

文章编号 1006-8147(2020)05-0440-05

论 著

新生儿坏死性小肠结肠炎伴发肠穿孔危险因素的回溯性研究

王元惠¹, 王皓洁^{1,2}, 刘志杰², 詹江华³

(1.天津医科大学研究生院,天津 300070;2.乌鲁木齐儿童医院新生儿外科,乌鲁木齐 830000;3.天津市儿童医院普通外科,天津 300074)

摘要 目的:探讨新生儿坏死性小肠结肠炎(NEC)伴发肠穿孔的危险因素。方法:回顾性分析55例 NEC 伴发肠穿孔患儿(NEC 伴发肠穿孔组)的临床资料,并随机选取110例同期收治的 NEC 未伴发肠穿孔患儿为对照组,采用单因素和多因素 Logistic 回归分析,总结 NEC 伴发肠穿孔的危险因素。结果:NEC 并发败血症($OR=2.557$)、凝血功能障碍($OR=4.075$)、低钾血症($OR=5.180$)是肠穿孔的独立危险因素($P<0.05$),而高胎龄($OR=0.884$)为保护因素($P<0.05$)。上述3个独立危险因素联合对 NEC 伴发肠穿孔的预测价值最高,ROC 曲线下面积为 0.875,特异性和灵敏性分别为 79.2%、81.8%。结论:NEC 伴发败血症、凝血功能障碍、低钾血症是 NEC 伴发肠穿孔的独立危险因素。三者联合对 NEC 伴发肠穿孔有较高预测价值。

关键词 新生儿;坏死性小肠结肠炎;肠穿孔;危险因素

中图分类号 R726.5

文献标志码 A

Retrospective study on risk factors for concurrent intestinal perforation in neonates with necrotizing enterocolitis

WANG Yuan-hui¹, WANG Hao-jie^{1,2}, LIU Zhi-jie², ZHAN Jiang-hua³

(1. Graduate School, Tianjin Medical University, Tianjin 300070, China; 2. Department of Neonatal Surgery, Ulumuqi Children's Hospital, Ulumuqi 830000, China; 3. Department of General Surgery, Tianjin Children's Hospital, Tianjin 300074, China)

Abstract Objective: To explore the risk factors for necrotizing enterocolitis(NEC) with intestinal perforation in neonates. **Methods:** The clinical data of 55 NEC patients with intestinal perforation(Group 1) were retrospectively analyzed, and 110 children diagnosed as NEC without intestinal perforation(Group 2) admitted at the same time were randomly selected as the control group. Univariate and multivariate logistic regression analysis methods were used to summarize the risk factors of NEC with intestinal perforation. **Results:** NEC complicated with sepsis($OR=2.557$), coagulation dysfunction($OR=4.075$) and hypokalemia($OR=5.180$) were independent risk factors for concurrent intestinal perforation($P<0.05$), and high gestational age($OR=0.884$) was the protective factor($P<0.05$). The combination of the three independent risk factors mentioned above has the highest predictive value for NEC with intestinal perforation. The area under the curve of ROC was 0.875, and the specificity and sensitivity were 79.2% and 81.8%, respectively. **Conclusion:** NEC complicated with sepsis, coagulation dysfunction and hypokalemia are independent risk factors for NEC with intestinal perforation. The combination of three independent risk factors has a high predictive value for NEC with intestinal perforation.

Key words neonate; necrotizing enterocolitis; intestinal perforation; risk factors

新生儿坏死性小肠结肠炎(neonatal necrotizing enterocolitis, NEC)是一种累及回肠、结肠的肠道炎症坏死性疾病,也是新生儿期最常见的致死性外科疾病。研究显示,NEC 在存活婴儿中发病率为 0.5%~5.0%,死亡率约 30%,而在需要外科治疗的患儿中可高达 50%^[1]。肠穿孔是新生儿期常见的危重症,起病急,病死率高(30%~70%),而 NEC 是新生儿肠穿孔最常见病因^[2-3]。NEC 伴发肠穿孔为

其绝对手术指征^[4]。所以,早期识别 NEC 伴发肠穿孔的危险因素,对于早期识别并采取相应的预防方案以避免穿孔具有重要意义。但目前国内外此方面的报道较少,本研究旨在分析 NEC 伴发肠穿孔的危险因素,以期临床诊疗提供参考。

