

颅底卵圆孔穿刺路径三维可视化数字模型构建

王衍¹, 陈玲¹, 任国山², 王娇¹, 庞胤¹, 刘文芳¹, 张祥³(¹沧州医学高等专科学校, 河北省沧州市 061001; ²河北医科大学, 河北省石家庄市 050017; ³沧州市中心医院, 河北省沧州市 061001)

文章亮点:

文章的特点在于健康成年男性志愿者头颅的 CT 图像, 导入三维重建软件 MIMICS 10.01, 生成颅骨及皮肤三维可视化模型, 利用模型设计卵圆孔穿刺的路径, 此方法操作方便、定位精度高, 医患在射线下暴露时间短, 在模拟层面, 实现了颅底卵圆孔穿刺进针深度、进针方向的精确化、个体化。

关键词:

实验动物; 脑及脊髓损伤模型; 颅底卵圆孔; CT; 三叉神经痛; 三维重建; 穿刺; 定位仪; 射频热凝

主题词:

卵圆孔; 穿刺术; 计算机模拟; 模型; 解剖学

摘要

背景:近年来, 国内外对颅底卵圆孔穿刺定位问题研究较多, 但多数定位方法对术者的个人经验要求较高, 缺乏个体化的量化参数。

目的:建立颅底卵圆孔三维可视化数字模型, 探索经皮穿刺颅底卵圆孔治疗三叉神经痛的合理手术穿刺路径及穿刺深度, 探索个体化治疗三叉神经痛的方法。

方法:获取健康成年男性志愿者头颅的 CT 图像, 导入三维重建软件 MIMICS 10.01, 生成颅骨及皮肤三维可视化模型, 利用模型设计卵圆孔穿刺的路径, 绘制颅底卵圆孔穿刺定位仪的初步模型。

结果与结论:采用 CT 扫描图像, 通过 MIMICS 软件, 建立了颅底卵圆孔穿刺路径的三维可视化数字模型。为临床教学提供了可靠的解剖资料, 同时也为颅骨卵圆孔穿刺的手术模拟奠定了基础。在颅底卵圆孔穿刺路径三维模型基础上确定了“进针点”、“靶点”、“中点”等 3 个穿刺参照点, 确定了由上述 3 点围成三角形所在平面为“定位平面”, 以此为主要参数设计的定位仪, 结构简单, 操作方便、定位精度高, 医患在射线下暴露时间短, 在模拟层面, 实现了颅底卵圆孔穿刺进针深度、进针方向的精确化、个体化。

王衍, 陈玲, 任国山, 王娇, 庞胤, 刘文芳, 张祥. 颅底卵圆孔穿刺路径三维可视化数字模型构建[J]. 中国组织工程研究, 2015, 19(5):691-696.

Establishment of three-dimension visualized digital models of foramen ovale piercing path

Wang Yan¹, Chen Ling¹, Ren Guo-shan², Wang Jiao¹, Pang Yin¹, Liu Wen-fang¹, Zhang Xiang³ (¹Cangzhou Medical College, Cangzhou 061001, Hebei Province, China; ²Hebei Medical University, Shijiazhuang 050017, Hebei Province, China; ³Cangzhou Central Hospital, Cangzhou 061001, Hebei Province, China)

Abstract

BACKGROUND: In recent years, increasing research emphasizes the puncture position of the foramen ovale in skull, but most of the positin methods require a higher personal experience of surgeons and lack of individualized quantitative parameters.

OBJECTIVE: To establish a visualized digital model of the foramen ovale in skull, explore the reasonable puncture path and puncture depth of percutaneous treatment of foramen ovale puncture for trigeminal neuralgia, and develop the individualized treatment of trigeminal neuralgia.

METHODS: Head CT images from healthy adult male volunteers were obtained and were input into three-dimensional reconstruction software MIMICS 10.01, the three-dimensional visualized models of the skull and skin were established. Using the models, the puncture path of the foramen ovale was designed and the preliminary model of the puncture locator was plotted.

RESULTS AND CONCLUSION: The three-dimensional visualized digital model of the foramen ovale puncture path was established with CT scan images by using MIMICS software, which provides reliable anatomical data for clinical teaching and lays the groundwork for the simulation of puncture surgery. On the three-dimensional models, the “needle points”, “target points”, and “midpoint” were determined, and the triangle consisted of the three points was regarded as “positioning plane”. Using these parameters, the positioning instrument is characterized by simple structure, convenient operation, high positioning precision and short period of exposure to radiation, it simulates the foramen ovale puncture needle depth and needle direction in a precise and individualized manner.

