

儿童四肢骨折术中及术后发生低体温风险预测模型的构建

王雅琪, 聂欢*

北京儿童医院新疆医院, 新疆维吾尔自治区儿童医院手术麻醉科, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2024年11月25日; 录用日期: 2024年12月18日; 发布日期: 2024年12月27日

摘要

目的: 构建四肢骨折患儿术中及术后低体温风险预测模型, 以优化手术室护理流程, 降低四肢骨折患儿术中及术后低体温的发生率。方法: 回顾性分析2022年6月至2024年10月期间在我院接受手术治疗的221例四肢骨折患儿的临床资料, 通过LASSO回归筛选关键变量, 并使用logistic回归识别出与低体温密切相关的预测因子, 构建预测模型并将其可视化, 通过ROC曲线、校准曲线和决策曲线分析评估列线图的预测性能。结果: 最终纳入221例患者, 其中47例发生低体温, 174例未发生低体温。Logistic回归分析显示, 患儿术中失血量、入室体温及手术室温度是四肢骨折患儿术中低体温发生的独立影响因素($P < 0.05$)。预测模型AUC为0.895 (95% CI: 0.856~0.934), 模型的一致性和预测能力均较好, 临床决策曲线显示模型在不同阈值下均具有临床获益。结论: 术中失血量、入室体温计手术室温度是影响四肢骨折患儿发生术中或术后低体温的独立危险因素, 以此构建的骨折患儿术中低体温风险预测模型具有较高的准确性和适用性, 可提供可靠的预测工具, 有助于术中低体温的预防和管理。

关键词

儿童四肢骨折, 低体温, 预测模型

Construction of a Risk Prediction Model for Hypothermia during and after Surgery in Pediatric Limb Fractures

Yaqi Wang, Huan Nie*

Department of Surgical Anesthesiology, Children's Hospital of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Xinjiang Hospital of Beijing Children's Hospital, Urumqi Xinjiang

Received: Nov. 25th, 2024; accepted: Dec. 18th, 2024; published: Dec. 27th, 2024

*通讯作者。

文章引用: 王雅琪, 聂欢. 儿童四肢骨折术中及术后发生低体温风险预测模型的构建[J]. 临床医学进展, 2024, 14(12): 1208-1215. DOI: 10.12677/acm.2024.14123207

Abstract

Objective: To develop a risk prediction model for hypothermia during and after surgery in pediatric patients with limb fractures, in order to optimize operating room nursing processes and reduce the incidence of hypothermia in these patients. **Methods:** A retrospective analysis was conducted on the clinical data of 221 pediatric patients who underwent surgical treatment for limb fractures at our hospital from June 2022 to October 2024. Key variables were selected using LASSO regression, and logistic regression was employed to identify predictive factors closely associated with hypothermia. A predictive model was developed and visualized. The performance of the nomogram was evaluated through ROC curve, calibration curve, and decision curve analysis. **Results:** A total of 221 patients were included, of which 47 developed hypothermia and 174 did not. Logistic regression analysis revealed that intraoperative blood loss, room temperature at admission, and operating room temperature were independent factors influencing intraoperative hypothermia in pediatric limb fracture patients ($P < 0.05$). The AUC of the predictive model was 0.895 (95% CI: 0.856~0.934), with good consistency and predictive ability. Clinical decision curve analysis showed that the model provided clinical benefit at various threshold values. **Conclusion:** Intraoperative blood loss, room temperature at admission, and operating room temperature are independent risk factors for intraoperative or postoperative hypothermia in pediatric limb fracture patients. The risk prediction model developed based on these factors demonstrates high accuracy and applicability, providing a reliable tool for predicting and managing intraoperative hypothermia.

