

·指南·共识·建议·

床旁功能性超声心动图评估早产儿动脉导管未闭血流动力学专家共识(2025)

中华医学会围产医学分会围产影像学组

通信作者:周文浩,广州市妇女儿童医疗中心新生儿医学中心,广州 510623, Email: zwhchfu@126.com;程锐,南京医科大学附属儿童医院新生儿医疗中心,南京 210008, Email:chengrui350@163.com;侯新琳,北京大学第一医院儿童医学中心,北京 102627, Email:houxinlin66@163.com

【摘要】 目前早产儿动脉导管未闭(patent ductus arteriosus, PDA)的管理逐渐倾向于保守治疗,这一趋势使得准确识别有血流动力学意义的PDA变得尤为重要。超声心动图是评估PDA血流动力学的“金标准”。本文基于国际功能性超声心动图最新指南及权威著作,结合我国新生儿重症监护临床实践特点,组织相关专家充分讨论,形成了床旁功能性超声心动图评估早产儿PDA血流动力学的操作要点与专家共识,并以图文形式呈现,旨在规范我国新生儿科医生的床旁超声操作,提高诊断能力,以及早产儿PDA血流动力学评估的准确性与一致性。

【关键词】 动脉导管未闭; 超声心动图; 血流动力学; 早产儿

实践指南注册: 国际实践指南注册与透明化平台(PREPARE-2025CN1277)

基金项目: 南京市卫生科技发展专项资金项目(YKK23167)

Expert consensus on bedside functional echocardiography for hemodynamic assessment of patent ductus arteriosus in preterm infants (2025)

Perinatal Imaging Group, Society of Perinatal Medicine, Chinese Medical Association

Corresponding author: Zhou Wenhao, Neonatal Medical Center, Guangzhou Women and Children's Medical Center, Guangzhou 510623, China, Email: zwhchfu@126.com; Cheng Rui, Department of Neonatology, Children's Hospital of Nanjing Medical University, Nanjing 210008, China, Email: chengrui350@163.com; Hou Xinlin, Children's Medical Center, Peking University First Hospital, Beijing 102627, China, Email: houxinlin66@163.com

近年来,早产儿动脉导管未闭(patent ductus arteriosus, PDA)的管理逐渐倾向于保守治疗策略^[1-4],这一转变使得准确识别有血流动力学意义的PDA(hemodynamically significant PDA, hsPDA)变得更加重要。hsPDA的定义尚无统一标准^[2,4-5],总体上是指一种可显著改变器官血流灌注的PDA,与肺出血、颅内出血、支气管肺发育不良、坏死性小肠结肠炎等早产儿并发症相关^[6-8]。血流动力学异

常程度取决于动脉导管分流量、肺循环与体循环阻力的相对值、心脏和其他器官的代偿能力。有些hsPDA对肺部的影响可能“显著”,但对大脑、肠道和肾脏的影响可能“不显著”;反之,有些hsPDA对肺部的影响较小,但对其他器官的影响可能较大。临床上判定PDA是否具有血流动力学意义时,应全面评估目标器官血流动力学异常的严重程度。超声心动图是评估PDA血流动力学的“金标

DOI: 10.3760/cma.j.cn101451-20250901-00340

收稿日期 2025-09-01 本文编辑 李美霞

引用本文:中华医学会围产医学分会围产影像学组.床旁功能性超声心动图评估早产儿动脉导管未闭血流动力学专家共识(2025)[J].中华新生儿科杂志,2026,41(1):2-10. DOI: 10.3760/cma.j.cn101451-20250901-00340.



中华医学杂志社
Chinese Medical Association Publishing House

版权所有 违者必究



准^[4,9],主要包括两个方面:动脉导管特征的直接评估和分流量的间接评估^[10]。

近 10 余年来,欧美广泛开展了由新生儿科医生进行的床旁功能性超声心动图检查,其中 PDA 血流动力学评估是其重要内容之一,属于重症超声领域的组成部分^[11-12]。为提升我国新生儿科医生对早产儿 PDA 的认识,规范床旁功能性超声心动图评估 PDA 血流动力学的临床应用,本文基于美国心脏超声协会最新发布的新生儿重症监护病房靶向新生儿超声心动图指南和建议^[12],以及南加州大学 Siassi 主编的《实用新生儿超声心动图学》^[6],结合我国新生儿重症监护临床实践特点,组织相关专家充分讨论,形成如下操作要点与推荐意见,并以图文形式呈现,供同行在临床实践中参考。

一、共识制订方法

1. 目标人群:校正胎龄 ≤ 40 周早产儿,特别是极早产儿(出生胎龄 < 32 周)和超早产儿(出生胎龄 < 28 周)。

2. 应用人群:新生儿科医师、儿童心脏超声医师及围产相关医务工作者。

3. 适用环境:各级新生儿诊治医疗机构。

4. 制订流程:本共识由中华医学会围产医学分会围产影像学组牵头,成立了多学科共识制订专家组。专家组成员包括 32 位超声和影像医学专家、27 位新生儿科专家及 4 位围产医学专家。所有参与者均签署了利益冲突声明。

本共识制订工作聚焦于床旁超声心动图评估早产儿 PDA 血流动力学的操作规范。经过系统检索 PubMed、Web of Science、Embase、Cochrane Library、中华医学期刊全文数据库、中国知网、万方数据库从建库至 2025 年 6 月的中英文文献,专家组讨论后明确 PDA 血流动力学评估的常用指标,并共同制订床旁功能性超声心动图评估各指标的操作要点与推荐意见。

二、常用指标操作要点与推荐意见

(一)动脉导管的直接评估

1. 动脉导管直径:动脉导管直径是评估 PDA 血流动力学最重要且最常用的指标之一,广泛见于临床研究并具有重要参考价值^[13-16]。在极早产儿中,直径 < 1.5 mm 的 PDA 多呈限制型分流;而直径 ≥ 1.5 mm 的 PDA 往往与高流量分流相关^[2,4]。但单纯使用动脉导管直径可能不够准确,需结合患儿体重或左肺动脉直径进行校正(如动脉导管直径/体重、动脉导管直径/左肺动脉直径),校正后的比值更有

