

## 術中低体温

赤田, 隆  
九州大学医学部附属病院麻酔科蘇生科

<https://doi.org/10.15017/7218219>

---

出版情報：福岡醫學雑誌. 92 (2), pp.21-26, 2001-02-25. Fukuoka Medical Association  
バージョン：  
権利関係：



---

## 解 説

---

### 術中低体温

九州大学医学部附属病院麻酔科蘇生科  
赤 田 隆

#### はじめに

周術期には、麻酔や手術という非日常的な生体侵襲により、様々な生体機能の健全な維持に必須である体温の恒常性が脅かされ得る。周術期に頻繁に観察される体温異常は低体温である。悪性高熱や甲状腺機能亢進などに起因する体温上昇も出現し得るが、その発生頻度は低い。悪性高熱発症が致死的となり得ることは広く認識されているが、周術期低体温が患者予後に及ぼす影響に関しては最近まで十分な検討がなされていなかった。近年の臨床研究は、意図せず発生した周術期低体温が、たとえその程度が34~35°C台と比較的軽度であっても、周術期の出血量や輸血量を増加させたり、術創部感染率や心筋虚血発生率を高めることで、患者予後に重大な影響を及ぼしかねないことを指摘している<sup>2)3)5)7)</sup>。また、周術期低体温の発生は、手術室や回復室の滞在時間、ひいては病院滞在日数の延長を引き起こし、医療効率に悪影響を及ぼす可能性も指摘している<sup>4)</sup>。本解説では、発生頻度の高い術中低体温の発生機序とその臨床的意義について、さらにはその予防、早期発見、治療について述べる。

#### 術中低体温発生メカニズム

全身麻酔、硬膜外麻酔、脊椎麻酔の導入に伴う広範な末梢血管の拡張は、身体核心部より外殻部への体熱の移動を惹起し、身体核心部の温度(核心温)を約1.0~1.5°C低下させる(再分布性低体温)(図1)<sup>7)</sup>。しかし、自律性体温調節機構が抑制されている全身麻酔下では寒冷反応の閾値が低下しており、軽度の核心温低下では寒冷反応は出現しない(図2)。また、硬膜外麻酔や脊椎麻酔においても、脊髄神経遮断領域の寒冷受容器からの求心性信号が遮断される為に寒冷反応閾値は軽度低下するので、寒冷反応の出現はやはり遅れる。さらに、硬膜外麻酔や脊椎麻酔では、核心温の低下が寒冷反応閾値を下回っても、脊髄神経遮断領域には体温調節性血管収縮反応は出現し得ない。従って、全身麻酔、硬膜外麻酔、脊椎麻酔の導入に伴い身体外殻部へ移動した熱は体表面より容易に失われ、核心温はさらに低下する。また、術野や気道系よりも体熱は失われる。さらに、全身麻酔導入に伴う代謝熱産生量低下や未加温輸液製剤の投与も核心温低下に繋がる。術中に予防的な保温や加温を行わないと、外科手術患者の多くに、年齢、麻酔法、手術法、輸液量、環境温などの様々な因子によりその程度は異なるが、1~3°Cの核心温低下が出現する。

#### 術中低体温の臨床的意義

1歳未満の乳児においては、たとえその程度が34~35°C台と軽度であっても、術中低体温が致死的となり得る可能性が古くより指摘されている<sup>1)</sup>。また、近年の研究は、成人患者においても、34~35°C台の低体温がその予後に重大な影響を及ぼし得る可能性を指摘している<sup>2)3)5)</sup>。術中低体温となった成人患者において、十分な復温をせずに全身麻酔からの覚醒を図ると、麻酔覚醒直後より出現する寒冷反応に伴い心筋虚血や心室不整脈の発生率が増加する<sup>2)</sup>。

---

Takashi AKATA

Department of Anesthesiology and Critical Care Medicine, Faculty of Medicine, Kyushu University, Fukuoka 812-8582, Japan

