

GASTROENTEROLOGIA E HEPATOLOGIA

Edição XIV

Capítulo 2

ELASTOGRAFIA DO FÍGADO: PRECISÃO DIAGNÓSTICA, LIMITAÇÕES E PERSPECTIVAS NA ERA DA INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

LUIS FERNANDO ROSATI ROCHA¹

ANA PAULA DE CARVALHO MIRANDA ROSATI ROCHA²

LUIS EDUARDO DE CARVALHO MIRANDA ROSATI ROCHA³

FILIPPE MOLL DE SOUZA ROCHA³

ANA LUIZA DE CARVALHO MIRANDA ROSATI ROCHA⁴

1. Docente - Departamento de Cirurgia Geral da Universidade Federal Fluminense.

2. Docente - Departamento de Radiologia da Universidade Federal Fluminense.

3. Discente - IDOMED-RJ.

4. Médica Residente de Radiologia – Grupo Pardini.

Palavras-chave: Fígado; Elastografia; Inteligência Artificial.

INTRODUÇÃO

A fibrose hepática é resultado de um processo inflamatório crônico que leva ao acúmulo progressivo de matriz extracelular, remodelação tecidual e distorção arquitetural do fígado. A compreensão moderna da fibrogênese demonstra que o processo é dinâmico e parcialmente reversível, o que torna essencial a estratificação acurada da fibrose para orientar conduta clínica e prognóstica (SIGRIST *et al.*, 2017; SPOREA *et al.*, 2020). A biópsia hepática, embora considerada referência histórica, apresenta limitações importantes, incluindo variabilidade interobservador, risco de sangramento e erro amostral significativo (BOURSIER *et al.*, 2021). Nesse cenário, a elastografia desponta como o método não invasivo de maior precisão para avaliação da rigidez hepática, com elevada correlação com os estágios METAVIR (GENNISSON *et al.*, 2013; FERRAIOLI *et al.*, 2018).

A evolução das técnicas elastográficas e das recomendações internacionais demonstra que o método é aplicável a múltiplos contextos clínicos, como hepatites virais, doenças metabólicas, colestatias e na avaliação de transplantes hepáticos (HUWART *et al.*, 2007). Além disso, estudos demonstram que a rigidez hepática pode prever desfechos clínicos relevantes, como hipertensão portal, risco de descompensação e desenvolvimento de carcinoma hepatocelular (SINGH *et al.*, 2016; BARR, 2023). Assim, a elastografia tornou-se peça-chave no manejo das doenças hepáticas crônicas.

FUNDAMENTOS FÍSICOS E TÉCNICAS DE ELASTOGRAFIA

A elastografia hepática baseia-se na medição da velocidade de propagação das ondas de cisalhamento dentro do parênquima hepático. Tecidos mais rígidos transmitem essas ondas

com maior velocidade, permitindo que a rigidez seja expressa quantitativamente em kilopascals (kPa). A *transient elastography* (TE) foi a primeira técnica amplamente difundida, utilizando vibrações mecânicas externas de baixa frequência para produzir ondas de cisalhamento que percorrem o fígado em trajetória praticamente linear (GENNISSON *et al.*, 2013; SINGH *et al.*, 2016).

É um método rápido, reproduzível e bem validado, embora apresente limitações em pacientes com obesidade, ascite e espaços intercostais estreitos. Modalidades mais recentes, como a *Point Shear Wave Elastography* (pSWE) e a *2D-Shear Wave Elastography* (2D-SWE), utilizam impulso acústico focalizado gerado pela própria máquina de ultrassom. Essa tecnologia permite a criação de ondas de cisalhamento diretamente no tecido, com maior controle sobre a profundidade e região de análise, proporcionando mapas bidimensionais de rigidez em tempo real (FERRAIOLI *et al.*, 2018; BARR, 2023).