临床意义^[17-18]。此外,因不同测量者的差异、患儿代偿能力及分流类型的多样性,需结合其他超声指标进行综合评估。

操作上,推荐使用频率 10~12 MHz 相控阵超声探头,同步采用 2D 成像和彩色多普勒血流成像(彩色对比模式)清晰显示动脉导管走行。胸骨上窝切面或高位胸骨旁切面为观测 PDA 的首选切面^[6,12],应避免常规使用胸骨旁大动脉短轴切面。进行胸骨上窝切面扫查时,探头放置于胸骨上窝中线,探头示标指向 12 点方向,探头扇面轻微向左侧倾斜(图 1A),显示出主肺动脉和降主动脉,可清晰显示动脉导管全长(图 1B、C)。PDA 也可以从高位胸骨旁矢状切面或高位胸骨旁短轴切面观测。推荐在 2D 图像上,当心动周期中动脉导管分流量最大时,在 PDA 全长的最窄处垂直于动脉导管前壁测量直径^[6,12,19]。在彩色多普勒图像上测量可能高估管径,仅建议在 2D 图像显示不清时谨慎使用。需要强调的是,由于动脉导管形态各异,如漏斗型、管型、哑铃型等^[9],最终分流量的大小由动脉导管最狭窄处决定^[5],因此需在动脉导管最窄处测量直径。

推荐意见 1:动脉导管直径是评估 PDA 血流动力学的重要指标,应常规测量,临床应用时需校正体重或左肺动脉直径。推荐使用胸骨上窝切面或高位胸骨旁切面,在 2D 图像上 PDA 全长的最窄处测量直径。

2. 动脉导管血流的分流类型:因肺动脉与体循环压力梯度的不同,直径相同的动脉导管可呈现不同的分流类型。动脉导管血流的分流类型由 Su 等^[20]提出,需要评估收缩期和舒张期的血流方向和速度,主要包括完全右向左型分流、双向型分流、增长型分流、非限制型分流和限制型分流五种类型(图 2)^[12,20]。

完全右向左型分流和双向型分流提示肺动脉压力过高,通常与生后早期的肺血管阻力高和肺部疾病引起的肺动脉高压有关,为药物关闭动脉导管的禁忌证。增长型分流是肺血管阻力下降的标志,其特征是左向右分流为主、伴少量右向左分流(小于一个心动周期的 30%)^[21-22]。非限制型分流,亦称搏动型分流,其特征为完全左向右分流,收缩期和舒张期流速存在显著差异(最高与最低流速比 ≥ 2)^[15,21-22]。增长型和非限制型分流均与左向右显著分流相关,是 hsPDA 的重要标志^[4,10]。限制型分流则表现为持续高速(> 2 m/s)的左向右分流,并且收缩期和舒张期流速差异较小(最高与最低流速比 < 2)^[21-22],往往提示动脉导管分流量较小或正在收缩^[6]。



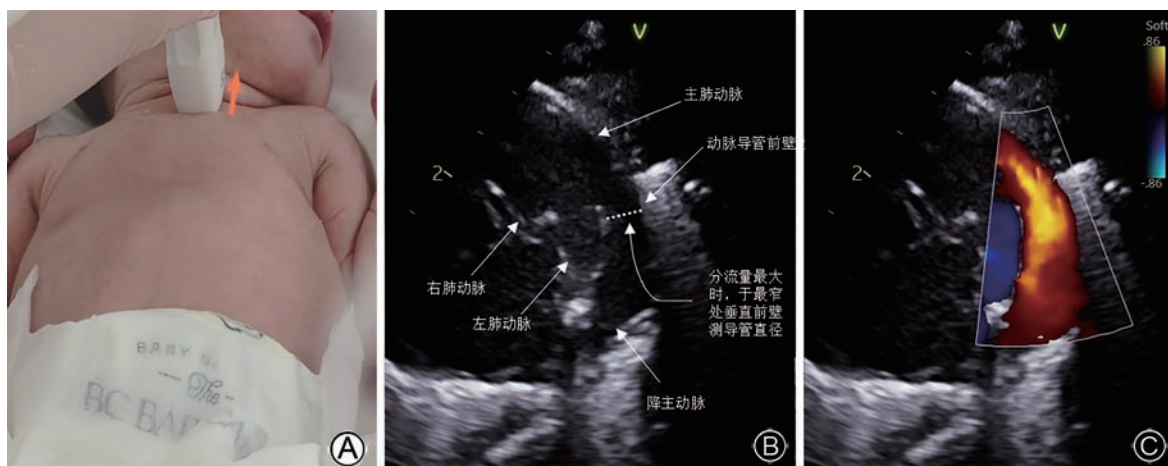


图1 胸骨上窝切面显示动脉导管:A.探头位置和示标方向;B.动脉导管2D图像;C.动脉导管彩色多普勒图像

操作上,切面及探头位置同动脉导管直径测量。推荐使用脉冲波(pulsed wave, PW)或连续波(continuous wave, CW)多普勒,通过频谱多普勒评估和测量血流方向和流速^[6,12]。血流左向右分流时多普勒频谱一般位于基线上方,右向左分流则一般位于基线下方(图2)。PW多普勒可以估算特定位置的血流流速,因此优先使用PW模式,取样容积置于动脉导管最窄处。若流速较快(通常峰流速 >2 m/s)出现“混叠”现象,需将PW的速度标尺增至最大。如仍有“混叠”现象则换用CW模式,需确保多普勒声束通过动脉导管最窄处,并尽量与血流方向平行。

推荐意见2:应常规评估动脉导管血流的分流类型,其中增长型和非限制型分流与显著的左向右分流相关。优先选择PW多普勒测量,取样容积置于动脉导管最窄处,当动脉导管血流流速较快时,选择CW多普勒进行测量。

(二)肺循环充血指标

1. 左心房与主动脉根部直径的比值(ratio of left atrial diameter to aortic root, LA/Ao): LA/Ao是评估PDA血流动力学的经典指标,自20世纪70年代沿用至今^[23]。该指标通过计算左心房直径与主动脉根部直径的比值,反映PDA左向右分流后左心容量负荷程度,比值越大提示分流量越大,通常认为 $LA/Ao \geq 1.5$ 具有临床意义^[4,6,24]。需要注意该指标是非特异性的。在二尖瓣/左心室功能不全等情况下,该指标会增大。相反,在存在较大卵圆孔未闭的情况下,即使PDA左向右分流显著,因左心房血流会从卵圆孔向右心房分流,该指标也会被低估。因此,需结合其他指标综合评估血流动力学。

操作上,LA/Ao可以通过胸骨旁左心室长轴或大动脉短轴切面测量。超声探头置于左侧胸骨旁第四肋间,探头示标指向患儿右肩(图3A)。切面显示右心室、左心室、主动脉瓣、升主动脉、二尖瓣、

