

远外侧入路显露枕骨大孔前缘的虚拟现实微创化研究

钱增辉 陈心玥 苏萍 周小敏 冯旭 汤可

100050 首都医科大学附属北京天坛医院神经外科(钱增辉); 361023 厦门医学院临床医学系基础医学部(陈心玥、苏萍、周小敏、冯旭); 100853 北京, 解放军总医院第一医学中心神经外科医学部颅脑创伤外科(汤可)

通信作者: 汤可, Email: tkshoushuda@sina.com

DOI: 10.3969/j.issn.1009-6574.2022.10.003

【摘要】目的 在虚拟现实三维解剖模型中探讨远外侧入路微创显露枕骨大孔前缘的可能性。**方法** 选取15例(30侧)成人尸体头颅的CT和MRI扫描数据输入虚拟现实系统构建三维解剖模型, 选择颅盖和颅底骨性标志点勾勒圆柱形模拟远外侧入路显露枕骨大孔前缘的手术路径。通过缩小圆柱范围进行微创设计, 观察和比较微创化前后手术路径中的解剖显露情况。**结果** 微创化前后术后路径不包含乙状窦和颈静脉球, 避开小脑半球。微创化前手术路径中包含延髓体积为 $(143.25 \pm 10.15)\text{mm}^3$, 微创化后手术路径避开延髓。微创化后手术路径以及路径中所包含骨性结构、颅神经和动脉结构的体积小于微创化前手术路径 $[(2\ 052.70 \pm 115.84)\text{mm}^3$ 比 $(8\ 346.80 \pm 122.98)\text{mm}^3$, $(1\ 345.40 \pm 92.82)\text{mm}^3$ 比 $(4\ 291.00 \pm 111.81)\text{mm}^3$, $(1.78 \pm 0.10)\text{mm}^3$ 比 $(52.23 \pm 0.82)\text{mm}^3$, $(4.12 \pm 0.11)\text{mm}^3$ 比 $(163.95 \pm 9.92)\text{mm}^3]$, 差异有统计学意义($P < 0.01$)。**结论** 在明确操作方向的前提下, 缩小手术路径范围可以在保证远外侧入路显露枕骨大孔前缘的同时减少手术创伤。

【关键词】 远外侧入路; 枕骨大孔; 颅底外科; 虚拟现实; 三维解剖

基金项目: 首都卫生发展科研专项项目(首发2014-4-5073); 机能与临床转化福建省高校重点实验室开放基金资助项目(JNYLC1808)

Minimally invasive design of far lateral approach exposing anterior edge of foramina magnum by virtual reality system Qian Zenghui, Chen Xinyue, Su Ping, Zhou Xiaomin, Feng Xu, Tang Ke
Department of Neurosurgery, Beijing Tiantan Hospital, Capital Medical University, Beijing 100050, China (Qian ZH); Department of Basic Medicine, Xiamen Medical College, Xiamen 361023, China (Chen XY, Su P, Zhou XM, Feng X); Department of Traumatic Neurosurgery, P.R. China. Institute of Neurosurgery, the First Medical Center of Chinese PLA General Hospital, Beijing 100853, China (Tang K)
Corresponding author: Tang Ke, Email: tkshoushuda@sina.com

