

# 超声引导经皮活检联合FAL针道封闭用于儿童富血供恶性实体瘤的安全性与有效性：一项回顾性队列研究

吕传凯<sup>1</sup>，张天威<sup>1</sup>，张成，任庆华，魏鑫，李武华，徐嘉桐，杨申，常赛朔，程海燕，朱志云，韩建宇，黄一晋，尹杰，秦红，王焕民，冯俊，杨维，王晓曼\*

<sup>1</sup> 吕传凯与张天威为共同第一作者，对本研究贡献相同。

a 首都医科大学附属北京儿童医院、国家儿童医学中心超声科，北京 100045；b 首都医科大学附属北京儿童医院、国家儿童医学中心肿瘤外科，北京 100045；c 首都医科大学附属北京儿童医院、国家儿童医学中心病理科，北京 100045；d 首都医科大学附属北京儿童医院、国家儿童医学中心影像科，北京 100045；e 教育部儿科重大疾病研究重点实验室、北京市儿科研究所、首都医科大学附属北京儿童医院、国家儿童医学中心，北京 100045。

\* 通信作者。电子邮箱：164376327@qq.com（吕传凯）；ztwgh@hotmail.com（张天威）；15210514388@163.com（张成）；13263371301@163.com（任庆华）；wx19932008@sina.com（魏鑫）；liwuhuasyd@163.com（李武华）；416711593@qq.com（徐嘉桐）；nmgyangshen@126.com（杨申）；changsaishuo@163.com（常赛朔）；chenghysunny@163.com（程海燕）；yun\_52@163.com（朱志云）；terracottawarrior@126.com（韩建宇）；drhuangyijin@163.com（黄一晋）；yinjie1015@126.com（尹杰）；qinhong999999@163.com（秦红）；wanghuanmin@bch.com.cn（王焕民）；fengjun1900@163.com（冯俊）；yangwei@bch.com.cn（杨维）；pcchty@yeah.net（王晓曼）。

DOI：https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2026.163326

## 文章信息

收稿日期：2026年3月13日；修回日期：2026年7月15日；接受日期：2026年7月21日。

关键词：儿童恶性实体瘤；富血供；超声引导经皮活检；FAL；组织胶；针道封闭。

## 摘要

目的：评价超声引导经皮穿刺活检联合FAL组织胶针道封闭用于儿童富血供恶性实体瘤的安全性和有效性。

方法：回顾性分析2021年1月至2025年10月接受超声引导经皮穿刺活检的149例Adler分级 $\geq 2$ 级恶性实体瘤患儿。根据是否使用FAL封闭，将患儿分为FAL组（n=57）和对照组（n=92）。采用1:1倾向评分匹配（PSM），对年龄、肿瘤大小、Adler分级、活检针规格及血液学指标等基线协变量进行匹配，最终获得39对匹配病例。比较两组穿刺取材次数、术后实验室指标变化、并发症发生率及随访结局。

结果：匹配前，FAL组肿瘤更大、术前血红蛋白水平更低，病理类型分布不同，活检针规格存在不平衡。PSM后，两组基线特征达到平衡。FAL组接受 $\geq 4$ 次穿刺取材的比例高于对照组〔84.6%（33/39）比60.5%（23/38）， $P=0.034$ 〕。两组术后实验室指标变化、并发症发生率以及获得手术病理验证病例的诊断准确率均无显著差异。匹配后的FAL组中位随访140天，未观察到FAL相关不良事件或针道种植。

结论：在儿童富血供恶性实体瘤中，超声引导经皮穿刺活检联合FAL针道封闭与更多穿刺取材次数相关，未观察到操作相关并发症增加，诊断准确率保持相当。仍需前瞻性、多中心、大样本研究进一步验证。

证据等级：III级（回顾性比较研究）。

## 研究亮点

- PSM后，FAL针道封闭在儿童富血供恶性实体瘤中显示出相当的安全性。

- FAL组与对照组术后实验室指标变化相当。
- FAL针道封闭与更多穿刺取材次数相关，未观察到并发症增加。

## 1 引言

儿童恶性实体瘤具有高度异质性。精确的组织病理学诊断和分子分型（如二代测序，NGS）是制定化疗、手术及免疫治疗方案的基础[1-3]。超声（US）引导经皮穿刺活检（PNB）具有微创、操作便捷和实时可控等优势，已成为儿科临床首选活检方式[2,4,5]。儿童特有的生理和解剖特征使PNB风险显著高于成人[4,6]。儿童器官较小、解剖间隙狭窄；儿童恶性实体瘤生长迅速，发现时往往体积巨大、血供丰富，易发生严重活检后并发症，包括出血和肿瘤破裂[4,6-8]。部分患儿还因疾病相关消耗出现基础性贫血或凝血功能障碍，进一步增加出血风险[9,10]。

常规PNB技术在儿童富血供恶性实体瘤中存在明显局限。鉴于活检后出血和肿瘤破裂风险较高，临床医师可能选择可确保彻底止血、手术创伤更大的开放活检。操作者也可能为降低出血风险而主动限制穿刺取材次数[6]，导致标本量不足，患儿需要再次活检，增加痛苦和医疗负担。临床迫切需要探索适应儿童解剖生理特点的针道封闭策略，在安全性、取材需求和操作便利性之间取得平衡，提高PNB的安全性和诊断效能。

针道封闭技术在介入放射学文献中亦称针道栓塞或针道填塞。已有研究表明，该技术可降低成人实质性器官活检后出血、气胸等并发症风险[1,11,12]。本研究所称FAL针道封闭[13,14]，是指在退针过程中经同轴外套管注入FAL组织胶，以物理方式封闭活检针道。目前临床常用封闭材料包括明胶海绵、纤维蛋白封闭剂和正丁基-2-氰基丙烯酸酯（NBCA）[1,9,15-18]。这些成熟的成人方案难以直接用于儿童。与液体胶相比，明胶海绵技术通常需要切割、粉碎或制成悬液等额外准备，在体型较小的患儿中经细径同轴系统输送的便利性较差[15,19-22]。纤维蛋白封闭剂等双组分生物制剂封闭效果良好，给药前需制备和混合，还存在过敏反应等生物制品相关风险[20]。

NBCA具有流动性高、聚合迅速和止血效果强等优势，已广泛用于成人富血供肿瘤活检[17,18,23]。NBCA聚合时放热，可能引起局部疼痛或刺激，其在器官包膜或腹膜表面形成的聚合膜也可能较硬[13]。FAL组织胶由80%正辛基氰基丙烯酸酯（NOCA）和20%正丁基氰基丙烯酸酯（NBCA）组成。NOCA聚合热较低，聚合膜柔韧性更好[13,24]，其适度延长的固化时间（2-6秒）也有利于临床操作。该混合制剂在儿科实践中尚缺乏系统验证，尤其缺少针对高风险、富血供和巨大恶性实体瘤的研究。

