

· 文献研究 ·

中国脑机接口研究发展及现状 ——基于中国期刊全文数据库的文献计量分析

刘小燮 王廉 毛智 毕胜

【摘要】目的 用文献计量学方法评价我国脑机接口技术的发展现状。**方法** 检索中国期刊全文数据库(CNKI)数据库建库至 2013 年 10 月 31 日出版的脑机接口相关文献,采用多种文献分析软件,从时间分布、学科分布、基金支持、作者、机构、收录期刊及关键词情况等方面分析我国脑机接口技术的发展现状。**结果** 共检出文献 877 篇,纳入 425 篇,发表于 160 种期刊。2002 年至 2012 年,发文量呈逐年上升趋势,相关研究受到大量基金支持。参与作者及机构数量众多、分布广泛,共 737 名作者和 135 所研究机构参与纳入文献的发表,但发文量较多的机构和个人则数量较少,仅 32.56% 的作者和 51.85% 的机构参与超过 1 篇文献的发表。主要发文期刊、关键词和学科分布集中于生物医学工程方向,出现频率最高的关键词为脑电及脑电信号。**结论** 脑机接口相关研究在我国发展态势良好,培养更多高端人才和转入临床实用是下一步工作重心。

【关键词】 脑机接口; 文献计量学; 中国期刊全文数据库; 生物医学工程; 康复

Situation and progress of brain computer interfaces in China—a bibliometric analysis of the literature from China national knowledge infrastructure database Liu Xiaoxie*, Wang Lian, Mao Zhi, Bi Sheng.

* Rehabilitation Medicine Center, Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China

Corresponding author: Bi Sheng, Email: bisheng301@gmail.com

【Abstract】Objective To investigate the situation and progress in technology of brain computer interfaces (BCI) by using the bibliometric approach. **Methods** Literature searching was done in China national knowledge infrastructure (CNKI) database using keyword “brain computer interface”. Subsequent results were analyzed by using softwares concerning the periodical distribution, subjects’ distribution, foundations, authors, institutes, journal types and key words. **Results** Overall 425 publications from 160 journals were included. The amount of the relevant articles showed an increasing trend in 2002 to 2012. The research in BCI in China was supported by a large amount of funds. There were a lot of Chinese authors and institutions participating in BCI study, and they were widely distributed across the country. However, only 32.56% of all authors and 51.85% of all institutions published more than 1 article. Moreover, research on BCI mainly was focused on the biomedical engineering aspect. **Conclusions** Research on BCI developed rapidly in the past 12 years in China and will continue to develop in the following decades. In the future studies, the focus should shift to clinical research instead of biomedical engineering, and to make this technology a useful clinical practice is the first priority.

【Key words】 Brain computer interface; Bibliometrics; China national knowledge infrastructure; Bio-medical engineering; Rehabilitation

脑机接口(brain-computer interface, BCI)是一种可以获取、分析大脑信号,并将其通过传出设备转化为指令,以显示或实现人们期望行为的电脑系统,这种系统可在没有完整周围神经或肌肉这一正常传出通路参与的情况下实现人与外界环境的交互^[1]。BCI 可利用来自中枢神经系统的信号^[1],如大脑单神经元脉冲信号^[2]、细胞外局部场电位(local field potentials,

LFPs)^[3]、皮质脑电图(electrocorticographic, EcoG)^[4]、表面脑电图(electroencephalography, EEG)^[5]、脑磁图(magnetoencephalography, MEG)^[6]、实时功能性磁共振成像(real time-functional magnetic resonance imaging, rt-fMRI)^[7]、近红外光谱(near infrared system, NIRS)^[8]等。BCI 可通过代偿^[9-10]和替代^[11-13]两种途径来促进各种原因所致的闭锁综合征、脑卒中、脊髓侧索硬化症、脑干脑炎、脑瘫、脑外伤、吉兰-巴雷综合征及脊髓损伤等多种疾病的康复。

BCI 是一个快速发展的新兴科研领域,近年来,越来越多的中国科研工作者开始 BCI 相关领域的研究,在国内外众多学术期刊上发表了大量论著,为推动

DOI:10.3760/cma.j.issn.0254-1424.2014.05.017

基金项目:国家自然科学基金资助项目(30973164)

作者单位:100853 北京,中国人民解放军总医院康复医学中心(刘小燮、毕胜),骨科(毛智);卫生部中日友好医院康复医学科(王廉)

