

经颞下入路磨除岩骨虚拟现实模拟研究

汤可 李阳 周敬安 周青 刘策 赵亚群

【摘要】 目的 对比分析尸头标本和虚拟现实系统经颞下入路磨除岩骨解剖显露特征,探讨虚拟现实技术在岩骨显微解剖中的应用价值。**方法** 将 15 例成人尸头标本 CT 影像数据输入 Dextroscope 虚拟现实系统,构建岩骨三维解剖模型,分别于尸头标本和虚拟现实系统中模拟经颞下入路磨除岩骨手术方法,逐步显露解剖结构,选择标志点进行距离和角度测量。采用 Bland-Altman 方法进行一致性检验。**结果** 虚拟现实系统模拟经颞下入路磨除岩骨可视性效果良好,岩骨内面神经、岩浅大神经、耳蜗、半规管、颈内动脉、颈静脉球等解剖结构显示清晰。分别于尸头标本和虚拟现实系统中测量并获得膝状神经节-半规管总骨脚起始点、膝状神经节-耳蜗顶点和耳蜗顶点-岩骨内颈内动脉水平段起始点连线距离,经 Bland-Altman 检验,偏倚分别为 0.020、0.020 和 -0.010,95% 可信区间分别为 -0.240~0.270、-0.190~0.220 和 -0.170~0.150,相关分析显示一致性良好。尸头标本因角度限制无法测量半规管总骨脚起始点-颈静脉球上缘连线距离和内耳道与岩浅大神经沟夹角角度,而虚拟现实系统岩骨解剖模型数据测量方便快捷,无测量角度限制,测得半规管总骨脚起始点与颈静脉球上缘连线距离为 (4.74 ± 0.20) mm、内耳道与岩浅大神经沟夹角角度为 $(51.34 \pm 3.29)^\circ$ 。**结论** 利用虚拟现实技术模拟经颞下入路磨除岩骨的手术方法,方便快捷,所获数据准确、直观并可量化,可为指导岩斜区病变神经外科手术提供依据。

【关键词】 颞骨岩部; 计算机模拟; 神经解剖学; 显微外科手术

DOI:10.3969/j.issn.1672-6731.2012.06.019

Simulation of petrous bone drilling in subtemporal approach utilizing virtual reality system

TANG Ke¹, LI Yang², ZHOU Jing-an¹, ZHOU Qing¹, LIU Ce¹, ZHAO Ya-qun¹

¹Department of Neurosurgery, PLA 309 Hospital, Beijing 100091, China

²Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Peking University School of Stomatology, Beijing 100081, China

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

【Abstract】 Objective To evaluate the utilizing value of virtual reality technique for microanatomy of petrous bone by comparing the anatomic characteristics and data measurement between virtual reality and cadaveric head specimens in subtemporal approach. **Methods** CT scan data of 15 adult cadaveric heads were inputted into the Dextroscope virtual reality system to build three-dimensional model of petrous bone. Petrous bone drilling was performed on cadaveric heads and virtual reality models respectively to expose anatomic structures step by step, and the distance and angle was measured based on selected mark points. Bland-Altman method was used for the uniformity of checking. **Results** Visibility effect of simulation of petrous bone drilling in virtual reality system was good. The anatomical structure of facial nerve in petrous bone, greater superficial petrosal nerve, cochlea, semicircular canal, internal carotid artery and glomus jugulare, were displayed clearly. Comparative analysis between cadaveric head and virtual reality by Bland-Altman method showed that bias for distance between geniculate ganglion and start point of common osseus crus of semicircular canal bony, geniculate ganglion and vertex of cochlea, and vertex of cochlea and start point of horizontal segment of internal carotid artery in petrous bone, were 0.020, 0.020, and -0.010 respectively, and 95% confidence intervals were -0.240-0.270, -0.190-0.220, and -0.170-0.150, respectively. Good consistency was demonstrated in scatter diagram. For the limitation of visual angle in cadaveric head, the angle between internal acoustic meatus and groove of great superficial petrosal nerve and the distance between start point of common osseus crus of semicircular canal and superior margin of

作者单位:100091 北京,解放军三〇九医院神经外科(汤可,周敬安,周青,刘策,赵亚群);100081 北京大学口腔医学院颌面外科(李阳)

通讯作者:周敬安(Email:Slashchow@gmail.com)

glomus jugulare could not be measured, while data measurement of petrous bone model in virtual reality system was convenient and quick, without limitation of visual angle. The distance between start point of common osseus crus of semicircular canal and superior margin of glomus jugulare was measured as (4.74 ± 0.20) mm, and the angle between internal acoustic meatus and groove of greater superficial petrosal nerve was $(51.34 \pm 3.29)^\circ$. **Conclusion** Accurate, objective and measurable results can be obtained in the simulation of petrous bone drilling in subtemporal approach utilizing virtual reality system, and could guide surgical practice in dealing with petroclival lesions.

