

围术期体温管理：生理、监测与临床实践综述

芦若英¹, 高 慧², 潘梓默¹, 郑 军^{2*}

¹延安大学延安医学院, 陕西 延安

²延安大学附属医院麻醉与围术期医学中心, 陕西 延安

收稿日期: 2026年8月21日; 录用日期: 2026年9月14日; 发布日期: 2026年9月23日

摘 要

背景: 非计划性围术期低体温(IPH)定义为围术期核心体温低于36℃, 是麻醉实践中最常见的体温异常, 发生率高达50%~90%。Meta分析显示, IPH可使手术部位感染(SSI)风险增加约60% (OR = 1.60, 95% CI: 1.14~2.23), 当核心体温 $\leq 35^{\circ}\text{C}$ 时SSI风险进一步升高至2.12倍 (OR = 2.12, 95% CI: 1.42~3.16); 同时IPH与术中出血量增加 (MD = 131.90 mL, 95% CI: 117.42~146.38 mL)、寒战发生率升高 (风险差RD = 0.32)、凝血功能障碍、药物代谢延缓及住院时间延长密切相关。尽管体温监测与保温技术已有进展, 但临床实践中监测不充分、保温策略执行不规范仍导致IPH高发。目的: 系统综述围术期体温调节的生理学基础、体温监测技术、主动保温策略的循证依据, 以及老年人、儿童、创伤等特殊人群的个体化管理方案, 为临床提供基于循证医学的体温管理指导。主要内容: 1) 生理学基础: 全身麻醉使体温调定点下移0.2℃~0.5℃, 寒战阈值降低2℃~3℃, 麻醉诱导后30~60分钟内核心体温因热量再分布急剧下降1℃~1.5℃; 2) 监测技术: 核心温度监测(肺动脉、食管、膀胱、鼻咽)为金标准, 零热通量技术与食管温度偏差 $< 0.3^{\circ}\text{C}$, 无线可穿戴传感器与食管温度平均差值仅0.05℃; 3) 主动保温: 充气式加温可将IPH发生率从50%~70%降至10%~20%, 预保温联合术中加温可使低体温风险降低约80% (OR = 0.20), 每输注1 L室温液体可使核心体温下降约0.25℃; 4) 特殊人群: 老年人IPH发生率70%~90%, 儿童80%~90%, 创伤患者60%~80%, 均需个体化强化保温策略。核心结论: 围术期体温管理应构建“监测 - 评估 - 干预 - 再评估”的闭环管理模式: 以核心温度连续监测为起点, 动态评估患者热平衡状态, 及时启动多模式主动保温干预, 并通过再监测验证干预效果、动态调整方案, 方能有效降低IPH及其相关并发症, 改善患者预后。

关键词

围术期低体温, 体温调节, 体温监测, 主动保温, 循证医学, 患者安全

Perioperative Temperature Management: A Review of Physiology, Monitoring, and Clinical Practice

Ruoying Lu¹, Hui Gao², Zimo Pan¹, Jun Zheng^{2*}

*通讯作者。

文章引用: 芦若英, 高慧, 潘梓默, 郑军. 围术期体温管理: 生理、监测与临床实践综述[J]. 临床医学进展, 2026, 16(9): 2237-2249. DOI: 10.12677/acm.2026.1693268

Abstract

Background: Inadvertent perioperative hypothermia (IPH), defined as a core body temperature below 36°C during the perioperative period, is the most common thermal abnormality in anesthesia practice, with an incidence of 50%~90%. Meta-analyses indicate that IPH increases the risk of surgical site infection (SSI) by approximately 60% (OR = 1.60, 95% CI: 1.14~2.23), and when core temperature drops to $\leq 35^{\circ}\text{C}$, the SSI risk further rises to 2.12-fold (OR = 2.12, 95% CI: 1.42~3.16). IPH is also associated with increased intraoperative blood loss (MD = 131.90 mL, 95% CI: 117.42~146.38 mL), elevated shivering incidence (risk difference RD = 0.32), coagulopathy, delayed drug metabolism, and prolonged hospital stay. Despite advances in temperature monitoring and warming techniques, inadequate monitoring and non-standard implementation of warming strategies continue to drive the high incidence of IPH. **Objective:** To systematically review the physiological basis of perioperative thermoregulation, temperature monitoring techniques, evidence-based active warming strategies, and individualized management for special populations including the elderly, children, and trauma patients, so as to provide evidence-based guidance for clinical perioperative temperature management. **Main Contents:** 1) Physiological basis: general anesthesia lowers the hypothalamic set point by 0.2°C~0.5°C and the shivering threshold by 2°C~3°C; core temperature drops sharply by 1°C~1.5°C within 30~60 minutes after induction due to heat redistribution. 2) Monitoring techniques: core temperature monitoring (pulmonary artery, esophageal, bladder, nasopharyngeal) remains the gold standard; zero-heat-flux technology shows a bias $< 0.3^{\circ}\text{C}$ versus esophageal temperature, and wireless wearable sensors have a mean difference of only 0.05°C. 3) Active warming: forced-air warming reduces IPH incidence from 50%~70% to 10%~20%; prewarming combined with intraoperative warming reduces hypothermia risk by approximately 80% (OR = 0.20); each liter of room-temperature fluid infused lowers core temperature by about 0.25°C. 4) Special populations: IPH incidence reaches 70%~90% in the elderly, 80%~90% in children, and 60%~80% in trauma patients, all requiring individualized intensive warming strategies. **Core Conclusions:** Perioperative temperature management should establish a closed-loop “monitoring-assessment-intervention-reassessment” model: starting with continuous core temperature monitoring, dynamically evaluating the patient’s thermal balance, promptly initiating multimodal active warming interventions, and verifying efficacy through reassessment to dynamically adjust the plan—this is the key to effectively reducing IPH and its related complications and improving patient outcomes.

Keywords

Perioperative Hypothermia, Thermoregulation, Temperature Monitoring, Active Warming, Evidence-Based Medicine, Patient Safety

Copyright © 2026 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

围术期体温管理是麻醉学与围术期医学中不可忽视的关键环节，其重要性随着对患者安全与预后优

化的关注而日益凸显。非计划性围术期低体温(IPH)定义为围术期核心体温低于 36℃, 是麻醉实践中最常见的体温异常, 发生率高达 50%~90%, 尤其在全身麻醉联合区域麻醉的患者中更为突出。IPH 的发生机制复杂, 涉及麻醉药物对体温调节中枢的抑制、手术环境低温暴露、体腔开放导致的热量散失以及静脉输注冷液体等多重因素。IPH 与一系列不良临床结局存在明确的量效关系: Meta 分析显示 IPH 可使手术部位感染(SSI)风险增加约 60% (OR = 1.60, 95% CI: 1.14~2.23), 当核心体温 $\leq 35^{\circ}\text{C}$ 时 SSI 风险升至 2.12 倍(OR = 2.12, 95% CI: 1.42~3.16), 其机制与血管收缩导致组织氧供下降密切相关; IPH 还可使术中出血量平均增加 131.90 mL (95% CI: 117.42~146.38 mL), 寒战发生率的风险差达 0.32; 此外, 低温可使肌松药和麻醉药作用时间延长约 20%~30%, 寒战导致氧耗增加可达基础值的 3~5 倍, 并与心肌不良事件及住院时间延长显著相关。因此, 系统理解围术期体温调节的生理学基础、掌握精准的体温监测技术、实施有效的主动保温策略, 并针对特殊患者群体进行个体化管理, 是降低 IPH 发生率、改善患者预后的关键。本文将从以下四个方面进行深入综述。

