



全文二维码

早产儿动脉导管未闭手术治疗新进展

施旭聪 翁建彬 李建华

国家儿童健康与疾病临床医学研究中心, 国家儿童区域医疗中心, 浙江大学医学院附属儿童医院心脏外科, 杭州 310052

通信作者: 李建华, Email: lijh@zju.edu.cn

【摘要】 早产儿动脉导管未闭(patent ductus arteriosus, PDA)的发病率较高,特别是在出生胎龄<28周的超早产儿(extremely preterm infant, EPI)中。血流动力学异常的PDA如持续存在,不仅可引起一系列并发症,还是早产儿死亡率升高的重要危险因素。关于早产儿PDA的管理一直是新生儿医学领域的热点,本文从PDA手术干预指征及手术疗效出发,对早产儿PDA的手术治疗进展作一综述。

【关键词】 动脉导管未闭/外科学; 心脏外科手术/方法; 婴儿, 早产

DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202009019-018

Recent advances in surgical treatment of patent ductus arteriosus in premature infants

Shi Xucong, Weng Jianbin, Li Jianhua

National Clinical Research Center for Child Health/National Children's Regional Medical Center/Children's Hospital, Zhejiang University School of Medicine, Hangzhou 310052, China

Corresponding Author: Li Jianhua, Email: lijh@zju.edu.cn

【Abstract】 Patent ductus arteriosus(PDA) has a relatively high incidence in preterm infants, especially in extremely premature infants(EPI) with a gestational age under 28 weeks. Continuous opening of PDA with abnormal hemodynamics not only causes a series of complications, but also acts as an important factor for a rising mortality of premature infants. Managing PDA in premature infants has always been a hot spot in neonatal medicine. This review summarized intervention indications and surgical efficacies of PDA in premature infants.

【Key words】 Patent Ductus Arteriosus/SU; Cardiac Surgical Procedures/MT; Infant, Premature

DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202009019-018

动脉导管未闭(patent ductus arteriosus, PDA)是常见的先天性心脏病之一,早产儿发病率明显高于足月儿。Clyman等^[1]报道在出生后第4天的新生儿中,胎龄30~37周的早产儿PDA发病率约10%,胎龄25~28周的早产儿PDA发病率约80%,而胎龄24周的早产儿PDA发病率高达90%;至出生后第7天,上述不同胎龄早产儿PDA的发病率依次下降为2%、65%、87%。由此可见,在出生胎龄<28周的超早产儿(extremely preterm infant, EPI)中,PDA的发病率非常高,也是需要手术干预的主要人群。

PDA引起的左向右分流(主动脉分流到肺动脉)可导致肺循环、左心房、左心室血流量增加以及体循环血流量不足^[2-3]。早产儿肺循环毛细血管通透性高,心力储备低,重要脏器对低灌注敏感,动脉导管持续开放,容易导致支气管肺发育不良、肺出血、充血性心力衰竭、脑室周围白质软化、坏死性小肠结肠炎、早产儿视网膜病、早产儿骨发育不良、肾功能不全等并发症^[2]。有研究发现PDA患儿持续左向右分流会导致早产儿死亡率的增加^[4]。

1938年Gross成功开展了首例动脉导管结扎术,这是目

前临床上针对药物治疗无效早产儿PDA的主要治疗方式。迄今为止,国际上对于早产儿PDA的最佳管理策略及最佳干预时机仍未有定论,对于PDA手术干预的利弊也存有争议。本文结合国内外文献,从早产儿PDA手术干预指征及手术疗效出发,对早产儿PDA的手术治疗进展进行综述。

