

# 超声弹性成像新技术正常参考值在儿童肝脏中的研究现状

郑陈鹏\*, 文婷婷, 王偲蕴, 余明珠, 陈镜宇#

重庆医科大学附属儿童医院超声科, 国家儿童健康与疾病临床医学研究中心, 儿童发育疾病研究教育部重点实验室, 儿科学重庆市重点实验室, 重庆

收稿日期: 2026年3月13日; 录用日期: 2026年4月6日; 发布日期: 2026年4月14日

## 摘要

儿童慢性肝病可导致肝纤维化、脏炎变及脂肪变性等。超声弹性成像新技术为诊断儿童肝病诊断和病变严重程度评估提供了新思路。超声弹性成像新技术儿童肝脏正常参考值对正常或异常儿童肝脏的鉴别诊断和疾病评估具有重要作用。本文就超声弹性成像用于诊断儿童慢性肝病的正常参考值研究进展进行综述。

## 关键词

弹性成像技术, 儿童肝脏, 正常参考值, 综述

# Research Status of Normal Reference Values for Novel Ultrasound Elastography Techniques in Pediatric Liver

Chenpeng Zheng\*, Tingting Wen, Siyun Wang, Mingzhu Yu, Jingyu Chen#

Department of Ultrasound, Children's Hospital of Chongqing Medical University, National Clinical Research Center for Child Health and Disorders, Ministry of Education Key Laboratory of Child Development and Disorders, Chongqing Key Laboratory of Pediatrics, Chongqing

Received: March 13, 2026; accepted: April 6, 2026; published: April 14, 2026

## Abstract

Chronic liver disease in children can lead to hepatic fibrosis, cirrhosis, and steatosis. Novel

\*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 郑陈鹏, 文婷婷, 王偲蕴, 余明珠, 陈镜宇. 超声弹性成像新技术正常参考值在儿童肝脏中的研究现状[J]. 临床医学进展, 2026, 16(4): 2994-3001. DOI: 10.12677/acm.2026.1641557

**ultrasound elastography techniques provide a new approach for the diagnosis of pediatric liver diseases and the assessment of disease severity. Establishing normal reference values for these techniques in children is crucial for differentiating between normal and abnormal liver conditions and for evaluating disease progression. This article reviews the research progress on normal reference values of ultrasound elastography for the diagnosis of chronic liver disease in children.**

## Keywords

Elastography, Pediatric Liver, Normal Reference Value, Review

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

儿童慢性肝病包括多种疾病，如慢性乙型和丙型病毒性肝炎、代谢性肝病、非酒精性脂肪性肝炎(NASH)、胆道闭锁和自身免疫性肝炎等。早期发现肝脏病变可以改善儿科患者的预后，评估肝脏病变的严重程度对于预后和制定治疗方案至关重要[1]。对于评估肝坏死、炎症和纤维化，活检病理为“金标准”，但有创且增加胆瘘和出血风险；血清生物标志物缺乏组织特异性，且受多种因素影响，用于肝病分级存在局限性[2] [3]。

超声具有经济、简便、无创等优势，已广泛用于诊断肝病；随着弹性成像等新技术的广泛开展，超声不仅可反映肝脏形态学及血流动力学信息，还能量化评估肝纤维化程度、炎症活动度及进行脂肪变性分级[4]。但儿童的腹内器官在大小、生理和硬度等方面通常和成人的器官不同。随着儿童的生长和发育，器官的体积不断增大，其生理机能也逐渐发生变化。因此，腹部器官的硬度也会有所不同[5]。因此确定儿童不同时期的弹性成像技术肝脏正常值有助于区分病理性肝脏与健康肝脏。本文就超声弹性成像诊断儿童肝脏正常参考值研究进展进行综述。由于研究条件所限，本文未按照 PRISMA 指南执行系统性综述，属于叙述性综述，其目的是整合现有研究成果、梳理研究脉络，为临床实践和后续研究提供参考，但受叙述性综述固有研究模式影响，不可避免存在一定局限性，下文将结合研究过程详细阐述。

## 2. 超声弹性成像诊断肝纤维化

超声弹性成像通过监测组织对声波能量的反应而观察其力学特性，近年已成为一种适合评估肝纤维化的非侵入性工具，已用于评估儿童和成人病毒性肝炎、酒精性肝病、自身免疫性肝病、代谢相关性肝病及门静脉高压等[6]。

