

第1章 序論

I 研究の背景

近年、Enhanced Recovery After Surgery: ERAS (術後回復力強化プログラム)、あるいはFast Track Surgery (以下 ERAS) といった名前の下に、外科手術を経る患者の早期の社会復帰を、周術期チームが一体となって促進する試みが広くなされてきている。単に外科医が低侵襲の手術方法を追及したり、術後病棟で看護師が早期離床を促すだけでなく、手術に対する麻酔の取り組みも含め、手術前から術後までの流れの総合的な視野の中での対応を追求するものである。周術期医療チームの中でも、麻酔科医とともに周麻酔期看護師は、その医療の流れの全てに直接的に関わる立場であり、重要な役割を担っていると認識している。

ERAS での一連の対応の中に、周術期の体温管理がある。呼吸管理や循環管理に比較してこれまでは目立たない存在であったが、周術期の体温低下は 手術創感染: Surgical Site Infection (以下 SSI) 発生率の上昇¹⁾²⁾、出血量および輸血量の増加³⁾、心血管イベントの増加⁴⁾、薬剤効果の延長⁵⁾ に関連し、予防すべき周術期合併症であると報告されている。

周術期の体温低下には、全身麻酔導入時期の要因が大きく関与する。麻酔導入に伴う全身麻酔薬投与によって、身体の中枢部位から末梢部位への熱の再分布が起き体温が低下する過程とその機序が Sessler や Matsukawa らの報告によって明らかにされている⁶⁾⁷⁾。周術期の体温低下には3つの段階があり、全身麻酔薬投与開始による熱の再分布が起きるのは第1段階である。これは熱の再分布による体温の等分の結果である。第2、第3段階は緩徐な体温低下の時期であるが、第1段階の中枢温度は1時間に $1.6 \pm 0.3^{\circ}\text{C}$ の急激な低下をし、全身麻酔導入後の急激な体温低下の約80%は、第1段階の熱の再分布が関与していると報告されている⁸⁾。麻酔前の患者は、情緒的な緊張による末梢血管収縮により、中枢と末梢の大きな温度差を持ちながら中枢温度を維持しているが、全身麻酔薬投与によって末梢血管拡張が起き、中枢から末梢に熱容量が移動し、中枢温度は急激に低下する、このことが麻酔導入時に起こる熱の再分布の機序である⁹⁾。また区域麻酔でも程度は異なるが同様のことが起きるとされている¹⁰⁾。急激に低下した体温を復温させることは体温管理の基本であるが、様々な要因により麻酔中の復温は容易ではなく、また手術術式によっては

加温装置が十分な加温面積の確保や機能発揮ができず、復温が困難となることがある。実際の麻酔の現場では、認識不足から麻酔導入直前の体温を計測せず、熱の再分布が起きた後、つまり麻酔導入後一定時間を経てから体温測定を開始する場合や施設もあり、麻酔導入時にみられる体温低下を十分に把握していない可能性がある。これらのことから、手術室入室直後、麻酔導入前からの体温モニタリングと体温管理が重要かつ課題である。

周術期の熱の再分布は、中枢温度-末梢温度間の温度較差と末梢血管拡張の影響が大きいことから、中枢温度-末梢温度間の温度較差を減らす目的で、Pre-warming (予めの加温)の有用性を Sessler らは報告している¹¹⁾。Pre-warming とは、麻酔導入による熱の再分布予防を目的とした麻酔導入前の積極的な加温であり、近年は Pre-warming の時間や加温装置に関する研究も多く見られるようになった。

Pre-warming は、麻酔導入前の時期を含むことから、加温の程度や時間、方法によっては過剰な発汗や不快感をもたらす場合もあり、単純に長くそして強く加温すればよいわけではない。Sessler らは、温風式加温装置での加温は、30 分の加温でも理論上再分布性低体温の予防となること、1 時間とそれ以上の加温では、発汗や温度的な不快感の発生の有無に差が出ることを報告している¹²⁾。Sessler らの用いた加温方法は、温風式加温装置と全身を覆う仰臥位用の温風加温専用ブランケット Bair Hugger® Model-200, Full-Body Cover (Arizant Healthcare, Eden Prairie, Minnesota, USA); (以下 Model-200) を用い 2 時間、Medium (≈40°C) と High (≈43°C) の設定で加温を行うものである。通常麻酔導入から 1 時間までの熱の再分布はおおよそ 46kcal である。上記の加温を 30 分行った場合、Medium (≈40°C) の温度設定であっても 51±9kcal と、末梢組織の熱容量は加温によって再分布時の熱容量より上回ることが報告されている。

加温時間の検討に関して Horn ら¹³⁾は、10 分から 20 分の短い時間の Pre-warming でも、低体温やシバリングをほぼ予防できると報告している。彼らは、温風式加温装置と上肢を含む上半身を覆うタイプの温風加温専用ブランケット (Level 1 Equator®, Upper-Body Blanket, Smith Medical, St. Paul, Minnesota, USA) を用い High (44°C) の設定で加温した。ただしこの研究では Pre-warming 前に前投薬投与や加温輸液の投与などが行われ、Pre-warming 効果が増強している可能性があることから、単純に加温時間を短縮することは難しいと考える。

また Sessler らや Horn らの加温方法¹⁴⁾¹⁵⁾は、我が国の多くの施設で臨床導入しづらい

問題点を持つ。米国などの手術室と違い、本邦の多くの施設では麻酔導入を行う部屋（麻酔前室）と手術室は独立していないため、加温を行う場所や手術室運用効率の点、患者が加温の間仰臥位を維持していなければならない不快感などが難点である。Sessler らが用いた温風式加温装置と全身を覆うタイプのブランケットは、基本的に手術中加温用のデバイスであり、麻酔前患者に適さない可能性もある。

近年 Arizant 社から、術前加温用ブランケット Bair Hugger® Model-110 (Arizant Healthcare, Eden Prairie, Minnesota, USA): (以下 Model-110) や、最近では特別な術前加温用の装置 (Bair Paw® Arizant Healthcare, Eden Prairie, Minnesota, USA : (以下 Bair Paw)が発売され、術前加温専用の加温装置が使用できるようになった。これにより、患者はより安全に温められかつ加温中の体位や行動、場所等の制限を最小限にすることが可能となると考えられる。Andzejowski ら¹⁶⁾は Bair Paw を用い麻酔導入前 60 分の加温により、麻酔導入後の中枢温度の低下が減少したこと、また術中に 36°C以上を維持する割合が高かったことを報告している。本邦の多くの施設に当てはめ、この加温方法を検討する際、入院患者の場合は手術室入室前の病棟で加温を行えばよいが、手術後に入院する患者の場合は、加温時間と効果によって来院時間の設定などの工夫が必要となってくる。Andzejowski らの実験はコントロール群 (Pre-warming なし) と加温群 (Pre-warming あり) をランダムに割り付け、加温群は一律 60 分の加温となっているため、60 分間の中枢-末梢温度の温度変化は不明である。もし 60 分より前に中枢-末梢温度の温度格差変化が横ばいになるのであれば、つまり加温することによる末梢血管拡張により温度勾配の均衡が 60 分よりも前に起きるのであれば、従来提唱されていた Pre-warming 時間をより短くすることができる。