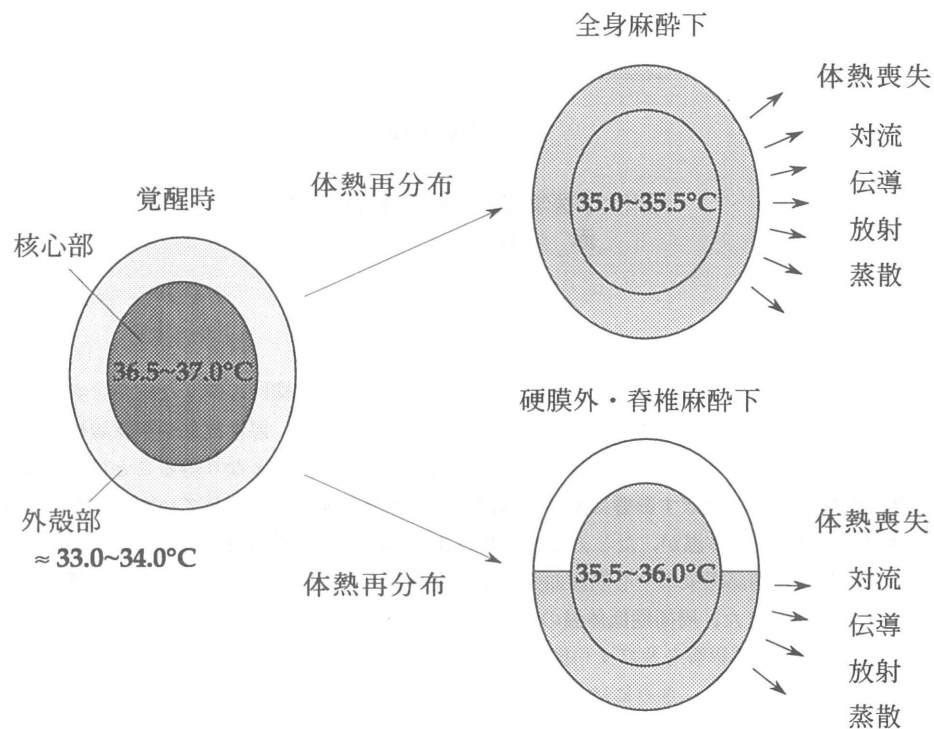


図1 再分布性低体温 (Redistribution hypothermia)

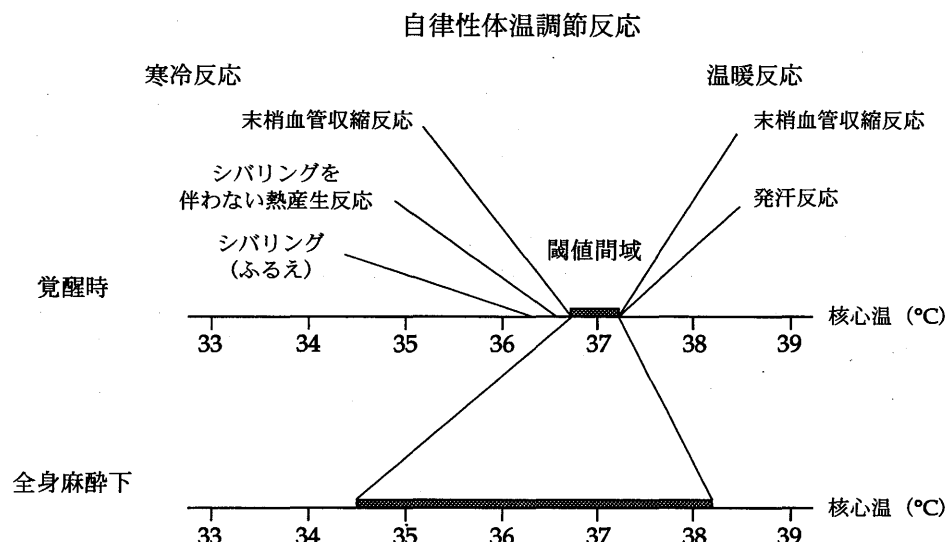
全身麻酔や硬膜外/脊椎麻酔の導入に伴う末梢血管拡張により体熱は核心外殻温度較差に従い再分布し、核心温は低下(再分布性低体温)、外殻温は上昇する。麻酔下においては、自律性体温調節機構が抑制されているために、核心温低下にも拘わらず末梢血管拡張状態が持続、主として、対流、伝導、放射の機序による外殻部(皮膚表面)からの体熱の喪失は持続する。さらに、術野や気道系からの蒸散を中心とする体熱の喪失、麻酔による代謝熱産生量の抑制、末加温輸液製剤の投与が加わり、術中、体温はさらに低下する。身体を卵形で示している。

