

全身麻酔下での磁気共鳴画像検査における

犬の周麻酔期体温管理

(Perianesthesia body temperature management in anesthetized dogs
undergoing magnetic resonance imaging)

清 水 夕 貴

全身麻酔下での磁気共鳴画像検査における

犬の周麻酔期体温管理

(Perianesthesia body temperature management in anesthetized dogs
undergoing magnetic resonance imaging)

清 水 夕 貴

日本獣医生命科学大学大学院獣医生命科学研究科
獣医保健看護学専攻博士後期課程平成 31 年入学

(指導教員：石岡 克己)

令和 5 年 3 月

目次

緒言	1
第1章 第1節	
湯たんぽが全身麻酔下でのMRI検査におけるイヌの体温に及ぼす影響.....	7
序文.....	7
材料および方法.....	11
1. 対象.....	11
2. 標準麻酔手順.....	12
3. 統計解析.....	14
結果.....	16
1. 対象.....	16
2. 直腸温.....	17
3. 鎮静薬および麻酔薬.....	20
4. 安全性.....	20
考察.....	27
第1章 第2節 湯たんぽの表面温度の推移.....	32
序文.....	32
材料および方法.....	34
結果.....	37
考察.....	41
小括	44

第2章	
加温輸液がイソフルラン麻酔下のイヌの直腸温に及ぼす影響.....	46
序文.....	46
材料および方法	50
1. 供試動物.....	50
2. 実験群.....	50
3. 実験手順.....	51
4. 統計処理方法.....	53
結果.....	54
1. 直腸温.....	54
2. 直腸温が37 °Cまで回復するために要した時間.....	55
3. シバリングの持続時間.....	56
考察.....	60
利益相反.....	64
小括.....	65
第3章 環境温の違いが全身麻酔下でのMRI検査後の回復過程における イヌの体温に及ぼす影響.....	66
序文.....	66
材料および方法.....	69
1. 対象.....	69
2. 覚醒スコア.....	71
3. 統計解析.....	71
結果.....	73
1. 対象.....	73
2. 入院室の室温.....	73
3. 入院室の湿度.....	74
4. 直腸温.....	74
5. シバリング.....	74
6. 覚醒スコア.....	75
7. 体表温度.....	75

考察.....	87
小括.....	93
総括.....	94
謝辞	97
引用文献	98

緒言

周麻酔期とはヒト医療において麻酔を軸に捉えた概念であり、麻酔中とその前後に関わる期間を指す(吉田 and 宮坂, 2013a)。周麻酔期における看護師の役割は患者にとって最善の麻酔が施されるよう麻酔業務を補助することであり、これら周麻酔期看護は麻酔の安全と質の向上のために極めて重要であるとされている(吉田 and 宮坂, 2013b, 2012)。一方、獣医療において周麻酔期という概念は未だ一般的でなく、近いものとして手術中および手術前後を指す周術期という概念が古くから浸透している(Bille et al., 2014)。実際、外科手術を目的とした麻酔の場合には、周術期と周麻酔期が指す期間はおよそ一致することになるが、獣医療において実施される麻酔には、磁気共鳴画像検査やエックス線コンピューター断層画像検査、内視鏡検査といった検査を実施するための不動化を目的としたものも多く、必ずしも外科手術を伴わない。つまり、周麻酔期ではあるものの、周術期ではない状況がごく当たり前存在するのが獣医療であると言える。だからこそ、獣医療においては、ヒト医療以上に周麻酔期と周術期を区別して考える必要がある。動物看護師は、外科手術、検査、そして麻酔のそれぞれに関わる多様な業務を担っているが、これらはいずれも同じでなく、それぞれに専門性があることは言うまでもない。そして近年では、獣医師だけでなく、動物看護師にも高い専門性が求められてきている。患者動物と向かい合う期間を自身の業務に適したかたちで捉えること、つまり麻酔を中心として患者動物に関わるのであ

れば、その期間を周麻酔期として捉えることが、より専門性の高い業務の遂行に結びつくと期待される。

本研究では、多岐にわたる動物看護師の役割のうち、麻酔管理に関わるものや麻酔業務の補助にあたるものを広義的な動物看護の概念に含むものとし、動物看護師が周麻酔期に果たすべき役割を周麻酔期動物看護として記述する。