患者にとって、より短い時間でより快適でかつ麻酔導入による熱の再分布を予防する Pre-warming 方法の検討を行うにあたり、温風式加温装置の加温が、末梢温度と中枢温度が加温時間に伴ってどの程度上昇し、中枢温度と末梢温度の温度勾配がどの程度変化するか明らかにする必要があると考える。

II 研究の目的

本研究の目的は、温風式加温装置による加温時間と中枢・末梢温度の温度変化の関係性を明らかにし、周術期低体温を予防するケアを検討することである。

III 研究の意義

麻酔導入前で術前専用の温風式加温装置による加温時間と体温変化の関係性が明らかになることにより、麻酔導入による急速な熱の再分布予防の為の、より効率的な加温方法の示唆が得られ、麻酔からの早期覚醒や SSI 防止などの医学的な利点に加え、手術に伴う麻酔を受ける患者が、術後円滑に回復していくための看護ケアの向上につながると考えられる。

第 2 章 文献検討

I .Pre-warming の有用性

Pre-warming の有用性は 1995 年に Sessler らによって報告¹⁷⁾されて以来、Pre-warming に関する文献のレビューも見られるようになった¹⁷⁾¹⁸⁾。後に Pre-warming 用のデバイスも発売されたが、未だ Pre-warming は浸透していない。Pre-warming が普及しないことに、低体温の合併症は直ぐに明確な変化として見えることが少なく、周術期チームの関心が高まらない原因の 1 つかもしれない。

Sessler らは温風式加温装置を用いて麻酔導入前に 2 時間加温し、発汗、温度的な安楽、四肢の熱容量を評価した。結果、30 分の加温で末梢組織の熱容量が、麻酔導入におけるおおよその熱の再分布量より増加することを報告している¹⁹⁾。この実験では、温風式加温装置のブランケットに全身を覆うタイプを用いたことから、このデバイスでの 30 分の加温は理論上再分布性低体温を予防できることが考えられる。Melling らは、421 人の手術患者に対し、加温群と非加温群をランダムに振り分け、加温群は少なくとも手術 30 分前から加温し、その後の感染や出血について報告している²⁰⁾。加温群は温風式加温装置と全身を覆うブランケットを用いて術前加温を行い、非加温群は積極的加温を行わなかった。結果、加温群に比べ非加温群は有意に感染が多く、($p=0.001$) また術後の抗生剤を多く使用し、($p=0.002$) Pre-warming は抗生剤効果が高いとしている。また Horn らは、麻酔導入前に加温しない群、麻酔導入前に 10 分加温した群、20 分加温した群、30 分加温した群間で、麻酔導入前からの鼓膜温度を継続的に測定した所、加温群は非加温群に比べ有意に中枢温度の変化がみられ、加温群は 36°C 未満の低体温の発生が見られなかったことを報告している。36°C をポイントとしている理由として、National Institute for Health and Clinical Excellence: NICE 周術期低体温クイックレファレンスガイド²¹⁾²²⁾によると、36°C 未満は積極的加温の対象となり低体温扱いとなることが考えられる。

Pre-Warming は加温方法やデバイスにより多少の違いはあるが、麻酔導入による熱の再分布を予防し、周術期低体温予防、術後感染予防に効果的である。

II.Pre-warming の加温方法

周術期低体温に対する加温方法について様々な報告がある。患者の体を覆う素材の違いによる保温効果の検討、体を覆う物の枚数の違いによる効果の検討、水循環型加温装置と温風式加温装置による効果の検討、輸液の加温による効果の検討、輸液製材による加温効果の検討などがある。その中で Pre-warming に関する報告から、効果的な加温方法を検討する。

Fossum ら²³⁾は、手術患者 100 名をコントロール群と介入群をランダムに振り分け、コントロール群は 1 枚の綿毛布、介入群は温風式加温装置を用いた実験を報告している。介入群に対する加温は、BairHugger Model-505 (Arizant Healthcare, Eden Prairie, Minnesota, USA) の加温装置で medium ($\approx 38^{\circ}\text{C}$) で加温し、ブランケットは Model-110 を使い、その上に 1 枚の綿シーツを乗せている。結果、介入群はコントロール群に比べ有意 ($p=0.000$) に高い体温を維持した。綿毛布を用いたコントロール群の体温は平均 0.22°C 減少した。Kim らは、40 人の心臓手術患者を術前加温群とコントロール群に分け、術前加温群は温風式加温装置を用いて麻酔前から加温し、コントロール群は温水マットレスと綿毛布で体温変化を比較している²⁴⁾。術前加温群は、Model-200 を使い、Medium ($\approx 38^{\circ}\text{C}$) で平均 49.7 分加温した。結果、術前加温群の中枢温度はコントロール群に比べ 35°C 未満になるものが有意 ($p=0.02$) に少なかった。

これら 2 文献から、綿毛布は保温と加温に効果的ではなく、温水マットレスも温風式加温装置に比べると効果的でない。現在、再分布性低体温予防のための Pre-warming の検証をしている研究の中では、温風式加温装置による加温が最も有用である。今後、温風以外にも、患者がより安楽で、手術室運用効率の面からも良い加温方法について検討が必要である。

第3章 方法

I. 研究デザイン

本研究は、温風式加温装置の加温時間と、人の末梢-中枢温度の温度変化との関係性を調査し明らかにする準実験研究で、対照群のない1群における前後比較研究である。

II. 研究対象

1. 条件

女性は、体温変化に影響を及ぼす可能性、温度感覚や体温の変動があることが予測される。また呼吸器系、循環器系、内分泌・代謝系、神経系の健康障害を有する者は温度変化に影響を及ぼすことが予測される。このことから上記の者を対象から除外する。対象者間の年齢に関して、大きな差があると加温による反応に差が生じることが予測される。これらのことを考慮し、健康であり、コミュニケーションが良好で、BMIが18.5から25未満の25-35歳の男性ボランティアで、実験の方法や目的を理解した上で研究の協力を同意が得られる者6名を対象とした。