【Abstract】Objective To discuss the possibility of the minimally invasive design of far lateral approach exposing foramina magnum based on virtual reality anatomic model. **Methods** Image data of CT and MRI scans performed to fifteen adult cadaver heads (30 specimens) was inputted into Vitrea virtual reality system to establish three-dimensional anatomy model. Osseous landmark points on the calvaria and skull base were selected to outline cylinder simulating far lateral exposing foramina magnum. Minimally invasive design was made by reduce the size of cylinder. Anatomic exposures before and after design were observed and compared. **Results** Surgical routes before and after minimally invasive design avoided sigmoid sinus, jugular bulb and cerebellum. The route before minimally invasive design involved medullar with volume of $(143.25 \pm 10.15)\text{mm}^3$. However, the route following design avoid medullar. Comparison showed that volumes of the route, osseous structure, cranial nerve and artery following minimally invasive design were less than those before design $[(2\ 052.70 \pm 115.84)\text{mm}^3$ vs $(8\ 346.80 \pm 122.98)\text{mm}^3$, $(1\ 345.40 \pm 92.82)\text{mm}^3$ vs $(4\ 291.00 \pm 111.81)\text{mm}^3$, $(1.78 \pm 0.10)\text{mm}^3$ vs $(52.23 \pm 0.82)\text{mm}^3$, $(4.12 \pm 0.11)\text{mm}^3$ vs $(163.95 \pm 9.92)\text{mm}^3]$, with statistical significance ($P < 0.01$). **Conclusions** Under the determined direction, reduction of surgical route size can reduce the injury, meanwhile, ensure exposure of anterior edge of foramina magnum for far lateral approach.

【Key words】 Far lateral approach; Foramina magnum; Skull base surgery; Virtual reality; Three-dimensional anatomy

Fund programs: Capital Health Development Research Project (2014-4-5073); Key Laboratory of Functional and Clinical Translational Medicine of Universities in Fujian Province (JNYLC1808)

在颅底外科中,远外侧入路可以通过枕髁为标志点进行开颅,向前方和内侧沿枕骨大孔外侧缘到达前缘^[1]。由于枕骨大孔前缘位于延髓和椎基底动脉的腹侧,手术操作涉及的神经血管关系复杂,在保证手术显露的同时减少手术风险具有重要意义^[2]。在以往研究中,利用虚拟现实技术能够构建颅底三维解剖模型,通过模拟手术路径观察和测量解剖显露情况^[3]。在本研究中,拟利用这一技术探讨远外侧入路微创显露枕骨大孔前缘的可能性。

一、材料与方法

1.材料:成人尸体头颅15例(共30侧)采用10%甲醛溶液固定,购置于北京大学解剖实验室。CT、MRI扫描获得DICOM格式影像数据,通过尸体头颅血管灌注混合碘海醇注射液的硫化胶后CT扫描显示血管影像。尸体头颅灌注方法、影像数据采集方式和参数见文献报道,其中CT扫描参数中,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、窗位40,层厚0.5 mm、层间距0.5 mm。MRI扫描参数中,三维自旋回波序列(SE)-T1WI,重复时间(TR)11.30 ms,回波时间(TE)4 ms,翻转角(FA)15°,扫描视野(FOV)22 cm×22 cm,矩阵512×512,扫描层厚1 mm,层间距为0 mm,扫描范围260 mm,扫描时间12 min^[4]。本研究已通过解放军总医院医学伦理委员会审批。

2.方法:(1)采用DICOM格式影像数据输入Vitreax虚拟现实图像处理工作站(日本,东芝公司,软件:Vitreax fx 3.0)构建涵盖颅底骨性和神经血管结构的三维解剖模型,方法详见文献报道^[5]。其中,骨性结构采用CT数据建模,血管结构采用依次灌注动脉和静脉的CT数据建模,颅神经结构采用解剖显露颅神经后扫描的MRI数据建模。(2)在该模型中,枕髁关节面后缘被选取为远外侧入路开颅标志点,枕骨大孔前缘被选择为入路的颅底显露终点。以开颅标志点和颅底显露标志点之间连线为轴线作直径2 cm和直径1 cm的圆柱,分别模拟远外侧入路显露枕骨大孔前缘的微创化前和微创化后手术路径,枕髁关节面后缘为路径圆柱颅盖侧底面圆心,枕骨大孔前缘为圆柱颅底侧底面圆心。(3)观察路径微创化前后显露解剖结构的差异,通过体积测量获得数据进行比较。