1 对象与方法

1.1 研究对象 选取 2014 年 1 月—2019 年 1 月在乌鲁木齐儿童医院新生儿科收治的确诊为 NEC 伴发肠穿孔的患儿 55 例,并按照 1:2 配比随机选取同期收治的 Bell's 分期 \geq II 期 NEC 未伴发肠穿孔的患儿 110 例作为对照组。纳入标准:(1)入院日

基金项目 新疆维吾尔自治区自然科学基金(2019D01A12)

作者简介 王元惠(1990-),女,医师,硕士在读,研究方向:儿科学;

通信作者:詹江华, E-mail: zhanjianghua@163.com。

龄 ≤ 28 d。(2) NEC 依据 Bell's 分期 \geq II 期^[5-6]。(3) 临床资料完整者。排除标准:(1)合并先天性消化道畸形者。(2)住院时间小于 3 d。(3)胎龄、出生体重、腹部影像学检查资料等不完整者。NEC 发病日龄:患儿出现呕吐、腹泻、腹胀、血便等任意症状或体征之一的日龄。NEC 诊断标准:出现腹胀、呕吐、血便等临床症状,腹部 X 线或 B 超提示肠壁积气或门脉积气或手术证实为 NEC 者^[7-8]。肠穿孔诊断标准:腹部立位 X 片提示膈下游离气体、包裹性或局限性气腹;或腹部彩超提示腹腔积液、肠蠕动消失、肠坏死;或腹腔穿刺证实腹腔内有消化道内容物;或手术中发现有穿孔的患儿^[9]。预后良好:指达到临床治愈出院或临床症状明显好转,家属要求出院的患儿,出院后门诊或电话随访 3 个月患儿状态可。预后不良:指住院期间病情危重,家属要求放弃治疗或临床死亡的患儿。

1.2 研究方法 收集符合纳入标准患儿的临床资料:基本资料包括胎龄、出生体重、性别、NEC 发病日龄及预后等;围生期资料包括母亲孕龄、围产期窒息、胎膜早破、羊水粪染、宫内窘迫、分娩方式;母亲孕期合并症包括妊娠肝内胆汁淤积症 (ICP)、糖尿病及高血压等;出现 NEC 至肠穿孔期间的并发症包括呼吸衰竭、败血症、消化道出血、休克、凝血功能障碍、心功能不全、肝肾功损害及电解质紊乱等。

1.3 统计学处理 所有资料均采用 SPSS 23.0 统计学软件进行分析处理。正态分布的计量资料以 $\bar{x}\pm s$ 表示,组间采用独立样本 t 检验;偏态分布则以中位数和四分位间距 $M(Q1, Q3)$ 表示,组间采用 Mann-Whitney U 检验。计数资料以 $n(\%)$ 表示,采用

χ^2 检验或 Fisher's 检验。先单因素分析各变量,再对单因素分析中差异有统计学意义的变量进行多因素 Logistic 回归分析。利用受试者工作特征(ROC)曲线分析各独立危险因素对 NEC 伴发肠穿孔的预测价值。 $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患儿基本资料 本研究共计纳入符合标准患儿 165 例,其中 NEC 伴发肠穿孔组 55 例,男 34 例;对照组 110 例,男 60 例。两组在性别、NEC 发病日龄的差异无统计学意义(均 $P>0.05$);在胎龄、出生体重、不良预后等差异有统计学意义(均 $P<0.05$),说明 NEC 伴发肠穿孔组的胎龄、出生体重及不良预后比例明显高于对照组,见表 1。

2.2 围生期及母孕期因素对 NEC 是否伴肠穿孔的影响 两组围生期资料比较发现,剖宫产分娩、胎膜早破、羊水粪染、宫内窘迫、母亲孕龄、孕期合并 ICP、糖尿病、高血压等指标在两组中差异无统计学意义(均 $P>0.05$);而围产期窒息在两组中差异有统计学意义($P<0.05$),见表 1。