2. リクルート方法

被験者の選定には便宜的標本抽出法を用いた。交通の便と研究者からのパワーが加わらないよう考慮し、大学近郊に住む研究者の知人や友人を通じて研究協力者を募集した。研究者は協力依頼する知人や友人に対し、研究協力者を募る際は、職場の部下や後輩などは強制力が働いてしまうので留意することを伝えた。研究者は、研究説明書(資料i)を知人や友人を通して渡し、研究協力の依頼を行った。その際、研究協力は自由意思であり、協力しないことで不利益を被ることはないことを強調し、また実験には飲食の制限があること、実験時の服装や時間も含めて説明し、その上で研究協力の意思がある場合、研究協力者が研究説明書に記載されている研究者連絡先にその旨を伝える方法をとった。研究協力者からの連絡後、研究者が研究協力の依頼と説明を再度口頭と文書(資料i)で行い、同意の得られたものと同意書(資料ii)を交わし、対象とした。

III.実験の条件

1.環境条件

実験場所は本大学内の実験室で行う。測定する環境条件を、室温 25℃、湿度 40%となるよう調整した。また実験時間帯は 18:00-19:30 とした。

2.被験者

被験者は当日には、激しい運動、カフェインやアルコールの摂取、喫煙を避け、実験前 6 時間の絶食、実験前 2 時間の飲水制限を設けた。American Society of Anesthesiologists: ASA の術前絶飲食ガイドライン²⁵⁾では、全身麻酔を予定されている患者では、水分は 2 時間以上、固形物やミルクは 6 時間以上、フライや脂肪分の多い食べ物や肉類は 8 時間以上中止するとし、多くの施設で採用されている方法である。このことから、被験者をより術前患者の状態に近づけるため上記の制限を設けることにした。上記ガイドラインの食事内容での絶飲食時間の違いは胃内容消失時間によるものであり、本実験の絶飲食目的とは異なるので、本実験では実験前 6 時間の絶食および 2 時間の飲水制限とした。被験者の着衣は、下着 1 枚と研究者の用意するガウンと加温ブランケットに付属されている靴下とした。

IV.実験方法

1.測定手順

本研究における測定手順は表 1 の通りである。加温中の行動については、測定室に在室し飲食をせず安静にしていること以外は、特に制限せず被験者に任せた。

表 1 測定手順

進行	手順	具体的行動
実験開始前	環境条件設定	・測定室の温度、湿度の設定と測定
	体温測定器具の設置	・体温測定器具の AC 電源オン、キャリブレーションと設定
	加温装置の設置	・加温装置の電源オンと動作確認
	椅子の設置	
実験開始	実験の流れの説明	・被験者に実験の流れを説明し、同意書の確認を行う
	健康状態の確認	・健康状態不良の場合、絶飲食時間が不適切な場合は実験を中止する
	被験者着替え	・ガウンを渡し着用方法を説明後着替えてもらう
	身長・体重測定	
	体温測定開始	・プローベを前額部、手掌部に装着し体温が反映された時間を測定開始時間とする。
	加温開始	・加温設定温度は 38℃とし、60 分加温する。
	機器類動作確認	・20 分毎に加温機器、体温測定機器が正常に機能しているか確認する。
実験終了	加温終了	
	体温測定終了	
	被験者の体調確認 着替え	

2.測定項目および測定方法

身長及び体重は実験開始前に測定した。中枢温度及び末梢温度は、熱流補償型プローブ体温計コアテンプ® CM-210 (テルモ株式会社, 東京) を用い、中枢温度は前額部深部温を、末梢温度は手掌部深部温を連続的に測定した。

3.加温方法および加温装置

全ての対象者が加温中はリクライニングベッドで安静にし、60 分間の加温を受けた。対象者全員同じサイズのガウンと靴下を着用した。加温機器は、Pre-warming 用の温風式加温装置 Bair Hugger®ウォーミングユニットモデル 750 と Bair Hugger®術前用ブランケットモデル 110 (スリーエムヘルスケア株式会社, 東京) を用いた。加温温度の設定は全対象者 38°Cとした。術前加温用デバイスを用いた Andrzejowski ら²⁶⁾は、60 分間 Medium (≈38°C) の加温で、麻酔導入後の体温低下が有意に減少したと報告している。他にも加温温度を高くし、60 分より短い加温により効果を示す報告もある²⁷⁾が、Pre-warming は覚醒している状態で行うものであり、加温温度を High (≈43°C) で行うことによって、不快感などの加温による不快感を招く可能性がある。また Medium (≈38°C) の加温による中枢温度と末梢温度の変化に関する報告は見られないため、例え実験中、加温に伴い末梢温度と中枢温度の変化が明らかでなくとも、対象者の体調や都合に問題がなければ加温は 60 分間中止しない。

4.分析方法

中枢温度と末梢温度の測定値については 1 分毎の値を使用した。中枢温度と末梢温度の変化を時系列グラフとして出力し、その後 5 項移動平均も行い変動を読み取った。温度情報は加温開始時間の体温を基準とし (0°C) 温度変化を±で表記した。時間は、加温開始時間を基準とし (0min) ±で表記した。また Exponential Smoothing 法を用い、中枢温度-末梢温度較差の予測値を求めた。統計的分析には SPSS Statistics ver.19、Microsoft Excel 2010 を用いた。体表面積は Dubois 式を用い計算した。

V.研究における倫理的配慮

被験者には事前に研究の趣旨を文書と口頭にて研究者自身が説明し、研究協力の承諾を得たのち下記の条項に基づいて取り扱う。本研究は、2012 年度第 7 回聖路加看護大学研究倫理審査委員会の予備審査、通常審査の承認(承認番号 12-054)を得て実施した。

1.研究の対象となる個人の人権の擁護

1)研究の説明と同意

研究の説明は、内容が理解できるように具体性を持つ様配慮し、研究参加は自由であること、理由の如何に関わらず拒否する権利及び途中で中止する権利があることを伝える。また研究協力の中止に関して、研究協力断り書(資料iii)と専用の封筒を被験者に手渡し、研究協力断り書への記載と送付の説明を行う。

2)実験中止の申し出

被験者が実験中止を申し出る負担感を考慮し、研究者本人は実験中、測定室には在室しないこと、実験中止の申し出は研究アシスタントに直接連絡し意思表示できるよう配慮する。

3)被験者の着替えや服装の配慮

被験者の着替えは、実験室内に用意するパーテーションを用いた更衣所で行う。更衣所を実験室内に設置することにより、加温用ガウンで実験室外を移動する被験者の羞恥心に配慮する。また被験者に着替える前に加温用ガウンの着用方法について説明し、不必要な露出がないよう配慮する。