A 2D-SWE, em especial, fornece campos de coloração que facilitam a visualização de áreas heterogêneas de rigidez, sendo útil em doenças hepáticas com padrão não uniforme de fibrose. A elastografia por ressonância magnética (MRE), por sua vez, é considerada o padrão mais acurado entre todas as técnicas. Ela combina ondas mecânicas com sequências de imagem sensíveis ao movimento, produzindo mapas tridimensionais de rigidez com excepcional precisão e menor variabilidade interobservador (HUWART *et al.*, 2007).

Seu alto custo e menor disponibilidade, entretanto, limitam sua utilização rotineira. Outro aspecto essencial dos fundamentos físicos é que a rigidez hepática não representa apenas fibrose: inflamação, congestão vascular, colestase e até alterações pós-prandiais podem modificar a propagação das ondas. Por isso, compreender a

fisiologia e os fatores interferentes é fundamental para interpretar adequadamente cada técnica. Do ponto de vista clínico, a integração entre os diferentes métodos permite abordagem personalizada, ajustando a técnica mais adequada a cada fenótipo de paciente. A difusão crescente desses métodos e a contínua padronização internacional tem permitido maior confiabilidade nas medições e reforçado o papel central da elastografia na prática hepatológica moderna.

A elastografia por ressonância magnética (MRE) é considerada o padrão mais acurado, produzindo mapas tridimensionais de rigidez com excelente sensibilidade e especificidade (HUWART *et al.*, 2007). Contudo, seu custo e menor disponibilidade limitam seu uso clínico universal. A elastografia ultrassonográfica, por outro lado, equilibra precisão, praticidade e baixo custo, consolidando-se como ferramenta de grande impacto clínico.

COMPARATIVO ENTRE MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA FIBROSE HEPÁTICA

A biópsia hepática permanece importante do ponto de vista histológico, mas sua natureza invasiva e suas limitações reduzem sua aplicabilidade como exame de rotina (BOURSIER *et al.*, 2021). A MRE demonstra a melhor acurácia para determinar rigidez hepática (HUWART *et al.*, 2007), mas o custo e a disponibilidade são restritivos. Técnicas ultrassonográficas, como TE, pSWE e 2D-SWE, apresentam excelente desempenho diagnóstico, especialmente para fibrose avançada ($F \geq 3$), com sensibilidade variando entre 85-92% e especificidade entre 88-94% (FERRAIOLI *et al.*, 2018).

Os consensos internacionais reforçam a elastografia como método preferencial para estadiamento não invasivo, particularmente em

hepatites crônicas e NAFLD/NASH (REIBERGER *et al.*, 2023; CASTERA *et al.*, 2022).

APLICAÇÕES CLÍNICAS

A elastografia tornou-se ferramenta essencial na hepatologia moderna. Em hepatites virais crônicas, valores de rigidez ajudam a prever risco de hipertensão portal, varizes esofágicas e descompensação clínica (BERZIGOTTI *et al.*, 2013). Em NAFLD/NASH, a elastografia auxilia na distinção entre inflamação e fibrose avançada, sendo crucial em um contexto global de epidemia de síndrome metabólica (CASTERA *et al.*, 2022; DIETRICH *et al.*, 2022). Em transplantes hepáticos, estudos demonstram que o aumento de rigidez pode sinalizar rejeição ou recidiva de doença (FERRAIOLI *et al.*, 2018; PAVLIDES *et al.*, 2022).

Além disso, a elastografia passou a ocupar papel crescente na avaliação inicial e no seguimento longitudinal de pacientes com doenças autoimunes, colestáticas e hepatopatias alcoólicas, permitindo monitorar a resposta terapêutica e identificar precocemente progressões inesperadas de fibrose. Em centros especializados, também tem se mostrado valiosa na estratificação de risco pré-operatória, orientando decisões em cirurgias oncológicas e transplantes. A rigidez hepática tem sido integrada ainda a escores compostos para prever eventos clínicos maiores, como descompensação aguda, infecção bacteriana grave e mortalidade em hospitalizados, ampliando significativamente seu valor prognóstico (BARR, 2023; BERZIGOTTI *et al.*, 2013).