3.统计学方法:采用SPSS 16.0统计软件进行数据分析,正态分布的计量资料采用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,采用配对t检验进行微创化前后的手术入路中测量数据比较。双侧检验, $P < 0.05$ 为差异

有统计学意义。采用软件Python对路径与路径中所包含的各解剖结构进行相关性分析,绘制热图。

二、结果

1.微创化前后手术路径的解剖显露情况:远外侧入路微创化前手术路径经枕髁后缘和部分寰椎侧块向前方和内侧显露,路径位于延髓外侧、小脑半球腹侧,于颈静脉孔内侧经过枕骨大孔外侧缘和舌下神经孔,到达枕骨大孔前缘;手术路径避开颈静脉球,包含部分椎动脉,经过副神经脊髓根和颅根、部分舌下神经,到达枕骨大孔前缘时路径经过部分基底动脉前缘,路径下方包含部分枢椎齿状突,路径后方包含部分腹侧延髓。微创化后手术路径经过枕髁后缘、在舌下神经孔下方经过枕骨大孔外侧缘,路径位于延髓外侧、小脑半球腹侧、颈静脉孔下方,经过椎动脉颅内段前缘和部分副神经前缘,在舌下神经下方避开神经到达枕骨大孔前缘。见图1(见本期封三)。

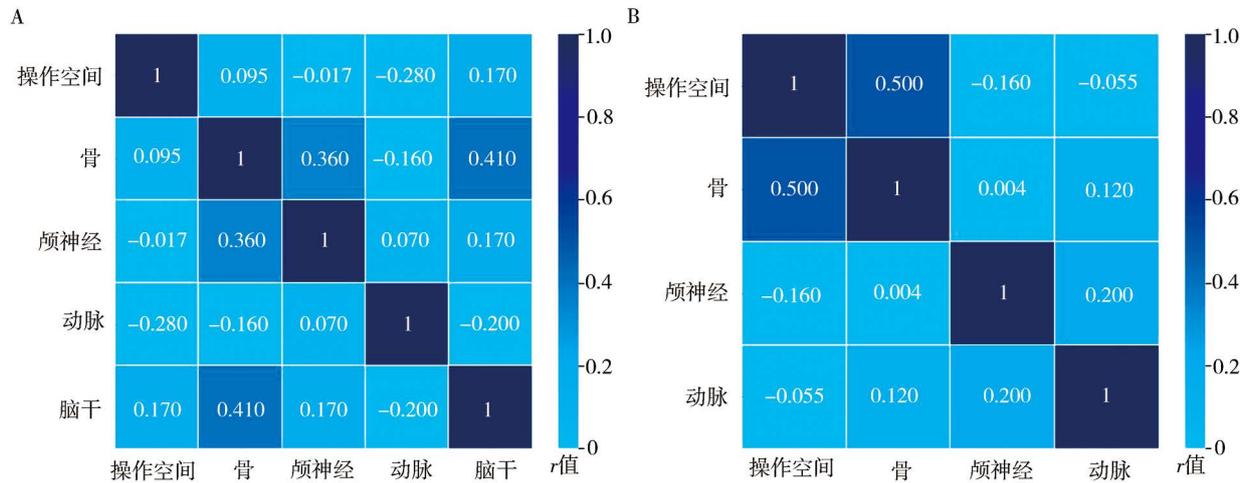
2.微创化前后的手术路径中数据测量和比较:微创化前后术后路径不包含乙状窦和颈静脉球等大的静脉结构,避开小脑半球。微创化前手术路径中包含延髓体积为 $(143.25 \pm 10.15) \text{mm}^3$,微创化后手术路径避开延髓。测量微创化后手术路径以及路径中所包含骨性结构、颅神经和动脉结构的体积均小于微创化前手术路径,差异有统计学意义($P < 0.01$)。见表1。

表1 微创化前后乙状窦前入路显露颈静脉结节的手术路径中解剖数据比较($\text{mm}^3, \bar{x} \pm s$)

