

论 著

## 基于CT对肺炎合并肺不张患儿肺复张效果的评估价值分析

冯园\* 张靖 王品

南阳市中心医院新生儿科(河南南阳473009)

**【摘要】目的** 分析基于CT对肺炎合并肺不张患儿肺复张效果的评估价值。**方法** 选取本院自2019年2月至2024年2月收治的76例肺炎合并肺不张患儿为研究对象,记录其肺复张前CT所示各通气区的面积占比及CT评分,分析影响肺炎合并肺不张患儿肺复张效果的因素,及其预测肺复张效果的价值。**结果** 76例肺炎合并肺不张患儿中65(85.53%)例患儿肺复张有效,11(14.47%)例患儿肺复张无效;两组低通气区面积占比、CT评分比较无显著性差异( $P>0.05$ ),有效组不透气区面积低于无效组,正常通气区面积高于无效组( $P<0.05$ );两组患者的性别、年龄、病程、PCIS、FiO<sub>2</sub>、平均气道压(MAP)、吸气峰压(PIP)、呼吸频率、氧合指数、通气指数、小儿死亡指数(PIM)比较均无显著性差异( $P>0.05$ ); Logistic回归分析,结果显示,不透气区面积、正常通气区面积均是影响肺炎合并肺不张患儿肺复张效果的危险因素( $P<0.05$ );受试者工作曲线(ROC)结果显示,单一指标预测肺炎合并肺不张肺复张效果时,不透气区面积预测的AUC最高,临界值32.98、敏感度86.15%,特异度81.82%,联合预测时两项联合预测AUC最高,临界值为-0.02,敏感度100%,特异度100%。**结论** 肺炎合并肺不张患儿以PEEP递增法接受机械通气的效果较好,其中肺复张效果与CT所示不透气区、正常通气区有关,不透气区面积、正常通气区面积联合预测肺复张效果具有较高敏感度、特异度。

【关键词】肺炎;肺不张;儿童;CT;肺复张

【中图分类号】R563.1

【文献标识码】A

DOI:10.3969/j.issn.1672-5131.2026.03.017

## Value of CT in Evaluating Lung Recruitment in Children with Pneumonia and Atelectasis

FENG Yuan\*, ZHANG Jing, WANG Pin.

Department of Neonatology, Nanyang Central Hospital, Nanyang 473009, Henan Province, China

## ABSTRACT

**Objective** To analyze the value of CT in evaluating lung recruitment in children with pneumonia and atelectasis. **Methods** A total of 76 children with pneumonia and atelectasis who were admitted to the hospital from February 2019 to February 2024 were selected as the study subjects. The area ratios of ventilation regions, and CT scores before lung recruitment were recorded. The factors influencing lung recruitment in children with pneumonia and atelectasis were analyzed. **Results** Among 76 children with pneumonia and atelectasis, 65 (85.53%) had effective lung recruitment, and 11 (14.47%) had ineffective lung recruitment. The area ratios of low-ventilation regions, and CT scores in the two groups were comparable ( $P>0.05$ ). Non-ventilation region in the effective group was smaller than that in the ineffective group, and normal ventilation region was larger than that in the ineffective group ( $P<0.05$ ). There were no significant differences in gender, age, course of disease, PCIS, FiO<sub>2</sub>, mean airway pressure (MAP), peak inspiratory pressure (PIP), respiratory rate, oxygenation index, ventilation index, and pediatric index of mortality (PIM) between the two groups ( $P>0.05$ ). Logistic regression analysis results showed that the area of non-ventilation region and the area of normal ventilation region were risk factors influencing lung recruitment in children with pneumonia and atelectasis ( $P>0.05$ ). The receiver operating characteristic (ROC) curve analysis results showed that for predicting the effect of lung recruitment in children with pneumonia and atelectasis using a single indicator, the AUC of the area of non-ventilation region was the largest. The cut-off value, sensitivity and specificity were 32.98, 86.15% and 81.82%. The AUC of joint prediction using the two indicators was the largest. The cut-off value, sensitivity and specificity were -0.02, 100% and 100%. **Conclusion** Children with pneumonia and atelectasis who receive mechanical ventilation using the PEEP incremental method can obtain better effects. The effect of lung recruitment is related to non-ventilation region and normal ventilation region. The combination of the area of non-ventilation region and the area of normal ventilation region can achieve relatively high sensitivity and specificity in predicting the effect of lung recruitment.

