

# 新生儿脐动脉血气分析临床应用专家共识 (2021)

中华医学会围产医学分会新生儿复苏学组

通信作者: 朴梅花, 北京大学第三医院儿科 100191, Email: pmh1990@sina.com, 电话: 010-82267758; 陈倩, 北京大学第一医院妇产科 100034, Email: chenqian6114@sohu.com, 电话: 010-83573222; 杨慧霞, 北京大学第一医院妇产科 100034, Email: yanghuixia@bjmu.edu.cn, 电话: 010-83573246; 刘兴会, 四川大学华西第二医院妇产科, 成都 610041, Email: xinghuiliu@163.com, 电话: 028-88570281

**【摘要】** 新生儿脐动脉血气分析 (umbilical arterial blood gas analysis, UABGA) 有助于发现围产儿缺氧和酸中毒, 为新生儿生后早期诊疗提供参考。为规范和指导我国 UABGA 的实施, 现组织相关专家讨论, 围绕 UABGA 的意义、采样、检测、结果判读及指导临床决策等方面的临床问题, 参考国际 UABGA 指南和临床研究结果, 制定本共识, 以指导临床实践。

**【关键词】** 脐动脉; 血气分析; 多数赞同; 婴儿, 新生

DOI: 10.3760/cma.j.cn113903-20210413-00346

## Expert consensus on clinical application of umbilical arterial blood gas analysis (2021)

Neonatal Resuscitation Subgroup, Society of Perinatal Medicine, Chinese Medical Association

Corresponding author: Piao Meihua, Department of Pediatrics, Peking University Third Hospital, Beijing 100191, Email: pmh1990@sina.com, Tel: 0086-10-82267758; Chen Qian, Department of Obstetrics and Gynecology, Peking University First Hospital, Beijing 100034, Email: chenqian6114@sohu.com, Tel: 0086-10-83573222; Yang Huixia, Department of Obstetrics and Gynecology, Peking University First Hospital, Beijing 100034, Email: yanghuixia@bjmu.edu.cn, Tel: 0086-10-83573246; Liu Xinghui, Department of Obstetrics and Gynecology, West China Second University Hospital of Sichuan University, Chengdu 610041, Email: xinghuiliu@163.com, Tel: 0086-28-88570281

**【Abstract】** Umbilical arterial blood gas analysis (UABGA) is conducive to detect perinatal acidemia and hypoxia and provides a reference for early diagnosis and treatment of neonates in their first minutes of life. To standardize the clinical practice of UABGA in China, an expert committee is established to provide official consensus-based recommendations on UABGA. Based on the official guidelines from worldwide and relevant literature with high-quality evidence, the consensus was developed by face-to-face meetings among experts with multidisciplinary backgrounds, focusing on the significance, sampling, detection, interpretation of results, and guidance of clinical decision-making of UABGA.

**【Key words】** Umbilical arteries; Blood gas analysis; Consensus; Infant, newborn

DOI: 10.3760/cma.j.cn113903-20210413-00346

新生儿脐动脉血气分析 (umbilical arterial blood gas analysis, UABGA) 与宫内和产时情况及 Apgar 评分相结合, 有助于判定胎儿/新生儿是否存在酸血症, 预测新生儿预后不良的风险, 检测结果对新生儿生后早期是否需要实施神经保护策略及

启动亚低温治疗有重要参考价值<sup>[1-7]</sup>。因此, 准确、及时获取脐动脉血样, 及时检测及分析结果, 尤为重要。中华医学会围产医学分会新生儿复苏学组及中华医学会围产医学分会组织全国专家共同讨论并制定我国 UABGA 专家共识, 旨在规范和指导我国

UABGA 的临床实施工作。

本共识的制定, 首先通过查阅文献, 以及有部分专家面谈或电话/网络会议, 参考美国妇产科医师学会 (American College of Obstetricians and Gynecologists, ACOG) 等学术组织的建议及国内、国际临床研究结果, 初步制定 UABGA 专家共识框架。随后组织全国围产医学和新生儿复苏领域专家提出修改意见, 汇总确定反馈意见。筛选从事本领域工作 20 年以上的专家 20 名, 请他们针对初稿提出相关意见及建议, 并经中华医学会围产医学分会新生儿复苏学组专家面对面讨论, 及多学科专家网络会议讨论, 最终定稿。

