

《欧洲儿童和新生儿重症监护学会危重新生儿和儿童床旁即时超声国际循证指南》解读

文俊 苏宇飞

西安交通大学附属儿童医院急诊科 710003

通信作者: 苏宇飞, Email: suyufei138@163.com

【摘要】 2020 年欧洲儿童和新生儿重症监护学会首次发布了危重新生儿和儿童床旁即时超声国际循证指南, 为危重新生儿和儿童床旁即时超声的规范使用提供了建议和循证医学依据, 并获得了全球新生儿科和儿科重症医生的广泛认可。为了使国内新生儿和儿科重症、儿科急诊等相关专业人员对床旁即时超声的理解更加深刻及与时俱进, 推动国内新生儿和儿科床旁即时超声应用与国际接轨, 本文针对该指南中床旁即时超声操作和监测方法进行总结和解读。

【关键词】 床旁即时超声; 儿童; 新生儿; 指南; 欧洲儿童和新生儿重症监护学会

DOI:10.3760/cma.j.issn.1673-4912.2022.05.005

Interpretation of International Evidence-based Guideline on Point-of-Care Ultrasound for Critically Ill Neonates and Children Issued by the European Society of Paediatric and Neonatal Intensive Care

Wen Jun, Su Yufei

Emergency Department, Affiliated Children's Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710003, China

Corresponding author: Su Yufei, Email: suyufei138@163.com

【Abstract】 In 2020, the European Society of Paediatric and Neonatal Intensive Care first issued the international point-of-care ultrasound (POCUS) guideline for the critically ill newborns and children, which provided an evidence-based foundation to standardize the use of POCUS in the critically ill neonates and children. It has been widely recognized by neonatology and pediatric critical physicians worldwide. In order to keep our domestic colleagues updated and promote the POCUS application based on this international standard, the guideline was summarized and interpreted in this review.

【Key words】 Point-of-care ultrasound; Children; Newborn; Guideline; European Society of Paediatric and Neonatal Intensive Care

DOI:10.3760/cma.j.issn.1673-4912.2022.05.005

床旁即时超声 (point-of-care ultrasound, POCUS) 是由临床医生主导完成的超声检查, 是以临床问题为目标导向, 在床旁实时、迅速地实施超声重点扫查, 结合临床表现和其他检查综合分析, 做出及时可靠的诊断和治疗的依据^[1]。重症超声是 POCUS 的重要分支, 在重症医学理论指导下运用超声对重症患者进行目标导向的动态评估, 以做出或者调整重症治疗策略, 尤其在血流动力学治疗方面体现了重症超声的优越性和可靠性^[2-3]。近年来, 国内重症领域 POCUS 应用越来越广泛, 中国重症超声研究组 (CCUSG) 在成人 POCUS 研究上提出针对休克诊断的“六步法流程”及呼吸与循环危重症诊断流程的“呼吸循环七步法”等, 并发布了重症超声的专家共识和技术规范^[2-5]。国内儿科医生应用 POCUS 技术也越来越多, 但大家共同面对的问题是没有统一的技术规范和器官功能监测的参考区间, 限制了 POCUS 在儿科领域的

推广。2020 年欧洲儿童和新生儿重症监护学会 (ESPNIC) POCUS 协作组制定了危重患儿的 POCUS 指南^[4]。该指南是目前儿科和新生儿科领域唯一的 POCUS 循证指南, 在心脏和循环评估、肺部评估、血管置管技术、脑功能评估、腹部超声等 5 方面进行规范。指南建议强度由强到弱分为强烈建议、建议和不建议三个等级, 支持建议的证据质量由高到低分为 A、B、C、D 四个等级。我们有必要引入 2020 年版欧洲 POCUS 指南^[2], 促进国内儿科和新生儿科 POCUS 的规范应用。

1 心脏 POCUS

推荐意见: (1) 不建议诊断先天性结构性心脏病 (强烈建议, A); (2) 能评估患儿心脏的充盈 (前负荷评估) 和血管内容量状态 (强烈建议, D); (3) 可评估患儿的容量反应性 (强烈建议, D); (4) 可采用目测法定性评估患儿心脏功能 (强烈建议, D); (5) 可半定量评估患儿的心脏功能 (建议,

C);(6)可测量肺高压患儿的肺动脉收缩压(强烈建议,B);(7)可通过评估心脏收缩末期室间隔位置及未闭合动脉导管和(或)未闭合卵圆孔的血流方向和速度来半定量估测肺高压(强烈建议,B);(8)可诊断心包积液(强烈建议,B);(9)可引导心包穿刺术(强烈建议,B);(10)可由经验丰富的医生评估患儿动脉导管的血流动力学和通畅性(强烈建议,A);(11)当已探查到患儿有心脏赘生物时,不建议应用 POCUS 去诊断感染性心内膜炎(不建议,D),而由儿科心脏病学专家或接受过高级心脏超声培训的医生进行详细诊断评估。