一、血流动力学异常的PDA

国际上将血流动力学改变显著,出现相应临床表现及并发症的PDA称为血流动力学异常的PDA(hemodynamically significant patent ductus arteriosus, hsPDA),但关于hsPDA的诊断标准至今尚未达成共识。临床上一直沿用临床参数定义症状性PDA,并分级如下:①轻度:氧合困难(氧合指数<6);偶尔(<6次)出现氧饱和度降低、心动过缓或呼吸暂停;需要呼吸支持(无创正压通气)或机械通气[平均气道压<8 cmH₂O(1 cmH₂O=0.098 kPa)];喂养不耐受(>20%胃潴留);存在肺血管增多的放射学证据。②中度:氧合困难(氧合指数7~14);频繁(每小时)发作的氧饱和度降低、心动过缓或呼吸暂停;机械通气要求增加(平均气道压9~12 cmH₂O);由于明显的腹胀或呕吐而不能进食;少尿伴血浆肌

酐轻度升高;全身性低血压(低平均血压或舒张压),需要强心药治疗;有心脏肥大或肺水肿的放射学证据;轻度代谢性酸中毒[pH 7.1~7.25 和(或)碱缺乏 $-7\sim-12$]。③重度:氧合困难(氧合指数 >15);机械通气要求高(平均气道压 $>12\text{ cmH}_2\text{O}$)或需要高频振荡模式;深部或复发性肺出血;“坏死性小肠结肠炎样”腹胀伴压痛或红斑;急性肾衰竭;血流动力学不稳定需要超过一种强心药治疗;中-重度代谢性酸中毒[pH <7.1 和(或)碱缺乏 >-12]^[5]。

随着超声心动图在临床应用中的发展,各种客观测量值已被广泛用于评估 PDA 导致的血液动力学改变。McNamara PJ 等归纳超声指标并分级为:①中型 hsPDA:导管直径 $1.5\sim3.0\text{ mm}$;非限制性脉冲式导管血流($V_{\max}<2.0\text{ m/s}$);轻-中度左心容量负荷(如左房/主动脉比例为 $1.5\sim2$);轻-中度左心压力负荷(如“左心室舒张早期快速充盈的充盈峰/左心室舒张晚期快速充盈的充盈峰”的比值 >1.0 或等容舒张时间 $50\sim60$);肠系膜上动脉/中脑动脉/肾动脉的舒张期血流减少或缺失。②大型 hsPDA:导管直径 $>3.0\text{ mm}$;非限制性脉冲式导管血流;重度左心容量负荷(如左房/主动脉比例 >2 ,二尖瓣反流流速 $>2\text{ m/s}$);重度左心压力负荷(如左心室舒张早期快速充盈的充盈峰/左心室舒张晚期快速充盈的充盈峰的比值 >1.5 或等容舒张时间 >60);肠系膜上动脉/中脑动脉/肾动脉的舒张期血流逆流^[5]。

超声心动图还可作为 PDA 是否发展为 hsPDA 的预测手段,有研究发现,出生后第一个 12 h 的动脉导管长度 $<5.2\text{ mm}$ 可以预测出生后 72 h 的 hsPDA^[6]。由于早产儿出生后早期 PDA 呈动态变化,进行连续超声心动图评估而非仅依赖于一个时间点测量,对于指导早产儿 PDA 的后续治疗非常重要。

二、关于 PDA 手术干预的指征

对于早产儿 PDA 的手术治疗目前国际上仍存在较大争议^[1,7-8]。多数专家不主张预防性结扎,建议采取一个或多个疗程的非甾体抗炎药和(或)对乙酰氨基酚治疗作为一线药物治疗,以下情况可考虑手术结扎:①持续存在 hsPDA 的患儿;②存在药物治疗禁忌,如坏死性小肠结肠炎、急性肾功能衰竭;③患儿心肺功能不稳定需要紧急手术。如果药物治疗被认定为失败(定义为尽管进行了 2 个疗程的药物治疗,但仍存在中度至重度的症状性 PDA),可考虑行动脉导管结扎术或经导管封堵术^[9-14]。

