

脑出血穿刺定位导板 3D 打印快速个体化定制模式的应用初探

钱骏, 刘发健, 张孙鑫, 刘齐东, 曹德乾, 黄祚韵, 汪洋, 杜奇勇, 徐如祥, 冯金周

【摘要】 目的 探讨医工结合个体化快速 3D 打印颅内血肿穿刺定位导板定制流程的可行性、引导锥颅穿刺血肿置管引流术治疗高血压性脑出血的安全性。方法 选择符合锥颅穿刺血肿引流术的高血压性脑出血患者, 分别采用常规 CT 下金属标志物定位(对照组 18 例)或 3D 打印血肿穿刺导板定位(观察组 21 例), 比较两种定位方法的安全性和可行性; 3D 打印血肿穿刺导板通过医院组建的医学影像数据传输、三维建模和 3D 打印一体化系统来完成个体化产品定制并应用于临床。结果 两组脑出血患者均完成锥颅血肿穿刺置管引流手术, 无手术死亡。术中穿刺精准度评价为优者观察组 19 例, 对照组 10 例; 术后血肿清除率评价为有效观察组 18 例, 对照组 9 例; 术后恢复情况观察组优于对照组; 通过医学云影像传输、三维建模和 3D 打印等一体化服务系统, 平均耗费时间江油市人民医院观察组为(5.78 ± 4.84) h, 对照组为(4.64 ± 1.43) h, 四川省人民医院分别为(5.08 ± 0.67) h 和(4.14 ± 1.35) h; 3D 打印产品完成时间江油市人民医院(132.67 ± 7.25) min, 四川省人民医院(131.92 ± 6.69) min; 组间比较无显著统计学差异。结论 利用医学云影像传输融合 3D 打印服务一体化系统, 可快速个体化定制 3D 打印脑血肿穿刺定位导板, 能简化定制流程和满足临床急诊手术服务需求, 提高血肿穿刺精准度和血肿清除率, 此定制模式也有利于医学 3D 打印产品服务于临床并推广。

【关键词】 高血压脑出血; 三维打印技术; 微创穿刺引流术; 个体化; 定位导板; 数据传输

【中图分类号】 R651 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1672-7770(2022)03-0241-06



JCN 神外视界
谈术论道

Preliminary study on rapid customization mode of 3D printing positioning guide for individualized intracerebral hemorrhage puncture QIAN Jun, LIU Fa-jian, ZHANG Sun-xin, et al.

Intensive Care Unit(ICU), Jiangyou City People's Hospital, Jiangyou 621700, China

Corresponding authors: FENG Jin-zhou, XU Ru-xiang

Abstract: Objective To explore the feasibility of the process for rapid customization of 3D printed hematoma puncture positioning guide plate with the combination of medicine and industry, and the safety of guided hematoma catheterization and drainage in the treatment of hypertensive intracerebral hemorrhage. **Methods** Selected patients with cerebral hemorrhage suitable for puncture hematoma drainage, and used conventional CT metal marker positioning(18 cases in the control group) and 3D printing hematoma puncture guide positioning plate(21 cases in the observation group) respectively to compare the safety and feasibility of the two positioning methods. The guide was customized and applied to the clinic through an integrated system of medical image data transmission, 3D modeling and 3D printing. **Results** Both groups of patients with intracerebral hemorrhage completed the puncture and drainage of conical skull hematoma, and there was no operative death. The intraoperative puncture accuracy was evaluated as excellent in 19 cases in the observation group and 10 cases in the control group. The clearance rate of postoperative hematoma was evaluated as effective in 18 cases in the observation group and 9 cases in the control group. The postoperative recovery of the observation group was better than that of the control group. Through the integrated service system of medical cloud image transmission, 3D modeling and 3D

基金项目: 四川省科技厅重大研发项目(2020YFS0398)