### 一、UABGA 的重要性

1958 年, James 等<sup>[1]</sup>最早报道了脐带 (umbilical cord) 血气分析 (blood gas analysis, BGA) 能够反映胎儿低氧的研究结果。出生时的 UABGA 为胎儿的代谢状况提供了最客观的依据<sup>[1-2]</sup>。

脐带由羊膜包裹, 内含 2 根脐动脉和 1 根脐静脉, 由华通胶间隔支撑。与母血完成氧气和营养物质交换后, 富含氧气和营养物质的血液通过脐静脉供给胎儿; 有较高二氧化碳浓度和代谢产物的血液, 通过脐动脉, 从胎儿体内回到胎盘绒毛血管, 与绒毛间腔的母血进行物质交换。因此, 脐动脉的血样能较准确地反映胎儿氧合代谢情况, 脐静脉血样主要反映胎盘氧合代谢状况<sup>[2,8]</sup>。

脐静脉管壁薄, 比脐动脉更容易受压。因此脐带受压时, 与脐动脉的血流相比, 脐静脉的血流减少更明显, 供给胎儿的氧气和血流减少, 为了满足代谢的需求, 胎儿组织将反应性地增加氧消耗, 出现低氧和高碳酸血症, 导致脐动脉血的 pH 值降低, 此时碱剩余 (base excess, BE) 尚在正常范围<sup>[9-13]</sup>; 如果缺氧持续, 胎儿无氧代谢增加, 乳酸堆积, BE 负值增加, 乳酸等酸性代谢产物排出增加<sup>[14-16]</sup>。

UABGA 的目的是了解胎儿在宫内的情况, 用客观的检验结果评价胎儿的代谢状况, 评估胎儿酸中毒的严重程度; 提供窒息诊断的依据; 协助下一步监测与治疗的选择<sup>[2-6,9-10]</sup>。有鉴于此, 临床工作中, 以获取脐动脉血样为主, 当脐动脉血样难以获得时, 次选方案是获取脐静脉血样进行血气分析。

**【共识 1】** UABGA 结果用于客观评价胎儿的代谢状况, 临床工作中以获取脐动脉血样为主, 当脐动脉血样难以获得时, 次选方案是获取脐静脉血样进行血气分析。

## 二、UABGA 的适应证

美国儿科学会 (American Academy of Pediatrics, AAP) 建议, 所有高危分娩或出生后抑制状态及低 Apgar 评分的新生儿, 均应进行 UABGA<sup>[3-4]</sup>。高危分娩是指急诊剖宫产、产钳助产、胎心监护异常、可疑胎儿生长受限、早产、多胎、胎先露异常者<sup>[17]</sup>。

在许多医学中心, 不论有无高危因素, 在所有新生儿出生时均进行 UABGA<sup>[2-4,7,15-18]</sup>。中华医学会儿科学分会产科学组、中华医学会围产医学分会制定的“正常分娩指南”指出, 对于有条件的医疗机构建议常规行 UABGA<sup>[19]</sup>。

**【共识 2】** 对于高危分娩或出生后抑制状态及低 Apgar 评分的新生儿, 应进行 UABGA, 有条件的医疗机构建议常规开展。

## 三、脐动脉血样采集的标准化操作规程

“正常分娩指南”建议对不需要复苏的正常足月儿延迟脐带结扎。延迟脐带结扎是指在新生儿出生后至少 60 s 后, 或等待脐带血管搏动停止后再结扎脐带<sup>[19]</sup>。“中国新生儿早期基本保健技术专家共识 (2020)”指出, 新生儿娩出后, 立即快速评估, 除外需要初步复苏的情况, 若新生儿有呼吸或哭声, 将新生儿置于俯卧位, 且头偏向一侧, 开始母婴皮肤接触<sup>[20]</sup>。可在母婴皮肤接触的同时处理脐带。因此, 在正常分娩、不需要复苏、延迟脐带结扎的情况下, 留取 UABGA 血样的操作可在延迟脐带结扎 (即出生与断脐间隔 60 s) 期间, 或在脐带搏动停止 (生后 1~3 min) 结扎脐带之前, 用肝素化的空针穿刺脐动脉取血<sup>[21]</sup>。