目前的趋势是减少对早产儿 PDA 的积极治疗。Cassady 等^[15]对体重 $<1\,000\text{ g}$ 且需要吸氧治疗的早产儿进行 PDA 预防性结扎(出生 72 h 内),与后期干预或不干预的早产儿 PDA 进行对比发现,PDA 预防性结扎后坏死性小肠结肠炎的发病率下降。Clyman 等^[16]重新检查了 Cassady 的数据,发现 PDA 预防性结扎后支气管肺发育不良的发病率会增加。Mossalli 等^[17]总结了以往随机试验研究结果,提出对早产儿 PDA 行预防性结扎并不能降低早产儿的死亡率或支气管肺发育不良的发病率。Rolland 等^[18]每周用超声心动图检查早产儿 PDA 的闭合情况,在不使用药物或手术干预的情况下,

73%的早产儿 PDA 在出院前已自然闭合。最近美国一组出生胎龄 23~30 周的早产儿 PDA 结扎率从 2006 年的 8.4% 下降到 2015 年的 2.9%,手术年龄也从 2006 年的 8 日龄增加至 2015 年的 22 日龄^[19]。基于以上临床试验证据及高自然闭合率,预防性结扎术已不适用于早产儿 PDA 的管理。

Cotton 等^[20]招募 25 例伴有症状性 PDA 的极低出生体重儿(平均胎龄 28 周),随机分为外科手术结扎组或继续药物治疗组,手术结扎组的患儿成功拔管的时间明显早于继续药物治疗组。Levitsky 等^[21]抽取 31 例伴有症状性 PDA 和呼吸窘迫综合征的早产儿(平均胎龄 31 周),随机分为手术结扎组和药物治疗组,两组治疗结局相似,但是药物治疗组中有近 50% 的患儿进行了挽救性动脉导管结扎术。Weisz 等^[22]指出,对于持续存在 hsPDA 的患儿进行手术结扎可降低早产儿死亡率,且不会增加慢性肺病、早产儿视网膜病、神经发育障碍的发生率。Krishnappa 等^[23]报道动脉导管直径 $>2.5\text{ mm}$ 和左心室扩张(Z 值 >2)是动脉导管结扎术后早期成功脱离机械通气的预测因子。由此可见,多数文献对于持续存在的 hsPDA 主张手术干预的治疗策略。

Wickremasinghe 等^[24]将 PDA 治疗的传统模式(吲哚美辛治疗失败后立即进行手术结扎,无论 PDA 是否具有血流动力学异常)与“选择性结扎”的模式(吲哚美辛治疗失败后,当患儿出现以下情况,如数天内呼吸机参数要求升高、需使用正性肌力药物,少尿/肾衰竭,喂养不耐受/体重不增长,则进行手术结扎)对比,发现两组死亡率、支气管肺发育不良和早产儿视网膜病的发生率相似,但“选择性结扎”组患儿坏死性小肠结肠炎和神经发育障碍的发病率降低。近期 Wang 等^[25]对 10 年间接受动脉导管结扎术的新生儿进行了回顾性研究,发现手术时年龄超过 28 d 与中重度支气管肺发育不良的发病率增加有关。应选择早期或晚期手术干预目前尚无定论,寻找早产儿 PDA 的最佳手术干预时间点是当今研究的重点,目前也有大型随机试验研究正在进行中^[26]。

三、动脉导管结扎术的新进展

有多项大规模回顾性队列研究指出,与单纯的药物治疗相比,行动脉导管结扎术的患儿发生新生儿不良结局及神经发育障碍的几率较高^[1,16,27]。Weisz 等^[28]对 754 例伴有 PDA 的超早产儿进行队列研究,用多变量 Logistic 回归分析校正产前、围产期和出生后的影响因素(包括机械通气持续时间和强度、坏死性小肠结肠炎和败血症等疾病的发病率)后,再比较药物治疗组与结扎手术组的结局。当仅校正产前和围产期的影响因素(如胎龄、性别、多胎等)时,动脉导管结扎术与支气管肺发育不良、早产儿视网膜病和神经发育障碍的发病率增加有关,这与既往研究结果相似,但经进一步校正出生后影响因素(如败血症、严重脑室内出血、正性肌力药的使用、平均气道压力、有创通气时间、吲哚美辛的总剂量等)后,结扎术与任何新生儿不良结果均无关。这说明先前报道的动脉导管结扎术与新生儿不良结局及神经发育障碍之间的关联,可能是由于队列研究方案设计问题所造成的混淆,而不是动脉导管结扎术真正有害的因果效应。该研究表明,对