Subject headings: Foramen Ovale; Puncture; Computer Simulation; Model, Anatomy

王衍, 男, 1976 年生, 辽宁省海城市人, 汉族, 2012 年河北医科大学毕业, 硕士, 主治医师, 主要从事数字化人体方面的研究。

doi:10.3969/j.issn.2095-4344.2015.05.007
[http://www.crter.org]

中图分类号:R318

文献标识码:B

文章编号:2095-4344

(2015)05-00691-06

稿件接受: 2014-12-13

Wang Yan, Master, Attending physician, Cangzhou Medical College, Cangzhou 061001, Hebei Province, China

Accepted: 2014-12-13

Wang Y, Chen L, Ren GS, Wang J, Pang Y, Liu WF, Zhang X. Establishment of three-dimension visualized digital models of foramen ovale piercing path. Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu. 2015;19(5):691-696.

0 引言 Introduction

三叉神经痛是一种临床常见病, 女性发病率略高于男性^[1], 根据致病原因分为原发性和继发性两大类, 临床上治疗原发性三叉神经痛的方法可归纳为手术、药物、注射、中医疗法及特殊疗法等5类^[2]。其中注射疗法和特殊治疗中的射频热凝疗法因其效果肯定、并发症少、可重复操作, 在临床上应用较为广泛^[3]。此2种疗法治疗成功的关键是穿刺针能够准确的经过卵圆孔到达三叉神经节^[4]。目前, 临床上进行颅骨卵圆孔穿刺较多采用前外侧入路徒手穿刺的方法^[3], 在此基础上借助于定向仪、X射线、CT、核磁等手段进行辅助定向引导完成操作。目前, 国内行颅骨卵圆孔穿刺治疗三叉神经痛的定位技术随着对发病机制及应用解剖学研究的逐步深入, 从最初的凭借术者经验的单纯徒手穿刺, 到借助定位仪、影像学手段辅助定位, 以及计算机辅助定位系统的应用, 操作中的主观因素逐渐降低, 可参照的客观数据日臻完善, 因穿刺造成的并发症明显减少, 治疗效果得到了显著提升, 但仍然存在一些需要解决的问题, 例如, 如何进一步降低穿刺带来的风险、减少医患在射线下暴露的时间、在基层医院及医学院校如何推广相对比较成熟的治疗方法等。实验通过在普通个人电脑上建立颅底卵圆孔穿刺路径的三维可视化数字模型, 反映穿刺路径周围的解剖结构及空间毗邻关系, 为临床治疗三叉神经痛和理论、实践教学提供可靠的解剖学资料, 并在颅底卵圆孔穿刺路径三维模型的基础上, 寻找经皮穿刺颅底卵圆孔治疗三叉神经痛的合理手术穿刺路径及穿刺深度, 探索个体化治疗三叉神经痛的新方法。

1 对象和方法 Subjects and methods

设计: 个体化样本重复实验。

时间及地点: 实验于2011年3月至2014年3月在河北医科大学图像分析室完成。

对象: 选择1名34岁健康男性志愿者作为建模对象, 无头颈部外伤、手术及其他病史, CT扫描前进行X射线常规检查排除器质性疾病。志愿者对实验方案知情同意, 且得到河北医科大学伦理道德委员会批准。

建立颅底卵圆孔穿刺路径三维模型使用的主要设备及应用软件:

主要设备及应用软件	来源
螺旋CT	GE公司
SUN工作站(CPU: 2.6 GHz, 内存: 2 GB, 显卡: 英特尔 G41 Express Chipset 1 GB, Windows XP操作系统)	惠普公司
PC电脑(CPU: 2.9G Hz, 内存: 2 GB, 显卡: G41 Express Chipset 1 GB, Windows XP操作系统)	联想公司
MIMICS 10.01 医用图像与三维重建软件	Materialise 公司

方法:

CT扫描图像: 志愿者取仰卧位, 眶耳平面与水平面垂直, 头部固定, 做全颅扫描。螺旋扫描参数为: 电压120 kV, 电流251.40 mA, 螺旋层厚0.625 mm, 床进速度1 mm/s。最终得到384幅二维扫描断层图像; 分辨率为512×512像素。数据输出并刻盘保存成DICOM格式。

利用MIMICS软件建立颅底卵圆孔穿刺路径的三维可视化模型:

图像导入: 将CT图像以DICOM格式导入三维重建软件MIMICS 10.01(比利时Materialise公司), 手动定义Top和Bottom两个方向后, 软件将根据断层图像自动生成冠状面、矢状面和轴位断面图像(图1)。

形成蒙罩(Mask): 点击Profile Line按钮, 穿越骨的剖面画一条线, 在弹出的对话框中按下Start Thresholding按钮, 将密度剖面线图的水平线拖动到代表软组织曲线部分稍上的位置, 界定阈值在226-3 071 Hu, 按下End Thresholding按钮保存当前阈值, 形成蒙罩(图2)。

选择分割区: 点击Edit Masks按钮, 删除具有和骨骼相同灰度的组织标记, 并手工补全骨骼缺损部分, 利用区域增长分割工具(Region growing)选择分割区, 在不同平面的图像上检查分割体, 调整图像质量至满意。