4)個人情報の保護

データ処理の際に、個人情報が漏れる可能性は完全に否定できないと考えられるため、実験データは研究専用の USB メモリに記録保存し不用意に持ち歩かないよう取り扱いには十分留意した。学会、論文等外部に発表する際は個人が特定されないよう、固有名詞や「当大学」などの表現を避け、研究対象のプライバシー、匿名性の保護に配慮する。研究のために収集または作成したデータ、資料で匿名化したものについては、研究結果を再現できるよう、研究終了後 3 年が経過した日までの間保管する。

研究アシスタントは、研究者の実験のみに関与し、下記について取り決め研究者の実験補助を行う。研究アシスタントは、研究者の研究内容、実験内容を理解し、アシスタント業務に理解を得られたもの1名とした。研究者は、研究アシスタント協力者に研究内容、実験内容を本文の IV.実験方法 表1 測定手順、及びV.研究における倫理的配慮 3.研究協力によって生じる危険・不利益、またそれに対する配慮 を用いて具体的に説明し、実験内容の手順、緊急時の行動手順の理解を確認した。また研究アシスタントは、知り得た対象者情報を口外しないことを、研究者と誓約書を交わし、個人情報保護に努めた。

2.医療機器、測定機器の安全性

1)加温装置の安全性

今回用いる Bair Hugger®は、加温装置がホースを通じて加温用ガウンタイプブランケットにつながり、加温装置が温風を作りブランケットの小孔から温風が出て人の体表に対流し熱が伝道される仕組みを持つ。人体に接する物は対流する加温空気であることから低温熱傷の危険性は少ない。また温度センサーが加温機本体ではなくホースの先端にあることから、より厳密な温度制御が行えるものである。臨床使用可能な商品であり、健康な者に適正使用する上で危険性はないと考える。同様の温風式加温装置で適正にメンテナンス、使用し事故が起きた報告例はない。健康な者を対象とする今回の実験においては、この機器の安全性は保証されている。研究者はこの加温装置の操作に熟知し、適切に使用する。

2)体温測定機器の安全性

コアテンプ®CM-210 は、熱流補償方法に基づくものであり、測定は皮膚にプローブを装着することで可能であり、体への侵襲が少ない。ただし、プローブは金属であることから、被験者に金属アレルギーの有無の確認を行うことが必要である。

3.研究協力によって生じる危険・不利益、またそれに対する配慮

本研究は個人に直接的な介入を伴い、実験中・後に発汗、温度的な不快感などを生じる可能性がある。また実験中・後に被験者が立位になる際、極度の末梢血管拡張によるふらつきや眩暈、転倒の危険性は否定できない。

実験中・後に被験者が気分不快、ふらつき、眩暈を生じた場合は、直ちに加温および実験を中止する。この場合、被験者の体調を確認し、適宜水分摂取や安静臥床が行えるようにする。このような事態に備えて水分は実験前から用意し、上記症状の有無に関わらず実験終了後全被験者が摂取した。

実験中・後に被験者が転倒した場合、直ちに加温実験を中止し、被験者の外傷、その他理学所見を確認する。異常がある場合は、直ちに研究者もしくは研究アシスタントが研究責任者とともに病院を受診し、被験者は診察を受ける。保障は補償保険（レクリエーション保険）に加入し、当該保険にて対応する。

4.利益相反について

本研究では、医療機器に関して TERUMO 社からコアテンプ®CM-210 の貸与、3M 社か Bair Hugger®モデル 750 ウォーミングユニットの貸与及び Bair Hugger®術前用ブランケットモデル 110 の提供がある。しかし両社への本研究に関する内容提供は一切なく、利益相反が生じる恐れはないと考える。

第4章 結果

I. 対象特性と環境

対象特性、実験環境は表2の通りとなった。年齢、身長、体重、BMI、BSAは対象間において大きな差は見られなかった。環境条件として湿度の違いが多少あるが、室温に大きな差は見られなかった。

表2 対象特性と環境条件

対象(n=6)	平均±SD
年齢(歳)	28.0±3.1
身長(cm)	176.0±3.6
体重(kg)	69.8±5.6
BMI(kg/m ²)	22.4±1.4
BSA(m ²)	1.9±0.1
室温(°C)	22.8±1.2
湿度(%)	35.7±6.5

II. 実験開始前の中枢-末梢温度較差

実験開始前から、中枢温度より末梢温度の方が高いものがあったためこれを外れ値として扱いn=5とした。加温開始前の体温は表3の通りとなった。実験開始前の中枢温度と末梢温度差は平均1.2°Cであった。末梢温度に、対象者間で大きな差が見られた。

表3 実験開始前の中枢-末梢温度較差

n=5	平均 ±SD	平均値の標準誤差	有意確率
中枢温度(°C)	36.6±0.3	0.1	
末梢深部温度(°C)	35.4±1.2	0.6	
末梢-中枢温度差(°C)	1.2±1.5	0.5	p=0.04