1.1 结构性心脏病 POCUS 心脏 POCUS 主要是为了获取患儿的病理生理和血流动力学信息,从而对临床诊断和治疗作出正确的决策。当心脏有结构异常时,应请儿科心脏病学专家进行超声心动图检查以明确诊断。除了已接受过高级超声心动图培训的儿科和新生儿重症监护医师外,其他医师不能将心脏 POCUS 作为先天性心脏病的筛查工具。

1.2 心脏功能 POCUS 心脏评估的切面有:剑突下下腔静脉长轴切面,剑突下四腔心切面,胸骨旁左室长轴切面(parasternal long-axis view, PLAX),胸骨旁左室短轴切面(parasternal short-axis view, PSAX),心尖四腔心切面(apical 4 chamber view, A4C)和心尖五腔心切面(apical 5 chamber view, A5C)。从这些切面能了解到心脏的前负荷、心包是否有积液、左右心功能、心排量,可对心脏后负荷进行间接的评估等^[2]。

对于刚接触 POCUS 的医生,建议采用目测法动态评估心包、心脏运动、心脏前负荷等;建议有一定经验并且接受过高级培训的医生进行半定量心脏功能评估。

目测法进行定性的评估可通过 PLAX、PSAX、A4C 评估心脏收缩功能。当在 PLAX 和 PSAX、A4C 很难获得清晰图像时,建议用剑突下短轴切面评估心脏功能,对于婴幼儿和新生儿,剑突下短轴切面能提供更清晰的图像。

半定量评估主要包括以下测量值:射血分数(ejection fraction, EF)和缩短分数、E 点间隔分离、二尖瓣环收缩期位移、三尖瓣环收缩期位移、左心输出量、右心输出量等^[2]。EF 的测量主要在 A4C 和心尖二腔心切面通过 Simpson's 法进行测量;缩短分数主要在 PLAX 和 PSAX 通过 M 型超声进行测量;E 点间隔分离主要在 PLAX 通过 M 型超声进行测量;左心输出量主要是在 A5C 通过脉冲多普勒(pulsed-wave Doppler, PWD)测量左室流出道

速度流速时间积分(velocity-time integral, VTI)和测量左室流出道横切面积所获得;右心输出量主要是在 PSAX 和 PLAX 通过 PWD 测量右室流出道速度流速时间积分(VTI)和测量右室流出道横切面积所获得;二尖瓣环收缩期位移主要在 A4C 测量二尖瓣环外侧壁向心尖偏移评估左心室收缩功能;三尖瓣环收缩期位移主要在 A5C 测量三尖瓣环外侧壁向心尖偏移评估右心室收缩功能。指南给出正常参考范围,所有年龄儿童 EF 55%~80%;缩短分数 28%~46%;新生儿左心输出量和右心输出量 150~400 mL/(kg·min);E 点间隔分离 <7 mm(成人);足月儿二尖瓣环收缩期位移和三尖瓣环收缩期位移均 >8 mm,青少年儿童三尖瓣环收缩期位移 >17 mm^[4]。

1.3 容量状态和容量反应性评估 容量状态的评估主要在剑突下下腔静脉长轴切面通过观察下腔静脉(inferior vena-cava, IVC)直径随呼吸周期的变化进行半定量评估,在 A4C 目测心脏充盈状态进行定性评估。有自主呼吸的右心房压力正常的患者,吸气相 IVC 塌陷率 >50%;IVC 扩张,塌陷率 <50% 提示右心房压升高(10 mmHg 以上,1 mmHg = 0.133 kPa);相反,IVC 塌陷明显提示可能为低血容量状态^[6-8]。

对于接受机械通气治疗的无自主呼吸患者,容量反应性评估主要在 A5C 通过 PWD 测量左室流出道 VTI,当吸气相和呼气相 VTI 变异率 >15%,提示有容量反应性^[9-10]。其原因为机械通气、自主呼吸增强^[2]和特殊慢性疾病如慢性肺动脉高压等都会降低 IVC 评估容量反应性的可靠性^[11]。在 A5C 指南建议进行容量反应性评估应由具有高级 POCUS 技能的新生儿科和儿童重症监护室医生完成。

1.4 肺高压评估 肺高压的心脏超声主要表现为右心增大,右心室壁及室间隔肥厚,伴或者不伴有三尖瓣反流。肺动脉压力越高,IVC 扩张越明显,呼吸变异度越小,甚至固定不变。

当右心流出道无梗阻并伴有三尖瓣反流时,在右室流入道切面或者 A4C 采用 PWD 测量三尖瓣反流的频谱,声束应尽量平行于反流束^[12],根据 Bernoulli 方程可估算出肺动脉收缩压。

