

## • 临床研究 •

## 磁共振模拟定位对脑转移瘤射波刀治疗靶区精准性的影响

白乘源, 凌昕, 金诚, 金俊希

**【摘要】目的** 评估磁共振模拟定位 (MRI<sub>sim</sub>) 对脑转移瘤射波刀放疗靶区的精确性。**方法** 收集 2022 年 11 月至 2023 年 3 月浙江省肿瘤医院放疗科收治的脑转移瘤患者 34 例, 先行 CT 模拟定位扫描, 后安排患者行 MRI<sub>sim</sub>, 并在一周内行脑部诊断磁共振 (MRI<sub>diag</sub>) 扫描, 分别在 CT 模拟定位图像、CT 模拟定位与 MRI<sub>sim</sub> 融合图像和 CT 模拟定位与 MRI<sub>diag</sub> 融合图像上进行勾画靶区及危及器官, 比较三种方法下靶区的体积、图像一致性指数 (CI)、戴斯相似指数 (DSC) 和几何质心位移 (COMD)。**结果** 共入组射波刀治疗的单发脑转移患者 34 例, 基于 MRI<sub>sim</sub> 的计划靶区体积 (PTV) 小于基于 CT 模拟定位勾画的体积 ( $P < 0.05$ ), 但基于 MRI<sub>sim</sub> 和基于 MRI<sub>diag</sub> 这两种方法勾画的 PTV 体积差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ ), MRI<sub>sim</sub> 和 MRI<sub>diag</sub> 相比, 靶区 GTV、PTV 的 CI 和 DSC 均接近 1, 差异无统计学意义 ( $P > 0.05$ )。当脑转移瘤  $\leq 1$  cm 或伴有明显周边水肿时, 基于 MRI<sub>sim</sub> 勾画的靶区与基于 MRI<sub>diag</sub> 勾画的靶区一致性差 ( $P < 0.05$ )。**结论** 相比于 CT 模拟定位图像, 基于 MRI 图像勾画的脑转移瘤靶区精确性明显提高; 当脑转移瘤  $\leq 1$  cm 或伴有明显瘤周水肿时, 推荐使用 MRI<sub>sim</sub>。

**【关键词】** 脑转移瘤; 磁共振定位; 射波刀; 靶区勾画; 影像融合

doi:10.3969/j.issn.1671-0800.2024.07.007

**【中图分类号】** R730.55; R739.4 **【文献标志码】** A **【文章编号】** 1671-0800(2024)07-0868-03

20%~40%的恶性肿瘤患者会出现脑转移<sup>[1]</sup>, 自然生存期只有 4 个月左右<sup>[2]</sup>。放疗是脑转移瘤的标准治疗之一, 对于 1~3 个病灶的患者, 以射波刀为主的立体定向放射治疗成为治疗首选<sup>[3]</sup>。CT 对脑转移瘤的分辨率较差, 临床上往往需要借助磁共振成像<sup>[4]</sup>。目前大部分医院缺乏磁共振定位这一有效手段, 就替代性使用诊断磁共振影像 (MRI<sub>diag</sub>) 与 CT 模拟定位影像数据进行图像融合。本研究拟比较 CT 模拟定位图像、CT 模拟定位与 MRI<sub>sim</sub> 融合图像和 CT 模拟定位与 MRI<sub>diag</sub> 融合图像对脑转移瘤的靶区、周围危及器官体积和位置的区别, 为 MRI<sub>sim</sub> 在脑转移瘤中的应用提供新的临床证据, 现报道如下。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 收集 2022 年 11 月至 2023 年 3 月浙江省肿瘤医院放疗科收治的脑转移瘤患者, 入组标准: (1) 实体瘤脑转移瘤单发病灶; (2) 行脑部 MRI<sub>sim</sub>, 并且

在一周内行脑部 MRI<sub>diag</sub> 的患者。排除标准: (1) 脑转移瘤个数  $\geq 2$  个; (2) 血液系统肿瘤; (3) 缺乏 1 周内脑 MRI<sub>diag</sub> 图像。最终入组脑转移瘤患者 34 例。本研究获得浙江省肿瘤医院医学伦理委员会批准, 所有研究对象均同意参加本研究并签署书面知情同意书。

## 1.2 方法

**1.2.1 CT 模拟定位扫描** 患者仰卧于定位床上, 双位于手外侧, 平静呼吸, 使用科莱瑞迪公司制作的热塑料面具固定于定位头架上, 由美国 GE 公司的螺旋 CT 定位扫描机完成脑部定位扫描, 采用静脉自动注射碘海醇 (扬子江药业公司, 1.5~2.0 ml/kg 用量, 速度 3.5 ml/s) 进行增强扫描, 扫描范围自头顶至锁骨上范围, 层间距 1 mm, 注射增强对比剂 25 s 后进行 CT 扫描和图像采集。

