

围术期低体温的防治与进展

席明磊^{1,2*}, 杜晓宣^{1,2#}

¹新疆医科大学第六临床医学院, 新疆 乌鲁木齐

²新疆医科大学第六附属医院麻醉科, 新疆 乌鲁木齐

收稿日期: 2023年7月13日; 录用日期: 2023年8月7日; 发布日期: 2023年8月14日

摘要

围术期体温过低(一般指核心温度 $< 36^{\circ}\text{C}$)是手术中患者常见的不良事件。主要包括以下外部因素,例如药物使用、并发症、创伤、手术的部位和持续时间、周围环境温度以及麻醉类型,都会影响核心温度。围术期低体温对凝血功能、出血量和输血量、药物代谢、术后感染和住院时长有负面影响。因此,需要在术前、术中和术后给予积极的体温管理,来降低围术期低体温的风险。在围术期积极维持体温正常对于提升手术效果以及患者安全和手术满意度是非常重要的。体温监测应使用连续和准确的体温探头进行。围术期体温管理需要配置合适的加温工具,加热毯子和床垫以及专用的输液加温设备进行适当加热显得非常重要。本文综述了体温调节的生理学、麻醉和手术引起的体温调节变化、围术期体温过低的后果、核心温度测量方法以及围术术期的温度管理,旨在解释围术期低体温的机制,强调其防治的重要性,并就如何完善体温管理提供具体建议。

关键词

围术期, 低体温, 体温调节, 体温监测, 并发症

Prevention and Progression of Perioperative Hypothermia

Minglei Xi^{1,2*}, Xiaoxuan Du^{1,2#}

¹Sixth Clinical Medical School of Xinjiang Medical University, Urumqi Xinjiang

²Department of Anesthesiology, Sixth Affiliated Hospital of Xinjiang Medical University, Urumqi Xinjiang

Received: Jul. 13th, 2023; accepted: Aug. 7th, 2023; published: Aug. 14th, 2023

Abstract

Perioperative hypothermia (generally refers to the core temperature $< 36^{\circ}\text{C}$) is a common adverse

*第一作者。

#通讯作者。

文章引用: 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.

DOI: 10.12677/acm.2023.1381768

event in patients during surgery. Mainly including the following external factors, such as drug use, complications, trauma, site and duration of surgery, ambient temperature, and type of anesthesia, can affect the core temperature. Perioperative hypothermia has a negative effect on coagulation function, blood loss and transfusion volume, drug metabolism, postoperative infection, and length of hospital stay. Therefore, active temperature management needs to be given before, during and after surgery to reduce the risk of perioperative hypothermia. Actively maintaining normal body temperature during the perioperative period is important to improve surgical outcomes as well as patient safety and surgical satisfaction. Temperature monitoring should be performed using both continuous and accurate body temperature probes. Perioperative temperature management requires the configuration of appropriate heating tools, heating blankets and mattresses, and special infusion heating equipment for appropriate heating is very important. This paper summarizes the physiology of thermoregulation, thermoregulation changes caused by anesthesia and surgery, the consequences of perioperative hypothermia, core temperature measurement methods and perioperative temperature management, aiming to explain the mechanism of perioperative hypothermia, emphasize the importance of prevention and treatment, and provide specific suggestions on how to improve body temperature management.

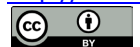
Keywords

Perioperative Period, Hypothermia, Temperature Regulation, Temperature Monitoring, Complications

Copyright © 2023 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. 正常体温

核心温度在昼夜节律和月经周期变化幅度约 1°C 左右。在生理情况下,核心温度在 $0.25^{\circ}\text{C}\sim 0.5^{\circ}\text{C}$ 的范围内保持稳定[1][2]。外周组织,主要是四肢,充当热缓冲器,其温度变化很大。例如,处在环境温度的住院患者外周组织通常比核心组织低 $2^{\circ}\text{C}\sim 4^{\circ}\text{C}$ [3]。

通过保持热量产生和热量损失之间的平衡来精准调节核心温度(接近 $37^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$) [1]。热量主要通过有氧代谢在所有细胞中产生,心脏、肾脏、大脑和肝脏的代谢率和休息时的热量产生率最高,而在运动期间,大部分热量在骨骼肌中产生[4]。在成人中,基础代谢率,即一个人保持身体基本功能所需的每单位时间的能量,相当于 $1500\sim 1800\text{ kcal/天}(=6280\sim 7536\text{ kJ/d})$ 。体力活动和寒战可使产热量增加到高于基础速率的 600% [5]。热量损失主要通过传导(直接接触的物体)、对流(皮肤周围的空气中)、辐射(红外波传递热量)和蒸发(通过从皮肤或伤口蒸发水分)发生[1]。