**Keywords:** Pneumonia; Atelectasis; Child; CT; Lung Recruitment

小儿肺炎是由于病原体感染引起的间质性肺炎及毛细支气管炎样改变,发病初期临床主要表现为咳嗽、咽痛、发热、乏力等<sup>[1]</sup>。随着病情的进展,支气管内分泌物造成肺部阻塞,影响肺部正常呼吸功能,导致肺部分结构塌陷,从而发生肺不张<sup>[2]</sup>。多数肺炎合并肺不张患儿感染控制后肺不张症状也随之改善,但病程较长,易发生病变。肺复张属新兴救治手段,可通过持续性、或间歇性提升跨肺动脉压力来提升气体在肺泡中的分布,开放塌陷的肺泡来达到治疗目的<sup>[3]</sup>。呼气末正压(PEEP)递增法是常见的肺复张方式之一,其能在维持通气压力不变的情况下保持恒定的潮气量,逐步提升PEEP水平,具更低的容积性肺损伤风险<sup>[4]</sup>。临床常通过计算肺复张前后的呼气末肺容量的差值评估肺复张效果,但在临床应用的过程中发现其无法实现精细化评价。研究显示<sup>[5-6]</sup>,CT可判断肺部受损程度、病灶动态变化等情况,在肺部疾病的诊断和评估预后中具有较高的价值。另外,CT通过密度差成像,以阈值法显示萎陷肺泡重新膨胀的过程,在评估其肺复张效果方面具有显著的优势<sup>[7]</sup>。现阶段,CT评估肺炎合并肺不张患儿肺复张效果研究未见报道。鉴于此,本研究旨在探究基于CT评估儿童肺炎合并肺不张的肺复张效果的价值。

## 1 资料与方法

**1.1 一般资料** 选取本院自2019年2月至2024年2月收治的76例肺炎合并肺不张患儿为研究对象。76例患儿中男45例,女31例;年龄5个月~12岁,平均(7.26±2.18)岁;病程8~41 d,平均病程(24.15±5.68)d;小儿危重病例评分(PCIS)68.15~81.06分,平均(75.16±3.58)分。研究经本院医学伦理委员会批准。

**纳入标准:** (1)符合肺炎、肺不张诊断标准<sup>[8]</sup>; (2)年龄≤12岁,性别不限; (3)接受有创机械通气治疗; (4)患儿转运过程中均全程使用转运呼吸机、重症医学科医师负责肺复张操作; (5)肺复张前后的CT检查资料完整,能满足研究需求。排除标准: (1)需多巴胺(剂量20 μg·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>)或肾上腺素(剂量>0.1 μg·kg<sup>-1</sup>·min<sup>-1</sup>)维持心率、血压的血流动力学不稳定患儿; (2)合并难以纠正的代谢性酸中毒患儿; (3)胸部轮廓脊柱畸形等影响CT影像图质量的患儿; (4)合并支气管胸膜瘘患儿; (5)既往有肺部外科手术病史; (6)合并重型颅脑损伤、颅内压增高患儿。

**1.2 方法** 患儿取仰卧位,连接呼吸机后进行薄层CT扫描(德国西门子64排CT仪),管电压100kVp,层厚5 mm,层间距5 mm,螺距1.375:1,转速0.4s/rot,扫描范围为胸廓入口至肺底。由1名重症医学科医师在CT扫描床旁进行肺复张操作,以肺保护通气为基础通气模式,机械通气30 min后开始肺复张,将吸入氧浓度分数(FiO<sub>2</sub>)值调至1.0,维

【第一作者】冯园,女,主治医师,主要研究方向:儿科、新生儿方向。E-mail: fyy17305@126.com

【通讯作者】冯园

持5 min, 将呼吸机模式调整为A/C, 设定呼气压为45 cmH<sub>2</sub>O, 呼气末正压(PEEP)起始为5 cmH<sub>2</sub>O, 以5 cmH<sub>2</sub>O持续增加至上限并维持30s, 选取病变分布最广层面进行单层面CT扫描。再以5 cmH<sub>2</sub>O的速度递减至5 cmH<sub>2</sub>O。