寒冷反応出現に伴う交感神経系の緊張、血中カテコールアミン濃度の上昇、体温調節性末梢血管収縮反応に伴う後負荷増大、シバリング(ふるえ)出現に伴う酸素消費量と炭酸ガス産生量の増加、混合性アシドーシスの進行などによる心臓細胞環境の乱れや心筋酸素受給バランスの破綻が原因として考えられる。また、低体温に伴う血液凝固能低下により周術期出血量や輸血量は増加し得る<sup>5)</sup>。さらに、低体温に伴う免疫力低下により術創部感染率は上昇し、創傷治癒が遅延し得る<sup>3)</sup>。また、低体温に起因する麻酔覚醒遅延、手術室/回復室滞在時間延長、入院日数増加が医療効率を低下させ得る<sup>4)</sup>。従って、患者予後は言うまでもなく医療効率改善の観点からも、周術期体温管理、なかでも発生頻度の高い術中低体温の発生を防止することは重要である。

#### 術中低体温発生の予防

##### 1) 術前加温、血管作動薬による再分布性低体温の予防

麻酔導入に伴う再分布性低体温は、広範な末梢血管拡張に起因する核心-末梢温度較差に従う身体核心部から身体末梢部への熱の移動によって惹起される(図1)。従って、麻酔導入前より温風式加温装置や電気毛布などを用いて患者身体末梢部を暖め、核心-末梢温度較差を予め小さくしておく、再分布性低体温を軽減することができる。ま



**図2** 全身麻酔導入に伴う閾値間域 (Interthreshold range) の拡大  
全身麻酔導入に伴い、自律性体温調節反応は顕著に抑制される。寒冷反応の閾値は約2.0～2.5℃低下し、温暖反応の閾値は約1.0～1.5℃上昇する結果、全く体温調節反応の出現しない閾値間域は、覚醒時の0.2～0.3℃から著明に拡大、約4.0～4.5℃となる。すなわち、全身麻酔下の患者体温は環境温の大きな影響を受けることになる。体温が低下した状態で全身麻酔よりの覚醒を図ると、寒冷反応が急激に出現し、患者予後に重大な影響を及ぼしかねない合併症が出現し得る(本文参照)。また、麻酔覚醒時には閾値間域が右方移動している可能性が特に長時間手術では考慮されるべきである。

た、麻酔導入前に血管拡張薬を投与しておくことでも麻酔導入に伴う再分布性低体温の程度を軽減できる。これは、末梢血管拡張に伴う体熱の再分布により末梢温が上昇すると共に、同時に惹起される核心温低下は無麻酔下では体温調節性熱産生反応の出現により直ちに是正され核心温が維持されるため、麻酔導入前の核心-末梢温度較差が核心温が維持された状態で小さくなっているからである。また、逆に、吸入麻酔薬による全身麻酔導入前より血管収縮薬の持続投与を行い麻酔薬の末梢血管拡張作用を阻止すると、再分布性低体温の程度をやはり軽減できる。

## 2) 皮膚表面からの熱喪失の予防

術中の熱喪失の大部分は皮膚表面あるいは術野から生じるので、術中低体温の予防には皮膚表面からの熱喪失を軽減することが重要となる。体表面被覆による保温法においては、被覆物の素材や被覆部位の選択よりも被覆領域の広さが重要となる。皮膚表面を積極的に加温する手段として、温水循環式マット、電気毛布、輻射熱を利用した加温装置、温風式加温装置がある。

温水循環式マットは、術中、マットと患者皮膚表面の良好な接触を広い面積にわたって保つことは難しく、また、手術台に仰臥位で寝る患者の背部より伝導によって失われる熱量は少ないため、患者背部を温水循環式マットで加温してもその効果は小さい。

家庭用電気毛布には正確な設定温度表示がなく、術中使用には適さない。また、コンセントは2Pである上、漏れ電流表示もなく、電気安全的な問題も残されている。その素材から空気清浄度に対する悪影響も懸念される。

