

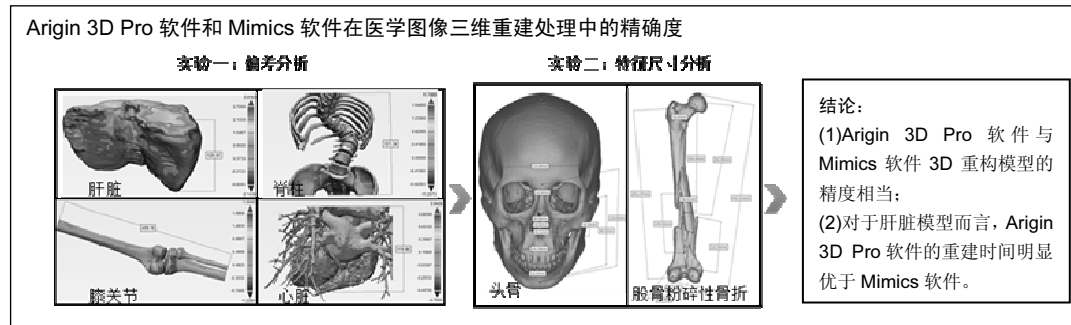
Arigin 3D Pro软件与Mimics软件三维重建模型的精度研究

曹桂平¹, 张明娟², 刘非¹, 连琴³, 徐显辉² (¹西安交通大学苏州研究院, 江苏省苏州市 215021; ²苏州昕健医疗技术有限公司, 江苏省苏州市 215021; ³西安交通大学机械制造系统工程国家重点实验室, 陕西省西安市 710049)

DOI:10.3969/j.issn.2095-4344.0729

ORCID: 0000-0002-8359-6094(曹桂平)

文章快速阅读:



曹桂平, 男, 1993年生, 山西省长治市人, 在读硕士研究生, 主要从事医学图像处理方面的研究。

通讯作者: 连琴, 西安交通大学机械制造系统工程国家重点实验室, 陕西省西安市 710049

中图分类号: R318

文献标识码: B

稿件接受: 2018-01-09

文题释义:

医学图像三维重建的优势: 相较于二维断层图像, 医学图像三维重建可在三维空间内显示病灶特征及周围组织空间位置关系, 进而辅助医生精确快速地进行术前诊断, 避免误诊。

Arigin 3D Pro: 是上海昕健医疗技术有限公司自主研发的基于3D打印的医学重构软件系统, 可实现医学图像中骨、肌肉、皮肤、心脏、肝脏、金属植入物等的三维重建, 并可与商业化的3D打印机无缝连接, 目前已成功应用于骨科、创伤等领域的临床及科研研究。在肝脏分割方面, Arigin 3D Pro软件具有独特优势。

摘要

背景: 随着医学成像技术不断提高, 人体解剖结构的可视化研究得到进一步发展, 三维重建技术在医疗方面的作用也逐渐凸显。Mimics是目前应用最为广泛的医学图像三维重建软件, Arigin 3D Pro则是近期国内自主研发的一款基于3D打印的医学重构软件系统。

目的: 探讨 Arigin 3D Pro 软件和 Mimics 软件在医学图像三维重建处理中的精确度。

方法: 选取肝脏、脊柱、膝关节、心脏部位的图像数据, 以 Mimics 软件重构后的 3D 模型为依据, 进行两款软件重构模型的偏差分析; 选取 10 例头颅部位及 1 例股骨粉碎性骨折的图像数据, 进行三维重建, 对每个重建模型均进行 10 组特征尺寸的测量, 评估两款软件重构模型特征尺寸的差异。

结果与结论: Arigin 3D Pro 和 Mimics 软件对肝脏、脊柱、膝关节、心脏的三维重建模型, 偏差的均值±标准差分别为(0.93±1.05), (0.36±0.74), (0.45±0.74)及(0.18±0.41) mm。Arigin 3D Pro 和 Mimics 软件重建肝脏模型的时间分别为 3 min、35 min, 两款软件重建其他模型的时间均小于 1 min。对于头颅、股骨粉碎性骨折的 3D 重构模型, 两款软件 Arigin 3D Pro 软件与 Mimics 差异无统计学意义(P 均> 0.05)。说明 Arigin 3D Pro 软件与 Mimics 软件 3D 重构模型的精度相当, 对于肝脏模型而言, Arigin 3D Pro 软件的重建时间明显优于 Mimics 软件。

关键词:

Arigin 3D Pro; Mimics; 三维重建; 医学图像; 精度; 偏差分析; 骨科植入物

主题词:

成像, 三维; 计算机模拟; 组织工程

基金资助:

江苏省自然科学基金面上项目(BK20151251)

Accuracy of three-dimensional reconstruction models using Arigin 3D Pro and Mimics software programs

Cao Gui-ping¹, Zhang Ming-jiao², Liu Fei¹, Lian Qin³, Xu Xian-hui² (¹Suzhou Academy, Xi'an Jiaotong University, Suzhou 215021, Jiangsu Province, China; ²Suzhou Arigin Medical Co., Ltd., Suzhou 215021, Jiangsu Province, China; ³Laboratory for Manufacturing System Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, Shaanxi Province, China)

Abstract

BACKGROUND: With the improvement of medical imaging technology, the visualization of human anatomy has been further developed; the role of three-dimensional (3D) reconstruction in medical treatment is also becoming increasingly prominent. Mimics is the most widely used medical image reconstruction software. Arigin 3D Pro is a

Cao Gui-ping, Master Candidate, Suzhou Academy, Xi'an Jiaotong University, Suzhou 215021, Jiangsu Province, China

Corresponding author: Lian Qin, Laboratory for Manufacturing System Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, Shaanxi Province, China



recently developed 3D reconstructed medical software system based on 3D printing.