### 2.1. 实时组织弹性成像(Real-Time Tissue Elastography, RTE)

人体不同组织结构存在弹性差异。RTE 是一种基于超声的方法，可在执行 B 型超声检查时直接显示组织弹性。RTE 中应变分布的变化是通过算法计算并显示为应变值的彩色直方图。该直方图以不同颜色显示肝脏弹性，范围从红色(非常有弹性)到蓝色(非常僵硬)。直方图中颜色的分布对应于器官弹性。通过计算硬度值的平均值，以任意单位(a.u.)数值表示组织平均弹性，代表肝脏的平均弹性(MEAN)。此外，还可以计算 ROI 中相对较硬的区域(颜色编码为蓝色)的百分比值(% AREA) [7] [8]。Buket Selmi [9]使用日立 Preirus™ 超声设备(线性探头，频率 7~3 MHz)对 91 名健康婴儿及儿童的肝脏进行了 RTE 检测。结果显示，全部参与者肝脏弹性中位值(MEAN)为 106 a.u. (范围: 87~115 a.u.)，硬区占比(% AREA)中位值为 25%

(范围: 11%~45%)。按性别进行分组比较, 男性与女性的 MEAN 与%AREA 均未见统计学显著差异(男性 MEAN 中位值: 108 a.u., 女性: 105 a.u.,  $p = 0.052$ ; % AREA 比较  $p = 0.051$ )。进一步按年龄分组分析(0~10 岁,  $n = 45$ ; 11~20 岁,  $n = 46$ ), 两组间 MEAN 与% AREA 同样无显著差异(MEAN:  $p = 0.059$ ; % AREA:  $p = 0.058$ )。其中, 0~10 岁组 MEAN 中位值为 105 a.u., % AREA 中位值为 25%; 11~20 岁组 MEAN 中位值为 107 a.u., % AREA 中位值为 24%。

## 2.2. 瞬时弹性成像(Transient Elastography, TE)

TE 是一种无创评估肝纤维化的新技术。纤维化程度相当于以千帕(kPa)为单位测量的肝脏硬度, 并通过控制衰减参数(CAP)来衡量肝脏脂肪变性。它经常用于平均正常硬度为 4.4~5.5 kPa 的成年患者[10]。自 2008 年以来, 随着直径比常规探头(M 探头 7 毫米)更小的新探头(S 探头 5 毫米)的出现, 甚至可以测量幼儿和婴儿的肝脏硬度。2012 年 Guido Engelmann [11]等人对总共 240 名健康儿童进行了分析以确定对照值。肝脏硬度中位数为 4.7 kPa, 正常上限为 6.47 kPa。硬度中值与年龄显著相关, 0~5、6~11 和 12~18 岁儿童的硬度中值分别为 4.40、4.73 和 5.1 kPa ( $p = 0.001$ ), 四分位距随着年龄的增长而减小(0.8、0.7 和 0.6 千帕); 正常上限(中值加 1.64 倍标准差)为 5.96、6.65 和 6.82 kPa。11 至 18 岁之间的女孩的中位硬度显著低于同龄男孩(4.7 vs. 5.6 kPa;  $p < 0.005$ )。该研究证明了 TE 在技术上对所有年龄段的儿童都是可行的。正常上限随着年龄的增长而显著增加。

2020 年 Li [12]等人通过 Meta 分析, 将 652 名儿童分为两组:  $\geq 3$  岁(较大组)和  $< 3$  岁(较小组)。进行了预测肝脏硬度的单变量和多变量线性回归模型。在年龄较大儿童组中, 平均肝脏硬度为 4.45 kPa (95% CI: 4.34~4.56), 硬度升高与年龄较大、镇静状态及使用 S 探头相关。在年龄较小儿童组中, 平均肝脏硬度为 4.79 kPa (95% CI: 4.46~5.12), 硬度升高与镇静状态及白种人种族相关。最后将健康儿童正常肝脏硬度的参考范围定义为 2.45~5.56 kPa, 并提出健康儿童肝脏硬度的上限为 5.56 kPa。

2023 年 Penelope C. Rose [13]等人对南非 104 名儿童(中位年龄 12.8 岁, IQR 11.4~14.8, 范围 7.9~17.7 岁)开展了一项前瞻性研究。结果显示, 肝脏硬度与年龄呈正相关(Pearson's  $r = 0.39$ ,  $p < 0.001$ )。男孩的中位肝脏硬度(5.2 kPa, 范围 3.6~6.8 kPa)显著高于女孩(4.6 kPa, 范围 3.6~6.1 kPa;  $p = 0.004$ ), 但不同种族之间未见显著差异。受控衰减参数(CAP)的中位数为 179 dB/m (第 5~95 百分位数: 158~233 dB/m)。CAP 与体重指数(BMI)呈正相关, 但与年龄、性别、种族及青春期状态均无显著关联。

