

基于数字3D技术的乙状窦区影像与解剖研究现状

陈鹏 曾庆准 李雨

524023 湛江, 广东医科大学第一临床医学院; 519000 珠海市人民医院神经外科

通信作者: 李雨, Email: yulee1201@126.com

DOI: 10.3969/j.issn.1009-6574.2023.11.012

【摘要】 随着数字3D技术的发展, 神经外科进入了术前模型重建结合临床手术入路研究的发展阶段。桥小脑角区肿瘤的诊断率逐渐升高, 该疾病的治疗目标已从传统的手术完全切除向保留神经功能转变, 与乙状窦相关的研究愈发重要。目前, 测量相关人群解剖学的大数据比较研究较少。本文通过对现有国内外相关研究进行综述, 为建立乙状窦解剖学数据库、增加神经外科医生对桥小脑角区的了解、开发切除桥小脑角区肿瘤的新方法提供理论依据。

【关键词】 3D技术; 乙状窦沟; 横窦; 三维测量; 桥小脑角区; 综述

Research progress in imaging and anatomy of the sigmoid sinus based on digital 3D technology

Chen Peng, Zeng Qingzhun, Li Yu

The First Clinical Medical College, Guangdong Medical University, Zhanjiang 524023, China; Neurosurgery Department, Zhuhai People's Hospital, Zhuhai 519000, China

Corresponding author: Li Yu, Email: yulee1201@126.com

【Abstract】 With the development of digital three-dimensional (3D) technology, neurosurgery has entered a stage of development where preoperative model reconstruction is combined with clinical surgical approach research. The diagnostic rate of tumors in the cerebellopontine angle region is gradually increasing, and the therapeutic focus has shifted from complete surgical resection to preserving neural function. Research on sigmoid sinus is becoming increasingly important. However, there are few big data studies on measuring the anatomy of relevant populations. This paper reviews existing domestic and international literature, providing theoretical basis for establishing a database of sigmoid sinus anatomy, enhancing neurosurgeons' understanding of the cerebellopontine angle region, and developing new methods for resection of tumors in the cerebellopontine angle region.

【Key words】 3D technology; Sigmoid sinus groove; Transverse sinuses; Three-dimensional measurement; Cerebellopontine angle; Review

传统解剖学的观点认为, 神经外科术中横窦下缘、乙状窦后缘以及横窦-乙状窦移行处解剖位置及周围区域的充分显露, 可以增加手术区域的暴露并降低术中损伤脑组织的风险, 但目前的研究表明, 横窦-乙状窦移行处(transverse-sigmoid sinus junction, TSSJ)的位置存在较大的解剖变异, 以此指导的开颅方法会增加横窦、乙状窦损伤的风险^[1-2]。因此, TSSJ与颅骨表面标志的位置关系及开颅时关键孔的选择至关重要。而关键孔的选择离不开对乙状窦解剖学的研究, 若结合三维的影像重建, 可以加强对乙状窦立体、清晰的认知, 指导乙状窦入路关键孔的定位, 缩短手术时间, 充分暴露手术视野。本文对乙状窦解剖学研究现状、3Dslicer软件融合

重建现状及未来发展等方面进行综述, 旨在加强临床医师对乙状窦区域、数字3D技术、解剖学入路的了解。

一、乙状窦解剖学研究

1. 乙状窦的解剖学: 乙状窦沟上接横窦沟, 向下移行为颈静脉孔, 位于岩骨的后外部分, 是经岩骨后部入路和枕下乙状窦后或经乙状窦入路等经颅底入路处理桥小脑角区和斜坡、岩斜部位病变中涉及的重要骨性结构, 其内有乙状窦通过, 结构明显, 易于辨认, 且乙状窦周围的结构关系较为固定, 熟悉乙状窦周围的结构有利于对其内静脉窦及周围结构的保护, 提高手术效果^[3]。

2. 乙状窦手术入路难点及手术并发症: 王紫兰等^[4]