通信作者:毕胜,Email: bisheng301@gmail.com

BCI 研究的快速发展做出了突出的贡献,其影响力有逐渐超越美、德、英等 BCI 传统科研强国的趋势。中国的 BCI 研究发展趋势具体如何,哪些研究机构和个人在这一过程中起到关键性作用,又有哪些研究方向占据着我国 BCI 研究的主流热点,本研究通过文献计量学方法,对中国期刊全文数据库 (China National Knowledge Infrastructure, CNKI) 收录的 BCI 相关文献进行年代分布、学科分布、基金支持、作者、机构、收录期刊及研究热点的定量研究。

资料与方法

以 CNKI 为搜索引擎,以 BCI 为检索对象,构建检索式“主题 = BCI 或主题 = 脑机交互或主题 = 脑-机接口或主题 = 脑-机交互 (精确匹配)”,发表时间及文献来源不限,最终检索时间为 2013 年 10 月 31 日。

由 2 名研究者采用美国 Thomson Research Soft 公司开发的 EndNote X6 版参考文献管理软件对检索结果进行独立、手工筛选。排除标准:①重复文献;②与主题不相关文献;③报纸及新闻报道;④会议论文及硕士、博士学位论文;⑤来源 CNKI 分类为特色期刊的文章。2 名研究者意见不统一时,由本文通信作者进行裁定,最终形成纳入文献。

采用文献计量学方法,在 ENDNOTE X6 文献管理软件和 CNKI 自带分析功能的辅助下,对纳入文献的发表年代、学科分布、作者、发表期刊、关键词进行定量分析,由研究者对纳入文献的基金来源、发表机构进行手工提取,并录入 Excel 2013 版软件,然后进行数据分析。

结 果

一、文献筛选及分类

按照检索式初检共检得文献 877 篇,排除重复文献 6 篇,与主题不相关文献 25 篇,剩余 846 篇,其中含报纸及新闻报道 42 篇,会议论文 63 篇,硕士论文 235 篇,博士论文 50 篇,特色期刊文献 31 篇,再次排除后,共纳入文献 425 篇。

二、年代分布

被 CNKI 收录的第一篇 BCI 相关文章^[14]于 2002 年 12 月发表,至 2009 年文章发表量逐年增多,2009 年的年发表量达 57 篇,是 2002 年的 19 倍。2010 年和 2011 年发量较前略有回落,2010 年至 2012 年保持逐年增长,并在 2012 年的年发表量达到 61 篇,超过 2009 年出现第二次高峰(图 1)。

三、学科分布

根据 CNKI 数据库对收录文献进行的学科分类,本研究纳入的 425 篇文献中,涉及生物医学工程学的有 168 篇,自动化技术的有 91 篇,计算机硬件技术的

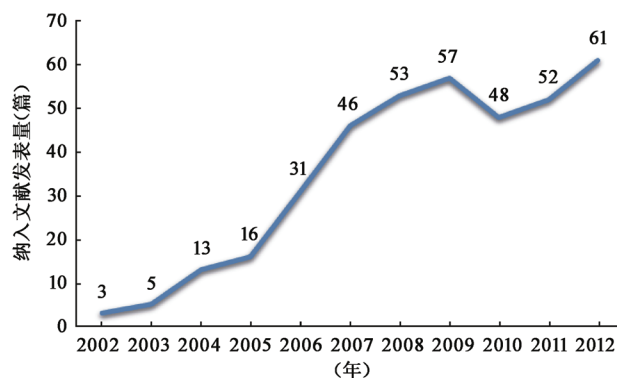


图 1 2002 年至 2012 年纳入文献发表量及年代走势图

有 82 篇,电信技术的有 49 篇,计算机软件及计算机应用的有 43 篇,生物学的有 11 篇,仪器仪表工业的有 13 篇,临床医学的有 7 篇,医学教育与医学边缘学科的有 4 篇,神经病学的有 5 篇,心理学的有 3 篇,医药卫生方针政策与法律法规研究的有 2 篇,眼科与耳鼻喉咽喉科的有 2 篇,外科学、基础医学、预防医学与卫生学及无线电电子学各 1 篇。