## 2.3. 点剪切波弹性成像技术

点剪切波弹性成像技术是基于声辐射力原理在组织内单点或多点激发剪切波并测量其传播速度的弹性成像方法。其集成于常规超声诊断系统, 操作者可在 B 超引导下避开肝内管道结构选择感兴趣区。点测量技术主要包括声辐射力脉冲成像及其升级技术点剪切波弹性成像。

### 2.3.1. 声辐射力脉冲成像(ARFI)

声辐射力脉冲成像是点剪切波技术的早期代表。通过探头向目标组织发射聚焦的低频脉冲波, 利用声辐射力激励组织产生微观位移(即剪切波), 通过超声束追踪该位移的传播, 进而计算组织的剪切波速度。激励力由设备自身产生并可量化, ARFI 技术能够计算出组织的杨氏模量绝对值并以千帕为单位表示, 从而实现肝弹性的定量评估。该技术操作便捷、检测时间短, 且可选择性避开肝内较大血管结构进行测量, 从而提高测量的可行性与一致性[14]。

在儿童群体中多项研究尝试利用 ARFI 技术建立健康儿童的肝脏弹性参考值。Hanquinet 等[15]对 2~17 岁健康儿童的研究显示肝脏剪切波速度平均值为 1.12 m/s (范围: 0.73~1.45 m/s), 并指出在该研究中测量深度对结果无显著影响。一项针对 458 名中国正常儿童的大样本研究进一步探讨了年龄因素的影响, 其

结果表明, 不同年龄段儿童的肝脏 SWV 值未见明显统计学差异, 并提出可将 $(1.11 \pm 0.08)$  m/s 作为儿童肝脏弹性正常参考值的潜在标准[16]。

然而, ARFI 技术也存在固有的局限性。由于其依赖的声辐射力所产生的组织位移有限, 导致可测量的感兴趣区深度和范围受到较大限制, 这可能影响在肥胖或特殊体型儿童中的应用。此外, 不同厂商设备的算法与激励方式存在差异, 导致测量结果间可能缺乏直接可比性。随着剪切波弹性成像技术的快速发展, 特别是更具可视化优势的二维剪切波弹性成像技术的普及, ARFI 在临床肝脏弹性评估中的应用已逐渐减少。

### 2.3.2. 点剪切波弹性成像(p-SWE)

点剪切波弹性成像是 ARFI 技术的进阶版本, 其基本原理相似, 但通过优化声辐射脉冲的发射和追踪算法, 实现了对剪切波传播速度的更高精度测量, 并直接计算出杨氏模量值(kPa)。p-SWE 同样采用单点聚焦的声辐射力脉冲, 在特定感兴趣区内生成剪切波并测量其速度, 其 ROI 尺寸固定(通常为  $1 \times 1.5$  cm), 需在 B 超引导下避开血管和胆管。多项研究通过大样本健康儿童队列建立了 p-SWE 的肝脏硬度正常参考范围, 结果因设备型号和探头类型存在差异。夏清蓉等[16]使用飞利浦 iU Elite 系统对 243 名中国健康儿童(3~16 岁)的研究显示, 肝脏硬度均值为  $4.21 \pm 0.70$  kPa (95%可信区间:  $4.11 \sim 4.31$  kPa), 其中肝右前叶(S5 段)硬度( $4.07 \pm 0.71$  kPa)显著低于左内叶(S4 段,  $4.49 \pm 0.95$  kPa), 提示肝内不同节段的弹性值可能存在生理性差异。Trout 等[17]对 160 名健康儿童和成人的前瞻性研究发现, 使用佳能 Aplio i800 系统测量儿童( $n = 128$ )肝脏剪切波速度均值为  $1.29 \pm 0.13$  m/s (约合 4.45 kPa), 成人( $n = 32$ )为  $1.32 \pm 0.13$  m/s (约 4.65 kPa)。该研究还发现, 身高是儿童肝脏硬度的独立影响因素(每增加 1 cm, 速度增加 0.0012 m/s,  $p < 0.0001$ ), 提示体格发育对肝脏弹性的影响。

在技术对比方面, Mjelle 等[18]的头对头比较研究显示, p-SWE (Samsung RS80A)所测健康儿童肝脏硬度中位数为 4.17 kPa, 与瞬时弹性成像结果高度一致( $ICC \geq 0.97$ ), 且 4 次采集即可满足临床精度要求( $ICC \geq 0.98$ ), 表明 p-SWE 具有良好的可靠性和临床实用性。p-SWE 的优势在于操作简便、测量快速( $< 5$  分钟), 但其局限性在于无法实时显示弹性图, 且对肥胖儿童或深部病灶的测量成功率较低。Mjelle 等[19]指出, p-SWE 在儿童中的失败率约为 2.1%, 主要与哭闹、移动或肋间隙过窄有关。

