

呼气末一氧化碳在新生儿黄疸住院评估中的应用研究

骆秋月^{1,2}, 李井洋², 王晓燕², 雷喜梅², 倪黎明², 刘 俐¹

(1. 西安交通大学第一附属医院, 新生儿科, 陕西 西安 710061;

2. 西安市人民医院(西安市第四医院), 新生儿科, 陕西 西安 710004)

[摘要]目的 探讨呼气末一氧化碳(ETCO)在新生儿黄疸住院评估中的作用,为进一步扩充ETCO临床应用范围提供理论依据。**方法** 选择2021年3月至2022年11月期间在西安市人民医院(西安市第四医院)出生且因黄疸住院的新生儿为研究对象。受试对象在常规治疗的基础上进行ETCO检测,以1.60ppm为截断值分为高水平组($ETCO \geq 1.60\text{ppm}$)和低水平组($ETCO < 1.60\text{ppm}$)。分别收集两组患儿胎龄、体重、性别、母孕期危险因素、新生儿溶血试验结果等基本信息,以及住院治疗时长、光疗总时长等住院资料进行统计分析。**结果** 两组患儿性别、剖宫产率、出生体重、母亲分娩时年龄、孕母合并症(围产期感染、胎膜早破、甲状腺功能减低症、妊娠期糖尿病)、脐带异常、羊水污染、溶血试验阳性比较无统计学差异($P > 0.05$);出生胎龄高水平组低于低水平组,差异具有统计学意义($t = 2.107, P = 0.038$);两组入院小时龄、入院时血清总胆红素(TSB)值、入院时经皮胆红素(TcB)值、TcB百分位无统计学差异($P > 0.05$);住院期间TcB升高速率高水平组高于低水平组,差异具有统计学意义($t = 3.091, P = 0.003$);住院光疗时长高水平组高于低水平组,差异具有统计学意义($t = 2.449, P = 0.017$);住院总天数两组间无统计学差异($P > 0.05$)。ETCO与TcB升高速率呈正相关关系($r = 0.396, P < 0.001$),而与TSB无相关性($P > 0.05$)。**结论** ETCO能够反应新生儿黄疸患儿TcB升高的速率水平、评估住院光疗时间,具有临床推广价值。

[关键词] 呼气末一氧化碳;新生儿;黄疸;高胆红素血症;光疗

Doi:10.3969/j.issn.1673-5293.2025.05.004

[中图分类号] R174

[文献标识码] A

[文章编号] 1673-5293(2025)05-0024-07

Study on the application of end-tidal carbon monoxide in the hospital evaluation of neonatal jaundice

LUO Qiuyue^{1,2}, LI Jingyang², WANG Xiaoyan², LEI Ximei², NI Liming², LIU Li¹

(1. *Department of Neonatology, The First Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Shaanxi Xi'an 710061, China;*

2. *Department of Neonatology, Xi'an People's Hospital (Xi'an Fourth Hospital), Shaanxi Xi'an 710004, China*)

[Abstract] Objective To explore the role of end-tidal carbon monoxide (ETCO) in the hospital evaluation of neonatal jaundice and to provide a theoretical basis for expanding the clinical application of ETCO. **Methods** Newborns born between March 2021 and November 2022 at Xi'an People's Hospital (Xi'an Fourth Hospital) and hospitalized for jaundice were selected as study subjects. On the basis of routine treatment, ETCO measurements were performed. Using 1.60ppm as the cutoff value, the infants were divided into a high-level group ($ETCO \geq 1.60\text{ppm}$) and a low-level group ($ETCO < 1.60\text{ppm}$). Basic information such as gestational age, birth weight, sex, maternal pregnancy risk factors, and neonatal hemolysis test results was collected for both groups, along with hospitalization data including duration of hospital stay and total phototherapy time, for statistical analysis. **Results** There were no statistically significant differences between the high-level group and the low-level group in terms of gender, cesarean section rate, birth weight, maternal age at delivery, maternal complications (perinatal infection, premature rupture of membranes, hypothyroidism, gestational diabetes), umbilical cord abnormalities, amniotic fluid contamination, or positive hemolysis test results ($P > 0.05$). Gestational age at birth was significantly lower in the high-level group than in the low-level group ($t = 2.107, P = 0.038$). There were no significant differences in age at admission (in hours), total serum bilirubin (TSB), transcutaneous bilirubin (TcB), or TcB percentile at admission ($P > 0.05$). The rate of TcB increase during hospitalization was significantly higher in the high-level group than in the low-level group ($t = 3.091, P = 0.003$), and the duration of phototherapy was also significantly longer in the high-level group ($t = 2.449, P = 0.017$). However, there was no significant difference in the total length of hospital stay between the two groups ($P > 0.05$). ETCO was positively correlated with the rate of TcB increase ($r = 0.396, P < 0.001$), but not with TSB ($P > 0.05$). **Conclusion** ETCO can reflect the rate of TcB increase in neonates with jaundice and help assess the required duration of