Keywords

Pediatric Limb Fractures, Hypothermia, Predictive Model

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 前言

术中低体温是指患者在手术过程中体温下降至低于 36°C 的状态[1], 是儿童骨折手术中常见的围术期并发症[2], 尤其在四肢骨折患者中发生率较高。术中核心温度比正常温度低 1°C 到 3°C[3], 而对于骨折患儿而言, 术中低体温不仅会影响其生理功能, 增加术后感染、出血和心血管事件的风险, 还可能延长术后恢复时间及住院时间, 影响康复进程[4] [5]。

因此, 如何有效预测和管理术中低体温对于保障患儿的手术安全和促进术后康复至关重要。目前针对儿童患者的预测模型研究较少, 多数仅针对单一变量的分析, 缺乏综合评估工具。基于此, 本研究旨在构建四肢骨折患儿术中低体温风险预测模型, 以评估术中低体温的发生风险。通过模型的开发与验证, 我们旨在为临床提供科学、便捷的评估工具, 优化术中管理, 降低不良事件的发生率。

国内外学者对于术中低体温的研究已较为深入, 但主要集中在成人患者[6]。对于骨折患儿这一特殊群体, 术中低体温的研究相对较少。现有研究表明, 骨折患儿术中低体温的发生与多种因素有关, 包括患儿性别、年龄、BMI、麻醉方式、麻醉 ASA 分级、手术部位、手术时间、术中出血、加温方式, 入室体温、手术室温度、术中输液量和冲洗液温度等[7]。然而, 这些因素如何综合作用于术中低体温的发生, 以及如何通过构建预测模型来有效识别低体温风险, 尚需进一步研究。

2. 研究方法

2.1. 研究设计

本研究为回顾性研究, 按照 STROBE 指南进行报告, 符合观察性研究的规范, 并获新疆维吾尔自治区儿童医院伦理委员会审批。收集从 2022 年 6 月至 2024 年 10 月期间在本院因四肢骨折住院并行手术治疗的儿童患者, 根据术中或术后发生低体温, 分为低体温组和非低体温组。低体温定义为小于 36.5°C (<5 岁儿童)或 36.0°C (>5 岁儿童)。手术均由同一组从业 15 年以上的主刀医师完成, 由手术室受过专业培训的护理人员负责围手术期护理, 以最大程度降低患者在整个手术过程中相关风险发生。

2.2. 纳入标准

① 年龄 ≤ 16 岁; ② 被诊断为上肢或下肢骨折, 需行内固定手术; ③ 临床资料完整。

2.3. 排除标准

① 存在严重合并症, 如代谢性疾病、严重先天性畸形等; ② 术前已出现低体温或发热症状。

2.4. 资料收集

所有资料来自医院电子病历系统。收集患者: 性别、年龄、BMI、麻醉方式、麻醉 ASA 分级、手术部位、手术时间、术中出血、加温方式, 入室体温、手术室温、术中输液量和冲洗液温度。

2.5. 特征选择

采用 LASSO 回归模型选择要纳入的变量, 十折交叉验证确定最佳惩罚项系数 λ , 系数不为 0 的特征被选为重要特征。

2.6. 模型建立

对经 LASSO 回归筛选出的变量, 进行多因素分析, 选择 $P < 0.05$ 的变量, 用多因素 Logistic 回归方法, 纳入最终模型构建。

2.7. 模型展示及评估

采用 R 软件建立列线图, 采用受试者工作特征(ROC)曲线计算曲线下面积(AUC), 采用校准曲线计算列线图预测住院时间延长概率与实际概率的差异, 采用临床决策曲线(DCA)计算列线图的临床获益比。

2.8. 统计分析

计量资料根据数据特性的不同, 采用(Mean \pm SD)或以 Median (IQR)的形式表示。计数资料通过频率和百分比 n (%)的形式进行描述。组间比较时, 根据具体情况选择使用独立样本 t 检验、Wilcoxon 秩和检验、皮尔逊卡方检验或费舍尔精确检验。用 R studio 4.1.2 进行统计分析、Lasso 回归特征筛选、模型构建及评价等, 当 P 值小于 0.05 时, 认为两组间存在统计学差异。