### 2.4. 面剪切波弹性成像技术: 二维剪切波弹性成像(2D-SWE)

与点测量技术不同, 二维剪切波弹性成像实现了对更大范围肝组织的弹性“面测量”, 通过彩色编码的弹性图像直观展示肝硬度的空间分布, 并同时提供定量数据。二维剪切波弹性成像通过声辐射力在组织中生成多束剪切波, 并利用超高速成像技术实时追踪其传播, 构建彩色编码的弹性图, 可直观显示肝组织硬度分布。该技术具有实时成像、可重复性好、受操作者影响相对较小等优势, 近年来在儿科领域的应用日益广泛。

多项研究采用不同设备建立了 2D-SWE 的参考范围, 并一致报告了年龄对儿童肝脏硬度的影响。Charlier 等[20]对 266 名儿童(0~19 岁)的研究发现, 使用佳能 Aplio 500 系统搭配凸阵探头(6C1)所测肝脏硬度中位数为 5.20 kPa, 显著低于线阵探头(SL15-4)的 6.20 kPa ( $p < 10^{-4}$ ), 提示探头选择对测量结果具有重要影响。该研究还显示, 婴幼儿( $\leq 2$  岁)和青少年( $> 12$  岁)的肝脏硬度(中位数 5.45~6.00 kPa)显著高于学龄期儿童(4.05~4.39 kPa,  $p < 0.001$ ), 呈现出“两头高、中间低”的年龄分布特征。Galina 等[21]使用 GE Logiq E9 系统对 202 名健康儿童的研究进一步印证了这一趋势: 整体肝脏硬度均值为  $4.29 \pm 0.59$  kPa, 其中新生儿及婴儿硬度最高( $4.63 \pm 0.6$  kPa), 学龄前儿童最低( $4.05 \pm 0.57$  kPa), 青春期回升至  $4.39 \pm 0.55$  kPa。Yang 等[22]对 604 名学龄期儿童的研究则进一步验证了年龄和性别的影响: 肝脏剪切波速度随年龄增长呈上升趋势(6~9 岁组  $R^2 = 0.076 \sim 0.085$ ,  $p < 0.05$ ), 且男孩硬度显著高于女孩( $p < 0.05$ ), 与 TE 研究

中观察到的青春期性别差异相一致。

2D-SWE 的技术优势在于可实时显示弹性图, 支持 ROI 灵活放置于均质区域, 从而减少血管和管道结构的干扰。其对肥胖儿童的适应性优于点测量技术, 但测量深度仍受限(通常 $<6$  cm), 且需根据儿童年龄和体型选择合适的探头: 凸阵探头(如 6C1)适用于年长儿, 线阵探头(如 SL15-4)更适于婴幼儿。在测量成功率方面, Cailloce 等[23]报道 2D-SWE 在儿童中的失败率仅 0.4%, 但需在平静呼吸或屏气下测量, 以避免呼吸运动伪影。

点测量技术(ARFI/p-SWE)与面测量技术(2D-SWE)在成像原理、测量方式、技术特点及儿童正常值研究中各具优势与局限。点测量技术(ARFI/p-SWE)采用单点聚焦的声辐射力脉冲, 在特定感兴趣区内生成剪切波并测量其速度, 其测量结果为局部组织的弹性值, 无法直观展示硬度分布。面测量技术(2D-SWE)通过多束剪切波的激发和超高速成像, 构建彩色编码的弹性图像, 可实现区域弹性值的定量测量并能直观评估硬度分布的均匀性。p-SWE 与 2D-SWE 在健康儿童中测值具有高度一致性( $ICC \geq 0.97$ ), 但 2D-SWE 所测硬度值普遍低于 p-SWE (中位数 3.3 kPa vs. 4.1 kPa) [18]。这种差异可能与算法原理及 ROI 选择方式有关: p-SWE 为固定尺寸的单点测量, 而 2D-SWE 可基于弹性图选取均质区域, 从而可能避开局部硬化灶或血管周围区域。p-SWE 与 TE 的测量结果高度一致( $ICC \geq 0.97$ ) [19], 表明点测量技术在不同平台间具有良好的可比性。p-SWE 需 4 次采集即可满足临床精度要求( $ICC \geq 0.98$ ), 2D-SWE 需更多采集次数(6 次)才能避免 $\geq 20\%$ 的测量偏差[19]。2D-SWE 报道的失败率(0.4%)低于 p-SWE (2.1%) [19] [23], 可能与 2D-SWE 可实时观察测量质量、及时调整采样位置有关。在特殊人群适用性方面, 2D-SWE 对肥胖儿童的适应性优于点测量技术, 但两者均受呼吸运动影响, 需在平静呼吸或屏气状态下测量。