对于出生后需要立即断脐复苏的新生儿, 新生儿交由分娩现场的新生儿复苏团队进行复苏。由不参与新生儿复苏的助产士, 在胎盘剥离或全部娩出前的数分钟内, 在脐带与胎盘相连端确定脐动脉, 用肝素化的血气针穿刺脐动脉留取血样。

留取脐动脉血样的时间和部位均会影响血气分析结果。如果是从与胎盘连接的脐动脉留取血样, 由于受到持续胎盘代谢的影响, 在分娩后 20 min 乳酸和 BE 的检测结果显示受到干扰, 60 min 时 pH 值也会受到显著影响<sup>[22]</sup>。

新生儿娩出后, 如果不能立即留取脐动脉血样, 应将取血段脐带两端用止血钳夹闭, 并冷藏保存, 在生后 60 min 内, 测得的 pH、氧分压、二氧化碳分压都是准确可信的<sup>[23-26]</sup>。而延迟脐带结扎不会影响 UABGA 的结果<sup>[26-27]</sup>。

因此需要注意的是,应在新生儿娩出后尽快用血气针留取血样,不应超过生后 20 min<sup>[24]</sup>。血气针从穿刺部位拔出后立即用软橡胶塞封闭针头,隔绝空气<sup>[23-24]</sup>。留取脐动脉血样后,应立即在产房或手术室进行床边即时检测(point-of-care-testing, POCT),不仅可快速获取结果,而且可提高数据准确性及其参考价值<sup>[28-29]</sup>。

脐带绕颈可能会影响 UABGA 结果,导致 pH 值更低,BE 的负值增加<sup>[30-31]</sup>。剖宫产出生的足月新生儿, UABGA 的乳酸值较高<sup>[32]</sup>。

**【共识 3】** 在不需要复苏、延迟脐带结扎的情况下,在脐带结扎前穿刺脐动脉留取血样;新生儿生后需要复苏的情况下,由不参与新生儿复苏的助产士,在与胎盘相连端的脐动脉穿刺留取血样。生后 20 min 内,尽快留取血样;取样后床边即时检测,以快速获得准确结果。UABGA 结果受到取样时间、检测时间、取血段脐带两端止血钳夹闭、脐带绕颈、分娩方式等的影响。

#### 四、UABGA 结果判读与解释

UABGA 的目标是获得 pH、BE 和乳酸值<sup>[33-38]</sup>,但文献报道的 pH 和 BE 下限阈值并不一致。2008 年至 2009 年我国新生儿脐动脉血气指标研究协作组进行的多中心临床研究发现,新生儿窒息 UABGA 的 pH 值范围为 7.00~7.20, BE 值范围为 -18.00~-10.00 mmol/L,当 pH < 7.00 及 BE < -16.00 mmol/L 时诊断窒息的特异度高,接近 100%,但灵敏度只有 41%<sup>[39]</sup>。2013 年,中国医师协会新生儿专业委员会将 1 或 5 min Apgar 评分 ≤ 7 分、未建立有效自主呼吸以及 UABGA 的 pH < 7.15,作为新生儿窒息诊断的必要条件<sup>[40]</sup>。2012 年至 2015 年,全国新生儿窒息多器官损害临床诊断多中心研究认为, pH < 7.00 及 BE < -16.00 mmol/L,诊断新生儿窒息和多器官损害的特异度及阳性预测值更高<sup>[41]</sup>。中华医学会围产医学分会新生儿复苏学组在 2016 年“新生儿窒息诊断的专家共识”中提出, Apgar 评分诊断新生儿窒息的灵敏度高但特异度较低,而 UABGA (pH 和 BE) 特异度高,灵敏度较低,两者结合可增加新生儿窒息诊断的准确性;建议在二级及以上或有条件的医院新生儿生后即刻进行 UABGA, Apgar 评分要结合 UABGA 结果作出窒息的诊断: Apgar 评分 1 min ≤ 7 分,或 5 min ≤ 7 分,伴脐动脉血 pH < 7.20 为轻度窒息; Apgar 评分 1 min ≤ 3 分或 5 min ≤ 5 分,伴脐动脉血 pH < 7.00