OBJECTIVE: To study the accuracy of 3D reconstruction models obtained by using Arigin 3D Pro and Mimics with medical images.

METHODS: The image data of liver, spine, knee joint and heart were selected, and the deviations of two software reconstruction models were analyzed based on the 3D model reconstructed by Mimics. Totally 10 cases of skull and 1 case of femoral comminuted fracture image data were selected and reconstructed. Each reconstruction model was measured with 10 groups of feature sizes to evaluate the differences between the two software programs.

RESULTS AND CONCLUSION: Arigin 3D Pro and Mimics were used to reconstruct the liver, spine, knee and heart data. The mean \pm standard deviation of model deviations were (0.93 \pm 1.05), (0.36 \pm 0.74), (0.45 \pm 0.74), (0.18 \pm 0.41) mm. It took 3 minutes and 35 minutes for Arigin 3D Pro and Mimics to reconstruct the liver model respectively, and both software reconstructed other models for less than 1 minute. There was no statistically significant difference between the feature sizes of the two software for the 3D reconstruction models of skull and femoral comminuted fracture data ($P > 0.05$). The 3D reconstruction model of Arigin 3D Pro is comparable to that of Mimics. For the liver model, the reconstructed time of Arigin 3D Pro is significantly shorter than that of Mimics.

Subject headings: Imaging, Three-Dimensional; Computer Simulation; Tissue Engineering

Funding: the Natural Science Foundation of Jiangsu Province, No. BK20151251

0 引言 Introduction

随着计算机图形学和图像处理技术的发展,医学图像三维重建技术可将扫描得到的断层二维图像序列重建成三维图像,并实现立体视图的可视化。相较于二维断层图像,医学图像三维重建可在三维空间内显示病灶特征及周围组织空间位置关系,进而辅助医生精确快速地进行术前诊断,避免误诊^[1]。此外,医生可利用重构软件对三维模型进行旋转、平移、缩放、测量等操作,通过多角度观察及测量分析,可更加科学、准确的进行病情诊断及手术方案制定^[2-3]。

近年来,欧美发达国家在3D打印领域基本控制了医学影像处理三维建模软件的研发,如比利时Materialise公司开发的Mimics(Materialise's interactive medical image control system)软件^[4-5]、英国Simpleware公司的Simpleware软件^[6-7]、美国FEI公司的Amira软件等^[8-9]。相比较,国内已有中国科学院自动化研究所田捷教授团队开发的三维医学影像处理与分析系统3DMed(3D Medical Image Processing and Analyzing System)等^[10-12]。上述几款软件均可将二维医学图像通过三维面绘制生成可用于3D打印的STL格式模型,目前已应用于骨科、颌面外科、心血管等研究领域,其中,Mimics软件的应用最为广泛。近期,昕健医疗推出了自主研发的基于3D打印的医学重构软件系统Arigin 3D Pro,也正逐步占领国内医疗市场,并获得了用户的高度认可^[13]。文章以肝脏、心脏、膝关节、脊柱、头颅、股骨部位的图像数据为依据,进行模型3D重构,旨在探讨Arigin 3D Pro软件和Mimics软件在医学图像三维重建处理中的精确度。

1 对象和方法 Subjects and methods

1.1 设计 样本观察试验。

1.2 时间及地点 于2016年8月至2017年9月在西安交通大学苏州研究院完成。

1.3 对象 2016年8月至2017年9月,在西安交通大学苏州研究院合作医院的影像科数据系统中,选取采用64排螺旋CT机(西门子,德国)扫描获得的肝脏(序列共301张,层厚1.25 mm)、心脏(序列共259张,层厚1.00 mm)、膝关节(序列共501张,层厚1.00 mm)、脊柱(序列共311张,层厚

1.00 mm)部位的医学图像数据各1例;选取10例35-45岁无颅脑疾病的健康成年男性,采用64排螺旋CT机(西门子,德国)扫描的平躺位数据(层厚1.00 mm);选取1例28岁股骨粉碎性骨折的男性患者,采用同种设备扫描的平躺位数据(序列共471张,层厚1.25 mm)。

1.4 软件及电脑配置 本文采用的医学图像三维重建软件有两款,分别为:Arigin 3D Pro V4.0软件(上海昕健医疗,中国)、Mimics V13.0软件(Materialise公司,比利时)。文中所涉及的医学图像重构、数据测量及分析等,均在同一台电脑上进行操作,该电脑配置如下:操作软件为Windows 7 64位,CPU为Intel i5-4590,安装内存(RAM)为8 GB,显卡为NVIDIA GeForce GTX 1060,硬盘空间为1 TB。