当三尖瓣无反流时,可采用半定量的方法评估肺高压:(1)在 PSAX 评估收缩末期室间隔位置和运动方向:正常情况下左心室为圆形,由于左心室压力高于右心室压力,室间隔为凸向右心的弧形;肺高压时,室间隔扁平,收缩期和(或)舒张期向左室运动。(2)采用 PWD 在 A4C 测量通过未

闭合肺动脉导管和未闭卵圆孔的血流方向和速度^[12];当观察到肺动脉和未闭合卵圆孔处的血流是右向左分流提示肺动脉压力较高,当血流是双向分流提示肺高压等于系统动脉压。

2 肺部超声(lung ultrasound, LUS)

推荐意见:(1)可鉴别呼吸窘迫综合征(respiratory distress syndrome, RDS)和新生儿暂时呼吸增快综合征(transient tachypnoea of the neonate, TTN)(建议, B);(2)可诊断肺炎(建议, B);(3)能半定量评估 RDS 时肺通气情况和指导 RDS 的治疗(建议, B);(4)能识别胎粪吸入综合征(meconium aspiration syndrome, MAS)(建议, C);(5)可诊断病毒性细支气管炎,但不能提供病原学的鉴别诊断(强烈建议, C);(6)可准确诊断气胸(强烈建议, B);(7)对张力性气胸可引导置管或穿刺排气(强烈建议, B);(8)对肺炎合并胸腔积液的诊断具有较高的准确性(强烈建议, B);(9)可引导胸腔穿刺术(强烈建议, B);(10)可评估肺水肿(建议, C);(11)能探查麻醉相关的肺不张(建议, C)。

2.1 LUS 对呼吸困难的评估与鉴别 LUS 对多种急性呼吸困难有较高的鉴别诊断价值,尤其对肺炎诊断具有较高的特异性超声征象^[13]。

RDS 的病理生理学改变是肺水含量明显增加和肺通气减少,因此 LUS 表现为 A 线消失和 B 线融合,甚至出现弥漫性“白肺”以及胸膜下肺实变征等。TNN 也是肺水含量增加,但其病理生理学改变主要是肺水含量增加的肺组织和正常的肺组织交替出现,因此 LUS 表现为胸膜线增厚和“双肺点征”,即 A 线和 B 线交替出现,有明显的分界线^[14-16]。对于刚出生的新生儿临床表现为呼吸困难时,“双肺点征”能帮助鉴别诊断。

当机械通气患儿突然发生呼吸困难,需双侧上肺超声扫查以明确是否并发气胸,气胸的超声征象主要为:“肺点”消失,条码征等;当麻醉过程中突然出现低氧血症,除需排除气胸外还要考虑麻醉相关的肺不张,后者超声征象为肺实变征,部分患儿可探查到“动态支气管征”和“静态支气管征”。

2.2 LUS 对急性呼吸窘迫综合征(acute respiratory distress syndrome, ARDS)的半定量评估 对于 ARDS, LUS 还能半定量评估肺通气,主要表现为:间质综合征、肺实变、胸腔积液和胸膜线异常^[17-19]。基于这些征象能组成半定量通气评分表,其优于简单 B 线计数,更好指导综合的呼吸支持治疗和肺表面活性物质的使用。

2.3 肺炎 LUS 征象 实施 LUS 时,探头一定垂

直于胸壁并且要清晰显示出“蝙蝠征”才能获得高质量 LUS 图像。正常情况下一个肺窗内可以见到 3 条以下 B 线,而一个肺窗内要显示出 3 条以上的 B 线才有肺水增加的临床意义。LUS 探查部位包括:前胸壁、侧胸壁、后胸壁,对于 1 岁以上的儿童用 12 分区法进行探查;对于婴儿和新生儿用 6 分区法进行探查。LUS 对肺炎有较特异性征象:“肺实变征”、“动态支气管充气征”、B 线、胸腔积液、胸膜线异常和“肺滑动征”减少等^[13],较 X 线检查有更好的准确性。需要注意的是, LUS 对不同病原菌导致的肺炎没有特异的超声征象,但能帮助判断病情的轻重^[20-21]。

病毒性细支气管炎是婴儿时期常见的喘息性疾病,病理特点为微小气道阻塞。其 LUS 特点为:不规则的胸膜线、胸膜下“碎片征”、“肺间质综合征”等^[22]。LUS 对病毒性细支气管炎也不能区分病原学,但 LUS 积分法较 X 线能更准确判断病情轻重程度^[21,23]。

2.4 LUS 对 MAS 的评估 新生儿 MAS 的 LUS 主要表现:(1)胸膜线异常和 A 线消失;(2)肺不张,明显的肺搏动征;(3)胸腔积液;(4)“肺泡间质综合征”或 B 线^[24]。MAS 治疗过程中可动态观察 LUS 改变,并调整治疗策略。当 MAS 患儿 LUS 出现 B 线增多或 RDS 超声表现提示病情加重;当出现“动态支气管征”提示肺具有可复张性;当 B 线数量减少,提示肺部炎症程度降低,病情好转等。