本研究提出，FAL针道封闭有助于减少活检相关出血、肿瘤破裂等并发症，并在临床需要时为儿童富血供恶性实体瘤获取更多组织提供条件。研究采用回顾性匹配队列设计，评价超声引导经皮穿刺活检联合FAL针道封闭在这一高风险儿童人群中的安全性和活检结局。

## 2 材料与方法

### 2.1 研究设计与研究对象

本研究为单中心回顾性队列研究。研究连续筛选2021年1月至2025年10月在北京儿童医院肿瘤外科接受超声引导经皮穿刺活检的实体瘤患儿。纳入标准为：接受超声引导同轴PNB；术后组织病理学确诊恶性实体瘤；肿瘤血供丰富，本研究定义为彩色多普勒成像显示血流增多、Adler分级 $\geq 2$ 级[25]；基线、操作过程和活检后结局资料可用。

排除标准为：良性肿瘤或非实性病变；Adler 0-1级肿瘤；采用超声引导PNB以外的活检方式；随访不足30天；缺少分组、倾向评分匹配或结局评价所需关键变量。少量缺失且不影响上述分析的数据予以保留。主要结局为出血、肿瘤破裂和穿刺取材次数。出血和肿瘤破裂结合术后实验室指标变化进行评价。穿刺取材次数作为操作性取材变量分析。增加穿刺次数可能提供更多组织获取机会，取材是否充分应由所得标本的组织病理学评估确定。安全性结局包括过敏反应、非靶向栓塞、组织胶相关广泛组织粘连、感染以及伴出血的肿瘤破裂。本回顾性研究经北京儿童医院医学伦理委员会批准〔[2026]-E-026-R〕。

### 2.2 FAL针道封闭的适应证

本中心于2024年8月开始将FAL针道封闭作为富血供恶性实体瘤的辅助止血策略。2024年8月前接受标准超声引导同轴PNB、未行针道封闭的患者构成历史对照组。2024年8月以后，彩色多普勒成像显示肿瘤血供中等至丰富、即Adler分级 $\geq 2$ 级的所有患者均采用FAL针道封闭。研究期间未常规使用其他针道封闭或针道栓塞材料。根据是否实施FAL针道封闭，将患者分为FAL组和对照组。

## 2.3 仪器与材料

所有超声引导及评估均使用DIT-DD70彩色多普勒超声诊断系统（DIT，中国武汉）。根据患儿体型和病灶深度，采用3.5-5.0 MHz凸阵探头、5-12 MHz（L12-5）线阵探头或3-7 MHz（L7-3）线阵探头，通过二维灰阶超声和彩色多普勒血流成像（CDFI）综合评估靶病灶。活检采用同轴粗针活检系统（Bard®，C.R. Bard, Inc.，美国）。活检针规格按粗针活检针的针径记录：16G和18G粗针活检针分别经相应的15G和17G同轴引导外套管使用。

FAL组使用FAL医用组织胶（福爱乐，中国北京）进行针道封闭。该复合制剂由80%正辛基氰基丙烯酸酯（NOCA）和20%正丁基氰基丙烯酸酯（NBCA）组成[13,14]。FAL产品详情及成本信息见补充材料。

## 2.4 操作方法

为减少操作者相关差异，所有操作均由同一专业团队医师完成，每名医师均具有5年以上超声引导活检经验。

麻醉与针具选择。根据患儿年龄、配合程度和肿瘤位置个体化选择局部浸润麻醉或全身麻醉。麻醉满意后，使用同轴活检针实施PNB[22]。预计组织病理学评估或分子检测需要更多组织时，优先选择16G大组织芯针；高风险病例选择外径较小的18G粗针活检针，以减少医源性针道损伤。所用器械见图1A、B。

超声引导靶向取材。全程在实时超声引导下操作，动态监测针尖位置（图1C）。根据取得标本的肉眼质量调整进针轨迹，采用多角度、多深度、多平面方式获得足量肿瘤组织标本。

针道冲洗与封闭。取材完成后，将同轴针外套管保留在肿瘤内，拔除内芯，连接三通多向阀，按以下步骤实施封闭：（1）隔离冲洗：经三通阀注入1-2 mL 5%葡萄糖注射液，冲洗外套管管腔，防止FAL组织胶与血液接触后提前聚合并堵塞管腔。（2）精准封闭：抽取0.5-1 mL FAL组织胶，经外套管注入，确保0.3-0.5 mL进入组织。在实时超声监测下（图1D），观察高回声组织胶流出，同时以恒定速度缓慢退针，使FAL组织胶沿针道由深至浅均匀分布，直至针尖完全退出皮下组织。（3）完整封闭针道并退针：断开三通阀，使外套管内残留的微量FAL组织胶自然浸润包膜和皮下组织，完成整个活检针道的封闭，最后缓慢拔出同轴外套管。