体温调节依赖于三个主要组成部分,即温度传感,中央温度调节和传出效应[6]。温度通过存在于皮肤、肝脏、骨骼肌、下丘脑和中枢神经系统其他部位的体温感受器感知全身。来自这些体温传感器的传入信号主要通过前脊髓中的通路传递到大脑。中枢体温调节涉及脊髓、大脑,尤其是下丘脑。下丘脑处理来自体温感受器和效应器的信号,以将核心温度保持在标定点[7]。传出效应包括自主神经和行为成分。对寒冷作出反应的主要自主神经防御是四肢末端的小动脉血管收缩(减少皮肤血流,从而减少热量丢失到环境中)和寒战[8]。在婴儿中,通过解偶联蛋白激活棕色脂肪进行非颤栗性产热比婴儿寒战更常见,但成人几乎不存在棕色脂肪,在急性体温调节防御中几乎不起作用[9]。行为反应,例如,根据环境温度穿着合适的衣物,在寒冷环境中快速运动,以及寻找温暖、干燥和避风的环境,有助于自主神经系统保持核

心温度[10]。

2. 围术期体温监测手段

围手术期患者的临床医生在日常生活中主要依靠核心温度；外周温度的记录仅用于特定的临床问题或科学目的。皮肤温度在很大程度上取决于血管舒缩张力，并且在各个表面区域有所不同。因此，温度测量的部位和技术对于临床解释很重要。肺动脉温度反映了核心温度的黄金标准，但很少能达到[1]。平均体温反映了总热量含量，根据以下公式计算：平均体温 = 0.87 核心温度 + 0.13 皮肤温度。

这些考虑因素对于温度测量值的解释非常重要：进行测量的部位通常比方法本身更重要，因为几乎所有设备都能准确监测周围组织的温度。对于临床目的，核心温度估计值的偏差(准确度) < 0.5°C 通常是可以接受的[11]。高度灌注的解剖区域最适合核心温度测量，包括靠近左心房的食管远端三分之一、鼓膜和鼻咽。与肺动脉的黄金标准相比，直肠或膀胱的温度反映了核心温度的快速变化，并具有显著的延迟。这是因为，通过快速冷却或复温，直肠中的粪便和膀胱中的尿液可能会导致测量温度与实际核心温度相比的收敛延迟。由于围手术期温度变化迅速，膀胱和直肠温度可能不是理想的测量部位，当使用这些部位时，应考虑测量延迟[2]。

与监测食管温度相比，相邻设备(如气管插管、气道气体、胃管)的温度可能会影响使用鼻咽探头获得的测量结果。对于这些装置，经过鼻孔 10~20 cm 的深度是正确的位置，以提供与食管探头获得的结果相当的结果[12]。

鼓膜测得的温度与下丘脑温度密切相关，因为颈总动脉供应这两个区域。有两种测量方法：鼓膜探头通常配备热电偶或红外测温仪。一次性鼓膜探头有时难以插入，因为耳道长几厘米，并不总是直的。患者必须验证探头的正确放置。鼓膜穿孔的风险经常被提及，尽管在日常实践中可以忽略不计。许多人建议不要对鼓膜进行红外测温，因为该方法存在潜在的偏差：耳道中的聆听可能会干扰，更重要的是，温度计可能会测量耳道的温度，而不是鼓室的温度。配备传感器技术的红外测温仪可减少这些混杂因素，也能产生高精度的精确测量[13]。

零热通量温度计提供了一种估算组织温度的非侵入性方法。当应用于皮肤时，这些设备可产生完美的隔热效果。因此，绝缘体覆盖的皮肤区域的温度将代表一段时间平衡后的核心温度。零热通量系统由靠近皮肤的柔性电路组成，该电路记录来自皮肤的热通量和皮肤温度。第二个设备，温度计，位于绝缘体外部。加热器保证两个设备的温度相同。因此，在平衡周期之后，外部温度计的温度反映了绝缘体下深层组织的温度。在计划进行腹部手术的患者中，额头皮肤零热通量测温法在温度变化缓慢的阶段提供了有希望的结果[14]。

3. 围术期核心体温

围术期低体温的发生率差异很大，从 4%~70% 以上不等[15]。围术期的三个时期(麻醉前、麻醉中和麻醉后)都会影响核心温度。因此，适当的体温管理始于患者的病房中。

(一) 麻醉前

患者在术前已有低核心体温，其术中和术后仍体温过低的风险更高[16]。已知低核心体温的危险因素包括高龄、低体重指数和疾病，如糖尿病神经病变、截瘫或重度甲状腺功能减退[17]。急诊患者，例如多发性创伤患者，入院时常体温过低(<35°C) [18]。