## 2.5. 联合弹性成像(Combinational Elastography, CE)

CE 是将 SWE 与应变弹性成像结合而形成的多因素多参数综合定量分析技术, 可同时获取剪切波和应变弹性数据, 并通过主机内置的慢性肝病模型计算 2 种弹性的综合评分——F 指数。一项针对成年慢性肝病纤维化和炎症活动度的连续分级研究[24]结果表明, CE 诊断效能明显优于单一 SWE 和应变弹性成像。目前对 CE 用于评估儿童慢性肝病的价值尚不完全明确, 暂无儿童肝脏正常值研究报道, 需进一步研究观察。

## 3. 超声弹性成像诊断肝脏炎症活动度

剪切波频散成像(Shear Wave Dispersion, SWD) SWD 可通过评估组织黏性而间接反映其内的炎症活动度[25]。

2023 年 Cetiner [26]等人使用带有 i8CX1 传感器(PVI-475BT, 单弯, 1.8~6.2 MHz)的 Aplio i800 (佳能医疗系统)对 129 名 0~18 岁的健康者肝脏进行检查, 发现 SWD 平均值为 12.96 (m/s)/kHz, 略高于 Trout [17]等人在 128 名健康儿童中报告的结果( $11.43 \pm 1.75$  (m/s)/kHz)。同时发现剪切波色散(SWD)与年龄无关。SWD 为新兴技术, 相关临床研究尚较少, 有待进一步观察。

CE 利用 CE 不仅能得到与肝纤维化分期相关的 F 指数, 还可同时获得与炎症活动度相关的 A 指数。目前以 A 指数评估肝脏炎症活动度的文献较少, 更罕见针对儿童者, 尚无儿童肝脏正常值报道, 有待更多研究。

## 4. 超声弹性成像诊断肝脂肪变性

### 4.1. 声衰减成像(Attenuation Imaging, ATI)

ATI 可显示超声波随传播距离增加而发生的衰减, 由此量化评估肝脏脂肪浸润程度[27]。

2020年 Romain Cailloce [23]等人对 86 名健康儿童(45 名男孩和 41 名女孩)进行了 2D-SWE 测量肝脏。最终研究对象的肝脏剪切波弹性成像(SWE)中位硬度值为 4.6 kPa(范围: 3.3~6.6)。在 77 名患者中成功完成了衰减成像(ATI),其衰减系数中位值为 0.65 dB/cm/MHz(范围: 0.50~0.81)。进一步分析表明,ATI 系数未受到年龄、性别、体重或体重指数的显著影响。

#### 4.2. 超声脂肪分数(Ultrasound-Derived Fat Fraction, UDFF)

UDFF 基于肝衰减系数和肝背向散射系数进行复杂分析、提取及二次拟合等,最终得到单位与 MRI-PDF 测值相同(脂肪分数百分比)的量化指标以评估肝脏脂肪变性程度;其评估成人肝脏脂肪变性的效能与 MRI-PDF 高度一致[28]-[30]。

Max 等人[31]通过对 48 例儿童受试者的分析发现,超声衰减参数(UDFF)与磁共振质子密度脂肪分数(MR-PDF)呈显著正相关(组内相关系数 ICC = 0.92, 95% CI: 0.89~0.96)。UDFF 诊断肝脏脂肪变性的受试者工作特征曲线下面积(AUROC)为 0.95(95% CI: 0.89~0.99)。当 UDFF 临界值取 6%时,其诊断敏感性为 90%(95% CI: 55%~99%),特异性为 94%(95% CI: 81%~99%)。此外,体重指数(BMI)是 UDFF 的独立预测因子(相关系数  $r = 0.55$ , 95% CI: 0.35~0.95)。

#### 4.3. 超声引导衰减参数(Ultrasound-Guided Attenuation Parameter, UGAP)

UGAP 检查是新兴非侵入性量化脂肪变性技术,可不受血管及肝外结构等因素影响。Haesung [32]在一项回顾性研究中,对 118 名儿童(平均年龄  $10.2 \pm 4.1$  岁)进行腹部超声检查,评估使用高频(2~9 MHz)凸透镜测量肝脏衰减系数(AC 2~9)的可行性和诊断能力。AC2~9 值与 MR 脂肪分数呈正相关(系数 = 0.498,  $p < 0.001$ ),诊断脂肪肝的截止值为 0.699 dB/cm/MHz,具有 90.2%的灵敏度和 100%的特异性。