3. 结果

3.1. 两组患者基线特征比较

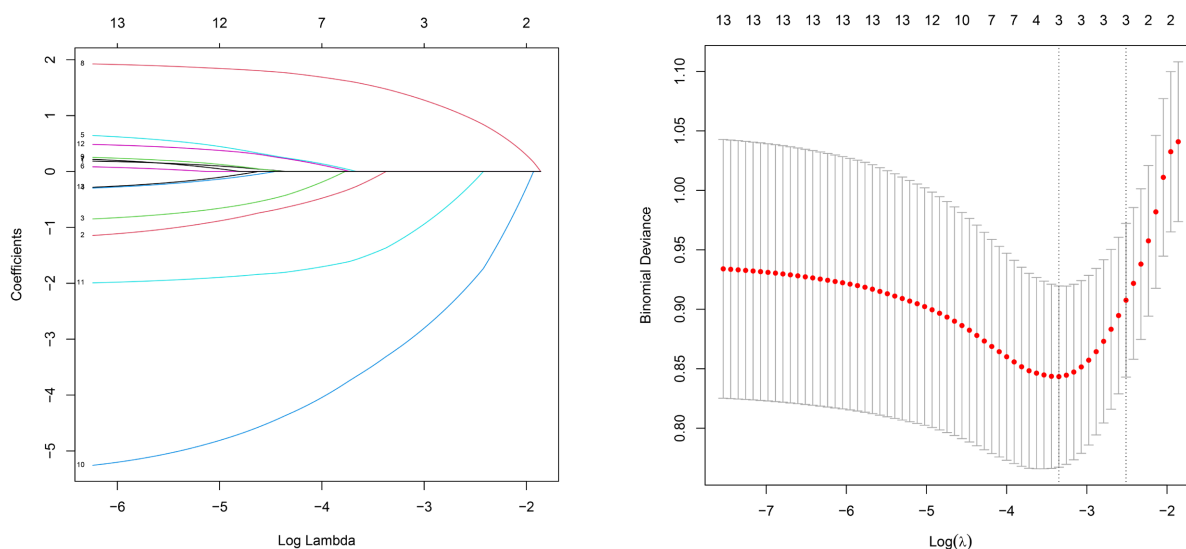
最终纳入 221 例患者, 其中 174 未发生低体温, 47 例患者发生低体温, 两组患者在术中失血量、入室体温和手术室温差异有统计学意义($P < 0.05$), 见表 1。

Table 1. Comparison of baseline characters between the two groups**表 1.** 两组基线资料对比

影响因素		正常组(n = 174)	低体温组(n = 47)	P
性别(n, %)	男	113 (64.9%)	28 (59.6%)	0.611
	女	61 (35.1%)	19 (40.4%)	
年龄	$\bar{x} \pm s$, 岁	8.4 \pm 4.0	7.5 \pm 3.9	0.168
BMI	$\bar{x} \pm s$	17.7 \pm 3.6	17.4 \pm 3.2	0.629
麻醉方式(n, %)	全身麻醉	32 (18.4%)	10 (21.3%)	0.812
	神经阻滞麻醉	142 (81.6%)	37 (78.7%)	
麻醉 ASA 分级(n, %)	1~2 级	155 (89.1%)	39 (83%)	0.378
	3~4 级	19 (10.9%)	8 (17%)	
手术部位 (n, %)	上肢	51 (29.3%)	15 (31.9%)	0.868
	下肢	123 (70.7%)	32 (68.1%)	
手术时间	$\bar{x} \pm s$, min	80.6 \pm 18.8	83.5 \pm 21.3	0.358
术中失血量	≤ 100 mL	159 (91.4%)	27 (57.4%)	<0.001
	>100 mL	15 (8.6%)	20 (42.6%)	
加温方式(n, %)	普通盖被	75 (43.1%)	16 (34%)	0.341
	加温毯	99 (56.9%)	31 (66%)	
入室体温	$\bar{x} \pm s$, $^{\circ}\text{C}$	36.7 \pm 0.3	36.4 \pm 0.3	<0.001
手术室温度	$\bar{x} \pm s$, $^{\circ}\text{C}$	23.0 \pm 0.6	22.6 \pm 0.6	<0.001
术中输液量	$\bar{x} \pm s$, mL	644.5 \pm 77.1	666.0 \pm 65.2	0.083
冲洗液温度(n, %)	常温	129 (74.1%)	36 (76.6%)	0.877
	加热	45 (25.9%)	11 (23.4%)	

