

论 著

CT三维重建在早期微小肺结节鉴别诊断中的应用*

王廷婷 徐莹 林保光
吴彤 姜瞳 吕东阳*
中国人民解放军北部战区总医院
放射治疗科(辽宁沈阳110000)

【摘要】目的 探究电子计算机断层扫描(CT)三维重建在微小肺结节鉴别诊断中的应用价值。方法 收集癌症影像在线数据集(TCIA)2018年11月至2020年3月的171例微小肺结节患者为研究对象,所有患者均接受胸部CT扫描、CT三维重建检查,分析良恶性肺结节CT三维重建影像学特征,并分析CT三维重建对微小肺结节的诊断价值。结果 病理诊断结果显示171例患者共计171个微小肺结节,良性74个,恶性97个;良性结节与恶性结节患者在空泡征、血管束征、分叶征、毛刺征、胸膜牵拉征差异均有统计学意义($P<0.05$),在形状、实质成分、钙化、棘突征、空气支气管征、空洞特征差异均无统计学意义($P>0.05$); Logistic回归分析显示,空泡征、血管束征、分叶征、毛刺征、胸膜牵拉征是良恶性结节的危险因素($P<0.05$); 受试者工作曲线(ROC)结果显示,单项指标诊断微小肺结节良恶性时,毛刺征诊断的AUC最高为0.869,敏感度为84.54%,特异度为89.19%,联合诊断微小肺结节时,空泡征、血管束征、分叶征、毛刺征、胸膜牵拉征联合诊断的AUC最高为0.968,敏感度为94.85%,特异度为89.19%。结论 CT三维重建诊断早期微小肺结节具有良好的诊断效能。

【关键词】微小肺结节; 早期;
电子计算机断层扫描; 三维重建; 诊断

【中图分类号】R563

【文献标识码】A

【基金项目】辽宁省科学技术计划项目
(2020JH/10300172)

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2025.03.023

Application of CT 3D Reconstruction in Differential Diagnosis of Minute Pulmonary Nodules*

WANG Ting-ting, XU Ying, LIN Bao-guang, WU Tong, JIANG Tong, LV Dong-yang*.
Department of Radiotherapy, General Hospital of Northern Theatre Command, Shenyang
110000, Liaoning Province, China

ABSTRACT

Objective To investigate the application value of 3D reconstruction of computed tomography (CT) in differential diagnosis of minute pulmonary nodules. **Methods** From November 2018 to March 2020, 171 patients with minute pulmonary nodules from The Cancer Imaging Archive (TCIA) were selected as the research subjects. All of them were examined with chest CT and CT 3D reconstruction. CT 3D reconstruction imaging features of benign and malignant nodules were analyzed. The diagnostic value of CT 3D reconstruction for minute pulmonary nodules was evaluated. **Results** Pathological results showed that the 171 patients had a total of 171 minute pulmonary nodules, including 74 benign ones and 97 malignant ones. There were statistically significant differences in vacuolar sign, vascular convergence sign, lobulation sign, spicule sign, and pleural traction sign between patients with benign and malignant nodules ($P<0.05$). However, there were no statistically significant differences in shape, composition of the parenchyma, calcification, spinous process sign, air bronchogram sign, and cavity features ($P>0.05$). Logistic regression analysis showed that vacuolar sign, vascular convergence sign, lobulation sign, spicule sign, and pleural traction sign were risk factors for benign and malignant nodules ($P<0.05$). The receiver operating characteristic (ROC) curve analysis results showed that when a single indicator was used to diagnose benign or malignant minute pulmonary nodules, the AUC of spicule sign was the largest, which was 0.869. Its sensitivity and specificity were 84.54% and 89.19%. For joint diagnosis, the AUC of combination of vacuolar sign, vascular convergence sign, lobulation sign, spicule sign, and pleural traction sign was the largest, which was 0.968. The sensitivity and specificity were 94.85% and 89.19%. **Conclusion** CT 3D reconstruction has good diagnostic efficacy for early small lung cancer.