在从病房到手术室的过程中，患者通常穿着医院的病号服，只盖上一条薄毯子。在这种运输过程中，热量损失可能是相当大的。患者可激活体温调节性皮肤血管收缩以维持正常的核心温度。这样暴露于寒冷中可能导致临床相关的躯体外周部位的体温降低以及增大核心与外围之间的温度梯度。麻醉诱导降低

了自主神经体温调节反应的阈值并诱导血管舒张, 这将导致热量从核心重新分配到身体外周, 从而导致围术期体温过低。

一些药物会影响核心体温。例如, 抗精神病药物(第一代和第二代)可以降低体温, 而抗抑郁药(特别是三环类抗抑郁药)可以提高核心温度。特别是, 用于术前抗焦虑的药物会影响核心温度。苯二氮卓类药物可降低浓度依赖性物质的核心温度, 类似于可乐定和阿片类药物。抗胆碱能药可对抗苯二氮卓类药物引起的核心温度下降[19]。

(二) 麻醉中

热量的重新分布是麻醉诱导后围术期体温过低的主要原因, 同时热量产生的减少会导致核心温度的进一步降低。与麻醉类型无关, 麻醉药物会降低血管收缩和寒战阈值, 从而损害自主神经体温调节控制[20]。

用于全身麻醉的催眠药物抑制体温调节系统。全身麻醉诱导后, 从核心向外围的热量再分布过程中的温度下降程度取决于几个因素。患者的身体形态和血流动力学状态起作用。例如, 心输出量或外周血管舒张较高, 再分布更快。最重要的因素是麻醉诱导前的外周温度。核心和外围之间的温度梯度越低, 热量的再分布越低, 核心温度下降越低。身材更瘦、体型较小、失血量较高的患者降温更强烈、更快[3]。

诱导麻醉后约一小时, 温度下降减慢并变得更加线性。虽然在这个阶段重新分布不太重要, 但辐射和对流造成的热量损失占主导地位。

这种核心温度下降的线性阶段持续约两个小时, 并在达到自主温度调节阈值时结束。体温调节防御机制阈值的变化程度取决于所施用麻醉剂的浓度。血管收缩随后可以被重新激活, 并将身体的热状态转化为平台期。如果患者积极升温, 核心温度可能再次升高[21]。然而, 术中如有打开动脉交叉钳夹或止血带的行为时, 可能会出现进一步的再分布阶段。

与全身麻醉相比, 椎管内麻醉不会损害热量产生, 但同样会通过身体末端的血管舒张引起热量再分布, 并损害脊髓水平的温度调节[22]。一方面, 患者在进行椎管内麻醉时皮肤暴露在寒冷中。这会降低手术前的体温, 从而激活生理性体温调节血管收缩。另一方面, 施用的药物阻止末端的大部分神经活动, 并导致类似于全身麻醉的血液重新分布。由于麻醉起效较快, 脊髓麻醉的体温降低比硬膜外麻醉更快。此外, 体温降低的程度直接取决于阻滞的高度。椎管内麻醉和全身麻醉联合使用会加重再分布和血管舒张效应, 从而增加围术期低体温的风险[23]。如果周围神经阻滞范围扩大, 例如, 双下肢, 将对热量的重新分布产生相似大小的影响。

通常用于镇静的药物与全身麻醉中使用的药物具有相同的效果。然而, 浓度依赖性解释了较低剂量的镇静剂对体温调节和体温的影响较小。右美托咪定不会改变出汗阈值, 但相对和线性地降低血管收缩和颤抖阈值[24]。

除了麻醉过程外, 手术本身对围术期体温过低的风险也有其影响。首先, 由于环境温度是保持体温的关键, 手术室的温度不应低于 21℃。皮肤热损失与室温呈线性关系[25]。其次, 大面积消毒制剂可能会降低皮肤温度。第三, 大面积暴露的操作范围会导致热量损失。第四, 注入冷气体(例如腹腔镜检查)或给予冷冲洗液(例如关节镜手术)可显著降低体温[26]。第五, 止血带的放气导致体温第二次再分配。总之, 在手术和麻醉之间采用团队方法, 以最大限度地减少主动升温疗法的暂停, 并通过作用机制最大限度地减少热量损失是非常必要的。

(三) 麻醉术后

热不适和寒战是麻醉后患者常见的不适症状。强调了手术后继续优化体温管理的重要性。

术中体温过低会使病人术后感到热不适, 虽然术后热不适不会对病人生命有威胁, 但术后随访表明, 这种热不适记忆会在数年后仍然存在。热不适还会使患者感到焦虑, 据报道, 这种不适感会使患者血压、心率及血液中儿茶酚胺浓度升高。主动保温可以改善这种不适感[27]。当参与者暴露在寒冷环境中时, 他