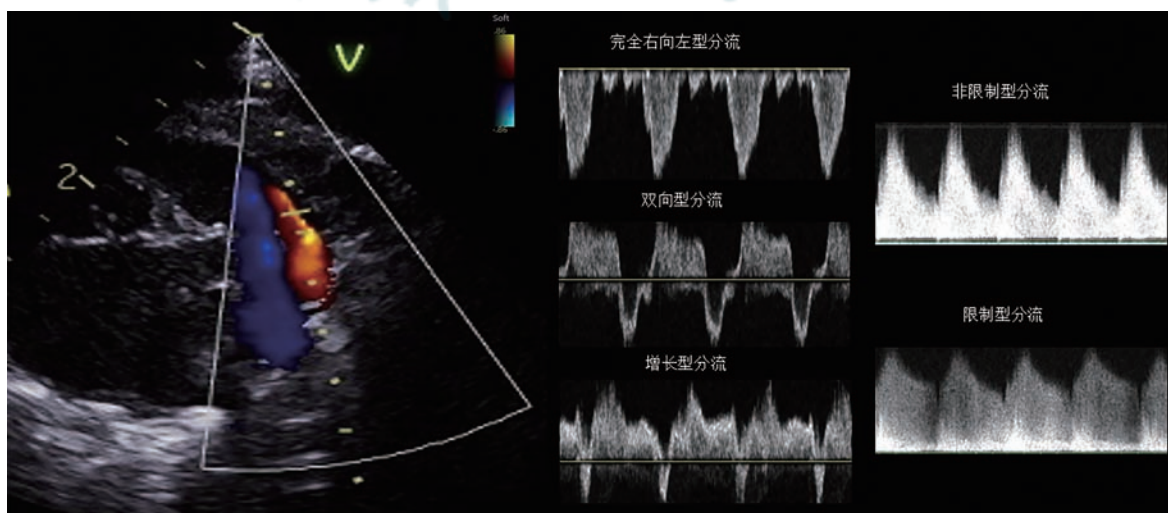


图2 动脉导管血流分流类型及超声图像



左心房,通常使主动脉瓣位于图像中间,可不包括左心室心尖(图3B)。获得稳定的标准切面后,启用M型,取样线垂直于主动脉瓣根部,并于主动脉瓣水平通过左心房(图3B)。在M型图上,于主动脉瓣打开前(舒张末期)从瓣环前壁内侧到瓣环后壁外侧测量主动脉根部直径^[6],并于左心房充盈最大时(收缩末期)测量左心房内径(图3C)^[6]。

推荐意见3:LA/Ao是经典指标,应常规测量。推荐在胸骨旁左心室长轴切面,使用M型超声在主动脉瓣打开前(舒张末期)测量主动脉根部直径,在心房充盈最大时(收缩末期)测量左心房内径。

2. 二尖瓣舒张早期血流峰流速与舒张晚期心房收缩血流峰流速的比值(E/A):E/A可作为反映左心房压力和容量负荷的指标。舒张期经二尖瓣进入左心室的血流分为两个阶段:第一阶段早期波(early wave, E波),是舒张早期由于左心房和左心室压力差引起被动血流的结果;第二阶段心房波(atrial wave, A波),是舒张晚期由于左心房收缩引起主动血流的结果。早产儿由于心肌不成熟,心肌顺应性差和舒张功能受限,从而限制了早期被动舒张血流,

多表现为E波小于A波,即 $E/A < 1$ 。在hsPDA早产儿中,PDA左向右分流可致左心房容量负荷增加,导致E波增加,从而使得 $E/A > 1$ ^[19]。但存在心房水平分流时,会减轻左心房的压力和容量负荷,导致此比值降低,因此需结合其他指标综合评估。

使用心尖四腔心切面进行测量,探头置于左侧锁骨中线第五肋间稍外侧,扇面稍向上倾斜,探头示标指向患儿左肩(图4A)。应依据个体心脏位置及容量状态微调探头。获得心尖四腔心切面后,采用PW多普勒进行测量,将取样容积置于二尖瓣瓣叶尖端水平(图4B)^[12],获取似“M”形频谱,分别测量E波和A波的峰流速,两者比值即为E/A(图4C)。

推荐意见4:E/A可作为辅助指标。在心尖四腔心切面,采用PW多普勒进行测量,取样容积置于二尖瓣瓣叶尖端水平。

3. 左心室等容舒张时间(isovolumic relaxation time, IVRT):IVRT是指在心动周期中,左心室开始舒张,主动脉瓣和二尖瓣处于关闭状态,左心室处于压力不断下降的等容封闭状态的时间。当左心室舒张至室内压低于房内压时,二尖瓣开放。