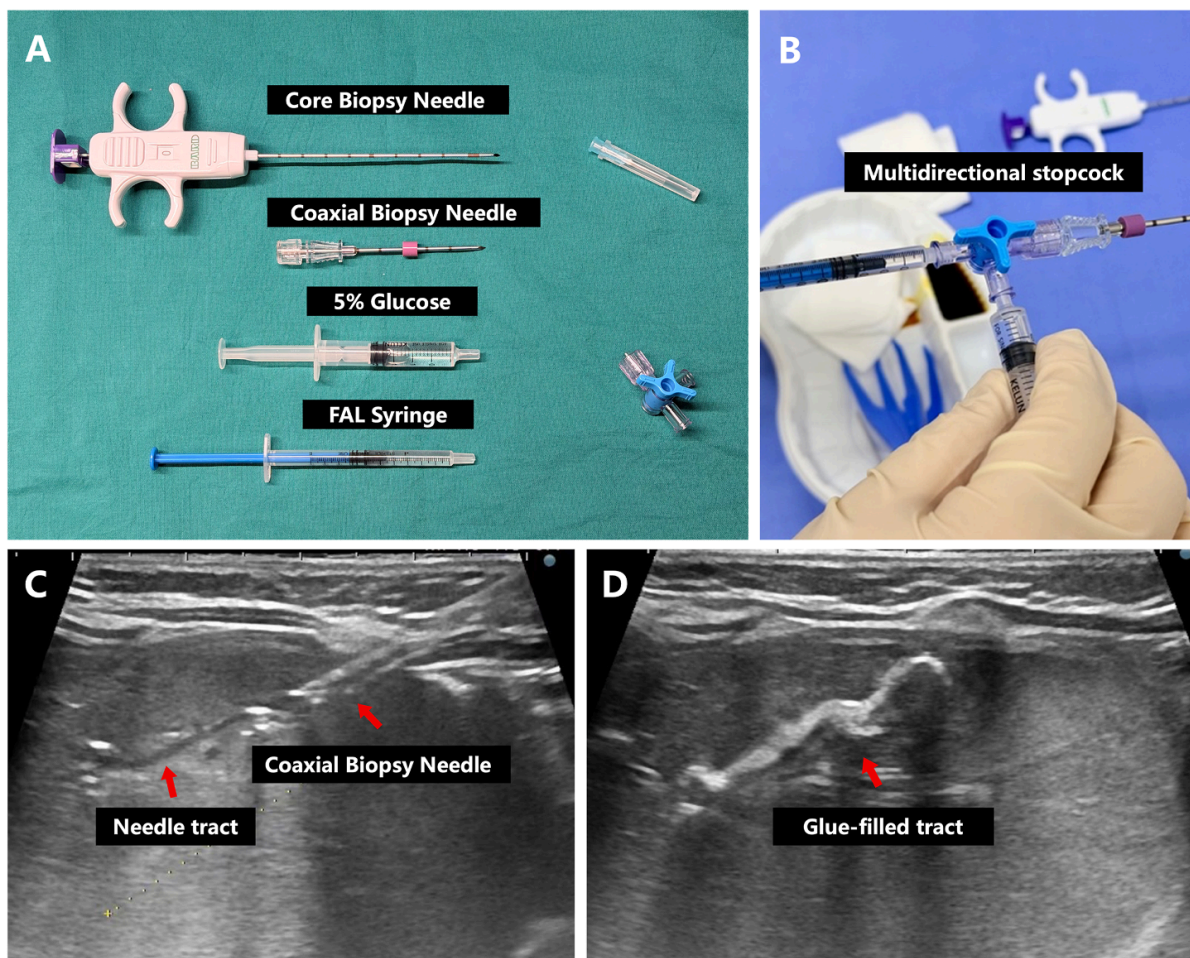


图1 肝母细胞瘤患儿FAL针道封闭活检所用器械及实时超声监测。(A、B) FAL针道封闭操作使用的器械。(C) 针道残腔显示为线状低回声缺损(箭头)。(D) FAL填充后的针道显示为线状高回声带(箭头)。

术后观察。局部加压止血并监测生命体征。观察腹痛、面色苍白等活动性出血表现。术后行超声检查，评估针道及周围组织有无血肿形成。

## 2.5 数据收集与定义

收集所有患者基线资料，包括年龄、性别、肿瘤类型、肿瘤部位、肿瘤最大径、Adler分级及术前实验室指标。记录活检方式、穿刺取材次数、术后并发症及结局。

Adler分级定义[25]。采用CDFI评估肿瘤内部血流信号。具体标准为：0级，无明显血流信号；I级，检出1或2条直径<1 mm的小血管；II级，检出3或4条小血管；III级，检出>4条血管，或血管交织成网。Adler分级由超声科医师与临床医师共同评定，意见不一致时经讨论达成共识。

术后评估。通过计算术后72小时内实验室检查结果与术前基线值的差值，客观评价出血和凝血变化，例如 $\Delta\text{Hb}=\text{术前Hb}-\text{术后Hb}$ 。诊断准确率仅在随后接受手术病理验证的患者中评估。活检诊断与最终手术病理诊断一致即判定正确；未接受手术病理验证的患者不计入分母。

并发症评估。术后并发症包括过敏反应、非靶向栓塞、组织胶相关活检针道广泛组织粘连、感染以及伴出血的肿瘤破裂。组织胶相关广泛组织粘连是指随访影像或后续手术发现累及邻近组织、具有临床意义的广泛粘连。非靶向栓塞是指FAL组织胶意外沉积于活检针道以外部位，包括邻近血管、胆管或支气管。

## 2.6 统计学分析

采用SPSS 31.0版(IBM Corp., Armonk, NY, 美国)和Python 3.12版(Python Software Foundation, Wilmington, DE, 美国)进行统计分析。本研究连续变量均呈非正态分布，以中位数(四分位距, IQR)表示，组间比较采用Mann-Whitney U检验(无连续性校正的渐近法)。分类资料以百分比[% (n/N)]

表示，组间差异采用Pearson  $\chi^2$ 检验；超过20%的单元格理论频数<5时采用Fisher确切概率法。涉及多重比较的亚组分析采用Bonferroni法进行事后P值校正。

为降低选择偏倚，采用倾向评分匹配平衡两组基线特征。匹配模型纳入潜在混杂因素和预后指标，包括年龄、性别、肿瘤大小、Adler分级、肿瘤部位、病理诊断、活检针规格、术前血红蛋白、血小板计数、纤维蛋白原及活化部分凝血活酶时间。穿刺取材次数被视为活检相关结局，未纳入匹配。采用标准化均数差（SMD）评估协变量平衡，SMD<0.2视为可接受。匹配算法采用1：1无放回最近邻匹配，卡钳宽度设为倾向评分logit值标准差的0.2倍。在PSM匹配队列中进行探索性ROC分析，采用最大Youden指数确定最能区分FAL组与对照组的穿刺取材次数截点（补充图S1）。所有统计检验均为双侧检验，P<0.05视为差异有统计学意义。

### 3 结果

本研究最终纳入149例接受超声引导经皮穿刺活检、Adler分级≥2级的恶性实体瘤患儿，其中对照组92例，FAL组57例。两组人口学特征、肿瘤相关参数、活检针规格及术前实验室结果见表1（PSM前）。活检部位按主要靶病灶的解剖区域分为腹部、四肢/浅表软组织、盆腔、胸部及头颈部。

腹部病灶最常见，占76.5%（114/149），包括腹膜后病灶62例、肝脏病灶31例、肾脏病灶6例、肾上腺病灶6例、肠系膜/网膜病灶7例及胰腺病灶2例。四肢/浅表软组织病灶占8.7%（13/149），包括四肢肌肉软组织病灶10例和臀部/躯干浅表病灶3例。盆腔病灶占8.7%（13/149），包括盆腔肿块11例和膀胱病灶2例。胸部病灶占2.7%（4/149），包括纵隔病灶2例、肺/胸腔内病灶1例和胸壁病灶1例。头颈部病灶占3.4%（5/149），包括颈部病灶3例和头皮/耳后病灶2例。

两组肿瘤最大径、术前血红蛋白水平及病理诊断存在显著差异；按SMD判断，Adler分级和活检针规格存在不平衡（表1）。为控制组间混杂偏倚，研究采用1：1 PSM。匹配协变量数据完整的患者中，最终获得39对匹配病例。匹配队列（n=78）的全部基线协变量均达到可接受平衡，所有SMD均<0.2（表1，PSM后）。