**1.2.2 MRI<sub>sim</sub> 扫描** CT 模拟定位扫描完成后, 立即安排患者行 MRI<sub>sim</sub>, 患者的固定体位、定位头架与 CT 定位时保持一致, 将患者固定于磁共振专用平板床上。MRI<sub>sim</sub> 使用 GE 公司 3.0T 的 750 w 型号机器完成, 扫描范围同 CT 模拟定位, 层间距同 CT 模拟定位, 扫描序列为 T<sub>1</sub> 加权序列 (体素大小: 1.0 mm×1.0 mm×1.0 mm, 重复时间 TR=8.5, 回波时间 TE=3.2)。

**1.2.3 图像融合** 将 CT 扫描图像、MRI<sub>sim</sub> 图像以及

**基金项目:** 浙江省医药卫生科技计划(2022ZH003、2022ZH004); 浙江省基础公益研究计划(LGF22H160070)

**作者单位:** 310005 杭州, 浙江省肿瘤医院

**通信作者:** 白乘源, Email: 1010479364@qq.com

影像归档和通讯系统 (Picture archiving and communication system, PACS 系统) 中的 MRI<sub>diag</sub> 传输至 Rastation V4.5 放疗计划系统 (RaySearch Laboratories AB, 瑞典), 分别进行 MRI<sub>sim</sub> 图像与 CT 模拟定位扫描图像、MRI<sub>diag</sub> 与 CT 模拟定位扫描图像融合。首先采取手工图像融合的方法, 在图像的横断面、冠状面以及矢状面进行手动匹配, 然后进行全图像的自动刚性融合, 最终由副主任医师以上的医疗责任组长观察融合后的效果, 手工微调产生最终的融合图像。

1.2.4 肿瘤靶区及危及器官的勾画 由两名主治医师以上的放疗专业医师进行脑转移瘤的靶区及危及器官的勾画, 分别在三种定位图像上进行勾画 (CT 模拟定位图像、CT 模拟定位与 MRI<sub>sim</sub> 融合图像和 CT 模拟定位与 MRI<sub>diag</sub> 融合图像), 大体肿瘤体积 (GTV) 均匀外放 2 mm 形成计划靶区体积 (PTV); 危及器官主要勾画眼球、视神经和脑干, 通过放疗计划系统计算靶区及危及器官的体积。

1.2.5 图像融合匹配度评估 (1) 基于三种定位图像所勾画的靶区和周围危及器官 (OAR) 体积数值的比较; (2) 图像一致性指数 (CI),  $CI = (A \cap B) / (A \cup B)$ , A 和 B 代表相比较的两种图像的轮廓; (3) 戴斯相似指数 (DSC),  $DSC = 2(VA \cap VB) / (VA + VB)$ ; (4) 几何质心位移 (COMD), 代表不同图像上勾画的靶区在左右 (X 轴)、上下 (Y 轴) 和前后 (Z 轴) 各方向上的位移程度总和。

1.3 统计方法 采用 SPSS 26.0 统计软件进行分析, 计量资料以均数±标准差表示, 两组比较采用 *t* 检验, 多组比较采用单因素方差分析。P < 0.05 表示差异有统计学意义。

## 2 结果

2.1 患者特征 本研究共入组射波刀治疗的单发脑转移患者 34 例, 均接受 MRI<sub>sim</sub> 定位, 其中肺癌脑转移 23 例, 乳腺癌脑转移 9 例, 肝癌脑转移 2 例; 大脑转移瘤 21 例, 小脑转移瘤 13 例; 转移瘤中位直径 2.15 cm, 其中 ≥ 1 cm 患者 24 例, < 1 cm 患者 10 例; 伴有明显周围脑组织水肿 20 例, 水肿不明显 14 例。

2.2 靶区和危及器官体积比较 基于 MRI<sub>sim</sub> 勾画的 PTV 靶区体积小于基于 CT 模拟定位勾画的体积 (*t* = 2.02, P < 0.05), 但基于 MRI<sub>sim</sub> 和 MRI<sub>diag</sub> 勾画的 PTV 体积

差异无统计学意义 (*t* = 0.08, P > 0.05); 基于三种图像勾画的 GTV 及相关危及器官体积差异均无统计学意义 (F ≤ 0.01, 均 P > 0.05), 见表 1。