Ⅲ. 加温後体温変化

対象者の加温後の体温変化は、図 1-6 の通りとなった。

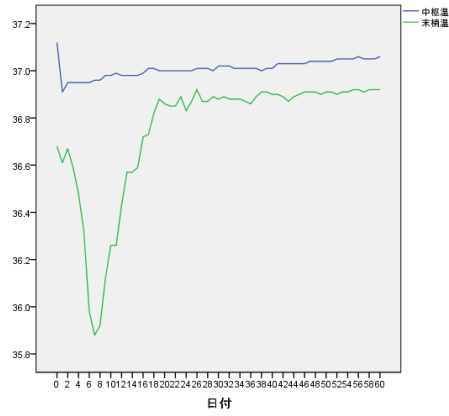


図 1 対象者①

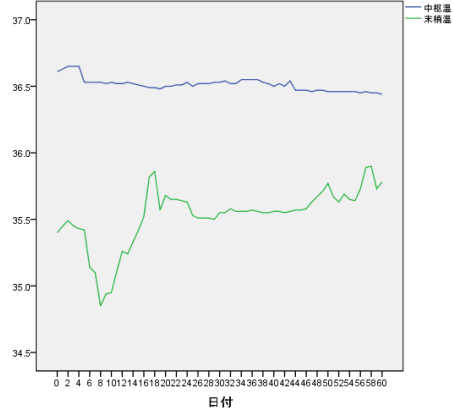


図 2 対象者②

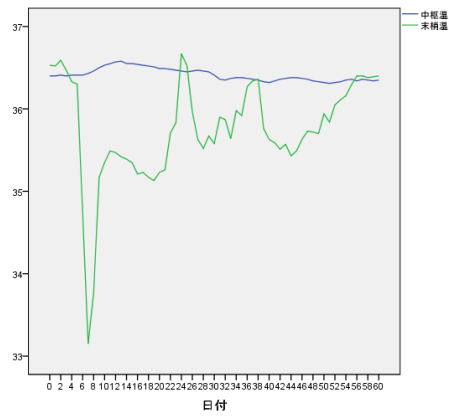


図 3 対象者③

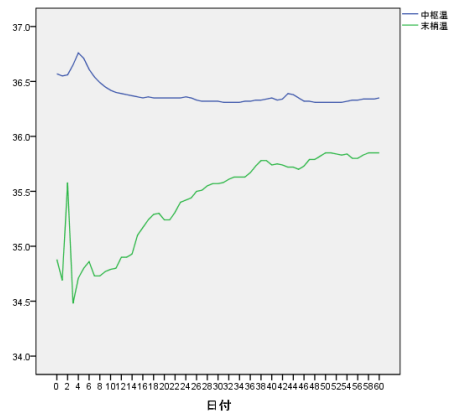


図 4 対象者④

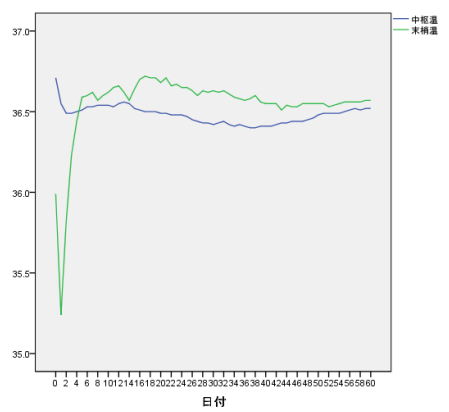


図 5 対象者⑤

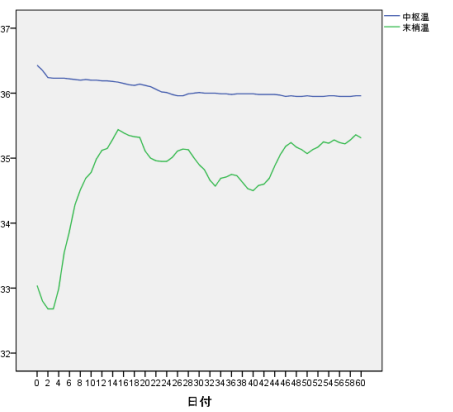


図 6 対象者⑥

IV. 加温後の中枢温度と末梢温度の変化（平均値）

対象 5 名の加温開始前の中枢温度は $36.6\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 、末梢温度は $35.4\pm 1.2^{\circ}\text{C}$ であった。中枢温度は加温開始後から加温終了にかけて緩やかに低下した。一方末梢温度は、加温開始 5 分後程から大きく低下し、直ちに上昇した。加温開始 20 分後程で大きな上昇は見られなかった。60 分の加温後は、中枢温度は $36.4\pm 0.4^{\circ}\text{C}$ 、末梢温度は $36.1\pm 0.6^{\circ}\text{C}$ であった。

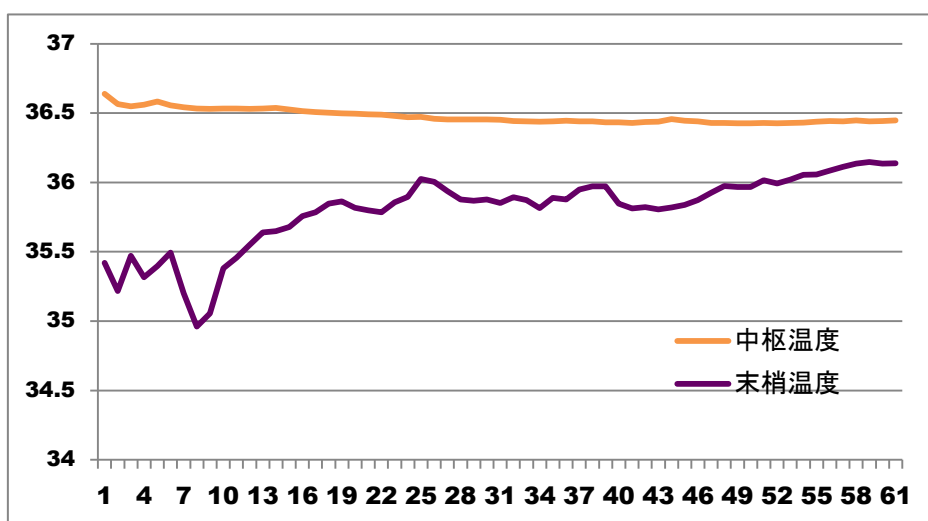


図 7 体温の変化 (n=5 平均値)

V. 加温後の中枢-末梢温度較差の変化

中枢-末梢温度較差の平均値の変化、5項移動平均は図8の通りとなった。中枢-末梢温度較差の平均値は、加温開始時は1.2℃であったが60分後0.3℃まで減少した。中枢-末梢温度較差の平均値は、加温開始後5-10分程で急激に上昇するが、加温開始後20分程まで大きく低下し、その後は緩やかに低下した。

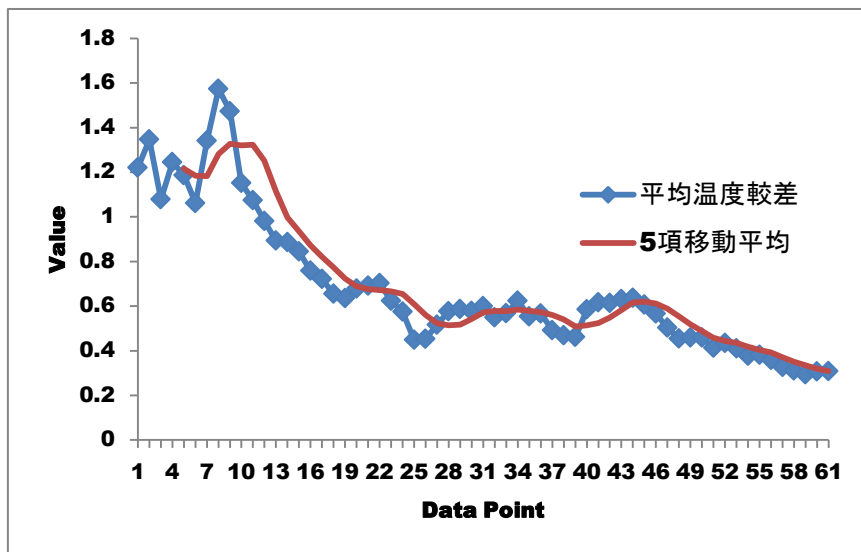


図8 平均中枢-末梢温度較差の時系列変化 (n=5)