Keywords: Minute Pulmonary Nodule; Early; Computed Tomography; Three-dimensional Reconstruction; Diagnosis

肺癌是最常见的恶性肿瘤之一,患者5年生存率仅为10%~15%,而早期微小肺癌(直径 $\leq 1\text{cm}$)通常无远处转移,术后5年存活率可接近100%^[1]。但微小肺癌早期没有特异性临床症状,多数患者就诊时已错过手术最佳时机。因此,早期对肺结节进行良恶性诊断对患者预后具有重要的意义。目前,临床鉴别诊断肺结节的方法有活检穿刺、电子计算机断层扫描技术(CT)等,其中胸部CT扫描是一种快捷、无创的检查方法,但微小肺结节隐匿性强,各种影像及临床征象微弱,普通胸部CT平扫难以满足诊断要求^[2-3]。胸部CT三维重建包括多平台重建、容积再现重建等,经三维重建后可获得全面、清晰的病灶图像,方便观察微小病灶的影像学特征^[4-5]。鉴于此,本研究将探究CT三维重建技术对微小肺结节的诊断价值,分析早期微小肺结节影像学特点,旨在为微小肺结节的临床诊断提供参考依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料 收集癌症影像在线数据集(TCIA)(<https://www.cancerimagingarchive.net/>)2018年11月至2020年3月的171例肺结节为研究对象。

纳入标准:患者均行胸部CT三维重建检查,获取准确结果;单发结节;扫描前获得被试者及其父母法定监护人的书面知情同意,通过了所属地区伦理委员会的批准,遵守赫尔辛基宣言。排除标准:临床资料缺失不能满足本研究需求患者;合并其他恶性肿瘤患者;无法简单沟通,患有精神类疾病或意识不清晰。171例患者男96例,女75例;年龄31~79岁,平均年龄(54.68 $\pm$ 8.16)岁。

1.2 方法 胸部CT三维重建扫描:采用GE64排螺旋CT对患者行CT三维重建扫描。患者取仰卧位,从胸顶膜扫描至肾脏中部,管电流、管电压分别为200 mA、120 kV,层厚5 mm,层间距5 mm,重建层厚1.5 mm。常规平扫后,经肘静脉3 mL/s注射350 mgI/mL 碘帕醇造影剂80-100 mL,管电压120 kV, X线球管速度0.8 s/r,矩阵为512 $\times$ 512。

1.3 图像分析 图像导入工作站后进行处理,利用肺结节分析软件对病灶进行处理,进行多平面重建和容积再现重建,多平面重建由CT扫描自动生成。容积再现重建由CT扫描仪自带的VR结节软件和心血管软件联合生成容积再现重建图像。通过轴位、冠状位、矢状位进行多角度观察,记录影像学特征。CT图像由2名主任医师进行评估,均具有10年放射科工作经验,若对评估结果存在争议则由上级主任医师判定

1.4 统计学方法 采用SPSS 27.0统计学软件分析数据。计数资料以例(%)表示,行 χ^2 检验;计量资料以($\bar{x} \pm s$)表示,行t检验, Logistic回归分析良恶性肺结节CT三维重建影像

【第一作者】王廷婷,女,主治医师,主要研究方向:肿瘤影像诊断及放射治疗。E-mail: 642927080@qq.com

【通讯作者】吕东阳,女,副主任护师,主要研究方向:肿瘤影像诊断及放射治疗。E-mail: Dongyanglv@sina.com

特征,受试者工作曲线(ROC)分析CT重建三维影像学特征对微小肺结节良恶性的诊断价值, $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

2.1 病理检查结果 171例患者共计171个微小肺结节, 良性74个, 其中结核18个, 错构瘤6个, 肺脓肿11个, 局灶性炎症18个, 肉芽肿性炎21个, 恶性97个, 其中腺癌42个, 鳞癌32个, 小细胞癌23个。

2.2 良恶性肺结节CT三维重建影像特征分析 良性结节与恶性结节患者在空泡征、血管集束征、分叶征、毛刺征、胸膜牵拉征差异均有统计学意义($P<0.05$), 在形状、实质成分、钙化、棘突征、空气支气管征、空洞征差异均无统计学意义($P>0.05$), 见表1。

表1 良恶性肺结节CT三维重建影像特征分析(例, %)