于早产儿 PDA, 临床医生不必因为担心新生儿不良结局及神经发育障碍而延迟或规避行结扎手术的治疗策略。

早产儿 PDA 的手术方式包括传统经左胸后外侧肋间动脉导管结扎术、经左前胸第二肋间小切口动脉导管结扎术以及近年来推崇的床旁动脉导管结扎术。国内外有较多不同术式的临床研究报告^[30]。传统的后外侧开胸手术方式可能会导致肺损伤和潜在的脊柱和胸壁畸形, 手术操作过程中要注意肺组织和肋骨的保护。近年来开展的左前胸小切口手术方式, 切口更靠近 PDA, 只有左肺尖被轻轻牵开, 损伤较小^[31]。采用巡回手术小组模式在不同新生儿重症监护室进行床旁动脉导管结扎术安全有效, 是目前国内外推崇的医疗模式^[32]。床旁动脉导管结扎术的主要优点包括避免低体温, 延续术前高频通气的条件, 降低气管导管移位和意外拔管的风险。Lee 等^[33]指出, 与手术室相比, 监护室床旁施行动脉导管结扎术不会增加手术部位的感染率和术后死亡率。

四、新兴的经导管封堵术

由于缺乏合适的装置设备, 经导管封堵术在新生儿中的应用受到限制, 特别是低体重低胎龄的早产儿。随着技术的进步, 目前国内外一些医疗中心已陆续发表了一些成功的案例^[34-35]。经导管封堵术的优点是避免了开放性动脉导管结扎术的相关并发症, 缺点是全身肝素化引起凝血功能障碍、动脉血栓形成、X 射线和造影剂存在风险、封堵器栓塞或伸入左肺动脉引起狭窄或闭塞, 以及由于右心室壁穿孔而导致的严重心包压塞等^[36-37]。近期 Wei 等^[38]对 401 例极低出生体重儿分别行导管和外科干预, 发现经导管封堵组显示出干预后呼吸轨迹早期改善的趋势, 但两组之间差异无统计学意义。总体而言, 经导管封堵术治疗早产儿 PDA 是一种可行的替代方法, 但需要为早产儿低体重儿设计生产更合适的微型封堵器及相应的输送装置, 并且需要与动脉导管结扎术进行大型的随机临床试验对比来进一步验证。

五、小结与展望

关于早产儿 PDA 的管理仍然是新生儿医学中激烈争论的话题, 80% 的心脏病专家认为, 关闭 PDA 对早产儿临床结果有积极影响, 但只有 54% 的新生儿专家同意这一观点^[39]。目前仍未能对 hsPDA 的定义及其最佳治疗时机达成共识。随着新生儿重症监护技术的发展, 外科动脉导管结扎术的应用范畴似乎在缩小, 近年来几乎主要是在 EPI 人群内考虑的治疗方式。绝大多数研究报告不推荐预防性结扎, 对于持续存在的 hsPDA 主张手术结扎, 最佳的手术干预时间点是当今研究的重点。在早产儿中应用经导管封堵术来治疗 PDA 是令人振奋的, 但其仍处于起步阶段, 需要与外科手术进行大型随机临床试验来对比验证。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

作者贡献声明 文献检索为施旭聪、翁建彬, 论文撰写为施旭聪、翁建彬, 论文讨论分析为施旭聪、李建华

参 考 文 献

[1] Clyman RI, Couto J, Murphy GM. Patent ductus arteriosus: are

current neonatal treatment options better or worse than no treatment at all? [J]. *Semin Perinatol*, 2012, 36 (2): 123 - 129. DOI:10.1053/j.semperi.2011.09.022.