四、基金支持

425 篇纳入文献中,获得基金支持共有 365 项,其中国家高技术研究发展计划(863 计划)27 项,国家重点基础研究发展计划(973 计划)15 项,国家科技支撑计划 5 项,国家自然科学基金 197 项,国家科技攻关计划 4 项,国际科技合作重点项目计划 3 项,省级自然科学基金 66 项,省级科技攻关计划 11 项,高等学校博士学科点专项科研基金 9 项,中国博士后科学基金 8 项,其他省部级基金 15 项,其它基金 5 项。

五、作者分布

425 篇纳入文献共有 737 名作者参与,发量 > 10 篇的共有 12 名作者(1.63%),详见表 1;发量 > 5 篇的作者有 32 名(4.34%),仅参与 1 篇文献发表的作者共 497 名(67.44%),详见图 2。其中发量最高

表 1 发量超过 10 篇的作者及其发量

作者	单位	发量(篇)
何庆华	第三军医大学	26
吴宝明	第三军医大学	17
万柏坤	天津大学	16
官金安	中南民族大学	16
高小榕	清华大学	16
杨帮华	上海交通大学	16
高上凯	清华大学	15
赵海滨	东北大学	14
王宏	东北大学	14
赵丽	天津职业技术师范大学	14
王金甲	燕山大学	11
明东	天津大学	11

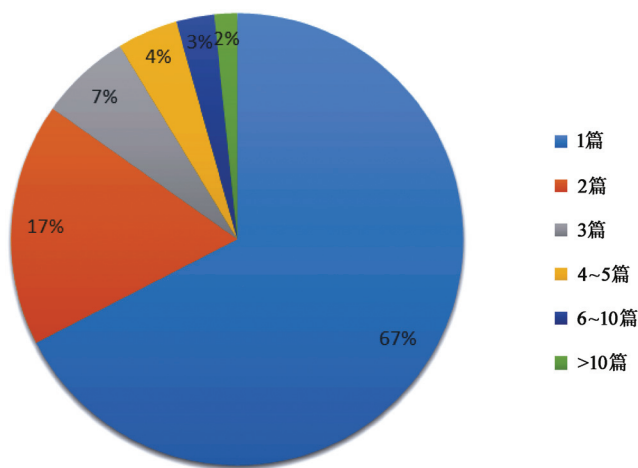


图2 不同发文量的作者在全部作者中所占比例

的是第三军医大学大坪医院的何庆华教授,共发表文章 26 篇。

六、机构分布

425 篇纳入文献中,发表机构共有 135 所,其中 > 10 篇的机构有 11 家(0.81%),见表 2;发文≤5 篇的机构有 107 所(79.26%),仅参与 1 篇文献发表的机构共 65 所(48.15%),发文量最多的机构是清华大学和第三军医大学,均发表文章 27 篇。

表2 发文量超过 10 篇的机构及其发文量

机构	发文量(篇)
第三军医大学	27
清华大学	27
天津大学	22
东北大学	21
上海交通大学	20
重庆大学	20
中南民族大学	19
安徽大学	16
华南理工大学	16
浙江大学	16
燕山大学	15

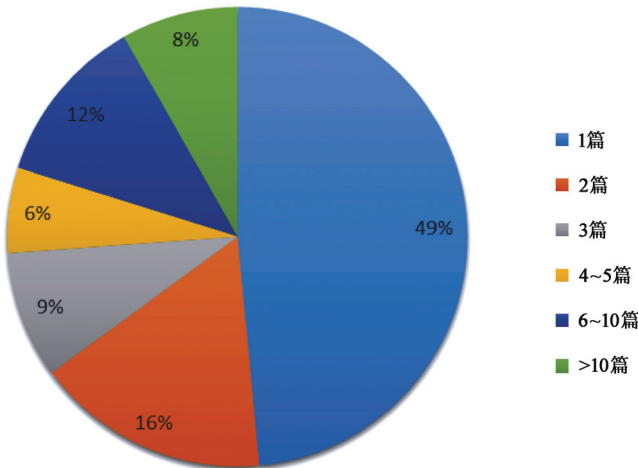


图3 不同发文量的机构在全部机构中所占比例

七、发表期刊

425 篇纳入文献共发表于 160 种期刊,发表量 > 10 篇的期刊有 5 种,>5 篇的有 14 种,详见表 3。发文量最多的期刊是《中国生物医学工程学报》,综合影响因子 0.446,共发表相关文章 30 篇。发文量 > 5 篇的期刊主要集中于自动化技术与计算机技术类、特种医学类及基础医学类杂志。