#### 4.4. 衰减系数(Attenuation Coefficient, ATT)

ATT 基于超声探头发射和接收 2 个不同频率的超声波进行计算可得出[33],不受检查路径中的血管和肝管影响;其分级评估肝脂肪变性的效能与受控衰减参数(Controlled Attenuation Parameter, CAP)相近,并能定量评估脂肪面积且不受肝纤维化和炎症影响。Nobuharu [34]发现 ATT 值与组织学脂肪变性等级显著相关,且其诊断准确性与受控衰减参数(CAP)相当,但测量失败率更低,具有较高的观察者间重复性。尽管初步数据表明定量肝脂肪内容可能与非酒精性脂肪肝病的疾病进展相关,但 ATT 与疾病进展之间的关系尚未评估,需进一步研究以增强 ATT 测量在慢性肝病中的临床意义。目前相关临床研究较少,暂无儿童及青少年肝脏正常值研究数据报道,仍需大样本量研究进一步验证。

### 5. 小结及展望

超声弹性成像具有传统超声的无创、简便、安全性高、重复性佳及价格低廉等优点。超声弹性技术儿童肝脏主要用于诊断肝纤维化、肝脏炎症活动度、肝脂肪变性。目前不同弹性成像技术在儿童肝脏正常值的研究尚少,大部分均为小样本研究,部分弹性技术尚无儿童肝脏正常值研究报道。未来应通过大样本临床研究确定相关参考值及截断值,为临床诊断儿童慢性肝病提供更多参考。结合叙述性综述的研究特性,本文存在选择偏倚不可避免、文献质量未进行系统评估、无法进行量化分析与合并验证、研究空白梳理存在局限性的几方面局限性,需客观解读本文结论。未来研究可进一步扩大文献检索范围,纳入更多未发表的灰色文献,减少选择偏倚;同时可尝试采用半系统性综述的研究模式,结合 PRISMA 指南要求,对纳入文献进行严格质量评估,提升结论的可靠性。此外,后续研究可聚焦本文梳理的研究空白,开展大样本、多中心、长期随访的临床研究,建立更精准的儿童肝脏弹性正常值标准,为儿科慢性肝病的无创诊断提供更有力的支撑。

