

基于 CT 三维可视化定量参数在肺磨玻璃结节术前手术方式评估中的价值

陈金鑫, 蓝波, 李峰, 曾馨怡, 彭吉东

【摘要】 目的:旨在研究 <3 cm 肺磨玻璃结节(GGN)浸润风险性评估的最佳诊断指标及其临界值,通过重点分析 GGN 的 CT 三维可视化定量参数,探讨其在临床术前手术方法评估中的应用价值。**方法:**回顾性搜集本院 2021 年 9 月~2022 年 6 月进行手术治疗并确诊的 3 cm 以下的肺磨玻璃结节 126 例,依照最终病理结果将浸润性腺癌(IA)纳入到高浸润风险组,非典型腺瘤样增生(AAH)、原位腺癌(AIS)及微浸润性腺癌(MIA)纳入低浸润风险组。利用三维可视化技术获取肺 GGN 三维定量参数:包括三维体积、三维平均 CT 值、实性占比等,并从中筛选出预测浸润风险性的参数指标并评估其诊断价值。**结果:**共纳入患者 126 例,高浸润风险组 70 例,平均年龄 57 岁(49 岁,62 岁),低浸润风险组 56 例,平均年龄 50 岁(40 岁,54 岁),两组平均年龄、年龄段及结节大小分布差异具有统计学意义($P<0.05$),两组性别的比例及结节位置的分布差异均无统计学意义($P>0.05$)。高浸润风险组和低浸润风险组之间的各项三维定量参数在统计学上具有显著差异($P<0.05$)。肺 GGN 风险性受试者工作特征曲线(ROC)显示 GGN 长径、短径、长径/短径、三维平均 CT 值、三维体积、三维密度、三维质量以及实性占比预测肺 GGN 浸润风险性的最佳阈值为 11.85 mm、8.95 mm、1.351、-597.1 HU、447.75 mm³、0.403 mg·mm⁻³、223.628 mg、7.85%,其中当病灶的三维体积大于 447.75 mm³ 时,可预测为高浸润风险肺 GGN 的敏感度较高,为 81.4%、特异度 69.6%。根据多因素 Logistic 回归分析的结果,发现三维体积和实性占比对于预测肺 GGN 浸润风险性具有独立的预测价值。当这两个指标联合应用时,其预测准确性进一步提高(AUC=0.826)。**结论:**通过合理使用三维可视化技术,获取肺结节三维体积、质量等定量参数,能够有效辅助对 <3 cm 肺 GGN 的浸润风险性评估,结合临床相关资料,对临床术前手术方式评估和判断具有重要的指导意义。

【关键词】 肺肿瘤; 肺结节; 体层摄影术, X 线计算机; 成像, 三维; 腺癌

【中图分类号】 R734.2; R521.6; R445; R814.4; R730.261 **【文献标志码】** A

【文章编号】 1000-0313(2024)10-1325-08

DOI: 10.13609/j.cnki.1000-0313.2024.10.008

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



The value of quantitative parameters based on CT 3D visualization in preoperative evaluation of pulmonary glass nodule CHEN Jin-xin, LAN Bo, LI Feng, et al. The Affiliated Ganzhou Hospital, Jiangxi Medical College, Nanchang University, No. 16, MeiGuan Avenue, Ganzhou 341000, China

【Abstract】 Objective: This study aims to analyze the three-dimensional (3D) quantitative parameters of ground glass nodules (GGN) on CT scans, identify the optimal diagnostic indicators and their cut-off values for assessing the invasion risk of GGN smaller than 3cm, and explore their application value in preoperative evaluation. **Methods:** 126 patients with pulmonary ground glass nodules smaller than 3cm diagnosed after surgical treatment were retrospectively collected from September 2021 to June 2022 in Ganzhou People's Hospital (Ganzhou Hospital Affiliated to Nanchang University). Based on the final pathological findings, the patients were divided into two distinct groups. Invasive adenocarcinoma (IA) was included into high-risk group, while atypical adenomatous hyperplasia (AAH), adenocarcinoma in situ (AIS), and minimally invasive adenocarcinoma (MIA) were included into low-risk group. The 3D quantitative parameters of pulmonary ground-glass nodules, including 3D volume, 3D

作者单位: 341000 江西, 南昌大学江西医学院附属赣州医院; 330000 南昌, 江西省医学影像临床医学研究中心

作者简介: 陈金鑫(1998-), 男, 四川达州人, 硕士研究生, 主要从事胸部疾病影像与人工智能。

通讯作者: 彭吉东, E-mail: jidongpeng2021@163.com

基金项目: 江西省研究生创新专项资金(YC2023-S192)

average CT value, solid proportion of the nodules, were acquired using 3D technology for visualization. Parameters that can be used to predict the likelihood of invasion were selected, and their diagnostic value was subsequently evaluated. **Results:** A total of 126 patients were included in the study. 70 individuals were divided into the high-risk group, with a mean age of 57 years (range: 49~62 years), and 56 patients were divided into the low-risk group, with an average age of 50 years (range: 40~54 years). Significant difference of age distributions, nodule sizes and distributions were observed between the high-risk and low-risk groups ($P < 0.05$). There were no significant differences in gender ratio and nodule location between the two groups ($P > 0.05$). Notably, all 3D quantitative parameters exhibited statistically significant differences between the high-risk and low-risk groups ($P < 0.05$). The receiver operating characteristic curves (ROC) of pulmonary GGN invasion risk indicated the following optimal thresholds: 11.85mm for long diameter, 8.95mm for short diameter, 1.351 for long diameter/short diameter ratio, -597.1HU for 3D mean CT value, 447.75mm³ for 3D volume, 0.403mg·mm⁻³ for 3D density, 223.628mg for 3D mass, and 7.85% for the solid proportion of GGN. These thresholds served as predictive indicators for pulmonary GGN invasion risk. Especially when the three-dimensional volume of the lesion exceeded 447.75mm³, the sensitivity and specificity for predicting a high risk of pulmonary GGN were 81.4% and 69.6%, respectively. Binary Logistic regression analysis identified the 3D volume and solid proportion as independent predictors of pulmonary GGN invasion risk. Combining these two indicators further enhanced prediction accuracy and increase the area under the curve (AUC=0.826). **Conclusion:** The reasonable use of 3D visualization technology to obtain quantitative parameters such as 3D volume and quality of pulmonary nodules can effectively assist in the evaluation of invasion risk of GGN <3cm. Combined with relevant clinical data, it has important guiding significance for the evaluation and judgment of preoperative strategy.