VI. 加温後の中枢-末梢温度較差変化の予測

対象者 5 名の中枢温度、末梢温度の平均値に対して、減衰率 0.7 とし、指数平滑化を行ったところ、図 9、10 の通りとなった。61 分後、中枢温度は 36.4、末梢温度は 36.1 となり、その後大きく変化しないことが予測された。

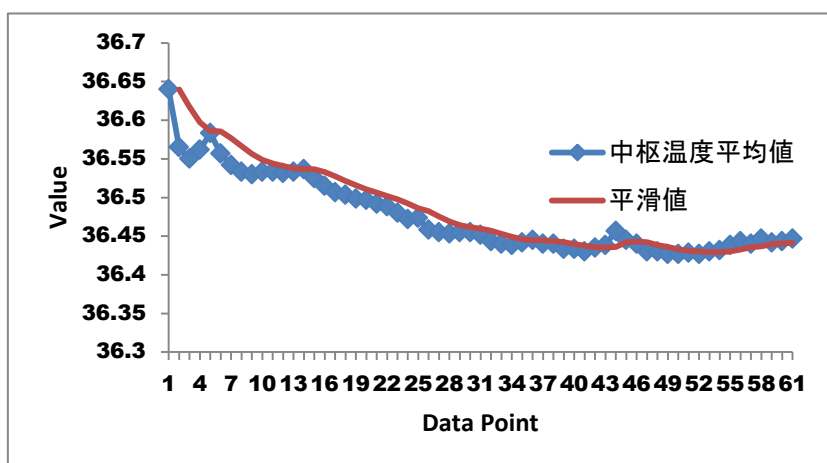


図 9 中枢温度 指数平滑化法 (n=5)

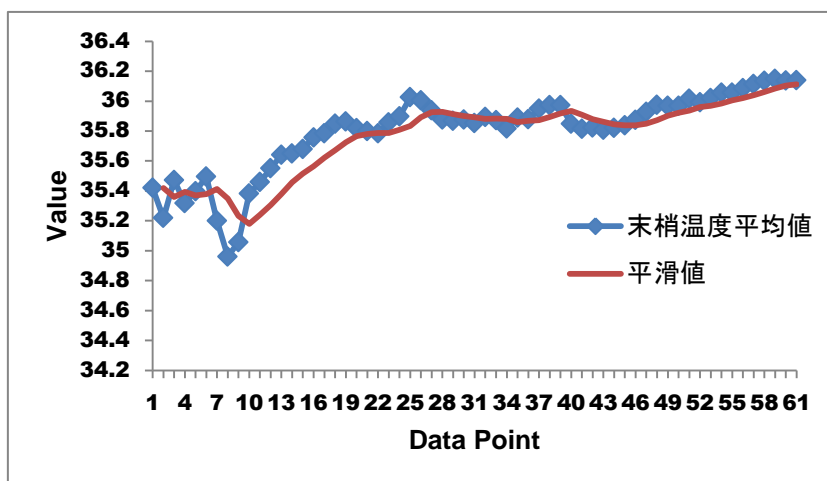


図 10 末梢温度 指数平滑化法 (n=5)

第5章 考察

本研究は、術前加温専用の温風加温ブランケットを用いて加温を行った際の末梢温度と中枢温度を経時的に観察したものである。温風式加温装置は周術期低体温に効果的であるという多くの報告があるが^{28)~32)}、本研究では温風式加温装置の加温によって、中枢温度と末梢温度の温度勾配の経時変化を調査したことによって得られた、Pre-warming の効果について検討した。本研究の条件下で術前加温専用の温風ブランケットを用いて加温を行った場合、15-20 分程の加温で末梢血管拡張状態となることが示唆され、麻酔導入に伴う熱の再分布予防に効果的であると考えられた。

対象者、実験環境による影響として、本研究では主に対流による熱の移動を考慮した。熱は、放射、蒸発、対流、伝導により喪失し、周術期は主に放射と対流が熱喪失の大部分に関与すると言われている³³⁾³⁴⁾。放射による熱の喪失には、Stefan-Boltzmann の法則から、本研究の場合放射面積が大きく関与する。本研究対象者の BSA は、 $1.9 \pm 0.1\text{m}^2$ と大きな差は見られず、対象者間において放射による熱喪失の差はほぼないと考えられる。対流による熱の喪失は、接触面の温度差が大きく影響するため、本研究では主に対流による熱の移動を考慮する必要があると考えた。

本研究では、実験開始前から中枢-末梢温度較差に対象者間で大きな差が見られたが、臨床の間でも体温には個体差のある中、今後 Pre-warming を検討するのに適した条件であると考えた。Rubinstein らによると末梢温度と末梢血流量は比例すると報告されており³⁵⁾、本研究の対象者間に、末梢血管収縮の差があったことが考えられる。人は、情緒的緊張により交感神経が優位となり α 作用にて末梢血管収縮が起きる。本研究では、対象者間でパングランドが違い、温風式加温装置に対する馴染みの差がみられた。この為情緒的緊張の影響に対象者間で差が生じ、末梢血管収縮に大きな差が見られたことが考えられる。しかしこのことは、臨床の間でも同様に患者其々、絶飲食時間や緊張状態の違いがあり、中枢-末梢温度較差の個人差は大きいのではないかと考えられる。このことから本研究は、より臨床の状況に則した検討を行うにあたり適した結果であると考えた。

本研究では、加温開始 5 分程度で末梢温度が大きく低下し、その原因として温風による一時的な熱喪失の可能性と精神的緊張による末梢血管収縮が起きた可能性が考えられた。

本研究の環境温度は 25℃と被験者の皮膚温度より低く、皮膚からの熱喪失は容易に起きやすい環境と言える。しかし皮膚からの熱喪失は、素材や枚数に大差なく皮膚を覆うことにより抑えることができると報告されており³⁶⁾、本研究の加温開始直後における末梢温度の低下が単に環境温度と皮膚温度の差によるものではなく、実験前の被験者の皮膚、ガウン、ブランケットの間にある空気の層が、加温による風によって一時的に熱喪失した可能性が考えられる。また、対象者全員、温風式加温装置で加温されることが初めてであり、加温開始時に加温用ブランケットが急に膨らみ、加温される事の精神的緊張で末梢血管収縮が起きた可能性も考えられる。このことから、患者の覚醒時に温風式加温装置を使用する際に、患者に対する配慮や説明が重要であること、また加温空気は十分に加温されていることを確認した後、ブランケットに装着することの重要性が示唆される。ただ、加温開始直後における末梢温度の低下は一時的なものであり、その後急速に上昇する結果となることから、全体として加温効果に大きな影響を及ぼさないと考えられる。