輻射熱を利用した加温装置は、特に成人では加温面積が狭いため、他の装置に比べ加温効果は低い。また、使用時には対流による熱喪失が衰えない。

温風式加温装置は、現在用いられている加温装置の中で最も加温能力が高い。空気そのものの熱保持能力は高くないが、高流量の加温空気を流すことでその加温能力を高めている。皮膚表面からの熱喪失を防止するにとどまらず熱を与えることもできるため、既に発生した術中低体温の治療にも有効である。長時間使用では高体温の危険があり、加温部位のみならず核心温の監視は必須である。さらに、術中使用に当たっては手術室の空気清浄度の低下が懸念されるが、新品の加温カバーを用いる限り、有意な影響はないようである。

いずれの加温装置を用いるにせよ、加温部位における火傷発生の予防に注意する。熱源温度が高いほど、曝露時間が長いほど、末梢循環障害の程度が強いほど、発生確率は高くなる。湯タンポ式の局所的な加温は、大きな効果が期待できないばかりか、局所的皮膚温度上昇による火傷発生の危険性が高い。温水循環式マットは大きな効果が期待できないばかりか、37℃の設定温度でも圧迫により循環障害を来しやすい仙骨部の火傷が報告されている。特に、乳幼児、高齢者、末梢循環不全患者、長時間手術患者では注意する。大動脈遮断中の下肢などの無灌流領域での使用は絶対禁忌である。全身麻酔下の患者においては、いずれの加温装置を用いるにせよ、設定温度は低めにし、加温部位の監視を怠らないことが重要である。

### 3) 気道系からの加温加湿

全身麻酔下成人において、乾燥冷氣吸入に伴い気道系より失われる熱量は、平均代謝熱産生量の約10%にすぎない。乾燥空気の熱容量は小さく、冷氣吸入時の吸入気への熱の移動に伴う熱喪失はごく僅かであり、乾燥冷氣吸入に伴う気道系よりの総熱喪失量の約15%を占めるにすぎない。すなわち、乾燥冷氣吸入に伴う気道系よりの熱喪失の大部分は水分の蒸発による。従って、気道系よりの熱喪失を減少させるためには、気道系の加湿が有効となる。気道系の加湿加湿においては、気道粘膜保護に必要な加湿(相対湿度 $\geq 50\sim 60\%$ )が容易に得られ、細菌フィルターとしても機能する人工鼻の使用が勧められる。ヒーター付き加湿加湿器を使用する場合は、吸入気の温度を測定する。

### 4) 輸液・輸血の加温

未加温の輸液/輸血製剤の投与は、術中の体温低下を助長する。4℃の濃厚赤血球を体重60kgの患者に1L投与すると患者体温は約0.6℃、20℃の輸液製剤1Lでは約0.3℃低下する。従って、大量の輸液や輸血が急速に行われる際は、輸液/血液加温装置は低体温防止に不可欠である。術中用いられる輸液/血液加温装置の代表的なものとして、ウォータバス型加温装置と対向流式加温装置があげられる。ウォータバス型加温装置ではコイル状の輸液ルートを温水に浸すことで加温する。一方、近年導入された対向流式加温装置では温水を輸液回路の外側あるいは内側を循環させることにより加温する。現在用いられている輸液/血液加温装置の中では、対向流式のものが、加温効率と回路抵抗の両面から急速輸血時( $\geq 3000$  ml/h)の輸液/血液加温装置として最も優れている。しかし、1000~2000 ml/hの投与速度では、ウォータバス型加温装置であっても、ほぼ満足いく血液加温が達成される。逆に、輸液速度が遅くなると、いずれの加温装置を用いても、装置と患者の間の室温に曝された点滴延長回路通過が原因で十分な加温効果は期待できない。

米国血液銀行協会は、近年、血液加温温度の上限を従来の38℃から引き上げ、42℃未満での血液加温を現在承認している。これを受け、近年導入された対向流式血液加温装置の循環式ウォータバスの温度は40~41℃と、従来型の血液加温装置の温度設定に比べると高くなっている。しかし、様々な要因で赤血球膜の温度感受性が上昇する可能性もあり、対向流式血液加温装置を用いる際には、溶血の出現に注意する必要があると思われる。また、輸液/血液加温装置使用時、加温された輸液や血液からは気泡が発生し得るので、加温装置の中で発生した気泡が患者体内に送り込まれることがないように注意が必要である。輸液速度が遅い時にはその発生量は多いので特に注意が必要である。