[收稿日期] 2024-09-28

[基金项目] 西安市人民医院(西安市第四医院)科研孵化基金项目(No.FZ-73)

[作者简介] 骆秋月(1990—),女,主治医师,在读硕士研究生,主要从事新生儿相关疾病的研究。

[通讯作者] 刘 俐,主任医师,教授,博士生导师。

phototherapy during hospitalization, indicating its potential clinical value for broader application.

[Key words] end-tidal carbon monoxide; neonate; jaundice; hyperbilirubinemia; phototherapy

黄疸是新生儿最常见的临床症状,约 60%~80%的新生儿会出现不同程度的黄疸^[1-2]。大多数新生儿黄疸预后较好,少数患儿可能因为发现不及时或治疗不规范而出现严重高胆红素血症,最终导致神经系统后遗症,影响患儿未来生活质量,给社会和家庭造成严重负担。有学者通过研究全球疾病负担数据库发现,从 1990 年至 2019 年全球新生儿黄疸发病人数从 601 681 例增加到 626 005 例,涨幅为 4.04%;新生儿黄疸死亡人数从 128 119 例下降至 52 742 例,降幅为 58.83%^[3]。可见经过社会各界近 20 年的不懈努力,新生儿黄疸的死亡率大大降低,但发病率却有小幅升高,因此黄疸的诊治仍面临着不小的压力。

目前绝大多数日常的黄疸管理采用经皮胆红素(transcutaneous bilirubin, TcB)值测定的方法,但由于机器和人员操作问题, TcB 与血清总胆红素(total serum bilirubin, TSB)值之间可能存在一定误差^[4];另一方面 TSB 检测需采集患儿血液样本,反复穿刺的疼痛刺激不利于患儿神经系统发育,并且家长依从性差。在胆红素代谢过程中,红细胞破坏后会释放血红蛋白,同时产生等摩尔的一氧化碳(carbon monoxide, CO)^[5]。CO 与血红蛋白结合形成碳氧血红蛋白(carboxyhaemoglobin, COHb),最终运送至肺部通过呼吸排出体外^[6]。因此新产生的胆红素量与 COHb 量相等,并且通过检测呼气中 CO,能够反映体内 COHb 水平^[7]。呼气末一氧化碳(end-tidal carbon monoxide, ETCO)检测无需抽血操作,与 TcB 测定同为无创检查,已经开始应用于临床并作为评估胆红素水平的新手段^[8]。但目前国内相关前瞻性研究不多,尚缺乏应用经验。由此,我们将 ETCO 检测与胆红素检测相结合,探讨其在新生儿黄疸评估中的作用,为 ETCO 的临床应用提供理论依据。

1 资料和方法

1.1 研究对象

选择 2021 年 3 月至 2022 年 11 月期间在西安市人民医院(西安市第四医院)出生且因黄疸住院的新生儿作为研究对象。住院标准:TSB 大于 Bhutani