3.2. 变量筛选

将组别作为因变量, 将患者资料作为自变量, 通过 LASSO 回归分析的 10 折交叉验证, 确定最优惩罚参数 λ , 最终在最小值的位置筛选出 3 个系数非零的特征变量, 见图 1。

**Figure 1.** LASSO regression cross-validation and variable selection**图 1.** LASSO 回归交叉验证及变量选择

3.3. 模型构建

对经 LASSO 回归筛选出的 3 个变量作为自变量, 进行多因素 Logistic 逐步回归分析, 结果显示: 术中出血量、入室体温和手术室温度有统计学意义($P < 0.05$), 见表 2。用以上 3 个指标构建多因素 Logistic 回归模型, 并建立列线图, 见图 2。

Table 2. Multivariate Logistic stepwise regression analysis results

表 2. 多因素 Logistic 逐步回归分析结果

变量	B	SE	Wald x 值	P	OR (95% CI)
术中出血量	2.041	0.447	4.57	<0.001	7.7 (3.208, 18.484)
入室体温	-2.993	0.829	-3.61	<0.001	0.05 (0.01, 0.254)
手术室温度	-0.683	0.346	-1.98	0.048	0.505 (0.256, 0.994)

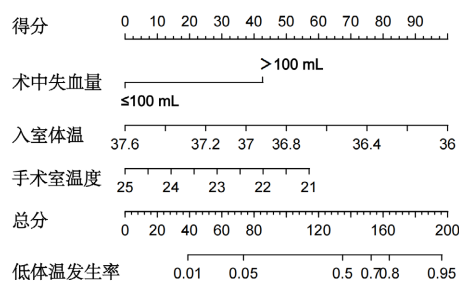


Figure 2. The nomogram of the prediction model of hypothermia occurrence

图 2. 低体温发生预测模型的列线图

3.4. 模型评价

用 Bootstrap 法重抽样 1000 次后, 预测模型 ROC 曲线的 AUC 值为 0.845 [95% CI (0.770, 0.809)]、证明具有较好的区分度。模型的校准曲线和实际观测值吻合较好, 具有较好的一致性, 见图 3。