1.5 方法

1.5.1 分组方法 将上述获得的肝脏、心脏、膝关节、脊柱部位的医学数据作为实验一,将10例头颅数据、1例股骨粉碎性骨折数据作为实验二。

1.5.2 三维图像重建方法

实验一: 分别将脊柱、膝关节、心脏部位的DICOM数据导入Mimics软件,生成原始蒙板图像,采用阈值分割方法进行模型3D重构,脊柱图像阈值选择150-1 368,膝关节图像阈值选择226-1 765,心脏图像阈值选择180-903。将肝脏部位的DICOM数据导入Mimics软件,采用阈值分割、区域增长、动态区域增长、编辑蒙板、多层编辑等多种功能,进行肝脏数据的图像分割。最后,选用默认重建模式“Custom”,对上述模型进行三维重建,获得各3D重构模型,并以stl格式保存。

同理,分别将脊柱、膝关节、心脏部位的DICOM数据导入Arigin 3D Pro软件,生成原始蒙板图像,选取上述对应相同的阈值区间,采用阈值分割方法对脊柱、膝关节、心脏分别进行模型3D重构,选用默认重建模式“Recommend”,进行三维重建,并以stl格式保存。将肝脏部位的DICOM数据导入Arigin 3D Pro软件,使用肝脏建模功能,逐次进行前景标记、背景标记,完成图像预分割、肝脏分割。选用“Recommend”重建模式,进行三维重建,获得3D重构模型,并以stl格式保存。

采用3-matic软件V12.0(Materialise公司,比利时)软

件,以Mimics软件重构后的3D模型为依据,进行两款软件重构模型的偏差分析,忽略模型偏差区间中靠近两端的边界部分,取模型偏差区间90%的中间区域,结果如图1所示。图1中所示的模型,为两款软件重构4种不同组织后的重叠图像。

实验二:将股骨粉碎性骨折的DICOM数据分别导入到Arigin 3D Pro和Mimics软件中,采用软件默认的阈值及重建模式,进行模型三维重建,获得3D模型(图2)。定义模型关键特征点,如图3A所示;连接相应特征点,获得3D模型10组关键特征尺寸(特征尺寸的定义如表1所示),最后利用两款软件各自的三维测量功能,进行10组特征尺寸的测量。每组特征尺寸分别由同一操作者参照图3A所示的特征点位置,进行5次测量,操作者每次进行10组特征尺寸的全部测量后,再进行下一次10组特征尺寸的测量。第2次测量时,使其第1次测量的数据结果不可见;第3次测量时,使其第1,2次测量的数据结果不可见;第4次测量时,使其第1-3次测量的数据结果不可见;第5次测量时,使其第1-4次测量的数据结果不可见,以保证测量数据的准确性,尽量减小测量者主观因素的影响。最后,每组特征尺寸值的5次测量值,去掉一个最大值、去掉一个最小值,取剩下3次测量值的平均值,作为10组特征尺寸值(如图3B所示)。

分别将10例头颅部位的DICOM数据导入到Arigin 3D Pro和Mimics软件中,采用软件默认的阈值及重建模式,进行模型三维重建,获得3D模型。定义模型关键特征点,如图4A所示;连接相应特征点,获得3D模型10组关键特征尺寸(特征尺寸的定义如表2所示),最后利用两款软件各自的三维测量功能,进行10组特征尺寸的测量。数据测量方法与上述股骨粉碎性骨折案例的测量方法一致,每组特征尺寸分别由同一操作者参照图4A所示的特征点位置,进行5次测量,操作者每次进行10组特征尺寸的全部测量后,再进行下一次10组特征尺寸的测量。每次测量时其之前的测量数据结果不可见,以保证测量数据的准确性,尽量减小测量者主观因素的影响。最后,每组特征尺寸值的5次测量值,去掉一个最大值、去掉一个最小值,取剩下3次测量值的平均值,作为10组特征尺寸值(如图4B所示)。

1.6 主要观察指标 ①实验一观察利用两款软件三维重建后的相对应的三维模型,在偏差区间为90%的中间区域内,最大偏差值和最小偏差值的大小;②实验二观察利用两款软件三维重建后的股骨粉碎性骨折模型10组特征尺寸的值,以及头骨模型10组特征尺寸的值。

1.7 统计学分析采用SPSS 17.0统计软件(SPSS公司,美国)进行统计学数据分析。采用Arigin 3D Pro软件和Mimics软件测量的股骨粉碎性骨折案例10组特征尺寸、头骨案例10组特征尺寸,其数值用 $\bar{x}\pm s$ 表示,两款软件测量数值的比较采用成组设计资料 t 检验,检验水准 α 值取双侧0.05。

2 结果 Results

2.1 实验一结果采用Arigin 3D Pro和Mimics软件分别对肝脏、脊柱、膝关节、心脏部位数据进行三维重建,其中,Arigin 3D Pro和Mimics软件重建肝脏模型的时间分别为3 min、35 min,两款软件重建其他模型的时间均小于1 min。上述重建时间为自模型成功导入软件后开始计算,至3D模型自动完成建模为止,即上述时间包括软件操作时间及三维自动建模时间,不包括模型导入时间。由图1、表3所示的偏差分析结果可知,Arigin 3D Pro和Mimics软件对肝脏、脊柱、膝关节、心脏数据进行三维重建,模型偏差的均值 \pm 标准差分别为(0.93 \pm 1.05), (0.36 \pm 0.74), (0.45 \pm 0.74), (0.18 \pm 0.41) mm,模型重合率分别为99.26%, 99.89%, 99.91%, 99.85%。