作者单位: 621700 江油, 江油市人民医院神经重症监护病房(钱骏), 神经外科(杜奇勇); 四川省人民医院神经外科(刘发健, 张孙鑫, 刘齐东, 曹德乾, 冯金周, 徐如祥); 四川华曙图灵增材制造技术有限责任公司数据处理中心(黄祚韵), 3D 打印中心(汪洋)

通信作者: 冯金周, 徐如祥

printing, the average time-consuming in the observation group of Jiangyou People's Hospital was (5.78 ± 4.84) h, the control group was (4.64 ± 1.43) h, and the Sichuan People's Hospital was (5.08 ± 0.67) h and (4.14 ± 1.35) h respectively. The completion time of 3D printing products was (132.67 ± 7.25) min in Jiangyou People's Hospital and (131.92 ± 6.69) min in Sichuan People's Hospital. There was no significant difference between the two groups. **Conclusions** Using medical cloud image transmission, 3D printing and service integration system, 3D printing cerebral hematoma puncture guide plate can be quickly and personalized customized, which can simplify the customization process and meet the needs of clinical emergency surgery services, and improve the accuracy of hematoma puncture and hematoma removal rate. This 3D printing service customization model is more conducive to serving the clinic and promotion.

Key words: hypertensive intracerebral hemorrhage; 3D printing technology; minimally invasive puncture and drainage; individualized; guide plate; data transmission

3D 打印技术近年已广泛应用于临床各学科,可提高临床诊疗水平^[1-2]。由于 3D 打印技术涉及昂贵的 3D 打印设备、专业性极强的三维模型制作及较长的影像数据人工提取传送和模型制作周期,尚难以在各级医院推广。随着医工结合模式的推进,3D 打印高科技公司可与医院合作,推动医学 3D 打印技术服务于临床。2020 年 6 月—2021 年 6 月,四川省人民医院与四川省江油市人民医院神经外科联合 3D 打印公司,开发并组建了快速个性化定制医学 3D 打印智慧网络系统,完成了 21 例高血压性脑出血定位穿刺 3D 打印导板的制作,并服务于临床。现报告如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料 共纳入 39 例脑出血患者,其中观察组为采用定制 3D 打印血肿穿刺导板定位引导穿刺的 21 例脑出血患者(江油市人民医院 9 例,四川省人民医院 12 例),对照组为采用 CT 定位徒手穿

刺的 18 例脑出血患者(江油市人民医院 11 例,四川省人民医院 7 例)。观察组血肿分布于基底节区 16 例,额顶枕叶区 5 例,对照组分别为 15 例和 3 例,两组患者在年龄、性别、血肿量、血肿分布部位、意识状态、肢体偏瘫等方面比较无统计学差异,见表 1。所有患者均符合锥颅穿刺置管引流手术的病例入选标准^[3]:(1)有明确高血压病史且有服用降压药物史;(2)出血位于幕上包括基底节、额顶枕叶等部位;(3)出血量 30~50 mL,且未破入脑室系统;(4)意识障碍为清醒、嗜睡或昏迷,无脑疝;(5)未口服华法林、阿司匹林等抗凝、抗血小板药物且凝血功能正常。排除标准:(1)出血增大致脑疝发生;(2)有凝血功能障碍;(3)家属不愿意采用锥颅穿刺置管引流手术;(4)等待 3D 打印导板制作期间病情急速恶化;(5)CTA 证实为脑血管畸形、脑动脉瘤。本研究已通过四川省人民医院医学伦理委员会审批[伦理(研)2020 年第 419 号],所有患者及患者家属均签署知情同意书。

表 1 两组患者基本情况比较

组别(例)	年龄(岁)	性别		血肿量	意识障碍	偏瘫
		男	女			
观察组(21)	$63.00 \pm 9.75^*$	13	8	$38.25 \pm 5.80^*$	5	16
对照组(18)	61.94 ± 9.60	11	7	39.78 ± 5.88	5	13