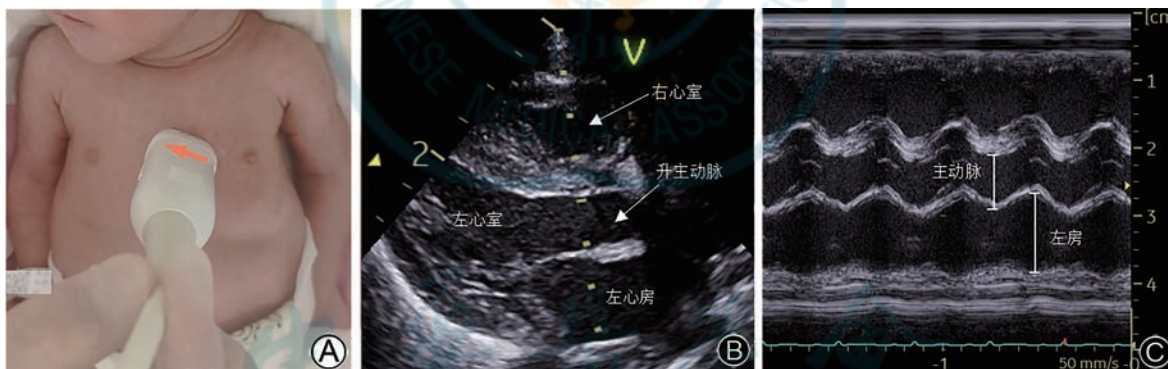


图3 胸骨旁左心室长轴切面测量左心房与主动脉根部直径的比值:A.探头位置和示标方向;B.胸骨旁左心室长轴切面;C.M型超声测量左心房与主动脉根部直径的比值

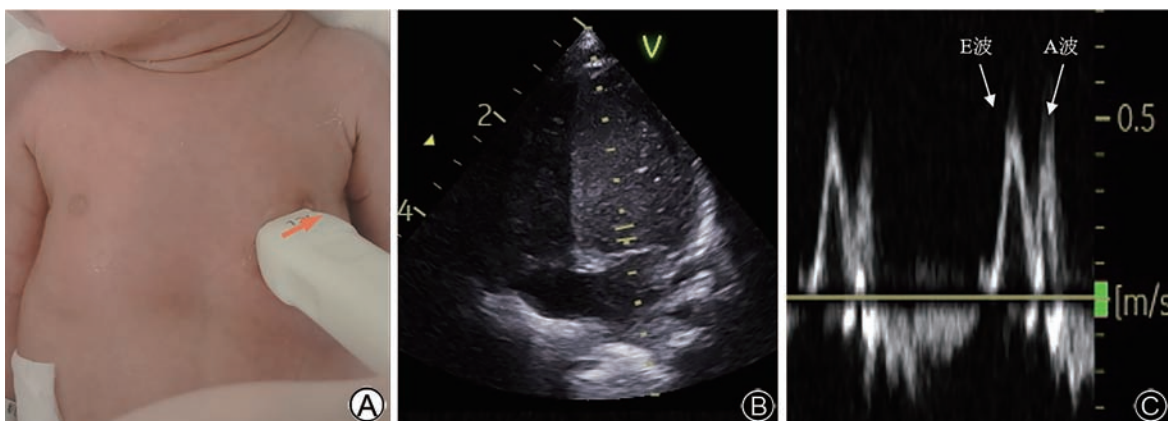


图4 心尖四腔心切面测量二尖瓣舒张早期血流峰流速与舒张晚期心房收缩血流峰流速比值:A.探头位置和示标方向;B.心尖四腔心切面和脉冲波多普勒取样容积位置;C.脉冲波多普勒测量E波和A波峰流速

IVRT 就是主动脉瓣关闭至二尖瓣打开之间的时间间隔,早产儿的 IVRT 长于足月儿。存在 hsPDA 时,左心房压力增加可致二尖瓣提前开放,因而 IVRT 缩短^[22]。在爱荷华 PDA 评分中,IVRT ≤ 50 ms 为有血流动力学意义的界值^[24]。IVRT 的局限性与前文 LA/Ao 及 E/A 类似。

测量切面选择心尖五腔心切面,在心尖四腔心切面的基础上,将探头稍作顺时针旋转并向上轻微倾斜扇面(图 5A),即可“打开”左心室流出道,获得心尖五腔心切面(图 5B)。使用 PW 多普勒将取样容积置于左心室流入道及流出道的交汇处^[12](图 5B),同时获取左心室流入道和流出道频谱,时间测量取样线分别置于多普勒频谱上的主动脉瓣关闭点与二尖瓣开放点(图 5C 中两条白色虚线的位置),即可获得 IVRT。

推荐意见 5: IVRT 可作为辅助指标。在心尖五腔心切面,使用 PW 多普勒进行测量,取样容积置于左心室流入道及流出道的交汇处。

4. 左心输出量(left ventricular output, LVO): PDA 左向右分流的血量进入肺循环,导致肺静脉回流到左心房的血量增加,从而增加左心前负荷,最终引起 LVO 增加。通常 LVO >300 ml/(kg·min) 提示可能存在 hsPDA^[10,25],显著分流时可达 400~600 ml/(kg·min)^[5,6]。需要注意的是,LVO 增加可能会误导临床医生认为全身血流灌注尚可,事实上由于动脉导管“窃血”现象的存在,全身组织器官的血流灌注往往不足,临床上解读时需谨慎。

LVO 需通过测量左心室流出道血流速度时间积分(velocity-time integral, VTI)及主动脉根部半径(radius, r)进行计算,公式为:LVO $=\pi r^2 \times \text{VTI} \times \text{心率}/\text{体$

重(kg)。测量 VTI 时采用心尖五腔心切面(探头位置及方向同 IVRT 测量),使用 PW 多普勒进行测量,取样线尽量平行于血流方向,取样容积置于主动脉瓣环水平(图 6A)^[12],获得稳定的负向主动脉收缩期频谱(空心三角形),描记频谱曲线下面积(图 6B 中白色虚线),即可获得 VTI。一般需描记 3 个连续频谱,取平均值。主动脉根部半径于胸骨旁左心室长轴切面测量(探头位置及方向同 LA/Ao 测量),在主动脉瓣打开时测量瓣环水平前后瓣叶附着点间距离(图 6C 中白色虚线),其 1/2 则为半径。

推荐意见 6: LVO 可作为辅助指标。在心尖五腔心切面,使用 PW 多普勒测量 VTI,取样容积置于主动脉瓣环水平;在胸骨旁长轴切面,当主动脉瓣打开时测量瓣环水平前后瓣叶附着点间距离,其 1/2 为主动脉根部半径。

5. 左肺动脉(left pulmonary artery, LPA)舒张末期血流流速:LPA 舒张末期血流流速也是评估 PDA 血流动力学的有用指标,流速高提示左向右分流大,肺灌注增加^[19,26]。生理状态下,左右肺动脉的血流主要发生在收缩期,舒张期无血流或仅有极少量血流。存在 hsPDA 情况下,左右肺动脉舒张期血流显著增加。由于超声检查频谱取样线更易与 LPA 平行,因此 LPA 是多普勒检查的首选位置,其舒张末期血流流速 >20 cm/s 通常被视为 hsPDA 致肺血流显著增加的标志^[6,19]。

测量时取胸骨旁大动脉短轴切面,切面是在胸骨旁左心室长轴切面的基础上,探头顺时针旋转 90°,探头示标指向患儿左侧锁骨中线(图 7A)。PW 多普勒取样容积置于近端 LPA 内进行测量,取样线尽量与血流方向平行(图 7B),获得 LPA 血流

