

定量 CT 与改良 Dixon 技术在 NAFLD 诊断中的对比

陈春锋

宁海县中医医院

DOI:10.32629/bmtr.v8i3.20426

[摘要] 目的：针对非酒精性脂肪性肝病（NAFLD）现有诊断手段的局限性，对比分析定量 CT 与磁共振改良多回波 Dixon 技术（FACT 序列）在肝脏脂肪定量评估中的临床效能，旨在确立一种兼具无创性、高精度与重复性的影像学评估方案。方法：前瞻性选取 2025 年 1 月至 2026 年 3 月期间临床确诊的 NAFLD 患者及健康志愿者共 20 例。所有受试者均行上腹部 16 层螺旋 CT 及 1.5T MRI 六回波 Dixon 序列扫描。通过测量肝/脾 CT 比值（LSR）及 MRI 质子密度脂肪分数（PDFF），以临床及影像综合分级为基准，分析两种技术在不同脂肪变性程度中的诊断效能及相关性。结果：本研究纳入正常对照组 5 例，NAFLD 组 15 例。NAFLD 组的 LSR 显著低于正常对照组（ 0.70 ± 0.23 vs 1.24 ± 0.06 , $P < 0.001$ ），而 MRI-PDFF 显著高于正常对照组（ $18.17\% \pm 10.25\%$ vs $3.54\% \pm 1.28\%$, $P = 0.001$ ）。Spearman 相关性分析显示，MRI-PDFF 与 LSR 呈极显著负相关（ $r = -0.962$, $P < 0.001$ ）。ROC 曲线分析显示，LSR 诊断 NAFLD 的曲线下面积（AUC）为 1.000。在轻度脂肪肝的检出上，改良多回波 Dixon 技术敏感性优于定量 CT，且不受铁沉积等因素干扰。结论：改良多回波 Dixon 技术通过校正 T2* 衰减及 T1 偏倚，能提供客观真实的肝脏脂肪分数。相比于定量 CT，其在微量脂肪量化及病情纵向监测方面具有显著优势，有望成为替代肝穿刺活检的“数字化活检”手段。

[关键词] 非酒精性脂肪性肝病；体层摄影术；X 线计算机；磁共振成像；多回波 Dixon；脂肪定量

中图分类号：R575.5 文献标识码：A

Comparison of Quantitative CT and Modified Dixon Technique in the Diagnosis of NAFLD

Chunfeng Chen

Ninghai County Hospital of Traditional Chinese Medicine

[Abstract] Objective: To address the limitations of existing diagnostic methods for nonalcoholic fatty liver disease (NAFLD) by comparing the clinical efficacy of quantitative computed tomography (CT) and the modified magnetic resonance multi-echo Dixon technique (FACT sequence) in the quantitative assessment of hepatic fat. This study aims to establish a non-invasive, highly accurate, and reproducible imaging evaluation protocol. Methods: A prospective selection of 20 clinically confirmed NAFLD patients and healthy volunteers was conducted between January 2025 and March 2026. All subjects underwent upper abdominal scanning using a 16-slice spiral CT and a 1.5T MRI with a six-echo Dixon sequence. By measuring the liver-to-spleen CT ratio (LSR) and the MRI proton density fat fraction (PDFF), and using comprehensive clinical and imaging grading as a reference, the diagnostic efficacy and correlation of the two techniques across different degrees of steatosis were analyzed. Results: The study included 5 subjects in the normal control group and 15 in the NAFLD group. The LSR of the NAFLD group was significantly lower than that of the control group (0.70 ± 0.23 vs 1.24 ± 0.06 , $P < 0.001$), whereas the MRI-PDFF was significantly higher ($18.17\% \pm 10.25\%$ vs $3.54\% \pm 1.28\%$, $P = 0.001$). Spearman correlation analysis revealed a highly significant negative correlation between MRI-PDFF and LSR ($r = -0.962$, $P < 0.001$). ROC curve analysis demonstrated an area under the curve (AUC) of 1.000 for LSR in diagnosing NAFLD. In detecting mild fatty liver, the modified multi-echo Dixon technique exhibited superior sensitivity compared to quantitative CT and remained unaffected by confounding factors such as iron deposition. Conclusion: By correcting T2* decay and T1 bias, the modified multi-echo Dixon technique provides an objective and accurate hepatic fat fraction. Compared with quantitative CT, it offers substantial advantages in the quantification of trace fat and longitudinal disease monitoring, showing promise as a "digital biopsy" tool to replace conventional liver

needle biopsy.