注:与对照组比较,* $P > 0.05$

1.2 硬件与软件组建架构

1.2.1 仪器设备要求 128 排双源螺旋 CT(西门子),3D 打印机(产品型号:DLP200,产品编码:MAT00151218131355030305d6ff32,由华曙图灵科技有限公司 3D 打印事业部提供)。Dell 图形工作站,操作系统 Windows 10;医学三维重建软件 Materialise Mimics 21.0;医学云影像数据传输系统

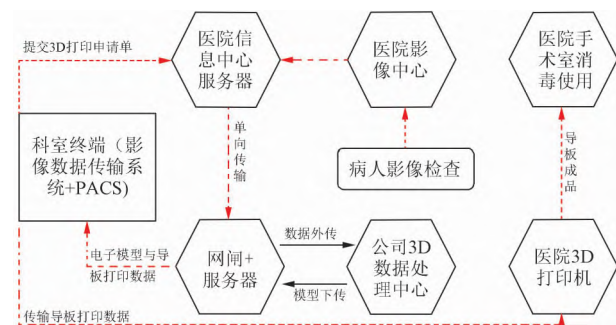
(V1.0)。导板打印主要材料:光敏树脂(珠海赛纳公司)。定位导板消毒在手术室完成,消毒设备为过氧化氢低温等离子体灭菌器(型号:CASP-300D),消毒时间 2 h。

1.2.2 组网与服务模式 四川省人民医院院内设有华曙图灵科技有限公司医学 3D 打印中心,负责电子模型三维重建和医学 3D 实物 STL 格式文件传

送;四川省人民医院、江油市人民医院的神经外科和神经监护病房均设有医学云影像数据传输系统电脑终端,通过与医院 PACS (picture archiving and communication systems ,PACS) 影像系统端口对接,提交 3D 打印申请并选择所需要影像 DICOM(digital imaging and communication in medicine ,DICOM) 数据,经网络传输到医学 3D 打印数据处理中心,完成三维重建电子模型,电子模型实时传回申请电脑终端,与手术医生实时窗口对话沟通调整血肿穿刺靶点和路径,将最终形成的 STL 格式文件传至 3D 打印机完成导板及穿刺通道模型打印并应用于临床。网络传输的患者影像数据已经过脱敏处理,传输外网均通过网闸安全设备进行隔离后与医院影像数据传输终端连接,确保医院信息系统安全。两家医院手术室均设置有 3D 打印机并与医学 3D 打印中心数据服务器连接,经处理的 STL 格式文件回传后即可现场进行导板打印,并于手术室进行消毒处理后使用。

1.3 3D 打印数据采集要求 对所有急诊入院的脑出血患者,均采用以下参数进行头部 CT 检查:矩阵 512×512 ,FOV 24 cm,层厚 2 mm,层间距 2 mm。扫描数据以 DICOM 格式保存。

1.4 个体化定制流程 确定手术方案为锥颅穿刺置管引流后,即启动快速定制模式:(1)电脑终端提交患者 3D 打印导板申请,包括对导板的个体化要求、制定的手术时间及签订定制同意书,上传所需要的影像数据;(2)影像数据通过医学影像传输系统上传到医学 3D 打印数据处理中心;(3)数据处理中心快速完成三维建模并与手术医生通过影像数据终端对话窗口沟通,确定穿刺靶心与路径,获得导板打印所需要的 STL 格式文件并回传至医院影像数据终端,连接 3D 打印机进行现场打印成品,消毒处理后即可提供临床使用。流程见图 1。