[2] Conrad C, Newberry D. Understanding the pathophysiology, implications, and treatment options of patent ductus arteriosus in the neonatal population [J]. *Adv Neonatal Care*, 2019, 19 (3): 179 - 187. DOI:10.1097/ANC.0000000000000590.

[3] Vettukattil JJ. Pathophysiology of patent ductus arteriosus in the preterm infant [J]. *Curr Pediatr Rev*, 2016, 12 (2): 120 - 122. DOI:10.2174/157339631202160506002215.

[4] Noori S, McCoy M, Friedlich P, et al. Failure of ductus arteriosus closure is associated with increased mortality in preterm infants [J]. *Pediatrics*, 2009, 123 (1): e138 - 144. DOI:10.1542/peds.2008-2418.

[5] McNamara PJ, Sehgal A. Towards rational management of the patent ductus arteriosus: the need for disease staging [J]. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*, 2007, 92 (6): F424 - F427. DOI:10.1136/adc.2007.118117.

[6] Polat TB, Celik IH, Erdevi O. Early predictive echocardiographic features of hemodynamically significant patent ductus arteriosus in preterm VLBW infants [J]. *Pediatr Int*, 2016, 58 (7): 589 - 594. DOI:10.1111/ped.12915.

[7] Raval MV, Laughon MM, Bose CL, et al. Patent ductus arteriosus ligation in premature infants: who really benefits, and at what cost? [J]. *J Pediatr Surg*, 2007, 42 (1): 69 - 75. DOI:10.1016/j.jpedsurg.2006.09.040.

[8] Weisz DE, Giesinger RE. Surgical management of a patent ductus arteriosus: Is this still an option? [J]. *Semin Fetal Neonatal Med*, 2018, 23 (4): 255 - 266. DOI:10.1016/j.siny.2018.03.003.

[9] Su BH, Lin HY, Chiu HY, et al. Therapeutic strategy of patent ductus arteriosus in extremely preterm infants [J]. *Pediatr Neonatol*, 2020, 61 (2): 133 - 141. DOI:10.1016/j.pedneo.2019.10.002.

[10] Wu YH, Chang SW, Chen CC, et al. Differential determinants of patent ductus arteriosus closure for prematurity of varying birth body weight: A Retrospective Cohort Study [J]. *Pediatr Neonatol*, 2020, 61 (5): 513 - 521. DOI:10.1016/j.pedneo.2020.05.011.

[11] Lee JA, Sohn JA, Oh S, et al. Perinatal risk factors of symptomatic preterm patent ductus arteriosus and secondary ligation [J]. *Pediatr Neonatol*, 2020, 61 (4): 439 - 446. DOI:10.1016/j.pedneo.2020.03.016.

[12] Stankowski T, Aboul-Hassan SS, Fritzsche D, et al. Surgical closure of patent ductus arteriosus in extremely low birth weight infants weighing less than 750 grams [J]. *Kardiol Pol*, 2018, 76 (4): 750 - 754. DOI:10.5603/KP.2018.0009.

[13] Othman HF, Linfield DT, Mohamed MA, et al. Ligation of patent ductus arteriosus in very low birth weight premature infants [J]. *Pediatr Neonatol*, 2020, 61 (4): 399 - 405. DOI:10.1016/j.pedneo.2020.03.009.

[14] Lehenbauer DG, Fraser CD, 3rd, Crawford TC, et al. Surgical closure of patent ductus arteriosus in premature neonates weighing less than 1000 grams: contemporary outcomes [J]. *World J Pediatr Congenit Heart Surg*, 2018, 9 (4): 419 - 423. DOI:10.1177/2150135118766454.

[15] Cassady G, Crouse DT, Kirklin JW, et al. A randomized, controlled trial of very early prophylactic ligation of the ductus arteriosus in babies who weighed 1000 g or less at birth [J]. *N Engl J Med*, 1989, 320 (23): 1511 - 1516. DOI:10.1056/NEJM198906083203202.