生成“颅骨”3D模型: 点击下拉菜单中的Calculate 3D按钮生成3D模型, 为便于观察卵圆孔, 在前面生成的三维可视化模型的基础上, 点击Organize Images按钮, 找到显示眉弓的第1个图像, 右键单击, 点击Uselect after this按钮, 去掉眉弓水平面以上部分, 将此模型命名为“颅骨”。该模型外形逼真, 可缩放、平移、任意角度旋转、任意平面切割, 清楚直接地再现颅腔内外结构的三维立体形态(图3)。

生成“皮肤”3D模型: 点击阈值设定工具(Thresholding按钮), 在弹出的对话框中点开Predefined Thresholds Set下拉菜单, 选中Skin Tissue(CT Adult)项, 系统自动生成蒙罩(图4)。激活分割体, 点击Calculate 3D按钮, 生成三维可视化模型, 命名为“皮肤”(图5)。

生成的2个3D模型在三维视窗中可同时显示, 也可单独显示, 为下一步确定皮肤进针点和卵圆孔穿刺靶点做好准备。

确定进针点、靶点并测距: 在3D视图窗口同时打开命名为“颅骨”和“皮肤”的2个3D模型, 调整3D视角为“left”, 使用系统三维测距工具, 将口角设为起点, 口角外侧2.5 mm设为终点(进针点)(图6A)。再次变换3D视角, 直至可以清楚见到卵圆孔, 将卵圆孔内口标记为终点(靶点), 自动测得两点间距(图6B)。

画出颅底卵圆孔穿刺的路径: 此时3D模型上可看到测距起止点, 接下来点击MedCAD工具, 分别选择画点、划

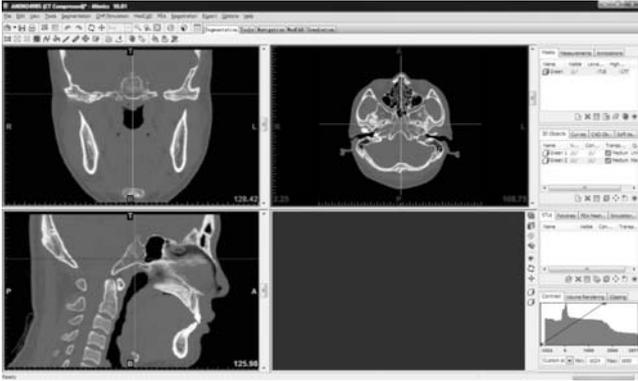


图 1 将 CT 图像导入 MIMICS 软件

Figure 1 CT images were imported into the interface of MIMICS software

图注: 图中左上方为冠状面图像, 左下方为矢状面图像, 右上方为轴位断面, 右下方为三维视窗。

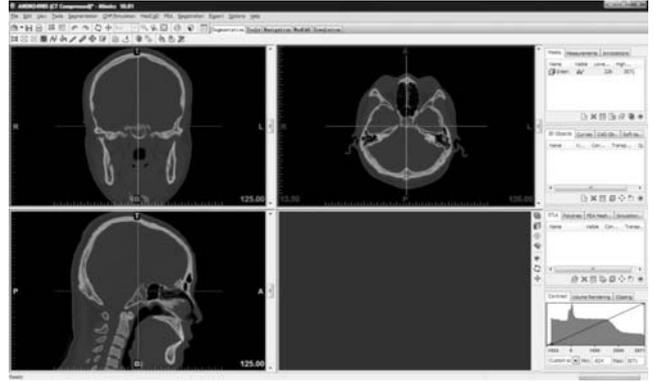


图 2 形成颅骨蒙罩

Figure 2 Masks drawn from the profile of MIMICS (skull)