表1 研究队列149例患者PSM前后的人口学资料和基线特征

| 参数                         | PSM前 对照组 (n=92)         | PSM前 FAL组 (n=57)        | P值    | SMD   | PSM后 对照组 (n=39)         | PSM后 FAL组 (n=39)        | P值    | SMD   |
|----------------------------|-------------------------|-------------------------|-------|-------|-------------------------|-------------------------|-------|-------|
| 年龄（月）                      | 48.50 (21.00, 79.50)    | 52.00 (22.00, 106.00)   | 0.983 | 0.027 | 51.00 (26.50, 77.00)    | 42.00 (23.50, 109.00)   | 0.576 | 0.048 |
| 性别：男                       | 55.4% (51/92)           | 57.9% (33/57)           | 0.901 | 0.050 | 56.4% (22/39)           | 61.5% (24/39)           | 0.818 | 0.104 |
| 性别：女                       | 44.6% (41/92)           | 42.1% (24/57)           | —     | 0.050 | 43.6% (17/39)           | 38.5% (15/39)           | —     | 0.104 |
| 肿瘤大小（cm）                   | 9.40 (7.47, 11.70)      | 10.60 (8.20, 13.50)     | 0.041 | 0.328 | 10.20 (7.85, 13.35)     | 10.30 (7.80, 12.30)     | 0.799 | 0.051 |
| Adler 2级（中等血供）             | 31.5% (29/92)           | 15.8% (9/57)            | 0.051 | 0.377 | 15.4% (6/39)            | 17.9% (7/39)            | 1.000 | 0.069 |
| Adler 3级（丰富血供）             | 68.5% (63/92)           | 84.2% (48/57)           | —     | 0.377 | 84.6% (33/39)           | 82.1% (32/39)           | —     | 0.069 |
| 针规格：16G                    | 43.2% (32/74)           | 61.4% (35/57)           | 0.059 | 0.370 | 56.4% (22/39)           | 56.4% (22/39)           | 1.000 | 0.000 |
| 针规格：18G                    | 56.8% (42/74)           | 38.6% (22/57)           | —     | 0.370 | 43.6% (17/39)           | 43.6% (17/39)           | —     | 0.000 |
| 肿瘤部位：腹部                    | 72.8% (67/92)           | 82.5% (47/57)           | 1.000 | 0.233 | 76.9% (30/39)           | 79.5% (31/39)           | 1.000 | 0.062 |
| 肿瘤部位：四肢及其他                 | 14.1% (13/92)           | 8.8% (5/57)             | 1.000 | 0.169 | 7.7% (3/39)             | 7.7% (3/39)             | 1.000 | 0.000 |
| 肿瘤部位：胸部                    | 3.3% (3/92)             | 1.8% (1/57)             | 1.000 | 0.096 | 5.1% (2/39)             | 2.6% (1/39)             | 1.000 | 0.134 |
| 肿瘤部位：盆腔                    | 9.8% (9/92)             | 7.0% (4/57)             | 1.000 | 0.100 | 10.3% (4/39)            | 10.3% (4/39)            | 1.000 | 0.000 |
| 病理：神经母细胞瘤                  | 53.3% (49/92)           | 36.8% (21/57)           | 0.298 | 0.335 | 46.2% (18/39)           | 43.6% (17/39)           | 1.000 | 0.052 |
| 病理：软组织肉瘤                   | 28.3% (26/92)           | 19.3% (11/57)           | 1.000 | 0.212 | 20.5% (8/39)            | 25.6% (10/39)           | 1.000 | 0.122 |
| 病理：肝脏肿瘤                    | 9.8% (9/92)             | 31.6% (18/57)           | 0.007 | 0.559 | 17.9% (7/39)            | 20.5% (8/39)            | 1.000 | 0.065 |
| 病理：其他                      | 8.7% (8/92)             | 12.3% (7/57)            | 1.000 | 0.117 | 15.4% (6/39)            | 10.3% (4/39)            | 1.000 | 0.154 |
| 术前Hb（g/L）                  | 119.00 (104.25, 131.00) | 108.00 (95.00, 123.00)  | 0.010 | 0.316 | 112.00 (96.00, 127.00)  | 110.00 (96.00, 122.50)  | 0.776 | 0.032 |
| 术前PLT（×10 <sup>9</sup> /L） | 324.50 (282.25, 399.75) | 341.00 (280.00, 476.00) | 0.489 | 0.134 | 353.00 (277.00, 455.50) | 329.00 (278.00, 425.50) | 0.845 | 0.001 |
| 术前FIB（g/L）                 | 2.79 (2.28, 3.59)       | 2.89 (2.02, 4.03)       | 0.903 | 0.053 | 3.25 (2.38, 4.15)       | 2.91 (2.11, 3.92)       | 0.427 | 0.167 |
| 术前APTT（s）                  | 34.20 (31.80, 36.65)    | 34.10 (31.20, 38.90)    | 0.866 | 0.111 | 34.20 (32.35, 37.20)    | 34.50 (31.40, 38.95)    | 0.834 | 0.025 |

注：PSM，倾向评分匹配；SMD，标准化均数差；Hb，血红蛋白；PLT，血小板计数；FIB，纤维蛋白原；APTT，活化部分凝血活酶时间。a 连续变量采用Mann-Whitney U检验，分类变量视情况采用Pearson  $\chi^2$ 检验或Fisher确

切概率法。b 缺失数据变量按各单元格所示可用分母报告。c 主行P值为总体组间比较，亚类P值为Bonferroni校正后的事后P值。d “其他”包括肾母细胞瘤、卵黄囊瘤、炎性肌纤维母细胞瘤、胰腺实性假乳头状肿瘤、恶性周围神经鞘瘤、黏液腺癌、肾细胞癌、胰母细胞瘤、胃肠道间质瘤及肺母细胞瘤。

表2列示PSM前后的临床结局。PSM前，FAL组穿刺取材次数分布显著高于对照组，接受≥4次穿刺取材的患者比例也显著更高（ $P<0.001$ ）。PSM后，FAL组穿刺取材次数分布仍显著高于对照组〔4（IQR 4-5；范围3-7）比4（IQR 3-4；范围3-6）， $P=0.008$ 〕。两组术后凝血指标及各项实验室指标无统计学显著差异。后续接受手术病理验证的患者中，两组诊断准确率在PSM前〔97.7%（42/43）比86.4%（19/22）， $P=0.109$ 〕和PSM后〔100.0%（18/18）比85.7%（12/14）， $P=0.183$ 〕均无显著差异；其数值在对照组高于FAL组。