项目	微创化前(n=30)	微创化后(n=30)	t值	P值
手术路径体积	8 346.80 ± 122.98	2 052.70 ± 115.84	272.956	<0.001
路径中骨性结构体积	4 291.00 ± 111.81	1 345.40 ± 92.82	89.894	<0.001
路径中后组颅神经体积	52.23 ± 0.82	1.78 ± 0.10	324.893	<0.001
路径中动脉体积	163.95 ± 9.92	4.12 ± 0.11	88.539	<0.001

3.微创化前后路径与各解剖结构的相关性:在图2的相关性热图中,微创化前的手术路径内的脑干、颅神经与骨的相关性较其他结构之间的相关性明显;微创化后的手术路径中,仅操作空间与骨之间的相关性较其他结构之间的相关性明显。

讨论 尸体头颅解剖应用于颅底外科的一个重要局限在于不能重复利用,当需要对不同手术路径



注：A为微创化前各解剖元素相关性热图；B为微创化后各解剖元素相关性热图

图2 微创化前后路径与各解剖结构的相关性

进行比较研究时,完成一个手术路径的解剖操作后,因为路径中的切割等破坏造成另一个手术路径无法顺利观察和测量。计算机影像解剖建模后,利用模型可重复利用的特征,能够在同一标本中进行不同手术路径的个体化比较^[6],有效弥补尸体头颅解剖的这一局限。在既往研究中,通过虚拟现实影像建模技术成功构建涵盖骨性结构、动脉、静脉、脑组织和颅神经的颅底三维解剖模型^[7],与尸体头颅解剖进行对照,发现在尸体中测量距离与三维模型中测量距离的结果一致性良好,证明三维解剖模拟用于解剖研究的可靠性。因此,在后续研究中利用三维解剖模型无创、无测量死角和方便快捷地达到难以解剖的区域等优势获得解剖数据,实现不同手术路径的模拟^[8]。在颅底外科微创化研究中,重要研究问题在于探讨解剖显露和创伤的关系^[9]。因此,本研究在远外侧入路显露枕骨大孔前缘中探讨如何保证目标区域显露的同时减少创伤,通过虚拟现实解剖模型的量化比较提供实现微创的解剖依据。

手术路径的空间大小反映出手术器械的活动范围^[10],本研究的手术路径在微创化前后体积差别很大,即在微创化的过程中,手术器械的移动范围将受到限制。在神经导航发展背景下,手术器械操作范围合理缩小符合精准医疗发展趋势^[11]。本研究中,开颅标志点和颅底显露标志点已经限定,即操作距离的长短固定,微创化前后手术路径的操作体积差别体现在圆柱底面圆的直径差异,设想对于枕骨大孔前缘这一手术显露终点,切除肿瘤等病灶时,可以将显露终点设想为肿瘤中心,手术器械进入肿瘤中心后通过瘤内减压可以将中心之外的病灶逐渐

牵引至手术路径范围内完成病灶切除。远外侧入路显露枕骨大孔前缘的操作方向由后方外侧向前方内侧,路径经过枕骨大孔外侧缘,通过磨除部分颅底骨性结构有助于减少对脑组织的牵拉,但这一操作过程较为费时^[12]。本研究中,微创化前手术路径磨除骨性结构明显多于微创化后手术路径,即微创化前手术路径操作费时,而且可能给颅底重建增加困难;同时微创化前手术路径包含部分腹侧延髓组织,测量体积为(143.25 ± 10.15)mm³,即需要向后方将这部分延髓组织推挤出路径之外完成显露,而微创化后手术路径不包含延髓组织,避免相应组织牵拉和可能造成的损伤。