曲线 75 百分位(中-高风险区);出院标准:TSB 位于 Bhutani 曲线 75 百分位以下^[9]。

纳入标准:①37 周≤出生胎龄<42 周;②出生体重≥2 000g。排除标准:①孕母分娩前 3 个月内存在烟草暴露^[10];②存在感染性疾病,如:新生儿肺炎、新生儿败血症、化脓性脑膜炎、巨细胞病毒感染等;③存在危及生命的疾病或疾病状态,如:新生儿急性呼吸窘迫综合征、新生儿呼吸窘迫综合征、新生儿坏死性小肠结肠炎、肺出血、呼吸衰竭、心力衰竭等;④存在先天性或遗传代谢性疾病,如:先天性甲状腺功能减退症、先天性胆道闭锁、吉尔伯特综合征(Gilbert syndrome)、杜宾-约翰逊综合征(Dubin-Johnson syndrome)、罗托综合征(Rotor syndrome, RS)、克里格勒-纳贾尔综合征(Crigler-Najjar syndrome, CNS)、先天性肠道疾病等原因导致的黄疸及以直接胆红素升高为主的黄疸患儿;⑤监护人拒绝进行试验或监护人中途退出试验。

试验共计纳入受试者 93 人,中途退出研究 8 人,退出原因是监护人要求签字出院,未完成诊疗过程,故无法客观描述具体住院时长、光疗时间等信息。因此最终研究对象共计 85 人。所有受试对象监护人对本研究知情同意,自愿参加本研究并签署《知情同意书》。

1.2 研究方法

受试者入院时即应用呼气末 CO 浓度检测仪(CoSense, USA)检测平静呼气下 ETCO,同时抽取静脉血进行 TSB 检测(干化学法),并使用经皮胆红素仪(JH20-1, 南京理工大学)分别测量前额眉心正中和胸骨正中两处 TcB,每处分别测量 3 次取其平均值记录。

Bao 等^[10]通过绘制列线图发现,ETCO 第 75 百分位线为 1.60ppm,并将 ETCO 高于 1.60ppm 定义为“高水平”。故本研究以 1.60ppm 作为截断值将所有纳入对象分为:ETCO≥1.60ppm 的高水平组(下文称“高水平组”)58 例和 ETCO<1.60ppm 的低水平组(下文称“低水平组”)27 例。

收集两组患儿胎龄、体重、性别、母孕期危险因素、新生儿溶血试验结果等基本信息。所有患儿进

行黄疸常规治疗,包括但不限于每日 TcB 监测、蓝光照射、口服药物(如茵栀黄口服液、苯巴比妥、益生菌等)、输注血液制品(如丙种球蛋白、白蛋白)或换血治疗,同时完善血常规,必要时行新生儿溶血试验、头颅 MRI 检查,记录相关检查结果。统计两组患儿收住院日龄、住院时间、光疗总时长等住院资料。

所有入组患儿均进行标准光疗。光疗标准:参照 2004 年美国儿科学会推荐的光疗参考标准^[11];停止光疗标准:TSB 低于胆红素光疗阈值 $50\mu\text{mol/L}$ (3mg/dl)^[12]。

1.3 统计学方法

采用 SPSS 28.0 统计软件进行统计学分析。计

量资料采用均数±标准差($\bar{x} \pm s$)表示,组间比较使用 t 检验。计数资料以例数(n)和百分比(%)表示,组间比较使用卡方检验。使用 Spearman 进行相关分析。 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 两组患儿一般情况比较

两组患儿性别、剖宫产率、出生体重、母亲分娩时年龄、孕母合并症、脐带异常、羊水污染、溶血试验阳性方面比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$)。出生胎龄高水平组低于低水平组,差异具有统计学意义($t = 2.107, P = 0.038$),见表 1。

表 1 两组患儿一般情况比较 $[\bar{x} \pm s, n(\%)]$

Table 1 Comparison of general characteristics between the two groups of neonates $[\bar{x} \pm s, n(\%)]$

指标	高水平组($n=58$)	低水平组($n=27$)	t/χ^2	P 值
性别			0.109	0.742
男	30(51.72)	15(55.56)		
女	28(48.28)	12(44.44)		
出生胎龄(周)	39.54 ± 1.04	40.04 ± 1.00	2.107	0.038 *
剖宫产	19(32.76)	8(29.64)	0.083	0.773
出生体重(g)	3317 ± 363.70	3379 ± 428.40	0.695	0.489
母亲年龄(岁)	31.02 ± 3.41	30.96 ± 4.00	0.065	0.949
母亲合并症				
感染	6(10.34)	5(18.52)	1.093	0.296
胎膜早破	14(24.14)	7(25.93)	0.032	0.859
甲状腺功能减低症	10(17.24)	6(22.22)	0.299	0.584
妊娠期糖尿病	6(9.38)	4(14.81)	0.575	0.449
脐带异常	26(44.83)	14(51.85)	0.365	0.546
羊水污染	16(27.59)	8(29.63)	0.038	0.846
新生儿溶血试验阳性	27(46.55)	11(40.74)	0.252	0.616