2.3 患者靶区及脑干的 CI、DSC 及 COMD 比较 34 例脑转移瘤患者 CT 模拟定位图像上勾画的 GTV、PTV 与 MRI<sub>sim</sub> 相比, CI 和 DSC 数值均偏低, 然而 MRI<sub>sim</sub> 和 MRI<sub>diag</sub> 相比, 靶区 GTV、PTV 的 CI 和 DSC 均接近 1; 基于 CT 模拟定位图像勾画的 GTV 和 PTV 的 COMD 大于基于 MRI 勾画的靶区的 COMD, 见表 2。

2.4 脑转移瘤特征与靶区一致性的关系 当脑转移瘤 ≤ 1 cm 或伴有明显周边水肿时, 基于 MRI<sub>sim</sub> 勾画的靶区与基于 MRI<sub>diag</sub> 勾画的靶区一致性差, 其他情况下, 两者的一致性接近于 1, 见表 3。

## 3 讨论

以射波刀为代表的立体定向放射外科技术是将大剂量射线在 1 ~ 3 次内投照到肿瘤组织上, 从而实现精准治疗。Greto 等<sup>[5]</sup>学者对比了射波刀和 Tomotherapy 在脑转移瘤放射外科中的剂量学差异, 发现射波刀有更好的适形性和剂量梯度指数, 因此在临床应用中推荐使用射波刀来治疗有限个数的脑转移瘤。

精准放疗定位是精准放疗的前提, 因此如何实现脑转移瘤患者的精准放疗定位就成为了射波刀治疗的重中之重, 这也成为了当前该领域的研究热点。

表 1 34 例脑转移瘤患者靶区及危及器官体积比较

靶区及危及器官	CT 模拟定位	MRI <sub>diag</sub>	MRI <sub>sim</sub>
GTV	2.26±2.18	2.21±2.29	2.19±2.27
PTV	16.63±12.34	10.75±12.27	10.52±12.22
左侧眼球	11.29±1.56	10.81±1.60	10.66±1.66
右侧眼球	11.71±1.35	10.94±1.47	10.83±1.56
脑干	26.71±3.87	25.57±3.71	25.24±3.84
左视神经	0.79±0.27	0.73±0.15	0.72±0.12
右视神经	0.83±0.21	0.74±0.16	0.74±0.15

表 2 患者靶区及脑干的 CI、DSC 及 COMD 比较

靶区或危及器官	CT 模拟定位 vs MRI <sub>sim</sub>	MRI <sub>sim</sub> vs MRI <sub>diag</sub>
GTV	CI	0.57±0.12
	DSC	0.61±0.09
	COMD	0.78±0.44
PTV	CI	0.59±0.22
	DSC	0.72±0.36
	COMD	0.76±0.24
脑干	CI	0.88±0.15
	DSC	0.91±0.21
	COMD	0.62±0.11

注: CI 为图像一致性指数, DSC 为戴斯相似指数, COMD 为几何质心位移

表3 脑转移瘤特征与靶区一致性的关系(MRI<sub>sim</sub> vs MRI<sub>diag</sub>)

靶区	GTV		PTV	
	CI	DSC	CI	DSC
肿瘤大小				
≤1 cm	0.83±0.19	0.90±0.11	0.84±0.17	0.86±0.12
>1 cm	0.97±0.06	0.95±0.06	0.95±0.14	0.94±0.07
肿瘤位置				
大脑	0.94±0.20	0.94±0.12	0.92±0.17	0.93±0.12
小脑	0.92±0.08	0.96±0.07	0.92±0.15	0.89±0.06
伴有水肿				
有	0.85±0.11	0.89±0.10	0.85±0.12	0.86±0.12
无	0.94±0.09	0.95±0.08	0.95±0.08	0.95±0.09

注:CI为图像一致性指数,DSC为戴斯相似指数

以往的研究表明为了提高头颈部肿瘤的放射治疗精度,推荐勾画肿瘤原发病灶靶区 GTV 时采用将 CT 模拟机采集的图像与同一体位下 MRI 模拟定位机扫描的图像进行融合,从而提高 GTV 靶区勾画的精确度<sup>[6-7]</sup>。然而大多数医院的放疗科缺乏 MRI 模拟定位机,只能通过将 MRI<sub>diag</sub> 与 CT 模拟图像融合的替代方法,但由于两者体位的不一致以及诊断 MRI 缺乏激光灯等原因,造成靶区勾画精度下降。因此,本研究主要对比了 MRI<sub>diag</sub> 与 CT 模拟定位图像融合和 MRI<sub>sim</sub> 与 CT 模拟定位图像融合这两种方法下脑转移瘤靶区勾画体积、图像一致性和空间位移之间的差别。