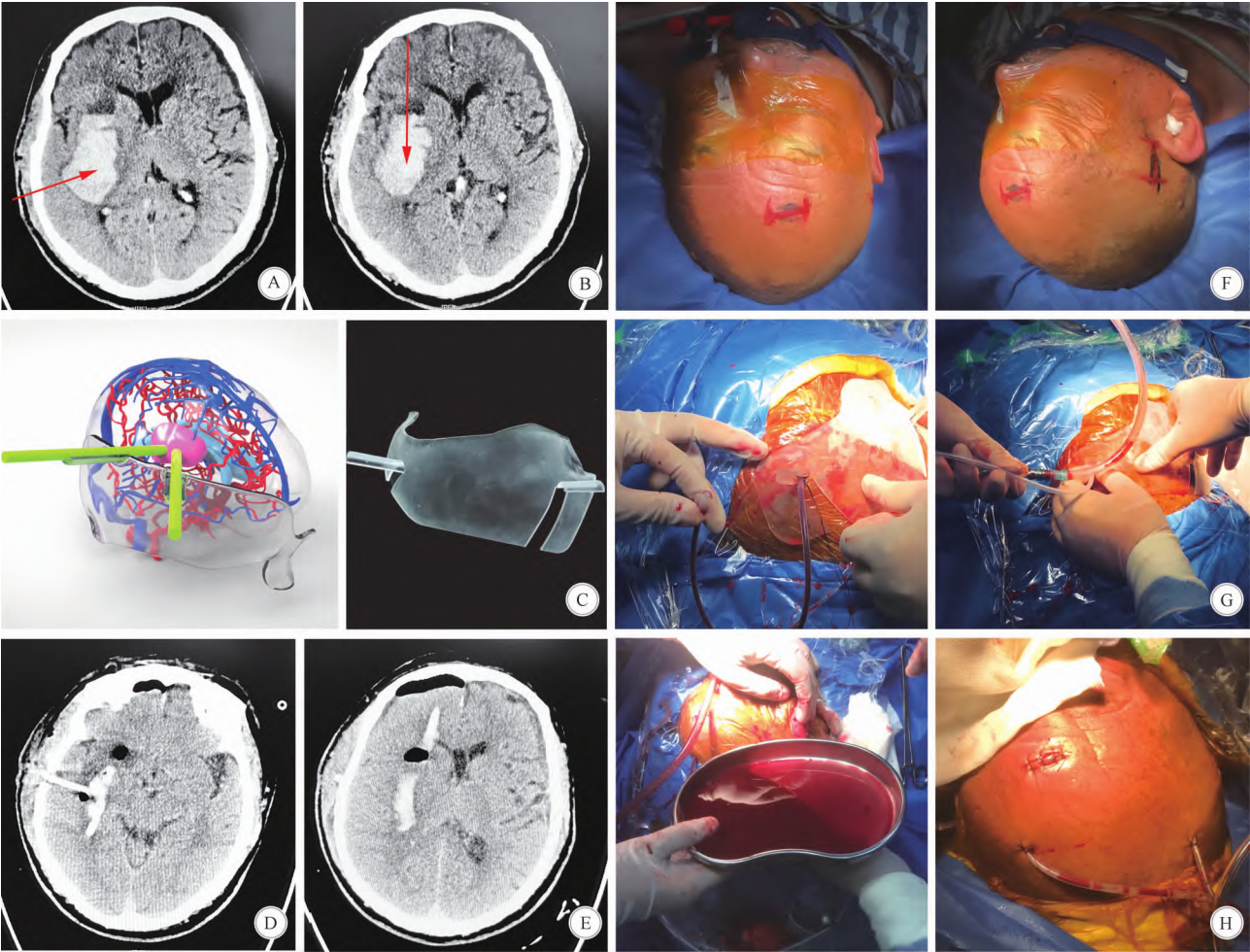
红色箭头为内网 黑色箭头为外网
图1 快速个体化定制医学 3D 打印产品流程图

1.5 手术方法与术后处理 符合入选标准的患者,术前均需要定位并设计好切口与穿刺位置,观察组

采用 3D 打印导板直接在头皮上确定位置,对照组术前 6 h 再通过头部 CT 金属回形针标记定位穿刺部位。手术均在出血 12 h 后进行,常规气管插管全麻,设置体位并固定,消毒铺巾后,观察组患者将已消毒的 3D 打印导板放到手术区的颅表位置,确定切口和穿刺部位,对照组患者直接使用术前设计好的切口与穿刺部位。切开头皮,颅骨钻孔。观察组将 3D 打印导板再一次放于颅表位置,其穿刺孔与颅骨钻孔处对准,经导板的穿刺通道管直接按规划的深度完成血肿穿刺并放置引流管;对照组通过术前的画线和方向徒手进行血肿穿刺与引流管置入。通过引流管抽吸出暗红色血液或血凝块,反复用生理盐水冲洗血肿腔,若有活动性出血可注射含肾上腺素的冰生理盐水控制出血,随后接引流袋,缝合切口结束手术。若穿刺无血性液体抽出,则取出后重新穿刺。若出现以下情况转开颅手术清除血肿:(1)穿刺过程中损伤到动脉,有活动性喷血;(2)冲洗过程中有活动性出血,使用含肾上腺素的冰生理盐水无法控制;(3)穿刺术后引流管出现活动性出血无法控制。术后处理:(1)术后定期复查头部 CT 了解残余血肿量并确定继续治疗方案;(2)对残余血肿超过原血肿三分之一的患者,通过引流管注入含 4 万单位尿激酶的生理盐水夹闭 2 h 后开放,每 8 h 一次,共三次。夹管期间观察患者神志,若有烦躁则立即开放引流管,有新鲜血液流出时需要复查头部 CT 确定紧急处理方案;(3)血肿残余量低于原血肿三分之一时拔管,留管时间不超过 5 d。见图 2。

1.6 观察指标与疗效评价 (1)一次性穿刺成功率:指术中一次性穿刺血肿成功,能通过引流管直接抽吸出液态血或血凝块;(2)置管精准率和术后 3 d 血肿清除率:通过术后 6 h 复查头部 CT 来判断置管精准度,以引流管侧孔和尖端与血肿腔和靶心的相对位置来评价,距离靶心 1 cm 