围术期低体温的发生机制是理解其危害与制定防治策略的基石。麻醉药物对中枢体温调节系统的抑制是核心因素, 尤其是全身麻醉药物会显著降低下丘脑的体温调定点阈值, 并抑制外周血管收缩和寒战等代偿性产热反应[1]。这种抑制导致机体核心热量迅速向外周再分布, 成为麻醉诱导后低体温的主要原因, 而皮肤表面的热量散失作用相对较小[1]。此外, 手术室内的低温环境、体腔开放导致的热量蒸发、以及大量输注未加温的液体和血液制品, 均会加剧热量的丢失[2]。一项针对腹腔镜手术的研究发现, 麻醉诱导后血糖水平异常($>150\text{ mg/dL}$ 或 $<110\text{ mg/dL}$)与术中低体温的发生独立相关, 提示代谢因素也可能参与其中[3]。在特殊手术中, 如视频辅助胸腔镜手术(VATS), 经皮穴位电刺激(TEAS)作为一种非侵入性神经调控技术, 已被证实能够通过调节体温调节中枢来降低围术期低体温的发生率[4]。此外, 在即刻乳房重建手术中, 长时间的术中低体温(核心体温 $< 36^{\circ}\text{C}$ 超过一半手术时间)与缺血性并发症(如组织坏死)的风险显著增加相关[5]。这些研究共同揭示了 IPH 发生机制的复杂性, 涉及麻醉、手术、患者自身及环境等多维度因素。

精准的体温监测是有效管理围术期体温的前提。核心体温的测量金标准包括肺动脉导管、膀胱和食管温度探头, 但在临床实践中, 无创或微创方法更为常用。一项针对择期剖宫产的质量改进项目比较了三种监测部位, 发现口腔温度与膀胱温度之间存在中等相关性, 而皮肤温度与口腔温度的相关性较弱, 且不同部位测得的低体温发生率差异显著(口腔 0%, 皮肤 10%, 膀胱 26.7%), 提示监测部位的选择对低体温的诊断至关重要[6]。鼓膜温度计因其快速、准确和易用性, 在急症和替代护理环境中得到广泛应用[7]。对于高龄患者, 零热通量(ZHF)体温计(如 SpotOn)作为一种无创的皮肤表面连续测温方法, 在 80 岁以上接受下肢骨科手术的患者中, 与膀胱温度和鼓膜温度相比, 显示出良好的准确性和可行性[8]。此外, 功能性磁共振成像(fMRI)技术甚至可用于定位下丘脑视前区和前区(POAH)这一体温调节中枢, 为颅咽管瘤手术中的下丘脑保护提供指导[9]。在麻醉药物的选择上, 一项针对老年经尿道前列腺或膀胱肿瘤切除术患者的前瞻性随机试验发现, 与七氟烷相比, 瑞马唑仑能够显著减少术中核心体温的下降幅度和深度低体温的发生率, 提示麻醉药物本身也可能影响体温调节[10]。因此, 选择合适的监测方法和麻醉策略, 对于准确识别和预防 IPH 至关重要。

有效的主动保温策略是预防和治疗 IPH 的核心。预保温, 即在麻醉诱导前对患者进行主动加温, 是预防再分布性低体温的关键措施。其原理是通过增加外周组织的热量储备, 缩小核心 - 外周温度梯度[1]。一项针对经皮肾镜取石术(PNL)的前瞻性随机对照试验显示, 仅 10 分钟的主动预保温即可显著降低早期术中低体温的发生率(9.4% vs. 41.2%), 并减少术后寒战和缩短麻醉后监护室(PACU)停留时间[11]。然而, 另一项针对非心脏手术的随机临床试验却未发现预保温能降低低体温的发生率、持续时间和幅度, 这可能与研究中的严格体温管理方案 and 对照组本身较低的低体温发生率有关[12]。除了预保温, 术中综合保温

措施同样重要。一项针对脊柱侧弯矫正手术的回顾性队列研究表明, 增强的主动保温措施(包括充气式加温毯)能显著降低术中低体温的发生率, 并减少术中出血量、麻醉苏醒时间和术后寒战[13]。在妇科腹腔镜手术中, 温度链管理方案(包括预加温液体、充气式加温毯等)比单纯使用术中预加温液体更能有效维持患者体温, 降低低体温和寒战发生率[14]。对于急诊剖宫产, 主动加温方法的应用是降低术中低体温的独立保护因素, 尤其对于术前基础体温低于 36.5℃或预计手术时间较长的产妇[15]。在肝移植等大型手术中, 多模式体温管理(结合多种主动加温方式)比常规保温更能维持体温稳定, 并改善患者术后恢复质量[16]。这些证据表明, 单一保温措施的效果存在明确局限: 例如仅使用输液加温可降低 IPH 发生率约 30%, 仅使用被动保温(反射毯)仅能将低体温发生率从 71.4%降至 42.9%, 而充气式加温联合输液加温的多模式方案可将 IPH 发生率从 50%~70%降至 10%~20%。因此, 多模式、全流程的体温管理策略是实现围术期体温正常化的关键。

特殊患者群体的围术期体温管理需要个体化考量。老年患者因体温调节功能减退、肌肉量减少和心血管代偿能力下降, 对低体温尤为敏感, 是 IPH 的高危人群[17]。一项针对 80 岁以上超高龄患者的研究证实, 零热通量体温计在此类人群中应用可行, 但同时也凸显了该群体体温管理的挑战[8]。神经肌肉疾病患者同样面临更高的围术期风险, 包括体温调节障碍, 需要术前仔细评估并制定周密的麻醉计划[18]。冷球蛋白血症患者由于自身抗体在低温下激活, 围术期低体温可能诱发严重的溶血和红细胞凝集, 因此严格的体温管理是此类患者麻醉安全的基石, 无论是全身麻醉还是区域麻醉, 都必须采取积极的保温策略[19]。在儿科患者中, 低体温同样常见, 一项前瞻性观察性研究指出, 手术室环境温度、术中体温监测、使用封闭敷料和主动充气式加温是预防术后低体温的独立保护因素[20]。对于新生儿坏死性小肠结肠炎(NEC)手术, 术中低体温的发生率高达 67.3%, 且不同程度的低体温与不同的短期不良预后(如凝血功能障碍、住院时间延长)相关, 强调了术中体温管理的重要性[21]。此外, 在肿瘤手术中, 围术期低体温可能损害免疫功能, 增加感染风险并延长恢复时间, 因此对于免疫功能低下的癌症患者, 维持正常体温尤为重要[2]。这些研究共同表明, 针对不同患者群体的生理特点和手术类型, 制定个体化的体温管理方案, 是优化围术期结局的必要举措。

