

上海交通大学医学院



学者介绍

Author introduction



艾松涛 博士

副主任医师、硕士生导师

ORCID ID: 0000-0002-5580-1513

AI Song-tao

M.D, Ph.D

Associate Chief Physician, Master's Supervisor

ORCID ID: 0000-0002-5580-1513

艾松涛 (1978—), 上海交通大学医学院附属第九人民医院放射科副主任医师, 硕士生导师。2011 年于上海交通大学医学院获博士学位。2012 年赴美国梅奥临床中心进修。现为中华医学会放射学分会骨组委员、国际矫形与创伤外科学会 (SICOT) 中国部数字骨科学会委员、国家自然科学基金委员会评审专家。

• 长期从事以骨关节及颌面颈部影像诊断为主的临床研究工作。运用功能成像、分子影像等手段辅助临床诊断、手术规划及术后影像随访; 运用影像图像配准融合判定肿瘤手术安全切除边界, 辅助设计内植物。先后在相关领域发表论文 30 余篇, 其中 SCI 收录论文 13 篇。主持国家自然科学基金项目及省市级课题共 7 项。作为附属第九人民医院 3D 金属打印及临床转化中心成员, 协助戴尅戎院士于 2014 年初完成中国第 1 例 3D 打印骨盆假体设计。2015 年入选上海市浦江人才计划、上海市教育委员会高峰高原学科建设计划。曾获华夏医学科技进步奖三等奖、上海市科技进步奖二等奖、上海康复医学科技奖三等奖。

AI Song-tao born in 1978, associate chief physician and master's supervisor of Department of Radiology, Shanghai Ninth People's Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine. He obtained his doctor's degree from Shanghai Jiao Tong University School of Medicine in 2011. As a visiting scholar, he went to Mayo Clinic (Rochester, MN, USA) in 2012 and worked there for one year. He is currently a committee member of the Orthopedics group of Radiology Department of Chinese Medical Association, a committee member of the Digital Orthopedics of SICOT China and an expert reviewer of the National Natural Science Foundation of China.

• His clinical work focuses on diagnostic radiology of joints and maxillofacial, the use of functional imaging and molecular imaging in diagnosis, pre-surgical planning and post-surgical follow-up, the use of image registration and image fusion in determining the tumor boundary, and the designing of surgical implants. In recent years, he has published more than 30 articles in related fields, including 13 SCI indexed ones, and has been in charge of 7 research projects from national or local foundations. As a member of the clinical translational R&D center of 3D-printing technology, he assisted Academician DAI Ke-rong in designing the first 3D-printing based pelvic prosthesis in China in 2014. He was selected into "Shanghai Pujiang Plan" and "Shanghai Municipal Education Commission—Gaofeng Clinical Medicine Grant Support" in 2015. He has won the third prize of "China Medical Science and Technology Advancement Award", the second prize of "Shanghai Science and Technology Advancement Award" and the third prize of "Shanghai Rehabilitation Medical Science and Technology Advancement Award".



论著·临床研究

3D 打印个性化导板在骨肿瘤经皮穿刺活检中的初步应用

曲 扬^{1,2}, 艾松涛^{2#}, 武 文^{1#}, 王 磊¹, 李小敏², 姜闻博³, 郝永强¹, 戴克戎¹

1. 上海交通大学医学院附属第九人民医院骨科, 上海市骨科内植物重点实验室, 上海 200011; 2. 上海交通大学医学院附属第九人民医院放射科, 上海 200011; 3. 上海交通大学医学院附属第九人民医院 3D 打印技术临床转化研发中心, 上海 200240