2.5 LUS 对肺水肿的评估 LUS 能准确地探查血管外的肺水肿,但不能区分心源性肺水肿和非心源性肺水肿。肺水肿时 B 线可融合成为“白肺”,因此可以通过 B 线计数来评估心脏手术后的心源性肺水肿^[25]。需要注意的是:当 B 线间距离 >7 mm,提示肺水主要累及肺间质;当 B 线间距离 <3 mm,提示肺水已从肺间质累及至肺泡;当 B 线融合成为“白肺”提示肺水肿严重。

2.6 LUS 对气胸、胸腔积液的评估和 LUS 引导下穿刺引流 超声对气胸诊断有较高的特异性和敏感性^[26],超声对气胸的探查部位首选双侧锁骨下区域。气胸 LUS 表现为:(1)“肺点”即气胸部位的胸膜滑动征消失而无气胸部位的可见胸膜滑动征;(2)“条码征”:M 型超声模式下可见条码样改变,为气胸的特征性表现;(3)无 B 线;(4)无肺搏动征^[26]。

LUS 能较准确地诊断肺炎相关的胸腔积液,其 LUS 表现为:“水母征”、“四边形征”和“正弦波征”。探查胸腔积液部位一般选择在双侧膈肌点。LUS 能早期、及时、准确地诊断新生儿和儿童气胸

和胸腔积液^[27],且能引导气胸/胸腔积液穿刺和引流。在进行胸腔穿刺前,LUS 能识别肺的边界、膈肌、膈肌下脏器和穿刺部位,引导穿刺针进入胸腔中并避免损伤周围脏器。

3 血管 POCUS

推荐意见:(1)可引导颈内静脉置管(强烈建议,A);(2)可引导锁骨下静脉置管(强烈建议,B);(3)可引导股动静脉置管(强烈建议,B);(4)可引导儿童动脉导管置管(建议,B);(5)可引导外周静脉置入中心导管(peripherally inserted central catheters,PICC)(建议,B);(6)能局部位定 PICC 导管头端,减少射线辐射(强烈建议,C)。

传统的大静脉置管,特别是颈内静脉、锁骨下静脉、股静脉等,误穿动脉和气胸的发生率分别高达 14% 和 6%^[27];多项 RCT 和 Meta 分析显示超声引导下血管内置管可降低置管失败率及并发症发生率^[28-32]。POCUS 引导下中心静脉置管及导管的定位比传统的放射线引导更能减少辐射量。

可选择线性探头引导血管穿刺^[27]。血管的成像上可以选择血管短轴和血管长轴两种方式,选择长轴时穿刺针与声束不在一个平面,只能显示穿刺针与平面的交叉点;而短轴切面,由于穿刺针位于探头声束的平面内,可完全显示入针的轨迹。血管短轴切面进行操作,更容易分辨血管周围的结构如神经、动脉、胸膜等,更适合初学者;由于穿刺过程中不能看到针尖,可能会发生穿破血管后壁,或损伤周围神经血管组织。应用长轴的方式可观察到进针过程,并引导导丝的置入。

与传统的 PICC 置管技术相比,POCUS 引导有更高穿刺成功率、定位准确率,并减少了穿刺时间。

4 颅脑 POCUS

推荐意见:(1)可探查脑血流的变化(建议,B);(2)可探查脑血流形式,提示患儿是否存在脑循环骤停(cerebral circulatory arrest,CCA)(建议,C);(3)可探查继发于创伤性脑损伤和非创伤性颅内出血患者脑血管痉挛导致的脑血流变化(建议,C);(4)可探查新生儿生发基质出血和脑室内出血(强烈建议,A);(5)可探查脑中线移位(建议,C);(6)可对颅缝闭合的儿童进行视神经鞘直径监测判断颅内压(建议,B)。

4.1 POCUS 评估脑血流 对于前囟门没有闭合的新生儿和婴儿,可以选择前囟进行颅内血流的测量;对于囟门已闭合的儿童,可以选择颞窗观察脑血流的变化。

脑血流的流速和搏动指数及阻力指数是颅内

压无创监测的常用工具^[33]。对于创伤性颅脑损伤儿童,较低的脑血流往往提示预后较差^[34]。可通过大脑中动脉平均血流速度除以同侧颅外颈动脉的平均血流速度来计算 Lindegaard 比值。由于充血也可能增加平均血流速度,但 Lindegaard 比值可区分充血和血管痉挛(Lindegaard 比值为 3~6 提示轻度血管痉挛,Lindegaard 比值>6 为严重血管痉挛)。目前还没有儿童脑血流监测数值的参考范围,因此在判断儿童脑血流时仅作参考。