2.2 实验二结果采用Arigin 3D Pro和Mimics软件重建股骨模型、头骨模型,并分别进行10组特征尺寸的测量,由表4, 5的统计结果可知,Arigin 3D Pro软件重构模型的10组特征尺寸与Mimics的差异无统计学意义(P 均 $>$ 0.05)。

3 讨论 Discussion

3.1 医学图像三维重建技术的发展现状目前,CT、MRI等断层扫描图像已成为医学诊断的重要依据,但医生仅从一系列的二维图像很难想象病变组织的三维结构,这对医生的空间想象能力和临床经验有较高要求^[1-14];此外,由于医学图像的模糊性,图像中病灶的边缘、拐角及区域间的关系都难以精确描述,显著增加了诊断和治疗的难度^[15]。此时,医学图像三维重建技术应运而生,并弥补了图像二维空间显示的不足,为医生诊断提供科学准确的依据。2001年,西安交通大学李涤尘教授等开展了对医学图像三维重建技术的探索,并提出重建后的三维实体模型在骨科、口腔颌面外科等生物制造领域有较好的应用前景^[16-17]。2007年,裴国献教授^[18]率先提出了“数字骨科学”的概念,并指出医学三维重建是实现二维到三维、平面到立体、静态到动态的技术基础。相继地,国内外专家学者对三维重建技术进行了深入探索,并将其成功应用于骨科、颌面外科、整形外科、神经外科、口腔科、运动医学科等^[19-23]。

随着3D打印技术的发展,在个性化医疗中,医生可通过3D打印与医学三维重建技术的结合进行术前诊断和模拟,并对患者的损伤部位进行量身定制。利用3D打印技术构建的患者解剖模型、手术器械模型和植入物模型(如金属垫块、人工椎体、骨盆重建假体等),外科医生可以对一些复杂的手术进行术前规划和操作练习^[24]。复杂手术的术前评估及分型是选择手术方案的基础,传统的影像学资料难以直观了解骨折情况。3D打印技术根据三维重建后的模型数据,直接、精确地打印出手术区域解剖结构的三维实体模型,可协助医师做出更准确的术前评估、分型和诊断,制定更详细的手术方案,并在模型上进行操作演练,从而缩短手术时间,提高手术的成功率^[25]。此外,生物3D打印

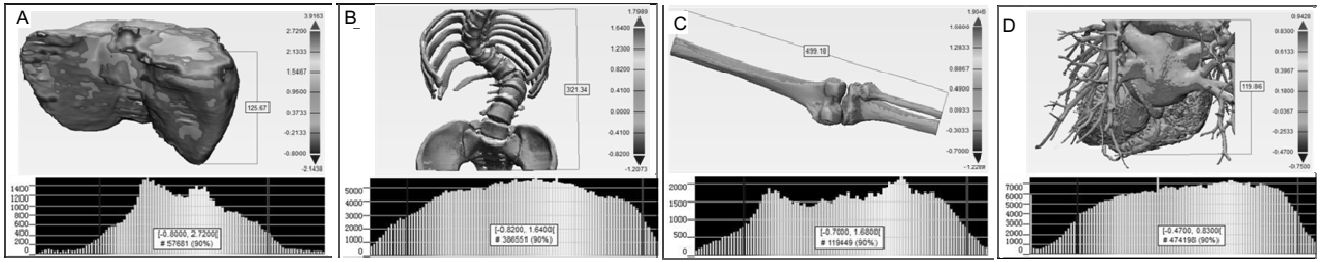


图 1 Arigin 3D Pro 软件与 Mimics 软件三维重建模型的偏差分析

Figure 1 Deviations analysis of three-dimensional reconstruction models using Arigin 3D Pro and Mimics software programs

图注: 图 A 为肝脏模型; B 为脊柱模型; C 为膝关节模型; D 为心脏模型。

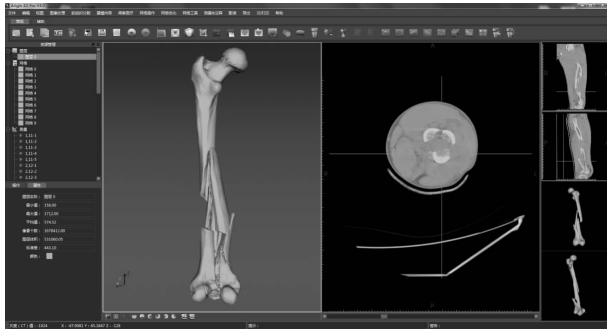


图 2 Arigin 3D Pro 软件重建股骨粉碎性骨折 3D 模型

Figure 2 Three-dimensional reconstruction models of femoral comminuted fracture obtained by using Arigin 3D Pro software