以内且不超出原血肿腔评价为优,接近或超出血肿边缘评价为差;术前与术后 3 d 的头部 CT 检查对比血肿清除情况,血肿量均由 3D-Slicer 软件进行测算,血肿清除率 = (术前血肿量 - 术后血肿量) / 术前血肿量 $\times 100\%$, $\geq 75\%$ 评价为有效, $\leq 25\%$ 评价为无效;(3)不同定位方式耗费时间:对照组为术前最近一次头部 CT 定位检查到手术开始的时间,观察组为提交 3D 打印申请开始至手术开始的时间。

1.7 统计学处理 应用 SPSS20.0 软件进行统计学分析,计量资料以均数 \pm 标准差 ($\bar{x} \pm s$) 表示,组间比较采用 t 检验,计数资料采用 χ^2 检验,以 $P < 0.05$ 认为差异有统计学意义。



A、B: 术前定位血肿层; C: 3D 模型与导板; D、E: 术后复查 CT 血肿清除引流管在位; F: 术中头体表定位标记;
G: 术中经导板定位通道穿刺置管; H: 术中引流大部分血凝块并完成手术
图 2 术前影像学定位、术中所见及术后影像学复查

2 结 果

2.1 两组手术情况比较 两组病例均完成锥颅血肿穿刺置管引流手术,无中转开颅手术;观察组在3D 打印导板指引下均一次性穿刺置管成功,成功率100%,对照组术中一次穿刺成功 11 例,成功率61.11%,重复穿刺有 7 例,失败率 38.89%。两组

穿刺精准率、血肿清除率比较,观察组优于对照组($P < 0.05$)。见表 2。

2.2 不同单位 3D 打印导板定制耗费时间 导板定制耗费时间包括提交申请和数据上传完成时间(即数据上传时间)、三维建模形成打印数据时间、3D 打印成品生产完成时间,两组定位耗费时间,两家医院比较无统计学差异,见表 3、表 4、表 5。

表 2 两组手术情况比较

组别(例)	术中一次成功率(%)	穿刺精准度(%)	血肿清除度(%)
观察组(21)	21(100.00)*	21(100.00)*	18(85.71)*
对照组(18)	11(61.11)	12(66.67)	11(61.11)