撤机标准: 在FiO<sub>2</sub>降低至40%以下, 保持氧合稳定24 h后, 调整呼吸机通气模式为压力支持通气, 支持压力降低为0 cmH<sub>2</sub>O时改为持续性气道正压方式通气, 至5~7 cmH<sub>2</sub>O撤离呼吸机。达到撤机标准撤除呼吸机的患儿为肺复张有效。

**1.3 影像资料分析** 将薄层CT扫描获得的DICOM图像导入3D Slicer 软件进行三维重建, 选取肺部病变分布最广层的CT图像勾画感兴趣区域(ROI)计算肺复张前后支气管显影数量; 另软件自动获得CT值, 依据CT值区分通气区, CT值按-1000~-801 HU、-800~-501 HU、-500~-101 HU、-100~100HU对应过度通气区域、正常通气区域、低通气区域、不通气区域, 计算4个通气区域的面积占比(每个通气区域占总区域的百分比)。另依据肺部病变分布最广层面的全肺CT图像中心点将肺分为左上、右上、左下、右下4个部分, 对每个象限的病变累及面积、病变程度进行评估, 计算每个象限的CT评分(病变程度评分×病变累及面积评分); 病变程度根据磨玻璃密度记分, 可见磨玻璃密度、模糊影、实变分别记1、2、3分; 病变累及面积按照<25%、25%~50%、50%~75%、≥75%分别记1、2、3、4分; 总分为4个象限CT评分之和。由2名主任医师对CT图像进行评估, 均具有10年儿科放射学工作经验, 若对评估结果存在争议则由上级主任医师判定。

**1.4 统计学分析** 采用 SPSS 27.0统计学软件分析数据。计数资料以例(%)表示, 行 $\chi^2$ 检验; 计量资料以( $\bar{x} \pm s$ )表示, 行t检验, 采用Pearson相关系数分析相关性,  $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

## 2 结果

**2.1 76例肺炎合并肺不张患儿肺复张效果情况** 76例肺炎合并肺不张患儿中65(85.53%)例患儿肺复张有效, 将其纳入有效组, 11(14.47%)例患儿肺复张无效, 将其纳入无效组。

**2.2 不同肺复张效果患儿复张前CT测量的各通气区面积占比、CT评分比较** 两组低通气区面积占比、CT评分比较无显著性差异( $P > 0.05$ ), 有效组不通气区面积低于无效组, 正常通气区面积高于无效组( $P < 0.05$ ), 见表1。

**2.3 不同肺复张效果患儿其他临床资料比较** 两组患者的性别、年龄、病程、PCIS、FiO<sub>2</sub>、平均气道压(MAP)、吸气峰压(PIP)、呼吸频率、氧合指数、通气指数、小儿死亡指数(PIM)比较均无显著性差异( $P > 0.05$ ), 见表2。

**2.4 肺炎合并肺不张患儿肺复张效果影响因素的Logistic回归分析** 以肺炎合并肺不张患儿肺复张效果(有效=0、无效=1)作为因变量, 将单因素分析中具有统计学意义的一般资料作为自变量, 不通气区面积、正常通气区面积进行Logistic回归分析, 结果显示, 不通气区面积、正常通气区面积均是影响肺炎合并肺不张患儿肺复张效果的危险因素( $P < 0.05$ ), 见表3。

**2.5 不通气区面积、正常通气区面积预测肺炎合并肺不张患儿肺复张效果的价值** ROC曲线结果显示, 单一指标预测肺炎合并肺不张肺复张效果时, 不通气区面积预测的AUC最高, 临界值32.98、敏感度86.15%, 特异度81.82%, 联合预测时两项联合预测AUC最高, 临界值为-0.02, 敏感度100%, 特异度100%, 见表4、图1。

**2.6 CT影像图分析** 见图2~3。

表1 不同肺复张效果患儿复张前CT测量的各通气区面积占比、CT评分比较

例	不通气区	低通气区	正常通气区	CT评分
有效组 65	26.86±7.86	21.56±5.17	51.58±6.31	26.28±5.81
无效组 11	35.26±7.56	20.18±4.75	44.56±6.26	27.87±5.02
t	3.295	0.806	3.416	1.524
P	0.002	0.423	0.001	0.132