## 参考文献

- [1] Nobili, V., Alisi, A., Valenti, L., Miele, L., Feldstein, A.E. and Alkhoury, N. (2019) NAFLD in Children: New Genes, New Diagnostic Modalities and New Drugs. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, **16**, 517-530. <https://doi.org/10.1038/s41575-019-0169-z>
- [2] Dong, X., Wu, Z., Zhao, H. and Wang, G. (2018) Evaluation and Comparison of Thirty Noninvasive Models for Diagnosing Liver Fibrosis in Chinese Hepatitis B Patients. *Journal of Viral Hepatitis*, **26**, 297-307. <https://doi.org/10.1111/jvh.13031>
- [3] Bellan, M., Castello, L.M. and Pirisi, M. (2018) Candidate Biomarkers of Liver Fibrosis: A Concise, Pathophysiology-Oriented Review. *Journal of Clinical and Translational Hepatology*, **6**, 1-9. <https://doi.org/10.14218/jcth.2018.00006>
- [4] 张敏, 冉海涛. 超声定量评估肝纤维化程度研究进展[J]. 中国医学影像技术, 2015, 31(7): 1110-1114. <https://d.wanfangdata.com.cn/periodical/zgyxyxjs201507040>
- [5] Palabiyik, F.B., Inci, E., Turkyay, R. and Bas, D. (2017) Evaluation of Liver, Kidney, and Spleen Elasticity in Healthy Newborns and Infants Using Shear Wave Elastography. *Journal of Ultrasound in Medicine*, **36**, 2039-2045. <https://doi.org/10.1002/jum.14202>
- [6] Kim, J.R., Suh, C.H., Yoon, H.M., Lee, J.S., Cho, Y.A. and Jung, A.Y. (2017) The Diagnostic Performance of Shear-Wave Elastography for Liver Fibrosis in Children and Adolescents: A Systematic Review and Diagnostic Meta-analysis. *European Radiology*, **28**, 1175-1186. <https://doi.org/10.1007/s00330-017-5078-3>
- [7] Morikawa, H., Fukuda, K., Kobayashi, S., Fujii, H., Iwai, S., Enomoto, M., et al. (2010) Real-time Tissue Elastography as a Tool for the Noninvasive Assessment of Liver Stiffness in Patients with Chronic Hepatitis C. *Journal of Gastroenterology*, **46**, 350-358. <https://doi.org/10.1007/s00535-010-0301-x>
- [8] Frey, H. (2003) Realtime-Elastographie. A New Ultrasound Procedure for the Reconstruction of Tissue Elasticity. *Der Radiologe*, **43**, 850-855. <https://doi.org/10.1007/s00117-003-0943-2>
- [9] Selmi, B., Engelmann, G., Teufel, U., El Sakka, S., Dadrach, M. and Schenk, J. (2013) Normal Values of Liver Elasticity Measured by Real-Time Tissue Elastography (RTE) in Healthy Infants and Children. *Journal of Medical Ultrasonics*, **41**, 31-38. <https://doi.org/10.1007/s10396-013-0465-0>
- [10] Castera, L., Forns, X. and Alberti, A. (2008) Non-Invasive Evaluation of Liver Fibrosis Using Transient Elastography. *Journal of Hepatology*, **48**, 835-847. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18334275/>
- [11] Engelmann, G., Gebhardt, C., Wenning, D., Wühl, E., Hoffmann, G.F., Selmi, B., et al. (2011) Feasibility Study and Control Values of Transient Elastography in Healthy Children. *European Journal of Pediatrics*, **171**, 353-360. <https://doi.org/10.1007/s00431-011-1558-7>
- [12] Li, D.K., Khan, M.R., Wang, Z., Chongsrisawat, V., Swangsak, P., Teufel-Schäfer, U., et al. (2020) Normal Liver Stiffness and Influencing Factors in Healthy Children: An Individual Participant Data Meta-Analysis. *Liver International*, **40**, 2602-2611. <https://doi.org/10.1111/liv.14658>
- [13] Rose, P.C., Cotton, M.F., Otjombe, K., Innes, S. and Nel, E.D. (2023) Liver Transient Elastography Values in Healthy South African Children. *BMC Pediatrics*, **23**, Article No. 355. <https://doi.org/10.1186/s12887-023-04170-3>
- [14] Karlas, T., Dietrich, A., Peter, V., Wittekind, C., Lichtiginghagen, R., Garnov, N., et al. (2015) Evaluation of Transient Elastography, Acoustic Radiation Force Impulse Imaging (ARFI), and Enhanced Liver Function (ELF) Score for Detection of Fibrosis in Morbidly Obese Patients. *PLOS ONE*, **10**, e0141649. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141649>
- [15] 高洋, 唐毅, 王莽, 等. 声脉冲辐射力弹性成像技术检测正常儿童肝脏弹性[J]. 中国医学影像技术, 2014, 30(12): 1865-1868. <https://doi.org/10.13929/j.1003-3289.2014.12.037>
- [16] 夏清蓉, 段星星, 李皓, 等. 实时剪切波弹性成像对正常儿童肝脏硬度的研究[J]. 中国医学影像技术, 2017, 33(9): 1353-1356. <https://doi.org/10.13929/j.1003-3289.201701001>
- [17] Trout, A.T., Xanthakos, S.A., Bennett, P.S. and Dillman, J.R. (2020) Liver Shear Wave Speed and Other Quantitative Ultrasound Measures of Liver Parenchyma: Prospective Evaluation in Healthy Children and Adults. *American Journal of Roentgenology*, **214**, 557-565. <https://doi.org/10.2214/ajr.19.21796>
- [18] Mjelle, A.B., Mulabecirovic, A., Havre, R.F., Rosendahl, K., Juliusson, P.B., Olafsdottir, E., et al. (2019) Normal Liver Stiffness Values in Children: A Comparison of Three Different Elastography Methods. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, **68**, 706-712. <https://doi.org/10.1097/mpg.0000000000002320>
- [19] Mjelle, A.B., Mulabecirovic, A., Havre, R.F., Olafsdottir, E.J., Gilja, O.H. and Vesterhus, M. (2020) Liver Elastography in Healthy Children Using Three Different Systems—How Many Measurements Are Necessary? *Ultraschall in der Medizin—European Journal of Ultrasound*, **43**, 488-497. <https://doi.org/10.1055/a-1283-5906>
- [20] Charlier, C., Perre, S.V., Dubern, B., Apte-Dubuisson, C., Audureau, E., Bertrand, M., et al. (2025) Reference Values for Liver Stiffness in Children Using Shear-Wave Elastography. *Archives de Pédiatrie*, **32**, 322-328.