注:与对照组比较,* $P < 0.05$

表 3 江油市人民医院两组定位耗费时间比较

组别	例数	定位耗费时间(h)
观察组	9	5.78 ± 4.84*
对照组	11	4.64 ± 1.43

注:与对照组比较,* $P > 0.05$

表 4 四川省人民医院两组定位耗费时间比较

组别	例数	定位耗费时间(h)
观察组	12	5.08 ± 0.67 [*]
对照组	7	4.14 ± 1.35

注: 与对照组比较, ^{*} $P > 0.05$

表 5 不同单位 3D 打印导板个性化定制各环节耗费时间结果

定制单位与例数(例)	数据上传时间(min)	三维建模成型时间(min)	3D 产品打印完成时间(min)
四川省人民医院(12)	4.17 ± 1.11 [*]	29.67 ± 11.44 [*]	131.92 ± 6.69 [*]
四川江油市人民医院(9)	4.11 ± 1.26	28.78 ± 8.96	132.67 ± 7.25

注: 两家医院比较, ^{*} $P > 0.05$

2.3 术后恢复情况 术后出血增加、病情加重转开颅手术的患者中, 观察组 1 例, 对照组 4 例, 此 4 例患者引流导管位置均位于血肿边缘, 且使用尿激酶血肿内灌注。病情加重率观察组(1/21) 明显低于对照组(4/18)。术后使用尿激酶经引流管灌注, 观察组 14 例, 对照组 16 例, 两组比较无统计学差异($P > 0.05$)。两组均无死亡病例。

3 讨论

高血压脑出血(hypertensive intracerebral hemorrhage, HICH) 是临床常见疾病, 发病率约占脑卒中类型的 10% ~ 50%, 且已向年轻化方向发展^[4]。血压波动导致病变脑血管破裂出血形成的血肿, 可压迫、破坏重要脑功能区的核团及神经纤维束, 是影响患者预后的病理生理基础^[5-6]。临床上常采取手术方式来清除血肿、解除压迫、降低颅内压和减少继发性损害, 进而改善其预后和提高成活率^[7-8]。手术方式主要包括开颅血肿清除术和微创穿刺引流术两大类, 其中微创穿刺引流术具有脑组织创伤小、操作时间短及患者恢复快的优点^[9-12]。且对于尚未发生脑疝的高血压性脑出血患者, 延期行穿刺引流能减少再出血, 故采用微创穿刺血肿引流术或内镜通道下手术, 更容易被医生和患方接受^[13-15]。微创穿刺引流术最关键的就是血肿定位问题, 目前临床常用定位方法包括 CT 定位、立体定向、术中导航定位等。CT 徒手定位和 CT 引导下定位因操作简单和设备要求低被广泛采用^[16], 但需要手术医生临床经验丰富, 对颅脑解剖较熟练, 才能将二维的 CT 血肿层面与大脑内实际位置对应, 提高穿刺血肿成功率。而立体定向和术中导航定位, 在实际操作中较为繁琐, 且大部分基层医院缺乏此类设备, 不利于广泛开展。由于 HICH 多为急诊手术, 微创穿刺血肿在实际操作中多为盲穿, 有多次穿刺调整而损伤脑血管神经的可能, 因此如何精准定位

是确保血肿穿刺手术质量的关键。尽管术中导航较为精准也省时, 但是设备的昂贵导致难以在大部分医院普及。近年随着 3D 打印技术的快速发展, 临床上 3D 打印模型或植入材料也越来越常见, 采用 3D 打印机制作脑血肿穿刺定位导板来引导术中穿刺引流, 可实现精准穿刺, 且大大降低脑内血肿穿刺的技术门槛, 目前已取得了较好的治疗效果^[1, 17-18]。