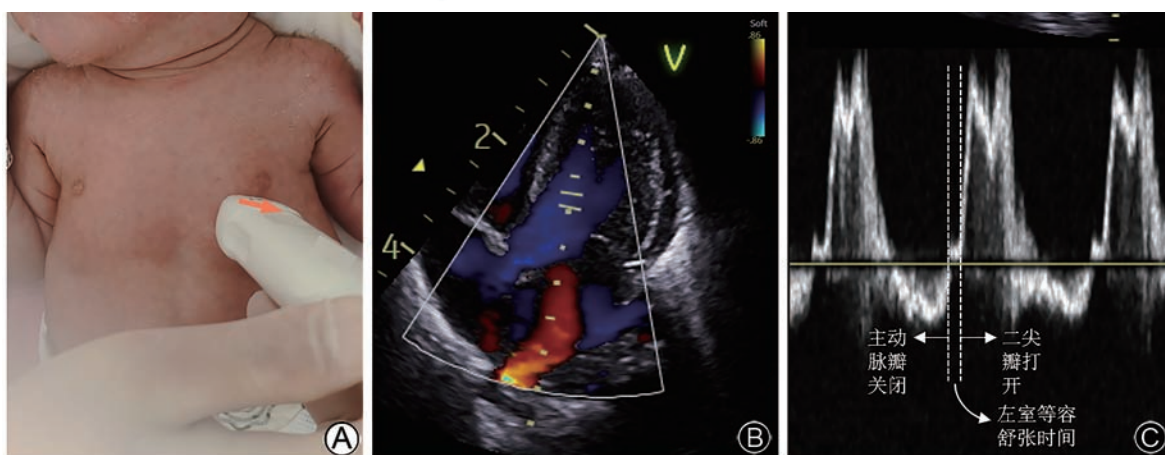


图 5 心尖五腔心切面测量左心室等容舒张时间:A.探头位置和示标方向;B.心尖五腔心切面和脉冲波多普勒取样容积位置;C.脉冲波多普勒测量左心室等容舒张时间

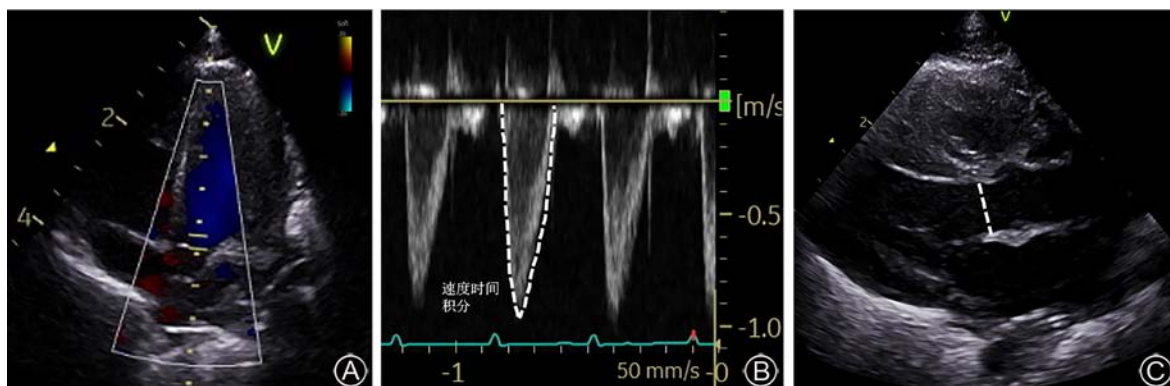


图6 左心输出量测量:A.心尖五腔心切面和脉冲波多普勒取样容积位置;B.脉冲波多普勒测量左心室流出道血流速度时间积分;C.胸骨旁左心室长轴切面测量主动脉根部半径

频谱后测量舒张末期血流流速(图7C)。

推荐意见7: LPA舒张末期血流流速可作为辅助指标。在胸骨旁大动脉短轴切面,使用PW取样容积置于近端LPA内,取样线尽量与LPA血流方向平行,测量LPA舒张末期血流流速。

(三)体循环低灌注指标

1.降主动脉舒张期血流方向:生理状态下,降主动脉收缩期和舒张期血流都是向下的正向血流。当存在动脉导管“窃血”时,降主动脉舒张期血流会消失,严重者会出现向上的逆向血流,提示存在体循环灌注不足。降主动脉舒张期血流消失或逆向流动是PDA分流显著的标志^[27-28],其中舒张期逆向血流被认为是PDA分流量大的特征性表现^[5,10]。因此,降主动脉舒张期血流方向在PDA血流动力学评估中具有至关重要的意义。

测量推荐取胸骨上窝切面,探头置于胸骨上窝,探头示标指向1~2点方向,探头稍向下倾斜,根据个体情况微调(图8A),使主动脉弓及其三个分支(头臂干、左颈总动脉和左锁骨下动脉)、降主动

脉及右肺动脉横截面显示出来(图8B)。采用PW多普勒进行测量,取样线尽量与降主动脉血流方向平行,取样容积置于降主动脉远端(通常为膈肌水平或稍上方),以避免分流引起的血流干扰^[12](图8B)。降主动脉舒张期三种血流方向如图8C所示。

推荐意见8: 鉴于降主动脉舒张期血流方向在PDA血流动力学评估中的重要性,应常规进行评估。在胸骨上窝切面,使用PW多普勒进行测量,取样线尽量与降主动脉血流方向平行,取样容积置于降主动脉远端。

2.腹腔干、肠系膜上动脉、大脑中动脉、肾动脉舒张期血流方向:生理状态下,腹腔干、肠系膜上动脉、大脑中动脉及肾动脉收缩期和舒张期血流都是流向相应器官的正向血流。存在hsPDA的情况下,这些动脉在舒张期亦可能出现血流消失或逆向血流,评估这些动脉的血流类型有助于评估各器官灌注情况。

通过PW多普勒获取这些动脉的血流频谱,以

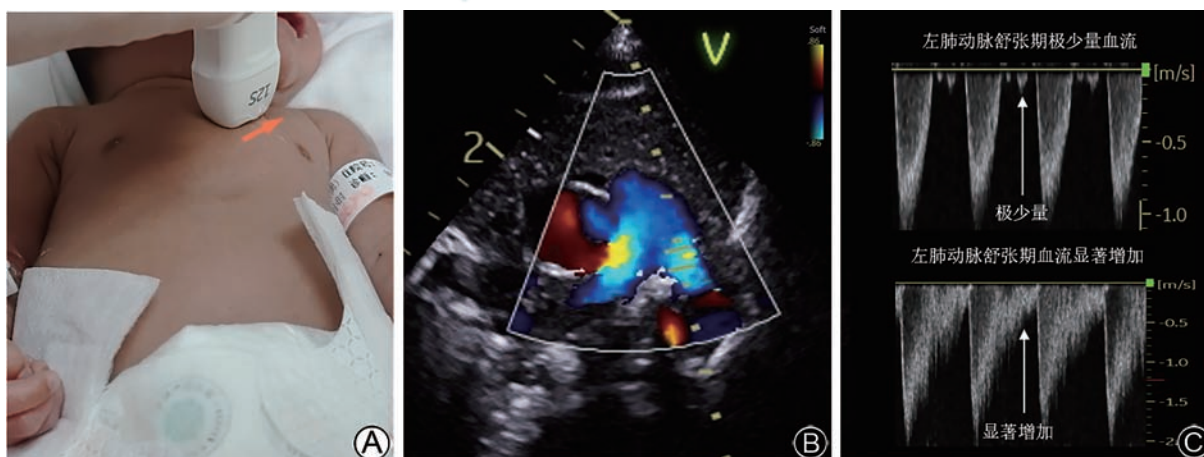


图7 胸骨旁大动脉短轴切面测量左肺动脉舒张末期血流流速:A.探头位置和示标方向;B.胸骨旁大动脉短轴切面和脉冲波多普勒取样容积位置;C.脉冲波多普勒测量左肺动脉舒张末期血流流速