動物看護師が担う周麻酔期動物看護の一つとして麻酔看視が挙げられる。日本獣医麻酔外科学会によって示された「犬および猫の臨床例に安全な全身麻酔を行うためのモニタリング指針」には(日本獣医麻酔外科学会 麻酔・疼痛管理専門委員会, 2021)、全身麻酔を実施する際にモニタリングすべき項目が記されている。その内容は、視覚、聴覚、嗅覚、触覚といった看視者の感覚を駆使した感覚によるモニタリング、各種モニタリング装置を用いた循環、酸素化、換気、体温や筋弛緩のモニタリング、そして麻酔回復期のモニタリングとされており、全身麻酔中の動物の安全確保のために連続的な看視が推奨されている。ヒト医療では日本麻酔科学会によって、小動物獣医療よりもさらに細分化された麻酔業務に関連するガイドラインが制定されており(Japanese Society of Anesthesiologists, 2014; World Health Organization, 2009; 日本麻酔医科学会, 2022, 2019)、安全な麻酔管理に貢献している。このガイドラインの中には、看護的視点に基づく周麻酔期管理についての問題提起、あるいは看護ケアの提案として、低体温に関わる検討や記述がなされている。低体温は薬物代謝の低下、シバリングに伴う酸素消費量の増

大、創傷治癒遅延、循環不全、換気不全、免疫機能の低下、血液凝固異常といった様々な有害事象の原因となる(Bindu et al., 2017; Díaz and Becker, 2010; Sessler, 2001)。さらに、シバリングによる不快感や痛みの増強、サーマルコンフォートの低下といったことから患者の満足度の低下にもつながるため(鈴木, 2013)、低体温を予防するために強制温風式加温装置や電気マットといった様々な体温管理方法が確立されている(Anesthesia Patient Safety Foundation, 2019; Hynson and Sessler, 1992; Rosenberger et al., 2011)。しかし、これだけ周麻酔期の看護、特に体温管理に関する議論がなされているヒト医療においても、未だ確たる結論を得られていないのがMRI検査中の体温管理であり、これは小動物獣医療においても同様である。

MRI検査では、正確な診断に必要な画像を得るために、検査中の患者には長時間にわたる安静、不動が求められる。MRI装置の稼働に伴う騒音と狭い空間への恐怖を感じる患者や小児といった若齢の患者は、MRI検査中の安静が保てないことから麻酔や鎮静を必要する場合があります、これらは合併症として低体温を引き起こす(Cronin et al., 2019; Lo et al., 2014)。MRI検査室は常に強力な磁場が発生しているため、磁性体を含む機器の持ち込みはガントリ内への吸着といった事故や撮像への障害の原因となりうる。従って、MRI検査室への磁性体を含む体温管理装置の持ち込みは不可能であり、MRI検査中に実施することが可能な体温管理方法には限りがある。さらに、MRI検査室は装置本体を維持するために室温が低く保たれており、この低環境温がより体温低下を助長する要因となる。これらの理由からMRI検査は、他の検査や手術とは異

なり、低体温を予防することは特に困難であると認識されている。一方、小動物獣医療におけるMRI検査はヒト医療とは異なり、ほぼ全ての患者動物に対し不動化を目的とした全身麻酔が施されるため、MRI検査中の低体温は、ヒト医療よりもはるかに頻繁に遭遇する合併症であると認識されている (Tremoleda et al., 2018)。

全身麻酔に伴う低体温は一般的な麻酔合併症であり、全身麻酔を施されたイヌとネコの約40%が低体温を呈すると報告されている (Aarnes et al., 2017)。体温調節は行動性体温調節および自律性体温調節に大別され、麻酔下では行動性体温調節が制限されるため、その役割は自律性体温調節に依存される (Osilla et al., 2022)。注射麻酔薬や吸入麻酔薬は、体温調節中枢である視床下部を抑制し、セットポイントを破綻させることで体熱産生を抑制する (Pottie et al., 2007; Redondo et al., 2012; Sessler, 2000)。さらに、末梢血管の拡張を惹起することで中枢から末梢への熱の再分布を引き起こし、核心温が低下した結果、著しい体温低下が生じる。

また、麻酔中は熱放射、熱伝導、熱対流、および熱蒸発の4つのプロセスによる物理的な熱損失によって体温低下が助長される (Muir et al., 2013)。低体温は薬物代謝の低下による覚醒遅延、シバリングによる酸素消費量の増大、循環不全、換気不全、免疫機能の低下、血液凝固異常といった様々な有害事象を起こす (Beilin et al., 1998)。これらの有害事象を予防するためにも、積極的な介入により体温低下の抑制、および、低下した体温の復温に努めることは、周麻酔期動物看護として極めて重要であると考えられる。

小動物臨床における体温管理には、周麻酔期に限らず、温風式加温装置や温水循環式マット、輸液加温装置、タオルやブランケットといった覆布、湯たんぽなどが用いられておりそれぞれに利点と欠点がある (Cabell et al., 1997; Clark-Price et al., 2013; Kibanda and Gurney, 2012; Potter et al., 2015; Tan et al., 2004)。