表3 发文量超过 5 篇的期刊及其收录量、影响因子和分类

期刊	发文量 (篇)	2012 年 影响因子	核心期刊分类
中国生物医学工程学报	30	0.446	基础医学
生物医学工程杂志	21	0.253	基础医学
仪器仪表学报	18	2.121	机械及仪表工业
中国组织工程研究与临床 康复	15	0.479	特种医学
计算机工程与应用	15	0.406	自动化技术及计算机技术
北京生物医学工程	10	0.155	基础医学
系统仿真学报	8	0.385	自动化技术及计算机技术
东北大学学报(自然科学 版)	8	0.349	综合性科学技术
传感技术学报	7	0.783	自动化技术及计算机技术
中国临床康复(已更名)	7	无	特种医学
微计算机信息	7	0.227	自动化技术及计算机技术
中国康复医学杂志	6	0.993	特种医学
医疗卫生装备	6	0.373	预防卫生类
华中科技大学学报(自然 科学版)	6	0.409	综合性科学技术

八、研究热点

经关键词词频分析,我国 BCI 研究热点主要集中在信号及工程方向,词频最高的关键词为脑电信号及脑电,前者共出现 63 次,后者共出现 60 次。此外,本研究在我国发展的前半阶段和后半阶段关键词所反映的研究热点出现了一定程度的变化,详见表 4。

表4 2002 至 2007 年及 2008 年至 2013 年两个时间段
纳入文献出现频次前 15 位的关键词

2002 年至 2007 年		2008 年至 2013 年	
关键词	频次(次)	关键词	频次(次)
脑电	27	脑电信号	50
脑电信号	13	特征提取	43
特征提取	12	运动想象	40
脑电图	11	脑电	33
支持向量机	10	支持向量机	33
视觉诱发电位	9	小波变换	19
诱发电位	7	稳态视觉诱发电位	17
康复	6	脑电图	14
分类	6	P300	13
独立分量分析	5	模式识别	12
小波变换	5	视觉诱发电位	11
运动想象	5	BP 神经网络	9
单词提取	5	神经网络	9
稳态视觉诱发电位	5	LabVIEW	9
P300	4	共空间模式	8

讨 论

本研究发现,近 12 年间,CNKI 收录的 BCI 相关文章发表量呈现稳步快速的增长,BCI 这一新兴科研领域在中国受到越来越多科研工作者的青睐和关注。大量相关研究均获得了科研基金的支持,其中国家级基金 248 项,且不乏 863 计划及 973 计划这样的重点基金支持,可见这一领域在我国快速发展并不断取得进展和突破的背后有国家及总体科研政策的支持、大量研究资金和人员的投入。此外,除本研究所纳入的期刊文章外,初步检索还检得 285 篇硕士、博士学位论文,大量的青年科研工作者开始投身此项研究领域给 BCI 在我国的发展注入了新鲜、可持续发展的动力。

从研究机构和作者的分布来看,BCI 在我国的发展有两大特点——“广泛”和“集中”。本研究纳入的 425 篇文献中,共有来自 135 所研究机构的多达 737 名作者参与了相关文章的发表,从机构种类来看,既有中科院等专职研究机构,也有大学、医院、企事业单位;既有地方机构,也有军队单位;既有 211 工程院校等著名高等学府,也有多所职业技术学院的参与。可以说“广泛”的机构和研究者的参与是 BCI 研究在我国快速发展的重要力量和保障。然而,虽有众多组织和个人参与发表相关研究,其中高发文量者却是少数,在这一领域做出主要贡献的机构和个人相对局限,表现出“集中”这一特点。在本研究所纳入范围内,发文量超过 10 篇的作者仅占全部的 1.63%,超过 10 篇的机构仅占全部的 0.81%,近一半的机构和绝大部分的作者仅参与了 1 篇文章的发表。绝大部分排名靠前的作者来自排名靠前的机构,发文量超过 10 篇的 12 名作者中有 9 名来自发文量排名前 5 位的机构,其中发文最多的机构是第三军医大学和清华大学,三军医大大坪医院野战外科研究所的何庆华和吴宝明教授从 2002 年便开始投身此项研究^[15],十余年间成果不断,为我国 BCI 在战创伤领域的研究和应用作出了突出贡献。清华大学生物医学工程系的高上凯和高小榕教授是国际上知名的 BCI 领域专家,不仅发表了大量的中文文章,更发表了众多高质量的 SCI 纳入文章^[16],其研究成果在数量和质量上均位居世界前列,近些年来他们还与解放军总医院联手进行研究,取得了一系列相关研究成果^[17]。这种“集中”分布趋势,一方面证明了“精英”在 BCI 研究领域突出的带头及推动作用,另一方面也说明未来我国若想进一步发展相关研究,亟需扩大“精英”的数量和范围。