[摘要] 目的·初步探讨基于影像图像数字化处理及 3D 打印技术设计的个性化导板应用于骨肿瘤经皮穿刺活检手术的可行性。

方法·回顾性分析 2017 年 7 月—2018 年 3 月以骨肿瘤诊断收治入上海交通大学医学院附属第九人民医院行活检穿刺的患者 11 例 (男 6 例, 女 5 例; 年龄 7 ~ 69 岁, 平均 36 岁)。术前常规行 CT 和 MRI 增强检查, DICOM 数据导入 Medraw Print 软件, 记录肿瘤的大小、位置; 骨科医师明确进针方位后, 依据特定骨肿瘤区域的解剖结构, 设计并 3D 打印个性化穿刺导板。记录术中 3D 打印个性化导板与穿刺解剖结构匹配程度及进针位置, 观察术后有无并发症。以 X 线或 CT 证实穿刺是否成功, 并以开放手术的病理结果为参考标准, 评估穿刺结果的准确性。**结果**·11 例患者包括股骨 4 例、骨盆 3 例、胫骨 2 例、肩胛骨及掌骨各 1 例, 3D 打印个性化导板基本贴合穿刺部位解剖结构, 进针方位深度均与术前设计方案一致, 术中无重要解剖结构损伤, 术后未出现血管、神经损伤症状。8 例 (88.9%) 患者穿刺送检组织与术后病理良恶性结果基本一致, 2 例患者因穿刺活检为良性肿瘤未行骨肿瘤切除术。**结论**·基于影像图像数字化处理及 3D 打印技术设计的个性化定制导板能够实现骨肿瘤的精准穿刺, 对提升骨肿瘤术前诊断的准确性以及优化治疗方案具有重要意义。

[关键词] 骨肿瘤; 个性化穿刺导板; 活检手术; 3D 打印技术; 图像配准融合

[DOI] 10.3969/j.issn.1674-8115.2018.09.009 **[中图分类号]** R445, R738.1 **[文献标志码]** A

Preliminary application of 3D printed customized guide in bone tumor biopsy

QU Yang^{1,2}, AI Song-tao^{2#}, WU Wen^{1#}, WANG Lei¹, LI Xiao-min², JIANG Wen-bo³, HAO Yong-qiang¹, DAI Ke-rong¹

1. Shanghai Key Laboratory of Orthopaedic Implants, Department of Orthopaedics, Shanghai Ninth People's Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200011, China; 2. Department of Radiology, Shanghai Ninth People's Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200011, China; 3. Clinical Translational R&D Center of 3D Printing Technology, Shanghai Ninth People's Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, Shanghai 200240, China

[Abstract] Objective·To explore the feasibility of applying customized guide, based on digital image processing and 3D printing technology, to bone biopsy. **Methods**·Eleven patients (6 males and 5 females; 7–69 years old, average age of 36 years) diagnosed with bone tumor from July 2017 to March 2018 in Shanghai Ninth People's Hospital were enrolled in this study. Routine CT and/or MRI data were taken as reference in designing the customized biopsy guide for 3D printing by Medraw Print software. Needle insertion points were set under the supervision of surgeons to avoid damaging important anatomical structures such as nerves and blood vessels. 3D printed customized guide was designed to match local surface. The success of the puncture was confirmed by X-ray or CT, and the accuracy of the puncture results was evaluated by the pathological results of resection operation as a reference standard. The complications were analyzed. **Results**·The 11 patients included 4 cases with neoplasms in femur, 3 cases in pelvis, 2 cases in tibia, 1 case in scapula and 1 case in metacarpal. The needling positions in operation were consistent with the preoperative virtual design, and the guide plates fitted perfectly to the body surface. The results of biopsy of 8 patients (88.9%) matched with the postoperative pathology, while another 2 patients did not receive bone tumor resection because of the benign biopsy. No complications were observed during or after the procedure. **Conclusion**·Customized guide by digital image processing and 3D printing may have a great value in improving the accuracy of preoperative tumor diagnosis and the effectiveness of its treatment.

[Key words] bone tumor; customized guide; biopsy; 3D printing technology; image registration and fusion

[基金项目] 国家自然科学基金 (81301546); 上海市教育委员会高峰高原计划 (20152221); 上海交通大学医学院附属第九人民医院临床研究助力计划 (JYLJ025); 上海交通大学医工交叉面上项目 (YG2017MS03); 上海交通大学医学院 IV 类高峰学科项目 (GXQ08, GXQ11); 上海交通大学医学院科技处技术转移推广项目 (ZT201814); 上海市科学技术委员会科技支撑项目 (18441903100); 上海市综合医院中西医结合专项建设 (ZHYX-ZXYJHZZ-1-03) (National Natural Science Foundation of China, 81301546; Shanghai Municipal Education Commission—Gaofeng Clinical Medicine Grant Support, 20152221; Clinical Research Program of Shanghai 9th People's Hospital, Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, JYLJ025; Interdisciplinary Program of Shanghai Jiao Tong University, YG2017MS03; Shanghai Jiao Tong University School of Medicine IV Class Peak Discipline Project, GXQ08, GXQ11; Technology Transfer Project of Science & Technology Dept., Shanghai Jiao Tong University School of Medicine, ZT201814; Supporting Technology Project of Shanghai Science and Technology Commission, 18441903100; Special Program of Integrated Chinese Traditional and Western Medicine in Shanghai General Hospital, ZHYX-ZXYJHZZ-1-03)。