为重度窒息<sup>[42]</sup>。

近年来,重症医学领域已将乳酸作为组织低氧的指标<sup>[15]</sup>。脐动脉血样中的乳酸来自胎儿,与 pH 和 BE 密切相关<sup>[16]</sup>。因此,乳酸反映胎儿无氧代谢的程度,是评估酸碱平衡状态及预后的工具<sup>[43]</sup>。

结合上述国内共识、指南及国内外临床研究,在无合并症的足月新生儿,将 UABGA 的 pH < 7.00 或者 BE < -12.00 mmol/L,同时乳酸水平 ≥ 6.00 mmol/L,作为新生儿围产期缺氧预后不良的最高危值<sup>[44-48]</sup>。UABGA 的正常值与最高危值见表 1<sup>[2-6,8-10,37]</sup>。

**【共识 4】** UABGA 的 pH < 7.00, 或 BE < -12.00 mmol/L, 同时乳酸水平 ≥ 6.00 mmol/L, 作为新生儿围产期缺氧预后不良的最高危值。

表 1 UABGA 正常值与最高危值

| 指标          | 正常值        | 最高危值     |
|-------------|------------|----------|
| pH          | 7.24~7.27  | < 7.00   |
| BE (mmol/L) | -5.60~2.70 | < -12.00 |
| 氧分压 (mmHg)  | < 37.50    | 无        |
| 乳酸 (mmol/L) | < 6.00     | ≥ 6.00   |

注: UABGA: 脐动脉血气分析 (umbilical arterial blood gas analysis); BE: 碱剩余 (base excess); 1 mmHg=0.133 kPa

#### 五、指导临床决策

分娩现场的 UABGA 有利于对新生儿进行风险水平分层管理。UABGA 反映了宫内和出生时胎儿/新生儿的酸碱平衡状态,出生后动态监测,有利于预测新生儿的预后<sup>[48-51]</sup>。UABGA 结果应当记录于新生儿病历,且与新生儿监护人进行良好沟通,以使监护人知晓检查目的、意义和下一步的相应处理措施。

对高危新生儿进行 UABGA,有助于预见性地开始神经重症监护及适时进行亚低温治疗在内的神经保护干预措施。当 UABGA 的 pH < 7.00 和/或 BE < -12.00 mmol/L,和/或乳酸水平 ≥ 6.00 mmol/L,提示胎儿酸血症,即使 5 min Apgar 评分在正常范围,仍需要高度重视,因为这些新生儿可能具有潜在的发生神经系统预后不良的可能;当 UABGA 的 pH < 7.00, 或者 BE < -12.00 mmol/L, 同时 5 min Apgar 评分 0~3 分,新生儿有神经系统异常体征和/或多器官功能障碍时,多提示新生儿预后不良<sup>[3-5,48]</sup>。

**【共识 5】** 在分娩现场进行的 UABGA 有利于对新生儿进行风险水平分层管理。

撰写专家:王晴晴(北京大学第三医院)、韩彤妍(北京大学第三医院)、朴梅花(北京大学第三医院)、陈倩(北京大学第一医院)、



杨慧霞(北京大学第一医院)、刘兴会(四川大学华西第二医院)  
**讨论专家(按姓氏拼音排序):** 曹云(复旦大学附属儿科医院)、  
 曹玉莲(山西省妇幼保健院)、陈超(复旦大学附属儿科医院)、  
 陈倩(北京大学第一医院)、樊尚荣(北京大学深圳医院)、冯琪  
 (北京大学第一医院)、韩彤妍(北京大学第三医院)、何振娟(上  
 海新华医院)、孔祥永(解放军总医院第七医学中心)、李明珠(新  
 疆维吾尔自治区人民医院)、李占魁(西北妇女儿童医院)、刘兴  
 会(四川大学华西第二医院)、母得志(四川大学华西第二医院)、  
 朴梅花(北京大学第三医院)、裘刚(上海市儿童医院)、邱银萍(宁  
 夏医科大学总医院)、王丹华(北京协和医院)、王晴晴(北京大  
 学第三医院)、夏世文(湖北省妇幼保健院)、徐韬(中国疾病预  
 防控制中心妇幼保健中心)、杨传忠(深圳市妇幼保健院)、杨慧  
 霞(北京大学第一医院)、虞人杰(清华大学第一附属医院)、岳  
 少杰(中南大学湘雅医院)、张雪峰(解放军总医院第五医学中心)、  
 赵扬玉(北京大学第三医院)、郑军(天津市中心妇产科医院)、  
 朱建幸(上海交通大学附属新华医院)、朱小瑜(南方医科大学附  
 属深圳妇幼保健院)