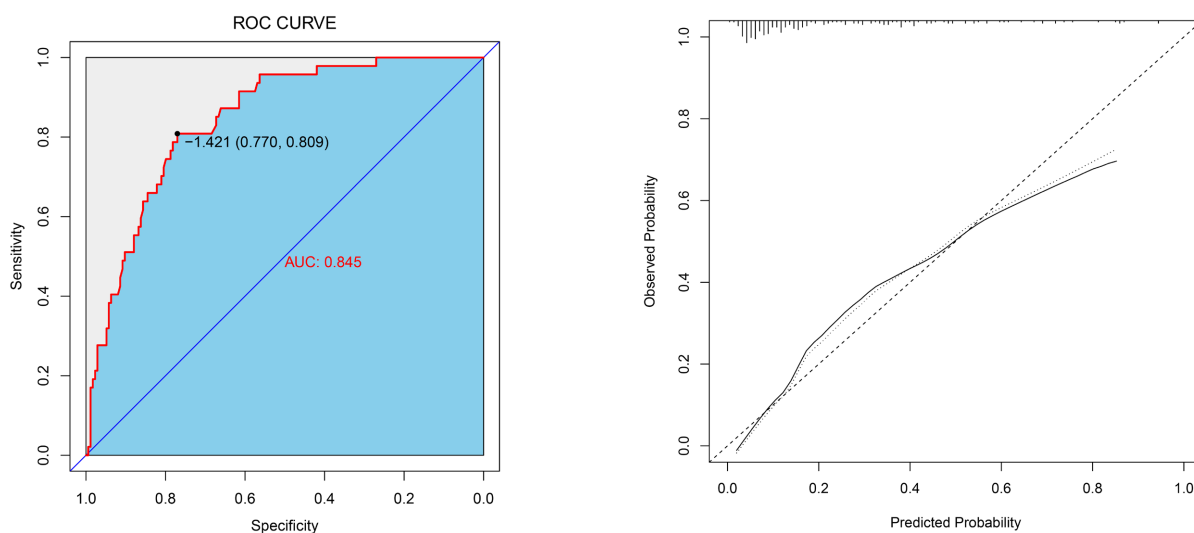


Figure 3. ROC curve and calibration curve of prediction model

图 3. 预测模型 ROC 曲线和校准曲线

决策曲线结果显示, 该模型几乎在任何概率阈值下, 比“不治疗”或“治疗全部”方案均可以获得净收益, 证明具有较好的临床适用性, 见图 4。

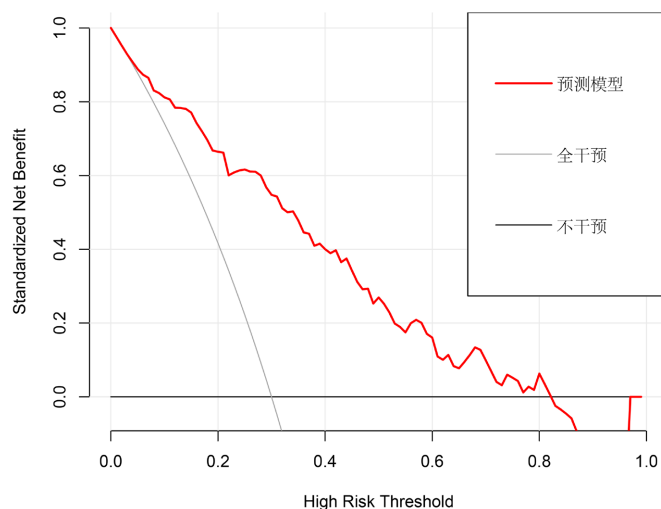


Figure 4. Hypothermia prediction model clinical decision curve
图 4. 低体温预测模型临床决策曲线

4. 讨论

本研究中, 我们构建了儿童四肢骨折患者术中或术后发生低体温的预测模型。我们选择了患者入院时的基本情况, 总共包含了 13 个变量。通过对这 13 个变量进行 LASSO 回归筛选关键变量, 并使用 logistic 回归构建了预测模型, 并将其可视化, 识别出 3 个与低体温密切相关的预测因子, 包括: 术中出血量、入室体温和手术室温度。通过对模型进行评价, 结果表明, 该模型具有良好的区分度和校准度。同时, DCA 显示, 该模型列线图在预测儿童四肢骨折患者术中或术后低体温发生率可以获得净收益, 具有较好的临床适用性。以下从研究结果的解读、模型的意义与优势、临床适用性及未来研究方向进行详细探讨。

本研究结果表明, 术中失血量较大、入室体温较低及手术室温度偏低是儿童四肢骨折术中低体温的显著危险因素。与已有文献一致, 这些因素共同影响了患儿的热平衡调节能力。

术中失血量的影响: 术中失血会直接导致循环血容量减少, 进而削弱机体热量产生的能力[8][9]。同时, 失血也可能增加输注冷血液或室温液体的需求, 从而进一步加剧体温下降[10]。本研究发现, 术中失血量超过 100 mL 显著增加了低体温的发生概率, 表明需在术前制定个性化输血计划, 并在术中密切监测失血情况。

入室体温的重要性: 入室体温作为术前的重要变量, 反映了患儿的初始体温状态。入室体温较低可能是多种原因造成, 如术前环境温度较低或术前准备时间过长[11]。患者在手术过程中其中心体温减少一度, 就会导致患者出现寒战等情况, 还会使患者机体耗氧量有所增加, 加重患者的心脏负荷, 使患者的血压降低, 心率也会逐渐加快, 还可能使患者出现其他的术后并发症[12]。本研究结果显示, 每降低 0.1℃, 患儿发生低体温的风险增加显著, 提示需优化术前保温措施, 如在术前预加温患者或缩短手术等待时间。