2.3 NEC 诊断至肠穿孔期间合并症对是否伴发肠穿孔的影响 两组并发症比较发现:NEC 并发消化道出血、肝功能损害、高钾血症、低钠血症等差异无统计学意义(均 $P>0.05$);而并发呼吸衰竭、败血症、休克、肾功能损害、凝血功能障碍、低钾血症、低钙血症等差异有统计学意义(均 $P<0.05$),见表 2。

2.4 NEC 伴发肠穿孔的危险因素 Logistic 回归分析 将以上单因素分析中具有统计学意义指标作为自变量,包括胎龄、出生体重、围产期窒息、NEC 诊断后并发症(呼吸衰竭、败血症、休克、肾功能损

表 1 两组患儿基本资料、围生期及母孕期资料的对比 [$\bar{x}\pm s, n(\%), M(Q1, Q3)$]

Tab 1 Comparison of basic data, perinatal and maternal pregnancy data between the two groups [$\bar{x}\pm s, n(\%), M(Q1, Q3)$]

变量	对照组($n=110$)	NEC 伴发肠穿孔组($n=55$)	$\chi^2/t/z$	P
男/女	60/50	34/21	0.791	0.374
胎龄(周)	36.29(33.93,38.47)	33.00(30.57,37.14)	-4.131	<0.001
出生体重(g)	2 520.73 \pm 751.25	1 953.16 \pm 807.57	4.461	<0.001
发病日龄(d)	9.00(4.75,14.00)	10.00(4.00,22.00)	-0.751	0.453
剖宫产	66.4(73)	52.7(29)	2.889	0.089
围产期窒息	10.9(12)	23.6(13)	4.620	0.032
胎膜早破	29.1(32)	30.9(17)	0.058	0.810
羊水粪染	9.1(10)	5.5(3)	0.261	0.609
宫内窘迫	9.1(10)	10.9(6)	0.138	0.710
母亲孕龄	29(26,32)	30(27,33)	-1.642	0.101
孕期 ICP	8.2(9)	3.6(2)	0.597	0.440
孕期高血压	7.3(8)	7.3(4)	0.000	1.000
孕期糖尿病	12.7(14)	10.9(6)	0.114	0.736
预后不良	13.6(15)	45.5(25)	20.347	<0.001

注:ICP:妊娠肝内胆汁淤积症

表 2 NEC 诊断至肠穿孔期间的合并症在两组中的比较[n(%)]

Tab 2 Comparison of comorbidities from NEC diagnosis to intestinal perforation in two groups[n(%)]

变量	对照组 (n=110)	NEC 伴发肠穿孔 组(n=55)	χ^2	P
呼吸衰竭	20(22)	45.5(25)	11.662	0.001
败血症	30.9(34)	63.6(35)	16.141	<0.001
消化道出血	10(11)	10.9(6)	0.033	0.856
休克	7.3(8)	25.5(14)	10.490	0.001
肝功能损害	9.1(10)	16.4(9)	1.903	0.168
肾功能损害	9.1(10)	32.7(18)	14.539	<0.001
凝血功能障碍	17.3(19)	63.6(35)	35.800	<0.001
低钾血症	7.3(8)	43.6(24)	31.015	<0.001
高钾血症	12.7(14)	7.3(4)	1.122	0.289
低钠血症	2.7(3)	3.6(2)	-	1.000 ^a
低钙血症	8.2(9)	27.3(15)	10.751	0.001

注: a:采用 Fisher's 检验;NEC:新生儿坏死性小肠结肠炎

害、凝血功能障碍、低钾血症、低钙血症),以 NEC 是否伴发肠穿孔作为因变量(赋值:伴发穿孔=1;未伴发穿孔=0),进行 Logistic 回归分析。结果显示:NEC 并发败血症、凝血功能障碍、低钾血症是 NEC 伴发肠穿孔的独立危险因素,而高胎龄为其保护因素,

见表 3。上述 4 项指标进行共线性诊断,方差膨胀因子分别为 1.062、1.312、1.105 和 1.304,提示 4 个危险因素不存在多重共线性。

表 3 NEC 伴发肠穿孔的多因素 Logistic 回归分析

Tab 3 Multivariate Logistic regression analysis of NEC associated with intestinal perforation