在岩斜区脑膜瘤手术入路预后的相关分析中,提到22例乙状窦后入路手术中有10例(45.5%)出现了面神经麻痹,7例(31.8%)出现了三叉神经损伤。乙状窦后入路手术常常因无法准确定位关键孔,导致手术视野暴露不充分,在暴露神经时常导致静脉窦损伤,因此术前关键孔定位较为重要。

3. 乙状窦定位方法: Avci等^[5]利用12个尸体标本和10个干头骨研究了静脉窦与各种表面解剖结构的关系,并在研究中发现星点在其与其他可识别结构的解剖关系上是可变的,而在85%的标本中,乳突沟完全覆盖在乙状窦上,通过乳突亦可确定乙状窦的位置。Ribas等^[6]通过枕下钻孔行开颅术的研究,对25个成人干头骨进行了50对颞顶枕区的观察和测量,发现可以通过星点的位置确定横窦、乙状窦的位置,由星点和顶乳突构成了一个合适的初始钻孔部位。李瑞春等^[7]利用颧骨额突与颧弓上缘交点、颧弓上缘与乳突上嵴交点和乳突尖作为基点建立表面坐标系,通过坐标系定位TSSJ,证实采用此方法可在术中准确暴露出横窦和乙状窦。盛敏峰等^[8]以眶下缘与外耳道上缘连线为基线,过二腹肌沟顶点作垂直线,在此垂直线上定位一个位于二腹肌沟顶点正上方左侧14 mm、右侧12 mm的标记区域,以此标记区域作为钻孔骨孔的中心区域,钻孔后可获得合适的手术区域暴露,避免了横窦、乙状窦的损伤,为临床安全、精准、快速开颅提供依据,但该方法存在个体化差异及样本量过少的缺陷。Jian等^[9]探索了新的方法来解决这一问题,和前述研究^[8]一样选择法兰克福平面作为基线,在二腹肌沟的顶点画一条垂直于基线的直线,钻孔的中心定位于垂直线上二腹肌沟顶点上方12 mm处,在中心点钻孔(直径6 mm),关键点准确位于中心点前方3~4 mm,该方法可更加准确定位关键点,手术区域可见性好,避免了静脉窦损伤和不必要的骨切除。付涛等^[10]以乙状窦后入路手术较易显露的二腹肌沟顶点、颞鳞与顶乳缝交点和星点为参考点,术中根据上述3个可视的颅骨表面解剖标志建立坐标系,以坐标点(5 mm, 5 mm)为关键孔圆心形成骨窗,可较好定位TSSJ,且无多余骨瓣缺损,为无法进行术前颅骨三维CT重建的患者提供了便利。

综上所述,现有研究的定位方法虽然各有优点,但定位方法相对来说较复杂,定位的准确性有待大数据考证。此外,亦存在因解剖变异导致的定位不准的情况,定位方法没有经过实际测量尸头数据的比较验证,因此仍存在继续深入研究的必要。

二、国外3Dslicer融合重建的研究现状

1. 国外3Dslicer的起源与发展: Nabavi等^[11]为了将术前计划、3D可视化和计算机辅助导航与更新的手术内图像相结合,其与麻省理工学院的人工智能实验室密切合作,开发了3Dslicer多平台软件,可在工作站和个人电脑上运行。此软件是具有模块化及扩展功能的软件,并可以在其中添加不同的功能模块。该软件基于Open GL图形库开发,使用可视化工具包(VTK)进行处理,使用Tcl/Tk脚本语言呈现图形用户界面。该软件提供了图像编辑、模型生成、多模态(MRI、CT、单光子发射计算机断层成像术、相位对比血管造影、fMRI)术前和术中研究的功能。3Dslicer为医学影像处理与视觉化的软件系统,可实现对颅骨等解剖结构的三维重建和可视化,较好地适应了当代神经外科的学科发展^[12],但3Dslicer局限于人工智能和计算机技术,未有空间进一步发展,且模块的功能有限。