【Key words】 Petrous bones; Computer simulation; Neuroanatomy; Microsurgery

在神经外科手术治疗岩斜区病变的过程之中,经颞下入路能够通过磨除部分岩骨而有效地解除遮挡,并同时减少对颞叶组织、脑神经和周围血管的牵拉^[1]。但是岩骨内解剖结构关系复杂,在磨除岩骨的过程中容易损伤耳蜗、半规管、面神经,以及岩骨段颈内动脉等重要解剖结构,造成严重的术后并发症^[2]。精确微创地磨除岩骨须在熟悉显微解剖的基础上探索适宜的磨除路径和范围。尸头解剖是微创神经外科研究的重要手段,然而由于尸头来源紧张及伦理学因素,限制了其进一步发展^[3]。医学影像学诊断技术和计算机图像处理方法的快速发展为解剖学研究开拓了新的观察方法,其中 Dextroscope 虚拟现实技术是综合计算机图形学、人工智能和人机结合的多学科集成技术^[4]。该系统利用影像 DICOM 原始数据以光盘或 USB 途径输入系统进行三维重建,经镜面反射形成悬浮于眼前的三维立体可视化模型;应用者可通过手柄和笔在操作平台上对影像模型进行仿真操作;图像后处理软件中的透明度调节、部分图像拾取、局部标注工具将运用于初步构建模型之后的观察;直线、曲线、角度和体积测量等工具能够方便、快捷地完成所需数据的测量,同时提供量化信息。在本研究中,我们在以往虚拟现实技术构建岩骨三维解剖模型的基础上,对比分析尸头标本和虚拟现实系统中经颞下入路磨除岩骨的显露特征和数据测量,以探讨虚拟现实技术在岩骨显微外科手术中的应用价值。

材料与方 法

一、实验材料

共 15 例(30 侧)成年尸头标本购自北京大学解剖实验室,男性 11 例,女性 4 例;年龄 60~71 岁,平均 65.31 岁。采用体积分数为 10% 的甲醛溶液固定标本,经双侧颈总动脉和椎动脉灌注红色硫化胶,双侧颈静脉灌注蓝色硫化胶。灌注前以荷兰 Philips

公司生产的 Brilliance 64 层螺旋 CT 扫描仪对所有尸头标本进行检查,扫描参数为球管电压 120 kV、球管电流 300 mA,扫描范围 260 mm、旋转时间 0.75 s,矩阵 512×512 ,窗宽 300 H、窗位 40 H,扫描层厚 0.67 mm,层间距 0.10 mm。

二、实验方法

1. 将扫描尸头标本所得 CT 影像学数据输入 Dextroscope 虚拟现实系统 利用系统软件(新加坡 Volume Interaction 公司生产的 RadioDexter TM 1.0 软件)中的图像分割功能提取岩骨骨性结构,包括弓状隆起、卵圆孔和听骨链等的三维图像,然后通过反转图像强度技术从骨性管道内提取乳突气房、咽鼓管、半规管、耳蜗、内耳道内面听神经复合体(面神经、听神经、前庭上神经和前庭下神经)、面神经、岩骨段颈内动脉和颈静脉球等的 CT 结构图像,以骨面压迹作为标志点,分别提取岩浅大神经、乙状窦、岩上窦、岩下窦等 CT 结构图像,具体操作方法详见文献[4],以不同颜色标注不同解剖结构,以示区别,构建岩骨三维解剖模型。

2. 模拟经颞下入路开颅 应用 YZ20T4 型手术显微镜(苏州六六视觉科技股份有限公司)放大 4~25 倍进行操作。于硬脑膜外抬起颞叶,由外及里显露至棘孔,剪断脑膜中动脉后进一步分离至上颌神经和下颌神经分别出圆孔和卵圆孔处,剪开颞叶硬脑膜与海绵窦外侧壁,逐一显露弓状隆起、岩浅大神经、上颌神经、下颌神经、半月神经节等岩尖部结构;切除颞叶中下回,进一步扩大显露范围,通过岩骨表面由下颌神经、岩浅大神经、弓状隆起和岩嵴所围成的颅中窝,菱形磨除岩骨,显露内耳道内面听神经复合体、耳蜗、咽鼓管和岩骨段颈内动脉等结构;磨除弓状隆起、显露膝状神经节和半规管等结构。