3D 打印技术, 也称为“添加制造”技术, 或“增材制造”“增量制造”技术, 是基于三维 CAD 模型数据, 通过逐层增加材料制造, 打印出与相应三维 CAD 模型完全一致的实体模型或植入材料。脑出血患者 CT 检查所获得的 DICOM 数据, 通过三维 CAD 建模可显示血肿部位、血肿量, 进而设计出血肿穿刺路径与颅体表定位模型, 并将此模型数据用 3D 打印机打印出实体模型, 即 3D 打印血肿穿刺导板。此导板是按患者脑出血真实数据 1:1 比例打印的, 能精准匹配颅脑体表定位和穿刺路径, 完美解决血肿定位穿刺的技术问题。但在获取 3D 打印产品的过程, 多为人工前往医院信息中心用光盘等媒介拷贝数据, 再传递至 3D 打印公司, 导板制作完成后, 再送回医院, 所需要时间大致为 3 ~ 5 d, 无法满足 HICH 急诊手术的需求。针对 3D 打印产品制作繁琐、耗时较长的问题, 本研究依托科研项目资助并结合临床医生需求进行攻关, 通过信息化组建一体化系统来解决, 可满足此类脑出血急诊手术中的血肿快速定位需求。通过影像数据传输系统客户端与医院影像 PACS 系统对接, 网闸物理网络设备将内网与外网隔绝, 仅允许医院影像数据单向传输至外网进行 3D 打印数据处理, 将复杂的三维建模交给专业中心处理, 而获得的 3D 打印数据模型通过回传至医院 3D 打印机完成现场打印, 消毒后即可临床使用。在保证医院信息安全的前提下, 很好地开展了个性化定制脑血肿定位穿刺导板的 3D 打印产品。本研究中, 两个单位均通过网络安全传输影

像数据,由3D打印数据处理中心完成三维建模和3D打印数据模型。再由各自医院完成3D打印成品,这一模式可以满足大多数医院开展个性化定制3D打印脑血肿穿刺定位导板的临床需求。

本研究中,使用3D打印的血肿定位导板引导血肿穿刺,精准度和血肿清除率均明显优于对照组;从获得导板的时间与对照组定位时间比较,观察组虽然不占优势,但并没有因为获取打印导板时间过长而影响手术效果,且对于病情变化加重的病例,有开颅手术作为保障。打印的导板体积小,所需要的3D打印机体积亦小,将3D打印机直接放置在有需求的单位,3D打印数据处理中心只负责处理三维建模并回传数据,直接在有需求的单位进行现场打印,即可完美解决获取导板时间过长的的问题。本研究采用的个性化定制3D打印脑血肿穿刺定位导板,能在广大基层医院开展HICH的血肿微创穿刺手术,并能降低技术难度,提高手术精准度。概括此模式的优点:(1)3D打印导板定位穿刺精准,创伤小,恢复快,且技术门槛较低,适合广大基层医院开展;(2)利用数据信息网络化传输,改变了传统人工拷贝数据模式,能满足偏远医院定制3D打印产品的需求;(3)数据信息网络化组建所需要的安全设备费用一次性投入,长久享用,且费用低;(4)此模式定制3D打印产品的时间较传统模式短,更能促进医院信息化办公。当然此定制模式还有不足之处:(1)定制服务需要医院相关职能部门和临床科室的支持;(2)医院职能部门对信息安全的顾虑,是阻碍此定制模式的关键,因此本研究采用网闸和服务器等设备,将医院内网与外网分离阻隔,数据单向传输而彻底解决信息安全问题。

HICH微创手术治疗在基层医院已广泛开展,由于定位的精准度差异性,各单位手术质量也有明显差异。随着人工智能与三维建模的结合,个性化定制服务模式获取3D打印导板将更加便利,能帮助临床医生精准定位血肿,使手术操作的技术门槛大大降低。这种医工结合网络化定制3D打印产品值得在基层医院推广。

利益冲突:所有作者均声明不存在利益冲突。

[参 考 文 献]