图注: 图中左上方为冠状面图像, 左下方为矢状面图像, 右上方为轴位断面, 右下方为三维视窗。

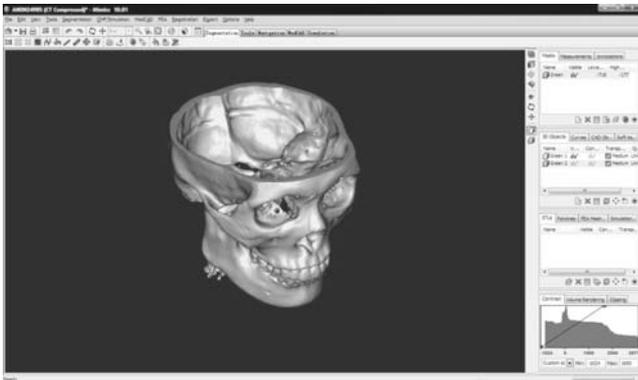


图 3 颅骨三维模型

Figure 3 Three-dimensional model of the skull

图注: 图中建立的模型外形逼真, 可缩放、平移、任意角度旋转、任意平面切割, 清楚直接地再现颅腔内外结构的三维立体形态。

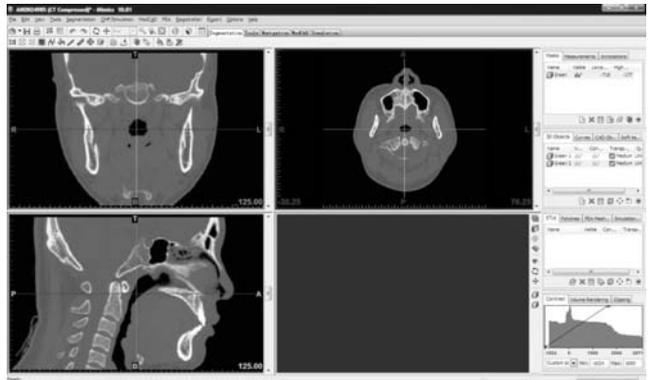


图 4 形成皮肤蒙罩

Figure 4 Masks drawn from the profile of MIMICS (skin)

图注: 图中左上方为冠状面图像, 左下方为矢状面图像, 右上方为轴位断面, 右下方为三维视窗。

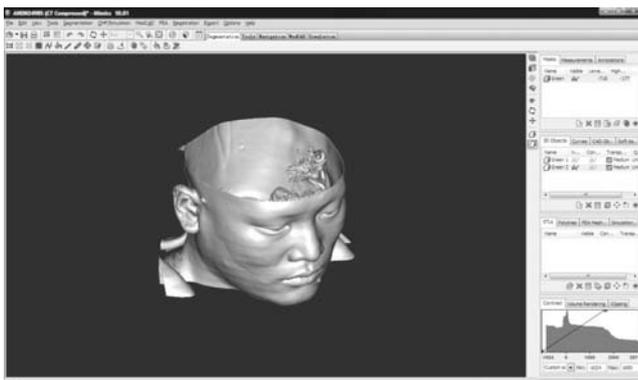


图 5 皮肤三维模型

Figure 5 Three-dimensional model of the skin

图注: 图中建立的模型外形逼真, 可缩放、平移、任意角度旋转、任意平面切割。

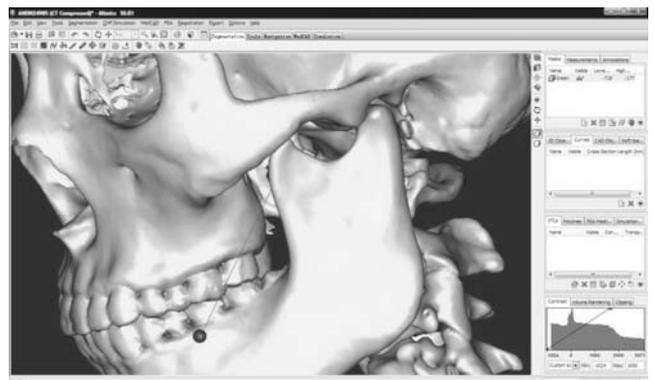


图 7 颅底卵圆孔穿刺路径

Figure 7 Skull base foramen ovale puncture path

图注: 调整视角, 查看卵圆孔穿刺的路径有无骨性遮挡, 若有, 适当调整进针点的位置。

线工具, 在测距起止点间划线, 此线即为卵圆孔穿刺的路径(图7)。调整视角, 查看穿刺路径有无骨性遮挡, 若有, 适当调整进针点的位置。

确定双侧靶点连线的中点: 调节二维视窗层面至卵圆

孔内口处的标记点(靶点)能够完全显示, 且使三个二维视窗中的两条标线均相交于靶点, 此时调用MedCAD工具, 用画点工具在任意视窗两标线相交处做标记点, 此点为双侧靶点连线的“中点”。此时中点在3个二维视窗中均可见,