们的焦虑感和疼痛感都有所增加。但是当参与者被一条温暖的毯子包裹后, 他们强调说他们的焦虑感明显减少了, 而且因为增加了热舒适, 他们的体验更加积极[28]。同样的结果也出现在经历外部热供应呈阳性的老年患者身上, 暖气供应增加了他们的满足感, 减少了恐惧和不安的体验[29]。因此, 预防术中低体温的发生, 减少患者术后的热不适及焦虑应当成为医务人员工作中重要的环节。

术后寒战是麻醉中最常见的并发症。据统计, 全身麻醉病人苏醒后约有 20%~70%的病人出现寒战。引起寒战的因素很多, 其中常见的有疼痛、交感神经张力增加及低体温等均会引起术后寒战[30]。术后寒战最常见的诱发因素是核心体温过低。麻醉药物使机体的热反应阈值升高, 冷反应阈值降低, 使温度调节的正常阈值区间增大。术后麻醉对机体温度调节的抑制作用消失, 从而使寒战阈值升高至正常水平甚至高于正常水平, 使得持续的低温和现在接近正常的寒战阈值之间的差异激活了寒战。尽管寒战可以迅速提高核心温度, 但也会给患者带来严重的不良影响。许多病人术后反馈寒战使其感到非常不舒服, 术后寒战其带来的不适感比手术引起的疼痛更加糟糕。术后寒战可以引起伤口的牵拉, 可能会加剧术后疼痛; 此外, 术后寒战会使伤口感染率增加、术后伤口引流量增加, 使患者伤口愈合延迟, 住院时间延长; 术后寒战除了明显的恢复期不适外, 还会增加耗氧量, 诱发乳酸酸中毒、二氧化碳产生、儿茶酚胺释放, 导致心输出量增加、心率加快、动脉压升高; 这些代谢需求的增加可能会使存在肺内分流、心输出量固定或呼吸储备有限的患者出现危机情况[30] [31]。

4. 围术期低体温后果

(一) 麻药药代动力学

体温过低可改变药物的药代动力学。体温过低损害酶的活性, 从而降低和减慢代谢, 延长用于诱导或维持麻醉的各种药物的作用。

丙泊酚是最常用于麻醉诱导和维持的静脉注射药物之一。丙泊酚在生理条件下的蛋白质结合率为 98%, 主要在肝脏中代谢。核心温度降低导致血浆丙泊酚浓度升高, 主要是由于肝血流量减少[32]。围手术期低体温也会通过核心温度下降使七氟烷和异氟烷的最低肺泡浓度(MAC)降低 1%来影响挥发性麻醉剂的效力。此外, 挥发性麻醉剂的组织溶解度在体温过低时升高, 导致麻醉延迟出现[33]。围术期低体温也会使阿片类药物蓄积使其浓度升高。体温过低还通过改变药物的代谢和排泄的分布或速率来影响肌肉松弛剂的作用。

总之, 围手术期低体温与麻醉延迟发生有关[34]。

(二) 凝血相关

体温过低会导致血浆凝血严重受损。像其他酶一样, 凝血因子需要最佳温度范围才能正常工作。体温过低会降低酶容量, 降低酶活性并导致凝血功能障碍。相关的失血增加减少了凝血因子的数量, 从而进一步加重了失血。抑制凝血酶生成、抑制凝血酶爆发和纤维蛋白原合成可引起核心温度 $< 36^{\circ}\text{C}$ 时发生大出血的临床显著风险[35]。

除了对体液凝血的影响外, 体温过低还影响血小板的数量和功能。体温过低会导致门静脉循环、肝脏和脾脏中的血小板滞留以及血小板边缘化。体温过低相关的小血小板减少症随着正常体温的恢复而可逆。低体温通过抑制血栓素 A₂ 的释放导致血小板聚集的可逆性损害, 血栓素 A₆₄ 在血小板活化和聚集中起关键作用[36]。

低体温患者也可因凝血和血管系统的各种变化而变得高凝, 例如粘度增加、血浓和炎症级联反应激活, 与脓毒性休克患者弥散性血管内凝血的影响相当[37]。

(三) 出血与输血

体温过低是以不同方式影响血液凝固的下一个因素。所有化学反应都与温度有关。凝血也是如此。

因此, 体液凝血级联反应的功能随着温度的降低而恶化, 似乎很明显。例如, 核心温度仅降低 1℃ 与出血发生率和输血需求的增加有关[38]。输血风险随着围手术期低体温的持续时间和严重程度而显著增加。较低的环境温度和减少的血容量会使这些患者易患体温过低[39]。这一点很重要, 尤其是在骨科手术中, 骨科手术中无法凝固的小骨血管病变主要导致围手术期失血[40]。在非心脏手术中, 主动升温和维持体温正常可减少输血。

