分各向异性(FA)和平均弥散率(MD),计算额、顶、枕、颞四个脑区的白质。结果显示,这两个指标与被试的一般智力(WISC-III)得分存在相关,尤其额、顶和枕区双侧和内侧的白质 FA 指标,而这些部位被认为是白质弓形束所在的代表性区。该研究还发现,FA 与言语一般智力的相关(.57)大于其与非言语能力的(.33)。因此,联接布罗卡区(BA 44)和韦尼克区(BA 22)的整体性白质,对于解释孩子一般智力的差异似乎更敏感。

Yu 等(2008, pp. 1533-1541)使用 DTI 技术中的 FA 方法来评估几个部位白质神经束的完整性,将 15 个智障儿童和 79 个健康控制组做比较,并将对照组分为普通智力组和高智力组。结果显示,智障组的 FA 指标在胼胝体(corpus callosum)、钩束(uncinate fasciculus)、视放射(optic radiation)和皮质脊髓束(corticospinal tract)这 4 个部位都显著低于控制组,而普通智力组仅在右钩束部位比高智力组低。由此表明,智障组的脑白质神经束的完整性广泛受损,且右钩束可能是一般智力差异的一个重要神经基础。

Chiang 等(2009, pp. 2212-2224)用 DTI 技术扫描 92 对双胞胎,首次分析基因和环境如何影响脑的神经纤维结构以及它们与认知功能的基因联接。他们评估了言语(信息、词汇和算术)和非言语智

力(空间和客体分类)智力,用FA指标评价白质完整性,用结构方程模型(SEM)拟合脑内每一点上的数据,并生成三维遗传图谱。在显著控制基因条件下来检测白质完整性,发现与一般智力相关的白质完整性存在于:前额两侧、顶叶双侧、枕叶左侧(相关范围.55—.85)。非言语智力与这6个部位的FA指标存在相关:扣带回(cingulum)、视放射(optic radiations)、前侧额枕骨纤维束(superior fronto-occipital fasciculus)、内囊(internal capsule)、胼胝体峡(isthmus of the corpus callosum)和放射冠(corona radiata)。而且,共同的基因因素调节了一般智力和白质完整性的相关,二者之间存在一个共同的生理机制。

总之,这些相关结论表明,白质的纤维组织密度与一般智力存在密切联系。原因可能在于:白质的轴突直径越大,其神经传导速度越快。白质髓鞘形成和轴突直径的同时增加,在认知发展中扮演了重要角色。虽然,DTI和MRS是两项激动人心的技术,大大帮助我们评估白质在整个脑的流向和完整性。但是,DTI技术的信度是建立在检测离散的白质神经束(如弓形纤维束)基础上的。由此,DTI技术间接、潜在地促成了白质完整性与一般智力的相关。

同时,也有研究发现了灰质与一般智力的相关性。通常,人脑并不容易被切割成不同皮层区,只有很高级的成像技术才能实现。基于体素的形态测量法(voxel-based morphometry, VBM)能够测量不连续的脑区皮层和皮层下神经元(突触群),并用统计参数绘图方法自动将脑分割为几个不同组织(如灰质、白质、脑脊髓液等),且空间分辨率达到毫米水平。

Colom、Jung和Haier(2006, pp. 561-570)总结出这几个区的灰质容量与斯皮尔曼的g相关显著,即前扣带回(BA 24)、额叶(BAs 8、10、11、46、47)、顶叶(BAs 7、40)、颞叶(Bas 13、20、21、37、41)和枕叶(BAs 17、18、19)。随后,他们用VBM扫描48名被试后得出结论:(1)越复杂的认知任务(即g负荷较高),越能激活较多的灰质;(2)g与工作记忆广度的复杂任务(backward digit span)相重叠的灰质区大于简单任务(forward digit span)与它的重叠区。

总之,很多研究在基于体素(voxel)水平的分析上,揭示了特定脑区的白质和灰质与一般智力分数存在相关。Gignac、Vernon和Wicket(2003, pp. 93-106)综述以往研究后指出,各类研究报告大部分汇报:一般智力与整脑的白质容量未加权的平均相关值是.31,与整脑灰质容量的相关是.27。可见,比较而言,白质与一般智力的相关更大一些。

四、多个脑区的网状联接:高智力者的特点

多个脑区间的网状联接可能也是支持一般智力的重要神经基础。那么,天才智力水平高的一个重要因素是否是其脑区间的信息传递比普通人更有效?