[作者简介] 曲 扬 (1991—), 男, 硕士生; 电子信箱: qyquyang@126.com。

[通信作者] 武 文, 电子信箱: 13761003720@163.com。艾松涛, 电子信箱: ai.songtao@qq.com。# 为共同通信作者。

微创活检手术是骨肿瘤诊疗过程中的重要环节。精准的肿瘤活检手术能够提供完整有效的组织病理学诊断和分级信息^[1], 为制定和优化肿瘤诊疗方案提供依据, 改善患者的治疗效果和生活质量。然而, 依靠少量的穿刺活检组织, 确定骨肿瘤的病理类型, 既是一种挑战, 也隐藏着风险^[2]。开放式切开活检手术创面较大, 有时影响保肢手术的实施, 严重时甚至危及患者生命^[3-4]。因而, 术前微创精准穿刺活检至关重要。目前传统穿刺活检手术多基于手术医师经验和临床影像学设备的引导, 常常带有一定的盲目性, 延长了患者手术时间, 增加了辐射量及手术并发症^[5]。随着 3D 打印技术日渐兴起, 一系列个体化导板在骨科创伤、脊柱、矫形等领域逐步应用, 并取得了令人满意的成果^[6], 为课题组应用个体化经皮穿刺导板辅助骨肿瘤活检提供了可靠的理论依据。本研究通过回顾性分析 11 例收入上海交通大学医学院附属第九人民医院 (以下简称九院) 接受穿刺活检手术的骨肿瘤患者的临床资料, 初步探讨了基于影像图像数字化处理及 3D 打印技术设计的个体定制导板辅助骨肿瘤的精准穿刺的可行性。

1 资料与方法

1.1 病例资料

纳入标准: 于 2017 年 7 月—2018 年 3 月九院经临床病史与影像学检查诊断为骨肿瘤收治入院的患者, 肿瘤性质无法明确, 需要进行活检手术, 术前已完成病变区域 CT 和 MRI 增强检查, 无手术禁忌证; 影像学检查提示病变位置较深, 或病变部位异质性强, 常规活检手术取材困难。排除标准: 存在影像学检查禁忌证、未能行 3D 打印个体化导板辅助穿刺活检的患者。

1.2 影像学检查与评估

CT 检查: 128 排双源 CT 机 (SOMATOM Definition FLASH, 德国 Siemens), 依据骨肿瘤部位不同选择不同的扫描序列。扫描参数常规设置为管电压 120 kV, 基准管电流时间 333.0 mA · s, 探测器准直 32.0 mm × 0.6 mm, 螺距 0.6 mm, 层厚 0.625 mm, 无间隔。

MRI 检查: 3.0T MR 扫描仪 (MAGNETOM Verio 3.0T, 德国 Siemens), 常规扫描参数为以 T1WI 增强序列为主要参考标准, TR/TE=600/11 ms, FOV 依据扫描部位调整, 层厚 2 ~ 3 mm。

所有病例均由 2 名高年资放射科医师双盲评价 CT、MRI 图像, 记录病变位置、大小、周围解剖结构关系。若两者的评价结果不一致, 则由 2 名医师讨论决定。以

DICOM 3.0 标准数据格式存储, 导入医用手术设计软件 Medraw Print [影为医疗科技 (上海) 有限公司] 中。

1.3 个体化穿刺导板设计及加工

患者的 CT 和 MRI 数据导入至 Medraw Print 软件, 选择 CT 和 MRI 的配准融合模块, 完成不同图像间的校准; 临床医师依据 MRI 图像, 判定肿瘤病变范围内代谢最活跃的区域, 于 CT 图像中确定穿刺的靶点; 参照后期手术切口的位置, 同时避开重要的血管和神经, 从而设计穿刺的最优方向, 最终确定经皮穿刺的进针点和导向孔方向, 软件给出穿刺取材的深度和范围。依据骨肿瘤周围特定的骨性解剖标志 (如胫骨粗隆、股骨大粗隆、髌前上嵴等) 等, 确定穿刺导板固定位置, 生成个体化穿刺导板模型 STL 文件, 导入 3D 打印设备中。