注: * $P < 0.05$ 为有统计学差异。

2.2 两组患儿住院信息比较

两组患儿间入院小时龄、入院时 TSB、入院时 TcB、TcB 百分位比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$);住院期间 TcB 升高速率高水平组高于低水平组,差异具有统计学意义($t = 3.091, P = 0.003$);住院光疗时长高水平组长于低水平组,差异具有统计学意义($t = 2.449, P = 0.017$);两组间住院总天数无统计学差异($P > 0.05$),见表 2。入院时 TcB 与 TSB 两者无统计学差异(配对 t 检验: $t = 0.668, P =$

0.506),数据未展示。

2.3 患儿 ETCO 与 TcB 上升速率的关系

为进一步阐明 ETCO 在新生儿黄疸监测中的作用与意义,对 ETCO 与 TcB 升高速率进行相关性分析,发现二者存在显著正相关($r = 0.396, P < 0.001$),见图 1。

2.4 患儿 ETCO 与 TSB 的关系

为进一步阐述 ETCO 检测与 TSB 检测这两种不同方法在评估黄疸中的关系,从而对患儿入院时

ETCO 与 TSB 之间进行相关性分析。结果发现, $r=0.937$), 见图 2。
ETCO 与 TSB 之间无显著相关性($r=0.009, P=$

表 2 两组患儿住院信息比较 $[\bar{x} \pm s, n(\%)]$
Table 2 Comparison of hospitalization information between the two groups of neonates $[\bar{x} \pm s, n(\%)]$

指标	高水平组(n=58)	低水平组(n=27)	t/χ^2	P 值
入院龄(h)	52.81±26.49	57.89±60.33	0.419	0.679
入院 TSB(umol/L)	203.50±95.88	203.70±75.28	0.010	0.992
入院 TcB(umol/L)	193.80±68.88	209.70±76.45	0.962	0.339
TcB 百分位			0.405	0.525
75~95 th	19(32.76)	7(25.93)		
≥95 th	39(67.24)	20(74.07)		
TcB 升高速率(mg/dl/h)	0.30±0.15	0.22±0.09	3.091	0.003 *
光疗时长(h)	49.02±19.93	40.22±12.77	2.449	0.017 *
住院时间(天)	6.48±1.85	5.89±1.50	1.460	0.148

注: * $P<0.05$ 为有统计学差异。

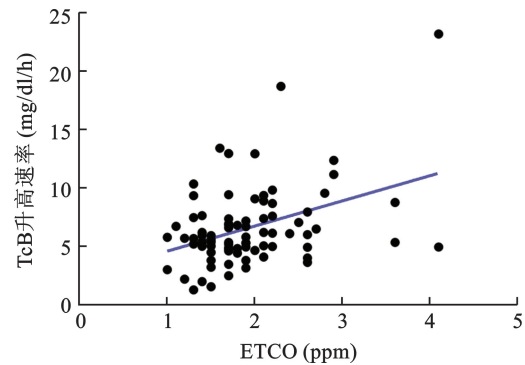


图 1 ETCO 与 TcB 升高速率的关系
Fig.1 Relationship between ETCO and the rate of TcB increase

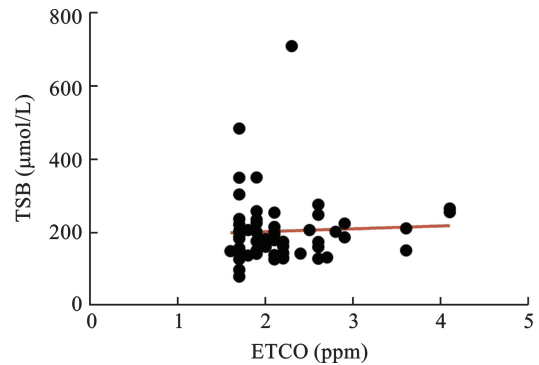


图 3 高水平组 ETCO 与 TSB 的关系
Fig.3 Relationship between ETCO and TSB in the high level group