Li等(2009, pp. 1-17)用79个青年被试来检验这一假设。他们使用弥散张量纤维束成像技术(diffusion tensor tractography)进一步分化脑的解剖结构,着重关注脑两半球内部和两半球之间的网状联接,构建了6个白质神经束:胼胝体的膝(genu)、胼胝体的体(body)、胼胝体的压部(splenium)、扣带(cingulum)、皮质脊髓束(corticospinal tract)、顶枕部纤维束(inferior fronto-occipital fasciculus),并计算被试神经网络联接的拓扑特征。他们依据IQ得分,将被试分为普通智力组和高智力组。结果,高智力组表现出特有的相对短的信息传递路径和比较高效的神经网络联接整体效应(控制了性别和年龄差异后),表明他们的脑具有更高效的平行信息转换功能。由此,该研究充分支持了脑整体信息传递的效率是一般智力差异的重要生理基础。

Lee等(2006, pp. 578-586)挑选18个天才(瑞文推理得分 $M \pm SD = 33.9 \pm 0.8$, >99%)和18个

韩国普通青少年(瑞文推理得分 $M \pm SD = 22.8 \pm 1.6, 60\%$), 用 fMRI 来扫描被试执行两种推理任务(g 的高负荷和低负荷)时的脑活动。结果, 两组被试都发现在双侧额顶区(bilateral fronto-parietal network)的几个部位激活增加了, 即侧前额(lateral prefrontal)、扣带回和后侧顶(posterior parietal)皮层。但是, 天才组在后侧顶叶皮层的激活比普通组更大。而且, 在顶叶上侧和内侧(BAs7、40)与一般智力个体差异相关更高。因此, 高智力者通过后顶区的优先激活而使额顶部位的神经联接发挥作用。

总之, 近期研究已经表明, 人脑有一个复杂的网状联接系统, 它可以在空间分散但功能联系的不同脑区之间连续不断地转换信息, 由此暗示, 脑内部聚集了多个高水平的局部神经束, 使其可以发生长距离联接, 保证了整个脑网络之间的高效运作。因此, 脑组织结构的高效率运作可能是一般智力的一个重要生理基础。而高智力者的神经网状联接的整体效率与一般智力联系尤为密切, 尤其发生在额顶区。且他们在执行任务过程中, 比普通人的脑区激活程度更大, 但持续时间更短。

五、小结

从以上分析可见, 多项研究表明了脑总体的大小、几个特定脑区、以及特定脑区的灰质和白质均与一般智力存在联系性。整个脑的神经网状联接和特定脑区对一般智力的影响都很重要。虽然特定脑区与一般智力的相关性仍存在一些争议, 但总体而言, 额叶和顶叶皮层是一般智力加工的重要脑区。未来研究需要整合多学科(如心理学、心理测量、遗传学、基因学神经学)的研究结果, 以便将一般智力的神经机制准确地揭示出来。

总之, 如何将一般智力的神经机制准确地定位出来, 如何绘制“神经—智力”的综合性蓝图, 这对人类来说, 始终将是一个激动人心的挑战。

参考文献:

- Biswal, B. B., M. Mennes & X. M. Zuo, et al., 2010, “Toward discovery science of human brain function”, *Proc Natl Acad Sci USA*, vol. 107, pp. 4734 – 4739.
- Chiang, M., M. Barysheva & D. W. Shattuck, et al., 2009, “Genetics of brain fiber architecture and intellectual performance”, *J Neurosci*, vol. 29, pp. 2212 – 2224.
- Colom, R., R. E. Jung & R. J. Haier, 2006, “Finding the g-factor in brain structure using the method of correlated vectors”, *Intelligence*, vol. 34, pp. 561 – 570.
- Colom, R., S. Karama, R. E. Jung & R. J. Haier, 2010, “Human intelligence and brain networks”, *Dialogues Clin Neurosci*, vol. 12, pp. 489 – 501.
- Gignac, G., P. A. Vernon & J. C. Wicket, 2003, “Factors influencing the relationship between brain size and intelligence”, in H. Nyborg (ed.), *The Scientific Study of General Intelligence*, Oxford: Pergamon Press, pp. 93 – 106.
- Gläscher, J., D. Rudrauf & R. Colom, et al., 2010, “The distributed neural system for general intelligence revealed by lesion mapping”, *PNAS*, vol. 107(10), pp. 4705 – 4709.
- Gray, J., C. Chabris & T. Braver, 2003, “Neural mechanisms of general fluid intelligence”, *Nat Neurosci*, vol. 6, pp. 316 – 322.
- Ivanovic, D. M., B. P. Leiva & C. G. Castro, et al., 2004, “Brain development parameters and intelligence in Chilean high school graduates”, *Intelligence*, vol. 32, pp. 461 – 479.
- Jung, R. E. & R. J. Haier, 2007, “The parieto-frontal integration theory (P-FIT) of intelligence: Converging neuroimaging evidence”, *Behav Brain Sci*, vol. 30, pp. 135 – 187.

- Lee, K. H. , Y. Y. Choi & J. R. Gray, et al. ,2006, “Neural correlates of superior intelligence: Stronger recruitment of posterior parietal cortex”, *NeuroImage*, vol. 29, pp. 578 – 586.
- Li, Y. , Y. Liu & J. Li, et al. ,2009, “Brain anatomical network and intelligence”, *Comp Biol*, vol. 5, pp. 1 – 17.
- Masunaga, H. , R. Kawashima, J. L. Horn, Y. Sassa & A. Sekiguchi,2008, “Neural substrates of the Topology test to measure fluid reasoning: An fMRI study”, *Intelligence*, vol. 36, pp. 607 – 615.
- McDaniel, M. A. ,2005, “Big-brained people are smarter: A meta-analysis of the relationship between in vivo brain volume and intelligence”, *Intelligence*, vol. 33, pp. 337 – 346.
- Schmithorst, V. J. , M. Wilke, B. J. Dardzinski & S. K. Holland,2005, “Cognitive functions correlate with white matter architecture in a normal pediatric population: A diffusion tensor MRI study”, *Hum Brain Map*, vol. 26, pp. 139 – 147.
- Song, M. , Y. Zhou, J. Li, Y. Liu, L. Tian, C. Yu & T. Jiang,2008, “Brain spontaneous functional connectivity and intelligence”, *NeuroImage*, vol. 41, pp. 1168 – 1176.
- Tang, C. Y. & E. L. Eaves, et al. ,2010, “Brain networks for working memory and factors of intelligence assessed in males and females with fMRI and DTI”, *Intelligence*, vol. 38, pp. 293 – 303.
- Toga, A. W. & P. M. Thompson,2005, “Genetics of brain structure and intelligence”, *Ann Rev Neurosci*, vol. 28, pp. 1 – 23.
- Van den Heuvel, M. P. , C. J. Stam, R. S. Kahn & H. E. H. Pol,2009, “Efficiency of functional brain networks and intellectual performance”, *J Neurosci*, vol. 29, pp. 7619 – 7624.
- Wickett, J. C. , P. A. Vernon & D. H. Lee,2000, “Relationships between factors of intelligence and brain volume”, *Personality and Individual Differences*, vol. 29, pp. 1095 – 1122.
- Yu, C. , J. Li & Y. Liu, et al. ,2008, “White matter tract integrity and intelligence in patients with mental retardation and healthy adults”, *NeuroImage*, vol. 40, pp. 1533 – 1541.

(责任编辑:蒋永华)

Neural Mechanism of General Intelligence

DANG Cai-Ping, QUAN Peng, LIU Lian-qi

Abstract: The present paper is a review of the studies on the correlation between general intelligence and several brain regions. A lot of empirical studies have found that general intelligence is closely related to such factors as the size of the brain and the activities in and function of prefrontal cortex, parietal cortex, gray mater and white matter. The efficiency of communication within brain regions, especially the frontoparietal network, is the key biological basis for general intelligence. This effect is more obvious on people with high intelligence. The future research in this field should involve longitudinal studies of brain and cognitive development with a large sample size and the standardization of the data collected by employing different neuroimaging technologies.

Key words: general intelligence; prefrontal cortex; parietal cortex; gray matter; white matter