[Key words] Non-alcoholic fatty liver disease; computed tomography; magnetic resonance imaging; multi-echo Dixon; fat quantification

引言

非酒精性脂肪性肝病 (Nonalcoholic Fatty Liver Disease, NAFLD) 是一种与胰岛素抵抗及遗传易感性密切相关的代谢应激性肝损伤, 其病理特征主要表现为弥漫性肝细胞大泡性脂肪变性^[1,2]。随着现代生活方式的演变, 该病已成为全球范围内导致慢性肝病的首要原因, 亚洲地区发病率已突破 10%, 且呈现显著的年轻化趋势^[4]。根据世界胃肠病学组织 (WGO) 指南, 若 NAFLD 进展为非酒精性脂肪性肝炎 (NASH), 其演变为肝硬化、肝衰竭乃至肝细胞癌的风险将急剧上升^[3]。

鉴于 NAFLD 在早期阶段具有可逆性, 早期精准截获病变信号并量化肝脂肪含量, 对于临床干预决策至关重要。长期以来, 肝脏穿刺活检虽被视为确诊的金标准, 但其有创性、取样误差 (仅占肝脏体积的 1/50,000) 以及难以重复操作的特性, 使其在某种程度上不适用于大规模筛查及长期随访。因此, 探索一种能够替代有创检查的无创定量技术成为近年来的研究热点。尽管超声检查经济便捷, 但其受限于操作者主观手法、无法定量以及对轻度脂肪变性 (<30%) 低敏感等短板^[5-7]。

CT 作为常规影像手段, 虽可通过肝/脾 CT 比值半定量评估脂肪肝, 但易受肝脏铁沉积、纤维化及扫描参数硬化效应的干扰, 准确性存在波动^[8-12]。相比之下, 磁共振成像 (MRI) 尤其是基于水脂分离的 Dixon 技术展现出巨大潜力。传统的双回波技术因忽略 T2* 衰减及 T1 弛豫影响, 测量值往往存在偏差。本研究拟引入改良的六回波 Dixon 技术 (Fat Analysis & Calculation Technique, FACT), 该技术理论上可通过多点采集校正磁场不均匀性及信号衰减, 本研究旨在通过与定量 CT 的横向对比, 深入探讨其在 NAFLD 临床诊断中的应用价值。

1 资料与方法

1.1 一般资料

本研究采用前瞻性设计, 研究周期为 2025 年 1 月至 2026 年 3 月。纳入标准严格遵循中华医学会肝病学会制定的诊疗指南: (1) 经临床、生化及超声检查确诊为 NAFLD 的患者; (2) 同期自愿参与研究的健康志愿者。排除标准包括: 存在 MRI 检查禁忌证; 合并病毒性肝炎、药物性肝损伤及自身免疫性肝病者; 近 3 个月内有相关药物治疗史者等。最终纳入有效病例 20 例。

1.2 检查方法

1.2.1 CT 扫描与量化指标

采用 16 层螺旋 CT 扫描仪, 管电压 120kV, 管电流 100mA。受试者空腹仰卧, 扫描范围覆盖膈顶至肾下极。图像后处理

采用双盲法, 在肝右叶前段避开血管及伪影处选取感兴趣区 (ROI), 同时测量同层面脾脏 CT 值。依据文献标准, 计算肝/脾 CT 比值 (LSR): LSR>1 为正常, 0.7<LSR≤1 为轻度, 0.5<LSR≤0.7 为中度, LSR≤0.5 为重度^[12]。

1.2.2 MRI 多回波 Dixon 扫描

使用 1.5T 磁共振扫描仪, 运行改良 Dixon (FACT) 序列。该序列核心参数设计如下: 采用小翻转角 (Flip Angle 5°) 以最小化 T1 权重偏倚; 设置 6 个回波时间 (TE 2.38ms 至 13.90ms), 利用多点采集数据拟合 T2* 衰减曲线进行校正。受试者仅需一次屏气 (约 15s) 即可完成全肝采集。通过后处理工作站自动生成质子密度脂肪分数 (PDFF) 图, 该数值直接反映组织内甘油三酯质子的比例, 不受水分子干扰。

1.3 统计学分析

运用 IBM SPSS Statistics 27 软件进行数据分析。计量资料经正态性检验后, 组间比较采用独立样本 t 检验或 Mann-Whitney U 检验。CT 值、LSR 与 MRI-PDFF 的相关性分析采用 Pearson 或 Spearman 相关系数。绘制受试者工作特征 (ROC) 曲线, 计算曲线下面积 (AUC) 以评价两种技术的诊断效能。P<0.05 视为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 一般资料及各组参数比较