2. 3Dslicer在神经外科研究中的应用: Fedorov等^[13]提到3Dslicer软件主要为一种临床类研究工具,此软件类似于放射学工作站,支持多用途可视化,也提供高级功能,如各种应用领域的自动分割和注册。与典型的放射学工作站需要收费及强大的硬件要求不同,3Dslicer开放获取,并且没有特定的硬件要求,使用者可以较容易地扩展该软件的模块功能,并对颅骨等进行重建。2011年, Kikinis和Pieper^[14]将3Dslicer应用于颅脑重建,表明3Dslicer能提供一个易于使用的图像信息学平台。

根据当前国外的主流研究现状,3Dslicer主要用于颅脑肿瘤术前的定位^[12, 15],帮助术者建立三维立体模型,从而降低手术难度。但国外学者对乙状窦的解剖研究结合3D软件重建颅骨测量暂未有较大的进展,也并无对国外某地区人群或人种开展关于乙状窦沟的大样本研究。

三、国内3Dslicer融合重建的研究现状

1. CT-MRI融合重建: 在有关3D软件融合重建方面的研究中,常锦才等^[16]进行了医学影像学数据(CT、MRI)多模态图像配准的相关研究,研究提到3Dslicer基于python的模块开发能力能为医学图像配准提供基于CT和MRI图像配准算法的更多可能性。同时,术者对3D软件的熟练掌握也提高了软件模块的高效率开发,而模块的进一步开发能缩短图像配准融合后重建三维模型的时间。三维模型的建立能填补术者以往在手术方案制订过程中过于平面化的短板,为术前手术路径制订和术中穿刺导航

都提供了一定的便利。但3D软件的算法需提高效率,处理图像及配准融合时间仍过长。

2. 3Dslicer融合重建:宋刚等^[17]提出3Dslicer软件可以将二维的影像进行三维重建,获取皮肤、颅骨、脑组织、血管及肿瘤病变的三维模型,可通过多模态影像融合重建的模型来展示病变的范围及病变与周围解剖结构之间的三维立体空间关系,特别是此软件可以通过特定的表面测量模块工具测量两点的距离。陈超等^[18]指出,3Dslicer软件可使原本抽象的神经解剖结构变得立体直观及可视化,能增强神经外科初级医生对病变及其周围解剖结构的视觉感受,这种感受是较二维图像更加准确且真实的。目前,该软件已在神经外科的临床工作中得到了初步应用^[19],如在脑内血肿、桥小脑角肿瘤、三叉神经痛、面肌痉挛等疾病的术前评估、手术方案制订及术中辅助定位等方面,尤其是目前桥小脑角肿瘤的术前三维重建运用。3Dslicer不仅在桥小脑角区应用广泛,而且在其他神经系统疾病中亦有应用^[20]。张锐等^[21]将3Dslicer运用在垂体瘤的术前重建上,该软件可以在术前帮助术者在三维层面上充分理解影像学图像,熟悉术区的解剖情况,避免制订手术计划时出现偏差,降低术中对动脉损伤的风险。即使3Dslicer软件可以为颅脑疾病的诊断和颅脑手术的术前计划带来便利,但我国乙状窦区域绝对安全点的研究尚未得出相对可靠的结论。

3. 3D技术融合重建乙状窦:在桥小脑角区手术时,术者常常通过乙状窦后入路进行手术,对国人乙状窦区域的解剖学特点需要取得更加清晰的认识。在乙状窦的相关研究方面,2001年梁树立等^[1]在乙状窦沟的解剖应用研究中,通过观察尸体颅骨标本、完整尸头及游离的颞骨中乙状窦沟的形态和解剖位置,并标记乙状窦沟上曲在颅骨外表面的标志点,利用游标卡尺等工具测量后,研究者认为乙状窦沟与毗邻的各结构有一定的关系,乙状窦沟是岩骨内侧较为重要的骨性标志,其上曲在颅外对应点多位于顶乳缝的前角,而前置的乙状窦沟以颅骨右侧多见,但相关研究缺少大样本数据验证结论。罗正祥等^[22]在采用3D-CT颅骨重建技术进行枕下乙状窦后入路开颅,此方法虽然简单快捷,骨瓣缺损不多,亦保护了横窦、乙状窦,但3D-CT的研究成本高,不适合进行大样本数据研究。目前,国内多对多模态融合结合尸头标本进行研究,进行大样本数据结合3D软件重建颅骨的测量研究较少,对国内人群乙状窦沟区域的测量缺少量化的认识。2021年,