4.2 POCUS 评估 CCA 当 CCA 时,几分钟内即可出现大脑神经元不可逆损伤。经颅彩色多普勒超声被广泛用于诊断 CCA。经颅彩色多普勒超声显示以下脑血流形式提示 CCA:(1)振荡波形或持续倒置的舒张血流;(2)“钉子样”收缩期波形和颅内血流消失;(3)大脑中动脉无血流;(4)颅外颈内动脉舒张血流倒置;(5)大脑中动脉平均血流速度小于 10 cm/s,持续 30 min 以上^[35]。由于 POCUS 在 CCA 应用的技能要求较高,因此需要有经验的重症医师进行操作和谨慎解释结果。

4.3 POCUS 评估颅内出血 在影像医疗资源紧缺的环境中,当怀疑新生儿和早产儿有颅内出血,特别是脑室内出血和生发基质出血,超声监测是非常实用的^[36]。虽然新生儿缺氧缺血性脑病的超声图像不如 CT 和 MRI 清晰^[36],但超声对大脑皮层缺血缺氧、出血及硬膜外血肿的诊断有较高的准确性^[37]。新生儿和早产儿头颅超声一般选择未闭合的前囟门作为声窗进行颅脑结构的探查,分别从冠状切面和矢状位进行探查,在矢状位由正中矢状位切面逐渐向双侧颞部外侧探查,在冠状位由前向后依次探查。

4.4 POCUS 评估脑中线移位 当各种原因导致颅内压增高,可通过双侧颞部声窗测量两侧颞骨到第三脑室中心的距离之差确定是否存在脑中线移位。成人研究中微小的移位(<5 mm)就可识别出脑中线移位,目前儿童还没有具体参考值,因此限制了其临床应用。

4.5 POCUS 评估视神经鞘直径(optic nerve sheath diameter,ONSD) 视神经鞘的组成主要为:硬脑膜、软脑膜、蛛网膜,与颅内的硬脑膜、软脑膜和蛛网膜相连续。当颅内压增高时,视乳头和视神经鞘水肿,并随着颅内压增高 ONSD 增宽,因此测量 ONSD 能间接反映颅内压水平。研究显示,ONSD 与颅内压的关系为:1 岁以下儿童眼球后壁 3 mm 处的 ONSD 大于 4.30、4.97、5.16 mm 分别提示颅内压大于 10、15、20 mmHg。1 岁以上儿童,ONSD 大于 5.10、5.20、5.49、5.75 mm 分别

提示颅内压大于 5、10、15、20 mmHg^[38]。由于异常值和正常值非常接近,存在测量误差的可能,因此这项技术操作的质控显得非常重要,且解读结果时需非常谨慎。

5 腹部 POCUS

推荐意见:(1)可探查腹腔游离液(强烈建议,C);(2)可引导腹腔积液的引流(强烈建议,D);(3)当探查到腹部脏器实质性病变时,应由儿科影像医生进一步详细评估(建议,D);(4)可探查阻塞性尿路疾病(建议,D);(5)能评估肠蠕动(建议,D);(6)可探查新生儿坏死性小肠结肠炎(necrotizing enterocolitis, NEC)(建议,C);(7)能识别肥厚性幽门狭窄(不建议,D)。

5.1 POCUS 评估腹腔游离液体及引导穿刺引流

对于腹部重症创伤患者,POCUS 能快速评估腹腔出血,主要评估:右上腹区(肝肾间隙)、左上腹区(脾肾间隙)、心包区、盆腔区,观察各个区域是否有出血及其他性质的积液^[39]。POCUS 能引导诊断性腹腔穿刺和腹腔置管引流,穿刺前行 POCUS 可协助医生识别穿刺部位周围的脏器、组织和血管,避免穿刺时损伤。

5.2 POCUS 评估腹部脏器实质性病变 POCUS 发现患儿腹腔脏器结构异常时,如幽门肥厚、肠旋转不良、肠套叠等,需请影像科医生进一步评估。肾脏和膀胱在腹腔中位置比较浅,超声比较容易探查。对于腹膜后出血,探查双侧肾周游离液体有利于快速评估腹腔脏器破裂出血;对于各种类型的休克患儿,评估肾脏内的血流可了解器官灌注状态;对于尿路梗阻患儿,肾积水和膀胱内尿潴留有利于鉴别尿路梗阻的部位;对于危重患儿,膀胱的充盈状态可评估膀胱残余尿^[40-41]。

5.3 POCUS 评估肠蠕动功能 危重患者常合并胃肠道运动功能障碍,早期识别及快速启动治疗是至关重要的。目前尚无标准化胃肠道运动评估工具,成人研究发现超声提示有肠蠕动对肠梗阻和肠道缺血有很强的阴性预测价值,而 POCUS 评估新生儿和儿童胃肠蠕动研究比较少,且无研究显示肠蠕动和喂养不耐受与肠道缺血缺氧相关。