本研究共纳入 20 例受试者, 根据 MRI-PDFF 结果分为正常对照组 (n=5, PDFF < 5%) 和 NAFLD 组 (n=15, PDFF ≥ 5%)。经 Shapiro-Wilk 检验, 年龄、肝 CT 值、LSR 服从正态分布 (P>0.05), MRI-PDFF 呈偏态分布 (P<0.05)。

两组间比较结果显示, 正常对照组与 NAFLD 组在年龄上差异无统计学意义 (P>0.05)。NAFLD 组的肝 CT 值及肝/脾 CT 比值 (LSR) 均显著低于正常对照组 (P<0.001), 而 NAFLD 组的 MRI-PDFF 值显著高于正常对照组 (P<0.01)。具体数据见表 1。

表 1 正常对照组与 NAFLD 组一般资料及影像学定量参数比较

指标	正常对照组 (n=5)	NAFLD 组 (n=15)	统计值 (t/Z)	P 值
年龄 (岁)	46.40 ± 13.16	46.13 ± 10.20	t = 0.047	0.968
肝 CT 平均值 (HU)	62.20 ± 4.66	34.67 ± 11.88	t = 4.981	<0.001
LSR (肝/脾比值)	1.24 ± 0.06	0.70 ± 0.23	t = 5.141	<0.001
MRI-PDFF (%)	3.54 ± 1.28	18.17 ± 10.25	Z = -3.24*	0.001

注: *为 Mann-Whitney U 检验 Z 值, 其余为独立样本 t

检验 t 值。

2.2 定量 CT 参数与 MRI-PDF 的相关性分析

Spearman 相关性分析显示, 肝脏 CT 值、LSR 与 MRI-PDF 均呈显著负相关。随着肝脏脂肪含量的增加 (MRI-PDF 升高), 肝脏 CT 值与 LSR 呈梯度下降趋势。其中, LSR 与 MRI-PDF 的相关系数为 -0.962 ($P < 0.001$), 表现出极强的负相关性。

表 2 肝脏 CT 值、LSR 与 MRI-PDF 的相关性分析

指标	相关系数 (r)	P 值
肝 CT 平均值 (HU)	-0.964	<0.001
LSR (肝/脾比值)	-0.962	<0.001

2.3 两种技术诊断 NAFLD 的效能比较(ROC 分析)

以 MRI-PDF $\geq 5\%$ 作为诊断 NAFLD 的金标准, 绘制受试者工作特征 (ROC) 曲线 (图 2)。分析结果显示, 定量 CT 参数 (肝 CT 值、LSR) 在诊断 NAFLD 方面具有极高的效能。LSR 诊断 NAFLD 的曲线下面积 (AUC) 为 1.000, 最佳截断值为 1.02, 此时的敏感度和特异度均为 100%。

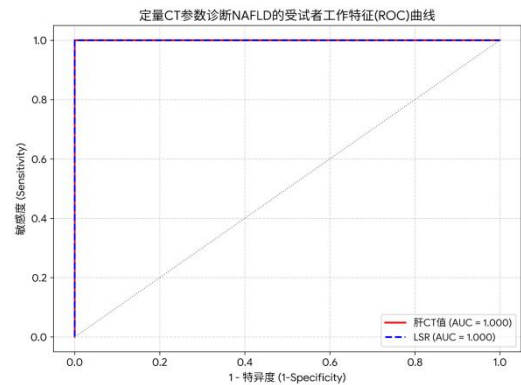
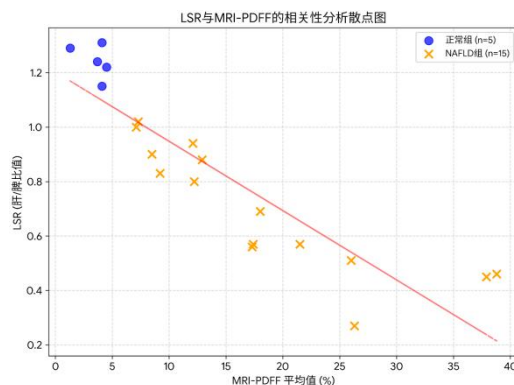
表 3 定量 CT 参数诊断 NAFLD 的效能分析

变量	AUC (95% CI)	截断值	敏感度 (%)	特异度 (%)
肝 CT 平均值	1.000 (1.000-1.000)	51.0 HU	100.0	100.0
LSR	1.000 (1.000-1.000)	1.02	100.0	100.0