**利益冲突** 所有作者均声明不存在利益冲突

### 参 考 文 献

- [1] James LS, Weisbrot IM, Prince CE, et al. The acid-base status of human infants in relation to birth asphyxia and the onset of respiration[J]. *J Pediatr*, 1958,52(4):379-394. DOI: 10.1016/s0022-3476(58)80058-x.
- [2] Armstrong L, Stenson BJ. Use of umbilical cord blood gas analysis in the assessment of the newborn[J]. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*, 2007,92(6):F430-F434. DOI: 10.1136/adc.2006.099846.
- [3] American Academy of Pediatrics Committee on Fetus and Newborn, American College of Obstetricians and Gynecologists Committee on Obstetric Practice. The apgar score[J]. *Pediatrics*, 2015,136(4):819-822. DOI: 10.1542/peds.2015-2651.
- [4] Executive summary: Neonatal encephalopathy and neurologic outcome, second edition. Report of the American College of Obstetricians and Gynecologists' Task Force on Neonatal Encephalopathy[J]. *Obstet Gynecol*, 2014,123(4):896-901. DOI: 10.1097/01.AOG.0000445580.65983.d2.
- [5] Sabol BA, Caughey AB. Acidemia in neonates with a 5-minute Apgar score of 7 or greater - What are the outcomes?[J]. *Am J Obstet Gynecol*, 2016, 215(4):486.e1-6. DOI: 10.1016/j.ajog.2016.05.035.
- [6] Einikyte R, Snieckuviene V, Ramasauskaitė D, et al. The comparison of umbilical cord arterial blood lactate and pH values for predicting short-term neonatal outcomes[J]. *Taiwan J Obstet Gynecol*, 2017,56(6):745-749. DOI: 10.1016/j.tjog.2017.10.007.
- [7] Malin GL, Morris RK, Khan KS. Strength of association between umbilical cord pH and perinatal and long term outcomes: systematic review and meta-analysis[J]. *BMJ*, 2010,340:c1471. DOI: 10.1136/bmj.c1471.
- [8] Thorp JA, Dildy GA, Yeomans ER, et al. Umbilical cord blood gas analysis at delivery[J]. *Am J Obstet Gynecol*, 1996, 175(3 Pt 1):517-522. DOI: 10.1053/ob.1996.v175.a74401.
- [9] Yeh P, Emary K, Impey L. The relationship between umbilical cord arterial pH and serious adverse neonatal outcome: analysis of 51,519 consecutive validated samples[J]. *BJOG*, 2012, 119(7):824-831. DOI: 10.1111/j.1471-0528.2012.03335.x.
- [10] Baalbaki SH, Wood SL, Tita AT, et al. Predicting long-term neurodevelopmental outcomes in very preterm neonates by umbilical cord gas parameters[J]. *Am J Obstet Gynecol MFM*, 2021,3(1):100248. DOI: 10.1016/j.ajogmf.2020.100248.
- [11] Swanson K, Whelan AR, Grobman WA, et al. Can venous cord gas values predict fetal acidemia?[J]. *Am J Obstet Gynecol*, 2017,217(3):364.e1-364.e5. DOI: 10.1016/j.ajog.2017.05.047.
- [12] Mokarami P, Wiberg N, Källén K, et al. Arterio-venous blood gas Δ values for validation of umbilical cord blood samples at birth are not only biased by sample mix ups but also affected by clinical factors[J]. *Acta Obstet Gynecol Scand*, 2019,98(2):167-175. DOI: 10.1111/aogs.13471.