5.4 POCUS 评估 NEC NEC 是新生儿常见的重症之一,X 线诊断为传统的影像诊断技术,但 X 线片只能在肠道屏障损害时才能诊断 NEC,而超声能观察到 NEC 全程病理改变^[42],具有较高特异性和敏感性^[43-44]。NEC 超声表现为:肠壁的变薄、肠壁增厚、肠壁囊样积气征、门静脉积气和低血流灌注等征象^[43]。

6 总结

POCUS 作为临床无创、便携、价廉、可重复性

的辅助监测及诊断手段,越来越多地被应用于新生儿和儿科急危重症领域。临床医生使用 POCUS 不同于超声科医生提供完整诊断报告,其作用更多的是动态监测评估,并在当前的临床环境中迅速整合临床信息,分析疾病的病理生理特点,找出病因,再决策治疗手段。尽管目前国内缺乏新生儿和儿科急诊医学、重症医学的 POCUS 循证指南,但 POCUS 在国内新生儿科和儿科的使用越来越受重视。笔者认为该指南为新生儿科和儿科急诊和重症医学提供从“基础”到“高级”POCUS 监测和诊断方案,有助于临床治疗精准化,提高急危重症新生儿和儿童抢救成功率。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Moore CL, Copel JA. Point-of-care ultrasonography[J]. N Engl J Med, 2011, 364 (8): 749-757. DOI: 10. 1056/NEJM-ra0909487.
- [2] 中国重症超声研究组,尹万红,王小亭,等.重症超声临床应用技术规范[J].中华内科杂志,2018,57(6):397-417. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0578-1426. 2018. 06. 004.
- [3] 张建,王莹.重症超声指导儿童血流动力学治疗[J].中国小儿急救医学,2021,28(4):253-258. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 1673-4912. 2021. 04. 002.
- [4] Singh Y, Tissot C, Fraga MV, et al. International evidence-based guidelines on Point of Care Ultrasound (POCUS) for critically ill neonates and children issued by the POCUS Working Group of the European Society of Paediatric and Neonatal Intensive Care (ESPNIC) [J]. Crit Care, 2020, 24 (1): 65. DOI: 10. 1186/s13054-020-2787-9.
- [5] 王小亭,刘大为,于凯江,等.中国重症超声专家共识[J].中华内科杂志,2016,55(11):900-912. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 0578-1426. 2016. 11. 020.
- [6] Lang RM, Bierig M, Devereux RB, et al. Recommendations for chamber quantification: a report from the American Society of Echocardiography's guidelines and standards committee and the chamber quantification writing group, developed in conjunction with the European Association of Echocardiography, a branch of the European Society of Cardiology [J]. J Am Soc Echo cardiogr, 2005, 18: 1440-1463. DOI: 10. 1016/j. echo. 2005. 10. 005.
- [7] Feissel M, Michard F, Faller JP, et al. The respiratory variation in inferior vena cava diameter as a guide to fluid therapy [J]. Intensive Care Med, 2004, 30: 1834-1837. DOI: 10. 1007/s00134-004-2233-5.
- [8] Chen L, Kim Y, Santucci KA. Use of ultrasound measurement of the inferior vena cava diameter as an objective tool in the assessment of children with clinical dehydration [J]. Acad Emerg Med, 2007, 14 (10): 841-845. DOI: 10. 1197/j. aem. 2007. 06. 040.
- [9] Slama M, Masson H, Teboul JL, et al. Respiratory variations of aortic VTI: a new index of hypovolemia and fluid responsiveness [J]. Am J Physiol Heart Circ Physiol, 2002, 283: H1729-1733. DOI: 10. 1152/ajpheart. 00308. 2002.
- [10] Feissel M, Michard F, Mangin I, et al. Respiratory changes in aortic blood velocity as an indicator of fluid responsiveness in ventilated patients with septic shock [J]. Chest, 2001, 119: 867-873. DOI: 10. 1378/chest. 119. 3. 867.
- [11] Torterue X, Dehoux L, Macher MA, et al. Fluid status evaluation by inferior vena cava diameter and bioimpedance spectroscopy in pediatric chronic hemodialysis [J]. BMC Nephrol,