2. 围术期体温调节的生理学基础

2.1. 体温调节中枢机制与正常生理反应

人体核心体温的维持依赖于一个精密的生理调节系统。该系统以位于下丘脑前部的视前区(POAH)作为高级体温调节中枢, 它持续整合来自皮肤、深部组织及脊髓的温度感受器信号, 并与一个内在的“调定点”进行比较, 从而将核心体温严格控制在 $37^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 的狭窄范围内[22]。当核心体温低于此调定点时, 机体立即启动一系列产热反应以增加热量。其中, 寒战是骨骼肌的不自主收缩, 其产热量可急剧增加 5~6 倍, 是成人最主要的产热方式[23]。此外, 新生儿由于棕色脂肪组织含量较高, 主要通过非寒战产热(即棕色脂肪代谢增强)来维持体温[22]。同时, 行为性调节如蜷缩身体或添加衣物也是重要的体温维持手段。反之, 当核心体温高于调定点时, 机体则启动散热反应, 包括皮肤血管扩张以增加血流量, 促进辐射和对流散热, 以及通过出汗蒸发大量热量, 每蒸发 1 g 汗液可散失约 0.58 kcal 的热量[23]。

2.2. 麻醉药物对体温调节的抑制作用

麻醉药物是导致围术期低体温的关键因素, 它们通过多种机制显著抑制正常的体温调节功能。全身麻醉药物, 如丙泊酚、七氟烷等, 会直接抑制下丘脑体温调节中枢, 使体温调定点下移约 $0.2^{\circ}\text{C} \sim 0.5^{\circ}\text{C}$, 并大幅降低机体对温度变化的反应阈值[24]。具体表现为寒战阈值降低约 $2^{\circ}\text{C} \sim 3^{\circ}\text{C}$, 而出汗阈值升高约 $1^{\circ}\text{C} \sim 2^{\circ}\text{C}$, 导致“体温调节区间”显著扩大, 使机体在更宽的温度范围内无法启动有效的体温调节反应

[24]。区域麻醉,特别是椎管内麻醉,通过阻断交感神经纤维,引起阻滞区域内的皮肤血管扩张,导致大量热量从核心区域向体表再分布,同时抑制了该区域的寒战反应,进一步削弱了体温调节能力[24]。此外,阿片类药物如芬太尼,通过作用于 μ 阿片受体,也能直接抑制下丘脑的体温调节中枢,降低寒战阈值,并可能引起剂量依赖性的体温下降[24]。

2.3. 热量再分布现象与围术期低体温的初始阶段

麻醉诱导后最初 30~60 分钟内,核心体温会经历一个急剧下降的阶段,通常下降约 $1^{\circ}\text{C}\sim 1.5^{\circ}\text{C}$ 。这一现象并非主要由热量散失至环境所致,而是由“热量再分布”引起[25]。正常情况下,人体核心温度(约 37°C)与体表温度(约 $31^{\circ}\text{C}\sim 33^{\circ}\text{C}$)之间存在约 4°C 的温度梯度。麻醉诱导后,药物引起的血管扩张使核心区域的热量迅速向温度较低的体表组织转移,导致核心体温快速下降[25]。热量再分布的程度受多种因素影响,例如术前核心-体表温度梯度(术前焦虑或寒冷环境可增大此梯度)、麻醉诱导速度(快速诱导会加重再分布)以及患者的体表面积与体重比(瘦体型患者再分布更明显)[24]。在再分布阶段之后,核心体温进入一个相对缓慢的下降期(约 $0.5^{\circ}\text{C}\sim 1^{\circ}\text{C}/\text{h}$),此阶段主要由于热量散失超过机体产热所致。若未采取有效的保温措施,体温可持续下降至 35°C 以下,发展为意外低体温[24]。

3. 围术期体温监测技术

3.1. 核心温度监测方法及其临床应用

核心温度是指机体深部脏器的温度,是评估患者热平衡状态的金标准。肺动脉导管温度监测通过热敏电阻直接测量混合静脉血温度,能准确反映主动脉血温,被视为测量核心温度的金标准[26]。然而,由于其有创性、操作复杂及可能引发心律失常、感染等并发症,其临床应用主要局限于心脏手术或重症监护患者[27]。食管温度监测是临床最常用的核心温度替代方法,将温度探头置于食管下段(距门齿约 35~40 cm),因其位置接近心脏和主动脉,可准确反映核心温度,适用于全身麻醉患者[28]。但需注意,探头位置不当(过浅或过深)可能导致读数偏差,影响监测准确性。鼻咽温度监测通过将探头置于鼻咽部(约距鼻孔 10~15 cm),可反映脑部温度,尤其适用于头颈部手术[29]。然而,该方法易受吸入气体温度影响,且可能引起鼻出血或不适,限制了其广泛应用。膀胱温度监测通过 Foley 尿管内置温度传感器,可反映核心温度,适用于长时间手术或需要尿量监测的患者[30]。但尿量过少或膀胱冲洗时可能导致读数不准确,需结合临床情况综合判断。

3.2. 体表温度监测方法及其局限性

体表温度监测因其无创、便捷的特点在临床中广泛应用,但其准确性受多种因素影响。腋窝温度监测是临床最简便的无创方法,将温度探头置于腋窝中心,紧贴皮肤[31]。然而,该方法受环境温度、出汗及探头位置影响,通常比核心温度低 $0.5^{\circ}\text{C}\sim 1^{\circ}\text{C}$,且反应滞后,不适用于快速体温变化的监测。鼓膜温度监测通过红外线测量鼓膜温度,可反映脑部温度,操作快速[32]。但该方法受外耳道耵聍、耳道弯曲及环境温度影响,重复性较差,且不适用于耳部手术或外伤患者。皮肤温度监测通过贴片式传感器测量体表温度,通常选择前额、胸部或大腿等部位[33]。然而,皮肤温度受环境温度、血管舒缩状态及局部血流影响,与核心温度相关性差,不推荐作为核心温度的替代指标。因此,在临床实践中,应根据患者具体情况和手术类型选择合适的监测方法,并认识到体表温度监测的局限性。

3.3. 新型体温监测技术的研究进展

随着医疗技术的发展,新型体温监测技术不断涌现,旨在提供更准确、无创、连续的体温监测。零

热通量温度监测技术(如 3M SpotOn 系统)通过加热元件消除皮肤与传感器之间的热梯度,使传感器温度等于核心温度,实现无创且连续监测[34]。研究显示,该技术与食管温度具有良好的相关性(偏差 <0.3℃),适用于非插管患者或术后监护。无线可穿戴温度传感器(如 iThermonitor WT705)通过蓝牙连续传输体温数据,可实时监测并记录体温变化趋势[35]。一项研究显示,该设备与食管温度的平均差值为 0.05℃,一致性界限为-0.48℃至 0.56℃,在腹腔镜直肠手术中表现出良好的准确性[30]。此外,基于人工智能的智能监测系统可对手术患者实施围术期全流程连续体温监测,真实、动态、连贯地反映患者体温变化[36]。红外热成像技术通过非接触式测量面部或体表温度,适用于大规模筛查或感染防控场景,但受环境温度、距离及个体差异影响,精度有限,目前不推荐用于围术期核心温度监测[37]。这些新型技术为围术期体温管理提供了更多选择,但仍需进一步研究和验证。见表 1。