- <https://doi.org/10.1016/j.arcped.2025.03.006>
- [21] Galina, P., Alexopoulou, E., Zellos, A., Grigoraki, V., Siahaidou, T., Kelekis, N.L., *et al.* (2018) Performance of Two-Dimensional Ultrasound Shear Wave Elastography: Reference Values of Normal Liver Stiffness in Children. *Pediatric Radiology*, **49**, 91-98. <https://doi.org/10.1007/s00247-018-4244-3>
- [22] Yang, H., Sun, Y., Tang, Y., Lu, Y., Hu, B. and Ying, T. (2019) Shear-Wave Elastography of the Liver in a Healthy Pediatric Population. *Journal of Clinical Ultrasound*, **48**, 139-144. <https://doi.org/10.1002/jcu.22794>
- [23] Cailloce, R., Tavernier, E., Brunereau, L., Fievet, A., Falip, C., Dujardin, F., *et al.* (2021) Liver Shear Wave Elastography and Attenuation Imaging Coefficient Measures: Prospective Evaluation in Healthy Children. *Abdominal Radiology*, **46**, 4629-4636. <https://doi.org/10.1007/s00261-021-02960-w>
- [24] Yada, N., Tamaki, N., Koizumi, Y., Hirooka, M., Nakashima, O., Hiasa, Y., *et al.* (2017) Diagnosis of Fibrosis and Activity by a Combined Use of Strain and Shear Wave Imaging in Patients with Liver Disease. *Digestive Diseases*, **35**, 515-520. <https://doi.org/10.1159/000480140>
- [25] Ferraioli, G., Wong, V.W., Castera, L., Berzigotti, A., Sporea, I., Dietrich, C.F., *et al.* (2018) Liver Ultrasound Elastography: An Update to the World Federation for Ultrasound in Medicine and Biology Guidelines and Recommendations. *Ultrasound in Medicine & Biology*, **44**, 2419-2440. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2018.07.008>
- [26] Cetiner, M., Schiepek, F., Finkelberg, I., Hirtz, R. and Büscher, A.K. (2023) Validation of Attenuation Imaging Coefficient, Shear Wave Elastography, and Dispersion as Emerging Tools for Non-Invasive Evaluation of Liver Tissue in Children. *Frontiers in Pediatrics*, **11**, Article 1020690. <https://doi.org/10.3389/fped.2023.1020690>
- [27] Tada, T., Kumada, T., Toyoda, H., Kobayashi, N., Sone, Y., Oguri, T., *et al.* (2019) Utility of Attenuation Coefficient Measurement Using an Ultrasound-Guided Attenuation Parameter for Evaluation of Hepatic Steatosis: Comparison with Mri-Determined Proton Density Fat Fraction. *American Journal of Roentgenology*, **212**, 332-341. <https://doi.org/10.2214/ajr.18.20123>
- [28] Gao, J., Wong, C., Maar, M. and Park, D. (2021) Reliability of Performing Ultrasound Derived SWE and Fat Fraction in Adult Livers. *Clinical Imaging*, **80**, 424-429. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34543866/>
- [29] Labyed, Y. and Milkowski, A. (2020) Novel Method for Ultrasound-Derived Fat Fraction Using an Integrated Phantom. *Journal of Ultrasound in Medicine*, **39**, 2427-2438. <https://doi.org/10.1002/jum.15364>
- [30] Dillman, J.R., Thapaliya, S., Tkach, J.A. and Trout, A.T. (2022) Quantification of Hepatic Steatosis by Ultrasound: Prospective Comparison with MRI Proton Density Fat Fraction as Reference Standard. *American Journal of Roentgenology*, **219**, 784-791. <https://doi.org/10.2214/ajr.22.27878>
- [31] Zalcman, M., Barth, R.A. and Rubesova, E. (2023) Real-Time Ultrasound-Derived Fat Fraction in Pediatric Population: Feasibility Validation with MR-PDFF. *Pediatric Radiology*, **53**, 2466-2475. <https://doi.org/10.1007/s00247-023-05752-0>
- [32] Yoon, H., Kim, J., Lim, H.J., Kamiyama, N., Oguri, T., Koh, H., *et al.* (2022) Attenuation Coefficient Measurement Using a High-Frequency (2-9 MHz) Convex Transducer for Children Including Fatty Liver. *Ultrasound in Medicine & Biology*, **48**, 1070-1077. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2022.02.005>
- [33] 陈云, 唐纓, 张国英, 等. 联合弹性成像的超声衰减系数对脂肪肝定量评估的价值探索[J]. 实用器官移植电子杂志, 2021, 9(5): 372-375.
- [34] Tamaki, N., Kurosaki, M., Yasui, Y., Tsuchiya, K. and Izumi, N. (2021) Attenuation Coefficient (ATT) Measurement for Liver Fat Quantification in Chronic Liver Disease. *Journal of Medical Ultrasonics*, **48**, 481-487. <https://doi.org/10.1007/s10396-021-01103-4>