杨吉鹏等^[23]的研究表明,关键孔的定位方法可以在3Dslicer软件的辅助下进行,定位过程中无需其他软件和助手的辅助。该方法虽然可有效辅助术者定位关键孔,缩短手术时间,减少并发症,并帮助术者处理影像学数据,对患者进行个体化治疗。但此研究存在两处局限性:其一为该研究未测量颅骨表面距离,只在将颅骨隐藏或者透明化后测量三维立体方向上的距离,此种方法并不是真正意义上的表面实际距离测量,易导致数据及结论的误差;其二为该研究结论缺乏大数据及尸体头部解剖数据的支持。

4. 3Dslicer在国内神经外科领域中的应用:2016年,Han等^[24]利用3Dslicer软件在术前对三叉神经痛患者的神经血管网络进行了可视化重建,证明了解剖结构的重建测量类型研究能使术前决策更加精确和直观,并具有前瞻性。Wang等^[25]在研究探讨乙状窦、横窦和乙状窦沟开颅骨瓣形成及窦保护的临床价值时,采用3D-CT对乙状窦、横窦进行重建,窦的3D重建有助于乙状窦后开颅治疗中窦的暴露、保护窦并预防脑脊液漏和假性脑膜膨出,由此可见乙状窦、横窦的三维测量研究对于术前决策的重要性。Hou等^[26]在1例巨大浸润性脊柱神经鞘瘤合并脊柱侧弯的病例报告中指出,3Dslicer和Sina的联合使用可以帮助外科医生准确处理3D信息,同时模拟手术,使肿瘤手术管理更容易,并尝试在3Dslicer中模拟GISS手术,使用Sina助手在体内投射了病变的正确位置^[27],证明术前3D成像可以帮助外科医生处理解剖结构,使手术更容易。

国内外学者针对3Dslicer软件已开发出了大量的应用模块,软件也在临床工作中实现了许多的应用场景,如脑肿瘤、血肿等病灶的可视化、复杂肿瘤的手术规划、血管及功能疾病的术前评估、神经纤维束的追踪等。目前,3D软件技术日益成熟,通过3Dslicer等3D软件重建颅脑有望成为神经外科的研究趋势之一。

四、总结与展望

1. TSSJ定位:随着神经解剖学和影像学的发展,影像学3D重建及尸头解剖上均能准确定位TSSJ,但由于尸头解剖数量的限制,两种方法的结合应用难以进行大样本研究,可以将此两种方法的结合作为TSSJ定位的“金标准”。通过获取大样本影像学数据后再由3D软件辅助重建3D模型进行定位,同时与尸头解剖数据进行对比,可能会出现既准确又快捷的定位方法。

2. 3Dslicer: 目前,国内外关于3Dslicer软件的相关研究偏少。虽然该软件以及其模块在多数情况下可以满足使用者的需要,但是仍存在软件及其模块无法满足使用者特殊需要的情况。因此,需要为该软件添加满足这些特殊需要的功能模块,可以通过扩展的方法实现。如果对乙状窦沟周围区域进行三维层面的手动测量,有出现存在较大的误差,且重建及测量的时间成本较高,而开发专用于测量乙状窦沟周围区域的模块能够提高效率。目前,有关乙状窦测量的国内外研究仍然存在缺陷,且缺少大样本数据支撑,因此,总结出某一地区人群的乙状窦周围区域解剖学特点是较为困难的。但随着人工智能的发展,建立一个基于人工智能技术驱动的算法结构,如ChatGPT、Midjourney等,代替人工操作3D软件进行此方向的大样本研究,可能实现测量的数字化、智能化、个体化、精准化。