【Key words】 Lung neoplasms; Pulmonary nodules; Tomography, X-ray computed; Imaging, three-dimensional; Adenocarcinoma

肺癌(lung cancer)被认为是全球最致命的癌症之一^[1],同时也是中国最常见的癌症类型^[2]。肺癌的5年相对生存率范围很大,从2%~30%不等,而早期肺癌患者的生存率可以达到90%^[3]。因此,对于肺癌来说,早期的准确诊断对预后至关重要。然而,肺癌在早期通常没有明显的临床症状,常以肺结节形式存在。随着高分辨率CT技术的推进,临床实践中对于肺磨玻璃结节(ground glass nodules, GGN)的检查应用越来越广泛,且这种检查比例随着时间的推移逐年增加。肺GGN是一种非特异性的CT表现,与良性肺部疾病可能存在相关。然而,如果GGN持续存在,应高度怀疑是肺腺癌的可能^[4]。GGN经历了从非典型腺瘤样增生(atypical adenomatous hyperplasia, AAH)到原位腺癌(adenocarcinoma in situ, AIS),再到微浸润性腺癌(minimally invasive adenocarcinoma, MIA),最后变为浸润性腺癌(invasive adenocarcinoma, IA)的连续演变过程。这反映了肿瘤生长、演化和转化的特点,不同病理类型之间也存在着处理方法和预后上的差异^[5]。大量的研究表明术前影像学评估在选择手术方式方面具有指导意义^[6-7]。特别是在临床上早期肺癌中出现非典型腺瘤样增生、原位腺癌和微浸润性腺癌

等病理类型时,可以考虑进行亚肺叶切除手术,这种手术方式的术后5年生存率几乎达到100%,而对于浸润性腺癌仍推荐采用标准的肺叶切除术^[8-9]。研究显示肺段切除与肺叶切除在诊断特异度和保留肺功能方面能够取得相同的效果,肺段手术能够使更多低浸润风险患者受益,并且不会降低生存率,这种诊断策略符合当前外科治疗的趋势^[10]。因此,通过影像学方法对高浸润风险肺GGN(IA)与低浸润风险肺GGN(AAH、AIS、MIA)进行准确判断,有助于临床术前选择最佳的手术方案。然而,由于早期肺腺癌在影像学表现方面具有一定的非典型性,并且部分AAH、AIS、MIA和IA在影像学特征上也存在重叠,这给肺GGN的精确诊断带来了一定困难。

最近,随着高分辨率CT的广泛应用,三维重建技术的不断改进以及人工智能技术的迅猛发展,我们现在可以更准确地将肺结节以三维形式呈现出来。通过对这些三维结构的特征进行参数分析,预测其是否具有浸润性^[11-13]。目前大部分研究分析的指标不够全面,预测浸润风险性的最佳诊断指标及其临界值尚未明确,通过CT三维参数预测GGN浸润风险性也尚未在临床上应用。因此,本研究计划选择直径<3cm

的肺磨玻璃结节作为研究对象,使用三维可视化重建技术,半自动勾画并获取肺 GGN 的三维定量参数。通过分析这些参数,筛选出能够准确预测肺 GGN 浸润风险的诊断指标及其相应的临界值,探讨其在术前手术方式评估和选择中的应用价值。

材料与方法

1. 临床资料

本研究回顾性搜集 2021 年 9 月—2022 年 6 月在本院行手术治疗并确诊的 3 cm 以下的肺磨玻璃结节 126 例。据病理结果将浸润性腺癌归入高浸润风险组,将非典型腺瘤样增生、原位腺癌和微浸润性腺癌归入低浸润风险组。经过院医学伦理委员会审查和批准(审批号:TY-ZKY2023-054-01),本研究得到了受试者知情同意的豁免。纳入标准:患者术前 1 个月内完成胸部 CT 平扫且有完整的薄层 CT 影像资料;术前胸部 CT 结节直径 <3 cm;胸部 CT 诊断为亚实性结节(包括纯磨玻璃结节和混合磨玻璃结节);术后病理明确诊断为:AAH、AIS、MIA、IA。排除标准:合并其他肺部疾病,例如肺间质性疾病和肺炎;有肺手术史;肺结节为实性;胸部 CT 数据不完整;病理诊断不明确。

2. 仪器方法

使用 GE Revolution 256 排 CT 机对患者进行扫描,扫描范围至少涵盖胸廓膈肌水平。在进行 CT 扫描前,操作者会进行适当的呼吸训练,以引导受检者,并采用深吸气末屏气方法,确保在扫描过程中受检者能保持同步和稳定状态。具体扫描:探测器宽度为 64×0.625 mm,视野为 40 cm \times 40 cm,电压设置为 120 kV,每层的厚度和间距均为 5 mm,螺距为 0.984:1,扫描时采用自动电流,每周旋转时间为 0.6 s。在原始数据采集结束后,进行 1 mm 层厚的骨算法后处理重组,重组层厚为 1 mm,层间距为 1 mm。CT 扫描图像处理方面:对二维图像数据进行匿名处理后,将 PACS 里的原始 DICOM 图像导入 Synapse 3D 软件(FUJIFILM 公司)。通过半自动勾画(手动勾画结节直径后自动提取整个病灶),选择最佳感兴趣区域(ROD),重建 GGN 三维图像并进行肺结节自动分析。