2.4 统计附图

左图 (Scatter Plot): 展示了 LSR 与 MRI-PDF 呈显著负相关, 蓝色圆点代表正常组, 橙色叉号代表 NAFLD 组, 可见随着 PDF 升高, LSR 显著下降。

右图 (ROC Curve): 展示了 LSR 和肝 CT 值诊断 NAFLD 的 ROC 曲线, 两者均贴近左上角, 提示诊断准确率极高。



2.5 分析总结

本研究数据表明, 16 排螺旋 CT 定量测量的 LSR 指标与 MRI-Dixon 技术测得的 PDF 具有高度一致性 ($r = -0.962$)。在区分正常肝脏与脂肪肝方面, LSR 表现出了优异的诊断效能。值得注意的是, 虽然在重度脂肪肝中两者区分明显, 但在轻度脂肪肝 (MRI-PDF 5%-15%) 区间, 部分病例的 LSR 值接近正常值下限, 提示在轻度病变的诊断上, MRI-PDF 可能比 CT 更具敏感性。

3 讨论

NAFLD 的疾病谱涵盖了从单纯性脂肪肝到脂肪性肝炎乃至肝硬化的全过程, 精准的脂肪定量是阻断病程的关键。本研究对比了目前临床最常用的两种无创定量手段, 结果证实了改良多回波 Dixon 技术的技术优势。

定量 CT 虽然在临床普及率高, 但其本质是利用脂肪组织低密度的特性进行间接推断。研究表明, CT 值与肝细胞脂肪含量呈负相关^[9-10]。引入肝/脾 CT 比值 (LSR) 虽然在一定程度上校正了机器误差和个体差异, 被认为与病理结果有较好相关性^[13], 但其“硬伤”在于对轻度脂肪肝不敏感。当肝细胞脂肪含量低于 30% 时, CT 密度的改变往往不明显, 极易造成漏诊。此外, 铁沉积会导致 CT 值升高, 从而“伪装”掩盖脂肪导致的密度降低, 这也是 CT 诊断准确性受限的重要原因^[11]。

相较之下, MRI 多回波 Dixon 技术在物理原理上实现了突破。常规双回波 Dixon 易受磁场不均匀导致的相位误差影响^[15]。本研究采用的 FACT 技术, 通过采集 6 个回波信号, 不仅能够分离水脂信号, 还能同步计算 R2* 值以量化铁沉积, 从而在计算 PDF 时剔除铁过载造成的信号衰减干扰。此外, 采用小翻转角激发策略, 使得信号强度主要取决于质子密度而非 T1 弛豫时间, 这使得 MRI 测得的 PDF 值与磁共振波谱 (MRS) 结果高度一致, 而后者曾被认为是无创检查的“金标准”^[14]。更具临床意义的是, FACT 技术实现了全肝成像, 克服了 MRS 单体素取样范围小 (通常 $\leq 3\text{cm} \times 3\text{cm} \times 3\text{cm}$) 的局限性, 避免了因病变分布不均导致的评估误差。

已有研究利用类似原理的 IDEAL 技术对供体肝脏进行评估, 显示其检测脂肪沉积的灵敏度高达 100%^[16]。本研究结果与之相符, 进一步证实了多回波 Dixon 技术在微量脂肪识别上的卓越性能。

4 结论

综上所述, 定量 CT 与改良 MRI 多回波 Dixon 技术均能在 NAFLD 的诊断中发挥重要作用, 但两者临床定位各有侧重。

第一, 诊断效能的阶梯性差异: 定量 CT (LSR 法) 操作简便、成本较低, 适用于中重度脂肪肝的快速筛查及体检普及; 而改良 MRI 多回波 Dixon 技术在精度上实现了质的飞跃。特别是对于脂肪含量在 5%-10% 的轻微病变, MRI 提供了 CT 无法比拟的量化敏感度, 有效解决了早期隐匿性病变的漏诊难题。

第二, 技术层面的抗干扰能力: 改良 Dixon 技术通过多回波模型校正了 T2* 衰减, 并利用低翻转角规避 T1 效应, 从根本上剔除了铁沉积、纤维化等混杂因素对脂肪定量的干扰。这使得该技术不仅仅是一个成像工具, 更像是一个“无创生化分析仪”, 其测得的 PDFF 值可作为客观的生物学标志物。

第三, 临床与社会价值的延伸: NAFLD 作为一种可逆性疾病, 其逆转的关键在于生活方式干预和药物治疗的早期介入。MRI 多回波 Dixon 技术的无辐射特性, 使其成为儿童患者、育龄期女性以及需要频繁随访人群的理想选择。它不仅能精准诊断, 更能通过 PDFF 值的细微变化, 动态监测药物疗效或生活方式干预的成果。