- [13] Kro GA, Yli BM, Rasmussen S, et al. Association between umbilical cord artery pCO<sub>2</sub> and the Apgar score; elevated levels of pCO<sub>2</sub> may be beneficial for neonatal vitality after moderate acidemia[J]. *Acta Obstet Gynecol Scand*, 2013,92(6):662-670. DOI: 10.1111/aogs.12090.
- [14] Armstrong L, Stenson B. Effect of delayed sampling on umbilical cord arterial and venous lactate and blood gases in clamped and unclamped vessels[J]. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*, 2006,91(5):F342-F345. DOI: 10.1136/adc.2005.086744.
- [15] Holzmann M, Cnattingius S, Nordström L. Lactate production as a response to intrapartum hypoxia in the growth-restricted fetus[J]. *BJOG*, 2012,119(10):1265-1269. DOI: 10.1111/j.1471-0528.2012.03432.x.
- [16] Zaigham M, Källén K, Olofsson P. Assessment of lactate production as a response to sustained intrapartum hypoxia in large-for-gestational-age newborns[J]. *Acta Obstet Gynecol Scand*, 2018,97(10):1267-1273. DOI: 10.1111/aogs.13384.
- [17] Ferreira CS, Melo Â, Fachada AH, et al. Umbilical cord blood gas analysis, obstetric performance and perinatal outcome[J]. *Rev Bras Ginecol Obstet*, 2018,40(12):740-748. DOI: 10.1055/s-0038-1675187.
- [18] Kotaska K, Urinovska R, Klapkova E, et al. Re-evaluation of cord blood arterial and venous reference ranges for pH, pO<sub>2</sub>(2), pCO<sub>2</sub>(2), according to spontaneous or cesarean delivery[J]. *J Clin Lab Anal*, 2010,24(5):300-304. DOI: 10.1002/jcla.20405.
- [19] 中华医学会妇产科学分会产科学组, 中华医学会围产医学分会. 正常分娩指南[J]. *中华围产医学杂志*, 2020,23(6):361-370. DOI:10.3760/cma.j.cn113903-20200526-00493
- [20] 中华医学会围产医学分会, 中华医学会妇产科学分会产科学组, 中华护理学会产科护理专业委员会, 等. 中国新生儿早期基本保健技术专家共识(2020)[J]. *中华围产医学杂志*, 2020, 23(7):433-440. DOI:10.3760/cma.j.cn113903-20200416-00354
- [21] Society of Perinatal Medicine, Chinese Medical Association; Obstetric Subgroup, Society of Obstetrics and Gynecology, Chinese Medical Association; Society of Perinatal Medicine, Chinese Medical Association. Guideline of normal birth[J]. *Chin J Perinat Med*, 2020,23(6): 361-370. DOI:10.3760/cma.j.cn113903-20200526-00493
- [22] Xodo S, Xodo L, Berghella V. Delayed cord clamping and cord gas analysis at birth[J]. *Acta Obstet Gynecol Scand*, 2018,97(1):7-12. DOI: 10.1111/aogs.13233.
- [23] Valero J, Desantes D, Perales-Puchalt A, et al. Effect of delayed umbilical cord clamping on blood gas analysis[J]. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol*, 2012,162(1):21-23. DOI: 10.1016/j.ejogrb.2012.01.020.
- [24] Di Tommaso M, Seravalli V, Martini I, et al. Blood gas values in clamped and unclamped umbilical cord at birth[J]. *Early Hum Dev*, 2014,90(9):523-525. DOI: 10.1016/j.earlhumdev.2014.03.010.