温風式加温装置は温水循環式保温マットと比較し、麻酔中の熱損失の抑制に対し、より効果的であるとClarkらによって報告されている (Clark-Price et al., 2013)。しかし、温風式加温装置には低温熱傷のリスクがあると指摘されており (清水 et al., 2018)、使用する際には十分な配慮が必要とされる。

輸液加温装置は体温管理方法の一例として成書にも記されており、臨床現場においてよく用いられる方法でありながらも、その効果に関連する報告は極めて限定的であり (Grimm, 2015; Hilary and Welsh, 2011)、その有用性については未だ議論がなされている (Kanda et al., 2011)。

タオルやブランケットといった覆布は、動物の体にかけることで体表から周囲への熱対流と熱放射を抑制し熱損失を低下させる (武田, 2007)。覆布をかけることは、最も簡便な方法ではあるが、動物の動きによってその身体を覆うことができなければ望むような体温管理はできない。

湯たんぽの使用は、小動物臨床においてよく知られている古典的な体温管理方法のひとつである (Cabell et al., 1997; Haskins, 1981)。近年、様々な体温管理装置が普及しているにもかかわらず、その簡便性から多くの診療施設において使用されているが、覆布と同様に動物の状態によっては望むよ

うな体温管理の実施が困難となる場合や、温度によっては低温熱傷を引き起こす可能性もある。

このように、体温管理を行う際は、それぞれの方法が有する特徴を十分に理解した上で、患者動物の様子や使用状況に応じて最も適した方法を選択する必要がある。

小動物獣医療においては、上述したような様々な体温管理方法が存在するにも関わらず、MRI検査中の体温管理に関わる検討や報告は未だ乏しく、小動物臨床の現場にて行われている体温管理は経験にのみ基づいて行なわれているのが現状である。しかしながら、周麻酔期看護を実践する動物看護師には、患者動物にとってより安全かつ安楽な周麻酔期環境を提供するために、科学的根拠に基づいた介入を実施することが望まれる。本研究では、この問題の解決に貢献すべく、全身麻酔下でのMRI検査におけるイヌの体温管理方法について、周麻酔期動物看護の観点から検討することを目的とした。

第1章 第1節

湯たんぽが全身麻酔下でのMRI検査におけるイヌの体温に及ぼす影響

序文

小動物臨床における磁気共鳴画像検査（以下、MRI検査）は、高品質な画像の取得および適切な診断のために、不動化を目的とした全身麻酔が必要とされるが、それに伴う合併症の一つとして低体温が挙げられる (Bednarski et al., 2011; Tremoleda et al., 2018)。多くの吸入麻酔薬および注射麻酔薬は、末梢血管拡張の惹起および体温調節中枢である視床下部を抑制によって、生理学的な体温低下を引き起こす (Bednarski et al., 2011; Muir et al., 2013)。さらに、麻酔中は熱放射、熱伝導、熱対流、および熱蒸発による物理的な熱損失によって、体温低下が助長される (Wang et al., 2016)。低体温は、薬物代謝の低下、諸臓器の機能障害、免疫系の異常、シバリングに伴う酸素消費量の増大および覚醒遅延といった様々な有害事象を引き起こす可能性がある (Bednarski et al., 2011; Muir et al., 2013)。これらの理由から、麻酔管理を行う際には積極的な対策を講じ、低体温を予防する必要がある。

MRI検査における体温管理には、他の検査麻酔や手術麻酔で実施されている方法とは異なる点がある。まず、昨今の臨床現場における体温管理方法には、湯たんぽの使用といった古典的な方法に加え、温風式加温装置や電氣的加温装置、循環式温水マット、輸液加温装置といった方法があり (Brady and

Poppell, 2020; Tan et al., 2004)、これらは、処置室や手術室といった様々な場所で使用することが可能であるため、麻酔中の体温管理を目的として積極的に用いられている。しかしながら、これらの加温装置のほとんどは磁性体を含む構造となっている。MRI検査室では、MRI装置の特性上、事故のリスクや撮像への影響といった理由から磁性体を含む装置を検査室内に持ち込むことを厳禁としており、これらを用いた体温管理は不可能である。よって、MRI検査中の体温管理方法は大きく制限され、低体温を予防することは容易でない。さらに、MRI検査室はMRI装置そのものの維持および安全な稼働のために室温が低く保たれている(Ruth et al., 2020)。低環境温は冷却された空気が体表面を取り囲むことで、熱対流や熱放射による熱損失が生じた結果、体温低下を助長する(Bindu et al., 2017; Muir et al., 2013; Wang et al., 2016)。したがって、MRI検査室の環境はより低体温を引き起こしやすい環境と言える。しかしながら、ヒト医療とは異なり小動物獣医療においてMRI検査中の低体温に関わる報告は乏しい。筆者自身においても、MRI検査における体温管理を経験に基づいた方法によって実施してはいるが、低体温の予防に苦慮しているのが現状である。