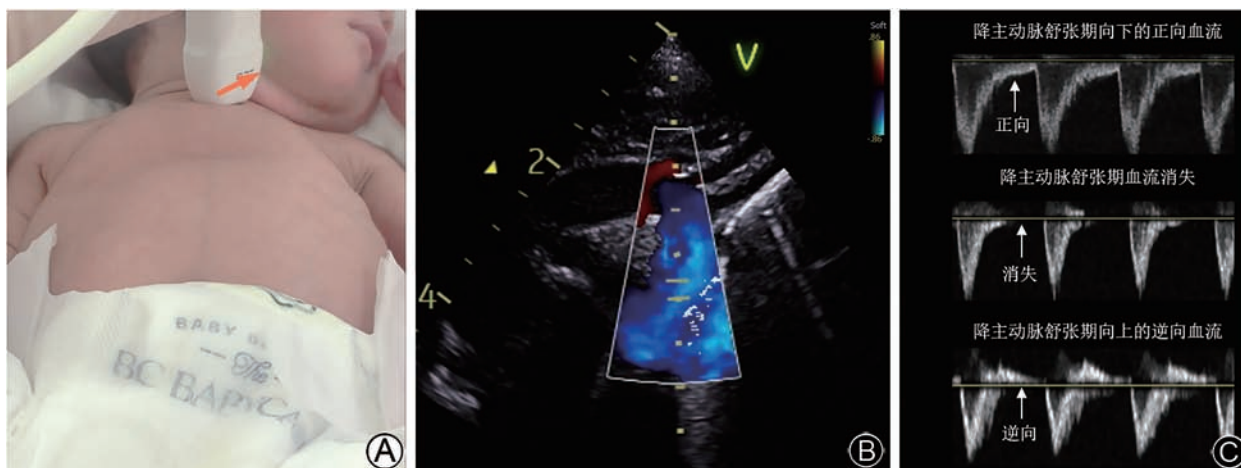


图8 胸骨上窝切面测量降主动脉舒张期血流方向:A.探头位置和示标方向;B.胸骨上窝切面和脉冲波多普勒取样容积位置;C.脉冲波多普勒测量降主动脉舒张期血流方向

确定舒张期血流方向。需要注意的是,在获取这些动脉彩色多普勒血流时,应适当下调彩色速度标尺以显示出低流速血流。各动脉测量方法如下:(1)腹腔干与肠系膜上动脉的测量(图9A):将探头置于剑突正下方,略偏中线左侧,探头示标指向上方。在2D成像上识别出腹主动脉,使用彩色多普勒识别腹腔干血流及位于腹腔干下方的肠系膜上动脉血流。PW多普勒测量时,取样容积分别置于这两条动脉的近端。因为这两条动脉的起始处非常接近,可能受呼吸运动的影响而发生干扰,测量时应注意避免互相干扰。(2)大脑中动脉的测量(图9B):将探头置于颞弓上方并与之平行(颞部),探头示标指向前方。使用彩色多普勒模式,轻微倾斜或滑动探头,以识别出大脑底部的Willis环,流向探头的红色大动脉血流即为大脑中动脉血流。PW多普勒测量时,取样容积置于大脑中动脉的近端。(3)肾动脉的测量(图9C):将探头放在脐部水平上方几厘米处的侧腰

部,探头示标指向上方。在2D成像中识别出肾脏长轴切面,使用彩色多普勒识别从腹主动脉流向肾门的血流,即为肾动脉血流。PW多普勒测量时,取样容积置于肾动脉发出分支之前。

推荐意见9:腹腔干、肠系膜上动脉、大脑中动脉、肾动脉舒张期血流方向可作为评估各器官低灌注程度的有效指标。

三、小结

本专家共识对床旁功能性超声心动图评估早产儿PDA血流动力学提供了规范化操作指导,见表1,以帮助新生儿科医生理解超声心动图指标在评估PDA血流动力学方面的意义。在当前早产儿PDA管理策略仍存在一定争议的背景下,新生儿科医生应全面评估PDA患儿的血流动力学,确定PDA分流引起的肺循环充血及体循环低灌注的严重程度,并结合临床症状和校正胎龄,权衡利弊,做出最佳决策。