特征	良性(n=74)	恶性(n=97)	χ^2	P
形状			1.189	0.276
规则	32(43.24)	34(32.99)		
不规则	42(56.76)	63(43.30)		
实质成分				
纯实质	21(32.81)	29(33.72)	0.153	0.696
部分实质	11(17.19)	18(20.93)	0.049	0.825
空泡征	34(53.13)	81(94.19)	36.091	0.000
血管集束征	31(48.44)	83(96.51)	48.960	0.000
钙化	41(55.41)	65(42.27)	1.759	0.185
分叶征	41(64.06)	85(98.84)	33.015	0.000
毛刺征	8(12.50)	82(95.35)	107.107	0.000
胸膜牵拉征	35(54.69)	84(97.67)	41.356	0.000
棘突征	8(12.50)	13(15.12)	0.028	0.868
空气支气管征	6(9.38)	11(12.79)	0.158	0.691
空洞征	32(50.00)	39(45.35)	1.500	0.221

2.3 肺结节CT三维重建影像学特征Logistic回归分析 以结节良恶性(良性=0、恶性=1)作为因变量, 将单因素分析中具有统计学意义的资料作为自变量, 并对其赋值, 空泡征(有=1, 无=0)、血管集束征(有=1, 无=0)、分叶征(有=1, 无=0)、毛刺征(有=1, 无=0)、胸膜牵拉征(有=1, 无=0), Logistic回归分析显示, 空泡征、血管集束征、分叶征、毛刺征、胸膜牵拉征是良恶性结节的危险因素($P<0.05$), 见表2。

2.4 CT三维重建影像学特征对良恶性结节的诊断价值 ROC结果显示, 单项指标诊断微小肺结节良恶性时, 毛刺征诊断的AUC最高为0.869, 敏感度为84.54%, 特异度为89.19%, 联合诊断微小肺结节时, 空泡征、血管集束征、分叶征、毛刺征、胸膜牵拉征联合诊断的AUC最高为0.968, 敏感度为94.85%, 特异度为

89.19%, 见表3、图1。

表2 肺结节CT重建影像学特征Logistic回归分析

变量	β	SE	wald	OR	95%CI	95%CI	P
空泡征	1.784	0.359	24.633	5.956	2.944	12.050	0.000
血管集束征	2.399	0.691	12.044	11.016	2.841	42.707	0.000
分叶征	2.020	0.761	7.034	7.536	1.694	33.526	0.008
毛刺征	4.287	0.756	32.134	72.734	16.521	320.220	0.000
胸膜牵拉征	2.650	0.731	13.138	14.159	3.378	59.351	0.001

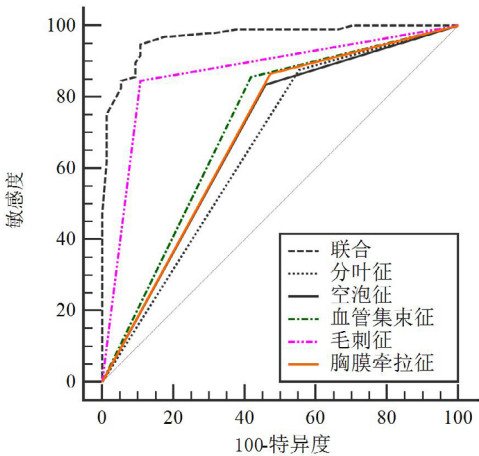


图1 CT三维重建影像学特征对良恶性结节的诊断ROC曲线图。

2.5 影像学图像特征分析

2.5.1 良性肺结节患者CT三维重建图像分析: 女性, 26岁; 左肺下叶近胸膜这类圆形结节, 大小约0.9 cm×0.8 cm, 边界尚清, 结节内部密度混杂。纵隔窗可见结节中心处钙化灶, 结节周围纤维化改变。结节粘连胸膜处可见胸膜增厚, 未见纵隔及肺门淋巴结转移。见图2。患者未行治疗, 半年后术后病理为结核。

2.5.2 良性肺结节患者CT三维重建图像分析: 男性, 40岁; 左肺斜裂间实性结节, 大小约0.5 cm×0.3 cm, 形态规则, 边界清晰, 结节内部密度均匀。见图3。后多年影像学随访未变化, 考虑炎性结节。

2.5.3 恶性肺结节患者CT三维重建图像分析: 女性, 55岁; 右肺下叶外基底段可见磨玻璃结节, 大小约0.8 cm×0.6 cm, 病理为右肺下叶微浸润腺癌, 未侵犯胸膜, 无淋巴结转移; 诊断为微小肺腺癌, 见图4。