表2 不同肺复张效果患儿其他临床资料比较

指标	有效组(n=65)	无效组(n=11)	t/ $\chi^2$	P
性别(例)			0.973	0.324
男	37(56.92)	8(72.73)		
女	28(43.06)	3(27.27)		
年龄(岁)	7.27±2.17	7.20±2.24	0.099	0.922
病程(年)	24.17±5.71	24.03±5.50	0.076	0.940
PCIS评分(分)	75.27±3.45	74.51±4.35	0.650	0.518
FiO <sub>2</sub>	0.51±0.17	0.49±0.16	0.364	0.717
MAP(cmH <sub>2</sub> O)	16.28±3.15	15.87±3.61	0.391	0.697
PIP(cmH <sub>2</sub> O)	25.47±4.11	24.76±4.34	0.526	0.601
呼吸频率(次/min)	41.68±5.16	42.37±5.34	0.467	0.642
氧合指数	18.95±3.45	19.35±4.11	0.346	0.730
通气指数	47.16±5.16	48.06±5.71	0.527	0.600
PIM评分(%)	13.58±2.15	14.11±2.07	0.760	0.450

表3 肺炎合并肺不张患儿肺复张效果影响因素的Logistic回归分析

变量	$\beta$	SE	wald	OR	95%CI下限	95%CI上限	P
不通气区面积	-0.313	0.113	7.666	0.731	0.586	0.913	0.006
正常通气区面积	0.415	0.156	7.044	1.514	1.115	2.056	0.008

表4 不通气区面积、正常通气区面积预测肺炎合并肺不张患儿肺复张效果的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(%)
不通气区面积	0.898(0.807~0.956)	9.096/<0.001	0.680	≤32.98	86.15	81.82
正常通气区面积	0.860(0.762~0.929)	6.643/<0.001	0.632	>46.50	72.31	90.91
联合	1.000(0.953~1.000)	1.000/<0.001	1.000	>-0.02	100.00	100.00