3D 打印技术设备为光固化立体造型 Object 260 Connex3 (Stratasys 公司, 以色列), 3D 打印材料为光敏树脂 MED 610 (Stratasys 公司, 以色列)。导板打印完成后, 去除支撑材料, 清洗、低温消毒, 检验并记录导向孔的内径与手术前设计方案比对无误后, 再次消毒, 封装, 待手术使用。

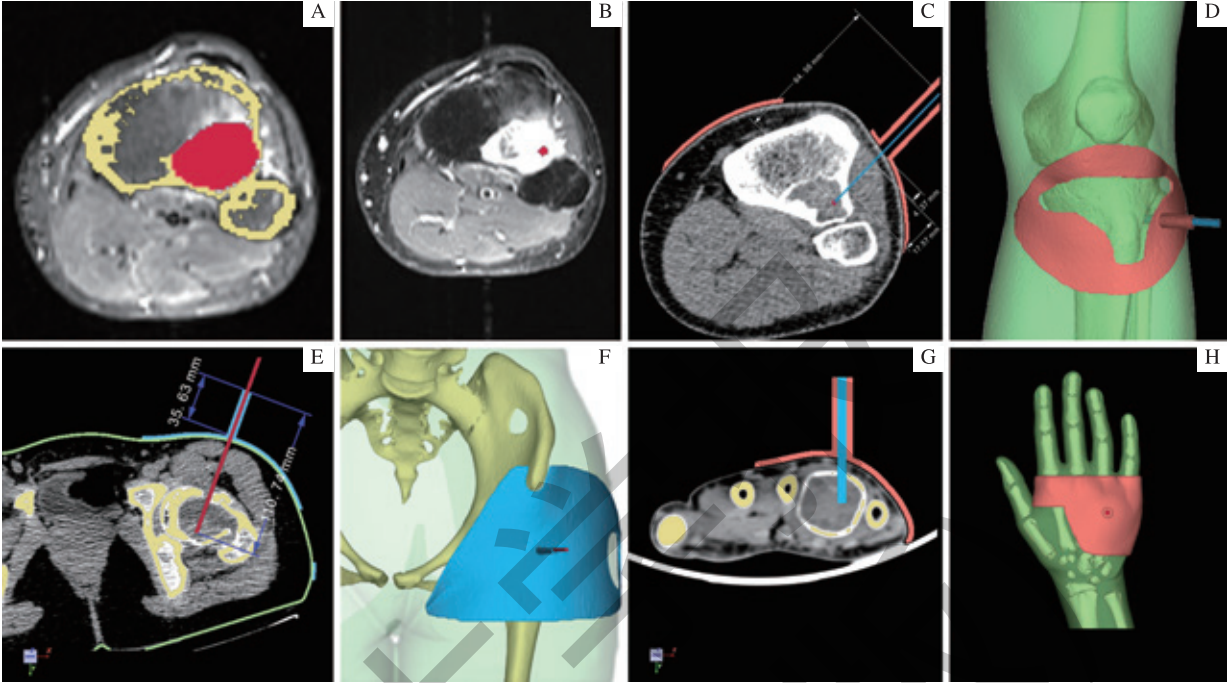
1.4 个体化穿刺导板的应用

穿刺手术操作按照常规流程进行。被检者体位与检查时保持一致, 以确保影像学检查时和穿刺手术时皮肤的曲度基本一致。触诊确定穿刺处的骨性解剖标志, 依据特定皮肤解剖特征, 固定穿刺导板, 记录导板的贴合度。骨组织穿刺活检针 (8G, TSK 公司, 日本), 通过导向圆孔经皮打入骨肿瘤区域内, 根据术前设计穿刺深度进入核心病变取材点, 术中通过 X 线透视验证定位针位置及标记范围与术前设计无误差后, 去除导板。更换空芯硬组织取材装置, 根据术前设计取出适量的病变组织, 送病理学检查。创面逐层关闭, 无菌敷料包扎。获得患者穿刺活检的病理结果, 与最终骨肿瘤切除手术的病理结果相对照。术后 1 d 患者行 CT 检查, 判断穿刺位置与规划位置的一致性, 观察患者术后有无并发症。

2 结果

本研究共纳入骨肿瘤患者 11 例, 其中男 6 例, 女 5 例; 年龄 7 ~ 69 岁, 平均 36 岁。肿瘤部位: 股骨 4 例、骨盆 3 例、胫骨 2 例、肩胛骨 1 例、掌骨 1 例。肿瘤直径 1.8 ~ 9.2 cm, 中位直径为 4.3 cm。所有患者个体化导板基本匹配穿刺部位解剖结构, 进针方位深度均与术前设计方