变量	β	S.E.	Wald	P	OR	95% CI
胎龄	-0.123	0.061	4.102	0.043	0.884	0.785~0.996
败血症	0.939	0.411	5.216	0.022	2.557	1.142~5.723
凝血功能障碍	1.405	0.429	10.700	0.001	4.075	1.756~9.454
低钾血症	1.645	0.507	10.522	0.001	5.180	1.917~13.994

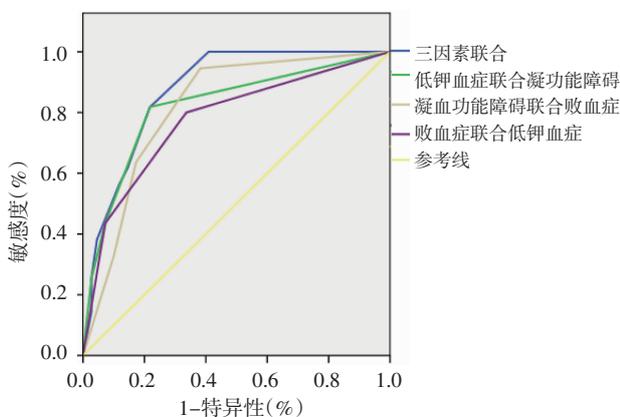
2.5 多种危险因素联合对 NEC 伴发肠穿孔的预测 将多种危险因素(NEC 并发败血症、凝血功能障碍及低钾血症)为检验变量,以 NEC 伴发肠穿孔为状态变量进行拟合 ROC 曲线分析显示,败血症联合凝血功能障碍、败血症联合低钾血症、低钾血症联合凝血功能障碍、三者联合对 NEC 伴发肠穿孔均有一定预测价值(P<0.05),但其中以三者联合预测 NEC 伴发肠穿孔的曲线下面积最大(ROC 曲线下面积为 0.875),预测效能最好,见表 4,图 1。

表 4 ROC 曲线分析各独立危险因素联合的预测价值

Tab 4 ROC curve analysis of the combined predictive value of each independent risk factor

联合指标	曲线下面积	95%CI	特异性(%)	灵敏度(%)	P
低钾血症联合凝血功能障碍	0.821	0.749~0.893	78.0	80.8	<0.001
凝血功能障碍联合败血症	0.818	0.752~0.884	61.8	84.2	<0.001
败血症联合低钾血症	0.776	0.698~0.855	66.4	80.0	<0.001
3 个独立危险因素联合	0.875	0.824~0.926	79.2	81.8	<0.001

注:ROC 曲线:受试者工作特征曲线



注:NEC:新生儿坏死性小肠结肠炎;ROC 曲线:受试者工作特征曲线

图 1 各独立危险因素联合对 NEC 并发肠穿孔预测的 ROC 曲线

Fig 1 The ROC curve predicted by each independent risk factor combined with NEC complicated intestinal perforation

3 讨论

NEC 是一种以肠道组织炎症和坏死为特征的

疾病,绝大部分为早产儿发病,中度早产儿(MPT 28~34 周)发病率在 NICU 中占较大比例,但极早产儿(EPT≤28 周)的发病率最高^[9]。NEC 是引起新生儿肠穿孔的最常见原因,相较于足月儿,早产儿 NEC 伴发肠穿孔风险明显增加。NEC 伴发肠穿孔起病急、进展快,容易引起水电解质及酸碱紊乱、感染性休克及 DIC 等,早期缺乏典型表现,容易延误诊断而危及生命。本研究对 NEC 是否伴发肠穿孔的危险因素进行分析,为临床诊疗提供重要参考。

本研究发现,NEC 伴发肠穿孔组早产儿比例明显高于对照组(87.5% vs.52.1%),且高胎龄是 NEC 伴发肠穿孔的保护因素。有研究指出,早产是影响 NEC 预后的危险因素,且会增加发生肠穿孔的风险^[10]。Cotten^[11]研究指出,NEC 发病率与胎龄呈负相关,且胎龄越小,伴发肠穿孔的风险越高。分析原因如下:(1)早产儿尤其是胎龄越小的患儿,出生体重常较低,各器官系统发育均不成熟,尤其肠道消化吸

