

# 虚拟现实系统对乙状窦前入路微创显露颈静脉孔区的解剖学研究

汤可 周青 周敬安 赵亚群 刘策

**【摘要】** 目的 虚拟现实系统模拟经岩骨乙状窦前入路显露颈静脉孔区的手术路径并探讨微创化策略。方法 15 具(30 侧)尸头标本行 CT 和 MRI 扫描,影像学数据输入虚拟现实系统以构建颈静脉孔区三维解剖模型,选择骨性标记点绘制圆柱模拟经岩骨乙状窦前入路手术路径,将圆柱直径缩小模拟手术路径微创化,观察并测量微创化前后手术路径中所包含的解剖结构。结果 虚拟现实系统模拟经岩骨乙状窦前入路显露颈静脉孔区的手术路径可清晰显示所包含的神经、血管等解剖结构的空间层顺序,微创化前后手术路径均由岩骨内面神经垂直段与乙状窦之间经过,包含部分乙状窦,不包含小脑半球。微创化后手术路径体积,以及路径中岩骨骨性结构和静脉窦体积均小于微创化前( $P=0.000$ );微创化前后后组脑神经体积差异无统计学意义( $P=0.552$ )。结论 经岩骨乙状窦前入路手术路径微创化可在有效显露颈静脉孔区靶结构的情况下减少重要解剖结构的损伤。

**【关键词】** 颞骨岩部; 颈静脉; 显微外科手术

## Minimally invasive research of presigmoidal approach for exposure of jugular foramen region utilizing virtual reality system

TANG Ke, ZHOU Qing, ZHOU Jing-an, ZHAO Ya-qun, LIU Ce

Department of Neurosurgery, the 309th Hospital of Chinese PLA, Beijing 100091, China

Corresponding author: ZHOU Jing-an (Email: slashchow@gmail.com)

**【Abstract】 Objective** To discuss minimally invasive tactics for exposure of jugular foramen region in transpetrosal-presigmoidal approach based on virtual reality image model. **Methods** CT and MRI scans were performed to 15 adult cadaver heads (30 sides), and image data was inputted into Vitrea virtual reality system to establish three-dimensional anatomical model of jugular foramen region. The transpetrosal-presigmoidal approach was simulated with selecting osseous landmark points to draw a cylinder. Minimally invasive simulation was performed by reducing the diameter of cylinder. Anatomic exposures in surgical trajectory following minimally invasive design were observed, measured and compared. **Results** Spacial sequence of nerves and vessels of jugular foramen region was exposed clearly with the route simulating transpetrosal-presigmoidal approach. Route before and after minimally invasive design passed through the interval between vertical segment of facial nerve and sigmoid sinus. There was a part of sigmoid sinus in the route. Cerebellar hemisphere was not included in the route. Data measurement and comparative analysis showed that volume of route, petrosal osseous structure and venous sinus involved in route before minimally invasive design was more than that after minimally invasive design. The differences reached statistical significance ( $P=0.000$ ). The volumes of lower cranial nerves between routes before and after minimally invasive design did not show significant differences ( $P=0.552$ ). **Conclusions** Minimally invasive route of transpetrosal-presigmoidal approach is helpful to reduce surgical injury of vital structures in effective exposure for target structures of jugular foramen region.

**【Key words】** Petrous bone; Jugular veins; Microsurgery

This study was supported by Capital Medical Science Development Foundation (No. 2014-4-5073).

doi:10.3969/j.issn.1672-6731.2015.04.011

基金项目:首都卫生发展科研专项基金资助项目(项目编号:首发2014-4-5073)

作者单位:100091 北京,解放军第三〇九医院神经外科

通讯作者:周敬安(Email:slashchow@gmail.com)