2.5.4 恶性肺结节患者CT三维重建图像分析: 男性, 65岁; 恶性, 右肺下叶背段混杂密度结节, 伴分叶状, 可见实性成分, 大小约0.9 cm×0.5 cm; 边缘毛刺征, 临近胸膜受牵拉。术后病理为中高分化微小肺腺癌, 见图5。

表3 CT三维重建影像学特征对良恶性结节的诊断ROC曲线分析

指标	AUC(95%CI)	Z/P	约登指数	临界值	敏感度(%)	特异度(%)
空泡征	0.688(0.613-0.756)	4.458/0.000	0.376	恶性	83.51	54.05
血管集束征	0.718(0.645-0.784)	5.328/0.000	0.437	恶性	85.57	58.11
分叶征	0.661(0.585-0.732)	3.732/0.000	0.322	恶性	87.63	44.59
毛刺征	0.869(0.809-0.915)	12.335/0.000	0.737	恶性	84.54	89.19
胸膜牵拉征	0.697(0.622-0.764)	4.685/0.000	0.393	恶性	68.60	52.70
联合	0.968(0.929-0.989)	39.146/0.000	0.840		94.85	89.19

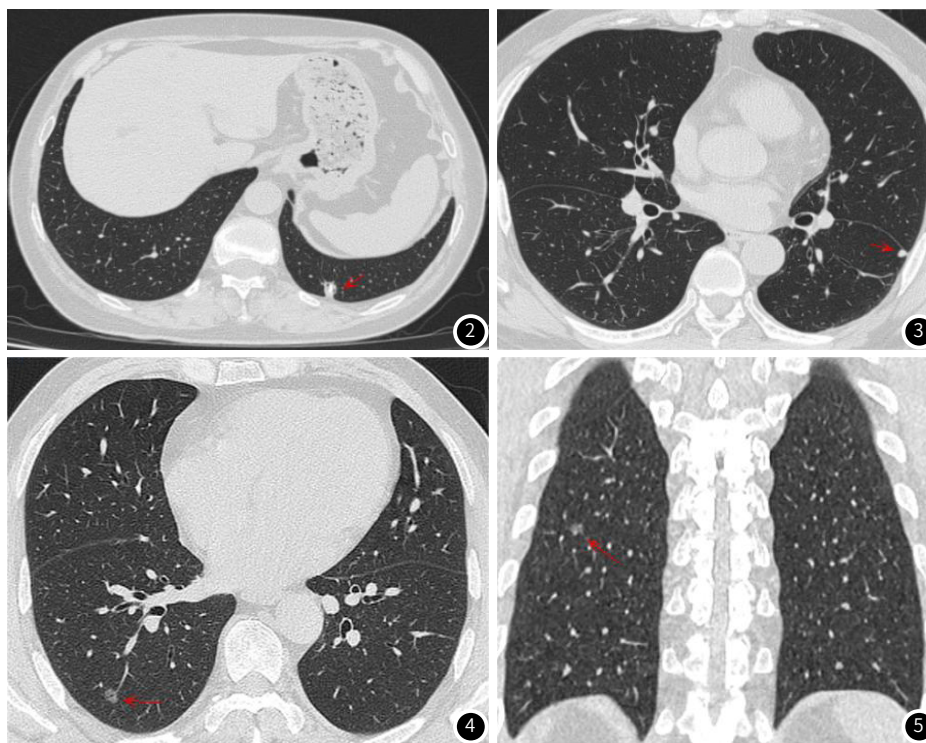


图2 良性患者CT三维重建图像。图3 良性患者CT三维重建图像。
图4 恶性患者CT三维重建图像。图5 恶性患者CT三维重建图像。

3 讨论

近年来,我国肺结节发病率逐年升高,死亡率也呈攀升趋势。恶性肺结节主要为肺癌,预后较差,随着病情的进展,可转移至肝脏、肾上腺等部位,出现远处转移征象,因此早期及时诊断尤为重要^[6-8]。普通胸部CT扫描是对肺结节进行定位、评估的常用方法之一,不具备立体性和直观性,诊断效果欠佳^[9]。近年来随着影像学技术的发展,CT三维重建被广泛应用于肺部疾病的诊断中。CT三维重建技术能弥补CT扫描的不足,诊断准确率更高^[10-11]。