- [1] Wang QB, Guo W, Liu YL, et al. Application of a 3D-printed navigation mold in puncture drainage for brainstem hemorrhage [J]. J Surg Res 2020 245(1):99-106.
- [2] Zhang J, Cheng HY, Zhou ST, et al. 3D-printed model-guided endoscopic evacuation for basal ganglia hemorrhage [J]. Sci Rep , 2020 10(1):5196.
- [3] 中华医学会神经病学分会,中华医学会神经病学分会脑血管病学组.中国脑出血诊治指南(2019) [J]. 中华神经科杂志, 2019 52(12):994-1005.
- [4] Broderick M, Rosignoli L, Lunagariya A, et al. Hypertension is a leading cause of nontraumatic intracerebral hemorrhage in young adults [J]. J Stroke Cerebrovasc Dis 2020 29(5):104719.
- [5] Qureshi AI, Qureshi MH. Acute hypertensive response in patients with intracerebral hemorrhage pathophysiology and treatment [J]. J Cereb Blood Flow Metab 2018 38(9):1551-1563.
- [6] Zuo SL, Pan PY, Li Q, et al. White matter injury and recovery after hypertensive intracerebral hemorrhage [J]. Biomed Res Int 2017, 2017(6):6138424.
- [7] Xia L, Han Q, Ni XY, et al. Different techniques of minimally invasive craniopuncture for the treatment of hypertensive intracerebral hemorrhage [J]. World Neurosurg 2019 126(3):e888-e894.
- [8] Mao YM, Shen ZM, Zhu HF, et al. Observation on therapeutic effect of stereotactic soft channel puncture and drainage on hypertensive cerebral hemorrhage [J]. Ann Palliat Med 2020 9(2):339-345.
- [9] Zhang JX, Lu SY, Wang SZ, et al. Comparison and analysis of the efficacy and safety of minimally invasive surgery and craniotomy in the treatment of hypertensive intracerebral hemorrhage [J]. Pak J Med Sci 2018 34(3):578-582.
- [10] Liang KS, Ding J, Yin CB, et al. Clinical study on minimally invasive liquefaction and drainage of intracerebral hematoma in the treatment of hypertensive putamen hemorrhage [J]. Technol Health Care 2017 25(6):1061-1071.
- [11] Wang GQ, Li SQ, Huang YH, et al. Can minimally invasive puncture and drainage for hypertensive spontaneous Basal Ganglia intracerebral hemorrhage improve patient outcome: a prospective non-randomized comparative study [J]. Mil Med Res 2014 1(1):10.
- [12] Wang WJ, Zhou NQ, Wang C. Minimally invasive surgery for patients with hypertensive intracerebral hemorrhage with large hematoma volume: a retrospective study [J]. World Neurosurg, 2017 105(5):348-358.
- [13] De Oliveira Manoel AL. Surgery for spontaneous intracerebral hemorrhage [J]. Crit Care 2020 24(1):45.
- [14] Zhao YN, Chen XL. Endoscopic treatment of hypertensive intracerebral hemorrhage: a technical review [J]. Chronic Dis Transl Med 2016 2(3):140-146.
- [15] Xu T, Chor T. Transtubular evacuation of hypertensive intracerebral hemorrhage with limited equipment [J]. World Neurosurg, 2018, 120(8):27.
- [16] Wen AY, Wu BT, Xu XB, et al. Clinical study on the early application and ideal dosage of urokinase after surgery for hypertensive intracerebral hemorrhage [J]. Eur Rev Med Pharmacol Sci 2018 22(14):4663-4668.
- [17] Li K, Ding XQ, Wang QB, et al. Low-cost accurate effective treatment of hypertensive cerebral hemorrhage with three-dimensional printing technology [J]. Front Neurol 2021 12(2):608403.
- [18] 杜洪澎,李珍珠,李泽福,等.3D打印导板技术在脑出血微创穿刺引流术中的应用 [J]. 中华神经医学杂志 2016 15(7):674-677.

(收稿 2021-10-07 修回 2021-11-26)