目前,对于神经外科医生而言,熟练运用3Dslicer软件重建脑结构是较为重要的一项技能。该技能可以帮助神经外科医生在术前充分了解患者肿瘤的位置、深度、大小、毗邻结构、压迫神经及血管情况,从而减少手术时间并减少术后并发症的发生。在3Dslicer软件重建颅骨后,再对乙状窦进行测量,能为面肌痉挛、听神经瘤、脑干腹背侧肿瘤等桥小脑角区相关疾病建立精确化的指标(如肿瘤大小、压迫深度、供血血管位置等),这些都是3Dslicer软件融合重建的优点。但3Dslicer软件也存在不足之处:一是国内外相关文献偏少,原因主要是乙状窦的测量研究需要尸头标本研究作为“金标准”,研究成本高,但在3D软件重建技术上,此方向的研究应当继续加强。二是各个研究中选取的样本量过少,不足以总结出一个地区或者群体的乙状窦解剖学特点,且各研究选取的样本大多为尸体标本及手术患者,研究需要继续收集大数据影像样本,并对乙状窦进行3D重建测量。三是对乙状窦的测量精度及位置定位方法不一致,各个研究的定位方法均存在一定的误差及个体化差异,仍需要通过大数据的对比分析验证已存在的定位方法,并得出一个普遍适用临床的定位方法。

利益冲突 文章所有作者共同认可文章无相关利益冲突

作者贡献声明 设计思路、论文撰写、论文修订为陈鹏、李雨,文献收集与整理为曾庆准

参 考 文 献

[1] 梁树立,漆松涛,彭林,等.国人乙状窦沟的应用解剖学研

究[J].广东医学,2001,22(2):113-115. DOI: 10.3969/j.issn.1001-9448.2001.02.009.

Liang SL, Qi ST, Peng L, et al. The study of applied anatomy of the groove of sigmoid sinus[J]. Guangdong Med J, 2001, 22(2): 113-115.

[2] 许莹,乔胜铎,黄维国,等.乙状窦后径路小脑脑桥角的应用解剖[J].临床耳鼻咽喉头颈外科杂志,2017,31(24):1890-1891. DOI: 10.13201/j.issn.1001-1781.2017.24.006.

Xu Y, Qiao SD, Huang WG, et al. Applied anatomy of the cerebellopontine angle through retrosigmoid approach[J]. J Otorhinolaryngol Head Neck Surg, 2017, 31(24): 1890-1891.

[3] 李则群,兰青.乙状窦后锁孔入路的显微解剖学研究[J].中华显微外科杂志,2009,32(4):5. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-2036.2009.04.015.

Li ZQ, Lan Q. Microanatomic study on retrosigmoid keyhole approach[J]. Chin J Microsurg, 2009, 32(4): 5.

[4] 王紫兰,陈周青,顾枫,等.岩斜区脑膜瘤手术入路的选择及预后相关因素分析[J].临床神经外科杂志,2021,18(5):506-511. DOI: 10.3969/j.issn.1672-7770.2021.05.006.

Wang ZL, Chen ZQ, Gu F, et al. Surgical approach for petroclival meningiomas and analysis on related factors affecting prognosis[J]. Clin Neurosurgery J, 2021, 18(5): 506-511.

[5] Avci E, Koarcaoğullar Y, Fossett D, et al. Lateral posterior fossa venous sinus relationships to surface landmarks[J]. Surg Neurol, 2003, 59(5): 392-397. DOI: 10.1016/s0090-3019(03)00037-5.

[6] Ribas GC, Rhoton AJ, Cruz OR, et al. Suboccipital burr holes and craniectomies[J]. Neurosurg Focus, 2005, 19(2): E1. DOI: 10.3171/foc.2005.19.2.2

[7] 李瑞春,李扩,鲍刚,等.建立侧颅底表面坐标系定位乙状窦-横窦交汇区的解剖与临床研究[J].中国临床神经外科杂志,2015,20(11):677-679.

Li RC, Li K, Bao G, et al. Anatomic and clinical study of localization of the transverse-sigmoid sinus junction using a coordinate system on the lateral surface of the cranial base[J]. J Clin Neurosurg, 2015, 20(11): 677-679.