以上の点を踏まえ、小動物臨床における全身麻酔下でのMRI検査中の体温管理は非常に困難な問題であると言える。しかし、日々の臨床現場においてMRI検査における体温管理が大きな課題であるにもかかわらず、前述したとおりMRI検査中の低体温や体温管理方法に関わる報告は乏しく、未だ有用とされる体温管理方法は確立されていない。小動物獣医療では、小野沢らが全身麻酔

下でのイヌおよびネコにおけるMRI検査中の体温管理について、低体温を防ぐための断熱装置の効果を報告しているのみである(Onozawa et al., 2021)。

一方、ヒト医療の小児科においても小動物獣医療と同様にMRI検査中の低体温は深刻な問題と見なされている。小児患者はMRI装置の稼働に伴う激しい騒音や狭い空間に対する恐怖に耐えうることが難しく、長時間の安静状態の維持が困難であることから、不動状態を維持するために鎮静または全身麻酔が施される。過去の報告では、全身麻酔下でのMRI検査を実施した小児患者の大多数が低体温を呈したとの報告がされている(Cronin et al., 2019; Lo et al., 2014)。しかしながら、低体温症を予防する方法そのものについては検討されておらず、体温管理方法は確立されていない。ヒト医療においても未だ大きな課題を残していると言える。

その中で、現在の小動物臨床では筆者の知る限りMRI検査中の体温管理方法として、湯たんぽやブランケット、バブルシートといった断熱材などが用いられている。しかしながら、このような体温管理方法は各診療施設や動物看護師自身の経験にのみ基づく方法であり、科学的根拠に乏しい。

樹脂製のボトルやゴム手袋に温水を入れた湯たんぽの使用は、磁性体を含まず、小動物臨床において実施されているMRI検査中の体温管理方法の中で、MRI検査室に安全に持ち込むことが可能な唯一の方法である。湯たんぽは、今では手術室における全身麻酔中の体温管理方法としてはあまり適用されなくなった古典的な方法であるが、温風式加温装置やその他の加温装置が普及するまでは、麻酔中の低体温を緩和するだけでなく、麻酔回復期における復温を促進するためにも湯たんぽが利用されていた(Cabell et al., 1997; Has

kins, 1981)。小野沢らの報告においても、MRI検査中の体温管理の方法として湯たんぽの使用が選択されていた(Onozawa et al., 2021)。ただし、この研究では、湯たんぽそのものではなく、湯たんぽを覆う断熱剤について検討がなされており、バブルシートや羽毛布団が断熱効果を有すると報告されていた。しかしながら、湯たんぽそのものが体温に及ぼす影響や、湯たんぽの低体温の予防や緩和における役割については未だ一切の報告がなされていない。

そこで、本研究では湯たんぽの使用が全身麻酔下でのイヌのMRI検査中の体温に及ぼす影響について回顧的に調査することを目的とした。

材料および方法

1. 対象

本研究は回顧的研究として実施された。調査対象は、2018年11月から2021年5月まで、岡山理科大学獣医学教育病院（以下、OUS-VMTH）にて、全身麻酔下でMRI検査を実施したイヌの麻酔記録とした。本研究では、OUS-VMTHでの獣医療行為に関わる説明において、診療内容および個人情報を除くデータの教育および研究への利用に関するインフォームド・コンセントが得られた症例の記録のみを対象とした。

本研究を実施するにあたり、対象とする症例の組み込み条件は以下のよう
に設定した。(1) 症例の麻酔前の直腸温 (Pre-RT) が37 °C以上40 °C未満で
あること、(2) American Society of Anesthesiologists Physical Status
(ASA-PS) がclass 1から3であること、(3) MRI検査は全身麻酔下で実施され
ており、その検査時間が60分以上であること、(4) MRI検査中に湯たんぽおよ
び紙布団、または、紙布団のみを用いて体温管理が実施されていたこと、(5)
湯たんぽは500 mLの水道水を入れた輸液バッグを、電子レンジを用いて600w
で90秒加熱したものであり、湯たんぽ1個に対し1枚のフェイスタオルに包ま
れていたこと、(6) 湯たんぽはイヌの腹部の両側に1個ずつ計2個設置されて
いたこと、(6) 紙布団はシュレッダーで細断された紙をビニール袋に詰めさ
れたものであったこと、(7) 紙布団はイヌの頸部から尾まで覆われるように