(四) 术后感染

手术部位感染对患者的术后结局有显著风险, 是手术患者院内感染的主要原因之一。即使是轻度围手术期低体温也被证明是手术伤口感染的重要且独立的危险因素, 低体温相关的手术部位感染可能会增加术后住院时间的延长和总体费用[20]。最近的一项 Meta 分析发现, 主动体表变暖可减少非心脏手术后伤口感染, 从而相应地降低了术后感染的相关成本[41]。围手术期体温过低以各种方式影响免疫系统, 从而影响宿主对病原体的防御。体温过低的一个有害影响是血管收缩。由此导致的流向手术部位的血流量减少会损害组织氧合。组织缺氧通过改变蛋白质代谢来损害伤口愈合, 并可导致伤口裂开。此外, 氧供应减少会降低中性粒细胞使用的氧化免疫防御机制, 体温过低会导致免疫系统中各种细胞类型的运动性降低, 包括血小板和巨噬细胞[42]。

(五) 住院时间延长

与非低体温患者相比, 低体温患者与住院天数延长有关[43]。腹部大手术后的低体温患者年龄较大, 接受过较长时间的手术, 合并症较多。术后温度 $\leq 35^{\circ}\text{C}$ 是复合术后并发症的独立风险, 尤其是处理凝血和感染问题, 增加住院时长[44]。骨科手术后应尽快动员患者。如果低体温使患者延长卧床休息时间, 患者将出现血栓栓塞、肺部并发症和肌肉萎缩, 最终住院时间将延长[45]。

5. 围术期低体温防治

每个接受全身麻醉或脊髓麻醉手术持续时间超过 30 min 的患者都有围手术期体温过低及其并发症的风险。低风险并不意味着没有风险, 即使患者年轻且体温过低和体温过低相关并发症的风险较低, 对所有患者进行主动体温管理也具有成本效益[44]。

每位接受全身麻醉或脊髓麻醉手术持续时间超过 30 分钟的患者都应进行积极的热处理。一般来说, 建议测量核心温度, 在诱导麻醉前主动预热患者, 在麻醉期间对患者进行加热, 并在使用大量液体时使用液体加热。使用这种方法, 术后低体温发生率降低[46]。

(一) 麻醉前保温

在术前暴露于寒冷环境空气中后, 几乎所有患者到达手术室时都会出现外周血管收缩和外周组织冰冷。体温调节使大多数患者的身体核心保持温暖。然而, 一小部分患者在到达手术室时已经体温过低[16]。主动预热可以重新加热患者的寒冷外围, 从而减少麻醉诱导后热量的重新分布, 并减少麻醉诱导后核心温度的初始下降。为了实现主动预热的最大好处, 以下几点是有帮助的:

尽快开始主动预热。在日常实践中, 可用于预热的时间非常有限。这意味着必须在问候患者后立即开始主动预热。诱导麻醉前的所有其他活动都可以与加温一起进行。这包括登录、监测患者以及插入静脉、动脉或硬膜外导管。这些基本活动所需的时间也是可用于主动预热的时间。积极的术前主动预热, 可以降低意外围手术期体温过低的发生率, 并提高患者在择期成人手术期间的热舒适度[47]。

(二) 麻醉中主动加温

低体温是增加患者发病率及死亡率的一个独立的可预测的因素, 因此, 维持正常的体温对减少患者术中及术后并发症很重要。在诱导麻醉期间, 应继续主动升温。术前准备及摆放体位持续主动升温, 避免长时间中断。围术期应用多种主动加热装置例如皮肤保温装置、液体加温装置、吸入气体加温装置及

血管内热交换装置等[48]。

(三) 术中液体加温

一般来说, 输液加热不如体表加热重要。仅当预期使用大量液体时才使用输液加热器是有意义的。如果使用输液加热装置, 则应从手术开始就使用。低于人体温度的液体通过静脉输入会降低患者的温度, 输入的液体量与体温的降低成正比。研究表明, 室温下的晶体液每输入 1 升会使 70 kg 的患者核心温度降低 0.25℃ [49]。术中大量的冲洗液同样会带走体温, 必要的冲洗液加温装置是至关重要的, 如果没有输液加温装置, 使用保暖柜预热冲洗液也是可能且有效的[50]。

6. 结论

围术期低体温常见, 与失血量增加、输血需求增加、伤口感染发生率、麻醉后护理病房住院时间和费用有关。术前、术中和术后的温度管理对于降低围术期低体温的风险至关重要。了解围手术期低体温、使用准确和连续探头测量体温以及在诱导麻醉前和手术期间主动升温对于维持围术期体温正常和降低围术期体温过低的风险至关重要。体温管理应遵循个性化设置, 给患者建立一个舒适的围术期, 并减少术后并发症, 加速患者康复出院。