经岩骨乙状窦前入路显露和处理颈静脉孔区病变须从乳突开始磨除岩骨骨质。由于岩骨内和周围毗邻神经血管关系复杂,而且颈静脉孔区毗邻脑干、椎-基底动脉及其分支等重要解剖结构,手术风险大<sup>[1]</sup>。经此入路手术,以最大限度显露、最小程度损伤为原则<sup>[2]</sup>,因此在手术微创化背景下,关于经乙状窦前入路显露颈静脉孔区手术路径微创化是否可行的显微解剖学信息也亟待进一步完善。在本研究中,我们应用虚拟现实技术,模拟经乙状窦前入路显露颈静脉孔区的三维解剖结构,观察并测量手术路径微创化前后解剖结构的变化,以探讨该手术路径微创化之可行性。

## 材料与方 法

### 一、实验材料

1. 标本来源 成人尸头标本共 15 具(30 侧),由北京大学医学部解剖学实验室提供;男性 11 具,女性 4 具;年龄 60~71 岁,平均 65.31 岁;死因均为心肌梗死。

2. 标本处理 (1)尸头灌注方法<sup>[3]</sup>:以体积分数为 10% 中性甲醛溶液固定尸头,先将不同比例混合剂置试管内扫描,经 CT 预实验获得混合碘海醇注射液的红色硫化胶或蓝色硫化胶的最佳比例(1:8);再经双侧颈总动脉(CCA)和椎动脉(VA)灌注红色硫化胶、双侧颈内静脉灌注蓝色硫化胶。(2)影像学检查:分别于尸头标本固定、动脉灌注和静脉灌注后行 CT 扫描,采用日本 TOSHIBA 公司生产的 Aquilion ONE-320 层动态容积 CT 扫描仪,球管电压 120 kV、电流 300 mA,扫描范围 260 mm、旋转时间 0.75 s、矩阵 512×512,窗宽 300 HU、窗位 40 HU,扫描层厚 0.50 mm、层间距 0.50 mm。采用荷兰 Philips 公司生产的 1.5T MRI 扫描仪,采取三维自旋回波序列(SE)-T<sub>1</sub>WI,重复时间(TR)为 11.30 ms、回波时间(TE)4 ms,矩阵 512×512,扫描视野(FOV)22 cm×22 cm,翻转角度 15°,层厚 1 mm、层间距为零,扫描范围 260 mm,扫描时间 12 min。

3. 仪器与设备 实验所用设备为 Vitrea 虚拟现实系统,由日本 TOSHIBA 公司提供,自带 Vitrea fx 3.0 交互式图像处理软件。

### 二、研究方法

1. 模拟手术步骤 首先,将 DICOM 格式影像学数据输入 Vitrea 虚拟现实图像处理工作站,构建颈

静脉孔区周围结构三维解剖影像模型<sup>[4]</sup>。采用软件中“阈值法”结合“种子置入”由灌注前 CT 数据分割提取骨性结构图像,并利用灌注前 MRI 数据提取脑干和小脑图像;通过“数字减影”方法(灌注后 CT 数据减去灌注前 CT 数据)获得动脉和静脉血管图像;“阈值法”结合“手动分割”于尸头解剖显露脑神经后,MRI 数据提取脑神经图像。然后,于三维解剖模型颅后窝选取标记点:内耳道入口上缘,定于面神经进入内耳道处上方;颈静脉孔前缘,定于舌咽神经进入颈静脉孔处上方;颈静脉孔后缘,定于乙状窦与颈静脉球交汇处横截面中心。上述三点连线形成三角区域,计算三角中心,以经过三角中心的轴线画直径为 2 cm 圆柱,三角中心为圆柱颅底侧面圆心,乳突尖部为圆柱颅盖侧面圆心,模拟经岩骨乙状窦前入路手术路径,观察路径中解剖结构并测量各结构体积。将上述圆柱直径缩小至 1 cm 模拟微创手术路径,观察手术路径微创化后颈静脉孔区解剖结构变化并测量各结构体积。

2. 统计分析方法 采用 SPSS 16.0 统计软件进行数据处理与分析,计量资料以均数±标准差( $\bar{x} \pm s$ )表示,手术路径微创化前后测量数据的比较采用配对 *t* 检验。以  $P \leq 0.05$  为差异具有统计学意义。