3. 影像评估

所有 CT 薄层图像和三维可视化重建图像由医师 1(2 年放射学诊断经验)和医师 2(10 年放射学诊断经验)独立进行勾画。使用组内相关系数(Intraclass correlation coefficients, ICC)来评估两名观察者之间的一致性,以计算连续变量。当 ICC 大于 0.75 时,表示一致性良好。最终选择医师 1 勾画取得的参数指标。所有读片者在进行评估时都不知道患者的诊断结

果,以确保双盲原则。为了审查 CT 图像,我们使用了固定的肺窗设置(宽度为 1600 HU,水平为 -600 HU)和纵隔窗设置(宽度为 400 HU,水平为 40 HU)。搜集并记录 GGN 的长径、短径、三维体积、三维平均 CT 值和实性占比,并通过这些数据计算出三维密度和三维质量。计算方法如下:三维密度 ρ (mg/mm³)=(三维平均 CT 值+1000)/1000,三维质量(mg)=(三维平均 CT 值+1000)/1000 \times 三维体积(mm³)^[14]。

4. 统计学分析

使用 IBM SPSS 26.0 统计软件和 GraphPad 8.3 软件进行数据分析和图形绘制。计算组内相关系数 ICC 以评估连续变量之间的一致性。对于符合正态分布的计量资料,使用均值 \pm 标准差(Mean \pm SD)表示,并进行独立样本 *t* 检验。对于不符合正态分布的计量资料,使用 M(Q1, Q3)进行 Mann-Whitney *U* 检验。计数资料以个数(百分比)表示,两组间的比较则采用卡方检验或 Fisher 确切概率法检验。针对具有统计学意义的定量参数之间的差异,进一步进行受试者工作特征曲线(receiver operating characteristic curve, ROC)分析,根据最大约登指数(Youden index, YI)来确定各定量参数的最佳诊断阈值,并评估曲线下面积、敏感度和特异度,进一步进行多因素 Logistic 回归分析以筛选出独立危险因素,构建多因子联合应用的回归诊断模型(Log P 模型)。检验水准 α 除特别说明之外,均设定为 0.05。

结果

1. 观察者间一致性评估

两位放射科医师在勾画所有病灶并获取定量参数方面表现出良好的一致性。长径、短径、三维体积、三维平均 CT 值、实性占比的 ICC 值分别为 0.986、0.965、1.000、0.996、0.998($P<0.05$)。

2. 两组一般资料比较

本次研究共纳入肺 GGN 患者 126 例,高浸润风险组 70 例,平均年龄 57 岁(49 岁,62 岁),低浸润风险组 56 例,平均年龄 50 岁(40 岁,54 岁),高浸润风险组(IA)vs. 低浸润风险组(AAH/AIS/MIA),年龄小于 40 岁分别为 11 例 vs. 13 例,年龄 40~60 岁分别为 38 例 vs. 38 例,年龄大于 60 岁分别为 21 例 vs. 5 例,差异有统计学意义($P<0.05$);两组性别比例以及结节在各个肺叶位置的分布非常相似,两者之间的差异并没有统计学上的显著意义(P 值均 >0.05)。高浸润风险组 vs. 低浸润风险组,结节长径(短径) <1 cm 分别为 16(33)例 vs. 33(43)例,1~2 cm 分别为 45(37)例 vs. 23(13)例, >2 cm 分别为 9(0)例 vs. 0(0)例,显然高浸润风险组中长径(短径)较大的结节较多,

经比较差异具有统计学意义($P < 0.05$, 图 1、2 及表 1)。

3. 两组肺 GGN 间的定量参数比较

高浸润风险组的肺 GGN 长径、短径、长径/短径、三维平均 CT 值、三维体积、三维密度、三维质量以及实性占比均显著大于低风险组($P < 0.05$), 提示以上指标有可能有助于对 GGN 浸润风险性的辅助诊断评估(即对高/低浸润风险的判估)。见表 2、图 3。

4. 肺 GGN 浸润风险性的 ROC 曲线分析

对组间差异有统计学意义的定量参数绘制 ROC 曲线, 来分析评估各参数指标预测和判断肺 GGN 浸润风险性的价值, 包括各参数曲线下面积(area under curve, AUC)、敏感性、特异性、95% 的置信区间、阈值及约登指数。确定肺 GGN 浸润风险的最佳临界值为: 肺 GGN 的长径为 11.85 mm, 短径为 8.95 mm, 长径/短径比为 1.351, CT 平均值为 -597.1 HU, 三维体积为 447.75 mm^3 , 三维密度为 $0.403 \text{ mg} \cdot \text{mm}^{-3}$,

表 1 两组肺 GGN 一般资料的比较结果

| 项目 | 高浸润风险组 (n=70) | 低浸润风险组 (n=56) | 检验值 | P |
|---------------------------|------------------|------------------|--------|--------|
| 年龄(岁) | 57(49,62) | 50(40,54) | 3.026 | 0.002 |
| 年龄段分布(<40岁, 40~60岁, >60岁) | 11/38/21 | 13/38/5 | 8.563 | 0.014 |
| 性别(男/女)/n | 21/49 | 15/41 | 0.158 | 0.691 |
| 长径(<1cm/1~2cm/>2cm)/n | 16/45/9 | 33/23/0 | 20.716 | <0.001 |
| 短径(<1cm/1~2cm/>2cm)/n | 33/37/0 | 43/13/0 | 11.421 | 0.001 |
| 结节分布/n | | | 4.744 | 0.315 |
| 右肺上叶 | 28 | 15 | | |
| 右肺中叶 | 5 | 7 | | |
| 右肺下叶 | 13 | 7 | | |
| 左肺上叶 | 17 | 19 | | |
| 左肺下叶 | 7 | 8 | | |