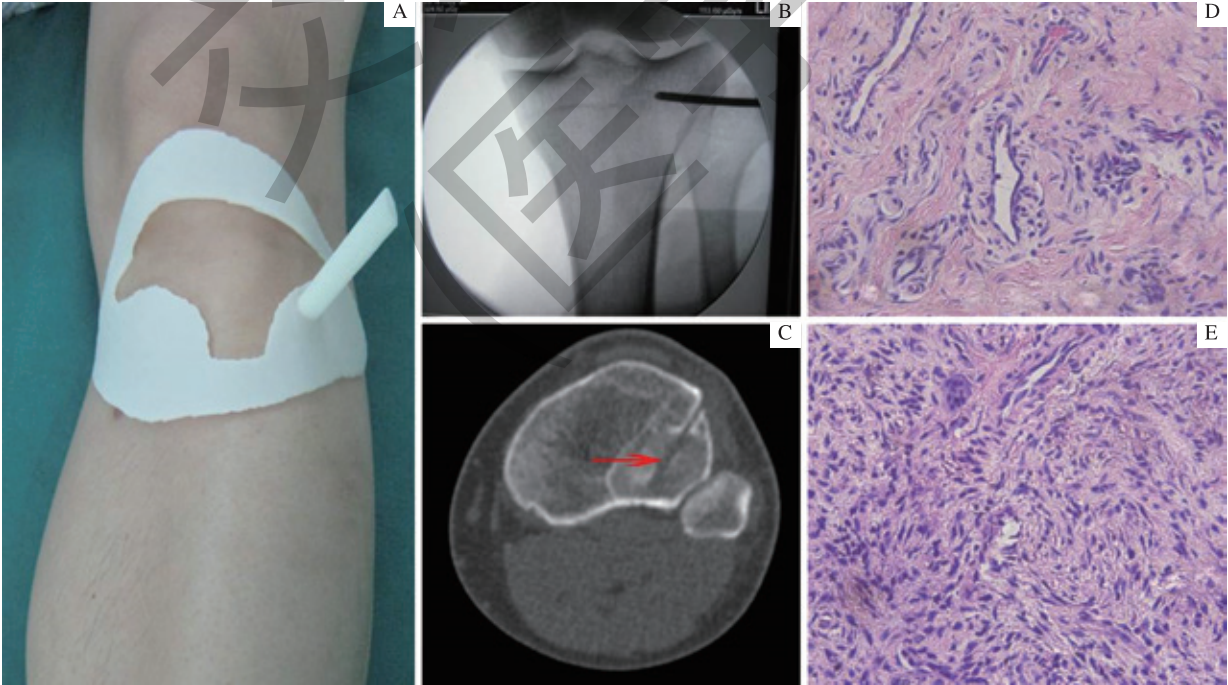
案一致 (图 1, 图 2), 术后未出现血管、神经损伤症状。2 例患者穿刺病理诊断为良性肿瘤, 患者考虑自身因素, 未行肿瘤切除术。8 例 (88.9%) 患者穿刺和手术病理良恶性结果一致, 1 例 (11.1%) 穿刺未找到恶性肿瘤细胞, 切除术后病理为纤维肉瘤 (表 1)。



注: A. 胫骨 CT 和 MRI 图像配准融合; B. 胫骨 MRI 图像肿瘤活性区域; C. 胫骨个体化穿刺导板设计; D. 胫骨个体化穿刺导板三维模型; E. 股骨个体化穿刺导板设计; F. 股骨个体化穿刺导板三维模型; G. 掌骨个体化穿刺导板设计; H. 掌骨个体化穿刺导板三维模型。

图 1 3D 打印个体化导板设计

Fig 1 Design of 3D printed customized guide



注: A. 3D 打印个体化导板固定; B. 术中 X 线确定穿刺位置; C. 术后 CT 图像确定术中穿刺位置; D. 穿刺病理切片 ($\times 1\,000$, H-E 染色); E. 肿瘤切除术后病理切片 ($\times 1\,000$, H-E 染色)。