表2 研究队列149例患者PSM前后的结局

| 参数                       | PSM前 对照组 (n=92)       | PSM前 FAL组 (n=57)      | P值     | PSM后 对照组 (n=39)     | PSM后 FAL组 (n=39)      | P值    |
|--------------------------|-----------------------|-----------------------|--------|---------------------|-----------------------|-------|
| 穿刺取材次数                   | 4 (3, 4)              | 4 (4, 5)              | <0.001 | 4 (3, 4)            | 4 (4, 5)              | 0.008 |
| <4次                      | 47.7% (42/88)         | 15.8% (9/57)          | <0.001 | 39.5% (15/38)       | 15.4% (6/39)          | 0.034 |
| ≥4次                      | 52.3% (46/88)         | 84.2% (48/57)         | —      | 60.5% (23/38)       | 84.6% (33/39)         | —     |
| 术后并发症                    | 0.0% (0/92)           | 1.8% (1/57)           | 0.383  | 0.0% (0/39)         | 2.6% (1/39)           | 1.000 |
| ΔHb (g/L)                | 8.00 (3.00, 15.00)    | 5.50 (-2.00, 12.50)   | 0.164  | 10.50 (4.75, 16.25) | 6.50 (-1.00, 12.50)   | 0.149 |
| ΔPLT ( $\times 10^9/L$ ) | 11.00 (-44.00, 57.00) | 27.00 (-40.50, 62.75) | 0.515  | 29.00 (4.25, 55.50) | 30.00 (-35.75, 61.25) | 0.885 |
| ΔAPTT (s)                | 0.50 (-1.25, 4.85)    | 4.15 (0.30, 7.90)     | 0.085  | 3.10 (-0.10, 4.85)  | 4.50 (0.92, 7.58)     | 0.268 |
| ΔFIB (g/L)               | 0.27 (-0.05, 0.91)    | 0.10 (-0.53, 0.51)    | 0.119  | 0.59 (0.12, 1.16)   | 0.17 (-0.42, 0.57)    | 0.068 |
| 诊断准确率                    | 97.7% (42/43)         | 86.4% (19/22)         | 0.109  | 100.0% (18/18)      | 85.7% (12/14)         | 0.183 |

注：a 连续变量采用Mann-Whitney U检验，分类变量视情况采用Pearson  $\chi^2$ 检验或Fisher确切概率法。b 缺失数据变量按各单元格所示可用分母报告；PSM前92例对照组中88例有穿刺次数数据，PSM后39例对照组中38例有该数据；所有FAL组患者均有该数据。c 穿刺取材次数截点由探索性ROC分析确定，据此分为<4次和≥4次（补充图S1）。d 术后并发症包括过敏反应、非靶向栓塞、广泛组织粘连、感染及伴出血的肿瘤破裂。e 实验室指标变化（Δ）=术前值-术后值。f 诊断准确率仅在后续接受手术病理验证的患者中计算。

安全性方面，PSM前〔1.8%（1/57）比0.0%（0/92）， $P=0.383$ 〕和PSM后〔2.6%（1/39）比0.0%（0/39）， $P=1.000$ 〕，两组术后并发症均无显著差异。全部符合条件的队列中发生1例严重事件：FAL组1例儿童肝细胞癌患者术后50小时发生肿瘤破裂出血。急诊超声和术中探查证实，右肝叶活检针道处FAL封闭形成的聚合膜保持完整（图2A、B）。出血源于左肝肿瘤自发破裂，与活检或针道封闭无关。患者最终因大出血引发弥散性血管内凝血（DIC）死亡。研究未观察到FAL相关过敏反应、非靶向栓塞、组织胶相关广泛组织粘连、感染或针道种植。

PSM后，对照组89.7%（35/39）、FAL组59.0%（23/39）采用局部麻醉；两组采用全身麻醉的比例分别为10.3%（4/39）和41.0%（16/39）（ $P=0.004$ ）。术后耐受性方面，回顾性病历审查未发现需要升级镇痛治疗的严重疼痛。临床观察中，少数患者偶有轻度、短暂腹痛，均可自行缓解，经常规口服镇痛药或单纯观察即可缓解，未延长住院时间。

PSM匹配队列中，对照组中位随访时间916天（804，1492），范围516-1622天；FAL组中位随访时间140天（96，256），范围30-439天。随访期间持续采用超声、CT或MRI等影像学方式监测，所有病例均未发现针道肿瘤种植证据。