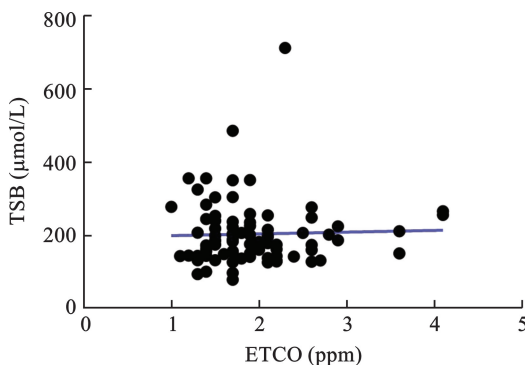


图 2 ETCO 与 TSB 的关系
Fig.2 Relationship between ETCO and TSB

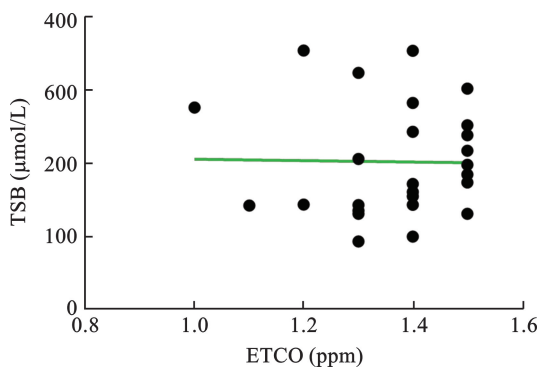


图 4 低水平组 ETCO 与 TSB 的关系
Fig.4 Relationship between ETCO and TSB in the low level group

除此之外,分别对高水平组和低水平组患儿的 ETCO 与 TSB 进行相关性分析,均无显著相关性(高水平组: $r=0.032, P=0.809$;低水平组: $r=0.147, P=0.473$),见图 3、图 4。

3 讨论

我国新生儿胆红素高峰期一般出现在日龄 4~7 天。随着产科技术的发展,新生儿随母住院平均

时间明显缩短,新生儿出生后 72 小时内出院已成为普遍现象,可见新生儿胆红素高峰期处于出院之后。每日规律且规范地进行 TcB 检测能够有效降低高胆红素血症的发生,提高临床痊愈率^[12]。然而,目前缺乏胆红素水平升高的预测方法,若忽略出院后合理的胆红素监测和随访,新生儿高胆红素血症得不到早期发现和及时干预,可能会导致部分患儿并发严重的胆红素脑病,给家庭和社会带来沉重的负担^[13],需引起医护人员及家长的警惕。

3.1 ETCO 能够识别高胆红素血症

胆红素代谢过程中会产生等摩尔的 CO,已有学者研究使用内源性 CO 作为衡量新生儿黄疸胆红素产量的指标,以便更早期地识别胆红素迅速升高的高危新生儿^[14-17]。2016 年 Bhutani 使用 ETCO 检测装置对内源性 CO 进行检测,发现了 ETCO 与胆红素生成相关的证据^[18]。2004 年美国儿科学会推荐,可以使用 ETCO 评估新生儿溶血,或使用 ETCO 对胎龄 ≥ 35 周的新生儿高胆红素血症进行管理^[11]。

Bhutani 等^[19]研究发现 $ETCO \geq 2.0\text{ppm}$ 和 $\geq 2.5\text{ppm}$ 分别对应小时胆红素曲线的 75th~90th 和 $> 90^{\text{th}}$ 百分位线,高的 TSB/TcB 相对有更高的 ETCO。对于存在严重黄疸的患儿,其 TSB/TcB 越高,ETCO 及总胆红素(total bilirubin, TB)升高速率越快。该研究发现有一部分 TSB/TcB 不高的黄疸患儿存在异常的 ETCO,而且同样存在 TSB/TcB 高但 ETCO 水平低的黄疸患儿。因此单用 ETCO 一个指标不能够充分评估高胆红素的水平。使用 TSB 或 TcB 联合 ETCO 能够更好识别高胆红素血症, $TSB/TcB \geq 75^{\text{th}}$ 百分位线, $ETCO \geq 2.0\text{ppm}$, 且 TB 升高速率 $\geq 0.2\text{mg/dl/h}$ 即存在高胆红素血症,以便于早期启动治疗干预,减轻胆红素所致的神经损伤^[19]。