3. 标志点选择与数据测量 分别于尸头和虚拟现实解剖模型中选择标志点:膝状神经节(a)、半规

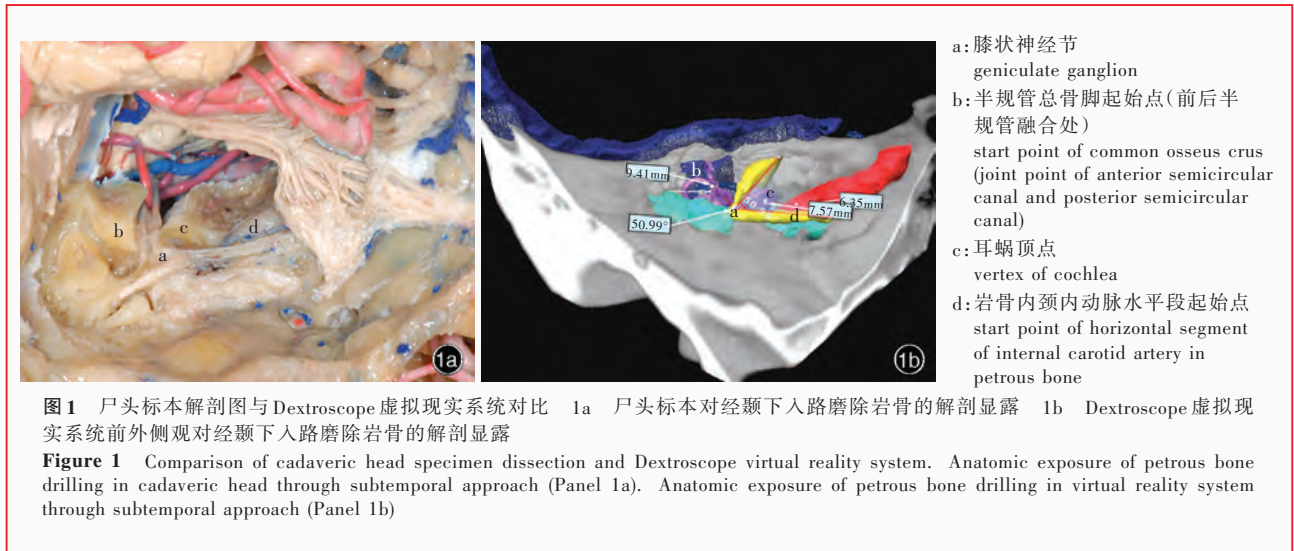


图 1 尸头标本解剖图与 Dextroscope 虚拟现实系统对比 1a 尸头标本对经颞下入路磨除岩骨的解剖显露 1b Dextroscope 虚拟现实系统前外侧观对经颞下入路磨除岩骨的解剖显露
Figure 1 Comparison of cadaveric head specimen dissection and Dextroscope virtual reality system. Anatomic exposure of petrous bone drilling in cadaveric head through subtemporal approach (Panel 1a). Anatomic exposure of petrous bone drilling in virtual reality system through subtemporal approach (Panel 1b)

管总骨脚起始点(b)、耳蜗顶点(c)、岩骨内颈内动脉水平段起始点(d)和颈静脉球上缘(e)。然后,用游标卡尺(精确度:0.02 mm)、两脚规和量角器,以及虚拟现实系统中的直线距离和角度测量软件工具,分别测量尸头标本和虚拟现实系统中的 a-b 连线、a-c 连线、c-d 连线、b-e 连线距离和夹角 A(内耳道与岩浅大神经沟夹角)的角度(图 1)。

三、统计分析方法

由尸头标本和虚拟现实系统所获得的解剖数据采用 SPSS 16.0 统计软件进行处理分析,以均数 ± 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示;两种测量结果采用 GraphPad Prism.V 5.0 统计软件中的 Bland-Altman 方法进行一致性比较,计算偏倚、偏倚标准差和 95% 可信区间 (95% CI)。