### 5) アミノ酸投与

術前よりアミノ酸投与を行い、蛋白合成とそれに伴う熱産生を引き起こしておくと、麻酔中の体温低下が軽減できる可能性が近年報告された<sup>6)</sup>。

### 術中体温測定部位

身体内部の熱分布は均一ではなく、熱産生の主たる場であり高灌流領域である核心部には外殻部に比べより多くの熱が分布し、核心温は外殻温よりも高い。一般に体温と呼ばれているものは核心温であり、低体温は核心温低下を、高体温は核心温上昇を意味する。広範囲の環境温変化に対しても、精密な体温調節機構の下、核心温は或る非常に狭い範囲に維持されている(図2)。一方、そのような体温調節の中で熱絶縁体/熱放散体として機能する身体外殻部の温度は、環境温と核心温の変化に伴い大きく変動し得る。また、体温調節反応以外の様々な生体応答の結果として惹起される末梢血管トーン変化を反映して外殻温は変化し得る。従って、外殻温の測定により核心温を正確に推定することはできない。また、身体核心部とその外殻部の境界は環境温変化などによって移動し得、解剖学的に一定したものではない。従って、臨床的に核心温を何処でどのように測定、評価すべきかについては議論がある。臨床的に測定意義が高いと考えられる核心温は脳温や心筋温である。しかし、通常、これら最重要臓器の温度は臨床的に測定できない。そこで、最重要臓器温に近いと推定される大動脈血液温や心臓内血液温の変化を鋭敏に反映し得る体温を測定することの臨床的意義が強調されてきた。また、測定法が簡便で非侵襲的であり、測定温度が環境温や局所血流変化の影響を受けないことも重要である。肺動脈血液温、食道温、鼻咽頭温、鼓膜温、直腸温、膀胱温、口腔温などが身体内部温として臨床的に測定可能であるが、上記の条件を全て満たす測定部位はない。生理的状況下では核心部の熱分布は比較的均一で、これら身体内部温の間に大きな差は認めないが、体温の恒常性が脅かされ身体核心部が露出され得る周術期においては測定部位により有意な違いが出現し得るので体温測定部位の選択に関しては注意が必要である。

鼓膜温、鼻咽頭温、食道温、肺動脈温、直腸温、膀胱温などが、核心温として術中測定されるが、各々に特徴がある。前4者は、急速な体温変化時にも核心温としての信頼性は高い。鼓膜温は視床下部温を比較的良好に反映するとされているが、顔面周囲の環境温変化の影響を受け得る。また、鼓膜損傷の危険性もある。非接触型の鼓膜温度計も開発されているが、精度のばらつきが指摘されている。食道温は大動脈血液温や鼓膜温と良好に相関するが、吸入気温度変化の影響を受け得る。その為に上部食道温は下部食道温より約1℃低いことが知られ、食道遠位部での測定が推奨される。鼻咽頭温と脳温との良好な相関関係が知られているが、食道近位部の温度と同様、吸入気温度の影響を受けるため、注意が必要である。直腸温や膀胱温も核心温として周術期に測定されるが、急激な体温変化に対する応答性は共に低く、特に人工低体温時には中間温と見なされる。また、膀胱温は乏尿時には核心温とはみなせない。しかし、人工低体温からの離脱時に、比較的均一な復温を反映し上昇する直腸温や膀胱温の測定は有用である。

腋窩温は、腋窩動脈が皮膚表面直下を走る小児においては、腋窩動脈直上で脇を閉じて測定すれば核心温として比較的信頼できると報告されているが、成人においては信頼できない。

末梢皮膚表面温と核心温との間に良好な相関は認められず、術中、核心温を測定せずに末梢皮膚表面温のみ測定することは推奨できない。末梢皮膚表面温のみの測定では低体温や悪性高熱は診断できない。しかし、麻酔中に様々な原因で生じる末梢血管収縮反応や拡張反応を鋭敏に反映する末梢皮膚表面温のモニターは、全身管理上有用である。