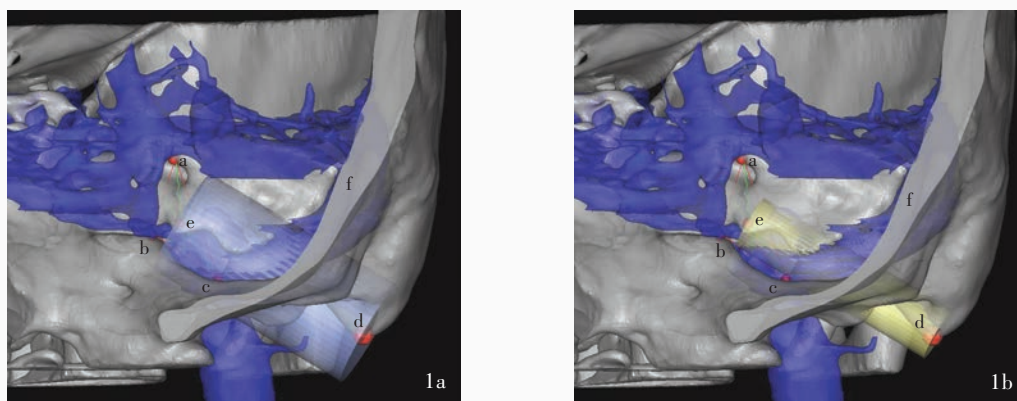
## 结 果

### 一、手术路径微创化前后解剖结构的变化

本研究 15 具(30 侧)尸头标本所虚拟的现实影像模型模拟经岩骨乙状窦前入路微创路径可清晰显露岩骨内外神经、血管等解剖结构,微创化前后手术路径均由岩骨内面神经垂直段与乙状窦之间经过,包含部分乙状窦但不包含小脑半球,操作过程中手术路径始终维持于岩骨背面近似水平(图 1)。其中,微创化前手术路径经过部分乙状窦和面神经垂直段,之后紧贴后半规管和内淋巴囊后方到达颈静脉孔神经部;微创化后手术路径经过少部分乙状窦,避开面神经垂直段,向内侧到达颈静脉孔神经部(图 2)。

二、手术路径微创化前后各解剖结构测量数据的变化

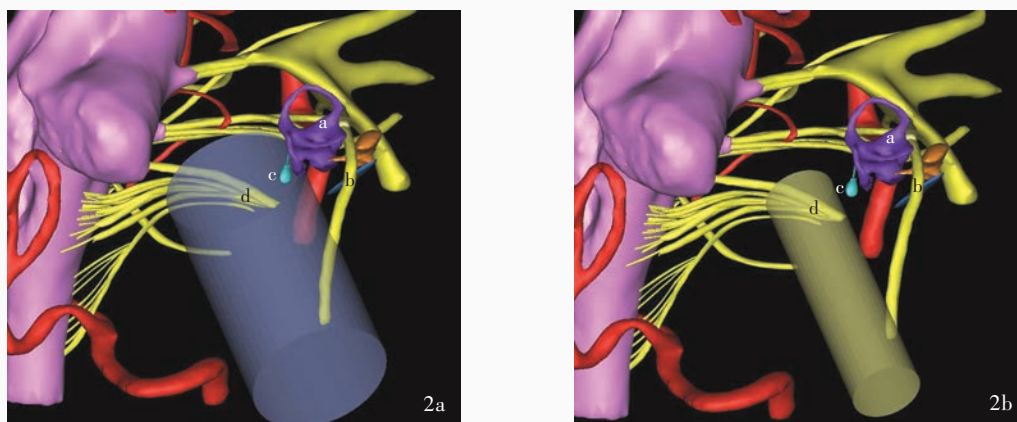
三维解剖影像模型显示,微创化后手术路径体积,以及路径中岩骨骨性结构和静脉窦体积均小于微创化前,且差异有统计学意义(均  $P = 0.000$ );微创化前后后组脑神经体积差异无统计学意义( $P =$



a, superior margin of inner acoustic canal entrance, 内耳道入口上缘; b, anterior margin of jugular foramen, 颈静脉孔前缘; c, posterior margin of jugular foramen, 颈静脉孔后缘; d, mastoidale, 乳突尖部; e, triangle center, 三角中心; f, sigmoid sinus, 乙状窦