本研究では、加温開始後 15・20 分程で中枢-末梢温度較差は大きな変化を示さなくなり、中枢温度は加温中緩やかに低下を続けた。これは、加温によって末梢血管拡張が起きたための、熱の移動が原因であると考えた。また従来提唱されている方法より短い加温時間で末梢血管拡張状態となることが示唆され、麻酔導入に伴う熱の再分布予防に効果的であると考えた。熱の再分布が起きると、麻酔導入前には冷たかった患者の末梢は温かくなる。このことは、中枢-末梢温度較差が減少し、中枢温度が低下したことを示す。本研究の 15-20 分程で起きた中枢-末梢温度較差の不変化と、中枢温度の緩やかな低下は、加温による末梢血管拡張に伴い、わずかではあるが中枢と末梢の熱の移動が起きたためと考えられる。麻酔導入による熱の再分布を予防するためには、麻酔前に末梢血管が拡張することで末梢温度と中枢温度の較差を最小限にし、中枢温度の急激な低下を防ぐ必要がある。その為どの程度の加温によって末梢血管が拡張状態になるのか検討することが重要であると考えられる。Kamijo らは、皮膚の温度が 35.2℃付近から 0.2-0.4℃程度上昇すると皮膚交感神経活動が増加し皮膚血流が増加すると報告している³⁷⁾。また、末梢血流について Taylor らは、皮膚温度と血流は正比例すると報告している³⁸⁾。本研究の平均末梢温度は、加温開始前 35.4±1.2℃、加温開始後 15 分には平均 0.2℃上昇した。本研究の条件の場合 15 分程度の加温で末梢血管が拡張し始めた可能性が考えられる。また、末梢温度は術前加温開始直後に変動はあるものの上昇し続けたことから、このまま加温し続ければ末梢血流は加温時間

とともにさらに増加したことが予測される。一般に、末梢温度は血流量が多いほど加温効果も高く³⁹⁾、末梢血管拡張させ、血流量を増加させることは加温効率面からみても重要である。しかし、麻酔導入前の覚醒時に加温を行う場合における長い加温時間は、過剰な発汗や不快感をもたらすことから、血流の増加をより追求することよりも血管拡張し始めることに重点を置く方が本研究の結果では重要であると考えられる。末梢血流量が最大でなくとも拡張状態であれば、第1段階の急激な中枢温度の低下を緩やかにすることが考えられ、低体温予防に効果的であると言える。加温での皮膚血管拡張のメカニズムを Kellogg らは、皮膚加温に伴う皮膚血流の増加は2相性の反応を示し、最初の相は、感覚の求心性神経からの逆行性神経伝達物質の放出によって起き、次は一酸化炭素の発生によるものと報告している⁴⁰⁾。本研究で平均末梢温度は加温に伴い、明確ではないが2相性を示しているようにも捉えられるが、加温による血管拡張のメカニズムは不明な点も多く、今後の検討課題である。従来、熱の再分布予防のために、1-2時間の加温が有効であることが報告⁴¹⁾されていたが、Witteの実験報告⁴²⁾では、カーボンファイバー (Geratherm®, Medical AG, Geschwenda, Germany) と術前用ブランケットを用いた温風式加温装置 (Model-110) による30分のPre-warmingが、何も加温しない場合に起こる麻酔導入後の急激な体温低下を緩和させたことを報告している。彼らの調査では前投薬を使用しているため、相乗効果の可能性はあるが、上記の方法で血管拡張状態が成立していると考えられる。さらにHornら⁴³⁾は、温風式加温装置 (Level 1 Equator®, Upper-Body Blanket, Smith Medical, St. Paul Minnesota, USA) を用いたHigh (44°C) の設定による10分から20分の短い時間のPre-warmingでも、低体温やシバリングをほぼ予防できると報告している。ただしこの研究でもPre-warming前に前投薬投与や加温輸液の投与などが行われており、Pre-warming効果が増強されている可能性があるが、上記の方法で血管拡張状態が成立していることが予測される。本研究は研究者の臨床により近いPre-warmingを検討する為に、前投薬や加温輸液を用いない条件とした。Toyota らは、midazolam の前投薬群とコントロール群について指の血流や体温について比較したところ、前投薬群はコントロール群に比べ有意に血流が増加し、中枢温度の減少が少なかったことを報告し⁴⁴⁾、前投薬は血管拡張を起こすことで周術期体温に大きく影響することが考えられる。今後は、短時間作用性前投薬に関しても検討が必要であると考えられる。輸液の加温に関しても体温に影響することが報告されているが⁴⁵⁾、術前から行うことへの不利益も考慮した検討が今後必要

である。しかし、前投薬や加温輸液を行わなくとも、温風式加温装置による 15・20 分程の加温で末梢血管拡張状態となることが本研究実験により示唆され、麻酔導入に伴う急激な体温低下を緩やかにし熱の再分布に効果的であると考えられる。熱の再分布には定義がないため今後の検討の余地はあるが、予防効果が十分にあると考えられる。

本研究の限界として、対象の選択を非手術予定の健康な若年男性に限定したことがあげられる。これは、対象ボランティアの確保、そして加温効果の一様性の確保上からの配慮であった。まず本研究の対象者は手術を前提としていないことから、情緒面での影響が少なかったことは考えられる。次ぎに実際の臨床では高齢の手術患者は多く、また加齢によって能動性血管拡張能力の低下もみられることから⁴⁶⁾、実際の臨床に適応するためには、より高齢者を含めた広範囲の年齢層の手術予定患者を対象とした検討が今後の課題である。

第6章 結論

本研究の条件では、温風式加温装置による15-20分程の加温で末梢血管拡張状態が得られることが示唆され、麻酔導入に伴う急速な熱の再分布予防に効果的である。

引用文献

- 1) Seamon, M. J., Wobb, J., Gaughan, J. P. et al. (2012). The effect of intraoperative hypothermia on surgical site infection. *Annals of surgery*, 1-7.
- 2) Kurz, A., Sessler, D. I., Lenhardt, R. et al. (1996). Perioperative normothermia to reduce the incidence of surgical wound infection and shorten hospitalization. *New England Journal of Medicine*, 334, 1209-1215.
- 3) Harald, S., Kurz, A., Sessler, D. I. et al. (1996). Mild hypothermia increases blood loss and transfusion requirements during total hip arthroplasty. *The Lancet*, 3, 289-292.
- 4) Stevens, M., Lee, A. F., Michael, J. B. et al. (1997). Perioperative maintenance of normothermia reduces the incidence of morbid cardiac events. *JAMA*, 277(14), 1127-1134.
- 5) Heier, T., Caldwell, J. E., Sessler, D. I. et al. (1991). Intraoperative hypothermia increases duration of action and spontaneous recovery of vecuronium blockade during nitrous oxide-isoflurane anesthesia in humans. *Anesthesiology*, 74(5), 815-819.
- 6) Sessler, D. I. (2000). Perioperative heat balance. *Anesthesiology*, 92(2), 578-596.
- 7) Matsukawa, T., Sessler, D. I., Sessler, A. M. et al. (1995). Heat flow and distribution during induction of general anesthesia. *Anesthesiology*, 82, 662-673.
- 8) 前掲論文 7)
- 9) 前掲論文 6)
- 10) 同上論文
- 11) Sessler, D. I., Schroeder, M., Merrifield, B. et al. (1995). Optimal duration and Temperature of prewarming. *Anesthesiology*, 82(3), 674-681.
- 12) 同上論文
- 13) Horn, E. P., Bein, B., Bohm, R. et al. (2012). The effect of short time periods of pre-operative warming in the prevention of peri-operative hypothermia. *Anaesthesia*, 67(6), 612-617.