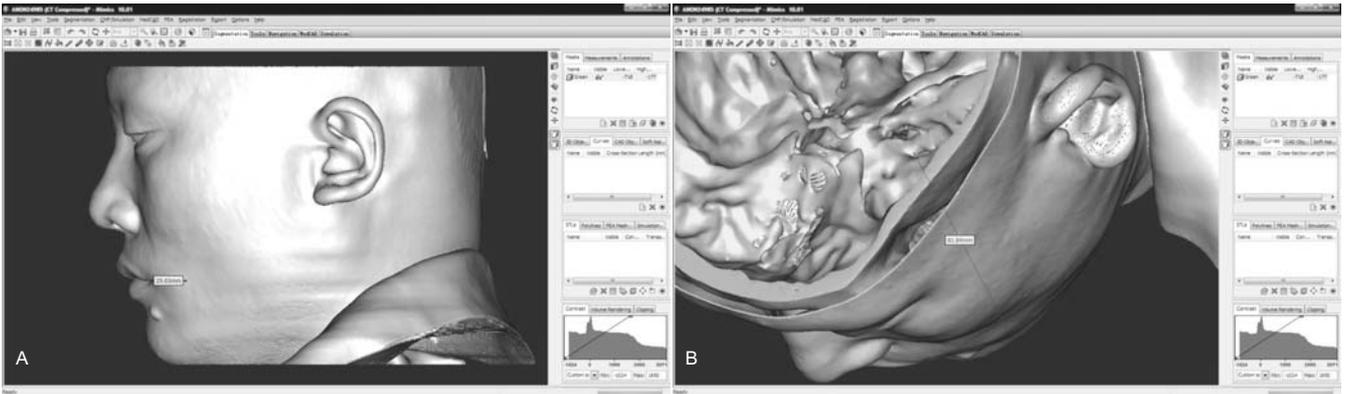


图6 “颅骨”和“皮肤”的2个3D模型的进针点和靶点
 Figure 6 The selection of needle point and target point in two three-dimensional models
 图注: 图中A为进针点设定, B为进针点和靶点之间的距离的测量。

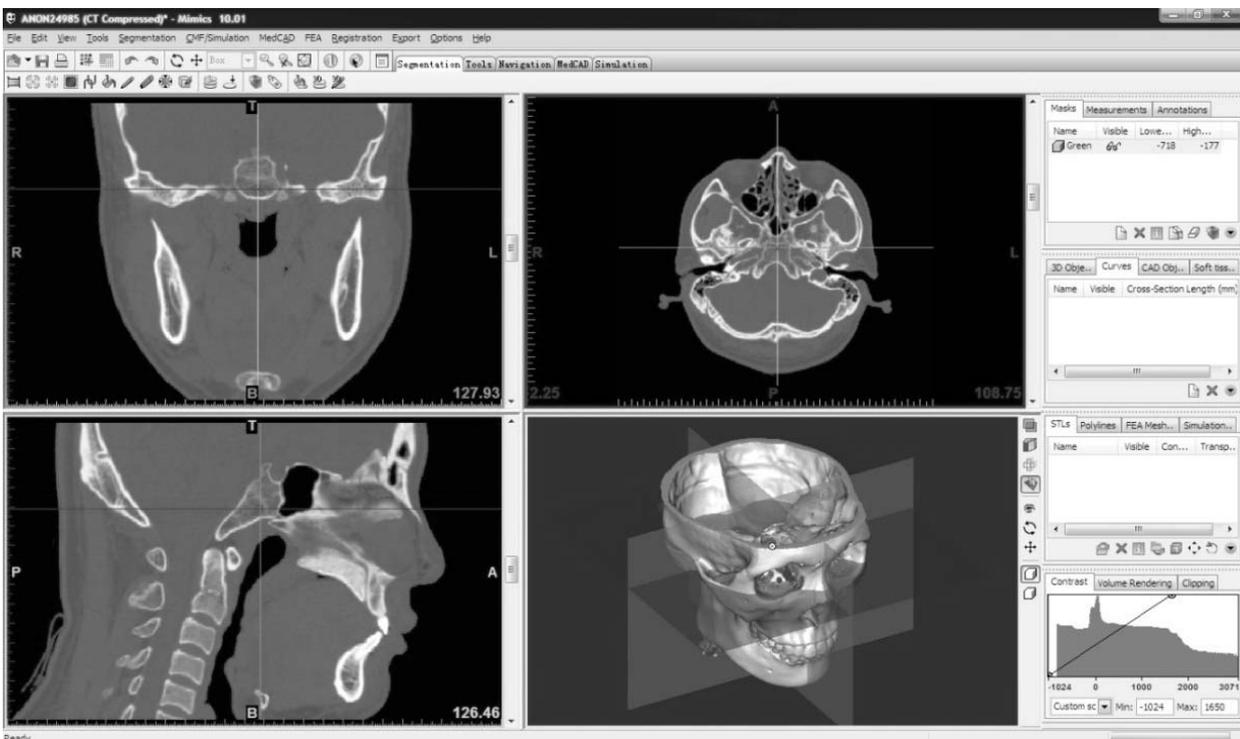


图8 确定双侧靶点连线的中点
 Figure 8 Identifying the midpoint of the crossline between the bilateral target points
 图注: 图中左上方为冠状面图像, 左下方为矢状面图像, 右上方为轴位断面, 右下方为三维视窗。

且均位于视窗两标线相交处(图8)。

确定定位平面, 得出三点连线围成的三角形的相关数据: 再次调用Organize Images按钮, 找到显示卵圆孔为最大的第1个图像, 右键单击, 点选Uselect after this 按钮, 去掉双侧卵圆孔连线所在水平面以上部分, 此时原来不可见的中心点变为可见(图9)。调用系统三维测距、三维测角功能, 得出由“进针点”、“靶点”、“中点”三点连线围成的三角形的角度。确定此三角形所在平面为颅底卵圆孔穿刺的“定位平面”。以此为依据, 设计颅底卵圆孔穿刺定位仪的初步模型。