参考文献

- [1] Hymczak, H., Gołąb, A., Mendrala, K., *et al.* (2021) Core Temperature Measurement-Principles of Correct Measurement, Problems, and Complications. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **18**, Article 10606. <https://doi.org/10.3390/ijerph182010606>
- [2] Wagner, M., Lim-Hing, K., Bautista, M.A., *et al.* (2021) Comparison of a Continuous Noninvasive Temperature to Monitor Core Temperature Measures during Targeted Temperature Management. *Neurocritical Care*, **34**, 449-455. <https://doi.org/10.1007/s12028-020-01036-9>
- [3] Cramer, M.N., Gagnon, D., Laitano, O. and Crandall, C.G. (2022) Human Temperature Regulation under Heat Stress in Health, Disease, and Injury. *Physiological Reviews*, **102**, 1907-1989. <https://doi.org/10.1152/physrev.00047.2021>
- [4] Rauch, S., Miller, C., Bräuer, A., *et al.* (2021) Perioperative Hypothermia—A Narrative Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **18**, Article 8749. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168749>
- [5] Zhang, J., Tian, Z. and Tan, H. (2018) Research Progress in Measurement of Human Basal Metabolic Rate. *Journal of Central South University Medical Sciences*, **43**, 805-810.
- [6] De Witte, J. and Sessler, D.I. (2002) Perioperative Shivering: Physiology and Pharmacology. *Anesthesiology*, **96**, 467-484. <https://doi.org/10.1097/00000542-200202000-00036>
- [7] Raju, H. and Tadi, P. (2023) Neuroanatomy, Somatosensory Cortex. StatPearls, Orlando.
- [8] Schlader, Z.J. and Vargas, N.T. (2019) Regulation of Body Temperature by Autonomic and Behavioral Thermoexecutors. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, **47**, 116-126. <https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000180>
- [9] Jung, S.M., Sanchez-Gurmaches, J. and Guertin, D.A. (2019) Brown Adipose Tissue Development and Metabolism. In: Pfeifer, A., Klingenspor, M. and Herzig, S., Eds., *Brown Adipose Tissue*, Springer, Cham, 3-36. https://doi.org/10.1007/164_2018_168
- [10] Muzik, O., Baajour, S., Chowdury, A. and Diwadkar, V.A. (2022) Effective Connectivity of Brain Networks Controlling Human Thermoregulation. *Brain Structure & Function*, **227**, 299-312. <https://doi.org/10.1007/s00429-021-02401-w>
- [11] Matilda, E., Westergaard-Nielsen, E. and Henricson, M. (2020) Preoperative Peripheral and Core Temperature: An Observational Study at a Day-Surgery Unit. *British Journal of Nursing*, **29**, 160-164. <https://doi.org/10.12968/bjon.2020.29.3.160>
- [12] Aykanat, V.M., Broadbent, E. and Peyton, P.J. (2021) Reliability of Alternative Devices for Postoperative Patient Temperature Measurement: Two Prospective, Observational Studies. *Anaesthesia*, **76**, 514-519. <https://doi.org/10.1111/anae.15248>
- [13] Kameda, N. (2022) Clinical Accuracy of Non-Contact Forehead Infrared Thermometer and Infrared Tympanic Thermometer in Postoperative Adult Patients: A Comparative Study. *Journal of Perioperative Practice*, **32**, 142-148. <https://doi.org/10.1177/17504589211022314>