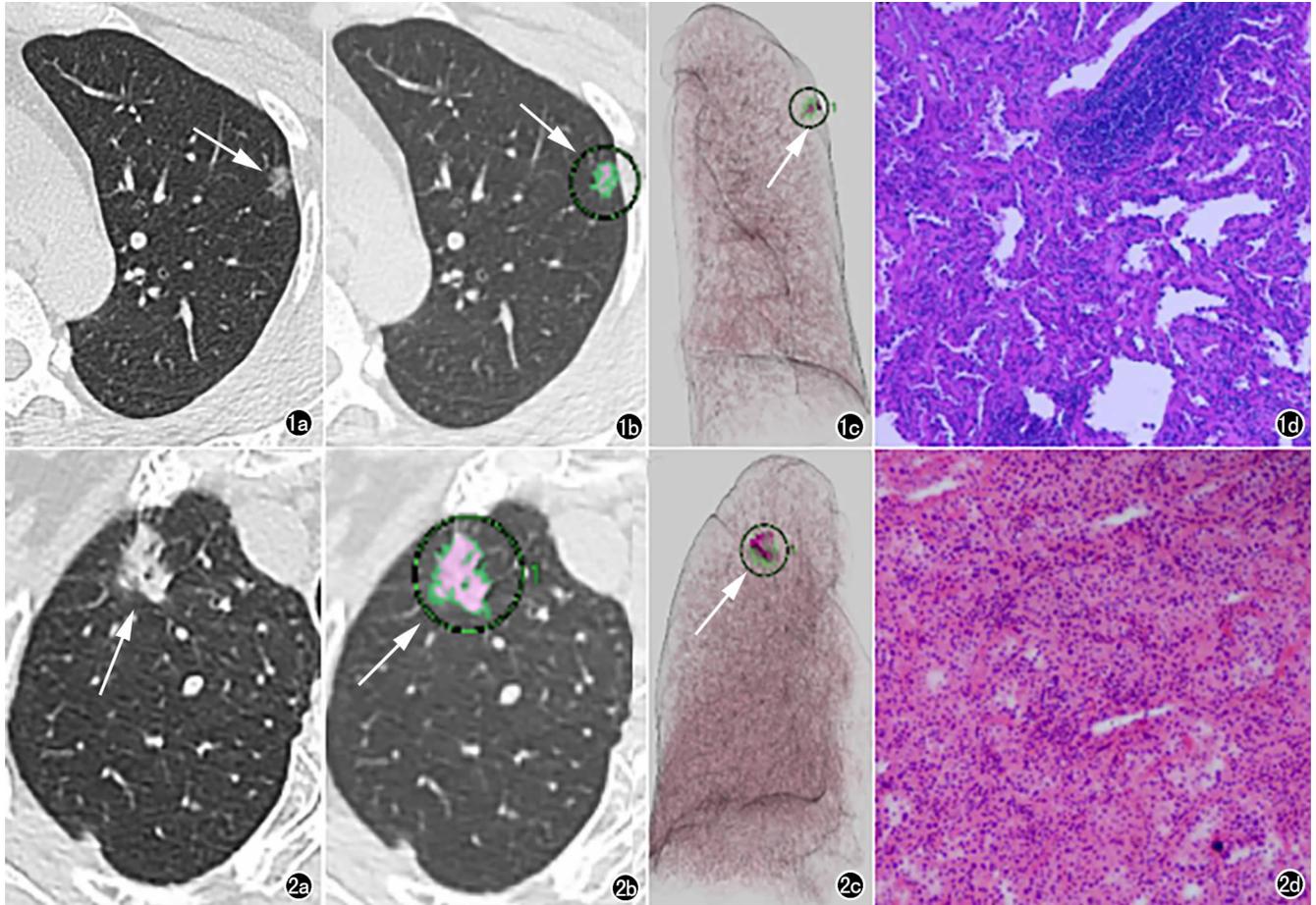


图 1 女, 36 岁。a) 轴面 CT 图像显示左肺上叶磨玻璃结节(箭); b) 磨玻璃结节的半自动勾画与分析(箭); c) 磨玻璃结节的三维可视化图像(箭); d) 病理证实为微浸润性腺癌(低浸润风险组)。图 2 女, 69 岁。a) 轴面 CT 图像示右肺上叶磨玻璃结节(箭); b) 磨玻璃结节的半自动勾画与分析(箭); c) 磨玻璃结节的三维可视化图像(箭); d) 病理证实为浸润性腺癌(高浸润风险组)。

表 2 两组肺 GGN 相关定量定量参数比较

| 项目 | 高浸润风险组 (n=70) | 低浸润风险组 (n=56) | 检验值 | P |
|-----------------------------|------------------------|-----------------------|-------|--------|
| 长径/mm | 14.06±4.97 | 9.52±2.77 | 6.476 | <0.001 |
| 短径/mm | 10.52±3.24 | 8.10±2.18 | 5.003 | <0.001 |
| 长径/短径 | 1.30(1.13,1.48) | 1.17(1.05,1.26) | 3.618 | <0.001 |
| 三维平均 CT 值/HU | -540.02±135.69 | -615.09±182.95 | 2.643 | 0.009 |
| 三维体积/mm ³ | 952.65(496.43,1772.76) | 324.35(195.05,599.73) | 5.838 | <0.001 |
| 三维密度/(mg·mm ⁻³) | 0.46±0.14 | 0.39±0.18 | 2.643 | 0.009 |
| 三维质量/mg | 398.53(229.58,801.55) | 108.90(74.13,216.25) | 6.127 | <0.001 |
| 实性占比/% | 17.20(7.83,30.85) | 5.15(1.40,14.00) | 4.868 | <0.001 |