主要观察指标: 在MIMICS软件中建立颅底卵圆孔穿刺路径的三维模型, 在此基础上利用测量工具, 测量以“靶

点”、“进针点”、“中点”为顶点的三角形的边长及内角, 并以此作为控制颅底卵圆孔穿刺进针角度、深度的参数。

2 结果 Results

2.1 建立了颅底卵圆孔穿刺路径的三维可视化模型

2.1.1 颅底内面观 通过颅底3D模型内面, 可以清楚的看到: 颅底内表面分成前、中、后3个颅窝, 3颅窝自前向后由浅及深呈阶梯状排列, 颅前窝前部正中有隆起的鸡冠, 鸡冠两侧为筛骨筛板, 颅中窝中部狭窄, 可见视神经管、垂体窝、鞍背, 颅中窝两侧部的前上方可见眶上裂, 眶上裂内侧端后下方有圆孔, 圆孔的后方由内向外依次排列着破裂孔、卵圆孔和棘孔, 颅后窝中部有枕骨大孔, 孔的前

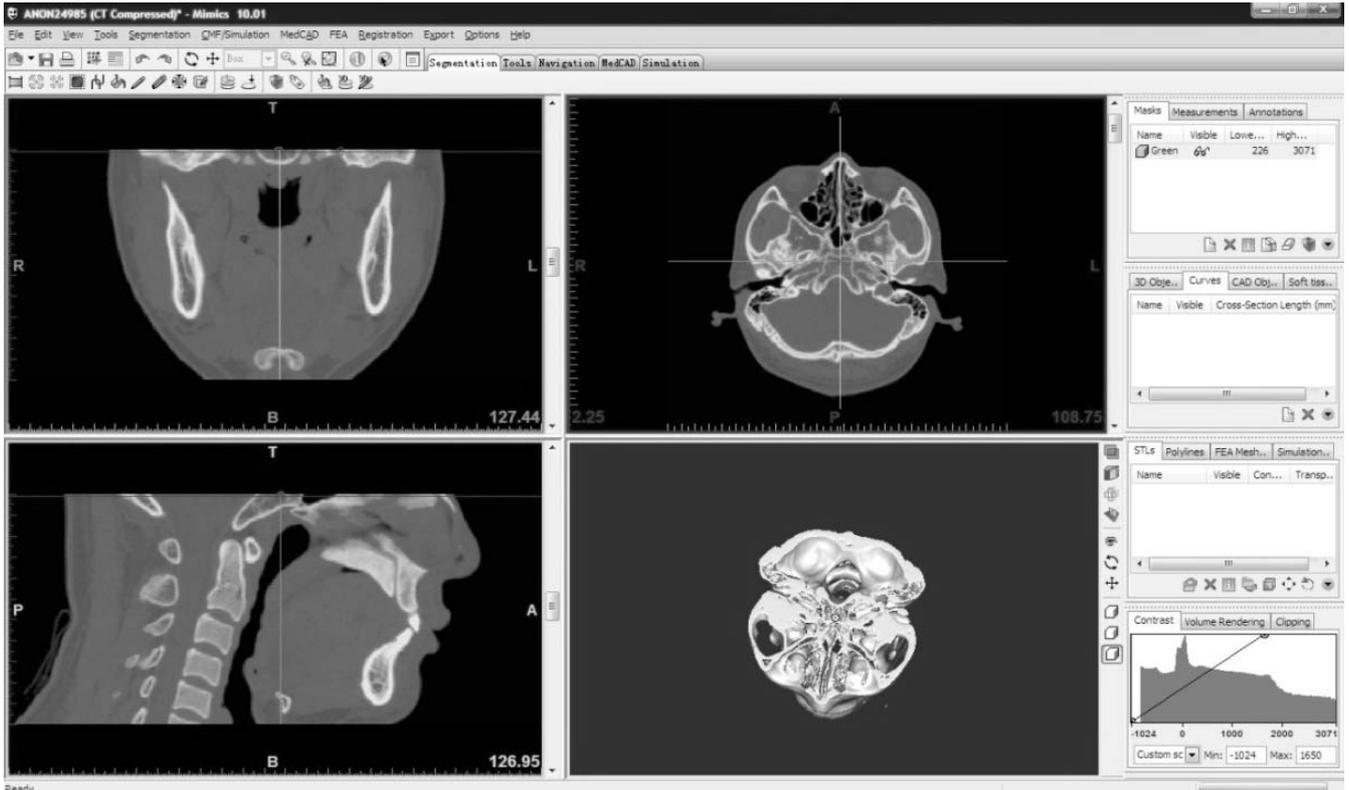


图9 在三维视图上显示中点和靶点

Figure 9 The mid-point and target point displayed on three-dimensional visualized image