本研究中也出现了同样的问题,进一步进行分析发现 ETCO 与 TSB 之间并无相关性,ETCO 能够反映胆红素生成速率,而 TSB 反应的是当时体内胆红素水平,两者检测意义不同,因此我们认为两者结合能够更好的评估患儿的黄疸风险。

Bhutani 认为在临床中应识别这四种情况:①患儿 $TSB/TcB < 75^{\text{th}}$ 百分位线, $ETCO < 2.0\text{ppm}$, TB 升高速率 $< 0.2\text{mg/dl/h}$, 表明患儿胆红素生成、消除正常;② $TSB/TcB < 75^{\text{th}}$ 百分位线, $ETCO \geq$

2.0ppm , 表明患儿胆红素生成增多,但消除正常;③ $TSB/TcB \geq 75^{\text{th}}$ 百分位线, $ETCO < 2.0\text{ppm}$, 表明患儿胆红素生成正常,但消除障碍;④ $TSB/TcB \geq 75^{\text{th}}$ 百分位线, $ETCO \geq 2.0\text{ppm}$, TB 升高速率 $> 0.2\text{mg/dl/h}$, 表明患儿胆红素生成增多且消除障碍。这其中对于胆红素产生速率正常,但胆红素消除障碍导致高胆红素血症,患儿的 TB 高峰晚于通常的 TB 高峰(即 72~96 小时),这些新生儿往往已出院回家,容易被忽略而延误治疗。因此 ETCO 与动态 TB 监测能够帮助评估新生儿胆红素生成及消除水平,而且对于评估高胆红素致神经系统损伤,联合使用 TSB/TcB+ETCO+TB 升高速率比应用单个指标评估更有效^[19-20]。

3.2 ETCO 存在检测时间窗

ETCO 并非一成不变。Du^[21]发现 ETCO 在正常非溶血的新生儿中,早期数小时水平很高,之后降低;而在溶血的患儿中 ETCO 会持续 5 天才开始下降。Bao 等^[10]通过实验绘制 ETCO 的列线图以及 ETCO/小时曲线,发现 ETCO 在出生 3 天明显降低,之后变化不大;显著差异发生在 72 小时和 96 小时,但无统计学差异。杨爱娟等^[22]研究证实,随着日龄不断增加,出生 3 天后患儿的 COHb 明显降低。可见 ETCO 降低与 COHb 水平基本一致。有学者分析其原因后认为 ETCO 及 COHb 在出生最初几个小时内水平较高,可能与出生早期循环血液中红细胞被破坏有关;出生后几天内红细胞破坏减少从而使 COHb 及 ETCO 维持在稳定水平^[19]。可见出生后早期 ETCO 处于高水平之后会逐渐降低,理想的检测时间应是在出生后 4~5 天内进行。

Bao 等^[10]通过分析列线图认为可将 $ETCO \geq 75^{\text{th}}$ 百分位线定义为“高”(值约为 1.60ppm), $\geq 95^{\text{th}}$ 百分位线定义为“极高”,这与 Bhutani 结论基本一致。因此本研究以 ETCO 为 1.60ppm 作为区分 ETCO 高水平组与低水平组的截断值。纳入的患儿住院即刻进行 ETCO 检测,故入院龄即为检测时间,高水平组与低水平组检测时间均值分别在在 56.81 小时和 57.89 小时,两者都在 ETCO 检测理想的时间窗内。

3.3 ETCO 能够对住院患儿光疗时长进行预测

目前光疗仍是新生儿黄疸最为重要的治疗方

式,能够有效加速胆红素的排泄。然而为了规避临床风险,随意使用光疗的现象仍存在,范围约4.4%~14%^[18]。光疗对新生儿并非完全无害,尤其是早产儿和低体重儿。光疗副作用包括:红斑、干扰昼夜节律、DNA损伤、增加儿童期癫痫发作等^[21]。另一方面,国内光疗大部分需要住院,会导致母婴分离;而且临床上新生儿常常接收间歇性光疗,光疗后短暂的胆红素下降并不意味着治疗结束,患儿往往需要多轮光疗^[20],会延长住院天数,增加母婴分离的时间。由于光疗后皮肤退黄,TcB不能准确反应患儿疾病程度,而如果要准确评估体内胆红素水平需进行血清学检测,但反复的静脉采血并不是连续监测的理想方法。