[8] 盛敏峰,姜雷,李鑫,等.基于解剖学研究的枕下乙状窦后入路精准开颅技术探讨[J].中国临床解剖学杂志,2020,38(6):629-634. DOI: 10.13418/j.issn.1001-165x.2020.06.002.

Sheng MF, Jiang L, Li X, et al. Investigation on the method of precise localization in the craniotomy of suboccipital retrosigmoid approach based on the anatomical study[J]. J Chin Clin Anatomy, 2020, 38(6): 629-634.

[9] Jian ZH, Sheng MF, Li JY, et al. Developing a method to precisely locate the keypoint during craniotomy using the retrosigmoid keyhole approach: surgical anatomy and technical nuances[J]. Front Surg, 2021, 8: 700777. DOI: 10.3389/fsurg.2021.700777.

[10] 付涛,惠志强,宋杰,等.基于颅骨表面解剖标志的成人乙状窦后入路关键孔定位[J].中国现代神经疾病杂志,2022,22(12):1079-1085. DOI: 10.3969/j.issn.1672-6731.2022.12.013.

Fu T, Hui ZQ, Song J, et al. Localization of key holes in adult retrosigmoid sinus approach based on skull surface anatomic markers[J]. Chinese Journal of Modern Neurological Diseases, 2022, 22(12): 1079-1085.

[11] Nabavi A, Mamisch CT, Gering DT, et al. Image-guided therapy and intraoperative MRI in neurosurgery[J]. Minim