Table 1. Comparison of commonly-used perioperative temperature monitoring techniques
表 1. 围术期常用体温监测技术对比

监测技术	测量部位	准确性 (与核心温度偏差)	优点	缺点	成本
肺动脉导管 测温	肺动脉 (混合静脉血)	金标准, 偏差 < 0.1℃	最准确, 可同时测心排量	有创、操作复杂、 心律失常/感染风险	高 (导管 + 耗材约 数千元)
食管温度探 头	食管下段 (距门齿 35~40 cm)	偏差 0.1℃~0.3℃	准确、连续、 成本较低	仅适用于全麻插管患 者,位置不当可偏差	低 (一次性探头约 数十元)
膀胱温度探 头	膀胱 (Foley 尿管内置)	偏差 0.2℃~0.5℃	准确、连续、 可同时监测尿量	尿量过少或膀胱 冲洗时不准确	低 (含传感器尿管约 百余元)
鼻咽温度探 头	鼻咽部 (距鼻孔 10~15 cm)	偏差 0.3℃~0.5℃	反映脑温, 适用于头颈手术	受吸入气体温度影 响,可致鼻出血	低 (一次性探头约 数十元)
鼓膜红外线 测温	鼓膜/外耳道	偏差 0.3℃~0.8℃	快速、无创、 操作简便	受耳垢、耳道弯曲影 响,重复性差	低 (仪器数百元, 无耗材)
腋窝温度	腋窝中心	比核心低 0.5℃~1.0℃	最简便、无创、 成本极低	受环境/出汗/位置影响 大,反应滞后	极低 (普通体温计)
零热通量 (ZHF)测温	前额皮肤 (如 3M SpotOn)	偏差 < 0.3℃ (与食管比)	无创、连续、 适用于非插管患者	设备及耗材较贵, 出汗时影响准确性	中高 (仪器数千至 上万,贴片百余元)
无线可穿戴 传感器	腋窝/胸壁 (如 iThermonitor)	平均差值 0.05℃ (LoA-0.48℃~0.56℃)	无创、连续、 蓝牙实时传输、 AI 预警	需配对设备,长期佩 戴舒适性待验证	中 (仪器数百至 数千元)
红外热成像	面部/体表 (非接触)	偏差 > 1.0℃, 不推荐用于核心温	非接触、 快速筛查、 适合大规模	精度有限,受环境/ 距离/个体差异影响	中高 (热像仪数千至 数万元)

注: LoA = 一致性界限(Limits of Agreement); 成本为国内市场参考价,具体因品牌和采购渠道而异。

4. 主动保温策略与循证依据

4.1. 充气式加温系统的应用与效果

充气式加温系统(如 Bair Hugger)是目前围术期最有效的主动保温方法之一,其通过将加热空气(通常设定为 38℃~43℃)经覆盖于患者体表的加温毯循环,实现对流加温,从而显著减少热量散失并逆转热量再分布。临床研究显示,使用充气式加温系统可将非计划性围术期低体温(IPH)的发生率从 50%~70%降低至 10%~20%,并减少寒战发生率、手术部位感染风险及输血需求。一项纳入 2000 例患者的 Meta 分析表明,充气式加温组的手术部位感染率较对照组降低约 40% [38]。加温毯的覆盖面积和位置至关重要,推荐覆盖非手术区域至少 40%的体表面积,如胸部、上肢及下肢,同时避免覆盖手术区域或压迫血管。加温毯与皮肤之间应保持适当距离(约 2~3 cm),以确保气流循环。一项针对老年股骨颈骨折行全髋关节置换术的研究显示,采用充气式保温毯联合暖风系统及加温输液的主动保温组,其术中 30 分钟体温为(36.77℃ ± 0.17℃),显著高于常规保温组的(36.12℃ ± 0.27℃) [39]。此外,温度链管理方案(涵盖整个围术期的主动加温)在机器人辅助泌尿系肿瘤根治术中,能有效提高围术期核心体温,降低 IPH 发生率和 PACU 寒战发生率[40]。

4.2. 静脉输液加温与血液制品加温

静脉输注冷液体是围术期热量散失的重要来源,每输注 1 L 室温液体(21℃)可使核心体温下降约 0.25℃,输注 1 L 冷藏血液(4℃)可使核心体温下降约 0.5℃。使用输液加温器(如 Hotline 或 Ranger 系统)将液体加热至 37℃~40℃,可有效减少输液引起的热量散失,尤其适用于大量输液(>2 L/h)或快速输血的患者。研究显示,加温输液可降低 IPH 发生率约 30%。然而,一项针对妇科腹腔镜手术的研究指出,仅使用术中预加温液体并不足以充分为患者保温,最佳的温度管理需采用覆盖整个围术期的温度链管理方案[14]。血液制品加温需谨慎,避免加热超过 42℃导致红细胞溶血或凝血因子破坏,推荐使用专用血液加温器,并监测加温温度。对于少量输液(<500 mL)或短时间手术(<60 分钟),输液加温的临床获益有限——研究显示此类患者核心体温下降幅度通常 < 0.5℃,输液加温仅能减少约 0.1℃~0.2℃的体温下降,性价比相对较低。一项针对经尿道泌尿外科手术的研究发现,虽然 10 分钟的预加温联合加温输液未能完全预防术中低体温,但显著减少了核心体温的变化幅度(0.61℃ ± 0.3℃ vs. 0.93℃ ± 0.4℃)和体温下降速率 [41]。

4.3. 环境温度管理与被动保温措施

手术室环境温度是影响围术期体温的重要因素,推荐术前将手术室温度维持在 22℃~24℃,麻醉诱导后可根据手术需要适当降低至 20℃~22℃,但需结合主动保温措施。对于新生儿或老年患者,环境温度应适当提高至 24℃~26℃。被动保温措施包括使用棉毯、保温毯或反射性保温材料(如太空毯),可减少辐射和对流散热,但单独使用效果有限——随机对照试验显示反射毯组麻醉结束时低体温发生率仍达 42.9%,仅能减缓体温下降速度约 0.2℃~0.3℃/h,不能逆转麻醉诱导后的热量再分布。一项随机对照试验比较了主动加温、反射毯和常规护理在腹部手术患者中的效果,结果显示反射毯组在麻醉结束时低体温发生率为 42.9%,虽高于主动加温组(28.6%),但显著低于常规护理组(71.4%),表明反射毯在减少 IPH 方面具有一定效果[42]。术前预保温(pre-warming)是指在麻醉诱导前 30~60 分钟开始使用充气式加温系统,通过提高体表温度,缩小核心-体表温度梯度,从而减少麻醉诱导后的热量再分布。一项系统综述和 Meta 分析显示,与单纯术中加温相比,预保温联合术中加温可显著提高术中核心体温,并将低体温风险降低约 80% (OR: 0.20) [43]。