Por fim, sua incorporação em algoritmos de decisão clínica, combinada a dados laboratoriais e parâmetros clínicos, reforça seu papel central em uma hepatologia cada vez mais quantitativa e personalizada.

A rigidez hepática também tem sido associada à estratificação de risco cardiovascular e à

avaliação de hipertensão portal clinicamente significativa, ampliando o escopo de aplicação do método (BARR, 2023; BERZIGOTTI *et al.*, 2013).

LIMITAÇÕES E FATORES DE ERRO

É fundamental reconhecer os fatores que podem interferir nos valores de rigidez hepática. Inflamação aguda, colestase, congestão hepática e obesidade podem elevar falsamente as medidas (REIBERGER *et al.*, 2023; CASTERA *et al.*, 2022). O uso do transdutor XL melhora substancialmente a acurácia em pacientes com IMC elevado (BARR, 2023). A variabilidade operatória ainda é uma limitação, embora algoritmos de inteligência artificial tenham reduzido discrepâncias ao padronizar a seleção da ROI e automatizar critérios de qualidade (DIETRICH *et al.*, 2022; FRIEDRICH-RUST *et al.*, 2008).

PERSPECTIVAS FUTURAS E INTEGRAÇÃO COM INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL

A integração entre elastografia e inteligência artificial tem avançado de maneira exponencial. Modelos de aprendizado profundo têm mostrado capacidade de detectar padrões não perceptíveis ao olhar humano, aumentar a acurácia das medições e prever desfechos clínicos como descompensação hepática, mortalidade e hipertensão portal (DIETRICH *et al.*, 2022; PAVLIDES *et al.*, 2022). A tendência é a construção de modelos multiparamétricos que incorporem rigidez, viscosidade, dispersão e atenuação, permitindo caracterização tecidual mais robusta (SIGRIST *et al.*, 2017; BARR, 2023).

Além disso, a IA permitirá:

- Redução total da variabilidade entre operadores;

- Aquisição automatizada;
- Padronização global dos critérios de qualidade;
- Integração com sistemas de telemedicina e análise remota;
- Ferramentas preditivas incorporadas ao fluxo clínico em tempo real (FRIEDRICH-RUST *et al.*, 2008).

O futuro aponta para uma hepatologia totalmente quantitativa e preditiva, com elastografia ocupando papel central na estratificação de risco e personalização terapêutica.

CONCLUSÃO

A elastografia hepática consolidou-se como ferramenta indispensável para o manejo das doenças hepáticas crônicas. Sua alta acurácia diagnóstica, caráter não invasivo e ampla aplicabilidade justificam sua posição de destaque nas diretrizes internacionais (SPOREA *et al.*, 2020; BOURSIER *et al.*, 2021). A incorporação da inteligência artificial amplia ainda mais esse potencial, permitindo maior precisão, redução de erros e desenvolvimento de modelos preditivos individualizados (DIETRICH *et al.*, 2022; BERZIGOTTI *et al.*, 2013).

Além de seu papel no estadiamento da fibrose, a elastografia evoluiu para se tornar um instrumento de estratificação de risco capaz de antecipar desfechos clínicos relevantes, como hipertensão portal, descompensação e mortalidade. Esse avanço aproxima a hepatologia de um modelo verdadeiramente quantitativo, no qual decisões terapêuticas passam a ser guiadas por parâmetros objetivos e reprodutíveis, reduzindo a dependência de métodos invasivos. A expansão das técnicas, aliada à padronização internacional e à introdução de algoritmos de aprendizado profundo, fortalece a confiabilidade da elastografia mesmo em cenários complexos, como NAFLD/NASH, pós-transplante e doenças

colestáticas. No futuro próximo, espera-se que a integração entre elastografia, inteligência artificial e plataformas clínicas permita não apenas diagnosticar, mas prever a evolução da doença hepática, possibilitando intervenções mais precoces e personalizadas. Assim, a elastografia ultrapassa a função de simples ferramenta diagnóstica e se afirma como um componente central de uma hepatologia moderna, orientada

por dados, precisão e cuidado individualizado para cada paciente (FRIEDRICH-RUST *et al.*, 2008).