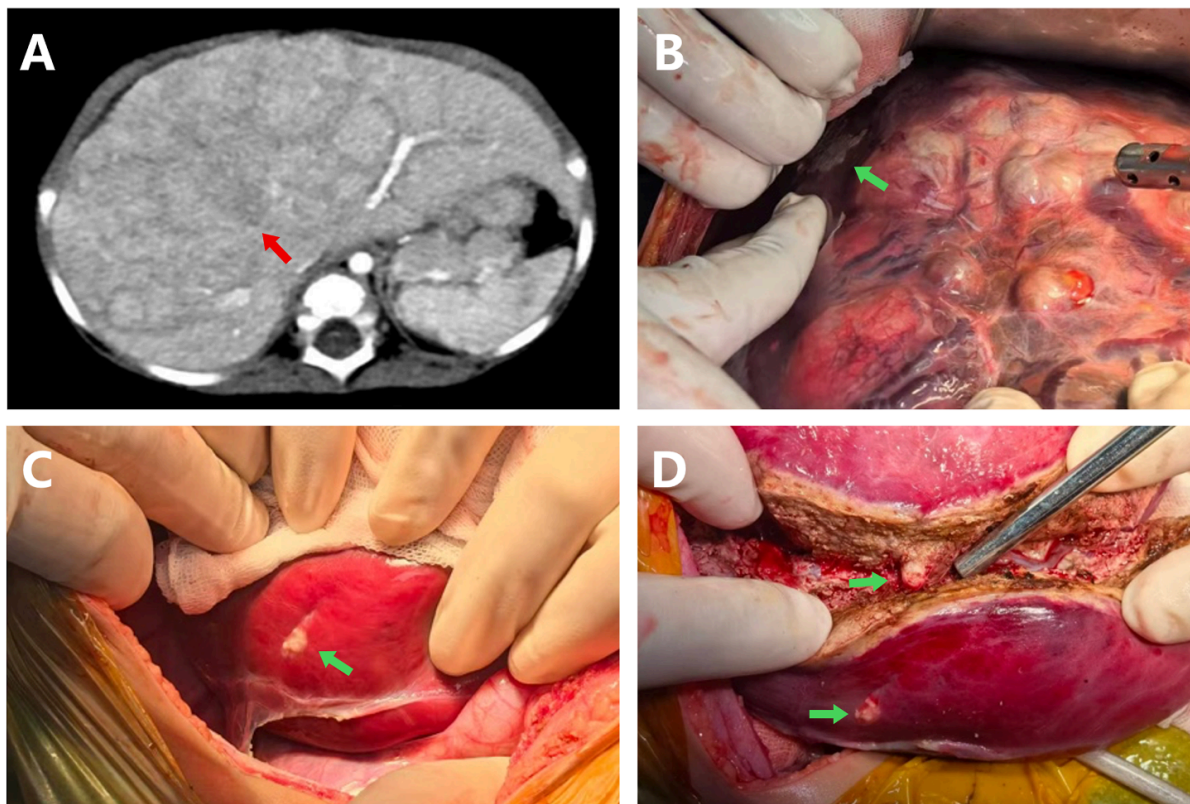


图2 FAL封闭效果的影像学和术中图像。(A) 1例肝细胞癌患儿的术前CT图像。(B) 术中所见活检部位FAL封闭结构完整。(C) 1例肝母细胞瘤患儿术中可见已封闭的表面。(D) 横断面显示针道内固化的组织胶(上方箭头)以及肝包膜表面已封闭的针道入口(下方箭头)。

## 4 讨论

本研究通过回顾性队列分析结合倾向评分匹配,在一个规模相对较大的富血供恶性实体瘤患儿队列中,验证了超声引导经皮穿刺活检联合FAL针道封闭的安全性及活检结局。既往针道封闭研究主要集中于成人实质性器官[1,9,11,12,15,16,18],针对儿童富血供恶性实体瘤的封闭策略研究仍不充分[21]。本研究结果补充了儿童肿瘤学领域的相关证据。PSM后,FAL组穿刺取材次数更多,两组术后实验室指标变化、并发症发生率及获得手术验证病例的诊断准确率保持相当。作为初步发现,FAL针道封闭可能在多次穿刺取材过程中提供额外止血保护。FAL组穿刺取材次数较多应理解为一项操作性发现,表明临床需要时可能获得更多组织采集机会。

儿童恶性实体瘤独特的解剖生理特点对活检器械和封闭材料的选择提出严格要求。本研究除常规使用16G粗针活检针外,还对高风险病例使用较细的18G粗针活检针,以减轻组织损伤。活检针规格可能影响出血风险,因此修订后的PSM模型将其作为附加协变量纳入。研究据此对安全性结局采取审慎解释,结果解读时需考虑针规格的潜在影响。未来需要采用标准化针具选择方案的前瞻性研究。既往研究还表明,同轴粗针活检系统本身可能降低活检相关出血风险[26]。因此,本研究观察到的安全性表现应结合同轴活检技术和FAL针道封闭两方面进行理解。

理想的儿童活检封闭材料应便于经同轴系统输送,并能在影像引导下实现可控针道封闭。明胶海绵针道填塞技术在输送前可能需要制备,生物封闭剂需要制备和混合;FAL是一种可经同轴外套管注入的液体组织胶,在超声监测下可实时显示为高回声针道。本研究使用的FAL组织胶固化时间为2-6秒,较常规NBCA适度延长[13,14]。同时以5%葡萄糖注射液冲洗外套管腔,有助于减少FAL组织胶与血液过早接触引发的提前聚合和管腔堵塞[18]。在实时超声监测下注入FAL,可能有助于沿活检针道实施可控的物理封闭,满足操作简便和输送高效的临床要求。近期还有研究报道使用微波消融实施针道烧灼,该方法需配备微波消融设备,是儿童腹腔内肿瘤活检针道封闭的另一种策略,反映出临床对儿童针道封闭方法的持续关注[27]。

受益于上述可靠封闭策略,本研究FAL组在未观察到出血或肿瘤破裂增加的情况下完成了更多穿刺取材。在

现代儿童恶性实体瘤诊疗体系中，获得足量、高质量肿瘤组织是开展NGS、制定靶向治疗和免疫治疗方案及评估预后的核心前提[1,3]。既往研究表明，穿刺次数增加是术后出血的独立危险因素[8,28]。采用常规活检方式时，面对血供增多或体积较大的肿瘤，操作者可能因担忧出血而限制穿刺取材次数[6]。倾向评分匹配数据显示，FAL组穿刺取材次数高于对照组，提示临床需要增加活检次数时，FAL针道封闭可能支持更多组织获取机会。

穿刺取材次数增加未导致失血增加；部分病例的术中实时超声监测还显示，注入FAL后针道内多普勒血流信号减少或消失。针道封闭技术的临床价值涵盖单纯止血及多次活检取材时对组织获取的支持。两组经手术验证病例的诊断准确率保持相当，增加穿刺次数应解释为操作取样强度提高，不能据此认定组织病理取材更充分或诊断准确率更高。

当前匹配队列中，对照组诊断准确率数值高于FAL组。诊断准确率仅在后续接受手术病理验证的患者中评估。FAL技术应用时间较短，FAL组随访期更短，获得后续手术病理验证的机会较少；历史对照组随访期更长，获得手术验证的病例更多。未来需要通过随访时间更长的前瞻性研究进一步评价诊断准确率。

FAL封闭技术在支持更充分活检取样的同时，在匹配队列中显示出相当的安全性。PSM后FAL组虽发生1例延迟性肿瘤破裂出血，FAL封闭的活检针道保持完整，活检部位未发生破裂。研究未记录到可直接归因于FAL封闭的不良事件。与单独使用NBCA相比，FAL中的NOCA成分可能减轻对产热和聚合膜硬度的担忧；液体组织胶理论上仍存在局部疼痛或刺激、非靶向栓塞和炎性组织反应等风险，儿童活检操作需对此进行严格控制[18,29]。

本研究在实时超声监测下注入FAL，根据针道直径、深度及操作者术中评估，将进入组织的剂量严格控制在0.3-0.5 mL。FAL未与不透射线材料混合，无法通过透视评价其是否进入血管，本研究主要依靠实时超声监测。FAL进入组织后约1-2秒内迅速反应，在超声上表现为高回声胶性针道，可与周围组织及血管区分。研究未发现累及血管、胆管或支气管的非靶向栓塞临床或影像学证据。

本队列未观察到FAL相关局部炎症或疼痛加重构成具有临床意义的并发症。少数患者术后24小时内出现短暂腹痛，可能与针道沿线轻度腹膜刺激有关。这类症状可自行缓解，经常规口服镇痛药或单纯观察即可改善，未延长住院时间。实时超声监测下注射时仍需谨慎控制剂量和速度，以尽量减少不必要的腹膜刺激。