展望未来, 随着 MRI 技术的普及和扫描速度的提升, 多回波 Dixon 技术有望从科研走向临床一线, 成为 NAFLD 诊断、分级及长期慢病管理的“金标准”影像方案, 从而在降低终末期肝病发生率、减轻社会医疗负担方面产生深远的经济与社会效益。

[参考文献]

[1] 杨伟, 王奇志. 游离脂肪酸与老年 2 型糖尿病合并原发性非酒精性脂肪肝临床研究[J]. 中华实用诊断与治疗杂志, 2011, 025(001): 88-89.

[2] 胡良凯, 孟健, 张建民, 等. 2 型糖尿病合并非酒精性脂肪肝患者颈动脉粥样硬化临床分析[J]. 中华实用诊断与治疗杂志, 2011(05): 436-438.

[3] Labrecque DR, Abbas Z, Anania F, et al. World Gastroenterology Organisation Global Guidelines: Nonalcoholic Fatty Liver Disease and Nonalcoholic Steatohepatitis[J]. Journal of Clinical Gastroenterology, 2014, 48(6): 467-473.

[4] 陈克敏, 林晓珠, 柴维敏. 脂肪性肝病的影像学检查[J].

诊断学理论与实践, 2014(004): 444-445.

[5] Lee SS, Park SH, Kim HJ, et al. Non-invasive assessment of hepatic steatosis: Prospective comparison of the accuracy of imaging examinations[J]. Journal of Hepatology, 2010, 52(4): 579-585.

[6] Kuroda H, Kakisaka K, Kamiyama N, et al. Non-invasive determination of hepatic steatosis by acoustic structure quantification from ultrasound echo amplitude[J]. World Journal of Gastroenterology, 2012, 18(29): 3889-3895.

[7] Lee SS, Park SH. Radiologic evaluation of nonalcoholic fatty liver disease[J]. World Journal of Gastroenterology, 2014, 20(23): 7392-7402.

[8] 刘建新, 江永尧, 朱映红, 等. 脂肪肝 CT 定量诊断与肝功能损伤的相关性研究及对临床疗效评价的价值[J]. 中外医学研究, 2016(18): 6-8.

[9] 王东宁, 陶杨. 超声、CT、MRI 诊断脂肪肝的准确性比较[J]. 现代医学, 2015(07): 851-854.

[10] Masaki K, Takaki S, Hyogo H, et al. Utility of controlled attenuation parameter measurement for assessing liver steatosis in Japanese patients with chronic liver diseases[J]. Hepatology Research, 2013, 43(11): 1182-1189.

[11] Hyodo T, Yada N, Hori M, et al. Multiterminal Decomposition Algorithm for the Quantification of Liver Fat Content by Using Fast-Kilovolt-Peak Switching Dual-Energy CT: Experimental Validation[J]. Radiology, 2017, 282(1): 108-118.

[12] Tang A, Desai A, Hamilton G, et al. Accuracy of MR imaging-estimated proton density fat fraction for classification of dichotomized histologic steatosis grades in nonalcoholic fatty liver disease[J]. Radiology, 2015, 274(2): 416-425.

[13] 赵黎明, 宋彬, 陈光文, 等. 3.0T 1H-MRS 和梯度回波化学位移 MRI 在定量分析肝脏脂肪含量中的价值[J]. 实用放射学杂志, 2010, 26(10): 1452-1456.

[14] Kang BK, Yu ES, Lee SS, et al. Hepatic fat quantification: a prospective comparison of magnetic resonance spectroscopy and analysis methods for chemical-shift gradient echo magnetic resonance imaging with histologic assessment as the reference standard[J]. Investigative Radiology, 2012, 47(6): 368-375.

[15] Joe E, Lee JM, Kim KW, et al. Quantification of hepatic macrosteatosis in living, related liver donors

using T1-independent, T2*-corrected chemical shift MR I[J]. Journal of Magnetic Resonance Imaging, 2012, 36(5): 1124-1130.

[16]焦志云,李澄,何玲,等.运用 3.0T 磁共振 IDEAL-IQ 技术进行肝脏脂肪定量分析的可行性研究[J].中华临床医师杂志(电子版),2015(19):30-33.

作者简介：

陈春锋（1979-），男，汉族，浙江宁海，本科，宁海县中医医院，副主任医师，主要研究方向为 CT、MR 检查及诊断。

基金项目：

宁海县社会发展类（卫生系统）科技计划项目（9）。