CT三维重建包含多台重建、容积再现重建,有研究认为多平台重建技术具有改进肺结节多排螺旋CT计算机自动检测流程的潜力,指出其在肺结节诊断中具有巨大的价值^[12-13]。容积再现是一种CT图像后的处理技术,能准确识别出病灶表面的细微变化,对于微小肺结节患者,容积再现技术具有更高的诊断效能和检出率^[14-15]。本研究结果显示,病理诊断结果显示171例微小肺结节患者中良性74例,恶性97例,CT扫描结果显示,良性84例,恶性87例,良性结节与恶性结节患者在空泡征、血管集束征、分叶征、毛刺征、胸膜牵拉征差异均有统计学意义,在形状、实质成分、钙化、棘突征、空气支气管征、空洞特征差异均无统计学意义,Logistic回归分析显示,空泡征、血管集束征、分叶征、毛刺征、胸膜牵拉征是良恶性结节的危险因素,提示空泡征、血管集束征、分叶征、毛刺征、胸膜牵拉征是微小肺结节恶性的影像学特征。分叶征是由恶性肺结节生长引起,出现细胞岛、肺小间隔阻断;毛刺征是结节边缘出现细短的毛刺状突起,是恶性肿瘤的常见征象;胸膜牵拉征是由于肺癌病灶可引起胸膜凹陷,形成细线条影和小三角形软组织密度影,典型的牵拉征是基底位于胸膜尖端与肿块相连的喇叭形;血管集束征表现为病灶周围的大血管和小支气管直接或间接与病灶相连,病灶周围血管靠近病灶区增粗,表明肿瘤具有侵袭性;空泡征是由肿瘤组织坏死或液化导致结节内部出现小的透亮区,是早期肺癌的重要征象^[16-18]。

ROC结果显示,单项指标诊断微小肺结节良恶性时,毛刺征诊断的AUC最高为0.869,敏感度为84.54%,特异度为89.19%,联合诊断微小肺结节时,空泡征、血管集束征、分叶征、毛刺征、胸膜牵拉征联合诊断的AUC最高为0.968,敏感度为94.85%,特异度为89.19%,表明空泡征、血管集束征、分叶征、毛刺征、胸膜牵拉征联合诊断能提高微小肺结节良恶性诊断

效能。CT三维重建技术结合了多平台重建和容积再现技术,通过计算机对原始数据进行精细处理,生成冠状位、矢状位及三维图像,这些图像能够从多个角度观察病灶,使医生能够更准确地判断病灶的大小、形态、密度以及与周围组织的关系,从而提高诊断的准确性^[19-20]。有研究指出,CT三维重建技术中的容积在线技术能将分叶征、胸膜牵拉、血管集束、空泡征等与周边组织的关系清晰地展示出来,从而为医生提供更为准确的诊断信息,有助于病灶的定性诊断^[21]。但仍存在一定的假阴性、假阳性率,因此在检查的过程中应注意去除患者身上佩戴的金属物品,指导患者在检查的过程中尽量保持呼吸平稳,保持体位固定;医师在评估图像时,要仔细查看多个角度、多个层面的图像,要提高医师的诊断经验和技能水平,以减少CT三维重建在诊断肺结节时的假阴性、假阳性率。

综上所述,CT三维重建的影像学特征中空泡征、血管集束征、分叶征、毛刺征、胸膜牵拉征联合诊断能提高早期微小肺结节诊断效能。但本研究也存在一定的局限性,本研究为小样本量、单中心研究,研究结果存在一定程度的偏倚;CT图像质量受到设备的影响、CT图像的评估受到医师的主观影响等因素均对结果产生一定的影响,因此,仍需在后续的研究中扩大样本量进一步探究。