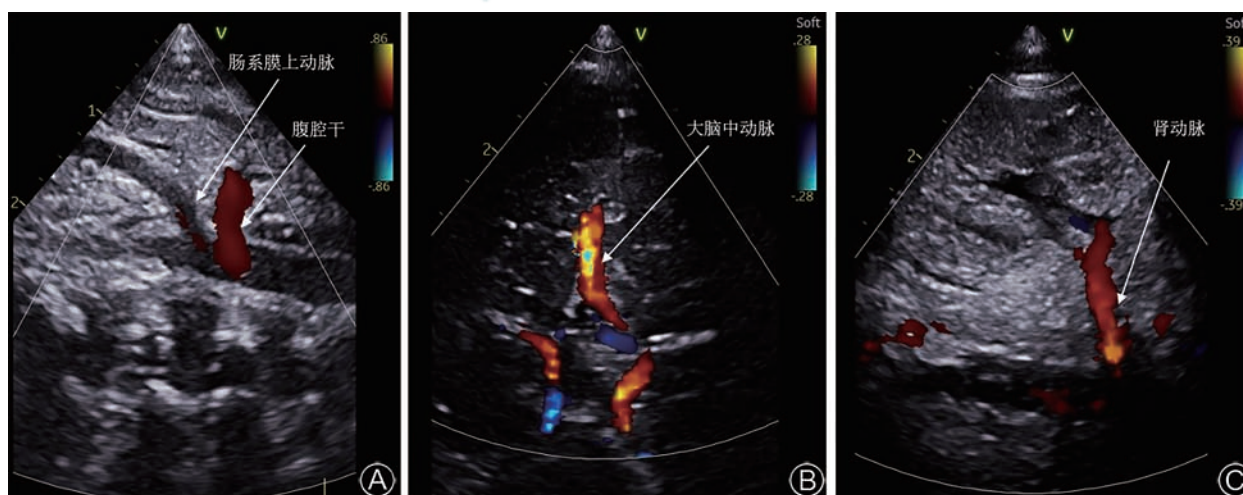


图9 不同动脉血流彩色多普勒图像:A.腹腔干和肠系膜上动脉;B.大脑中动脉;C.肾动脉



表1 床旁功能性超声心动图评估早产儿 PDA 的相关指标及操作要点

评估内容	指标	hsPDA 推荐分界值	切面	操作要点
动脉导管特征的直接评估				
大小	动脉导管直径	≥1.5 mm	胸骨上窝切面或高位胸骨旁切面, 见图 1	1. 显示出主肺动脉和降主动脉, 使 PDA 全长可视化 2. 当心动周期分流达峰值时, 在 2D 图像上 PDA 全长最窄处测量直径
	动脉导管直径/体重	≥1.5 mm/kg		
	动脉导管直径/左肺动脉直径	≥0.5		
分流类型	完全右向左型分流	增长型或非限制型分流	胸骨上窝切面或高位胸骨旁切面, 见图 2	1. 优先使用 PW, 取样容积放置于 PDA 最窄处 2. 动脉导管流速较快时(通常>2 m/s), 可能会出现“混叠”现象, 则需使用 CW 3. 使用 CW 时, 需确保多普勒声束通过 PDA 的最窄处, 并尽量与血流方向平行
	双向型分流			
	增长型分流			
	非限制型分流			
	限制型分流			
分流量的间接评估				
肺循环充血	左心房与主动脉根部直径比值	≥1.5	胸骨旁左心室长轴切面, 见图 3	1.M 型超声测量左心房和主动脉根部直径 2. 左心房直径在心房充盈最大时(收缩末期)测量, 主动脉根部直径在主动脉瓣打开前(舒张末期)测量
	二尖瓣舒张早期血流与舒张晚期心房收缩血流峰流速比值	>1	心尖四腔心切面, 见图 4	1.PW, 取样容积置于二尖瓣瓣叶尖端水平 2. 测量 E 波和 A 波的峰流速
	左心室等容舒张时间	≤50 ms	心尖五腔心切面, 见图 5	PW, 取样容积置于左心室流入道及流出道的交汇处
	左心输出量	>300 ml/(kg·min)	心尖五腔心切面, 见图 6	1.PW, 取样容积置于主动脉瓣环水平 2. 取样线尽量平行于左心室流出道血流方向
	左肺动脉舒张末期血流流速	>20 cm/s	胸骨旁大动脉短轴切面, 见图 7	1.PW, 取样容积置于近端左肺动脉内 2. 取样线尽量平行于左肺动脉血流方向
体循环低灌注	降主动脉舒张期血流方向	消失或逆向	胸骨上窝切面, 见图 8	1.PW, 取样容积置于降主动脉远端, 通常在膈肌水平或稍上方位置 2. 取样线尽量平行于降主动脉血流方向
	腹腔干舒张期血流方向		剑突下降主动脉矢状切面, 见图 9	PW, 取样容积置于腹腔干近端
	肠系膜上动脉舒张期血流方向		剑突下降主动脉矢状切面, 见图 9	PW, 取样容积置于肠系膜上动脉近端
	大脑中动脉舒张期血流方向		头部颞区切面, 见图 9	1.PW, 取样容积置于大脑中动脉近端 2. 适当下调彩色速度标尺以显示低流量血流
	肾动脉舒张期血流方向		经侧腰肾脏长轴切面, 见图 9	1.PW, 取样容积置于肾动脉发出分支之前 2. 适当下调彩色速度标尺以显示低流量血流

注: PDA 为动脉导管未闭, hsPDA 为有血流动力学意义的 PDA, PW 为脉冲波, CW 为连续波

(钱爱民 杜娟 肖甜甜 侯新琳 程锐 周文浩 执笔)

参与本专家共识讨论的专家(按单位及姓氏汉语拼音排序): 北京大学第三医院(陈俊雅、黄春玲); 北京大学第一医院(侯新琳、谢瑶、朱毓纯); 北京协和医院(有慧、张乐嘉); 电子科技大学医学院附属妇女儿童医院/成都市妇女儿童中心医院(肖甜甜); 福建省妇幼保健院(翁宗杰); 复旦大学附属儿科医院(高燕燕); 广东省妇幼保健院(任建兵); 广西壮族自治区妇幼保健院(李燕、莫艳); 广州市妇女儿童医疗中心(申屠伟慧、周文浩); 广州医科大学附属第三医院(陈兢思); 河北医科大学第三医院(王伟); 吉林大学第一医院(党丹); 临夏回族自治州人民医院(马春兰); 南京市妇幼保健院(韩树萍、钱苗、朱金改); 南京医科大学附属儿童医院(陈俊-超声科、程锐、钱爱民、朱善良); 内蒙古医科大学附属医院(刘春丽); 青岛大学附属医院(姜红、李向红); 泉州市妇幼保健院(陈添峰); 山东大学齐鲁医院(罗霞); 山西医科大学

第一医院(刘彩城); 上海交通大学医学院附属上海儿童医学中心(张玉奇); 上海交通大学医学院附属新华医院(赵冬莹); 上海市第一妇婴保健院(任敏); 深圳市宝安区妇幼保健院(石桥); 深圳市妇幼保健院(宗海峰); 首都医科大学附属北京儿童医院(杜娟、黑明燕); 四川大学华西第二医院(陈荟竹、唐英); 四川省妇幼保健院(何冠南、康敏); 温州医科大学附属第二医院(吴道珠、朱敏丽); 西安交通大学第一附属医院(韩蓁); 西北妇女儿童医院(白瑞苗、李占魁、闫锐); 西南医科大学附属医院(康兰、雷小平); 新疆维吾尔自治区儿童医院(张慧); 云南省第一人民医院(颜芳); 浙江大学(吴丹); 浙江大学医学院附属儿童医院(石巍); 浙江大学医学院附属妇产科医院(马晓路); 郑州大学第三附属医院(李文丽、尚红磊); 郑州大学第一附属医院(赵艳萍); 中国福利会国际和平妇幼保健院/上海交通大学医学院附属国际和平妇幼保健院(陈萍); 中国科学技术大学附属第一医院(王雪松); 中国医科



大学附属盛京医院(富建华);中南大学湘雅医院(谌奎芳)