手术室温度的作用: 手术室温度直接影响患者皮肤与环境之间的热交换速率。文献建议手术室温度应保持在 23℃ 以上以减少热量丧失[13]。然而, 实际操作中出于工作人员舒适度的考虑, 手术室温度常被设置在较低水平。张霞[14]等研究表明, 手术室环境温度低、大量输液或输血、麻醉药物的影响为围手术期患者低体温发生的直接原因, 通过术前准备与心理疏导、术中保温措施、术中监测与及时干预以及

术后复温护理等一系列护理手段的综合运用,可以有效地干预术中低体温的发生,并在术后帮助患者解除低体温状态。本研究进一步验证了适当提高手术室温度对预防低体温的重要性。

相比于单一变量分析,本研究构建的多因素预测模型在以下几个方面展现了显著优势:首先,使用LASSO回归方法筛选变量确保了模型的简洁性与解释性,同时避免了因纳入过多变量而可能引起的过拟合问题。其次,此模型良好的预测性能:模型的AUC值为0.895,表明其在区分低体温高风险与低风险患者方面表现出较高的准确性。此外,模型的校准曲线与实际值高度一致,进一步验证了其预测结果的可靠性。再者,列线图形式的展示便于临床人员直观了解患儿的低体温风险等级,从而辅助决策。例如,对于风险评分较高的患儿,可在术前加大保温措施或调整手术室温度。

术中低体温可能带来一系列不良后果,包括凝血功能障碍、麻醉药物代谢延迟及感染风险增加[15]-[17]。在儿童群体中,由于其皮下脂肪较少、代谢率较高,低体温的危害尤为显著。预防低体温的策略需结合患者的个体特征和手术室条件。术前采用加热毯或热敷袋预加温患儿是有效手段[18][19]。同时,缩短术前等待时间、避免暴露患儿过久也是降低低体温发生率的关键。术中需严格控制输液与输血液体的温度,并采用温毯或强制空气加热设备覆盖患者暴露部位[20]。对手术室环境的温度管理应权衡医患需求,在保障患者安全的基础上提高室内温度。手术后及时监测患儿体温变化,并根据需要采取进一步的保温措施,有助于降低低体温的延迟性并发症。

本研究存在以下局限性:1. 本研究基于单中心数据,样本量有限,可能限制模型的推广适用性。未来研究应联合多中心数据进行验证。2. 变量动态性未被纳入,手术时间、手术过程中的体温变化等动态变量可能对模型性能产生影响。未来可探索将动态监测数据纳入预测模型。3. 部分潜在变量的遗漏:如患儿术前营养状态、围术期护理质量等因素未被纳入本研究。未来可结合更全面的变量分析以进一步提升模型的预测能力。

综上所述,本研究结果发现术中出血量、入室体温和手术室温度是儿童四肢骨折患者术中或术后发生低体温的独立危险因素,依此建立的列线图模型能较好地预测低体温的发生,在优化围术期体温管理方案具有重要意义。