图 2 3D 打印个体化导板辅助穿刺手术

Fig 2 3D printed customized guide assisting biopsy

表 1 11 名骨肿瘤患者临床资料
Tab 1 Clinical information of 11 patients with bone tumor

序号	性别	年龄	部位	最大直径 /cm	穿刺病理检查结果	术后病理检查结果	穿刺并发症
1	男	37	左胫骨	3.7	骨及髓内组织, 未见明确肿瘤	骨纤维结构不良	无
2	男	7	右掌骨	3.0	钙化性腱膜纤维瘤	动脉瘤样骨囊肿	无
3	男	15	股骨	4.3	未找到恶性肿瘤细胞	纤维肉瘤	无
4	女	60	左肩胛骨	8.4	软骨肉瘤 I 级	软骨肉瘤 I ~ III 级	无
5	女	15	右胫骨	2.0	良性纤维性骨病变	骨纤维结构不良	无
6	女	42	股骨	1.8	成熟的板层骨	少量板层骨, 骨疣可能性大	无
7	女	18	股骨	5.0	动脉瘤样骨囊肿不能除外	骨囊肿, 见肉芽组织及反应性骨质增生	无
8	男	47	骶骨	9.2	骨髓造血组织及少量碎骨组织, 部分脂肪伴出血变性	骨内脂肪瘤	无
9	女	43	髌骨	2.0	少量碎骨组织及造血组织	—	无
10	男	46	股骨	5.0	成熟板层骨, 伴少量变性纤维组织	脂肪硬化性黏液纤维性肿瘤	无
11	男	69	髌骨	7.6	神经源性肿瘤, 考虑为神经鞘瘤	—	无

注: “—” 表示患者未行骨肿瘤切除手术。

3 讨论

骨肿瘤术前病理学诊断是制定化学治疗和手术方案的重要依据, 具有不可替代的意义, 主要包括切开活检或经皮微创穿刺活检^[7-8]。切开活检常被认为是骨肿瘤活检的金标准, 却增加了手术的并发症, 如血肿、切口感染、肿瘤扩散、病理骨折, 部分患者甚至会失去保肢手术的条件^[3,9]。近年来随着影像学检查技术的进步, 经皮微创穿刺活检准确率已经和切开活检相近, 并发症发生率逐步降低^[10-12]。为进一步提高活检的准确性, 减少并发症的发生, 术前应进行全面的影像学 and 实验室检查, 以确定患者是否需要活检, 明确活检方式及活检部位^[8]。活检通道应便于术后一并切除, 并避免穿越正常的骨骼肌肉、肌腱及关节区域, 避免穿越重要血管神经, 防止活检污染^[13]; 取材部位尽量选取肿瘤活跃区域并获取足量的病变组织, 避免“假阴性”病理结果。本研究早期有 1 例患者因设计思路尚未成熟, 未能取到肿瘤区域的病变组织。

然而微创活检手术也存在一定的不足。X 线透视下的穿刺活检因难以提供病变三维空间信息, 对于骨肿瘤仅累及骨骼的部分截面的情况无法准确定位。CT 辅助的穿刺活检手术多用于病变较小、硬化性或囊液型病变, 或椎体、骨盆等深部病损, 或靠近血管神经束的病损^[10,14]。但其缺点在于辐射剂量较大; CT 图像组织分辨率较低, 难以判断肿瘤活性区域; 受 CT 检查线圈限制, 体态较胖的患者或骨盆等区域穿刺时操作不灵活。MRI 具有软组织对比高、可多平面成像、定位准确、能选择进入路径、无辐射等优势

点; 但是 MRI 引导骨与软组织系统活检需要相应的配套器械^[15], 限制了其临床应用。其他一些影像学技术亦有报道, 包括应用¹⁸F 脱氧葡萄糖正电子断层成像 (¹⁸F-fluoroethyl-2-deoxy-D-glucose positron emission computed tomography, ¹⁸F-FDG PET) 结合 MRI 来引导活检, 寻找出肿瘤组织中最活跃、恶性度最高的部位^[16]; 以及术中用 γ 探针对单光子发射型 CT (emission computed tomography, ECT) 显示异常的肋骨病变来进行定位, 以减少手术时间, 避免手术中切除范围过大^[17]。但目前这些新的活检操作技术对影像设备要求很高, 难以做到临床推广。