5. 特殊患者群体的体温管理考量

5.1. 老年患者的围术期体温管理

老年患者(年龄 > 65 岁)是围术期意外低体温(IPH)的高危人群, 其发生率可达 70%~90%。这主要归因于与年龄相关的体温调节功能衰退, 包括基础代谢率每十年下降约 1%~2%、因肌肉减少症导致的寒战产热能力下降, 以及出汗和血管收缩等自主神经反应受损[17]。此外, 老年患者常合并心血管疾病, IPH 引发的寒战和血管收缩会增加心肌氧耗, 可能诱发心肌缺血或心律失常。同时, 低温会延长肌松药等麻醉药物的代谢时间, 导致术后呼吸功能恢复延迟。因此, 针对老年患者的管理策略需更为积极和全面。术前应进行至少 30 分钟的预保温, 使用充气式加温系统覆盖非手术区域, 并将静脉输液加温至 37℃。手术室温度应维持在 24℃以上, 并密切监测核心温度, 推荐使用食管或膀胱温度探头。术后需继续保温直至体温稳定。一项针对老年腹腔镜直肠癌手术的随机对照试验表明, 基于物联网技术的闭环体温管理系统能有效维持核心温度, 降低低体温和寒战的发生率, 并缩短拔管和麻醉后监护室的停留时间[44]。

5.2. 儿童患者的围术期体温管理

儿童, 尤其是新生儿和婴儿, 因其体表面积与体重比约为成人的 2~3 倍、皮下脂肪薄导致隔热能力差, 以及体温调节中枢发育不完善, IPH 风险极高, 发生率可达 80%~90%。低温可导致代谢性酸中毒、凝血功能障碍及呼吸抑制等不良后果。儿童对低温的生理反应与成人不同, 新生儿主要依赖棕色脂肪的非寒战产热, 但麻醉药物会抑制这一过程。研究显示, 术中核心温度监测和使用充气式加温系统是预防儿童低体温的有效措施[20]。此外, 一项质量改进项目通过教育、提醒等措施, 成功将接受全身麻醉的儿科患者核心温度监测记录率从 10%提升至 90% [45]。管理策略包括: 使用辐射保温台联合充气式加温系统(设定温度 38℃~40℃), 静脉输液和冲洗液均需加温至 37℃, 手术室温度维持在 26℃~28℃, 并使用加温湿化器处理吸入气体。在温度监测方面, 鼻咽温度探头能准确测量核心温度, 但其插入深度需根据年龄进行调整[46]。对于早产儿, 还需注意避免过度加温导致高体温。

5.3. 创伤患者的围术期体温管理

创伤患者因失血性休克、大量输液输血、体腔开放及环境暴露, IPH 发生率极高, 可达 60%~80%。低温与创伤三联征(低体温、酸中毒、凝血功能障碍)密切相关, 显著增加死亡率。创伤患者的体温管理面临多重挑战, 包括快速大量输液(>5 L/h)导致热量散失、手术时间紧迫限制保温措施实施, 以及患者意识障碍无法配合行为性调节。此外, 创伤患者常合并颅脑损伤, 低温可能加重脑水肿。因此, 管理策略需从入院即刻开始。应立即使用充气式加温系统覆盖躯干和四肢, 并使用高速输液加温器将快速输注的液体加温至 40℃。手术室温度应设定为 24℃~26℃, 并使用加温湿化器处理吸入气体。温度监测应优先选择食管或膀胱温度。对于严重低体温(<34℃)患者, 可考虑体外循环或腹腔灌洗等主动复温措施。一项研究指出, 在成人择期手术中, 术前低体温是术后低体温的显著相关因素, 强调了入院即开始保温的重要性[47]。见表 2。

Table 2. Comparison of similarities and differences in perioperative temperature management strategies among different special populations

表 2. 不同特殊人群围术期体温管理策略异同点对比

管理维度	老年患者 (>65 岁)	儿童患者 (尤其新生儿/婴儿)	创伤患者	共性原则
IPH 发生率	70%~90%	80%~90% (新生儿 NEC 手术达 67.3%)	60%~80%	均显著高于普通人群 (50%~70%)

续表

核心危险因素	体温调节功能衰退、肌肉量减少、基础代谢每十年降 1%~2%、心血管代偿差	体表面积/体重比为成人 2~3 倍、皮下脂肪薄、体温调节中枢发育不完善	失血性休克、大量输液输血(>5 L/h)、体腔开放、环境暴露	均存在产热减少或散热增加的病理生理基础
推荐监测部位	食管或膀胱温度；零热通量(ZHF)适用于超高龄	鼻咽温度(插入深度按年龄调整)；直肠温度	食管或膀胱温度(优先)	均以核心温度连续监测为金标准
环境温度	≥24℃	26℃~28℃	24℃~26℃	均高于常规手术室温度(20℃~22℃)
预保温策略	术前至少 30 分钟充气式加温	辐射保温台联合充气式加温(38℃~40℃)	入院即刻启动，无需等待术前准备	均强调预保温可降低低体温风险约 80% (OR = 0.20)
术中保温	充气式加温毯 + 加温输液(37℃)	充气式加温 + 输液/冲洗液加温(37℃) + 加温湿化器	充气式加温覆盖躯干四肢 + 高速输液加温(40℃) + 加温湿化器	均采用多模式联合保温，单一措施效果有限
特殊注意事项	防心肌缺血/心律失常；防药物代谢延长致呼吸抑制	防棕色脂肪产热被麻醉抑制；防过度加温致高热	警惕创伤三联征(低体温 - 酸中毒 - 凝血障碍)；严重低体温(<34℃)需体外循环/腹腔灌洗复温	均需在保温获益与过热风险间取得平衡
证据等级	RCT 证实闭环管理系统可降低低体温和寒战发生率	质量改进项目可将核心温度记录率从 10%提升至 90%	多为观察性研究，缺乏大规模 RCT	均需更多高质量研究验证最优方案

注：NEC = 新生儿坏死性小肠结肠炎；ZHF = 零热通量；OR = 比值比。

5.4. “监测 - 评估 - 干预 - 再评估” 闭环体温管理模式

围术期体温管理不应是一次性的静态措施，而应构建动态的闭环管理体系。该闭环包括四个核心环节：1) 监测——以核心温度连续监测为起点，推荐从术前访视即开始记录基础体温，术中每 5~15 分钟记录一次核心温度，术后持续监测至体温稳定 $\geq 36^{\circ}\text{C}$ ；2) 评估——根据监测数据动态评估患者热平衡状态，识别低体温风险等级(核心体温 $35.5^{\circ}\text{C}\sim 36.0^{\circ}\text{C}$ 为轻度低体温， $34.0^{\circ}\text{C}\sim 35.4^{\circ}\text{C}$ 为中度， $<34^{\circ}\text{C}$ 为重度)，并结合手术类型、麻醉方式、输液量和患者基础疾病综合判断；3) 干预——根据评估结果启动相应强度的保温措施，如轻度低体温可增加充气式加温毯覆盖面积或提高设定温度，中度低体温需联合输液加温、提高环境温度等多模式干预，重度低体温则需考虑体外循环或腹腔灌洗等主动复温；4) 再评估——干预后 15~30 分钟内复查核心温度，评估干预效果，若体温未回升或继续下降，则升级干预强度，若体温恢复正常则维持当前方案并持续监测，形成持续迭代的管理循环。