收功能不成熟、肠道屏障功能及局部免疫功能极低或缺陷(如胃酸分泌不足、胃蛋白酶的活性低、上皮内免疫T细胞活性低、分泌型IgA含量低等)。(2)发生NEC时,肠蠕动明显减弱,病原菌容易停留繁殖,产生大量内毒素,侵袭破坏肠壁组织,再结合早产儿自身免疫和肠道菌群尚未建立,可进一步导致肠道炎症更重,发生肠坏死、肠穿孔风险增加^[12]。患儿自身免疫系统、肠道消化吸收及屏障免疫功能随着患儿胎龄增大而逐渐成熟,所以高胎龄NEC患儿肠穿孔风险明显降低。临床对于低胎龄的NEC患儿,应特别注意合理喂养、定期监测消化道症状、腹部体征变化,便于早期发现相关并发症,及时给予干预。

败血症是NEC伴发肠穿孔的独立危险因素。Bowker等^[13]研究指出,NEC发病后肠黏膜免疫功能受损、肠上皮损伤缺血、肠道微循环障碍、肠道菌群移位等,导致败血症发生率明显增加。当NEC并发败血症时,细菌在血液中繁殖并产生大量毒素,并作用于不成熟且受损的肠上皮细胞,刺激肿瘤坏死因子- α 、白细胞介素-8、血小板活化因子等细胞因子大量产生,引起细胞因子介导的炎症级联反应,在原有肠道损伤基础上进一步加重,导致发生肠坏死、肠穿孔、全腹膜炎风险明显增加,甚至发生感染性休克,危及患儿生命^[14]。对于NEC患儿,临床护理时注意做好手消毒,避免交叉感染;当并发败血症时,需积极抗感染治疗,注意密切监测患儿炎症指标、腹部影像学表现,尽量降低肠穿孔可能。

凝血功能障碍是NEC伴发肠穿孔的独立危险因素。有研究指出,NEC患儿肠系膜血管内皮损伤、肠道组织炎症和凝血功能三者之间有紧密联系,而在NEC患儿中,凝血功能障碍和肠系膜血栓形成较常见,二者可加重肠组织缺血,肠黏膜上皮坏死脱落,肠壁通透性增加,严重可导致广泛肠坏死、肠穿孔、多器官功能障碍综合征(MODS)等^[15-16]。NEC患儿常出现凝血和抗凝蛋白的基因表达异常,使凝血功能加强,纤溶系统受损,使NEC整体处于净促凝状态。其主要机制有^[17]:(1)中性粒细胞弹性酶(ELANE)的过度表达:ELANE编码的蛋白产物主要参与凝血途径激活,驱动“免疫血栓形成”级联反应。肠道病原微生物入侵后通过激活ELANE,导致大量血栓的形成和不同程度的肠缺血。ELANE蛋白产物的作用还可以通过抑制组织因子通路抑制剂和抗凝血剂,参与血栓形成,可进一步导致局部损害(肠系膜血栓形成、局部肠壁缺血和肠穿孔)和全身损害(即器官微血栓形成、弥漫性血管内凝血和MODS)。

(2)组织纤溶酶原激活物表达下调:尽管凝血和纤溶系统的功能相反,但二者调节平衡对于过量血栓清除至关重要。组织型纤溶酶原激活物表达明显下调,可使纤溶系统受损,导致纤维蛋白过量沉积、微血栓形成、肠灌注减少和肠壁缺血明显加重,发生肠坏死、肠穿孔风险增加。(3)乳脂球表皮生长因子8(MFG-E8)表达下调:MFG-E8主要参与维持肠上皮细胞完整和损伤细胞修复。NEC患儿肠道MFG-E8表达明显下调,导致肠道上皮损伤、肠细胞迁移受损、黏膜再生不足,肠组织坏死加重,甚至穿孔。所以,对于NEC患儿应定期复查凝血功能,尤其当合并凝血功能障碍时,同时需监测患儿消化道症状和腹部影像学检查,早期干预纠正凝血功能障碍,尽可能降低发生肠穿孔的风险。