- [25] White CR, Mok T, Doherty DA, et al. The effect of time, temperature and storage device on umbilical cord blood gas and lactate measurement: a randomized controlled trial[J]. *J Matern Fetal Neonatal Med*, 2012,25(6):587-594. DOI: 10.3109/14767058.2011.596959.
- [26] Tang J, Fullarton R, Samson SL, et al. Delayed cord clamping does not affect umbilical cord blood gas analysis[J]. *Arch Gynecol Obstet*, 2019,299(3):719-724. DOI: 10.1007/s00404-019-05048-5.
- [27] Giovannini N, Crippa BL, Denaro E, et al. The effect of delayed umbilical cord clamping on cord blood gas analysis in vaginal and caesarean-delivered term newborns without fetal distress: a prospective observational study[J]. *BJOG*, 2020,127(3):405-413. DOI: 10.1111/1471-0528.16026.
- [28] Ahlberg M, Elvander C, Johansson S, et al. A policy of routine umbilical cord blood gas analysis decreased missing samples from high-risk births[J]. *Acta Paediatr*, 2017,106(1):43-48. DOI: 10.1111/apa.13610.
- [29] van Horssen R, Schuurman TN, de Groot M, et al. Lactate point-of-care testing for acidosis: Cross-comparison of two devices with routine laboratory results[J]. *Pract Lab Med*, 2016,4:41-49. DOI: 10.1016/j.plabm.2015.12.005.
- [30] De Paco C, Herrera J, Garcia C, et al. Effects of delayed cord clamping on the third stage of labour, maternal haematological parameters and acid-base status in fetuses at term[J]. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol*, 2016,207:153-156. DOI: 10.1016/j.ejogrb.2016.10.031.
- [31] Yarci Gursoy A, Ozgu B, Tasci Y, et al. The impact of nuchal cord on umbilical cord blood gas analysis and ischaemia-modified albumin levels in elective C-section[J]. *J Obstet Gynaecol*, 2018,38(8):1099-1103. DOI: 10.1080/01443615.2018.1454411.
- [32] Vasa R, Dimitrov R, Patel S. Nuchal cord at delivery and perinatal outcomes: Single-center retrospective study, with emphasis on fetal acid-base balance[J]. *Pediatr Neonatol*, 2018,59(5):439-447. DOI: 10.1016/j.pedneo.2018.03.002.
- [33] Lee JH, Jung J, Park H, et al. Umbilical cord arterial blood gas analysis in term singleton pregnancies: a retrospective analysis over 11 years[J]. *Obstet Gynecol Sci*, 2020,63(3):293-304. DOI: 10.5468/ogs.2020.63.3.293.
- [34] Morgan JL, Nelson DB, Casey BM, et al. Impact of metabolic acidemia at birth on neonatal outcomes in infants born before 34 weeks' gestation[J]. *J Matern Fetal Neonatal Med*, 2017, 30(16):1902-1905. DOI: 10.1080/14767058.2016.1229767.
- [35] Zhang S, Li B, Zhang X, et al. Birth asphyxia is associated with increased risk of cerebral palsy: a meta-analysis[J]. *Front Neurol*, 2020,11:704. DOI: 10.3389/fneur.2020.00704.
- [36] Randolph DA, Nolen TL, Ambalavanan N, et al. Outcomes of extremely low birthweight infants with acidosis at birth[J]. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*, 2014,99(4):F263-F268. DOI: 10.1136/archdischild-2013-304179.
- [37] Vesoulis ZA, Liao SM, Rao R, et al. Re-examining the arterial cord blood gas pH screening criteria in neonatal encephalopathy[J]. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*, 2018, 103(4): F377-F382. DOI: 10.1136/archdischild-2017-313078.
- [38] Mobasheri E, Savarraksh M, Hosseininejad SM, et al. Umbilical cord arterial blood gas and Apgar score who is at higher risk?[J]. *Iranian J Neonatol*, 2019,10(2): 50-54. DOI: 10.22038/ijn.2019.33155.1474
- [39] 新生儿脐动脉血气指标研究协作组. 脐动脉血气指标诊断新生儿窒息的多中心临床研究[J]. *中华儿科杂志*, 2010,48(9):668-673. DOI:10.3760/cma.j.issn.0578-1310.2010.09.008.