- [14] Conway, A., Bittner, M., Phan, D., *et al.* (2021) Accuracy and Precision of Zero-Heat-Flux Temperature Measurements with the 3M™ Bair Hugger™ Temperature Monitoring System: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Clinical Monitoring and Computing*, **35**, 39-49. <https://doi.org/10.1007/s10877-020-00543-6>
- [15] Sari, S., Aksoy, S.M. and But, A. (2021) The Incidence of Inadvertent Perioperative Hypothermia in Patients Undergoing General Anesthesia and an Examination of Risk Factors. *International Journal of Clinical Practice*, **75**, e14103. <https://doi.org/10.1111/ijcp.14103>
- [16] Kay, A.B., Klavas, D.M., Hirase, T., *et al.* (2020) Preoperative Warming Reduces Intraoperative Hypothermia in Total Joint Arthroplasty Patients. *The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, **28**, e255-e262. <https://doi.org/10.5435/JAAOS-D-19-00041>
- [17] Collins, S., Budds, M., Raines, C. and Hooper, V. (2019) Risk Factors for Perioperative Hypothermia: A Literature Review. *Journal of Perianesthesia Nursing*, **34**, 338-346. <https://doi.org/10.1016/j.jopan.2018.06.003>
- [18] Meléndez-Lugo, J.J., Caicedo, Y., Guzmán-Rodríguez, M., *et al.* (2020) Prehospital Damage Control: The Management of Volume, Temperature and Bleeding! *Colombia Medica*, **51**, e4024486. <https://doi.org/10.25100/cm.v51i4.4486>
- [19] Caroff, S.N., Watson, C.B. and Rosenberg, H. (2021) Drug-Induced Hyperthermic Syndromes in Psychiatry. *Clinical Psychopharmacology and Neuroscience*, **19**, 1-11. <https://doi.org/10.9758/cpn.2021.19.1.1>
- [20] Simegn, G.D., Bayable, S.D. and Fetene, M.B. (2021) Prevention and Management of Perioperative Hypothermia in Adult Elective Surgical Patients: A Systematic Review. *Annals of Medicine and Surgery*, **72**, Article ID: 103059. <https://doi.org/10.1016/j.amsu.2021.103059>
- [21] Barry, H., Chaseling, G.K., Moreault, S., *et al.* (2020) Improved Neural Control of Body Temperature following Heat Acclimation in Humans. *The Journal of Physiology*, **598**, 1223-1234. <https://doi.org/10.1113/JP279266>
- [22] Becerra, Á., Valencia, L., Ferrando, C., Villar, J. and Rodríguez-Pérez, A. (2019) Prospective Observational Study of the Effectiveness of Prewarming on Perioperative Hypothermia in Surgical Patients Submitted to Spinal Anesthesia. *Scientific Reports*, **9**, Article No. 16477. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52960-6>
- [23] Meghana, V.S., Vasudevarao, S.B. and Kamath, S.S. (2020) The Effect of Combination of Warm Intravenous Fluid Infusion and Forced Air Warming versus Forced Air Warming Alone on Maternal Temperature and Shivering during Cesarean Delivery under Spinal Anesthesia. *Annals of African Medicine*, **19**, 137-143. https://doi.org/10.4103/aam.aam_58_19
- [24] Lamontagne, C., Lesage, S., Villeneuve, E., *et al.* (2019) Intravenous Dexmedetomidine for the Treatment of Shivering during Cesarean Delivery under Neuraxial Anesthesia: A Randomized-Controlled Trial. *Canadian Journal of Anaesthesia*, **66**, 762-771. <https://doi.org/10.1007/s12630-019-01354-3>
- [25] Curless, M.S., Bow, L., Lentz, T., *et al.* (2021) Management and Mitigation of Temperature and Humidity Events in the Perioperative Setting. *AORN Journal*, **114**, 563-571. <https://doi.org/10.1002/aorn.13563>
- [26] Lin, Y., Zhou, C., Liu, Z., *et al.* (2020) Room Temperature versus Warm Irrigation Fluid Used for Patients Undergoing Arthroscopic Shoulder Surgery: A Systematic Review and Meta Analysis. *Journal of Perianesthesia Nursing*, **35**, 48-53. <https://doi.org/10.1016/j.jopan.2019.06.006>
- [27] Ruetzler, K. and Kurz, A. (2018) Consequences of Perioperative Hypothermia. *Handbook of Clinical Neurology*, **157**, 687-697. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64074-1.00041-0>
- [28] Lei, T.H., Matsukawa, H., Okushima, D., *et al.* (2020) Autonomic and Perceptual Thermoregulatory Responses to Voluntarily Engaging in a Common Thermoregulatory Behaviour. *Physiology & Behavior*, **215**, Article ID: 112768. <https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2019.112768>
- [29] Kovach, C.R., Putz, M., Guslek, B. and McInnes, R. (2019) Do Warmed Blankets Change Pain, Agitation, Mood or Analgesic Use among Nursing Home Residents? *Pain Management Nursing*, **20**, 526-531. <https://doi.org/10.1016/j.pmn.2019.07.002>
- [30] Lopez, M.B. (2018) Postanaesthetic Shivering—From Pathophysiology to Prevention. *Romanian Journal of Anaesthesia and Intensive Care*, **25**, 73-81. <https://doi.org/10.21454/rjaic.7518.251.xum>
- [31] Caruselli, M. (2018) Postoperative Shivering: A Common Phenomenon with Multiple Causes. *Minerva Anestesiologica*, **84**, 1340-1342.
- [32] Sahinovic, M.M., Struys, M. and Absalom, A.R. (2018) Clinical Pharmacokinetics and Pharmacodynamics of Propofol. *Clinical Pharmacokinetics*, **57**, 1539-1558. <https://doi.org/10.1007/s40262-018-0672-3>
- [33] Shirozu, K., Nobukuni, K., Umehara, K., *et al.* (2022) Comparison of the Occurrence of Postoperative Shivering between Sevoflurane and Desflurane Anesthesia. *Therapeutic Hypothermia and Temperature Management*, **12**, 177-181. <https://doi.org/10.1089/ther.2021.0029>
- [34] Missal, U.S., Joshi, S.A. and Shaikh, M.M. (2016) Delayed Recovery from Anesthesia: A Postgraduate Educational