表 3 肺 GGN 相关定量参数浸润风险性预测的 ROC 曲线分析结果

| 定量参数 | AUC | 95% | P | 临界值 | 敏感度% | 特异度% | 约登指数 |
|-----------------------------|-------|---------------|--------|----------|-------|-------|-------|
| 长径/mm | 0.787 | (0.707,0.867) | <0.001 | 11.850 | 0.629 | 0.875 | 0.504 |
| 短径/mm | 0.718 | (0.630,0.806) | <0.001 | 8.950 | 0.686 | 0.661 | 0.347 |
| 长径/短径 | 0.688 | (0.596,0.780) | <0.001 | 1.351 | 0.457 | 0.893 | 0.350 |
| 三维平均 CT 值/HU | 0.692 | (0.599,0.785) | <0.001 | -597.100 | 0.643 | 0.714 | 0.357 |
| 三维体积/mm ³ | 0.803 | (0.727,0.880) | <0.001 | 447.750 | 0.814 | 0.696 | 0.510 |
| 三维密度/(mg·mm ⁻³) | 0.692 | (0.599,0.785) | <0.001 | 0.403 | 0.643 | 0.714 | 0.357 |
| 三维质量/mg | 0.818 | (0.743,0.894) | <0.001 | 223.628 | 0.786 | 0.786 | 0.572 |
| 实性占比/% | 0.753 | (0.668,0.838) | <0.001 | 7.850 | 0.757 | 0.643 | 0.400 |

表 4 肺 GGN 浸润风险性的多因素 Logistic 回归结果

| 指标/因素 | 赋值 | β | Se | Wald χ ² | P | OR(95%CI) |
|----------|------|--------|--------|---------------------|--------|--------------------|
| 常数 | | -1.654 | 0.391 | 17.891 | <0.001 | |
| GGN 三维体积 | 连续变量 | 0.002 | <0.001 | 12.704 | <0.001 | 1.002(1.001~1.003) |
| GGN 实性占比 | 连续变量 | 0.046 | 0.018 | 6.688 | 0.010 | 1.047(1.011~1.083) |

三维质量为 223.628 mg,实性占比为 7.85%。当病灶的三维体积大于 447.75 mm³ 时,可以高度预测为高浸润风险的肺 GGN,其敏感度 81.4%,特异度 69.6% (图 4、表 3)。

5. 肺 GGN 浸润风险性预测模型的构建与验证

通过二元 logistic 回归分析,以三维可视化定量参数作为自变量,以 GGN 的浸润风险性作为因变量,进一步筛选预测 GGN 浸润风险性的独立影响因子。本组结果显示 GGN 三维体积 (OR = 1.002, P < 0.001) 和实性占比 (OR = 1.047, P = 0.010) 是预测 GGN 浸润风险性的独立影响因子,相应的回归方程为: $\text{logit}(P) = -1.654 + 0.002 \times \text{GGN 三维体积} + 0.046 \times \text{GGN 实性占比}$ (表 4)。

此外,将上述两个指标联合应用于肺 GGN 浸润风险性的预测中,进一步提升了诊断效能。通过联合运用两个指标,得到的 ROC 曲线下面积 (AUC) 为 0.826,灵敏度 74.3%,特异度 80.4%。根据 95% 置信区间 (CI),该模型的 AUC 范围在 0.753~0.898 之间 (图 5)。

讨论

肺癌是目前全球发病率和死亡率最高的恶性肿瘤^[15]。世界各国一直在致力于肺癌筛查,以实现早期诊断和治疗^[16]。自低剂量胸部 CT 平扫在肺癌筛查中普遍开展以来,肺癌相关死亡率明显降低,同时无

症状肺 GGN 的检出率也日益增高。

浸润性腺癌是一种恶性程度更高、预后更差的疾病,与微浸润腺癌、原位腺癌、非典型腺瘤样增生相比,其 5 年生存率仅为 81%^[17]。随着三维技术的发展,它在医学领域得到了广泛的应用。通过三维重建,可以有效评估血管分支的形态,发现血管和支气管的解剖变异,确定病变部位,并明确各段的划分。这对于术前定位、手术规划、术前模拟和术中导航都有很大帮助,为制定个性化手术计划提供了参考^[18-19]。标准的肺叶切除术仍然是指南推荐的手术方式,而对于其余 3 种病理类型,亚肺叶切除术也是可行的。因此,外科医生在术前需要可靠的影像学诊断方法预测肺 GGN 的浸润风险性,以选择最佳的手术方案。本研究拟通过三维可视化技术半自动勾画肺 GGN,获取肺 GGN 的 CT 三维定量参数,探讨预测其浸润风险性的最佳参考指标及其参考值,从而进一步为术前手术方案的判断和选择提供参考。

本研究表明通过使用三维定量参数可以更全面地展示肺 GGN 的特征。然而,目前临床上只使用二维直径和浸润性肿瘤比例 (consolidation tumor ratio, CTR) 来分析肺 GGN^[20],这导致许多影像学数据被忽视。三维参数可以从体积、密度、质量等不同角度分析 GGN,发掘了更多有统计学差异的数据,这体现出了测量三维定量参数的优势。具体来看,两组之间传统相关参数如 GGN 长径、短径、长径/短径、三维平均