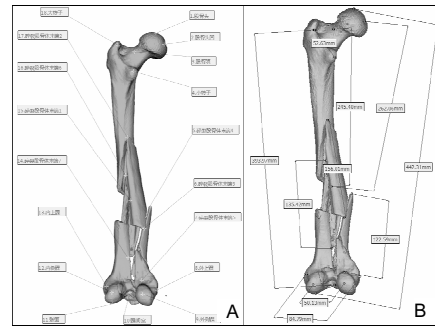


图 3 股骨粉碎性骨折 3D 模型关键特征点的定义(A)、特征尺寸的测量(B)

Figure 3 Definition of feature (A) and size measurement (B) of three-dimensional reconstruction models of femoral comminuted fracture

表 1 股骨粉碎性骨折案例特征尺寸定义

Table 1 Definition of feature sizes of femoral comminuted fracture cases

特征尺寸	两特征点
尺寸 1	1: 股骨头; 11: 髌面
尺寸 2	2: 股骨头凹; 15: 碎裂股骨体末端 1
尺寸 3	4: 小转子; 18: 大转子
尺寸 4	3: 股骨颈; 15: 碎裂股骨体末端 1
尺寸 5	8: 外上髌; 13: 内上髌
尺寸 6	9: 外侧髌; 12: 内侧髌
尺寸 7	10: 髌间窝; 18: 大转子
尺寸 8	6: 碎裂股骨体末端 3; 17: 碎裂股骨体末端 2
尺寸 9	5: 碎裂股骨体末端 4; 7: 碎裂股骨体末端 5
尺寸 10	14: 碎裂股骨体末端 7; 16: 碎裂股骨体末端 6

表 2 头骨案例特征尺寸定义

Table 2 Definition of feature sizes of skull cases

特征尺寸	两特征点
尺寸 1'	1': 眉间; 5': 颞隆突
尺寸 2'	2': 鼻骨; 10': 鼻嵴
尺寸 3'	3': 左侧颧骨; 3': 右侧颧骨
尺寸 4'	4': 左侧颞孔; 4': 右侧颞孔
尺寸 5'	7': 左侧尖牙窝; 7': 右侧尖牙窝
尺寸 6'	8': 左侧眶下孔; 8': 右侧眶下孔
尺寸 7'	9': 左侧下颌头; 9': 右侧下颌头
尺寸 8'	6': 左侧下颌角; 6': 右侧下颌角
尺寸 9'	11': 左侧泪骨; 11': 右侧泪骨
尺寸 10'	2': 鼻骨; 5': 颞隆突

表 4 利用 Arigin 3D Pro 和 Mimics 软件重建股骨模型的特征尺寸对比

Table 4 Comparison results of the feature sizes of femoral comminuted fracture case using Arigin 3D Pro and Mimics software programs

尺寸	Mimics 软件	Arigin 3D Pro 软件	t 值	P 值
尺寸 1	44.20±0.49	44.61±0.48	-1.492	0.167
尺寸 2	261.74±0.27	261.92±0.58	0.700	0.500
尺寸 3	52.67±0.16	52.77±0.65	0.345	0.737
尺寸 4	245.26±0.78	244.54±0.83	-1.553	0.151
尺寸 5	84.98±0.48	84.13±0.38	-3.400	0.007
尺寸 6	49.93±0.33	49.66±0.28	-1.559	0.150
尺寸 7	394.09±0.64	393.83±0.51	-0.785	0.451
尺寸 8	155.43±0.52	155.86±0.35	-1.673	0.125
尺寸 9	122.74±0.16	122.63±0.14	-1.300	0.223
尺寸 10	134.97±0.22	135.04±0.37	0.144	0.692

表 5 利用 Arigin 3D Pro 和 Mimics 软件重建头骨模型的特征尺寸对比

Table 5 Comparison results of the feature sizes of skull cases using Arigin 3D Pro and Mimics software programs

尺寸	Mimics 软件	Arigin 3D Pro 软件	t 值	P 值
尺寸 1	119.49±0.38	119.24±0.30	-1.271	0.233
尺寸 2	28.71±0.24	28.35±0.33	-2.139	0.058
尺寸 3	87.08±0.30	87.35±0.43	1.231	0.247
尺寸 4	245.26±0.78	49.87±0.25	-2.211	0.061
尺寸 5	39.57±0.28	39.46±0.30	-0.694	0.503
尺寸 6	48.47±0.32	48.32±0.32	-0.813	0.435
尺寸 7	125.92±0.34	125.54±0.35	-1.898	0.087
尺寸 8	100.87±0.38	100.83±0.29	-0.213	0.836
尺寸 9	19.98±0.27	19.81±0.21	-1.211	0.254
尺寸 10	88.24±0.47	87.70±0.36	-2.183	0.054

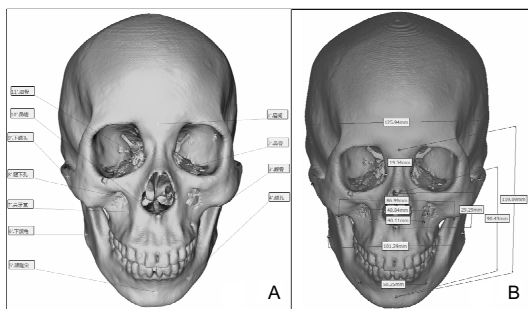


图4 头骨3D模型关键特征点的定义(A)、特征尺寸的测量(B)
Figure 4 Definition of feature points (A) and measurement of feature sizes(B) of three-dimensional reconstruction models of skull