远外侧入路显露枕骨大孔前缘时操作方向能够避开乙状窦和颈静脉球等大的静脉结构。微创化前手术路径经过部分颅内段的椎动脉,路径前方包含部分基底动脉,手术操作可能需牵拉和推挤这些血管,因此应轻柔操作避免损伤。微创化后手术路径也经过部分颅内椎动脉的前缘,测量动脉体积微创化后手术路径明显小于微创化前手术路径,对动脉结构的相应牵拉和推挤操作可以减少。在对颅神经的显露中,微创化前手术路径范围较大,路径包含副神经脊髓根和颅根,由于路径经过枕骨大孔外侧缘的舌下神经孔,因此包含部分舌下神经,经过上述颅神经结构时同样需要轻柔操作减少损伤。微创化后手术路径在舌下神经孔下方经过,因此路径避开舌下神经;路径的内侧包含少部分副神经的前缘,因此测量颅神经体积微创化后手术路径明显小于微创化前手术路径。微创化后测量颅神经体积为(1.78 ± 0.10)mm³,手术向内侧推开这部分颅神经即可继续显露前方组织。

本研究在分析手术路径及其包含各种结构体积的关系时发现,确定操作方向后,微创化前的操作空间中,各种解剖结构的体积与操作范围的相关性并不明显,这可能说明在显微外科操作中,研究个体的解剖差异对暴露产生影响。在微创化前,相关性较明显的是骨与脑干、骨与颅神经,这说明在远外侧入路中,充分磨除颅底骨质有助于增加暴露,但是也增加了创伤风险。在微创化后,操作范围限定在颅底骨的范围,因此仅操作空间与骨之间的相关性较明显,说明通过去除骨质可以减少对神经血管的牵拉影响,尤其是可以不经脑干到达枕骨大孔前缘。对于枕骨大孔前缘这一显露目标,微创化减少了路径经过的范围。但实现这种微创的前提是无需术中探查显露目标,而术中导航技术的发展使之成为可能。

目前,影像解剖尚不能完全等同于尸体头颅解剖,精准微创的手术创伤需要配合手术器械和神经导航技术发展才能实现,同时影像解剖不同于手术中解剖。实际手术中常通过调整头位以及释放脑脊液使脑组织下垂移位而提供手术空间,这些情况目前无法直接采用影像解剖模拟。测量的模拟手术路径中的脑组织体积可以间接理解为将相应体积的脑组织移出路径外所形成的空间。因此,微创化机制需结合实际手术解剖或者3D打印模型继续展开探讨。本研究解剖建模样本量有限,颅后窝的解剖变异可能影响解剖测量,因此需要扩大样本量进一步研究。

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 试验设计为钱增辉、汤可,研究实施、资料收集、数据处理为钱增辉、陈心玥、苏萍、周小敏、冯旭,文献调研与整理为陈心玥、苏萍,论文撰写、修订为钱增辉、陈心玥,汤可审校