20%~30%的脑转移瘤是单发病灶,影像学上表现为圆形或类圆形结节,边界不清,显微镜下发现瘤细胞常沿血管外膜及脑组织向四周浸润,并常伴有周围脑组织水肿。另外 CT 图像上对脑组织、脑转移瘤病灶等软组织密度的解剖结构分辨不清。因此,基于 CT 扫描的图像无法清晰显示脑转移瘤的形状、边界和周围水肿情况,尤其是那些对 CT 对比剂过敏而无法进行增强比对的患者。本研究结果显示,相比于 CT 图像, MRI 融合 CT 图像勾画的脑转移瘤靶区体积偏小,提示 MRI 对软组织有更高的分辨率,能够清晰显示病灶的形状,靶区的精准勾画能够为后续的射波刀治疗带来更好的局部控制和更小的周围正常脑组织坏死概率。Acker 等<sup>[8]</sup>报道了 97 例射波刀治疗脑转移瘤的临床研究,结果显示经过 MRI<sub>sim</sub> 与 CT 模拟定位图像融合的方法,其勾画的 GTV 中位体积为 1.05 cm<sup>3</sup>,射波刀治疗后 6 年肿瘤局部控制率高达 64.6%,无一例患者出现放射性脑坏死。

相比于基于 CT 勾画的靶区和 MRI 图像融合基础上勾画的转移瘤靶区一致性较差的情况,基于 MRI<sub>sim</sub> 的靶区和基于 MRI<sub>diag</sub> 的靶区一致性明显提高,

该结果与既往研究结果相似。顾莹等<sup>[9]</sup>对 8 例脑胶质瘤分别勾画了 MRI<sub>sim</sub>、MRI<sub>diag</sub> 和 CT 的靶区及危及器官图像,发现相比于 CT, MRI<sub>sim</sub> 和 MRI<sub>diag</sub> 明显改善靶区及危及器官的一致性, MRI<sub>sim</sub> 甚至继续增加了 MRI<sub>diag</sub> 的图像相似指数 10%,提示虽然这三种方法勾画的靶区之间没有明显剂量学差异,但是相较于 CT 和 MRI<sub>diag</sub>, MRI<sub>sim</sub> 引入放疗与 CT 模拟图像融合能够明显改善图像匹配的精确性。本研究另一项重要发现就是当脑转移瘤≤1 cm 或伴有明显周边水肿时,基于 MRI<sub>sim</sub> 勾画的靶区与基于 MRI<sub>diag</sub> 勾画的靶区一致性差,提示推荐对这两类患者进行 MRI 模拟机定位,可以明显改善靶区勾画的精确性。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

### 参 考 文 献

- [1] CAGNEY D N, MARTIN A M, CATALANO P J, et al. Incidence and prognosis of patients with brain metastases at diagnosis of systemic malignancy: A population-based study[J]. Neuro Oncol, 2017, 19(11): 1511-1521.
- [2] Global Burden of Disease Cancer Collaboration, FITZMAURICE C, ABATE D, et al. Global, regional, and national cancer incidence, mortality, years of life lost, years lived with disability, and disability-adjusted life-years for 29 cancer groups, 1990 to 2017: A systematic analysis for the global burden of disease study[J]. JAMA Oncol, 2019, 5(12): 1749-1768.
- [3] KOZIN S V. Vascular damage in tumors: A key player in stereotactic radiation therapy[J]. Trends Cancer, 2022, 8(10): 806-819.
- [4] 钟贻洪,杨倩,刘周,等.磁共振成像平扫和扩散加权成像预测脑转移瘤的价值[J].中华肿瘤杂志,2021,43(4):466-471.
- [5] GRETO D, PALLOTTA S, MASI L, et al. A dosimetric comparison between CyberKnife and tomotherapy treatment plans for single brain metastasis[J]. La Radiol Med, 2017, 122(5): 392-397.
- [6] WEBSTER G J, KILGALLON J E, HO K F, et al. A novel imaging technique for fusion of high-quality immobilised MR images of the head and neck with CT scans for radiotherapy target delineation[J]. Br J Radiol, 2009, 82(978): 497-503.
- [7] BRUNT J N. Computed tomography-magnetic resonance image registration in radiotherapy treatment planning[J]. Clin Oncol (R Coll Radiol), 2010, 22(8): 688-697.
- [8] ACKER G, HASHEMI S M, FUELLHASE J, et al. Efficacy and safety of CyberKnife radiosurgery in elderly patients with brain metastases: A retrospective clinical evaluation[J]. Radiat Oncol, 2020, 15(1): 225.
- [9] 顾莹,邢鹏飞,蔡尚,等.磁共振模拟定位及磁共振诊断影像与定位 CT 融合的精准性比较[J].中华放射医学与防护杂志,2019,39(11): 827-832.

收稿日期:2024-03-03

(本文编辑:陈志翔)