技术^[26]、基于梯度结构的假体设计及制造技术^[27-28]、微纳尺度3D打印技术^[29]、多色鼠多材料多尺度工艺结构设计及制造技术等前瞻技术^[30-31], 正处于紧张研究阶段, 仍然面临诸多方面的挑战。

目前, 应用较为广泛的医学图像三维重建软件包括Mimics、Simpleware、Amira等。Mimics软件提供强大的图像处理功能, 可将二维图像数据复原为符合人体器官生理特征的三维模型, 实现生理特征信息的再复制。此外, Mimics还包括解剖学测量、图像配准、手术规划、定制化导板设计以及有限元分析等功能模块, 其在医学图像处理领域的应用最为广泛^[5-6, 32]。Simpleware软件和Amira软件也均可实现医学图像的三维重构, 但因软件操作较为复杂、占用内存较大等原因, 且较多应用于石油勘探、地质等领域, 故限制了软件在医学领域的应用^[6-8]。

近年来, 虚拟现实(Virtual Reality, VR)技术在医疗领域的运用也逐渐被探索和实践^[33-34]。医学三维重建技术结合虚拟现实技术, 可实现模型三维空间中的可视化显示和实时交互, 其在医学解剖学教学领域的优势尤为显著^[35]。对于医学解剖课而言, 学生可通过调节任意角度、大小、透明度, 全方位观察人体模型, 并可观察除皮肤肌理外, 包括骨骼、血管、肌肉结构等的所有内容, 这不仅将改变医学实验及教学的传统模式, 解放学生思想, 同时对于未来医学研究及生物解剖也具有深远意义^[36-37]。

3.2 Mimics和Arigin 3D Pro软件3D重构模型的精度分析
比利时Materialise公司的医学重构软件Mimics, 可将二维医学图像通过三维面绘制生成可以用于3D打印的STL格式模型, 目前已经在全球用于骨科、颌面外科、心血管行业的学术及商业研究领域^[4, 22]。

国内方面, 上海昕健医疗技术有限公司拥有独立知识产权的Arigin 3D Pro医学重构软件, 可实现医学图像中骨、肌肉、皮肤、心脏、肝脏、金属植入物等的三维重建, 并可与商业化的3D打印机无缝连接, 目前已成功应用于骨科、创伤等领域的临床及科研研究^[13, 38-39]。在肝脏分割方面, Arigin 3D Pro软件具有独特优势。

由表3可知, Arigin 3D Pro软件与Mimics软件重构的肝脏、脊柱、膝关节、心脏模型的均值±标准差分别为

表3 利用Arigin 3D Pro和Mimics软件三维重建模型的偏差分析结果 (mm)

Table 3 Deviations analysis results of reconstruction models using Arigin 3D Pro and Mimics software programs

部位	最小偏差	最大偏差	$\bar{x} \pm s$	模型最大尺寸	偏差百分比(均值/模型最大尺寸)	模型重合率
肝脏	-0.80	2.72	0.93±1.05	125.67	0.74%	99.26%
脊柱	-0.82	1.64	0.36±0.74	321.34	0.11%	99.89%
膝关节	-0.70	1.68	0.45±0.74	499.18	0.09%	99.91%
心脏	-0.47	0.83	0.18±0.41	119.86	0.15%	99.85%

(0.93±1.05), (0.36±0.74), (0.45±0.74), (0.18±0.41) mm, 模型重合率分别为99.26%、99.89%、99.91%、99.85%。从医学临床及模型的整体尺寸而言, 上述误差可忽略。

对于脊柱、膝关节和心脏数据而言, Arigin 3D Pro软件与Mimics软件的三维重建时间无差异, 重构时间均小于1 min。但对于肝脏数据而言, Arigin 3D Pro软件的模型重构时间为3 min, 明显小于Mimics软件的35 min。Mimics软件虽具备强大的图像分割功能, 包括阈值分割、区域增长、动态区域增长等, 可实现骨骼、心脏、皮肤等组织的分割, 但上述功能均为通用型, 并非专门针对肝脏组织研发的功能, 对肝脏数据进行分割时, 仍需要较多的人为操作, 较为费时; Arigin 3D Pro软件针对肝脏组织图像特征, 结合多种医学图像分割算法优点, 为肝脏组织特制了模块化的一键式分割功能, 能够大幅减少人为交互操作, 高效利用计算机的强大存储及计算性能, 实现简单、快捷、精准的肝脏提取, 获取肝脏模型时间远远小于Mimics软件。

Arigin 3D Pro软件进行医学图像三维重构, 操作简便, 重构响应速度快, 同时, 软件拥有中英文两版操作界面, 降低了不必要的语言障碍, 医生适用性好。此外, Arigin 3D Pro软件提供3D打印分层模块, 能够对重建后的模型直接分层、切片, 切片结果可与3D打印机实现无缝对接; Arigin 3D Pro软件还提供VR显示模块, 利用计算机生成模拟手术场景, 可将各种模型数据添加到场景中, 用户通过佩戴VR头盔, 借助VR手柄, 可实现对模型的平移、旋转、缩放、复位等功能。