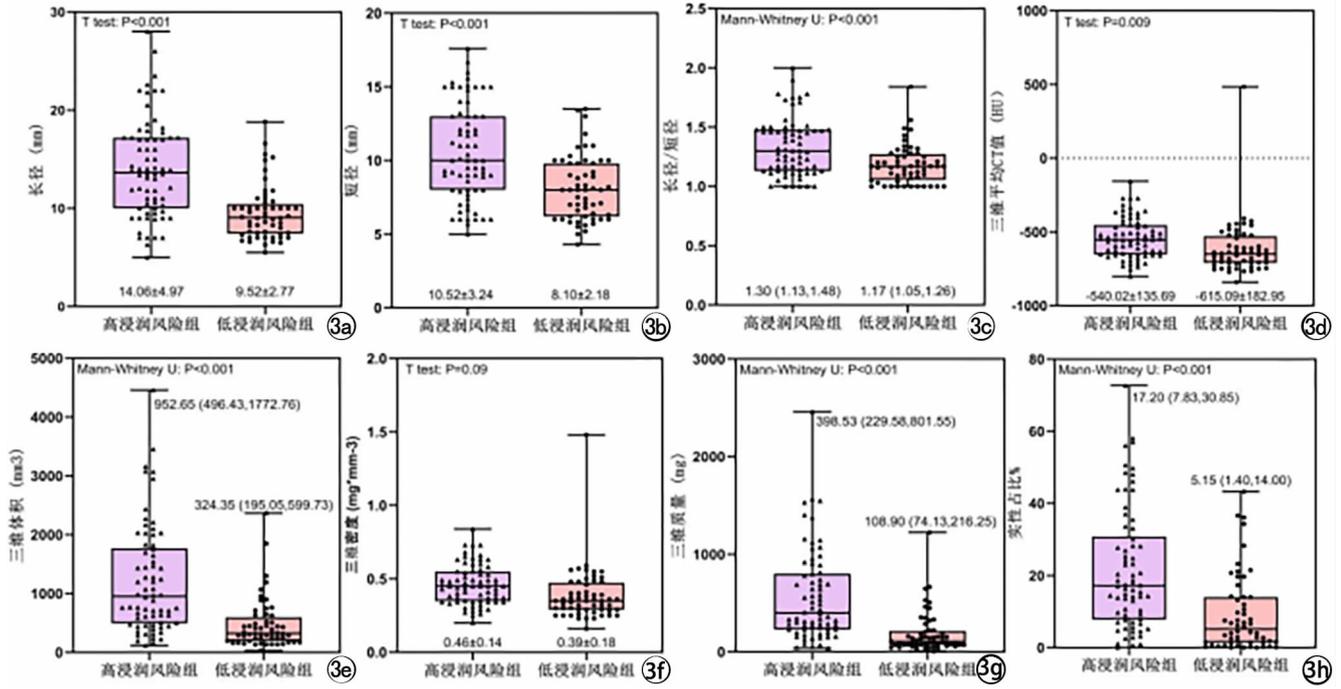


图 3 两组肺 GGN 相关定量参数箱式图。a) 长径服从正态分布, 采用 *t* 检验; b) 短径服从正态分布, 采用 *t* 检验; c) 长径/短径不服从正态分布, 采用 Mann-Whitney *U* 检验; d) 三维平均 CT 值服从正态检验, 采用 *t* 检验; e) 三维体积不服从正态分布, 采用 Mann-Whitney *U* 检验; f) 三维密度服从正态分布, 采用 *t* 检验; g) 三维质量不服从正态分布, 采用 Mann-Whitney *U* 检验; h) 实性占比不服从正态分布, 采用 Mann-Whitney *U* 检验。

CT 值、实性占比存在差异。同时, 高浸润风险组的三维体积、三维密度、三维质量显著大于低浸润风险组的值。各项定量三维参数可有效辅助预测肺 GGN 的浸润风险性。Kitazawa 等^[21]认为三维 CT 平均衰减值是对肺 GGN 分析评估的重要参数, 结果优于二维 CT 平均衰减值, 但并未分析 GGN 的三维体积、质量等参数。另外, Wu 等^[22]进行了一项多中心研究, 通过三维重建将 GGN 分割为实性成分和磨玻璃成分, 并分别测量其三维体积和 CT 值, 建立了一个评估肺 GGN 性

质的模型, 结果比 clinical-semantic 等模型更为准确。因而, 我们认为通过三维可视化技术多元化的三维定量参数能够更全面的剖析肺 GGN 内部特点, 通过这些参数建立预测浸润风险性的诊断模型具有重要研究价值。

本研究结果显示, 相对于肺 GGN 长径、CT 值等二维参数, 三维体积、质量等三维参数的诊断效能更高, 能更多元化和精准地评估肺 GGN 的物理性质。

高浸润风险组肺 GGN 三维体积和三维质量大于低浸润风险组, 二者诊断的约登指数和 AUC 值均大于传统测量肺 GGN 长径、短径、长径/短径、三维平均 CT 值的结果。在对肺 GGN 的倍增时间进行相关研究中, Qi 等^[23]对 110 个肺 GGN 进行了共 573 次随访 CT 检查。他们测量了肺 GGN 的三维直径、体积和质量, 并发现三维质量是其增长最快的指标。Song 等^[24]指出肺 GGN 的三维质量和三维体积可以更敏感地提示肺结节的增长。因此, 对于 <3 cm GGN, 三维定量参数中三维体积、

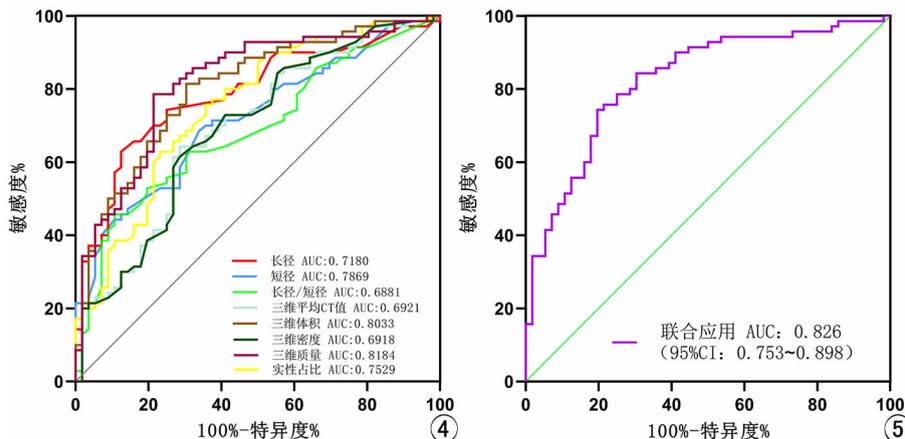


图 4 肺 GGN 相关定量参数浸润风险性预测的 ROC 曲线。图 5 联合应用两个独立影响因素的 ROC 曲线。联合应用 ROC 曲线显示, AUC 为 0.826 (95%CI: 0.753~0.898), 灵敏度 74.3%, 特异度 80.4%。