结 果

一、显露岩骨解剖结构

Dextroscope 虚拟现实系统磨除岩骨模拟可视化效果良好,岩骨内面神经、岩浅大神经、耳蜗、半规管、颈内动脉、颈静脉球等结构清晰可见,与尸头标本解剖观察结果一致(图 1)。尸头标本磨除岩骨,经历表面骨皮质、乳突气房骨松质、岩骨深部结构骨皮质后,显露上述岩骨内解剖结构。

二、两种方法的比较

分别于尸头标本和 Dextroscope 虚拟现实系统测量获得 a-b 连线、a-c 连线和 c-d 连线的距离,尸头标本经颞下入路磨除岩骨时,因角度限制而无法测量 b-e 连线之距离和夹角 A 的角度;Bland-Altman 法

比较分析显示,尸头标本与 Dextroscope 虚拟现实系统测量一致性良好(表 1);Dextroscope 虚拟现实系统测量岩骨解剖模型数据方便快捷,无观察和测量角度限制,所测 b-e 连线距离为 (4.74 ± 0.20) mm,夹角 A 为 $(51.34 \pm 3.29)^\circ$ 。

讨 论

岩骨位于颅中窝与颅后窝之间,前方毗邻海绵窦,后方毗邻斜坡、脑桥小脑角、颈静脉孔区等重要解剖区域,因而经岩骨到达这些区域的手术入路均涉及岩骨表面及其内部结构,操作复杂、风险亦较高^[2]。其中血管结构包括岩骨段颈内动脉、岩上窦、岩下窦、乙状窦、颈静脉球等,神经结构有半月神经节、面神经、岩浅大神经、听神经和前庭神经,功能器官则包括耳蜗和半规管。选择有效的解剖学标志,明确上述结构的毗邻关系和距离,对于术中保护解剖结构,避免严重手术并发症具有重要临床意义。

尸头解剖是研究岩骨显微解剖的重要途径,Kakizawa 等^[5]通过不同入路显露岩骨和周围复杂结构,利用三维照相技术形成立体图像,以便更好地理解解剖结构之间的空间毗邻关系。但尸体解剖具有一定的局限性,例如:由于伦理学的限制,尸头标本来源日趋紧张;标本灌注和浸泡等准备过程复杂、耗时;尸体解剖时的浸泡药剂不利于操作者健康,甚至存在朊病毒感染风险;数据测量易受到观察角度的限制和遮挡^[3]。而虚拟现实技术目前在医学方面主要用于术前计划和解剖模拟^[6],根据

表 1 经颞下入路磨除岩骨的三维影像和尸头标本测量数据的比较($\bar{x} \pm s, n = 30, \text{mm}$)**Table 1.** Comparison of measured data between three-dimensional image and cadaveric head specimens during petrous bone drilling through subtemporal approach ($\bar{x} \pm s, n = 30, \text{mm}$)

测量项目	尸头标本	Dextroscope 虚拟 现实系统	Bland-Altman 检验		
			偏倚	偏倚标准差	95%CI
a-b 连线	10.06 ± 0.52	10.04 ± 0.52	0.020	0.130	-0.240 ~ 0.270
a-c 连线	7.96 ± 0.49	7.94 ± 0.48	0.020	0.100	-0.190 ~ 0.220
c-d 连线	6.51 ± 0.30	6.52 ± 0.29	-0.010	0.080	-0.170 ~ 0.150

Kockro 和 Hwang^[7] 报告, Dextroscope 虚拟现实系统能够成功构建颅底复杂结构的三维解剖模型, 目前在神经外科领域利用虚拟现实系统进行岩骨解剖研究可以克服尸头解剖的上述局限。而且虚拟现实系统岩骨三维解剖模型构建方式简便, 通过 CT 扫描单模数据即可有效构建模型, 并能够无侵袭、多角度、多层次地观察岩骨表面和内部解剖结构的轮廓和复杂构筑关系, 从而获得充分的解剖信息, 减少由于研究者对解剖位置的空间猜测而造成的偏差, 形成直观和整体理解^[8]。与此同时, 通过与尸头标本解剖比较对照, 虚拟现实系统解剖模型在形态观察和数据测量方面与尸头标本解剖的一致性良好, 因此将虚拟现实系统用于活体患者个体化手术计划, 对提高岩斜区手术安全性前景良好。