TSB/TcB能够反应黄疸患儿体内胆红素的即刻水平,ETCO能够反应体内胆红素的生成水平,两者评估方向不同。有学者将两种检测方法联合,探索在光疗指征评估中的作用。Bhutani等^[18]发现对于TB>75th百分位线的患儿,使用ETCO预测其光疗的可能性以及胆红素负荷增加是有必要的,该研究表明ETCO>1.5ppm和/或TB升高速率>0.2mg/dl/h有必要进行光疗;Bao等^[10]研究发现ETCO≥75th百分位线以及TSB/TcB≥75th百分位线的患儿需要光疗的敏感性达92.1%;且在生后早期(12~72小时)能够很好预测光疗情况(特异性达97.8%)。可见ETCO联合胆红素检测(TSB/TcB)对住院光疗的风险有很好的预测作用。

已有学者依据胎龄、日龄以及TSB等指标研究出一些预测光疗的评分系统^[23-24]。但是Zhan等^[20]发现性别、出生胎龄、入院时TSB并不是光疗时长的危险因素,而高的ETCO是光疗时长的危险因素,ETCO的高低与住院期间光疗时间密切相关,是一项有效的预测指标。但作者对ETCO与光疗时长相关的原因尚不清楚,且研究纳入的是高胆红素血症的患儿,对中等程度的胆红素血症是否成立并不确定。本研究发现,高胆红素血症患儿(TSB/TcB≥95th百分位线)与中等程度胆红素血症患儿(75th百分位线≤TSB/TcB<95th百分位线)ETCO无统计学差异(1.90±0.65 vs. 1.97±0.55, $t=0.470$, $P=0.640$,结果未展示),表明两者在胆红素生成速率方面没有明显差异。另一方面,ETCO高水平组与ETCO低水平组中患儿的TSB/TcB以及其在胆红素-时间曲线位

置无明显差异,即两组患儿胆红素水平分布基本一致。可见TSB/TcB与ETCO是两种不同的评估胆红素水平的检测方法。

本研究发现,ETCO对光疗时长有一定预测作用,高水平组有更长的住院光疗时间,即ETCO越高提示患儿住院期间总光疗时间越长,然而高水平组与低水平组住院时间长短并无差异。为进一步阐明ETCO对黄疸患儿住院评估中的作用原因,本研究进行了相关性分析,发现ETCO与住院期间患儿TcB升高速率呈正相关,这与ETCO能够反映胆红素生成速率的结论相一致。

综上所述,ETCO是一个能够评估黄疸患儿体内胆红素生成速率的理想指标,可应用于高胆红素血症的诊断和评估中。ETCO与TcB升高速率呈正相关,ETCO联合胆红素测定(TSB/TcB)能够更加准确地评估黄疸患儿的光疗指征并对光疗时长进行预测。使用此技术能够帮助医务工作者更好地进行病情判断,有利于医患沟通,具有临床推广价值。

利益冲突:所有作者均声明无利益冲突。

[参考文献]

- [1] Mitra S, Rennie J. Neonatal jaundice: aetiology, diagnosis and treatment[J]. Br J Hosp Med (Lond), 2017, 78(12): 699-704.
- [2] 刘鑫, 邹宁. 基因多态性与新生儿迁延性黄疸研究进展[J]. 国际儿科学杂志, 2022, 49(3): 193-196.
- [3] 左爽, 李景, 华子瑜. 1990—2019年全球新生儿黄疸疾病负担分析[J]. 中国当代儿科杂志, 2023, 25(10): 1008-1015.
- [4] 孙立平, 王助衡, 底建辉, 等. 足月显性黄疸新生儿TcB与血清TSB测定的比较[J]. 中国妇幼健康研究, 2016, 27(7): 789-791, 795.
- [5] Stevenson D K, Vreman H J, Wong R J, et al. Carbon monoxide and bilirubin production in neonates[J]. Semin Perinatol, 2001, 25(2): 85-93.
- [6] Stevenson D K, Vreman H J, Oh W, et al. Bilirubin production in healthy term infants as measured by carbon monoxide in breath[J]. Clin Chem, 1994, 40(10): 1934-1939.
- [7] Tidmarsh G F, Wong R J, Stevenson D K. End-tidal carbon monoxide and hemolysis[J]. J Perinatol, 2014, 34(8): 577-581.