质量是更敏感的诊断指标,是否可以尝试以肺 GGN 三维体积(临界值 447.75 mm^3)、三维质量(临界值 223.628 mg)等辅助甚至替代二维直径、CTR 来预测风险性,这也将是后续进一步研究的重点。Ito 等^[25]在对 543 例 T1 N0 肺癌患者进行 10 年长期随访的研究中发现对于肿瘤总大小 $\leq 3 \text{ cm}$ 且肿瘤实变率 ≤ 0.5 的患者,肺叶切除术是适宜的选择,因为其预后良好。Mimae 等^[26]的研究认为在早期非小细胞肺癌患者中对于那些能够耐受肺叶切除的患者来说,楔形切除术可能具有与肺叶切除术或肺段切除术相同的效果。Handa 等^[27]通过回顾性分析 580 例接受手术切除的患者的数据发现复杂节段切除术的术后肺功能与单纯节段切除术相当。与肺叶切除术相比复杂节段切除术能够显著保护肺功能,而与楔形切除术相比,不会造成显著的损失。此外,通过多因素 AUC 曲线分析,发现当病灶三维体积 $> 447.75 \text{ mm}^3$ 时,可预测为高浸润风险肺 GGN 的敏感度较高,为 81.4%、特异度 69.6%。根据多因素 Logistic 回归分析结果显示,三维体积和实性占比对预测肺 GGN 浸润风险性具有独立的预测价值。当这两个指标联合应用时,其预测准确性得到进一步提高(AUC=0.826)。

本研究也存在一些不足:第一,我们的研究为单中心数据,存在与其他中心结论有差异的可能,需要多中心联合研究的数据支持结论。第二,本研究纳入病灶长、短径 2~3 cm 的肺 GGN 数量较少,这可能导致一定的数据偏倚。

综上所述,放射科医师合理使用三维可视化技术,获取三维体积、三维质量等定量参数,能够有效辅助对 $< 3 \text{ cm}$ 肺 GGN 的浸润风险性评估,结合临床相关资料,对临床术前手术方式的评断具有重要的指导意义。

作者贡献 陈鑫鑫:研究设计、病例收集、论文撰写、资金获取;彭吉东:组织实施、优化扫描方案;蓝波、李峰、曾馨怡:病例收集、数据整理分析。

利益冲突 所有作者声明无利益冲突。

数据共享声明 本篇论文的关联数据可依据合理理由从作者处获取,联系方式:chenjinxin1220@163.com

参考文献:

[1] Siegel RL, Miller KD, Fuchs HE, et al. Cancer statistics, 2021[J]. CA: A Cancer J Clin, 2021, 71(1): 7-33.

[2] Cao W, Chen HD, Yu YW, et al. Changing profiles of cancer burden worldwide and in China: a secondary analysis of the global cancer statistics 2020[J]. Chin Med J (Engl), 2021, 134(7): 783-791.

[3] Schabath MB, Cote ML. Cancer progress and priorities: lung cancer[J]. Cancer Epidemiol Biomarkers Prev, 2019, 28(10): 1563-1579.

[4] 张为, 李小虎, 杜丹丹, 等. 纯磨玻璃结节的 CT 特征及定量分析对肺腺癌病理分类的预测价值[J]. 中国医学影像学杂志, 2018, 26

(9): 658-663.

[5] 姜格宁, 陈昶, 朱余明, 等. 上海市肺科医院磨玻璃结节早期肺腺癌的诊疗共识(第一版)[J]. 中国肺癌杂志, 2018, 21(3): 147-159.

[6] Su H, Gu C, She Y, et al. Predictors of upstage and treatment strategies for stage IA lung cancers after sublobar resection for adenocarcinoma in situ and minimally invasive adenocarcinoma[J]. 2021, 10(1): 32-44.

[7] Giffin C, Kidane B. Commentary: less is maybe more: sublobar resection in screen-detected lung cancers[J]. J Thorac Cardiovasc Surg, 2021, 163(6)(2022): 1917-1918.

[8] Zhang Y, Fu FQ, Chen HQ. Management of ground-glass opacities in the lung cancer spectrum[J]. Ann Thorac Surg, 2020, 110(6): 1796-1804.

[9] Li M, Xi JJ, Sui QH, et al. Impact of a ground-glass opacity component on c stage IA lung adenocarcinoma[J]. Semin Thorac Cardiovasc Surg, 2022, S1043-S0679(22): 00185-X.

[10] Saji H, Okada M, Tsuboi M, et al. Segmentectomy versus lobectomy in small-sized peripheral non-small-cell lung cancer (JCOG0802/WJOG4607L): a multicentre, open-label, phase 3, randomised, controlled, non-inferiority trial[J]. Lancet, 2022, 399(10335): 1607-1617.

[11] 石逸, 续力云, 潘鑫福, 等. 三维重建技术在肺腺癌新分类标准诊断中的价值[J]. 中国胸心血管外科临床杂志, 2021, 28(3): 278-282.

[12] 刘海法, 杨丽, 王琦, 等. 深度学习重建算法对胸部低剂量 CT 肺结节测量及显示影响的模体研究[J]. 放射学实践, 2023, 38(8): 977-984.