图注: 图中左上方为冠状面图像, 左下方为矢状面图像, 右上方为轴位断面, 右下方为三维视窗。

方为蝶骨体和枕骨相连构成的斜坡, 孔的后上方可见枕内隆突, 隆突两侧为横窦沟和乙状窦沟, 再向前连接颈静脉孔, 在该孔上方, 颞骨岩部后上面的中部可见朝内侧开放的内耳门。

2.1.2 颅底外面观 通过颅底3D模型外面, 可以清楚的看到: 此面高低不平, 前方可见颞弓及其后方的下颌窝和关节结节, 中部可见由内向外依次排列的破裂孔、卵圆孔和棘孔, 后部可见枕骨大孔、枕髁、颈静脉窝、颈动脉管、茎突、乳突等结构。

2.1.3 颅底侧面观 通过颅底3D模型侧面, 可以清楚的看到: 颞弓、外耳门、乳突等结构。

2.1.4 对穿刺路径的观察 穿刺路径清晰可见, 如有骨性遮挡, 则穿刺路径标线变为间断状态, 便于进针点的调整, “进针点”、“靶点”、“中点”可见, 该模型视觉效果良好, 准确反映了颅骨卵圆孔穿刺路径周围的骨性解剖结构, 并且可以多角度观看, 为临床教学提供了可靠的解剖资料, 同时也为颅骨卵圆孔穿刺的手术模拟奠定了基础。

2.2 确定了颅底卵圆孔穿刺手术的参数 确定了“进针点”、“靶点”、“中点”等3个穿刺参照点, 确定了由上述三点围成三角形所在平面为“定位平面”, 避免了复杂的空间坐标定位, 可以此为依据, 设计颅底卵圆孔穿刺定位仪的初步模型。在模拟层面, 实现颅底卵圆孔穿刺进针深度、进针方向的精确化、个体化。

3 讨论 Discussion

3.1 选择CT图像建模的优点 CT图像建模相对于以往的切片法、磨片法而言, 对标本的损伤程度几乎可以忽略不计, 而且数据便于存储, 是目前较为常用的建模素材^[5], 主要表现在以下几个方面: ①扫描精度可控: 根据研究对象的不同, 可以在较大的范围内调节扫描精度, 可以清晰显示研究对象, 建模后的失真度低。②组织分辨率高: 通过调节CT扫描条件, 可以显示绝大多数形态复杂、数据量大、组织间分辨率差值小的研究对象。③数据丢失少: CT图像在获得过程中对模型几乎没有损耗, 建模后模型更加逼真, 相对于磨片法和切片法, 更适合于活体研究。

3.2 选择MIMICS软件建模的优点 MIMICS是Materialise公司的交互式的医学影像控制系统, 可以根据用户需要进行模块的搭配, 能直接输入CT扫描数据, 建立3D模型, 可以对模型进行分割、渲染、参照点定位、三维测距、三维测角等操作, 更加直观、简便。更重要的是所有操作在普通个人计算机上即可完成, 明显降低了医患在放射线下的暴露时间, 且为临床教学提供了极大的便利。

3.3 建立颅底卵圆孔穿刺路径三维可视化模型的意义 目前, 临床上进行颅骨卵圆孔穿刺的方法较多, 但仍存在着需要进一步解决的问题, 比如: ①徒手穿刺定位法利用患者面部的解剖学标志粗略估计卵圆孔的位置, 仅参考统计学数据, 未考虑到个体差异, 穿刺成功与否主要取决于操作者的经验, 成功率较低, 且伤及周围血管、神经引起

并发症的风险较大。②利用颅骨卵圆孔定位仪定位, 仅以卵圆孔的体表投射点作为参照, 未考虑个体差异及卵圆孔倾斜角度等问题, 虽然在一定程度上降低了徒手穿刺的盲目性, 但是并未解决提高穿刺成功率的关键性问题^[6]。③利用影像学手段辅助定位, 仅在二维层面为穿刺方向的控制提供了参照, 临床医生需要具有很好的空间想象能力, 才能在脑海中构建直观的医学三维模型。控制穿刺方向这个问题并没有得到完全解决, 在一定程度上仍然要借助术者的经验^[7-14]。

作者建立的颅底卵圆孔穿刺路径三维模型, 准确的反映了颅底卵圆孔穿刺路径周围的解剖结构, 直观清晰的展现了穿刺路径, 为临床教学提供了可靠的解剖资料, 同时也为颅骨卵圆孔穿刺手术的个体化、精确化奠定了基础。

3.4 颅底卵圆孔穿刺定位仪初步模型的优点和进一步研究的方向 本文建立的定位仪模型以颅骨卵圆孔穿刺路径三维模型所提供的数据为支撑, 对患者实施个体化治疗, 结构简单, 安装方便, 定位准确, 在临床上易于推广, 借助于定位仪, 患者和医生在放射线下暴露的时间明显降低, 进针点及固定点的变化对穿刺精度的影响被降到了最低, 对病患的体位要求较为宽松, 避免了摆位造成的痛苦, 因穿刺时间短、准确度高, 有效降低了因穿刺造成诸多并发症的发生概率。