**图 1** 微创化前后手术路径模拟 1a 微创化前手术路径(蓝色圆柱)与骨性标记和乙状窦的关系 1b 微创化后手术路径(黄色圆柱)与骨性标记和乙状窦的关系

**Figure 1** Surgical route simulation before and after minimally invasive design. Relationship of surgical route before minimally invasive design (blue cylinder) with osseous landmarks and sigmoid sinus (Panel 1a). Relationship of surgical route after minimally invasive design (yellow cylinder) with osseous landmarks and sigmoid sinus (Panel 1b).



a, labyrinth, 迷路; b, vertical segment of facial nerve, 面神经垂直段; c, endolymphatic sac, 内淋巴囊; d, lower cranial nerves, 后组脑神经

**图 2** 微创化前后手术路径与周围解剖结构关系模拟 2a 微创化前手术路径(蓝色圆柱)与岩骨内结构和后组脑神经的关系 2b 微创化后手术路径(黄色圆柱)与岩骨内结构和后组脑神经的关系

**Figure 2** Relationship between surrounding anatomic structures and surgical route before and after minimally invasive design. Relationship of surgical route before minimally invasive design (blue cylinder) with structures in petrous bone and lower cranial nerves (Panel 2a). Relationship of surgical route after minimally invasive design (yellow cylinder) with structures in petrous bone and lower cranial nerves (Panel 2b).

0.552, 表 1)。微创化前手术路径中所包含的面神经垂直段体积为  $(41.45 \pm 3.93) \text{ mm}^3$ , 微创化后则不包含面神经垂直段。

## 讨 论

颈静脉孔区是颅后窝重要解剖区域, 目前手术操作仍具有较高风险和挑战性<sup>[5]</sup>。由于, 经岩骨乙状窦前入路到达颈静脉孔区的距离较短, 故对神

经、血管的牵拉较少<sup>[6]</sup>, 但该手术路径涉及岩骨内面神经垂直段、后半规管、内淋巴囊等解剖结构的显露和保护, 手术过程中既要做到充分显露术野, 又要尽量避免损伤内部及相毗邻的重要解剖结构<sup>[7]</sup>。因此, 在手术路径微创化背景下, 经岩骨乙状窦前入路微创显露颈静脉孔区的显微解剖学信息亟待丰富。本研究小组既往充分利用影像学数据于 Vitrea 虚拟现实系统成功构建颈静脉孔区三维解剖

**表 1** 经岩骨乙状窦前入路手术路径微创化前后各解剖结构测量数据的比较( $\bar{x} \pm s, \text{mm}^3$ )**Table 1.** Comparison of anatomic data for surgical routes of transpetrosal-presigmoid approach before and after minimally invasive design ( $\bar{x} \pm s, \text{mm}^3$ )

Measurement item	N	Before minimally invasive design	After minimally invasive design	t value	P value
Volume of surgical approach	30	14 541.11 ± 623.35	3356.93 ± 411.91	102.425	0.000
Volume of osseous structure	30	5 546.27 ± 338.29	1686.13 ± 299.91	56.450	0.000
Volume of sinus	30	2 291.93 ± 53.35	619.80 ± 38.01	129.528	0.000
Volume of lower cranial nerves	30	16.82 ± 3.67	16.79 ± 3.63	0.602	0.552