- 14) 前掲論文 8)
- 15) 前掲論文 13)
- 16) Andzejowski, J., Hoyle, J., Eapen, G. et al. (2008). Effect of prewarming on post-induction core temperature and the incidence of inadvertent perioperative hypothermia in patients undergoing general anaesthesia. *British Journal of Anaesthesia*, 101 (5), 627-631.
- 17) Kiekkas, P., & Karga, M. (2005). Use of prewarming. *British Journal of Perioperative Nursing*, 15(10), 444-451.
- 18) Poveda, V. B., Clark, A. M. & Galvao, M. C. (2012). A systematic review on the effectiveness of prewarming to prevent perioperative hypothermia. *Journal of Clinical Nursing*.
- 19) 前掲論文11)
- 20) Melling ,A. C., Ali, B., Scott, E. M. & Leaper, D. J. (2001). Effects of preoperative warming on the incidence of wound infection after clean surgery a randomised controlled trial. *Lancet*, 358 (15), 876-880.
- 21) National Institute for Health and Clinical Excellence. <http://www.nice.org.uk/> [2012-07-19]
- 22) Harper, C. M., Andrzejowski, J. C. & Alexander, R.(2008). Editorial II NICE and warm. *British Journal of anaesthesia*, 101(3), 293-295.
- 23) Susan, F., Judy, H. & Mary, M. H. (2001). A Comparison Study on the Effect of Prewarming Patients in the Outpatient Surgery Setting. *Journal of Perianesthesia Nursing*, 16(3), 187-194.
- 24) Kim, J. Y., Shinn, H., Oh, Y. J. et al. (2006). The effect of skin surface warming during anesthesia preparation on preventing redistribution hypothermia in the early operative period of off-pump coronary artery bypass surgery. *European Journal of Cardio-thoracic Surgery*, 29, 343-347.
- 25) American Society of Anesthesiologists. <http://www.asahq.org/>[2012-09-11]
- 26) 前掲論文 16)
- 27) 前掲論文 11)

- 28) Egan, C., Bernstein, E., Reddy, D. et al. (2011). A Randomized Comparison of Intraoperative Perfect Temp and Forced-Air Warming During Open Abdominal Surgery. *Anesthesia and Analgesia*, 113(5), 1076-1081.
- 29) Horn, E. P., Schroeder, F., Gottschalk, A. et al. (2002). Active Warming During Cesarean Delivery. *Anesthesia and analgesia*, 94, 409-414.
- 30) Witte, J. L., Demeyer, C. & Vandemaele, E. (2010). Resistive-Heating or Forced-Air Warming for the Prevention of Redistribution Hypothermia. *Anesthesia and analgesia*, 110(3), 829-833.
- 31) Dasari, K. B., Albrecht, M., Harper, M., et al. (2012). Effect of forced-air warming on the performance of operating theatre laminar flow ventilation. *Anaesthesia*, 67, 244-249.
- 32) Rathinama, S., Annamb, V. & Steyn, R. (2008). A randomized controlled trial comparing Mediwrap heat retention and forced air warming for maintaining normothermia in thoracic surgery. *Interactive Cardio Vascular and Thoracic Surgery*, 9, 15–19.
- 33) Sessler, D. I. (2005). Temperature monitoring. In RD Miller (Eds) *Miller's anesthesia Vol 1 7th* . pp. 1537. NewYork: Churchill Livingstone.
- 34) Hardy, J. D., Milhorat, A. T., DuBois, E. F. et al. (1941). metabolism and heat loss of young women at temperatures from 22 degrees C to 35 degrees C. *Journal of Nutrition*, 21, 383-403.
- 35) Rubinstein, E. H. & Sessler, D. I. (1990). Skin-surface Temperature Gradients Correlate with Fingertip Blood Flow in Humans. *Anesthesiology*, 73(3), 541-545.
- 36) Sessler, D. I., McGuire, J. & Sessler, A. M. (1991). Perioperative Thermal Insulation. *Anesthesiology*, 74, 875-879.
- 37) Kamijo, Y., Lee, K. & Mack, G. W. (2005). Active cutaneous vasodilation in resting humans during mild heat stress. *Journal of Applied Physiology*, 98(3), 829-837.
- 38) Taylor, W. F., Johnson, J. M., O'Leary, D. & Park, M. K. (1984). Effect of high local temperature on reflex cutaneous vasodilation. *Journal of Applied Physiology*, 57, 191-196

- 39) Plattner, O., Ikeda, T., Sessler, D. I. et al. (1997). Postanesthetic Vasoconstriction Slows Peripheral-to-Core Transfer of Cutaneous Heat Thereby Isolating the Core Thermal Compartment. *Anesthesia and Analgesia*, 85(3), 899-906.
- 40) Kellogg, D.L. Jr. (2006). In vivo mechanisms of cutaneous vasodilation and vasoconstriction in humans during thermoregulatory challenges. *Journal of Applied Physiology*, 100, 1709–1718.
- 41) 前掲論文 7)
- 42) 前掲論文30)
- 43) 前掲論文 13)
- 44) Toyota, K., Sakura, S., Saito, Y. et al. (2004). The effect of pre-operative administration of midazolam on the development of intra-operative hypothermia. *Anaesthesia*, 59, 116-121.
- 45) Andrzejowski, J.C., Turnbull, D., Nandakumar, A. et al. (2010). A randomised single blinded study of the administration of pre-warmed fluid vs active fluid warming on the incidence of peri-operative hypothermia in short surgical procedures. *Anaesthesia*, 65, 942-945.
- 46) Holowatz, L. A., Thompson, C. S., Minson, C. T. et al. (2005). Mechanisms of acetylcholine-mediated vasodilatation in young and aged human skin. *Journal of Physiology*, 563, 965-973.