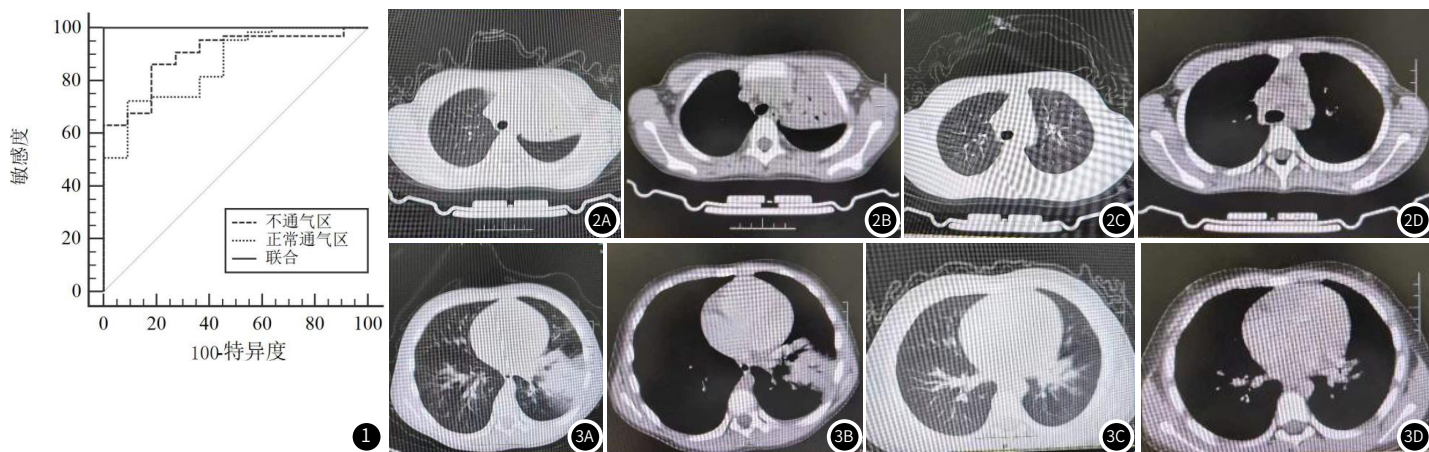


图1 不通气区面积、正常通气区预测肺炎合并肺不张患儿肺复张效果的ROC曲线图。

图2A~2D 病例1: 8岁, 左上叶肺不张, 治疗7天复查好转。图3A~3D 病例2: 8岁5月, 左下叶, 治疗10天后复查好转。

### 3 讨论

肺不张是肺炎的常见并发症之一, 其发生率为30%~35%, 肺炎合并肺不张可引起呼吸功能衰竭、严重炎症反应等并发症, 增加治疗难度, 延长住院时间, 影响患儿的生命健康<sup>[9-10]</sup>。因此, 临床需高度重视肺炎患儿肺不张症状。PEEP递增法是目前肺复张的主要方式之一, 能使萎陷肺泡重新张开, 恢复肺部通气和换气功能, 改善通气/血流占比<sup>[11]</sup>。吴琼<sup>[12]</sup>的研究指出, PEEP能改善氧合, 保持适当的呼气末正压, 避免肺泡在呼气末萎陷, 减少肺泡反复开闭, 缓解肺部炎症反应。本研究结果显示, 76例肺炎合并肺不张患儿中65(85.53%)例患儿肺复张有效, 11(14.47%)例患儿肺复张无效, 说明肺炎合并肺不张患儿以PEEP递增法机械通气后肺复张效果较好。分析原因, PEEP可增强肺部功能残气量, 保证肺泡在呼气末不容易萎陷, 同时增加呼气末肺容量, 增加肺泡与动脉之间的血氧分压差, 减轻肺泡水肿, 有利于肺复张<sup>[13-14]</sup>; PEEP利用CO<sub>2</sub>的排出减少肺间质液渗出, 改善通气/血流比例, 有助于萎陷肺泡重新张开<sup>[15]</sup>; PEEP通过维持呼气末肺泡内正压稳定, 对肺泡起支撑作用, 从而防止肺泡萎陷。

肺复张选择适当的PEEP值可减轻肺水肿症状, 提高氧合, 但PEEP不足不能维持肺组织充气, 影响肺复张效果, 而PEEP过高可能会引起气压伤、容积伤等呼吸机相关性肺损伤<sup>[16-17]</sup>。因此, 临床需对肺复张效果进行评估, 保证萎陷肺泡充分复张, 同时避免临床风险。目前评估肺复张的方法有肺部超声、压力容积曲线、电阻抗成像等, 但在临床实际应用中均受到一些客观因素的限制, 如肺不张产生受到患者体型、胸廓骨质等因素的影响<sup>[18-19]</sup>。CT是评估肺部形态常用的方式, 基于CT图像密度可以对肺部组织充气做定量分析, 能反映肺复张效果, 有助于患者精准化机械通气<sup>[20]</sup>。本研究CT检查结果显示, 两组低通气区面积占比、CT评分比较无显著性差异, 有效组不通气区面积低于无效组, 正常通气区面积高于无效组, 表明不通气区面积、正常通气区面积与肺复张效果有关。分析认为, 机械通气引起萎陷肺泡迅速膨胀, 不通气区、正常通气的肺泡变化更显著。回归分析也证实不通气区域、正常通气区域面积占比变化是影响肺复张效果的危险因素。

本研究进一步分析不通气区面积、正常通气区面积预测肺复张效果的价值, 结果显示, 两项联合预测AUC最高, 临界值为-0.02, 敏感度100%, 特异度100%, 说明不通气区面积、正常通气区面积联合预测肺复张效果具有较高敏感度、特异度。但本研究也存在一定的局限性, 样本量小, 为单中心研究, 且CT图像评估受到医师主观评价的影响, 因此, 仍需在后续的研究中扩大样本量、优化CT评分进一步探究证实CT评估肺炎合并肺不张患儿通过机械通气的肺复张的临床应用价值。

综上所述, 肺炎合并肺不张患儿以PEEP递增法机械通气后肺复张效果较好, 不通气区面积、正常通气区面积是影响肺复张效果的危险因素, 不通气区面积、正常通气区面积联合预测肺复张效果具有较高敏感度、特异度。