然而, 任何软件都不是完美的, Arigin 3D Pro相比于拥有25年发展历史的Mimics软件仍然存在较多不足之处。Mimics软件除了支持DICOM数据、网格模型数据、蒙板数据等格式的导入/导出外, 还支持bmp、jpeg、tiff格式。此外, 相较于Arigin 3D Pro软件, Mimics软件具备完善的手术模拟功能模块以及有限元仿真分析模块, 且支持与Ansys、Abaqus、Patran、Fluent等专业有限元分析软件的接口, 方便后续完善的力学性能分析等操作。

3.3 不足与展望 为了保证两款软件的三维重建模型精度对比分析的准确性和公正性, 进行各模型重建时基于相同的图像阈值, 采用了各软件默认的重建模式, 并未采用软件其他丰富的分割、重建、优化等功能, 因此, 两款软件实际的高级分割、重建及优化等功能的效果均未得到有

效展示。此外，由于病例数量等的限制，导致本研究样本量较小，后续仍需基于大样本数据分析进行更深入的研究。

作者贡献：第一作者、第二作者负责医学图像数据等临床数据的收集及分析，第三作者、通讯作者及第五作者负责数据的测量及分析，第一作者总结数据并成文，第二作者予以审阅并修改。

经费支持：该文章接受了“江苏省自然科学基金面上项目(BK20151251)”的资助。所有作者声明，经费支持没有影响文章观点和对研究数据客观结果的统计分析及其报道。

利益冲突：所有作者共同认可文章及内容不涉及相关利益冲突。

伦理问题：临床试验研究的实施符合《赫尔辛基宣言》和医院对人体研究的相关伦理要求。文章的撰写与编辑修改后文章遵守了《观察性临床研究报告指南》(STROBE指南)。实验采用的CT数据已征得提供者知情同意，提供者在充分了解实验过程的前提下签署“知情同意书”。

文章查重：文章出版前已经过CNKI反剽窃文献检测系统进行3次查重。

文章外审：文章经国内小同行外审专家双盲外审，符合本刊发稿宗旨。

作者声明：第一作者对研究和撰写的论文中出现的不端行为承担责任。论文中涉及的原始图片、数据(包括计算机数据库)记录及样本已按照有关规定保存、分享和销毁，可接受核查。

文章版权：文章出版前杂志已与全体作者授权人签署了版权相关协议。

开放获取声明：这是一篇开放获取文章，根据《知识共享许可协议》“署名-非商业性使用-相同方式共享3.0”条款，在合理引用的情况下，允许他人以非商业性目的基于原文内容编辑、调整和扩展，同时允许任何用户阅读、下载、拷贝、传递、打印、检索、超级链接该文献，并为之建立索引，用作软件的输入数据或其它任何合法用途。