经颞下入路磨除岩骨常用于经颅中窝显露颅后窝处理岩斜区病变或在处理海绵窦病变时控制岩骨段颈内动脉以减少术中出血^[9]。该入路磨除岩骨的优点为前后距离较短, 可保全 Labbe 静脉, 以及对颞叶和小脑的牵拉较轻微^[10]。在尸体解剖和虚拟现实中经颞下入路磨除岩骨均可见到的面神经膝状神经节是首先显露的重要解剖学标志, 循岩骨表面的岩浅大神经穿出岩骨处可显露膝状神经节, 其向外侧显露面神经直至水平段与垂直段转折处, 而向后显露内耳道的面听神经复合体, 因此以膝状神经节为顶点形成内侧和外侧两个夹角, 两个夹角互为补角。外侧夹角由内耳道面听神经复合体和面神经水平段围绕而成, 内含半规管, 磨除半规管向后到达颈静脉球, 虚拟现实系统中测得半规管总骨脚起始点与颈静脉球上缘的距离为 (4.74 ± 0.20) mm, 这一距离有助于指导经颞下入路安全显露颈静脉球; 内侧夹角由内耳道面听神经复合体和岩浅大神经围绕而成, 虚拟现实系统中测得其内侧

夹角为 (51.34 ± 3.29)°, 夹角内首先显露耳蜗, 由耳蜗向内侧, 位于三叉神经半月神经节后方可显露岩骨段颈内动脉, 该夹角内由耳蜗和颈内动脉向后和向上磨除岩骨时并无重要解剖结构。笔者认为, 以膝状神经节为标志分别进行与其他解剖结构的距离测量可为岩骨深部重要解剖结构的定位和保护提供重要依据。虚拟现实系统中以膝状神经节为顶点对夹角进行测量有助于对经颞下入路进入岩骨内的操作范围进行预判。

Dextroscope 虚拟现实系统磨除岩骨操作较尸头标本解剖轻松, 但无法感受磨除骨皮质和骨松质的区别。尸头标本磨除岩骨中能够经历表面骨皮质、乳突气房骨松质、岩骨深部结构骨皮质三个层次, 该体验对实际手术操作具有重要指导意义^[11]。同时虚拟现实系统中对三维影像进行操作的工具主要为测量工具和磨钻, 尚缺乏吸引器、电凝、动脉瘤夹等手术训练工具。该系统尚未做到仿真生物学模拟实体解剖, 无法体会实体解剖中组织牵拉、切割等感觉, 不能进行组织牵拉、模拟出血后止血等显微手术操作锻炼, 遇到重要结构时尚无预警系统和触觉反馈。因此应用虚拟现实系统进行岩骨显微解剖需结合尸头标本解剖进行互补研究。

参 考 文 献

- [1] Phillips GS, LoGerfo SE, Richardson ML, et al. Interactive web-based learning module on CT of the temporal bone: anatomy and pathology. Radiographics, 2012, 32(e):85-105.
- [2] Li HH, Yue SY, Li YG, et al. 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, 等. 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.]
- [3] Zhang HW, Li JR, Zhi DS. Anatomic changes in operation through pterion to opticocarotid space. Zhongguo Xian Dai Shen Jing Ji Bing Za Zhi, 2010, 10:567-571. [张洪伟, 李景荣, 只达石. 经翼点入路术中视神经-颈内动脉间隙的解剖形态观察. 中国现代神经疾病杂志, 2010, 10:567-571.]
- [4] Tang K, Mo DP, Bao SD, et al. Application of virtual reality technique in construction of 3-dimensional petrous bone model. Zhonghua Shi Yan Wai Ke Za Zhi, 2009, 26:794-795. [汤可, 莫大鹏, 鲍圣德, 等. 虚拟现实技术构建岩骨三维解剖模型. 中华实验外科杂志, 2009, 26:794-795.]
- [5] Kakizawa Y, Hongo K, Rhoton AL. Construction of a three-dimensional interactive model of the skull base and cranial nerves. Neurosurgery, 2007, 60:901-910.
- [6] Tang K, Bao SD, Zhou JA. Application of virtual reality in quantified analyses for cavernous sinus surgical approach. Zhonghua Shen Jing Wai Ke Za Zhi, 2011, 27:496-498. [汤可,

鲍圣德, 周敬安. 虚拟现实技术在海绵窦手术入路定量分析中的作用. 中华神经外科杂志, 2011, 27:496-498.]

[7] Kockro RA, Hwang PY. Virtual temporal bone: an interactive 3-dimensional learning aid for cranial base surgery. Neurosurgery, 2009, 64(5 Suppl 2):216-230.

[8] Tang K, Bao SD, Zhou JA, et al. 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, 等. 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.]