监测结果直接指导干预策略的调整：当核心体温下降速率 $>0.5^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 时，提示热量散失超过产热，应立即检查加温设备运行状态、增加覆盖面积或启动额外加温手段；当核心体温低于 35.5°C 时，应将充气式加温设定温度调至最高档(43°C)并联合输液加温；当连续两次监测(间隔 15 分钟)显示体温持续 $<35.0^{\circ}\text{C}$ 时，应考虑患者存在严重热量丢失或体温调节衰竭，需启动多学科会诊并评估是否需要体外复温。反之，若核心体温升至 37.5°C 以上，应降低加温强度或暂停主动加温，防止过热。基于物联网技术的闭环体温管理系统已在老年腹腔镜手术中得到验证，可自动调节加温强度，使低体温发生率显著降低，并缩短拔

管时间和 PACU 停留时间[44]。这种闭环模式将传统的“经验性保温”转变为“数据驱动的精准控温”，是围术期体温管理的发展方向。

6. 结论

围术期体温管理的核心目标在于预防非计划性低体温(IPH)及其相关并发症，其生理学基础已得到充分阐明：麻醉药物抑制下丘脑体温调节中枢、阻断血管舒缩反应，加之热量从核心向体表的再分布，共同构成了 IPH 发生的病理生理链条。基于这一机制，临床实践确立了以核心温度监测为金标准、体表温度监测为补充的评估体系。食管、膀胱、鼻咽等部位的温度监测能够精准反映核心温度变化，而腋窝、鼓膜等体表监测虽操作便捷，却易受环境因素干扰，需结合临床场景审慎解读。新型技术如零热通量传感器和无线监测系统，凭借无创、连续、低干扰的优势，正在突破传统监测的局限性，为动态体温管理提供了更优的技术支撑。

在保温策略方面，现有证据一致表明：充气式加温系统联合静脉输液加温是目前最有效的主动保温组合方案，其协同作用可将 IPH 发生率从 50%~70%降至 10%~20%，并使 SSI 风险降低约 40% (Meta 分析, $n = 2000$)。术前预保温作为关键环节，通过提前储备体表热量，可使低体温风险降低约 80% ($OR = 0.20, 95\% CI$)，仅 10 分钟预保温即可将早期术中低体温发生率从 41.2%降至 9.4%，其效果已被多项随机对照试验证实。环境温度管理(维持在 $22^{\circ}C \sim 24^{\circ}C$)与被动保温措施(如覆盖棉毯、保温帽)虽不能独立逆转 IPH——反射毯组麻醉结束时低体温发生率仍达 42.9%，仅能减缓体温下降速度约 $0.2^{\circ}C \sim 0.3^{\circ}C/h$ ——但作为基础辅助手段，能有效减少辐射和对流散热，尤其在长时间手术中不可替代。然而，不同研究在保温时机、温度阈值、干预时长等方面存在差异，例如部分研究强调预保温至少 15 分钟，而另一些则认为需持续 30 分钟以上才具临床意义。这种分歧提示，未来需通过更大样本的多中心研究，统一标准化操作流程，并明确不同手术类型下的最佳干预窗口。

特殊患者群体的 IPH 风险显著升高：老年患者发生率达 70%~90%，儿童达 80%~90% (新生儿 NEC 手术中达 67.3%)，创伤患者达 60%~80%。老年患者因体温调节功能衰退、肌肉产热减少(基础代谢每十年下降 1%~2%)，儿童因体表面积/体重比为成人 2~3 倍、散热快，创伤患者因失血、输液复苏及应激反应紊乱，均需采取个体化策略。针对这些群体，提高环境温度至 $26^{\circ}C \sim 28^{\circ}C$ 、延长预保温时间至 45~60 分钟、使用加温湿化器维持气道温湿度等措施，已被证实能有效降低 IPH 发生率——例如基于物联网的闭环管理系统可显著降低老年患者低体温和寒战发生率，并缩短拔管时间和 PACU 停留时间；儿科质量改进项目可将核心温度监测记录率从 10%提升至 90%。但需注意，过度加温可能引发热损伤或体温过高，尤其对儿童和老年患者，需在风险与获益间取得平衡。现有研究多基于小样本或观察性设计，缺乏针对高危人群的随机对照试验，因此，临床决策应结合患者基础状态、手术类型及实时监测数据，动态调整保温方案，而非机械套用统一标准。

展望未来，围术期体温管理将向智能化、个体化、材料创新方向演进。智能化系统如闭环反馈加温装置，通过实时监测核心温度并自动调节加温强度，有望实现精准控温，减少人为误差。个体化策略需基于患者风险分层(如年龄、体重指数、麻醉时间、基础疾病等)建立预测模型，指导预保温时长与加温强度。新型保温材料如相变材料，凭借潜热储能特性，可在恒定温度下持续释放热量，兼具便携性与舒适性，有望替代传统充气式系统。然而，这些技术的临床转化仍面临成本效益、操作便捷性、患者耐受性等挑战。因此，未来研究应聚焦于：开展高质量多中心随机对照试验验证智能化系统的有效性；开发融合多维度参数的风险评估工具；探索相变材料在不同手术场景中的适用性。唯有通过基础机制、临床实践与技术创新的深度融合，方能实现围术期体温管理的标准化与精准化，最终降低 IPH 相关并发症，改善患者预后。