研究对全部队列中唯一1例延迟性肿瘤破裂出血病例进行了回顾性分析，以阐明其发生机制。该患者术前影像（图2A）显示多发肝内转移，患者在全身麻醉下接受肝肿瘤活检的同时行经皮肝动脉栓塞。术中探查证实，右肝穿刺点的FAL聚合膜结构完整（图2B），无出血征象。活动性出血位于肝左外叶，源于肿瘤自发破裂。进一步分析认为，右肝动脉栓塞可能导致动脉血流重新分布，使左肝肿瘤内灌注压力升高；该巨大肿瘤质地极度脆弱，血流动力学波动可能促成左肝肿瘤延迟破裂。该事件不太可能与活检或针道封闭操作直接相关。

1例患者后续接受肿瘤切除术，术中直接观察为FAL在体内的分布提供了补充视觉证据。右肝穿刺点清晰可见，聚合膜与肝包膜贴合良好（图2C）。从正常肝实质中游离肿瘤时，可清楚观察到固化组织胶沿针道分布（图2D），提示从肿瘤深部至肝表面的连续物理封闭。这些解剖学所见与临床观察一致，支持在经选择的儿童活检病例中实施FAL针道封闭的可行性。

本研究存在若干局限。第一，本中心于2024年8月引入FAL针道封闭，历史对照设计相关的时间偏倚无法完全避免。作为国家儿童医学中心，本院收治的大型或富血供肿瘤病例比例可能相对较高。修订分析排除了Adler 0-1级肿瘤，以降低肿瘤血供差异相关偏倚；本研究仍为单中心队列，需要前瞻性多中心研究进一步验证结果。

第二，PSM模型虽纳入肿瘤部位、病理诊断和活检针规格，样本量仍有限，只能按宽泛的解剖和病理类别进行分析，无法细分病理亚型。未来应通过更大样本量的前瞻性研究解决这一问题。

第三，所有操作均由同一专业团队中具有5年以上经验的医师完成，FAL的使用和操作策略仍可能受到操作者判断与经验影响。未来研究拟通过强化培训、建立标准操作规程（SOP）、定期开展经验复盘及实施前瞻性多中心研究进一步验证本研究结果。

## 5 结论

在儿童富血供恶性实体瘤中，超声引导PNB联合FAL针道封闭与更多穿刺取材次数相关，未观察到操作相关并发症增加，诊断准确率保持相当。仍需开展前瞻性、多中心、大样本研究加以验证。

## 伦理批准与参与同意

作者对本研究各个方面负责，确保与研究任何部分的准确性或完整性相关的问题均得到适当调查和解决。本回顾性研究经北京儿童医院医学伦理委员会批准〔[2026]-E-026-R〕。

## 发表同意

不适用。

## 数据和材料可得性

本研究生成及/或分析的数据集可在提出合理请求后向通信作者获取。

## 写作过程中生成式人工智能及人工智能辅助技术使用声明

本稿件撰写过程中，作者仅使用人工智能辅助语言工具进行语言翻译、英文编辑和语法纠正。所有科学内容、数据分析、结果解释和结论均由作者独立形成并核实。作者审阅了全部人工智能辅助语言修改，并对最终稿件承担全部责任。

## 资助

本研究获得北京市研究型病房卓越计划（BRWEP2024W102090107）和首都卫生发展科研专项（CFH，编号2024-1-2091）资助。

## 利益冲突

作者声明，本研究开展过程中不存在可能被视为潜在利益冲突的商业或财务关系。

## 致谢

作者感谢参与本研究的所有患者及其家属。

## 附录A 补充数据

本文补充数据可在线获取：<https://doi.org/10.1016/j.jpedsurg.2026.163326>。

## 参考文献

- [1] Veltri A, Bargellini I, Giorgi L, Almeida PAMS, Akhan O. CIRSE guidelines on percutaneous needle biopsy (PNB). *Cardiovasc Interv Radiol* 2017;40(10):1501-13. <https://doi.org/10.1007/s00270-017-1658-5>.
- [2] Garrett KM, Fuller CE, Santana VM, Shochat SJ, Hoffer FA. Percutaneous biopsy of pediatric solid tumors. *Cancer* 2005;104(3):644-52. <https://doi.org/10.1002/cncr.21193>.
- [3] Neuberger J, Patel J, Caldwell H, Davies S, Hebditch V, Hollywood C, et al. Guidelines on the use of liver biopsy in clinical practice from the British Society of Gastroenterology, the Royal College of Radiologists and the Royal College of Pathology. *Gut* 2020;69(8):1382-403. <https://doi.org/10.1136/gutjnl-2020-321299>.
- [4] Wang H, Li F, Liu J, Zhang S. Ultrasound-guided core needle biopsy in diagnosis of abdominal and pelvic neoplasm in pediatric patients. *Pediatr Surg Int* 2014;30(1):31-7. <https://doi.org/10.1007/s00383-013-3427-0>.
- [5] Metz T, Heider A, Vellody R, Jarboe MD, Gemmete JJ, Grove JJ, et al. Image-guided percutaneous core needle biopsy of soft-tissue masses in the pediatric population. *Pediatr Radiol* 2016;46(8):1173-8. <https://doi.org/10.1007/s00247-016-3571-5>.