- [16] Clyman R, Cassady G, Kirklin JK, et al. The role of patent ductus arteriosus ligation in bronchopulmonary dysplasia: reexamining a randomized controlled trial [J]. *J Pediatr*, 2009, 154 (6): 873–876. DOI:10.1016/j.jpeds.2009.01.005.
- [17] Mosalli R, Alfaleh K. Prophylactic surgical ligation of patent ductus arteriosus for prevention of mortality and morbidity in extremely low birth weight infants [J]. *Cochrane Database Syst Rev*, 2008, (1): CD006181. DOI:10.1002/14651858.CD006181.p ub2.
- [18] Rolland A, Shankar-Aguilera S, Diomande D, et al. Natural evolution of patent ductus arteriosus in the extremely preterm infant [J]. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*, 2015, 100(1): F55–F58. DOI:10.1136/archdischild-2014-306339.
- [19] Bixler GM, Powers GC, Clark RH, et al. Changes in the diagnosis and management of patent ductus arteriosus from 2006 to 2015 in United States Neonatal Intensive Care Units [J]. *J Pediatr*, 2017, 189: 105–112. DOI:10.1016/j.jpeds.2017.05.024.
- [20] Cotton RB, Stahlman MT, Bender HW, et al. Randomized trial of early closure of symptomatic patent ductus arteriosus in small preterm infants [J]. *J Pediatr*, 1978, 93 (4): 647–651. DOI:10.1016/s0022-3476(78)80910-x.
- [21] Levitsky S, Fisher E, Vidyasagar D, et al. Interruption of patent ductus arteriosus in premature infants with respiratory distress syndrome [J]. *Ann Thorac Surg*, 1976, 22 (2): 131–137. DOI:10.1016/s0003-4975(10)63973-2.
- [22] Weisz DE, Mirea L, Resende MHF, et al. Outcomes of surgical ligation after unsuccessful pharmacotherapy for patent ductus arteriosus in neonates born extremely preterm [J]. *J Pediatr*, 2018, 195: 292–296, e293. DOI:10.1016/j.jpeds.2017.11.029.
- [23] Krishnappa S, Shah PS, Jain A, et al. Predictors of early extubation after patent ductus arteriosus ligation among infants born extremely preterm dependent on mechanical ventilation [J]. *J Pediatr*, 2019, 214: 222–226, e223. DOI:10.1016/j.jpeds.2019.06.027.
- [24] Wickremasinghe AC, Rogers EE, Picuch RE, et al. Neurodevelopmental outcomes following two different treatment approaches (early ligation and selective ligation) for patent ductus arteriosus [J]. *J Pediatr*, 2012, 161 (6): 1065–1072. DOI:10.1016/j.jpeds.2012.05.062.
- [25] Wang H, Jain A, Weisz DE, et al. Trends in patent ductus arteriosus ligation in neonates and changes in outcomes: A 10-year multicenter experience [J]. *Pediatr Pulmonol*, 2021, 56 (10): 3250–3257. DOI:10.1002/ppul.25576.
- [26] Hundscheid T, Donders R, Onland W, et al. Multi-centre, randomised non-inferiority trial of early treatment versus expectant management of patent ductus arteriosus in preterm infants (the BeNe-Ductus trial): statistical analysis plan [J]. *Trials*, 2021, 22 (1): 627. DOI:10.1186/s13063-021-05594-x.
- [27] Mirea L, Sankaran K, Seshia M, et al. Treatment of patent ductus arteriosus and neonatal mortality/morbidities: adjustment for treatment selection bias [J]. *J Pediatr*, 2012, 161 (4): 689–694, e681. DOI:10.1016/j.jpeds.2012.05.007.
- [28] Weisz DE, Mirea L, Rosenberg E, et al. Association of patent ductus arteriosus ligation with death or neurodevelopmental impairment among extremely preterm infants [J]. *JAMA Pediatr*, 2017, 171(5): 443–449. DOI:10.1001/jamapediatrics.2016.5143.