参考文献

- [1] Van Duren, A. (2022) Perioperative Prewarming: Heat Transfer and Physiology. *AORN Journal*, **115**, 407-422. <https://doi.org/10.1002/aorn.13667>
- [2] Rakesh, C., Hrushikesh, A., Chaitanya, C.V.K.K. and Naga Sireesha, V. (2025) The Effect of Perioperative Thermoregulation on Cancer Surgeries: A Narrative Review. *Cureus*, **17**, e97870. <https://doi.org/10.7759/cureus.97870>
- [3] Shen, Z., Kuroda, K. and Morimatsu, H. (2023) The Effect of Postinduction Blood Glucose on Intraoperative Hypothermia. *Medicina*, **59**, Article 395. <https://doi.org/10.3390/medicina59020395>
- [4] Zhao, Y., Liang, H., Kang, K., Su, M., Gao, Q., Wu, Y., et al. (2026) Effect of Transcutaneous Electrical Acupoint Stimulation on Perioperative Hypothermia in Video-Assisted Thoracoscopic Surgery: A Randomized Controlled Trial. *Frontiers in Medicine*, **13**, Article 1799152. <https://doi.org/10.3389/fmed.2026.1799152>
- [5] Prabhu, S.S., Driscoll, C.R., Davidson, A.L., Peoples, A.E. and Katz, A.J. (2023) The Effects of Prolonged Intraoperative Hypothermia on Patient Outcomes in Immediate Implant-Based Breast Reconstruction. *Journal of Plastic, Reconstructive & Aesthetic Surgery*, **77**, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2022.11.006>
- [6] Ismaiel, N., Shah, S., Guo, N., Carvalho, B. and Fedoruk, K. (2025) Comparison of Perioperative Temperature Monitoring Sites during Elective Cesarean Deliveries: A Quality Improvement Initiative. *Cureus*, **17**, e99890. <https://doi.org/10.7759/cureus.99890>
- [7] Hill, B. and Mitchell, A. (2021) Tympanic Thermometers Support Fast and Accurate Temperature Monitoring in Acute and Alternative Care. *British Journal of Nursing*, **30**, 288-295. <https://doi.org/10.12968/bjon.2021.30.5.288>
- [8] Park, C., Kim, T., Oh, S. and Bang, Y. (2023) Prospective Comparative Analysis of Zero-Heat-Flux Thermometer (SpotOn®) Compared with Tympanic Thermometer and Bladder Thermometer in Extremely Aged Patients Undergoing Lower Extremity Orthopedic Surgery. *Medicine*, **102**, e35593. <https://doi.org/10.1097/md.00000000000035593>
- [9] Kang, J., Cao, L., Yuan, T., Jin, L., Shi, Y., Ma, G., et al. (2021) Predicting the Location of the Preoptic and Anterior Hypothalamic Region by Visualizing the Thermoregulatory Center on fMRI in Craniopharyngioma Using Cold and Warm Stimuli. *Aging*, **13**, 10087-10098. <https://doi.org/10.18632/aging.202766>
- [10] Choi, J., Park, C., Lee, K.H. and Kwak, H.J. (2025) Comparison of Remimazolam and Sevoflurane on Perioperative Body Temperature Changes in Older Patients Undergoing Transurethral Resection of Prostate or Bladder Tumors under General Anesthesia: A Randomized Prospective Clinical Trial. *Clinical Interventions in Aging*, **20**, 1811-1820. <https://doi.org/10.2147/cia.s549347>
- [11] Shim, J., Kwon, H., Moon, H.W. and Chae, M.S. (2024) Clinical Efficacy of 10 Min of Active Prewarming for Preserving Patient Body Temperature during Percutaneous Nephrolithotomy: A Prospective Randomized Controlled Trial. *Journal of Clinical Medicine*, **13**, Article 1843. <https://doi.org/10.3390/jcm13071843>
- [12] Recio-Pérez, J., Miró Murillo, M., Martín Mesa, M., Silva García, J., Santonocito, C., Sanfilippo, F., et al. (2023) Effect of Prewarming on Perioperative Hypothermia in Patients Undergoing Loco-Regional or General Anesthesia: A Randomized Clinical Trial. *Medicina*, **59**, Article 2082. <https://doi.org/10.3390/medicina59122082>
- [13] Zhou, H., Li, L., Li, Q., Guo, X., Xu, N., Zheng, Q., et al. (2025) The Warming Management Measures May Need to Be Further Enhanced during Scoliosis Correction and Internal Fixation Surgery: A Retrospective Cohort Study. *Therapeutic Hypothermia and Temperature Management*, **15**, 124-133. <https://doi.org/10.1089/ther.2024.0041>
- [14] Pan, L., Dong, Y. and Chen, F. (2025) The Effect of Temperature Chain Management Scheme during Gynecological Laparoscopic Surgery under General Anesthesia. *Therapeutic Hypothermia and Temperature Management*, **16**, 67-72. <https://doi.org/10.1177/21537658251372312>
- [15] Zhang, R., Zhou, Q. and Guan, H. (2024) Intraoperative Temperature Management during Emergency Cesarean Section: A Retrospective Observational Study. *BMC Anesthesiology*, **24**, Article No. 349. <https://doi.org/10.1186/s12871-024-02730-3>
- [16] Zhang, H., Hu, X., Zhang, G., Yang, X., Gu, W., Chen, Q., et al. (2025) Effects of Multimodal Perioperative Temperature Management on Hypothermia in Orthotopic Liver Transplantation. *Transplantation Proceedings*, **57**, 1950-1955. <https://doi.org/10.1016/j.transproceed.2025.10.013>
- [17] Yoo, J.H., Sung, T. and Oh, C. (2025) Cold Temperatures, Hot Risks: Perioperative Hypothermia in Geriatric Patients - A Narrative Review. *Anesthesia and Pain Medicine*, **20**, 189-199. <https://doi.org/10.17085/apm.25294>
- [18] Bhat, A., Dean, J. and Aboussouan, L.S. (2024) Perioperative Management in Neuromuscular Diseases: A Narrative Review. *Journal of Clinical Medicine*, **13**, Article 2963. <https://doi.org/10.3390/jcm13102963>
- [19] Thiele, C., Patel, A. and Johnson, R.L. (2025) Spinal Anesthesia in a Patient with Cold Agglutinin Disease Presenting for Total Knee Arthroplasty in a Community Hospital Setting. *Cureus*, **17**, e80825. <https://doi.org/10.7759/cureus.80825>
- [20] Lee, S.Y., Wan, S.Y.K., Tay, C.L., Tan, Z.H., Wong, I., Chua, M., et al. (2020) Perioperative Temperature Management