随着 3D 打印技术日渐兴起^[18], 数字化设计的手术方案可通过 3D 打印导板的方式实现于手术过程中^[19-20]。导板的设计可在手术设计期间同时完成, 利用体表自然突起等解剖标志可以设计导板的接触面, 而设计固定角度的导向圆孔可以作为手术中的导向装置。导板的 3D 格式文件可用于各类 3D 打印设备加工导板。加工好的导板能够在手术过程中还原手术设计方案, 引导手术者顺利按照术前设计进行手术操作^[21]。本研究利用 Medraw Print 数字化设计软件, 通过 CT 和 MRI 图像配准融合模块^[22], 可以将 MRI 图像中反映骨肿瘤最活跃区域的信息整合到 CT 图像中, 从而精准确定取材部位, 提高穿刺活检的准确性。个体化导板的优势在于树脂打印设备价格低廉, 术中定位准确, 微创操作。本研究中, 骨肿瘤个体化穿刺导板的设计、打印消毒总流程为 1 ~ 2 d, 并且随着熟练度的提高和技术的优化, 导板设计制备时间将进一步缩短, 从而为该技术的普及和推广创造有利条件^[23-24]。

导板设计是本研究的核心环节。通过与工程师的反复讨论与临床实践,课题组逐步积累了以下设计经验:①导板在体表皮肤的精准放置对于经皮定位至关重要。通常选择2个骨性解剖标志点,外加1处皮肤形貌特征鲜明的区域作为导板放置的定位标志。对于不同骨肿瘤区域的导板定位标志特征,我们也摸索出了一定的规律。例如,位于胫骨近端的肿瘤,通常可选择胫骨粗隆和腓骨小头这2处体表骨性突起,结合胫前皮肤贴合骨面而成的角状嵴样皮肤形貌特征,确定体表导板的放置。而位于股骨近端的肿瘤,通常可选择髌前上棘与股骨大粗隆这2处体表骨性突起,结合腹股沟凹陷皮肤皱褶这一特定皮肤形貌特征,共同定位体表导板的放置。另外保持影像学检查时的体位与术中穿刺体位一致,对于维持患者皮肤的张弛度基本一致、保证穿刺的成功率同样重要。通常情况下,设计良好的经皮导板与病变区域皮肤形貌高度契合,这需要3D打印设计与加工技术的完美结合。②导板上穿刺导向孔的设计。其孔洞的直径应大于穿刺针的直径,其长度一般约为4 cm,使穿刺针可进入足够的深度到达病变区域。导向孔

在导板上的设置,一方面其位置须位于后续手术切口上,另一方面其角度应避开重要血管神经走行方向,同时明确肿瘤病灶内肿瘤活性最强的区域。在体外手术设计中,肿瘤周围的重要血管、神经位置可以通过不同颜色标识出来,模拟穿刺即可避开这些危险区域。临床应用中,即使位于盆腔坐骨大孔处坐骨神经旁的肿瘤,穿刺针亦可避开粗大的坐骨神经,完成精准穿刺。本研究中无血管或神经相关并发症出现,从一定程度上说明了个体化导板辅助穿刺手术的安全性。此外,本研究还有一定的局限性,历时较短,纳入病例数偏少,未采用随机对照试验进一步评估个体化导板辅助穿刺活检的准确性;树脂打印导板因质地偏软,操作时会出现轻微形变而影响准确性,另外可以进一步缩短导板设计、制作时间,以更好地适应临床需要。

综上所述,运用数字化设计及3D打印技术生产经皮穿刺导板,能够满足骨肿瘤活检的个性化需求,具备安全性强、精准性高、设计加工可重复等优点,值得临床推广应用。期待不久的未来,数字骨科技术在越来越多的领域发挥更加重要的作用。