本文建立的定位仪模型尚停留在模拟、设计层面, 下一步应尽快在临床上实践, 以便不断改进和完善, 就目前来讲, 定位仪相关组件的设计和功能的实现还有待更加深入的研究。

3.5 结论 ①文章建立的颅底卵圆孔穿刺路径三维模型, 准确的反映了颅底卵圆孔穿刺路径周围的解剖结构, 为临床教学提供了可靠的解剖资料, 同时也为颅骨卵圆孔穿刺的手术模拟奠定了基础。②在颅底卵圆孔穿刺三维模型基础上设计的定位仪, 对仪器在患者头部固定点的位置要求不高, 结构简单, 操作方便、定位精度高, 医患在射线下暴露时间短, 在模拟层面, 实现了颅底卵圆孔穿刺进针深度、进针方向的精确化、个体化。

致谢: 感谢河北医科大学第二医院影像科提供影像学资料, 感谢河北医科大学解剖教研室全体老师的无私帮助。

作者贡献: 实验设计主要由第一、三作者完成, 实验实施、评估由第一、二、四、五、六、七作者完成。

利益冲突: 文章内容不涉及相关利益冲突。

伦理要求: 志愿者对实验方案知情同意, 且得到河北医科大学伦理道德委员会批准。

学术术语: 颅骨卵圆孔-位于颅中窝两侧部, 蝶骨大翼的后部, 其中有三叉神经的分支通过。三叉神经节(半月节)恰在该孔上内后方的三叉神经压迹处, 故颅骨卵圆孔的大小、形状、位置、走向等, 与三叉神经节的注射疗法有密切关系。卵圆孔是临床上治疗三叉神经痛的重要骨性标志。

作者声明: 文章为原创作品, 无抄袭剽窃, 无泄密及署名和专利争议, 内容及数据真实, 文责自负。

4 参考文献 References

- [1] Spatz AL, Zakrzewska JM, Kay EJ. Decision analysis of medical and surgical treatments for trigeminal neuralgia: how patient evaluations of benefits and risks affect the utility of treatment decisions. *Pain*. 2007;131(3):302-310.
- [2] 李泽, 王涛. 原发性三叉神经痛的治疗进展[J]. 现代医药卫生, 2008, 24(10):1505-1507
- [3] Jorns TP, Zakrzewska JM. Evidence-based approach to the medical management of trigeminal neuralgia. *Br J Neurosurg*. 2007;21(3):253-261.
- [4] Lopez BC, Hamlyn PJ, Zakrzewska JM. Systematic review of ablative neurosurgical techniques for the treatment of trigeminal neuralgia. *Neurosurgery*. 2004;54(4):973-983.
- [5] 倪栋, 段进, 徐久成, 等. 通用有限元分析ansys7[M]. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [6] 史玉泉, 杨德泰. 三叉神经半月节定位尺的设计和应用[J]. 上海第一医学院学报, 1964, 2(1):81-89.
- [7] Taha JM, Tew JM Jr. Comparison of surgical treatments for trigeminal neuralgia: reevaluation of radiofrequency rhizotomy. *Neurosurgery*. 1996;38(5):865-871.
- [8] 邢元龙, 沈云霞, 何玉泉, 等. 射频热凝治疗三叉神经痛定位性研究[J]. 口腔颌面外科杂志, 2004, 14(4):326-328.
- [9] 陈勇军, 沈云霞, 何玉泉, 等. 头颅侧轴位穿刺卵圆孔的新方法用于射频治疗三叉神经痛[J]. 南京医科大学学报(自然科学版), 2010, 30(6):863-865.
- [10] 何玉泉, 何书, 沈云霞, 等. X线下显示颅底卵圆孔的新方法及其临床价值[J]. 医学影像学杂志, 2009, 19(5):608-611.
- [11] 倪家骧. CT引导射频热凝术治疗三叉神经痛[J]. 中国疼痛医学杂志, 2005, 11(3):183-186.
- [12] 张文川, 徐顺清, 李世亭, 等. CT与神经电生理联合引导射频热凝术治疗三叉神经痛(附100例报告)[J]. 中国侵袭神经外科杂志, 2005, 10(11):481-482.
- [13] 赵晓君, 何家维, 白光辉, 等. DSA引导经皮穿刺卵圆孔定位技术的探讨[J]. 影像诊断与介入放射学, 2008, 17(5):200-202.
- [14] 曾庆繁, 陆巍, 姚旌, 等. 一种改良的卵圆孔穿刺技术的研究及临床应用[J]. 当代医学(中国介入放射学), 2008, 2(2):158-160.