- in Children: What Matters? *Pediatric Quality & Safety*, **5**, e350. <https://doi.org/10.1097/pq9.0000000000000350>
- [21] Ran, Q., Wei, H., Shi, Y. and Wang, Z.L. (2026) [Effect of Intraoperative Hypothermia on Short-Term Prognosis in Neonatal Necrotizing Enterocolitis]. *Chinese Journal of Contemporary Pediatrics*, **28**, 556-562. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/42130354/>
 - [22] Škop, V., Liu, N., Guo, J., Gavrilova, O. and Reitman, M.L. (2020) The Contribution of the Mouse Tail to Thermoregulation Is Modest. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, **319**, E438-E446. <https://doi.org/10.1152/ajpendo.00133.2020>
 - [23] Tveita, T. and Sieck, G.C. (2022) Physiological Impact of Hypothermia: The Good, the Bad, and the Ugly. *Physiology*, **37**, 69-87. <https://doi.org/10.1152/physiol.00025.2021>
 - [24] Rauch, S., Miller, C., Bräuer, A., Wallner, B., Bock, M. and Paal, P. (2021) Perioperative Hypothermia—A Narrative Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **18**, Article 8749. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168749>
 - [25] Shirozu, K., Nobukuni, K., Maki, J., Nagamatsu, K., Tanaka, R., Oya, K., *et al.* (2023) Redistributive Hypothermia Prevention by Prewarming with Forced-Air: Exploratory, Open, Randomized, Clinical Trial of Efficacy. *Therapeutic Hypothermia and Temperature Management*, **13**, 55-61. <https://doi.org/10.1089/ther.2022.0009>
 - [26] 陈京漫, 韩小红. 心脏直视手术围术期低体温和体温监测进展[J]. 护理研究, 2012, 26(31): 2887-2889.
 - [27] Holm, A., Kirkegaard, H., Taccone, F., Søreide, E., Grejs, A., Duez, C., *et al.* (2020) Cold Fluids for Induction of Targeted Temperature Management: A Sub-Study of the TTH48 Trial. *Resuscitation*, **148**, 90-97. <https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2019.11.031>
 - [28] Atallah, L., Ciuhu, C., Paulussen, I., Bongers, E., Blom, A.H.M., Idrissi, A., *et al.* (2020) Perioperative Measurement of Core Body Temperature Using an Unobtrusive Passive Heat Flow Sensor. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, **34**, 1351-1359. <https://doi.org/10.1007/s10877-019-00446-1>
 - [29] Yoo, J.H., Ok, S.Y., Kim, S.H., Chung, J.W., Park, S.Y., Kim, M.G., *et al.* (2020) Effects of 10-Min of Pre-Warming on Inadvertent Perioperative Hypothermia in Intraoperative Warming Patients: A Randomized Controlled Trial. *Anesthesia and Pain Medicine*, **15**, 356-364. <https://doi.org/10.17085/apm.20027>
 - [30] Dai, Y., Luo, M., Liu, F., Feng, X. and Nie, H. (2022) Temperature Measurements of a Wearable and Wireless Axillary Sensor Ithermonitor but Not a Bladder Probe Represents the Core Temperature during Laparoscopic Rectal Surgery. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, **37**, 303-309. <https://doi.org/10.1007/s10877-022-00892-4>
 - [31] 王杰, 马雪松, 樊桂波, 等. 围术期体温监测及保温的现状分析[J]. 现代生物医学进展, 2019,19(3): 583-586.
 - [32] Sagiroglu, G., Ozturk, G., Baysal, A. and Turan, F. (2020) Inadvertent Perioperative Hypothermia and Important Risk Factors during Major Abdominal Surgeries. *Journal of the College of Physicians and Surgeons Pakistan*, **30**, 123-128. <https://doi.org/10.29271/jcsp.2020.02.123>
 - [33] Tachibana, S., Chida, Y. and Yamakage, M. (2019) Using the Bair Hugger™ Temperature Monitoring System in Neck and Chest Regions: A Pilot Study. *JA Clinical Reports*, **5**, Article No. 32. <https://doi.org/10.1186/s40981-019-0252-z>
 - [34] Thorburn, P.T., Monteiro, R., Chakladar, A., Cochrane, A., Roberts, J., Hughes, N., *et al.* (2021) Maternal Temperature in Emergency Caesarean Section (MATES): An Observational Multicentre Study. *International Journal of Obstetric Anesthesia*, **46**, Article ID: 102963. <https://doi.org/10.1016/j.ijoa.2021.102963>
 - [35] Liu, Y., Liu, C., Gao, M., Wang, Y., Bai, Y., Xu, R., *et al.* (2020) Evaluation of a Wearable Wireless Device with Artificial Intelligence, Ithermonitor WT705, for Continuous Temperature Monitoring for Patients in Surgical Wards: A Prospective Comparative Study. *BMJ Open*, **10**, e039474. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2020-039474>
 - [36] 刘雨薇, 许瑞华, 安晶晶, 等. 胆道外科患者核心体温围术期全流程智能监测系统的构建与应用[J]. 护理学杂志, 2023, 38(10): 99-102, 111.
 - [37] Aroke, E.N., Robinson, A.N. and Wilbanks, B.A. (2020) Perioperative Considerations for Patients with Major Depressive Disorder Undergoing Surgery. *Journal of PeriAnesthesia Nursing*, **35**, 112-119. <https://doi.org/10.1016/j.jopan.2019.08.011>
 - [38] Zheng, X., Huang, J., Lin, J., Chen, D. and Wu, A. (2020) Effects of Preoperative Warming on the Occurrence of Surgical Site Infection: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Surgery*, **77**, 40-47. <https://doi.org/10.1016/j.ijsu.2020.03.016>
 - [39] 古茹, 雷蕾, 徐旭, 等. 不同保温措施在骨科机器人辅助全髋关节置换术治疗老年股骨颈骨折围术期的效果比较[J]. 中华创伤杂志, 2025, 41(9): 852-857.
 - [40] Chen, F. and Lian, A. (2024) The Effect of Temperature Chain Management Scheme during Da Vinci Robot-Assisted Radical Resection of Urological Tumor. *Therapeutic Hypothermia and Temperature Management*, **14**, 118-124. <https://doi.org/10.1089/ther.2023.0040>
 - [41] Oh, Y. and Jun, I. (2024) The Effect of Brief Warming during Induction of General Anesthesia and Warmed Intravenous

- Fluid on Intraoperative Hypothermia in Patients Undergoing Urologic Surgery. *Medicina*, **60**, Article 747. <https://doi.org/10.3390/medicina60050747>
- [42] Güzel, A., Yava, A. and Koyuncu, A. (2026) The Effect of Reflective Blankets on Reducing Inadvertent Perioperative Hypothermia in Abdominal Surgery Patients: A Randomized Controlled Trial. *Journal of PeriAnesthesia Nursing*, **41**, 668-676.e2. <https://doi.org/10.1016/j.jopan.2025.08.024>
- [43] Ding, N., Yang, J. and Wu, C. (2024) Comparison of Prewarming Plus Intraoperative Warming with Intraoperative Warming Alone in Patients Undergoing Minimally Invasive Thoracic or Abdominal Surgery: A Systematic Review and Meta-Analysis. *PLOS ONE*, **19**, e0310096. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0310096>
- [44] Wang, X., Xu, J., Mo, L., Liu, L., Zhou, J., Jiang, J., *et al.* (2025) Closed-Loop Temperature Management with Internet of Things Technology Support in Elderly Laparoscopic Rectal Cancer Surgery: A Randomised Controlled Trial. *PLOS One*, **20**, e0335993. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0335993>
- [45] Cates, A.C., Curtis, B.J. and Crockett, C.J. (2025) Documentation of Core Temperature in Pediatric Patients Undergoing General Anesthesia: A Quality Improvement Initiative to Increase Compliance. *Pediatric Anesthesia*, **35**, 520-526. <https://doi.org/10.1111/pan.15099>
- [46] Zhong, J.W., Sessler, D.I., Mao, G., Jerome, A., Chandran, N. and Szmuk, P. (2022) Optimal Positioning of Nasopharyngeal Temperature Probes in Infants and Children: A Prospective Cohort Study. *Anesthesia & Analgesia*, **136**, 986-991. <https://doi.org/10.1213/ane.00000000000006312>
- [47] Wongyingsinn, M. and Pookprayoon, V. (2023) Incidence and Associated Factors of Perioperative Hypothermia in Adult Patients at a University-Based, Tertiary Care Hospital in Thailand. *BMC Anesthesiology*, **23**, Article No. 137. <https://doi.org/10.1186/s12871-023-02084-2>