4 参考文献 References

- [1] 周勇,邹春华,张朝跃.三维可视化系统对髋关节骨性结构的评价[J].中国组织工程研究,2014,18(4): 601-606.
- [2] 李靖,杨龙,王建吉,等.基于DICOM数据三维重建及其对骨科植入物的指导应用[J].中国组织工程研究, 2017,21(7): 1046-1051.
- [3] 黄若昆,谢鸣,余嘉,等.虚拟现实技术应用于髋部骨折手术仿真的建立[J].中国组织工程研究,2013,17(13): 2383-2389.
- [4] 王娇,刘洋,张晓玲,等. Mimics软件在医学图像三维重建中的应用[J]. 医疗卫生装备,2015,36(2): 115-118.
- [5] 张海峰,史冠忠,朱洪智,等. 基于图像数据建立器官三维模型[J]. 中国组织工程研究,2015,19(40): 6547-6552.
- [6] Ma L,Zhou Y,Zhang Y,et al. Biomechanical effects of masticatory muscles on human mandible after reconstructed mandibulectomy tumor. *J Craniofac Surg*. 2015 Jan 30. [Epub ahead of print]
- [7] 尹庆水,万磊. Simpleware软件功能及其在数字骨科的应用 数字骨科入门(三)[J]. 中国骨科临床与基础研究杂志,2010,2(1):72-74.
- [8] Flores RL,Liss H,Raffaelli S,et al. The technique for 3D printing patient-specific models for auricular reconstruction. *J Craniomaxillofac Surg*.2017; 45(6): 937-943.
- [9] 薛艳青,杨春兰,高宏建,等. 利用Amira进行帕金森病靶点核团的分割及三维重建[J]. 医疗卫生装备,2012,33(8):1-3.
- [10] Dong D, Tian J, Dai Y, et al. Unified reconstruction framework for multi-modal medical imaging. *J Xray Sci Technol*. 2011;19(1):111-126.
- [11] Tian J, Zhao M, Xue J, et al. 3DMed: An integrated 3D medical image processing and analyzing system. 2004: 585-594.
- [12] 钟小虎. PC机CT三维成像在模拟规划肝脏手术中的应用[D]: 南昌大学, 2012.
- [13] 邱冰,张明娟,唐本森,等.个性化手术导板在全膝关节置换术中的应用[J].中华骨科杂志,2016,36(3): 143-150.
- [14] 唐通鸣,邓佳文,张政,等. 基于逆向工程和快速成型技术的髋骨三维实体模型个性化重建[J].中国组织工程研究, 2015,19(26): 4253-4257.
- [15] 陈中,邢跃刚,罗绍华.利用数字几何技术重建个性化骨骼模型[J]. 中国组织工程研究,2016,20(39): 5846-5851.
- [16] 滕勇,王臻,李迪尘,等. 快速成型的个体化人工半膝关节的研制——股骨髁的三维建模[J]. 中国修复重建外科杂志, 2004,18(4):257-360.
- [17] 滕勇,王臻,刘非,等. 生物工程活性骨的三维建模[J]. 第四军医大学学报, 2001,22(22):2026-2029.
- [18] 裴国献,张元智. 数字骨科学:一门骨科学新分支的萌生[J]. 中华创伤骨科杂志, 2007,9(7):601-604.
- [19] 张维杰,连芩,李涤尘,等.基于3-D打印技术的软骨修复及软骨下骨重建[J].中国修复重建外科杂志, 2014, 28(3): 318-324.
- [20] 付军,王臻,郭征,等. 数字化结合3D打印个体化导板的设计加工及其在骨肿瘤手术中的应用[J]. 中华创伤骨科杂志, 2015, 17(1): 50-54.
- [21] 章莹,李宝丰,王新宇,等. 术前3D打印技术模拟复杂骨盆骨折手术提高疗效的可行性研究[J]. 中华创伤骨科杂志,2015,17(1):29-33.
- [22] Chen Z, Chen D, Tang L, et al. Relationship between the position of the mental foramen and the anterior loop of the inferior alveolar nerve as determined by cone beam computed tomography combined with mimics. *J Comput Assist Tomogr*. 2015;39(1):86-93.
- [23] Qian L,Li P,Wu W,et al. Restoration of the spinal canal volume in stenosis dependent on pedicle-lengthening distance in pedicle-lengthening osteotomy: A three dimensional simulation. *Bone Joint J*. 2016;98-B(2):238-243.
- [24] Luo H, Meyer-Szary J, Wang Z, et al. Three-dimensional printing in cardiology: Current applications and future challenges. *Cardiol J*. 2017;24(4):436-444.
- [25] Oh TS, Jeong WS, Chang TJ, et al. Customized orbital wall reconstruction using three-dimensionally printed rapid prototype model in patients with orbital wall fracture. *J Craniofac Surg*. 2016;27(8): 2020-2024.
- [26] Kang HW, Lee SJ, Ko IK, et al. A 3D bioprinting system to produce human-scale tissue constructs with structural integrity. *Nat Biotechnol*. 2016;34(3):312-319.
- [27] Arabnejad S, Burnett JR, Pura JA, et al. High-strength porous biomaterials for bone replacement: A strategy to assess the interplay between cell morphology, mechanical properties, bone ingrowth and manufacturing constraint]. *Acta Biomaterialia* 2016;30(8):345.
- [28] Wang X, Xu S, Zhou S, et al. Topological design and additive manufacturing of porous metals for bone scaffolds and orthopaedic implants: A review. *Biomaterials*.2016;83:127-141.
- [29] 兰红波,李涤尘,卢秉恒. 微纳尺度3D打印[J].中国科学:技术科学, 2015, 45(9):919-940..
- [30] 史玉升,张李超,白宇,等. 3D打印技术的发展及其软件实现[J].中国科学:信息科学,2015,45(2): 197-203.
- [31] Giannopoulos AA, Steigner ML, George E, et al. Cardiothoracic applications of 3-dimensional printing. *J Thorac Imaging*. 2016;31(5): 253-272.
- [32] Parthasarathy J. 3D modeling, custom implants and its future perspectives in craniofacial surgery. *Ann Maxillofac Surg*. 2014;4(1): 9-18.
- [33] Sirimanna P, Gladman MA. Development of a proficiency-based virtual reality simulation training curriculum for laparoscopic appendicectomy. *ANZ J Surg*. 2017;87(10):760-766.
- [34] Hashimoto DA, Petrusa E, Phitayakorn R, et al. A proficiency-based virtual reality endoscopy curriculum improves performance on the fundamentals of endoscopic surgery examination. *Surg Endosc*. 2017 Aug 15. doi: 10.1007/s00464-017-5821-5.
- [35] McGrath JL, Taekman JM,Dev P, et al. Using virtual reality simulation environments to assess competence for emergency medicine learners. *Acad Emerg Med*. 2017 Sep 9. doi: 10.1111/acem.13308.
- [36] 孔祥溢,王任直. 虚拟现实技术在神经外科手术规划及教学培训中的应用[J]. 中国医学物理学杂志, 2017,34(6): 641-643.
- [37] 石巧,侯建霞.虚拟现实技术在口腔诊疗操作培训中的应用[J]. 国际口腔医学杂志, 2015,42(1):69-74.
- [38] Qiu B, Liu F, Tang B, et al. Clinical study of 3D imaging and 3D printing technique for patient-specific instrumentation in total knee arthroplasty. *J Knee Surg*. 2017;30(8):822-828..
- [39] 邱冰,唐本森,邓必勇,等.基于三维反求技术和计算机辅助技术的3D打印导板在全膝关节置换术中的初步应用[J].中华创伤骨科杂志, 2016,18(1): 35-41.