- [8] Bhutani V K, Wong R J, Vreman H J, et al. Bilirubin production and hour-specific bilirubin levels[J]. *J Perinatol*, 2015, 35(9): 735-738.
- [9] 张巍, 侯新琳. 新生儿黄疸管理流程共识[J]. *中国优生与遗传杂志*, 2021, 29(3): 297-299.
- [10] Bao Y, Zhu J, Ma L, et al. An end-tidal carbon monoxide nomogram for term and late-preterm chinese newborns[J]. *J Pediatr*, 2022, 250: 16-21.e3.
- [11] Management of hyperbilirubinemia in the newborn infant 35 or more weeks of gestation[J]. *Pediatrics*, 2004, 114(1): 297-316.
- [12] 中华医学会儿科学分会新生儿学组, 《中华儿科杂志》编辑委员会. 新生儿高胆红素血症诊断和治疗专家共识[J]. *中华儿科杂志*, 2014, 52(10): 745-748.
- [13] 赵保云, 贾晨光. 规范管理胆红素对新生儿黄疸临床转归的影响[J]. *中国妇幼健康研究*, 2017, 28(7): 856-857, 873.
- [14] Bailey D G N, Fuchs H, Hentschel R. Carboxyhemoglobin-the forgotten parameter of neonatal hyperbilirubinemia[J]. *J Perinat Med*, 2017, 45(5): 613-617.
- [15] Schutzman D L, Gatien E, Ajayi S, et al. Carboxyhemoglobin levels as a predictor of risk for significant hyperbilirubinemia in African-American DAT(+) infants[J]. *J Perinatol*, 2016, 36(5): 386-388.
- [16] Varal I G, Mengi S, Dogan P, et al. Elevated blood carboxyhemoglobin levels as an early predictor of phototherapy requirement in moderate and late preterm infants[J]. *J Matern Fetal Neonatal Med*, 2020, 33(8): 1441-1446.
- [17] Lozar-Krivec J, Bratanic B, Paro-Panjan D. The role of carboxyhemoglobin measured with CO-oximetry in the detection of hemolysis in newborns with ABO alloimmunization[J]. *J Matern Fetal Neonatal Med*, 2016, 29(3): 452-456.
- [18] Bhutani V K, Srinivas S, Cuadrado M E C, et al. Identification of neonatal haemolysis: an approach to predischarge management of neonatal hyperbilirubinemia[J]. *Acta Paediatr*, 2016, 105(5): e189-e194.
- [19] Bhutani V K, Maisels M J, Schutzman D L, et al. Identification of risk for neonatal haemolysis[J]. *Acta Paediatrica*, 2018, 107(8): 1350-1356.
- [20] Zhan Y, Peng H, Jin Z, et al. Higher ETCOc predicts longer phototherapy treatment in neonatal hyperbilirubinemia[J]. *Front Pediatr*, 2023, 11: 1154350.
- [21] Du L, Ma X, Shen X, et al. Neonatal hyperbilirubinemia management: clinical assessment of bilirubin production[J]. *Semin Perinatol*, 2021, 45(1): 151351.
- [22] 杨爱娟, 李磊, 王艳维, 等. 碳氧血红蛋白在新生儿 ABO 溶血病诊断中的价值[J]. *中国妇幼健康研究*, 2017, 28(2): 121-124.
- [23] Chang P W, Kuzniewicz M W, McCulloch C E, et al. A clinical prediction rule for rebound hyperbilirubinemia following inpatient phototherapy[J]. *Pediatrics*, 2017, 139(3): e20162896.
- [24] Chang P W, Newman T B. A simpler prediction rule for rebound hyperbilirubinemia [J]. *Pediatrics*, 2019, 144(1): e20183712.

[专业责任编辑: 李占魁]

[中文编辑: 刘昕田; 英文编辑: 杨寅]