参·考·文·献

- [1] Enneking WF, Spanier SS, Goodman MA. Current concepts review. The surgical staging of musculoskeletal sarcoma[J]. J Bone Joint Surg Am, 1980, 62(6): 1027-1030.
- [2] Layfield LJ, Schmidt RL, Sangle N, et al. Diagnostic accuracy and clinical utility of biopsy in musculoskeletal lesions: a comparison of fine-needle aspiration, core, and open biopsy techniques[J]. Diagn Cytopathol, 2014, 42(6): 476-486.
- [3] Gerrand CH, Rankin K. The hazards of biopsy in patients with malignant primary bone and soft-tissue tumors[J]. J Bone Joint Surg Am, 2014, 64(8): 1121-1127.
- [4] Ferrucci JT, Wittenberg J, Margolies MN, et al. Malignant seeding of the tract after thin-needle aspiration biopsy[J]. Radiology, 1979, 130(2): 345-346.
- [5] Mitsuyoshi G, Naito N, Kawai A, et al. Accurate diagnosis of musculoskeletal lesions by core needle biopsy[J]. J Surg Oncol, 2006, 94(1): 21-27.
- [6] 蒋明辉,蔡立宏,雷青,等. 3D打印技术在骨科临床的应用研究及展望[J]. 中华损伤与修复杂志:电子版, 2016, 11(4): 288-290.
- [7] 张军良,周幸,施鑫,等. 骨与软组织肿瘤活检现状[J]. 中国矫形外科杂志, 2017, 25(3): 243-246.
- [8] Scarborough MT. The biopsy[J]. Instr Course Lect, 2004, 53: 639-644.
- [9] Errani C, Traina F, Perna F, et al. Current concepts in the biopsy of musculoskeletal tumors[J]. Sci World J, 2013, 2013: 538152.
- [10] Hryhorczuk AL, Strouse PJ, Biermann JS. Accuracy of CT-guided percutaneous core needle biopsy for assessment of pediatric musculoskeletal lesions[J]. Pediatr Radiol, 2011, 41(7): 848-857.
- [11] Pohlig F, Kirchhoff C, Lenze U, et al. Percutaneous core needle biopsy versus open biopsy in diagnostics of bone and soft tissue sarcoma: a retrospective study[J]. Eur J Med Res, 2012, 17: 29.
- [12] Nouh MR, Abu Shady HM. Initial CT-guided needle biopsy of extremity skeletal lesions: diagnostic performance and experience of a tertiary musculoskeletal center[J]. Eur J Med Res, 2014, 83(2): 360-365.
- [13] Drut R, Drut RM, Pollono D, et al. Fine-needle aspiration biopsy in pediatric oncology patients: a review of experience with 829 patients (899 biopsies)[J]. J Pediatr Hematol Onc, 2005, 27(7): 370-376.
- [14] Chang CY, Huang AJ, Bredella MA, et al. Percutaneous CT-guided needle biopsies of musculoskeletal tumors: a 5-year analysis of non-diagnostic biopsies[J]. Skeletal Radiol, 2015, 44(12): 1795-1803.
- [15] Risto Ojala MD, Sequeiros RB, Rauli Klemola MD, et al. MR-guided bone biopsy: preliminary report of a new guiding method[J]. J Magn Reson Imaging, 2002, 15(1): 82-86.
- [16] Hain SF, O'Doherty MJ, Bingham J, et al. Can FDG PET be used to successfully direct preoperative biopsy of soft tissue tumours?[J]. Nucl Med Commun, 2003, 24(11): 1139-1143.
- [17] Sodha S, Nagda S, Lackman RD, et al. Gamma probe assisted biopsy of suspected metastatic rib lesions[J]. Clin Orthop Relat R, 2004, 422(422): 186-189.
- [18] Zhou Z, Buchanan F, Mitchell C, et al. Printability of calcium phosphate: calcium sulfate powders for the application of tissue engineered bone scaffolds using the 3D printing technique[J]. Mater Sci Eng C Mater Biol Appl, 2014, 38(1): 1-10.
- [19] 王燕,高旭,阳青松,等. 3D打印技术辅助认知融合在前列腺穿刺活检术中的应用[J]. 临床泌尿外科杂志, 2016(2): 104-107.
- [20] 王冠,陈宝明,张玉卫,等. 3D打印共面穿刺模板辅助CT引导下肺原发小微结节穿刺临床研究[J]. 癌症进展, 2017, 15(9): 1003-1007.
- [21] Omori S, Murase T, Kataoka T, et al. Three-dimensional corrective osteotomy using a patient-specific osteotomy guide and bone plate based on a computer simulation system: accuracy analysis in a cadaver study[J]. Int J Med Robot, 2014, 10(2): 196-202.
- [22] 曲扬,艾松涛,杨飞,等. CT和MRI图像配准融合联合3D打印技术在难治性骨盆肿瘤术前规划中的应用[J]. 上海交通大学学报(医学版), 2017, 37(9): 1238-1244.
- [23] 王文,左贵来,王凡,等. 3D打印手术导板结合桥接内固定系统异型块治疗股骨复杂骨折[J]. 中国矫形外科杂志, 2017, 25(22): 2086-2090.
- [24] 阳宏奇,雷青,蔡立宏,等. 3D打印导板辅助空心螺钉内固定治疗不稳定性骨盆骨折[J]. 中国修复重建外科杂志, 2018(2): 145-151.

[收稿日期] 2018-05-16

[本文编辑] 瞿麟平