- [29] 崔晓环, 张建敏, 郑铁华, 等. 极低出生体重早产儿行动脉导管未闭床旁手术的可行性分析 [J]. *临床小儿外科杂志*, 2020, 19(7): 627–630. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2020.07.013.
- Cui XH, Zhang JM, Zheng TH, et al. Feasibility analysis of bedside ligation of patent ductus arteriosus in very-low-birth-weight premature infants [J]. *J Clin Ped Sur*, 2020, 19 (7): 627–630. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2020.07.013.
- [30] 康超, 聂会, 陈红梅. 低体重早产儿动脉导管未闭的早期手术干预 [J]. *临床小儿外科杂志*, 2017, 16(4): 391–394. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2017.04.018.
- Kang C, Nie H, Chen HM. Surgical interventions for patent ductus arteriosus in low-birth-weight preterm infants [J]. *J Clin Ped Sur*, 2017, 16(4): 391–394. DOI:10.3969/j.issn.1671-6353.2017.04.018.
- [31] Selcuk A, Cicek M, Yurdakok O, et al. Ligation of patent ductus arteriosus through anterior thoracotomy in preterm infants: a 10-year experience [J]. *Cardiol Young*, 2021, 31(6): 985–991. DOI:10.1017/s1047951121000032.
- [32] Turkcan BS, Atalay A, Bozkaya D, et al. Bedside patent ductus arteriosus ligation in premature infants [J]. *J Coll Physicians Surg Pak*, 2022, 32 (2): 208–212. DOI:10.29271/jcpssp.2022.02.208.
- [33] Lee LK, Woodfin MY, Vadi MG, et al. A comparison of postoperative outcomes with PDA ligation in the OR versus the NICU: a retrospective cohort study on the risks of transport [J]. *BMC Anesthesiol*, 2018, 18(1): 199. DOI:10.1186/s12871-018-0658-6.
- [34] Zhou K, Tang J, Hua Y, et al. Transcatheter occlusion of patent ductus arteriosus in a preterm infant and review of literatures [J]. *Chinese Journal of Pediatrics*, 2016, 54 (1): 43–46. DOI:10.3760/cma.j.issn.0578-1310.2016.01.010.
- [35] Kim HS, Schechter MA, Manning PB, et al. Surgical versus percutaneous closure of PDA in preterm infants: procedural charges and outcomes [J]. *J Surg Res*, 2019, 243: 41–46. DOI:10.1016/j.jss.2019.04.069.
- [36] Almeida-Jones M, Tang NY, Reddy A, et al. Overview of transcatheter patent ductus arteriosus closure in preterm infants [J]. *Congenit Heart Dis*, 2019, 14 (1): 60–64. DOI:10.1111/chd.12712.
- [37] Backes CH, Cheatham SL, Deyo GM, et al. Percutaneous patent ductus arteriosus (PDA) closure in very preterm infants: feasibility and complications [J]. *J Am Heart Assoc*, 2016, 5(2). DOI:10.1161/JAHA.115.002923.
- [38] Wei YJ, Chen YJ, Lin YC, et al. Respiratory trajectory after invasive interventions for patent ductus arteriosus of preterm infants [J]. *Children (Basel)*, 2021, 8(5). DOI:10.3390/children8050398.
- [39] Sathanandam S, Whiting S, Cunningham J, et al. Practice variation in the management of patent ductus arteriosus in extremely low birth weight infants in the United States: Survey results among cardiologists and neonatologists [J]. *Congenit Heart Dis*, 2019, 14 (1): 6–14. DOI:10.1111/chd.12729.

(收稿日期: 2020-09-10)

本文引用格式: 施旭聪, 翁建彬, 李建华. 早产儿动脉导管未闭手术治疗新进展 [J]. *临床小儿外科杂志*, 2022, 21(4): 390–393. DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202009019-018.

Citing this article as: Shi XC, Weng JB, Li JH. Recent advances in surgical treatment of patent ductus arteriosus in premature infants [J]. *J Clin Ped Sur*, 2022, 21(4): 390–393. DOI:10.3760/cma.j.cn101785-202009019-018.