CNKI 收录的 BCI 相关文献主要来自于以生物医学工程、计算机、仪器设备等为主的基础学科期刊杂志,发文量超过 5 篇的 14 种期刊中仅有 2 种综合性期

刊和 3 种康复医学专科期刊(其中 2 种为更名前、后的同一期刊),且 2 种综合期刊均为具有理工科传统优势的院校的学报。这种期刊分布情况与学科分布相符,从某种程度上说明目前我国 BCI 研究的重心仍处于基础及工程学领域,因技术的局限,BCI 进入临床实用以及被“大众”研究者和读者广泛接受的时机尚未成熟。同样,通过对纳入文献进行高频关键词分析得出的 BCI 研究热点也与上述结论相符,主要的高频关键词也集中于工程技术及信号处理方向。此外,高频关键词随着时间的改变和技术的发展也出现了相应的改变,主要表现在越来越多的高级神经科学词汇、新技术及复杂技术词汇的出现及热度的提高,研究热点从较粗大方向向更精细研究方向演变,基于运动想象的 BCI 的应用均得到了更多的重视。

BCI 的研究和应用在未来还有很广阔的空间,目前看来,应该主要集中在以下 3 个方面:①改良信号采集的硬件系统,使其更方便、安全、便携并适用于各种复杂环境;②更严格和广泛地验证 BCI 在实际日常生活中的价值及康复效果,验证其有效性、实用性及对生活质量的影响,扩大适用人群,实现技术更广泛的传播;③提高 BCI 技术的可靠性。课题组认为,BCI 相关研究在我国未来将继续保持一定增速的发展,吸引更多的研究者和研究力量的投入。

参 考 文 献

- [1] Shih JJ, Krusienski DJ, Wolpaw JR. Brain-computer interfaces in medicine[J]. Mayo Clin Proc, 2012, 87(3): 268-279.
- [2] Velliste M, Perel S, Spalding MC, et al. Cortical control of a prosthetic arm for self-feeding[J]. Nature, 2008, 453(7198): 1098-1101.
- [3] Lebedev MA, Nicolelis MA. Brain-machine interfaces: past, present and future[J]. Trends Neurosci, 2006, 29(9): 536-546.
- [4] Felton EA, Wilson JA, Williams JC, et al. Electroencephalographically controlled brain-computer interfaces using motor and sensory imagery in patients with temporary subdural electrode implants. Report of four cases[J]. J Neurosurg, 2007, 106(3): 495-500.
- [5] Birbaumer N, Cohen LG. Brain-computer interfaces: communication and restoration of movement in paralysis[J]. J Physiol, 2007, 579(3): 621-636.
- [6] Quandt F, Reichert C, Hinrichs H, et al. Single trial discrimination of individual finger movements on one hand: a combined MEG and EEG study[J]. Neuroimage, 2012, 59(4): 3316-3324.
- [7] Caria A, Veit R, Sitaram R, et al. Regulation of anterior insular cortex activity using real-time fMRI[J]. Neuroimage, 2007, 35(3): 1238-1246.
- [8] Sitaram R, Zhang H, Guan C, et al. Temporal classification of multi-channel near-infrared spectroscopy signals of motor imagery for developing a brain-computer interface[J]. Neuroimage, 2007, 34(4): 1416-1427.
- [9] Birbaumer N. Breaking the silence: Brain-computer interfaces (BCI)