影像模型,包含小脑、脑干、脑神经、动脉、静脉和骨性结构,不同解剖结构标记不同颜色有助于区分观察,且可对照尸体解剖验证虚拟影像中的测量准确性<sup>[8]</sup>。该模型通过图像旋转移动和透明度调节有利于非侵袭、多角度、多层次观察解剖结构的立体形态及其与周围结构的毗邻关系,从而建立解剖整体观,获得充足的解剖学信息,减少研究者对解剖位置空间猜测而造成的偏差<sup>[9]</sup>,从而在解剖学研究中发挥高效、准确、节约时间和标本等优点<sup>[10]</sup>。在本研究中,我们利用该模型量化评价经岩骨乙状窦前入路微创化前后对颈静脉孔区的显露情况,探讨在有效显露靶结构的情况下如何减少重要解剖结构的损伤。

该手术路径设计为经乙状窦前入路,即经颅底侧面切除乳突进入颅腔<sup>[11]</sup>,以乳突尖部作为乙状窦前入路磨除岩骨的标记点,旨在经乳突磨除岩骨的实际操作中保留乳突尖部,其位置相对固定,有助于术中判断岩骨内其他解剖结构的位置、掌握术中操作深度以保护重要解剖结构,在颅底所选择的内耳道入口上缘、颈静脉孔前缘和颈静脉孔后缘在内耳道与颈静脉孔之间形成三角区域,三角区域内涵盖面听神经复合体和后组脑神经进入骨性结构的部分,在一定程度上体现了该手术路径对颈静脉孔区的显露范围。微创化前后手术路径以三角中心和乳突尖部连线为轴线绘制圆柱,确定路径方向、形成微创化前后显露颈静脉孔区的模拟路径。路径中可直观显示操作空间内的解剖结构,充分观察解剖结构的层次叠关系,由于神经内镜在路径中的移动使上述空间层叠关系成为手术显露之先后顺序,同时也能够反映神经内镜向靶点移动中所遇遮挡的顺序<sup>[12]</sup>。目前,临床常用的神经内镜直径为 4 mm,本研究所用圆柱状模拟路径体积大小也体现出神经内镜在手术路径中的移动和操作范围。由此可见,在同一标本模型中进行微创化前后手术路

径测量数据的比较,可靠性较高。

乙状窦前入路手术路径经乳突到达岩骨背面,未对小脑和脑干产生牵拉,微创化后手术路径体积明显小于微创化前,表明手术路径微创化的同时牺牲了部分器械的活动范围。微创化后手术路径中骨性结构体积较微创化前明显减少,因此,微创化后手术路径能够减少磨除岩骨所用时间。微创化前后手术路径在岩骨内恰好避开内淋巴囊和后半规管,避免损伤。微创化前手术路径中包含的面神经垂直段体积为  $(41.45 \pm 3.93) \text{mm}^3$ ,此部分在实际操作中需磨开岩骨内面神经管进行游离并保护,但在微创化后手术路径中无须游离面神经垂直段。微创化前手术路径中包含的静脉窦大部分为乙状窦,在实际操作中此部分乙状窦形成手术遮挡;而微创化后手术路径中的静脉窦主要为颈静脉球,在非优势侧乙状窦前入路手术中通过结扎切断颈静脉球可以消除此部分遮挡。微创化前后手术路径中包含的后组脑神经体积无明显差异,体现微创化手术路径在减少重要解剖结构损伤的同时并未牺牲对颈静脉孔区神经部的显露。

虚拟现实三维解剖影像模型尚无法体会实际尸体解剖中组织牵拉和切割等触感<sup>[13]</sup>,遇到重要解剖结构时尚无预警系统和触觉反馈,这一局限性应通过发展高分辨力图像采集技术、仿生学技术和计算机人工智能技术加以解决。本研究仅限于在乳突至岩骨背面范围的进行微创化探讨,经岩骨到达脑干腹侧的量化显露情况将进一步研究。