参考文献

- [1] 韩心怡,邵玉,杨燕.免疫检查点抑制剂治疗小细胞肺癌疗效及预后生物标志物的研究进展[J].中国肿瘤生物治疗杂志,2024,31(6):632-638.
- [2] 王钺,李晓冬,王睿,等.CT增强扫描结合外显体LncRNA RP5-977B1对于非小细胞肺癌诊断和预后的价值研究[J].中国CT和MRI杂志,2024,22(6):65-67,81.
- [3] 郑思捷,向佳,陈茜彤,等.宽体能谱CT参数在鉴别诊断肺癌纵隔转移、非转移淋巴结与反应性增生淋巴结中的价值[J].实用医学杂志,2024,40(14):2003-2008.
- [4] Tsuboi K,Kanbe T,Matsushima H,et al.Three-dimensional CT imaging in extensor tendons using deep learning reconstruction:optimal reconstruction parameters and the influence of dose[J].Phys Eng Sci Med,2023,46(4):1659-1666.
- [5] 刘金,周胜利,魏宁,等.CT、MR三维重建在恶性肿瘤致梗阻性黄疸穿刺定位中的应用价值[J].介入放射学杂志,2023,32(8):792-795.
- [6] 陈英,钟文昭.第8版肺癌TNM分期浅析[J].临床外科杂志,2016,24(7):486-490.
- [7] Berg CD,Schiller JH,Boffetta P,et al.Air pollution and lung cancer:a review by international association for the study of



(上接第48页)

- [11] Vacek A, Mair G, White P, et al. Evaluating artificial intelligence software for delineating hemorrhage extent on CT brain imaging in stroke: AI delineation of ICH on CT[J]. J Stroke Cerebrovasc Dis, 2024, 33(1): 107512.
- [12] Kuang H, Wang Y, Liu J, et al. Hybrid CNN-transformer network with circular feature interaction for acute ischemic stroke lesion segmentation on non-contrast CT scans[J]. IEEE Trans Med Imaging, 2024, PP.
- [13] Rau A, Reiser T, Stein T, et al. Impact of temporal resolution on perfusion metrics, therapy decision, and radiation dose reduction in brain CT perfusion in patients with suspected stroke[J]. Neuroradiology, 2024.
- [14] Manganaro M S, Ismail R F, Schartz D A, et al. Improving turnaround time of noncontrast CT head studies in patients with acute stroke[J]. J Am Coll Radiol, 2024.
- [15] Rapillo C M, Dunet V, Pistocchi S, et al. Moving from CT to MRI Paradigm in acute ischemic stroke: feasibility, effects on stroke diagnosis and long-term outcomes[J]. Stroke, 2024.
- [16] Fladt J, Kaesmacher J, Meinel T R, et al. MRI vs CT for baseline imaging evaluation in acute large artery ischemic stroke: a subanalysis of the SWIFT-DIRECT Trial[J]. Neurology, 2024, 102(2): e207922.
- [17] Shinohara Y, Ohmura T, Ibaraki M, et al. Non-contrast dual-energy CT using X-map for acute ischemic stroke: region-specific comparison with simulated 120-kVp CT and diffusion-weighted MR images[J]. Jpn J Radiol, 2024, 42(2): 165-173.
- [18] Lee P, Dhillon G, Pourafkari M, et al. Non-ECG-gated cardiac CT angiography in acute stroke is feasible and detects sources of embolism[J]. Int J Stroke, 2024, 19(2): 189-198.
- [19] Borsos B, Allaart C G, van Halteren A. Predicting stroke outcome: a case for multimodal deep learning methods with tabular and CT Perfusion data[J]. Artif Intell Med, 2024, 147: 102719.
- [20] Philippe D, Bernard A, Ricolfi F, et al. Prevalence of major embolic findings and incidental findings on early cardiac CT in patients with suspected ischemic stroke[J]. Diagn Interv Imaging, 2024.
- [21] Amador K, Gutierrez A, Winder A, et al. Providing clinical context to the spatio-temporal analysis of 4D CT perfusion to predict acute ischemic stroke lesion outcomes[J]. J Biomed Inform, 2024, 149: 104567.
- [22] Heo J, Sim Y, Kim B M, et al. Radiomics using non-contrast CT to predict hemorrhagic transformation risk in stroke patients undergoing revascularization[J]. Eur Radiol, 2024.
- [23] Avery E W, Abou-Karam A, Abi-Fadel S, et al. Radiomics-based prediction of collateral status from CT angiography of patients following a large vessel occlusion stroke[J]. Diagnostics (Basel), 2024, 14(5).
- [24] Ostmeier S, Axelrod B, Liu Y, et al. Random expert sampling for deep learning segmentation of acute ischemic stroke on non-contrast CT[J]. J Neurointerv Surg, 2024.

(收稿日期: 2024-04-30)

(校对编辑: 姚丽娜)