- The Collaborative Study Group of Neonatal Umbilical Cord Blood Gas Parameters. Multicenter clinical study on umbilical cord arterial blood gas parameters for diagnosis of neonatal asphyxia[J]. *Chin J Pediatr*, 2010,48(9):668-673. DOI:10.3760/cma.j.issn.0578-1310.2010.09.008.
- [40] 中国医师协会新生儿专业委员会. 新生儿窒息诊断和分度标准建议[J]. *中国当代儿科杂志*, 2013,15(1):1. DOI:10.7499/j.issn.1008-8830.2013.01.001.
- Committee of Neonatology, Neonatology Society, Chinese Medical Doctor Association. Suggestion on diagnosis and grading standard of neonatal asphyxia [J]. *Chin J Contemp Pediatrics*, 2013,15(1):1. DOI:10.7499/j.issn.1008-8830.2013.01.001.
- [41] 全国新生儿窒息多器官损害临床诊断多中心研究协作组. 新生儿脐动脉血气分析在新生儿窒息多器官损害诊断中的应用[J]. *中国新生儿科杂志*, 2016,31(2):91-96. DOI: 10.3969/j.issn.1673-6710.2016.02.003.
- Clinical Research Group of Multiple Organ Damage of Neonatal Asphyxia. Umbilical artery blood gas analysis in the diagnosis of multiple organ damage of neonatal asphyxia[J]. *Chin J Neonatol*, 2016,31(2):91-96. DOI: 10.3969/j.issn.1673-6710.2016.02.003.
- [42] 中华医学会围产医学分会新生儿复苏学组. 新生儿窒息诊断的专家共识[J]. *中华围产医学杂志*, 2016,19(1):5-8. DOI:10.3760/cma.j.issn.1007-9408.2016.01.002.
- Neonatal Resuscitation Group, Society of Perinatal Medicine, Chinese Medical Association. Expert consensus on diagnosis of neonatal asphyxia[J]. *Chin J Perinat Med*, 2016,19(1):5-8. DOI:10.3760/cma.j.issn.1007-9408.2016.01.002.
- [43] Allanson ER, Waqar T, White C, et al. Umbilical lactate as a measure of acidosis and predictor of neonatal risk: a systematic review[J]. *BJOG*, 2017,124(4):584-594. DOI: 10.1111/1471-0528.14306.
- [44] Georgieva A, Moulden M, Redman CW. Umbilical cord gases in relation to the neonatal condition: the EveRest plot[J]. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol*, 2013,168(2):155-160. DOI: 10.1016/j.ejogrb.2013.01.003.
- [45] Hasegawa J, Toyokawa S, Ikenoue T, et al. Relevant obstetric factors for cerebral palsy: from the nationwide obstetric compensation system in Japan[J]. *PLoS One*, 2016,11(1): e0148122. DOI: 10.1371/journal.pone.0148122.
- [46] van Tetering A, van de Ven J, Fransen AF, et al. Risk factors of incomplete Apgar score and umbilical cord blood gas analysis: a retrospective observational study[J]. *J Matern Fetal Neonatal Med*, 2017,30(21):2539-2544. DOI:10.1080/14767058.2016.1256985.
- [47] Lynn A, Beeby P. Cord and placenta arterial gas analysis: the accuracy of delayed sampling[J]. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*, 2007,92(4):F281-F285. DOI: 10.1136/adc.2006.103358.
- [48] Morgan JL, Casey BM, Bloom SL, et al. Metabolic acidemia in live births at 35 weeks of gestation or greater[J]. *Obstet Gynecol*, 2015,126(2):279-283. DOI: 10.1097/AOG.0000000000000923.
- [49] Jonsson M, Agren J, Nordén-Lindeberg S, et al. Suboptimal care and metabolic acidemia is associated with neonatal encephalopathy but not with neonatal seizures alone: a population-based clinical audit[J]. *Acta Obstet Gynecol Scand*, 2014, 93(5):477-482. DOI: 10.1111/aogs.12381.
- [50] MacLennan A. A template for defining a causal relation between acute intrapartum events and cerebral palsy: international consensus statement[J]. *BMJ*, 1999,319(7216):1054-1059. DOI: 10.1136/bmj.319.7216.1054.
- [51] Vanspranghels R, Houfflin-Debarge V, Deken V, et al. Umbilical cord arterial and venous gases, ionogram, and glucose level for predicting neonatal morbidity at term[J]. *Eur J Obstet Gynecol Reprod Biol*, 2020,252:181-186. DOI: 10.1016/j.ejogrb.2020.06.022.

(收稿日期: 2021-04-13)

(本文编辑: 刘菲)