#### 参 考 文 献

- [1] Fayad JN, Keles B, Brackmann DE. Jugular foramen tumors: clinical characteristics and treatment outcomes. *Otol Neurotol*, 2010, 31:299-305.
- [2] Tang K, Bao SD, Zhou JA, Zhou Q, Liu C, Zhao YQ. Quantitative research of microsurgical anatomy of transfrontal approach for cavernous sinus by virtual reality skill. *Zhongguo Xian Dai Shen Jing Ji Bing Za Zhi*, 2011, 11:590-594. [汤可, 鲍

- 圣德, 周敬安, 周青, 刘策, 赵亚群. 虚拟现实技术量化经额入路显露海绵窦区显微解剖研究. 中国现代神经疾病杂志, 2011, 11:590-594.]
- [3] Tang K, Zhou JA, Zhou Q, Liu C, Zhao YQ. Exposing cavernous sinus through transfrontal vs transorbitalzygomatic approach: a quantitative comparison with virtual reality system. *Di San Jun Yi Da Xue Xue Bao*, 2013, 35:145-148.[汤可, 周敬安, 周青, 刘策, 赵亚群. 联合入路中经额与经眶颧方向显露海绵窦手术的虚拟现实量化比较. 第三军医大学学报, 2013, 35:145-148.]
- [4] Zhou Q, Tang K, Zhou JA. Research of computer modeling and three dimensional anatomy for jugular foramen region. *Zhongguo Wei Qin Xi Shen Jing Wai Ke Za Zhi*, 2013, 18:514-516.[周青, 汤可, 周敬安. 颈静脉孔区计算机建模和三维解剖研究. 中国微侵袭神经外科杂志, 2013, 18:514-516.]
- [5] Tang K, Zhou JA, Zhou Q, Zhao YQ, Liu C. Anatomic research of suboccipito-retrosgmoidal approach for minimally invasive exposure of facial - acoustic nerve complex utilizing virtual reality skill. *Zhongguo Xian Dai Shen Jing Ji Bing Za Zhi*, 2014, 14:502-506.[汤可, 周敬安, 周青, 赵亚群, 刘策. 枕下乙状窦后入路微创显露面听神经复合体的虚拟现实解剖研究. 中国现代神经疾病杂志, 2014, 14:502-506.]
- [6] Shi XE, Zhang YL, Wu B, Zhou ZQ, Sun YM, Liu FJ, Qian H, Fan T, Li ZQ. Microsurgical management of posterior circulation aneurysms. *Zhongguo Xian Dai Shen Jing Ji Bing Za Zhi*, 2012, 12:48-54.[石祥恩, 张永力, 吴斌, 周忠清, 孙玉明, 刘方军, 钱海, 范涛, 李志强. 后循环动脉瘤显微外科手术治疗. 中国现代神经疾病杂志, 2012, 12:48-54.]
- [7] Tang K, Li Y, Zhou JA, Zhou Q, Liu C, Zhao YQ. Simulation of petrous bone drilling in subtemporal approach utilizing virtual reality system. *Zhongguo Xian Dai Shen Jing Ji Bing Za Zhi*, 2012, 12:736-740.[汤可, 李阳, 周敬安, 周青, 刘策, 赵亚群. 经颞下入路磨除岩骨虚拟现实模拟研究. 中国现代神经疾病杂志, 2012, 12:736-740.]
- [8] Tang K, Zhou JA, Zhou Q, Zhao YQ, Liu C. Simulation of jugular foramen region exposure through suboccipito-retrosgmoidal approach by virtual reality system. *Di San Jun Yi Da Xue Xue Bao*, 2013, 35:2359-2362.[汤可, 周敬安, 周青, 赵亚群, 刘策. 枕下乙状窦后入路显露颈静脉孔区的虚拟现实模拟研究. 第三军医大学学报, 2013, 35:2359-2362.]
- [9] Zhao Y, Sun J, Yang XJ. The application and progress of multimodality image fusion in neurosurgery. *Zhongguo Xian Dai Shen Jing Ji Bing Za Zhi*, 2012, 12:645-650.[赵岩, 孙健, 杨学军. 多模态影像融合技术在神经外科的应用及进展. 中国现代神经疾病杂志, 2012, 12:645-650.]
- [10] Xue XS, Ye XZ, Huang Y, Chen JY, Chu WH, Zou MM, Chen F, Lin JK. Clinical analysis of posterior lamina internal fixation for the treatment of atlantoaxial dislocation with craniovertebral junction region malformation. *Zhongguo Xian Dai Shen Jing Ji Bing Za Zhi*, 2012, 12:448-452.[薛兴森, 叶信珍, 黄毅, 陈景宇, 储卫华, 邹明明, 陈飞, 林江凯. 经后路椎板内固定术治疗颅颈交界区畸形合并寰枢椎脱位. 中国现代神经疾病杂志, 2012, 12:448-452.]
- [11] Iacoangeli M, Salvinelli F, Di Rienzo A, Gladi M, Alvaro L, Greco F, Carassiti M, Scerrati M. Microsurgical endoscopy-assisted presigmoid retrolabyrinthine approach as a minimally invasive surgical option for the treatment of medium to large vestibular schwannomas. *Acta Neurochir (Wien)*, 2013, 155:663-670.
- [12] Li HH, Yue SY, Li YG, Han JG, He ZZ. A microanatomical study on the surrounding structures of the cisternal segment of trigeminal nerve. *Zhongguo Xian Dai Shen Jing Ji Bing Za Zhi*, 2010, 10:662-667.[李海红, 岳树源, 李勇刚, 韩建国, 贺中正. 脑池段三叉神经周围结构的显微解剖. 中国现代神经疾病杂志, 2010, 10:662-667.]
- [13] Chen Z, Sun YH, Wu H, Wang XW, Jian FZ. Clinical value of extension-flexion MRI in evaluating the indication of internal fixation for patients of craniovertebral junction malformation. *Zhongguo Xian Dai Shen Jing Ji Bing Za Zhi*, 2011, 11:444-448.[陈赞, 孙永华, 吴浩, 王兴文, 菅凤增. 前屈-后伸位MRI对判断颅脊交界区畸形内固定指征的临床价值. 中国现代神经疾病杂志, 2011, 11:444-448.]