[9] Chen XH, Zhi DS, Tong XG, et al. Study on the microsurgical anatomy of supracerebellar transtentorial approach to the posterior mediobasal temporal region. Zhongguo Xian Dai Shen Jing Ji Bing Za Zhi, 2009, 9:124-129.[陈兴河, 只达石, 佟小光, 等. 颞底内侧区后部小脑上经小脑幕入路手术的显微解剖学研究. 中国现代神经疾病杂志, 2009, 9:124-129.]

[10] Behari S, Tyagi I, Banerji D, et al. Postauricular, transpetrous, presigmoid approach for extensive skull base tumors in the petroclival region: the successes and the travails. Acta Neurochir (Wien), 2010, 152:1633-1645.

[11] Kawahara N, Sasaki T, Asakage T, et al. Long-term outcome following radical temporal bone resection for lateral skull base malignancies: a neurosurgical perspective. J Neurosurg, 2008, 108:501-510.

(收稿日期: 2012-10-29)

· WHO 神经上皮组织肿瘤分类标准 ·

世界卫生组织中枢神经系统肿瘤分类(2007年)

——神经上皮组织肿瘤

(上接第 690 页)

脉络丛癌 Choroid plexus carcinoma(WHO III 级)

其他神经上皮肿瘤 Other neuroepithelial tumours

星形母细胞瘤 Astroblastoma

第三脑室的脊索瘤样胶质瘤
Chordoid glioma of the third ventricle(WHO II 级)

血管中心型胶质瘤 Angiocentric glioma(WHO I 级)

神经元及混合性神经元-胶质肿瘤
Neuronal and mixed neuronal-glia tumours

小脑发育不良性神经节细胞瘤
Dysplastic gangliocytoma of cerebellum, Lhermitte-Duclos(WHO I 级)

促纤维增生性婴儿星形细胞瘤/神经节胶质细胞瘤
Desmoplastic infantile astrocytoma/ganglioglioma
(WHO I 级)

胚胎发育不良性神经上皮肿瘤
Dysembryoplastic neuroepithelial tumour(WHO I 级)

神经节细胞瘤 Gangliocytoma(WHO I 级)

神经节细胞胶质瘤 Ganglioglioma(WHO I 级)

间变性神经节细胞胶质瘤
Anaplastic ganglioglioma(WHO III 级)

中枢神经细胞瘤 Central neurocytoma(WHO II 级)

脑室外神经细胞瘤
Extraventricular neurocytoma(WHO II 级)

小脑脂肪神经细胞瘤
Cerebellar liponeurocytoma(WHO II 级)

乳头状型胶质神经元肿瘤
Papillary glioneuronal tumour(WHO I 级)

第四脑室菊形团形成型胶质神经元肿瘤
Rosette-forming glioneuronal tumour of the fourth ventricle
(WHO I 级)

副神经节瘤 Paraganglioma(WHO I 级)

松果体区肿瘤 Tumours of pineal region

松果体细胞瘤 Pineocytoma(WHO I 级)

中等分化的松果体实质肿瘤
Pineal parenchymal tumour of intermediate differentiation
(WHO II - III 级)

松果体母细胞瘤 Pineoblastoma(WHO IV 级)

松果体区乳头状肿瘤
Papillary tumour of the pineal region(WHO II - III 级)

胚胎性肿瘤 Embryonal tumours

髓母细胞瘤 Medulloblastoma(WHO IV 级)

促纤维增生/结节型髓母细胞瘤
Desmoplastic/nodular medulloblastoma(WHO IV 级)

髓母细胞瘤伴广泛结节
Medulloblastoma with extensive nodularity(WHO IV 级)

间变性髓母细胞瘤
Anaplastic medulloblastoma(WHO IV 级)

大细胞型髓母细胞瘤
Large cell medulloblastoma(WHO IV 级)

中枢神经系统原始神经外胚层肿瘤
CNS primitive neuroectodermal tumour, CNS PNET
(WHO IV 级)

中枢神经系统神经母细胞瘤
CNS neuroblastoma(WHO IV 级)

中枢神经系统神经节神经母细胞瘤
CNS ganglioneuroblastoma(WHO IV 级)

髓上皮瘤 Medulloepithelioma(WHO IV 级)

室管膜母细胞瘤 Ependymblastoma(WHO IV 级)

非典型性畸胎瘤/横纹肌样肿瘤
Atypical teratoid/rhabdoid tumour(WHO IV 级)

摘自《WHO 中枢神经系统肿瘤分类》“蓝皮书”