参 考 文 献

- [1] Kim YD, Mendes GA, Seoane P, et al. Quantitative anatomical study of tailored far-lateral approach for the VA-PICA regions[J]. J Neurol Surg B Skull Base, 2015, 76(1): 57-65. DOI: 10.1055/s-0034-1389373.
- [2] 吴鹏飞, 梁传声, 郭宗泽, 等. 显微神经外科手术联合血管内栓塞治疗延髓背侧实质性多血性血管母细胞瘤[J]. 神经疾病与精神卫生, 2014, 14(1): 42-47. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6574.2014.01.012.
Wu PF, Liang CS, Guo ZZ, et al. Combined microneurosurgical treatment and intravascular embolotherapy for solid and sanguineous hemangioblastoma of dorsal medulla oblongata[J]. Journal of Neuroscience and Mental Health, 2014, 14(1): 42-47.
- [3] 吴鹏飞, 王运杰, 王军, 等. 桥小脑角区巨大室管膜瘤的手术治疗及预后分析[J]. 神经疾病与精神卫生, 2013, 13(6): 595-598. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6574.2013.06.015.
Wu PF, Wang YJ, Wang J, et al. Treatment and prognosis of ependymoma located in cerebellopontine angle area[J]. Journal of Neuroscience and Mental Health, 2013, 13(6): 595-598.
- [4] Qian ZH, Feng X, Li Y, et al. Virtual reality model of the three-dimensional anatomy of the cavernous sinus based on a cadaveric image and dissection[J]. J Craniofac Surg, 2018, 29(1): 163-166. DOI: 10.1097/SCS.0000000000004046.
- [5] 汤可, 袁小东, 周敬安, 等. 枕下乙状窦后入路显露颈静脉孔区微创策略的虚拟现实研究[J]. 神经疾病与精神卫生, 2014, 14(2): 137-139. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6574.2014.02.008.
Tang K, Yuan XD, Zhou JA, et al. Research of minimally invasive design for suboccipito-retrosigmoidal approach to expose jugular foramen region by virtual reality skill[J]. Journal of Neuroscience and Mental Health, 2014, 14(2): 137-139.
- [6] 汤可, 周敬安, 赵亚群, 等. 经枕髁入路显露颈静脉结节的虚拟现实手术解剖研究[J]. 神经疾病与精神卫生, 2014, 14(6): 552-554. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6574.2014.06.004.
Tang K, Zhou JA, Zhao YQ, et al. Surgical anatomy research of transcondyle approach for exposure of jugular tubercle utilizing virtual reality technique[J]. Journal of Neuroscience and Mental Health, 2014, 14(6): 552-554.
- [7] 汤可, 周敬安, 周青, 等. 乙状窦前和乙状窦后入路微创显露膝状神经节的虚拟现实比较[J]. 神经疾病与精神卫生, 2016, 16(3): 256-258. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6574.2016.03.003.
Tang K, Zhou JA, Zhou Q, et al. Comparison between presigmoidal and retrosigmoidal approaches for exposing geniculate ganglion utilizing virtual reality skill[J]. Journal of Neuroscience and Mental Health, 2016, 16(3): 256-258.
- [8] 汤可, 周敬安, 周青, 等. 颞下入路显露岩尖的虚拟现实微创化研究[J]. 神经疾病与精神卫生, 2015, 15(4): 358-360. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6574.2015.04.010.
Tang K, Zhou JA, Zhou Q, et al. Minimally invasive research of subtemporal approach for exposure of petrous apex utilizing virtual reality skill[J]. Journal of Neuroscience and Mental Health, 2015, 15(4): 358-360.
- [9] Qian ZH, Feng X, Li Y, et al. Quantification of surgical route parameters for exposure of the jugular foramen via a trans-mastoidal approach exposing jugular foramen in three-dimensional visualization model[J]. J Craniofac Surg, 2018, 29(3): 787-791. DOI: 10.1097/SCS.0000000000004234.
- [10] Tang K, Qian ZH, Feng X, et al. Gridding microsurgical anatomy of far lateral approach in the three-dimensional model[J]. J Craniofac Surg, 2019, 30(1): 87-90. DOI: 10.1097/SCS.0000000000004849.
- [11] 陈晨, 张作慧, 苗发安, 等. 神经内镜辅助显微手术治疗桥小脑角胆脂瘤[J]. 神经疾病与精神卫生, 2019, 19(10): 936-938. DOI: 10.3969/j.issn.1009-6574.2019.10.003.
Chen C, Zhang ZH, Miao FA, et al. Neuroendoscope-assisted microsurgical resection of epidermoid cyst of the cerebellopontine angle[J]. Journal of Neuroscience and Mental Health, 2019, 19(10): 936-938.
- [12] Iacoangeli M, Salvinelli F, Di Rienzo A, et al. Microsurgical endoscopy-assisted presigmoid retrolabyrinthine approach as a minimally invasive surgical option for the treatment of medium to large vestibular schwannomas[J]. Acta Neurochir (Wien), 2013, 155(4): 663-670. DOI: 10.1007/s00701-012-1591-y.

(收稿日期: 2021-06-28)

(本文编辑: 赵金鑫)