- for communication and motor control[J]. *Psychophysiology*, 2006, 43(6): 517-532.
- [10] Caria A, Weber C, Broetz D, et al. Chronic stroke recovery after combined BCI training and physiotherapy: A case report[J]. *Psychophysiology*, 2011, 48(4): 578-582.
- [11] Hochberg LR, Serruya MD, Friehs GM, et al. Neuronal ensemble control of prosthetic devices by a human with tetraplegia[J]. *Nature*, 2006, 442(7099): 164-171.
- [12] Collinger JL, Wodlinger B, Downey JE, et al. High-performance neuroprosthetic control by an individual with tetraplegia[J]. *Lancet*, 2013, 381(9866): 557-564.
- [13] Franzoni C, Scellato G, Stephan P. Science policy. Changing incentives to publish[J]. *Science*, 2011, 333(6043): 702-703.
- [14] 徐丁峰, 程明, 高小榕, 等. 数字信号处理器在脑-机接口系统中的应用[J]. *北京生物医学工程*, 2002, (04): 256-259.
- [15] 何庆华, 彭承琳, 吴宝明. 脑机接口技术研究[J]. *重庆大学学报(自然科学版)*, 2002, (12): 106-109.
- [16] Yuan P, Gao XR, Allison B, et al. A study of the existing problems of estimating the information transfer rate in online brain-computer interfaces[J]. *J Neural Eng*, 2013, 10(2): 026014.
- [17] 刘小曼, 毕胜, 高小榕, 等. 基于运动想象的脑机交互康复训练新技术对脑卒中大脑可塑性影响[J]. *中国康复医学杂志*, 2013, (02): 97-102.

(修回日期:2014-04-02)

(本文编辑:阮仕衡)

· 外刊摘英 ·

Home-based exercises in women with osteoarthritis of the hand

BACKGROUND AND OBJECTIVE Hand osteoarthritis (HOA) has a high and increasing prevalence. In the Framingham Osteoarthritis Study, 16% of women and 8% of men ages 28 to 92 years had symptomatic hand OA. While many recommend exercise, including range of motion and strength, to address HOA, evidence of the efficacy of this intervention is sparse. This study was designed to better understand the effect of hand exercises in women with HOA.

METHODS Between February of 2011 and December of 2012, patients were screened for eligibility. Inclusion criteria were the diagnosis HOA, age 18 to 80 years, stable medications and a minimum of three, self-reported HOA activity limitations. All patients underwent radiographs of both hands. The participants were randomized to either engage in an exercise program or to receive information only. The primary outcome measure was change in activity performance, as assessed by The Patient Specific Functional Scale (PSFS) at three-months.

RESULTS After three months, greater improvement was noted in the exercise group in PSFS scores ($P < 0.001$). The number of participants who reached clinically relevant positive change, no change or clinically relevant negative change on the PSFS favored the exercise group ($P < 0.007$). Significant differences in favor of the exercise group were founded for multiple secondary measures.

CONCLUSION This study of women with hand osteoarthritis found that a hand exercise program is well tolerated and results in significant improvement in activity performance, strength, fatigue, and pain resolution.

【摘自:Hennig T, Hæhre L, Hornburg VT, et al. Effect of home-based hand exercises in women with hand osteoarthritis: A randomized, controlled trial. *Ann Rheum Dis*, 2014, doi:10.1136/annrheumdis-2013-204808】

Predicting outcome after early brain insult

BACKGROUND AND OBJECTIVE Recent advances in neuroscience demonstrate that brain plasticity can facilitate changes in the brain in response to environment and experience. This study was designed to further understand the impact of age at the time of brain insult, as well as the influence of insult and environmental factors on cognitive and behavioral outcomes.

METHODS Children with a focal brain insult were identified from records at the Royal Children's Hospital in Melbourne, Australia, between 2005 and 2007. Participants were between the ages of 10 and 16 years at the time of assessment, with the insults having occurred at least 12 months before the assessment. All had MRI evidence of focal pathology. Data collected included environmental factors and neuropsychological outcome measures. The outcomes were compared between those who had sustained an insult before the age of three and those sustaining the insult at a later age.

RESULTS One hundred thirty-six participants were included in the analysis. Those in the early insult group were more likely to have seizures, and more likely to have had a brain insult mechanism that was developmental rather than traumatic. Those in the late insult group had higher Full Scale IQ scores at follow-up ($P < 0.001$), as well as higher Verbal and Performance Scale IQ scores and greater executive function, with fewer behavior problems and better social function, than did those with an early insult.

CONCLUSION This study of patients with focal brain insult found that those injured before the age of three had poorer outcomes than those injured at a later age.

【摘自:Anderson VA, Spencer-Smith MM, Coleman L, et al. Predicting neurocognitive and behavioral outcome after early brain insult. *Develop Med Child Neurol*, 2014, 56(4): 329-336.】