- 2017, 18 (1) : 373. DOI: 10. 1186/s12882-017-0793-1.
- [12] Wright LM, Dwyer N, Celermajor D, et al. Follow-Up of Pulmonary Hypertension With Echocardiography [J]. *JACC Cardiovasc Imaging*, 2016, 9 (6) : 733-746. DOI: 10. 1016/j. jcmg. 2016. 02. 022.
- [13] Chavez MA, Shams N, Ellington LE, et al. Lung ultrasound for the diagnosis of pneumonia in adults: a systematic review and meta-analysis [J]. *Respir Res*, 2014, 23, 15 (1) : 50. DOI: 10. 1186/1465-9921-15-50.
- [14] Raimondi F, Yousef N, Rodriguez Fanjul J, et al. A Multicenter Lung Ultrasound Study on Transient Tachypnea of the Neonate [J]. *Neonatology*, 2019, 115 (3) : 263-268. DOI: 10. 1159/000495911.
- [15] Copetti R, Cattarossi L. The ‘double lung point’: an ultrasound sign diagnostic of transient tachypnea of the newborn [J]. *Neonatology*, 2007, 91 : 203-209. DOI: 10. 1159/000097454.
- [16] Raimondi F, Migliaro F, De Luca D, et al. Clinical Data Are Essential to Validate Lung Ultrasound [J]. *Chest*, 2016, 149 : 1575. DOI: 10. 1016/j. chest. 2016. 02. 685.
- [17] Chiumello D, Froio S, Bouhemad B, et al. Clinical review: Lung imaging in acute respiratory distress syndrome patients—an update [J]. *Crit Care*, 2013, 17 (6) : 243. DOI: 10. 1186/cc13114.
- [18] Sanjan A, Krishnan SV, Abraham SV, et al. Utility of Point-of-Care Lung Ultrasound for Initial Assessment of Acute Respiratory Distress Syndrome Patients in the Emergency Department [J]. *J Emerg Trauma Shock*, 2019, 12 (4) : 248-253. DOI: 10. 4103/JETS. JETS_47_19. Epub 2019 Nov 18.
- [19] 黄鹤, 崔云亮, 田昭涛, 等. 急性呼吸窘迫综合征的肺部超声诊断价值 [J]. *中华危重病急救医学*, 2014, 26 (8) : 606-608. DOI: 10. 3760/cma. j. issn. 2095-4352. 2014. 08. 022.
- [20] Stadler JAM, Andronikou S, Zar HJ. Lung ultrasound for the diagnosis of community-acquired pneumonia in children [J]. *Pediatr Radiol*, 2017, 47 (11) : 1412-1419. DOI: 10. 1007/s00247-017-3910-1.
- [21] Allinovi M, Parise A, Giacalone M, et al. Lung Ultrasound May Support Diagnosis and Monitoring of COVID-19 Pneumonia [J]. *Ultrasound Med Biol*, 2020, 46 (11) : 2908-2917. DOI: 10. 1016/j. ultrasmedbio. 2020. 07. 018.
- [22] Biagi C, Pierantoni L, Baldazzi M, et al. Lung ultrasound for the diagnosis of pneumonia in children with acute bronchiolitis [J]. *BMC Pulm Med*, 2018, 18 (1) : 191. DOI: 10. 1186/s12890-018-0750-1.
- [23] Basile V, Di Mauro A, Scalini E, et al. Lung ultrasound: a useful tool in diagnosis and management of bronchiolitis [J]. *BMC Pediatr*, 2015, 15 : 63. DOI: 10. 1186/s12887-015-0380-1.
- [24] Liu J, Cao HY, Fu W. Lung ultrasonography to diagnose meconium aspiration syndrome of the newborn [J]. *J Int Med Res*, 2016, 44 (6) : 1534-1542. DOI: 10. 1177/0300060516663954.
- [25] Kaskinen AK, Martelius L, Kirjavainen T, et al. Assessment of extravascular lung water by ultrasound after congenital cardiac surgery: lung ultrasound after congenital cardiac surgery [J]. *Pediatr Pulmonol*, 2017, 52 : 345-352. DOI: 10. 1002/ppul. 23531.
- [26] Cattarossi L, Copetti R, Brusa G, et al. Lung Ultrasound Diagnostic Accuracy in Neonatal Pneumothorax [J]. *Can Respir J*, 2016, 2016 : 6515069. DOI: 10. 1155/2016/6515069.
- [27] Dahmarde H, Parooie F, Salarzaei M. Accuracy of Ultrasound in Diagnosis of Pneumothorax: A Comparison between Neonates and Adults—A Systematic Review and Meta-Analysis [J]. *Can Respir J*, 2019, 2019 : 5271982. DOI: 10. 1155/2019/5271982.
- [28] Pirotte T, Veyckemans F. Ultrasound-guided subclavian vein cannulation in infants and children: a novel approach [J]. *Br J Anaesth*, 2007, 98 (4) : 509-514. DOI: 10. 1093/bja/aem041.
- [29] Quan Z, Zhang L, Zhou C, et al. Acoustic Shadowing Facilitates Ultrasound-guided Radial Artery Cannulation in Young Children [J]. *Anesthesiology*, 2019, 131 (5) : 1018-1024. DOI: 10. 1097/ALN. 0000000000002948.