低钾血症是NEC伴发肠穿孔的独立危险因素。新生儿低钾血症指血浆 $[K^+]$ <3.5 mmol/L,引起低钾血症最主要的原因是胃肠功能紊乱,如呕吐、腹泻、禁食、胃肠减压等引起消化液大量丢失^[18]。NEC患儿由于长时间禁食,部分患儿还予以胃肠减压治疗,引起钾离子持续性丢失,容易并发低钾血症^[19]。当NEC合并低钾血症时,胃肠道平滑肌兴奋性降低、收缩障碍、肠肌麻痹,导致肠蠕动功能明显减弱甚至消失、腹胀加重,部分患儿还可出现肠梗阻。而腹胀、肠蠕动差、肠梗阻使肠道血液循环障碍、肠壁组织缺血加重、肠黏膜上皮坏死脱落、肠壁通透性明显增加,则更易出现肠坏死和穿孔^[20]。对于NEC患儿注意监测血钾指标,肠外营养液中注意补充适量钾,尽量避免低钾血症发生。

研究表明,及时掌握NEC伴发肠穿孔的手术指征,可有效改善患儿的预后^[4]。目前对于NEC伴发肠穿孔的判断主要参考临床症状、体征及腹部影像学资料(如腹部平片、B超等),但不同研究中上述依据的诊断价值层次不齐^[12,21]。目前对于NEC伴发肠穿孔的诊断,仍面临巨大挑战。本研究将结果所示的独立危险因素(NEC并发败血症、凝血功能障碍及低钾血症)对NEC伴发肠穿孔进行预测分析,发现败血症、低钾血症联合凝血功能障碍对NEC伴发肠穿孔具有较高的预测价值,其特异性和灵敏性分别为79.2%、81.8%。在今后的临床工作中,笔者认为此预测模型可为判断NEC伴发肠穿孔提供参考,从而及时进行相应的手术治疗。

综上所述,NEC并发败血症、凝血功能障碍、低钾血症是NEC伴发肠穿孔的独立危险因素,而高胎龄为其保护性因素。所以临床上对于低胎龄NEC患儿,尤其是合并败血症、凝血功能障碍、低钾血症

等情况下,需高度警惕发生肠穿孔可能,早期识别并采取相应干预措施改善患儿预后。但本研究属于儿童专科医院的回顾性研究,且样本量有限,对围产期资料采集有限,故需多中心、大样本、多学科前瞻性的队列研究进一步验证。

参考文献:

- [1] Zani A, Pierro A. Necrotizing enterocolitis: controversies and challenges[J]. F1000Res, 2015, 4: F1 000 Faculty Rev-1373
- [2] Yang C Y, Lien R, Fu R H, et al. Prognostic factors and concomitant anomalies in neonatal gastric perforation [J]. J Pediatr Surg, 2015, 50(8):1278
- [3] Rao S C, Basani L, Simmer K, et al. Peritoneal drainage versus laparotomy as initial surgical treatment for perforated necrotizing enterocolitis or spontaneous intestinal perforation in preterm low birth weight infants[J]. Cochrane Database Syst Rev, 2011(6):CD006182
- [4] 中华医学会小儿外科分会新生儿外科学组. 新生儿坏死性小肠结肠炎外科手术治疗专家共识[J]. 中华小儿外科杂志, 2016, 37(10):724
- [5] Walsh M C, Kliegman R M. Necrotizing enterocolitis: treatment based on staging criteria[J]. Pediatr Clin North Am, 1986, 33(1):179
- [6] 龙腾河,崔惠勤,董刚志. 新生儿坏死性小肠结肠炎的 DR 诊断[J]. 实用放射学杂志, 2019, 35(1): 97
- [7] 刘利,李秋宇,安瑶,等. 早产与足月新生儿坏死性小肠结肠炎临床对比分析[J]. 重庆医科大学学报, 2017, 42(8):1006
- [8] 夏仁鹏,李碧香,周崇高,等. 新生儿胃肠穿孔 206 例病因分析及临床转归[J]. 中华新生儿科杂志, 2017, 32(1): 31
- [9] Nair J, Longendyke R, Lakshminrusimha S. Necrotizing enterocolitis in moderate preterm infants[J]. Biomed Res Int, 2018, 2018:4126245
- [10] 蔡岳鞠,瞿柳红,李薇,等. 新生儿坏死性小肠结肠炎临床特点及预后不良危险因素多中心研究[J]. 中华实用儿科临床杂志, 2019, 34(1): 24
- [11] Cotten C M. Modifiable risk factors in necrotizing enterocolitis[J]. Clin Perinatol, 2019, 46(1):129
- [12] Duci M, Fascetti-Leon F, Erculiani M, et al. Neonatal independent predictors of severe NEC[J]. Pediatr Surg Int, 2018, 34(6):663
- [13] Bowker R M, Yan X, De Plaen I G. Intestinal microcirculation and necrotizing enterocolitis: the vascular endothelial growth factor system[J]. Semin Fetal Neonatal Med, 2018, 23(6):411
- [14] Zhang L P, Lei X P, Luo L J, et al. Risk factors for necrotizing enterocolitis in very preterm infants: a case-control study in southwest China[J]. J Matern Fetal Neonatal Med, 2019, 32(6):896
- [15] Vongbhavit K, Underwood M A. Intestinal perforation in the premature infant[J]. J Neonatal Perinatal Med, 2017, 10(3):281
- [16] Song R, Subbarao G C, Maheshwari A. Haematological abnormalities in neonatal necrotizing enterocolitis[J]. J Matern Fetal Neonatal Med, 2012, 25 (Suppl 4):22
- [17] Giuliani S, Tan Y W, Zheng D, et al. Coagulation gene expression profiling in infants with necrotizing enterocolitis[J]. J Pediatr Gastroenterol Nutr, 2016, 63(6):e169
- [18] 胡亚美,江载芳,申昆玲,等. 诸福棠实用儿科学[M]. 8版. 北京: 人民卫生出版社, 2015: 401-402
- [19] Bonilla-Félix M. Potassium regulation in the neonate[J]. Pediatr Nephrol, 2017, 32(11):2037
- [20] Trefz F M, Lorch A, Zitzl J, et al. Risk factors for the development of hypokalemia in neonatal diarrheic calves[J]. J Vet Intern Med, 2015, 29(2):688
- [21] Tan C E, Kiely E M, Agrawal M, et al. Neonatal gastrointestinal perforation[J]. J Pediatr Surg, 1989, 24(9):888