[13] 吕燕, 叶靖, 凌俊. 纹理分析评估肺磨玻璃结节样腺癌的浸润性: 基于 CT 平扫与增强图像的对照研究[J]. 放射学实践, 2021, 36(12): 1503-1508.

[14] 曹恩涛, 于红, 范丽, 等. 纯磨玻璃密度结节肺腺癌的 CT 三维定量分析[J]. 中华放射学杂志, 2016, 50(12): 940-945.

[15] Sung H, Ferlay J, Siegel RL, et al. Global cancer statistics 2020: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries[J]. CA Cancer J Clin, 2021, 71(3): 209-249.

[16] 赫捷, 李霓, 陈万青, 等. 中国肺癌筛查与早诊早治指南(2021, 北京)[J]. 中国肿瘤, 2021, 30(2): 81-111.

[17] Matsui T, Sakakura N, Koyama S, et al. Comparison of surgical outcomes between invasive mucinous and non-mucinous lung adenocarcinoma[J]. Ann Thorac Surg, 2021, 112(4): 1118-1126.

[18] Yingying Zhou, Yongkui Zhang, Shanhua Zhang, et al. Growth regularity of pulmonary ground glass nodules based on 3D reconstruction technology[J]. Chinese J Lung Cancer, 2023, 26(4): 265-273.

[19] Zhe Wu, Zhangfeng Huang, Yi Qin, et al. Progress in three-dimensional computed tomography reconstruction in anatomic pulmonary segmentectomy[J]. Thoracic Cancer, 2022, 13(13): 1881-1887.

[20] Xi J, Yin J, Liang J, et al. Prognostic impact of radiological consolidation tumor ratio in clinical stage IA pulmonary ground glass opacities[J]. Front Oncol, 2021, 11: 616149.

[21] Kitazawa S, Saeki Y, Kobayashi N, et al. Three-dimensional mean CT attenuation value of pure and part-solid ground-glass lung nodules may predict invasiveness in early adenocarcinoma[J].

- Clin Radiol, 2019, 74(12):944-949.
- [22] Guangyao Wu, Henry C. Woodruff, Jing Shen, et al. Diagnosis of invasive lung adenocarcinoma based on chest CT radiomic features of Part-solid pulmonary nodules; a multicenter study[J]. Radiology, 2020, 297(2):451-458.
- [23] Qi LL, Wu BT, Tang W, et al. Long-term follow-up of persistent pulmonary pure ground-glass nodules with deep learning-assisted nodule segmentation[J]. Eur Radiol, 2020, 30(2):744-755.
- [24] Song YS, Park CM, Park SJ, et al. Volume and mass doubling times of persistent pulmonary subsolid nodules detected in patients without known malignancy[J]. Radiology, 2014, 273(1):276-284.
- [25] Ito H, Suzuki K, Mizutani T, et al. Japan clinical oncology group lung cancer surgical study Group. long-term survival outcome after lobectomy in patients with clinical T1 N0 lung cancer[J]. J Thoracic and Cardiovascular Surgery, 2021, S0022(20):281-290.
- [26] Mimae T, Saji H, Nakamura H, et al. Survival of octogenarians with early-stage non-small cell lung cancer is comparable between wedge resection and lobectomy/segmentectomy: JACS1303[J]. Annals of Surgical oncology, 2021, 28(12):7219-7227.
- [27] Handa Y, Tsutani Y, Mimae T, et al. Postoperative pulmonary function after complex segmentectomy[J]. Annals of Surgical Oncology, 2021, 28(13):8347-8355.

(收稿日期:2023-10-12 修回日期:2024-03-15)

本刊网站及远程稿件处理系统投入使用

本刊网站与远程稿件处理系统已开发测试完毕,已于2008年3月1日正式开通投入使用。

作者进行网上投稿及查稿具体步骤如下:请登录《放射学实践》网站(<http://www.fsxsj.net>)点击进入首页 → 点击“作者投稿” → 按提示注册(请务必按系统提示正确填写个人信息,同时记住用户名和密码,以便查询稿件处理进度) → 用新注册的用户名和密码登录 → 点击“作者投稿”进入稿件管理页面 → 点击“我要投稿” → 浏览文件 → 上传文件(浏览文件后请点击后面的“上传”按钮,只有系统提示“稿件上传成功”方可进行下一步录入操作,文章须以 WORD 格式上传,图表粘贴在文章中) → 录入稿件标题、关键词等 → 最后点击“确定”即可完成投稿。投稿后请速寄审稿费(100元/篇)以使稿件迅速进入审稿处理。

作者自投稿之日起可不定期登录本刊网站查看稿件处理进度,不必打电话或发邮件查询,具体步骤如下:用注册过的用户名和密码登录 → 点击“作者查稿”进入稿件管理页面 → 点击左侧导航栏“我的稿件库” → “稿件状态”显示稿件处理进度 → 点击“查看” → 选择“当前信息”或“全部信息”查看稿件处理过程中的具体信息。稿件退修和催审稿费(版面费)的信息作者亦可在注册时填写的邮箱中看到,作者在邮箱看到相关信息后须进入本系统进行相应处理。

作者如从邮箱和邮局投稿(或网上投稿成功后又从邮箱或邮局再次投稿),本刊须花费大量精力将稿件录入系统中,部分稿件重复多次处理,这给我们的稿件统计及处理工作带来巨大困难。本刊作者需登录本刊网站投稿,如果通过邮箱或邮局投稿,本刊会通知您通过网上投稿。

由于准备时间仓促及经验不足,网站及远程稿件处理系统必然会存在一些缺点和不足之处,希望各位影像同仁不吝赐教,多提宝贵意见,予以指正。

如果您在投稿中遇到什么问题,或者对本系统及网站有好的意见和建议,请及时联系我们。

联系人:石鹤 明桥 联系电话:027-69378385 15926283035