- [30] Brass P, Hellmich M, Kolodziej L, et al. Ultrasound guidance versus anatomical landmarks for subclavian or femoral vein catheterization [J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2015, 1 (1) : CD011447. DOI: 10. 1002/14651858. CD011447.
- [31] Attie GA, Flumignan CDQ, Silva MAM, et al. What do Cochrane systematic reviews say about ultrasound-guided vascular access [J]. *Sao Paulo Med J*, 2019, 137 (3) : 284-291. DOI: 10. 1590/1516-3180. 2019. 0113070519.
- [32] López Álvarez JM, Pérez Quevedo O, Ramírez Lorenzo T, et al. Ultrasound-guided vascular cannulation. Experience in critically-ill pediatric patients [J]. *Arch Argent Pediatr*, 2018, 116 (3) : 204-209. DOI: 10. 5546/aap. 2018. eng. 204.
- [33] American College of Radiology (ACR), Society for Pediatric Radiology (SPR), Society of Radiologists in Ultrasound (SRU). AIUM practice guideline for the performance of a transcranial Doppler ultrasound examination for adults and children [J]. *J Ultrasound Med*, 2012, 31 : 1489-1500. DOI: 10. 7863/jum. 2012. 31. 9. 1489.
- [34] Rostami E, Nilsson P, Enblad P. Cerebral Blood Flow Measurement in Healthy Children and Children Suffering Severe Traumatic Brain Injury—What Do We Know [J]. *Front Neurol*, 2020, 11 : 274. DOI: 10. 3389/fneur. 2020. 00274.
- [35] Ducrocq X, Hassler W, Moritake K, et al. Consensus opinion on diagnosis of cerebral circulatory arrest using Doppler-sonography: task force group on cerebral death of the Neurosonology Research Group of the World Federation of Neurology [J]. *J Neurol Sci*, 1998, 159 : 145-150. DOI: 10. 1016/s0022-510x (98) 00158-0.
- [36] Khan IA, Wahab S, Khan RA, et al. Neonatal Intracranial Ischemia and Hemorrhage: Role of Cranial Sonography and CT Scanning [J]. *J Korean Neurosurg Soc*, 2010, 47 (2) : 89-94. DOI: 10. 3340/jkns. 2010. 47. 2. 89.
- [37] Han BH, Song MJ, Lee KS, et al. Superficial Echogenic Lesions Detected on Neonatal Cranial Sonography: Possible Indicators of Severe Birth Injury [J]. *J Ultrasound Med*, 2016, 35 (3) : 477-484. DOI: 10. 7863/ultra. 15. 04012.
- [38] Padayachy LC, Padayachy V, Galal U, et al. The relationship between transorbital ultrasound measurement of the optic nerve sheath diameter (ONSD) and invasively measured ICP in children: Part II: age-related ONSD cut-off values and patency of the anterior fontanelle [J]. *Childs Nerv Syst*, 2016, 32 (10) : 1779-1785. DOI: 10. 1007/s00381-016-3068-4.
- [39] Scalea TM, Rodriguez A, Chiu WC, et al. Focused Assessment with Sonography for Trauma (FAST): results from an international consensus conference [J]. *J Trauma*, 1999, 46 (3) : 466-472. DOI: 10. 1097/00005373-199903000-00022.
- [40] Novaes AKB, Carmo WBD, Figueiredo AA, et al. Point of care kidney ultrasonography and its role in the diagnosis of urinary obstruction: a case report [J]. *J Bras Nefrol*, 2017, 39 (2) : 220-223. DOI: 10. 5935/0101-2800. 20170038.
- [41] Apoku IN, Ayoola OO, Salako AA, et al. Ultrasound evaluation of obstructive uropathy and its hemodynamic responses in southwest Nigeria [J]. *Int Braz J Urol*, 2015, 41 (3) : 556-561. DOI: 10. 1590/S1677-5538. IBJU. 2014. 0197.
- [42] De Bernardo G, Sordino D, De Chiara C, et al. Management of NEC: Surgical Treatment and Role of Traditional X-ray Versus Ultrasound Imaging, Experience of a Single Centre [J]. *Curr Pediatr Rev*, 2019, 15 (2) : 125-130. DOI: 10. 2174/1573396314666181102122626.
- [43] Cuna AC, Reddy N, Robinson AL, et al. Bowel ultrasound for predicting surgical management of necrotizing enterocolitis: a systematic review and meta-analysis [J]. *Pediatr Radiol*, 2018, 48 (5) : 658-666. DOI: 10. 1007/s00247-017-4056-x.
- [44] Cuna AC, Lee JC, Robinson AL, et al. Bowel Ultrasound for the Diagnosis of Necrotizing Enterocolitis: A Meta-analysis [J]. *Ultrasound Q*, 2018, 34 (3) : 113-118. DOI: 10. 1007/s00247-017-4056-x.

(收稿日期: 2021-02-24)

(本文编辑: 林强)