(2020-04-01 收稿)

·读者·作者·编者·

《天津医科大学学报》关于“ppm、ppb、ppt”英文缩写的换算说明

在医学论文中,“ppm、ppb、ppt”这类英文缩写常常被作者作为单位符号使用,但“ppm、ppb、ppt”既不是数学符号,更不是单位符号,只是表示数量份额的英文名词缩写(英文全称分别为 parts per million、parts per billion、parts per trillion)。在实际研究中,仪器测量的数值可能会以“ppm、ppb、ppt”形式给出结果,作者在撰写文章进行数据描述时则需对“ppm、ppb、ppt”进行换算。

对溶液而言,换算前需了解体积比还是质量比。 $1 \mu\text{g}/\text{mL}$ 是质量-体积比,如果溶液的密度是 $1 \text{ g}/\text{mL}$,则 $1 \mu\text{g}/\text{mL}$ 相当于 1 ppm ;如果溶液密度不是 $1 \text{ g}/\text{mL}$,则需要进行换算。

对大气中的污染物而言,常用体积浓度和质量-体积浓度来表示其在大气中的含量。体积浓度是用每立方米大气中含有污染物的体积数来表示(如 cm^3/m^3 、 mL/m^3),换算关系是: $1 \text{ ppm}=1 \text{ cm}^3/\text{m}^3=10^{-6}$, $1 \text{ ppb}=10^{-9}$, $1 \text{ ppt}=10^{-12}$;质量-体积浓度是用每立方米大气中污染物的质量数来表示(如 mg/m^3 、 g/m^3),换算关系是: $C=22.4 X/M$,式中: X 为污染物以 mg/m^3 表示的浓度值, C 为污染物以 ppm 表示的浓度值, M 为污染物的分子质量。

在土壤、动植物、固体废弃物中“ppm、ppb、ppt”与质量含量的换算关系为: $1 \text{ ppm}=1 \text{ mg}/\text{kg}=1 000 \mu\text{g}/\text{kg}$, $1 \text{ ppb}=1 \mu\text{g}/\text{kg}=10^{-3} \text{ mg}/\text{kg}$, $1 \text{ ppt}=1 \text{ ng}/\text{kg}=10^{-6} \text{ mg}/\text{kg}$ 。

本刊编辑部