(收稿日期:2015-01-15)

## · 小词典 ·

## 中英文对照名词词汇(六)

Beck 抑郁量表 Beck Depression Inventory(BDI)  
 抑郁自评量表 Self-Rating Depression Scale(SDS)  
 吲哚菁绿荧光血管造影 indocyanine green angiography(ICGA)  
 英国肠外肠内营养协会 British Association for Parenteral and Enteral Nutrition (BAPEN)  
 英国牛津郡社区卒中项目 Oxfordshire Community Stroke Project(OCSP)  
 营养不良通用筛查工具 Malnutrition Universal Screening Tool(MUST)  
 营养风险筛查 2002 Nutrition Risk Screening 2002(NRS2002)  
 幼年性黄色肉芽肿 juvenile xanthogranuloma(JXG)  
 Glasgow 预后分级 Glasgow Outcome Scale(GOS)  
 原发性干燥综合征 primary Sjögren's syndrome(pSS)

运动阈值 motor threshold(MT)  
 症状性重度颈动脉狭窄患者内膜切除术与支架成形术研究 Endarterectomy versus Angioplasty in Patients with Symptomatic Severe Carotid Stenosis (EVA-3S) study  
 支架和强化药物治疗预防颅内动脉狭窄患者脑卒中复发研究 Stenting and Aggressive Medical Management for Preventing Recurrent Stroke in Intracranial Stenosis (SAMMPRIS) study  
 脂肪酸结合蛋白 fatty acid-binding protein(FABP)  
 治疗卒中达标试验 Treat Stroke to Target (TST) trial  
 主观全面评定 Subjective Global Assessment(SGA)  
 椎动脉 vertebral artery(VA)  
 自旋回波序列 spin echo sequence(SE)  
 组织细胞增生症 X histiocytosis X(HX)