深部組織温は、皮膚表面を断熱材で完全に覆うと熱は高温の深部組織から低温の皮膚表面へと移動、最終的には皮膚表面温度は深部組織温度と平衡状態に達するという原理の下に測定される。従って、外気温が深部組織温より高い場合には測定できない。定常状態においては核心温と比較的良好に相関するが、急激に体温が変化する際の追従性は良くない。

### 体温調節性シバリング（ふるえ）の治療

低体温の患者を復温せずに全身麻酔から覚醒させると、それまで麻酔薬で抑制されていた体温調節中枢は脳内麻酔薬濃度の低下に伴いその機能を回復するため、体温調節性血管収縮反応に引き続いて体温調節性熱産生反応、シバリングが出現し得る。シバリング出現により  $O_2$  消費量は著明に増大、それに伴い  $CO_2$  産生量が増大する。先行して出現する体温調節性末梢血管収縮反応に起因する代謝性アシドーシスに加え、麻酔薬の呼吸抑制作用が残存していると分時換気量は十分に増加せず、混合性アシドーシスの状態となる。交感神経系の緊張により、血中カテコラミン濃度は上昇し、心拍数や血圧も上昇する。このような心筋細胞環境悪化と心筋酸素需給バランスの破綻により、心室性不整脈や心筋虚血が出現し得る<sup>2)</sup>。特に心機能の低下した患者や高齢者にとっては危険な状態である。また、術中の最も不快な思い出として患者に指摘されるものの一つでもある。術前、術中より低体温の発生を予防あるいはその程度を軽減し、全身麻酔覚醒時の体温調節性シバリング出現を防止することが重要である。手術終了後であっても、体温低下あるいは末梢血管収縮反応の出現などによりシバリングの出現が予想される場合には、麻酔下に患者を復温してから覚醒させるべきである。また、長時間手術においては、サイトカインなどの影響により閾値間域 (Interthreshold range) あるいは核心温の設定が右方に移動している可能性も考慮されるべきである (図 2)。それでもシバリングが出現した場合には、末梢循環不全も考慮し、皮膚表面より慎重に加温を行う。加温で対処できない場合、あるいは速やかにシバリングを止める必要のある患者においては、体温調節中枢を抑制する薬物をその合併症に注意して用いる。塩酸ペチジン (オピスタン<sup>®</sup>) やクロニジンの有用性が知られる。

### おわりに

周術期には、全身諸臓器機能の健全な維持に必須である体温の恒常性が脅かされ、患者予後に重大な影響を及ぼしかねない体温異常が出現し得る。周術期体温異常の発生機序を理解しその発生を予防することが肝要であるが、時にその予防は難しく、発生時には早期発見と早期治療が重要となる。その為には、核心温やその急激な変化を正確に評価する必要がある。

### 文 献

- 1) Farman JV: Heat losses in infants undergoing surgery in air-conditioned theatres. *Br J Anaesth* 34: 543-557, 1962.
- 2) Frank SM, Fleisher LA, Breslow MJ et al.: Perioperative maintenance of normothermia reduces the incidence of morbid cardiac events. A randomized clinical trial. *JAMA* 277: 1127-1134, 1997.
- 3) Kurz A, Sessler DI and Lenhardt R: Perioperative normothermia to reduce the incidence of surgical-wound infection and shorten hospitalization. *N Engl J Med* 334: 1209-1215, 1996.
- 4) Lenhardt R, Marker E, Goll V et al.: Mild intraoperative hypothermia prolongs postanesthetic recovery. *Anesthesiology* 87: 1318-1323, 1997.
- 5) Schmied H, Kurz A, Sessler DI et al.: Mild hypothermia increases blood loss and transfusion during total hip arthroplasty. *Lancet* 347: 289-292, 1996.
- 6) Sellden E, Branstrom R and Brundin T: Preoperative infusion of amino acids prevents postoperative hypothermia. *Br J Anaesth* 96: 227-234, 1996.
- 7) Sessler DI: Perioperative heat balance. *Anesthesiology* 92: 578-596, 2000.