利益冲突 所有作者声明无利益冲突

参 考 文 献

- [1] 钱爱民,程锐,顾昕玥,等.中国极早产儿动脉导管未闭的治疗现状[J].中华儿科杂志,2023,61(10):896-901. DOI: 10.3760/cma.j.cn112140-20230706-00440.
- [2] Ambalavanan N, Aucott SW, Salavitar A, et al. Patent ductus arteriosus in preterm infants[J]. Pediatrics, 2025, 155(5):e2025071425. DOI: 10.1542/peds.2025-071425.
- [3] Runte KE, Flyer JN, Edwards EM, et al. Variation of patent ductus arteriosus treatment in very low birth weight infants[J]. Pediatrics, 2021, 148(5): e2021052874. DOI: 10.1542/peds.2021-052874.
- [4] Hamrick S, Sallmon H, Rose AT, et al. Patent ductus arteriosus of the preterm infant[J]. Pediatrics, 2020, 146(5):e20201209. DOI: 10.1542/peds.2020-1209.
- [5] Shepherd JL, Noori S. What is a hemodynamically significant PDA in preterm infants? [J]. Congenit Heart Dis, 2019,14(1):21-26. DOI: 10.1111/chd.12727.
- [6] Siassi B, Noori S, Acherman R, et al. Practical neonatal echocardiography[M]. New York: McGraw-Hill, 2019:163-178.
- [7] 钱爱民,朱雯,杨洋,等.超早产儿有血流动力学意义的动脉导管未闭危险因素分析[J].中华新生儿科杂志,2021,36(6):18-22. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2096-2932.2021.06.004.
- [8] 高翔羽.极/超早产儿有血流动力学意义的动脉导管未闭的管理策略[J].中华新生儿科杂志,2024,39(2):65-69. DOI: 10.3760/cma.j.issn.2096-2932.2024.02.001.
- [9] Backes CH, Hill KD, Shelton EL, et al. Patent ductus arteriosus: a contemporary perspective for the pediatric and adult cardiac care provider[J]. J Am Heart Assoc, 2022,11(17):e025784. DOI: 10.1161/JAHA.122.025784.
- [10] Jain A, Shah PS. Diagnosis, evaluation, and management of patent ductus arteriosus in preterm neonates[J]. JAMA Pediatr, 2015,169(9):863-872. DOI: 10.1001/jamapediatrics.2015.0987.
- [11] Conlon TW, Baker D, Bhombal S. Cardiac point-of-care ultrasound: Practical integration in the pediatric and neonatal intensive care settings[J]. Eur J Pediatr, 2024, 183(4):1525-1541. DOI: 10.1007/s00431-023-05409-y.
- [12] McNamara PJ, Jain A, El-Khuffash A, et al. Guidelines and recommendations for targeted neonatal echocardiography and cardiac point-of-care ultrasound in the neonatal intensive care unit: an update from the American Society of Echocardiography[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2024, 37(2):171-215. DOI: 10.1016/j.echo.2023.11.016.
- [13] Clyman RI, Liebowitz M, Kaempf J, et al. PDA-TOLERATE Trial: an exploratory randomized controlled trial of treatment of moderate-to-large patent ductus arteriosus at 1 week of age[J]. J Pediatr, 2019, 205: 41-48. e6. DOI: 10.1016/j.jpeds.2018.09.012.
- [14] Hundscheid T, Onland W, Kooi E, et al. Expectant management or early ibuprofen for patent ductus arteriosus[J]. N Engl J Med, 2023,388(11):980-990. DOI: 10.1056/NEJMoa2207418.
- [15] Gupta S, Subhedar NV, Bell JL, et al. Trial of selective early treatment of patent ductus arteriosus with ibuprofen[J]. N Engl J Med, 2024, 390(4): 314-325. DOI: 10.1056/NEJMoa2305582.
- [16] Liguori MB, Ali S, Bussman N, et al. Patent ductus arteriosus in premature infants: clinical trials and equipoise[J]. J Pediatr, 2023,261:113532. DOI: 10.1016/j.jpeds.2023.113532.
- [17] Ramos FG, Rosenfeld CR, Roy L, et al. Echocardiographic predictors of symptomatic patent ductus arteriosus in extremely-low-birth-weight preterm neonates[J]. J Perinatol, 2010, 30(8): 535-539. DOI: 10.1038/jp.2010.14.
- [18] Harling S, Hansen-Pupp I, Baigi A, et al. Echocardiographic prediction of patent ductus arteriosus in need of therapeutic intervention[J]. Acta Paediatr, 2011, 100(2): 231-235. DOI: 10.1111/j.1651-2227.2010.02027.x.
- [19] Singh Y, Fraisse A, Erdevi O, et al. Echocardiographic diagnosis and hemodynamic evaluation of patent ductus arteriosus in extremely low gestational age newborn (ELGAN) infants[J]. Front Pediatr, 2020, 8: 573627. DOI: 10.3389/fped.2020.573627.
- [20] Su BH, Watanabe T, Shimizu M, et al. Echocardiographic assessment of patent ductus arteriosus shunt flow pattern in premature infants[J]. Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed, 1997,77(1):F36-40. DOI: 10.1136/fn.77.1.f36.
- [21] Smith A, Maguire M, Livingstone V, et al. Peak systolic to end diastolic flow velocity ratio is associated with ductal patency in infants below 32 weeks of gestation[J]. Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed, 2015,100(2):F132-136. DOI: 10.1136/archdischild-2014-306439.
- [22] van Laere D, van Overmeire B, Gupta S, et al. Application of NPE in the assessment of a patent ductus arteriosus[J]. Pediatr Res, 2018, 84(Suppl 1): 46-56. DOI: 10.1038/s41390-018-0077-x.
- [23] Silverman NH, Lewis AB, Heymann MA, et al. Echocardiographic assessment of ductus arteriosus shunt in premature infants[J]. Circulation, 1974,50(4):821-825. DOI: 10.1161/01.cir.50.4.821.
- [24] Rios DR, Martins FF, El-Khuffash A, et al. Early role of the atrial-level communication in premature infants with patent ductus arteriosus[J]. J Am Soc Echocardiogr, 2021, 34(4):423-432.e1. DOI: 10.1016/j.echo.2020.11.008.
- [25] El-Khuffash AF, McNamara PJ. Neonatologist-performed functional echocardiography in the neonatal intensive care unit[J]. Semin Fetal Neonatal Med, 2011,16(1):50-60. DOI: 10.1016/j.siny.2010.05.001.
- [26] Suzumura H, Nitta A, Tanaka G, et al. Diastolic flow velocity of the left pulmonary artery of patent ductus arteriosus in preterm infants[J]. Pediatr Int, 2001,43(2):146-151. DOI: 10.1046/j.1442-200x.2001.01365.x.
- [27] Broadhouse KM, Price AN, Durighe G, et al. Assessment of PDA shunt and systemic blood flow in newborns using cardiac MRI[J]. NMR Biomed, 2013, 26(9): 1135-1141. DOI: 10.1002/nbm.2927.
- [28] Singh Y, Chan B, Noori S, et al. Narrative review on echocardiographic evaluation of patent ductus arteriosus in preterm infants[J]. J Cardiovasc Dev Dis, 2024, 11(7): 199. DOI: 10.3390/jcdd11070199.