- [6] Jing H, Yi Z, He E, Xu R, Shi X, Li L, et al. Evaluation of risk factors for bleeding after ultrasound-guided liver biopsy. *Int J Gen Med* 2021;14:5563-71. <https://doi.org/10.2147/IJGM.S328205>.
- [7] Somers JM, Lomas DJ, Hacking JC, Coleman N, Broadbent VA, Dixon AK. Radiologically-guided cutting needle biopsy for suspected malignancy in childhood. *Clin Radiol* 1993;48(4):236-40. [https://doi.org/10.1016/S0009-9260\(05\)80303-4](https://doi.org/10.1016/S0009-9260(05)80303-4).
- [8] Bilreiro C, Noruegas MJ, Gonçalves I, Moreira A. Ultrasound-guided liver biopsies in children: a single-center experience and risk factors for minor bleeding. *J Pediatr Gastroenterol Nutr* 2017;65(2):137-40. <https://doi.org/10.1097/MPG.0000000000001601>.
- [9] Handke NA, Koch DC, Muschler E, Thomas D, Luetkens JA, Attenberger UI, et al. Bleeding management in computed tomography-guided liver biopsies by biopsy tract plugging with gelatin sponge slurry. *Sci Rep* 2021;11(1):24506. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-04155-1>.
- [10] Chang S, Yang S, Yang W, Qin H, Cheng H, Chang X, et al. Clinical risk factors for patients with ruptured hepatoblastoma in children: a retrospective study from a single center in China. *Pediatr Surg Int* 2023;39(1):76. <https://doi.org/10.1007/s00383-022-05362-1>.
- [11] Zou X, Cui N, Ma Q, Lin Z, Zhang J, Li X. Conventional versus cone-beam computed tomography in lung biopsy: diagnostic performance, risks, and the advantages of tract embolization with gelfoam particle suspension. *Quant Imag Med Surg* 2024;14(9):6479-92. <https://doi.org/10.21037/qims-24-342>.
- [12] Giri S, Agrawal D, Gopan A, Varghese J, Tripathy T. Diagnostic outcome and safety of plugged liver biopsy in high-risk patients: a systematic review and meta-analysis. *Acta Radiol* 2023;64(5):1775-82. <https://doi.org/10.1177/02841851231151513>.
- [13] Liu T, Tao Y, Zhao R, Hua Y, Feng Z, Zheng Q, et al. Comparison of the safety and efficacy of three superficial skin closure methods for multi-layer wound closure in total knee arthroplasty: a multicenter, prospective, randomized controlled trial. *Arthroplasty* 2024;6(1):51-62. <https://doi.org/10.1186/s42836-024-00271-1>.
- [14] An T, Zhang S, Xu M, Zhou S, Wang W. Transcatheter embolization of peripheral renal artery for hemorrhagic urological emergencies using FuAile medical glue. *Sci Rep* 2015;5:9106. <https://doi.org/10.1038/srep09106>.
- [15] Tsang W, Luk W, Lo AX. Ultrasound-guided plugged percutaneous biopsy of solid organs in patients with bleeding tendencies. *Hong Kong Med J* 2014;20(2):107-12. <https://doi.org/10.12809/hkmj133972>.
- [16] Segger L, Lerchbaumer MH, Colletini F, Hamm B, Fleckenstein FN, Fehrenbach U, et al. Percutaneous computed tomography (CT) fluoroscopy-guided biopsy of the spleen using fibrin glue as a sealant. *Diagnostics* 2024;14(2):162. <https://doi.org/10.3390/diagnostics14020162>.
- [17] Kim SJ, Won JH, Kim YB, Wang HJ, Kim BW, Kim H, et al. Plugged percutaneous biopsy of the liver in living-donor liver transplantation recipients suspected to have graft rejection. *Acta Radiol* 2017;58(7):771-7. <https://doi.org/10.1177/0284185116673121>.
- [18] Suyama Y, Soga S, Mikoshi A, Hokari R, Shinmoto H, Tomita K. Initial experience of coaxial percutaneous liver biopsy with tract embolization using N-butyl cyanoacrylate. *Scand J Gastroenterol* 2023;58(11):1317-20. <https://doi.org/10.1080/00365521.2023.2219800>.
- [19] Rahal Junior A, Falsarella PM, Ferreira VTR, Mariotti GC, Queiroz MRGD, Garcia RG. Injecting hemostatic matrix in the path of biopsies: efficacy, potential complications, and the management of such complications. *Radiol Bras* 2018;51(2):102-5. <https://doi.org/10.1590/0100-3984.2017.0011>.
- [20] Paulson EK, Stephenson GR, Neal MC, Rossin V, Lawson JH. Use of fibrin sealant as a hemostatic agent after liver biopsy in swine. *J Vasc Intervent Radiol* 2000;11(7):905-11. [https://doi.org/10.1016/S1051-0443\(07\)61810-7](https://doi.org/10.1016/S1051-0443(07)61810-7).
- [21] McDonald J, Amirabadi A, Farhat Z, Temple M, Parra D, Amaral J, et al. Experience with compressed gelfoam plugs in children during liver biopsies and other IR procedures: a retrospective single-center case series. *J Vasc Intervent Radiol* 2019;30(11):1855-62. <https://doi.org/10.1016/j.jvir.2019.04.004>.
- [22] Fung KFK, Cheng KK, Chan EY, Ma LTA, Cho HYD, Kan YLE. Percutaneous ultrasound-guided renal biopsies in a pediatric population: comparison of coaxial and non-coaxial techniques using 18-gauge core biopsy needles. *Pediatr Radiol* 2022;52(12):2431-7. <https://doi.org/10.1007/s00247-022-05359-x>.
- [23] Coffman K, Joseph A, Walker JA, Lopera JE. The use of glue as an embolic agent in trauma. *Semin Interv Radiol* 2025;42(4):422-31. <https://doi.org/10.1055/s-0045-1811635>.
- [24] Choi KY, Koh IJ, Kim MS, Park DC, Sung YG, In Y. 2-octyl cyanoacrylate topical adhesive as an alternative to subcuticular suture for skin closure after total knee arthroplasty: a randomized controlled trial in the same patient. *J Arthroplast* 2021;36(9):3141-7. <https://doi.org/10.1016/j.arth.2021.04.033>.
- [25] Adler DD, Carson PL, Rubin JM, Quinn-Reid D. Doppler ultrasound color flow imaging in the study of breast cancer: preliminary findings. *Ultrasound Med Biol* 1990;16(6):553-9. [https://doi.org/10.1016/0301-5629\(90\)90020-D](https://doi.org/10.1016/0301-5629(90)90020-D).
- [26] Hatfield MK, Beres RA, Sane SS, Zaleski GX. Percutaneous imaging-guided solid organ core needle biopsy: coaxial versus noncoaxial method. *AJR Am J Roentgenol* 2008;190(2):413-7. <https://doi.org/10.2214/AJR.07.2676>.
- [27] Chen WLJ, Fung KFK, Liu APY, Chung HYP, Chiang AKS, Cho HYD, et al. Tract cauterisation by microwave ablation following percutaneous biopsy of intraabdominal tumour in children. *CVIR Oncol* 2025;1:13. <https://doi.org/10.1007/s44343-025-00015-1>.
- [28] Chi H, Hansen BE, Tang WY, Schouten JNL, Sprengers D, Taimr P, et al. Multiple biopsy passes and the risk of complications of percutaneous liver biopsy. *Eur J Gastroenterol Hepatol* 2017;29(1):36-41. <https://doi.org/10.1097/MEG.0000000000000731>.
- [29] LeMaire SA, Carter SA, Won T, Wang X, Conklin LD, Coselli JS. The threat of adhesive embolization: biogluce leaks through needle holes in aortic tissue and prosthetic grafts. *Ann Thorac Surg* 2005;80(1):106-11. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2005.02.004>.

译注：本译文依据用户提供的《Journal of Pediatric Surgery》PDF全文翻译。参考文献为保证检索准确性，保留原始英文著录信息。FAL产品及成本等补充材料未包含在所附PDF中，未作扩展翻译。