- Invasive Ther Allied Technol, 2000, 9(3/4): 277-286. DOI: 10.1080/13645700009169658.
- [12] Liao R, Liu L, Song B, et al. 3D-slicer software-assisted neuroendoscopic surgery in the treatment of hypertensive cerebral hemorrhage[J]. Comput Math Methods Med, 2022, 2022: 1-7. DOI: 10.1155/2022/7156598.
- [13] Fedorov A, Beichel R, Kalpathy-Cramer J, et al. 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network[J]. Magn Reson Imaging, 2012, 30(9): 1323-1341. DOI: 10.1016/j.mri.2012.05.001.
- [14] Kikinis R, Pieper S. 3D Slicer as a tool for interactive brain tumor segmentation[J]. Annu Int Conf IEEE Eng Med Biol Soc, 2011, 2011: 6982-6984. DOI: 10.1109/IEMBS.2011.6091765.
- [15] Shi H, Li Y, Wang Y, et al. The preoperative evaluation value of 3D-slicer program before microsurgical vascular decompression in patients with hemifacial spasm[J]. Clin Neurol Neurosurg, 2022, 217: 107241. DOI: 10.1016/j.clineuro.2022.107241.
- [16] 常锦才, 张笑林, 武伟娜, 等. 基于CT和MRI的多模态医学图像配准算法[J]. 华北理工大学学报(自然科学版), 2021, 43(4): 108-118. DOI: 10.3969/j.issn.2095-2716.2021.04.016.
- Chang JC, Zhang XL, Wu WN, et al. Multimodal medical image registration algorithm based on CT and MRI[J]. Journal of North China University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2021, 43(4): 108-118.
- [17] 宋刚, 李梦君, 张晓雨, 等. 三维多模态影像重组技术在颅底手术教学中的应用效果分析[J]. 中国脑血管病杂志, 2020, 17(8): 455-458. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5921.2020.08.005.
- Song G, Li MJ, Zhang XY, et al. Teaching application of the three dimensional Slicer image reconstruction in skull base surgery[J]. Chinese Journal of Cerebrovascular Diseases, 2020, 17(8): 455-458.
- [18] 陈超, 王洪祥, 张旭, 等. 3D Slicer软件在神经外科住院医师规范化培训中的应用研究[J]. 现代医药卫生, 2022, 38(16): 2862-2865. DOI: 10.3969/j.issn.1009-5519.2022.16.03.
- Chen C, Wang HX, Zhang X, et al. 3D Application of Slicer software in standardized training of neurosurgery residents[J]. Journal of Modern Medicine and Health, 2022, 38(16): 2862-2865.
- [19] 曾祥博, 叶远良, 李连, 等. 增强现实虚实融合技术辅助在乙状窦后入路开颅手术中的应用效果[J]. 广西医学, 2021, 43(08): 931-934. DOI: 10.11675/j.issn.0253-4304.2021.08.06.
- Zeng XB, Ye YL, Li L, et al. Application effect of augmented reality mixed reality fusion technology in retrosigmoid craniotomy surgery for sigmoid sinus approach[J]. Guangxi Med J, 2021, 43(8): 931-934. DOI: 10.11675/j.issn.0253-4304.2021.08.06.
- [20] 陆波, 莫永彪, 陈刚, 等. CT与颅骨CT三维重建融合影像在小脑脑桥角肿瘤经乙状窦后入路手术中的运用[J]. 中国临床神经外科杂志, 2021, 26(7): 524-526. DOI: 10.13798/j.issn.1009-153x.2021.07.009.
- Lu B, Mo YB, Chen G, et al. Application of fusion images of CT Venography and skull 3D CT reconstruction in microsurgery through retrosigmoid sinus approach for patients with cerebellopontine angle tumor[J]. Chin J Clin Neurosurg, 2021, 26(7): 524-526.
- [21] 张锐, 孟令雷, 孔世奇, 等. 图像重建及3D虚拟现实技术在经蝶垂体瘤手术中的应用[J]. 系统医学, 2018, 3(14): 133-135. DOI: 10.19368/j.cnki.2096-1782.2018.14.133.
- Zhang R, Meng LL, Kong SQ, et al. Application of image reconstruction and 3D virtual reality technology in the transsphenoidal pituitary adenoma surgery[J]. System Med, 2018, 3(14): 133-135.
- [22] 罗正祥, 刘英亮, 章文斌, 等. 3D-CT颅骨重建技术在枕下乙状窦后入路开颅术中的应用[J]. 中国临床神经外科杂志, 2017, 22(9): 630-633. DOI: 10.13798/j.issn.1009-153x.2017.09.007.
- Luo ZX, Liu YL, Zhang WB, et al. Application of three-dimensional CT cranial bones reconstruction technique to surgery through suboccipital retrosigmoid approach[J]. Chin J Clin Neurosurg, 2017, 22(9): 630-633.
- [23] 杨吉鹏, 邱翔, 刘英辉, 等. 3DSlicer软件弥散张量成像纤维束追踪技术在听神经瘤手术中的应用[J]. 脑与神经疾病杂志, 2021, 29(6): 346-351.
- Yang JP, Qiu X, Liu YH, et al. Application of diffusion tensor imaging tractography technology to microsurgery for acoustic neuroma[J]. Journal of Brain and Nervous Diseases, 2021, 29(6): 346-351.
- [24] Han K, Zhang D, Chen J, et al. Presurgical visualization of the neurovascular relationship in trigeminal neuralgia with 3D modeling using free Slicer software[J]. Acta Neurochirurgica, 2016, 158(11): 2195-2201. DOI: 10.1007/s00701-016-2936-8.
- [25] Wang C, Han G, You C, et al. Clinical application of scalp markers and three-dimensional sliced computer tomography reconstructions of the skull transverse-sigmoid sinus groove in the retrosigmoid approach[J]. Turk Neurosurg, 2018, 28(3): 356-363. DOI: 10.5137/1019-5149.JTN.19342-16.0.
- [26] Hou X, Yang DD, Li D, et al. 3D Slicer and Sina application for surgical planning of giant invasive spinal schwannoma with scoliosis: A case report and literature review[J]. Neurochirurgie, 2020, 66(5): 396-399. DOI: 10.1016/j.neuchi.2020.06.131.
- [27] Zhou L, Wang W, Wei H, et al. Clinical application of 3D Slicer combined with Sina/MosoCam multimodal system in preoperative planning of brain lesions surgery[J]. Scientific Reports, 2022, 12(1): 19258. DOI: 10.1038/s41598-022-22549-7.

(收稿日期: 2023-05-06)

(本文编辑: 郑圣洁)