### 参考文献

- [1] Ambroggio L, Cotter J, Hall M, et al. Management of pediatric pneumonia: a decade after the pediatric infectious diseases society and infectious diseases society of america guideline[J]. Clin Infect Dis, 2023, 77(11): 1604-1611.
- [2] 刘冉, 许磊. 纤维支气管镜早期介入治疗儿童重症肺炎支原体肺炎合并肺不张的临床疗效[J]. 中国内镜杂志, 2022, 28(11): 71-76.
- [3] 胡凯, 尹彩霞, 熊旋, 等. 肺牵张指数指导急性呼吸窘迫综合征最佳呼气末正压滴定的临床研究[J]. 中华危重病急救医学, 2024, 36(2): 142-146.
- [4] 怀佳萍, 蒋晨琳, 邓鸿胜, 等. 肺泡灌洗液炎症因子对急性呼吸窘迫综合征患者肺复张潜能的评估价值[J]. 中国全科医学, 2023, 26(3): 329-334.
- [5] Sharma D, Farahbakhsh N. Role of chest ultrasound in neonatal lung disease: a review of current evidences[J]. J Matern Fetal Neonatal Med, 2019, 32(2): 310-316.
- [6] 郝文瀚, 郝巍兰, 李昆白, 等. CT定量分析急性呼吸窘迫综合征模型兔肺复张呼气末正压通气最佳压力[J]. 中国医学影像技术, 2022, 38(3): 321-325.
- [7] Leiser P, Kirschning T, Weiß C, et al. A quantitative CT parameter for the assessment of pulmonary oedema in patients with acute respiratory distress syndrome[J]. PLoS One, 2020, 15(11): e0241590.
- [8] 江载芳, 申昆玲, 沈颖. 诸福棠实用儿科学[M]. 8版. 北京: 人民卫生出版社, 2015: 1280-129.
- [9] 杨敏, 杨德华, 杨昕, 等. 支气管肺泡灌洗治疗肺炎支原体肺炎合并肺不张的效果及其影响因素[J]. 中华儿科杂志, 2018, 56(5): 347-352.
- [10] Haakma ME, Smit JM, Heldeweg MLA, et al. Extended lung ultrasound to differentiate between pneumonia and atelectasis in critically ill patients: a diagnostic accuracy study[J]. Crit Care Med, 2022, 50(5): 750-759.
- [11] 吴琼, 徐兰娟, 贾宝辉, 等. 食道压指导呼气末正压设置行机械通气治疗创伤性颅脑损伤合并急性呼吸窘迫综合征患者的效果[J]. 中华烧伤杂志, 2021, 37(5): 446-452.
- [12] 张银花, 耿智隆. 不同肺复张压力下腹腔镜结直肠癌根治术老年患者肺不张情况和呼吸力学参数观察[J]. 山东医药, 2023, 63(11): 74-78.
- [13] 江雅倩, 陈剑, 徐海燕, 等. 心脏手术后急性呼吸窘迫综合征患者俯卧位通气治疗效果及有效时长观察[J]. 护理学报, 2023, 30(9): 60-64.
- [14] 宋淳, 仲秀玲, 李燕, 等. 俯卧位通气体位管理垫在重度急性呼吸窘迫综合征病人中的应用效果[J]. 护理研究, 2023, 37(10): 1857-1860.
- [15] 王玉妹, 王岩, 周益民, 等. 基于慢呼气方法选择急性呼吸窘迫综合征模型呼气末正压的可行性[J]. 首都医科大学学报, 2021, 42(6): 903-908.
- [16] 马俊苓, 刘鸽, 王晓娟, 等. 不同水平呼气末正压对新生儿急性呼吸窘迫综合征的疗效及血流动力学的影响[J]. 中国现代医学杂志, 2020, 30(16): 85-88.
- [17] 王金柱, 郑春雷, 郑惠, 等. 肺保护性通气策略对百草枯诱导急性呼吸窘迫综合征家猪血管外肺水的作用[J]. 中华劳动卫生职业病杂志, 2022, 40(1): 7-11.
- [18] 郭闻, 储鑫, 付海燕. 急性呼吸窘迫综合征患者死腔分数与肺部超声评分的相关性及其对预后的评估作用[J]. 中华危重病急救医学, 2022, 34(5): 514-518.
- [19] 胡洁, 李晓东, 李甜, 等. 功能残气量与肺部超声评分的相关性及其对急性呼吸窘迫综合征俯卧位通气治疗的预测价值[J]. 中国急救医学, 2021, 41(1): 46-51.
- [20] Jiménez-Cortegana C, García-Galey A, Tami M, et al. Role of leptin in non-alcoholic fatty liver disease[J]. Biomedicine, 2021, 9(7): 762.

(收稿日期: 2025-05-14)

(校对: 姚丽娜 排版: 张鸿燊)