- Review. *Anesthesia, Essays and Researches*, **10**, 164-172. <https://doi.org/10.4103/0259-1162.165506>
- [35] Bjertnæs, L.J., Næsheim, T.O., Reiherth, E., *et al.* (2022) Physiological Changes in Subjects Exposed to Accidental Hypothermia: An Update. *Frontiers in Medicine*, **9**, Article 824395. <https://doi.org/10.3389/fmed.2022.824395>
- [36] Wallner, B., Schenk, B., Hermann, M., *et al.* (2020) Hypothermia-Associated Coagulopathy: A Comparison of Viscoelastic Monitoring, Platelet Function, and Real Time Live Confocal Microscopy at Low Blood Temperatures, an *in Vitro* Experimental Study. *Frontiers in Physiology*, **11**, Article 843. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00843>
- [37] Itenov, T.S., Kromann, M.E., Ostrowski, S.R., *et al.* (2023) Mild Induced Hypothermia and Coagulation and Platelet Function in Patients with Septic Shock: Secondary Outcome of a Randomized Trial. *Acta Anaesthesiologica Scandinavica*, **67**, 909-917. <https://doi.org/10.1111/aas.14254>
- [38] Van Veelen, M.J. and Brodmann Maeder, M. (2021) Hypothermia in Trauma. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **18**, Article 8719. <https://doi.org/10.3390/ijerph18168719>
- [39] Jennings, L.K. and Watson, S. (2023) Massive Transfusion. StatPearls, Orlando.
- [40] Sharma, R., Huang, Y. and Dizdarevic, A. (2022) Blood Conservation Techniques and Strategies in Orthopedic Anesthesia Practice. *Anesthesiology Clinics*, **40**, 511-527. <https://doi.org/10.1016/j.anclin.2022.06.002>
- [41] Xu, H., Wang, Z., Lu, Y., *et al.* (2021) Value of Active Warming Devices for Intraoperative Hypothermia Prevention—A Meta-Analysis and Cost-Benefit Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, **18**, Article 11360. <https://doi.org/10.3390/ijerph182111360>
- [42] Marzoog, B.A. (2022) Systemic and Local Hypothermia in the Context of Cell Regeneration. *Cryoletters*, **43**, 66-73. <https://doi.org/10.54680/fr22210110112>
- [43] Zhang, H., Wang, J.C., Zhu, S.N. and Li, J.L. (2022) The Prevalence of and Predictors for Perioperative Hypothermia in Postanaesthesia Care Unit. *Journal of Clinical Nursing*, **31**, 2584-2592. <https://doi.org/10.1111/jocn.16080>
- [44] Sabbag, I.P., Hohmann, F.B., Assunção, M.S.C., *et al.* (2021) Postoperative Hypothermia following Non-Cardiac High-Risk Surgery: A Prospective Study of Temporal Patterns and Risk Factors. *PLOS ONE*, **16**, e0259789. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0259789>
- [45] Choi, Y.S., Kim, T.W., Chang, M.J., *et al.* (2022) Enhanced Recovery after Surgery for Major Orthopedic Surgery: A Narrative Review. *Knee Surgery & Related Research*, **34**, Article No. 8. <https://doi.org/10.1186/s43019-022-00137-3>
- [46] Shaw, C.A., Steelman, V.M., Deberg, J. and Schweizer, M.L. (2017) Effectiveness of Active and Passive Warming for the Prevention of Inadvertent Hypothermia in Patients Receiving Neuraxial Anesthesia: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Journal of Clinical Anesthesia*, **38**, 93-104. <https://doi.org/10.1016/j.jclinane.2017.01.005>
- [47] Torossian, A., van Gerven, E., Geertsen, K., *et al.* (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>
- [48] Link, T. (2020) Guidelines in Practice: Hypothermia Prevention. *AORN Journal*, **111**, 653-666. <https://doi.org/10.1002/aorn.13038>
- [49] Choi, J.W., Kim, D.K., Lee, S.W., Park, J.B. and Lee, G.H. (2016) Efficacy of Intravenous Fluid Warming during Goal-Directed Fluid Therapy in Patients Undergoing Laparoscopic Colorectal Surgery: A Randomized Controlled Trial. *The Journal of International Medical Research*, **44**, 605-612. <https://doi.org/10.1177/0300060516638991>
- [50] Koleini, E., Cohen, J.S., Darwish, O.M., *et al.* (2020) Perioperative Hypothermia after Transurethral Surgeries: Is It Necessary to Heat the Irrigation Fluids? *Turkish Journal of Anaesthesiology and Reanimation*, **48**, 391-398. <https://doi.org/10.5152/TJAR.2019.61214>