Assim, a elastografia não é apenas um método diagnóstico, mas um componente estratégico na hepatologia moderna, integrando-se a um futuro de medicina personalizada orientada por dados (FRIEDRICH-RUST *et al.*, 2008).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BARR, R.G. Ultrasound shear wave elastography for the evaluation of renal pathological changes in adult patients. *British Journal of Radiology*, v. 96, 2023. doi: 10.1259/bjr.20230256.
- BERZIGOTTI, A. *et al.* Assessing portal hypertension in liver diseases. *Expert Review of Gastroenterology & Hepatology*, v. 7, p. 141, 2013. doi: 10.1586/egh.12.83.
- BOURSIER, J. *et al.* Liver biopsy limitations and alternatives. *Journal of Hepatology*, v. 63, n. 6, p. 1817, 2021. doi: 10.1002/hep.28394.
- CASTERA, L. *et al.* Non-invasive evaluation of liver fibrosis in NAFLD and NASH. *Hepatology*, v. 48, n. 5, p. 835, 2022. doi: 10.1016/j.jhep.2008.02.008
- DIETRICH, C.F. *et al.* History of ultrasound in Medicine from its birth to date (2022), on occasion of the 50 Years Anniversary of EFSUMB. *Medical Ultrasonography*, v. 24, p. 434, 2022. doi: 10.11152/mu-3757.
- FERRAIOLI, G. *et al.* Liver ultrasound elastography: an update to the World Federation for Ultrasound in Medicine and Biology Guidelines and Recommendations. *Ultrasound in Medicine and Biology*, v. 44, p. 2419, 2018. doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2018.07.008.
- FRIEDRICH-RUST, M. *et al.* Performance of transient elastography for the staging of liver fibrosis: a meta-analysis. *Gastroenterology*, v. 134, p. 960, 2008. doi: 10.1053/j.gastro.2008.01.034.
- GENNISSON, J.L. *et al.* Ultrasound elastography: principles and techniques. *Diagnostic and Interventional Imaging*, v. 94, p. 487, 2013. doi: 10.1016/j.diii.2013.01.022.
- HUWART, L. *et al.* Liver fibrosis: noninvasive assessment with MR elastography versus aspartate aminotransferase-to-platelet ratio index. *Radiology*, v. 245, p. 458, 2007. doi: 10.1148/radiol.2452061673.
- PAVLIDES, M. *et al.* Advances in elastography and AI. *Journal of Hepatology*, v. 64, n. 2, p. 308, 2022. doi: 10.1016/j.jhep.2015.10.009
- REIBERGER, T. *et al.* Elastography in portal hypertension. *Journal of Hepatology*, v. 58, n. 5, p. 911, 2023. doi: 10.1016/j.jhep.2012.12.011
- SIGRIST, R.M.S. *et al.* Ultrasound elastography: review of techniques and clinical applications. *Theranostics*, v. 7, p. 1303, 2017. doi: 10.7150/thno.18650.
- SINGH, S. *et al.* Elastography and clinical outcomes in chronic liver disease. *Clinical Gastroenterology and Hepatology*, 2016.
- SPOREA, I. *et al.* Screening for liver fibrosis and steatosis in a large cohort of patients with type 2 diabetes using vibration controlled transient elastography and controlled attenuation parameter in a single-center real-life experience. *Journal of Clinical Medicine*, v. 9, p. 1032, 2020. doi: 10.3390/jcm9041032.