参考文献

- [1] 国家麻醉专业质量控制中心. 围术期患者低体温防治专家共识(2023版)[J]. 协和医学杂志, 2023, 14(4): 734-743.
- [2] Lenhardt, R. (2018) Body Temperature Regulation and Anesthesia. *Handbook of Clinical Neurology*, **157**, 635-644. <https://doi.org/10.1016/b978-0-444-64074-1.00037-9>
- [3] Osilla, E.V., Marsidi, J.L., Shumway, K.R. and Sharma, S. (2018) Physiology, Thermal Regulation. StatPearls Publishing.
- [4] Sessler, D.I. (2016) Perioperative Thermoregulation and Heat Balance. *The Lancet*, **387**, 2655-2664. [https://doi.org/10.1016/s0140-6736\(15\)00981-2](https://doi.org/10.1016/s0140-6736(15)00981-2)
- [5] Wagner, J.P., Vosik, D.M., Eller, M., Shostrom, V.K. and Cusick, R.A. (2022) Unintended Perioperative Hypothermia and Surgical Site Infection in Children. *Journal of Surgical Research*, **276**, 235-241. <https://doi.org/10.1016/j.jss.2022.02.054>
- [6] Wang, J. and Deng, X. (2023) Inadvertent Hypothermia: A Prevalent Perioperative Issue That Remains to Be Improved. *Anesthesiology and Perioperative Science*, **1**, Article No. 24. <https://doi.org/10.1007/s44254-023-00022-6>
- [7] Zhang, M., Ying, P., Wang, Y., Zhao, J., Huang, J. and Gong, F. (2022) Intraoperative Hypothermia in the Neonate Population: Risk Factors, Outcomes, and Typical Patterns. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, **37**, 93-102. <https://doi.org/10.1007/s10877-022-00863-9>
- [8] Nemeth, M., Miller, C. and Bräuer, A. (2021) Perioperative Hypothermia in Children. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **18**, Article 7541. <https://doi.org/10.3390/ijerph18147541>
- [9] 席明磊, 杜晓宣. 围术期低体温的防治与进展[J]. 临床医学进展, 2023, 13(8): 12608-12616. <https://doi.org/10.12677/acm.2023.1381768>

-
- [10] 李小刚, 张牧. 创伤失血性休克诊治中的低体温管理[J]. 中华急诊医学杂志, 2018, 27(11): 1191-1194.
- [11] Sultan, P., Habib, A.S. and Carvalho, B. (2017) Ambient Operating Room Temperature: Mother, Baby or Surgeon? *British Journal of Anaesthesia*, **119**, 839. <https://doi.org/10.1093/bja/aex307>
- [12] 张颖. 预防手术中低体温的护理进展[J]. 护理研究, 2008, 22(6): 1413-1415.
- [13] Duryea, E.L., Nelson, D.B., Wyckoff, M.H., Grant, E.N., Tao, W., Sadana, N., *et al.* (2016) The Impact of Ambient Operating Room Temperature on Neonatal and Maternal Hypothermia and Associated Morbidities: A Randomized Controlled Trial. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, **214**, 505.e1-505.e7. <https://doi.org/10.1016/j.ajog.2016.01.190>
- [14] 张震, 郭海云, 侯武刚, 等. 围手术期低体温研究进展[J]. 解放军医学杂志, 2023, 48(4): 476-481.
- [15] Sessler, D.I., Warner, D.S. and Warner, M.A. (2008) Temperature Monitoring and Perioperative Thermoregulation. *Anesthesiology*, **109**, 318-338. <https://doi.org/10.1097/aln.0b013e31817f6d76>
- [16] Torossian, A. (2008) Thermal Management during Anaesthesia and Thermoregulation Standards for the Prevention of Inadvertent Perioperative Hypothermia. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*, **22**, 659-668. <https://doi.org/10.1016/j.bpa.2008.07.006>
- [17] 谢言虎, 陈旭, 吴运香, 等. 术中低体温危险因素分析[J]. 临床麻醉学杂志, 2016, 32(9): 925-927.
- [18] Stewart, M.W. (2019) Postoperative Warming of Children with Hypothermia. *Journal of PeriAnesthesia Nursing*, **34**, 216-217. <https://doi.org/10.1016/j.jopan.2018.11.002>
- [19] 薛广燕, 胡庆霞. 26例患者术后低体温的原因分析及护理对策[J]. 实用临床医学, 2008, 9(3): 112, 114.
- [20] Torossian, A., Van Gerven, E., Geertsen, K., Horn, B., Van de Velde, M. and Raeder, J. (2016) Active Perioperative Patient Warming Using a Self-Warming Blanket (BARRIER Easywarm) Is Superior to Passive Thermal Insulation: A Multinational, Multicenter, Randomized Trial. *Journal of Clinical Anesthesia*, **34**, 547-554. <https://doi.org/10.1016/j.jclinane.2016.06.030>