設置されていたこととした。加えて、体温の維持および調節に影響しうる疾患を有すると診断されていたことを除外条件とした。

組み込み条件に該当した症例の麻酔記録から品種、ASA-PS、性別、年齢、体重 (BW)、ボディコンディション・スコア (BCS)、各測定ポイントでの直腸温 (RT)、投与された鎮静薬または麻酔薬の種類および投与量をそれぞれ抽出した。得られた結果から、体温管理に湯たんぽと紙布団が用いられていたグループをHWB (Hot Water Bottle)群、紙布団のみを用いて体温管理されていたグループをSPC (Shredded Paper Comforter) 群とした。さらに、麻酔導入前のRT (Pre-RT) が38.5 °C未満および38.5 °C以上のグループをそれぞれHWB-L群、SPC-L群、HWB-H群およびSPC-H群、体重が5 kg未満および5 kg以上のグループを、それぞれHWB<5群、SPC<5群、HWB \geq 5群およびSPC \geq 5群とした。

2. 標準麻酔手順

OUS-VMTHでは全ての症例において麻酔前の全身状態を評価するために、一般身体検査、全血球計算、血液化学検査、胸部レントゲン検査および心臓超音波検査を実施し、これら全ての麻酔前検査の結果をもとに、麻酔処置が可能であると診断された症例のみ全身麻酔下でのMRI検査が実施されていた。なお、全ての症例はMRI検査の約12時間前から絶食、約3時間前から絶水とされていた。

OUS-VMTHにおけるMRI検査は1.5T超伝導装置 (Vantage Elan、Canon Medical Systems、大田原、日本) によって実施され、MRI検査室の室温は 23.0 ± 1 °Cに維持されていた。

各イヌの左右いずれかの橈側皮静脈に18-24G カテーテル (ジェルコI.VカテーテルII、スミスメディカル・ジャパン株式会社、東京、日本) が留置されていた。イヌの状態によって投与が必要と診断された場合には、ブトルファノール (ブトルファノール 5 mg、Meiji Seika ファルマ株式会社、東京、日本) またはミダゾラム (ドルミカム®注 10 mg、丸石株式会社、大阪、日本) が麻酔前に投与されていた。麻酔導入では、プロポフォール (1 % 20 mL 静脈内プロポフォール注射剤「ファイザー」、丸石株式会社、大阪、日本) またはアルファキサロン (アルファキサン、Meiji Seika ファルマ株式会社、東京、日本) を喉頭反射あるいは自発呼吸が消失するまで投与され、続いて気管内挿管が行われていた。また、麻酔前投与開始直後から麻酔導入の間は、100 %酸素を用いてFlow by投与方法による酸素化を実施した。麻酔器 (Dräger Fabius MRI、Drägerwerk AG & Co. KGaA、Lübeck、Germany) を用いて酸素 - セボフルラン (SEVOFRANE、丸石株式会社、大阪、日本) 吸入麻酔によって全身麻酔が維持されていた。麻酔維持中には、動物用生体情報モニター (MAGLIFE Serenity、SCHILLER AG、Baar、Switzerland) を用いて麻酔看視が行われており、看視項目は心電図、心拍数 (HR; bpm/min) 、脈拍数 (PR; bpm/min) 、非観血的動脈血圧 (BP, SAP、MAP、および DAP; mmHg) 、呼吸数 (RR; beat/min) 、経皮的動脈血酸素飽和度 (SpO₂; %) 、呼気終末二酸

化炭素分圧 (EtCO₂; mmHg) 、最高気道内圧 (PIP; cmH₂O) 、流量 (flow; ml/min) 、一回換気量 (TV; ml) 、分時換気量 (MV; L) 、呼気終末セボフルラン濃度 (EtSEV; %) であった。気管内挿管直後からMRI検査終了まで連続的な看視が行われ、5分毎に各看視項目が記録されていた。なお、吸入麻酔薬の投与終了時から抜管までの間は、測定が可能な看視項目のみ記録されていた。直腸温 (RT; °C) は、動物用電子直腸温度計 (Thermo flex for Anima 1、アステック、茨城、日本) を用いて測定を行った。RT の測定ポイントは麻酔前 (Pre)、気管内挿管直後 (T0) 、15分後 (T15) 、30分後 (T30) 、60分後 (T60) であった。

MRI検査終了後、自発呼吸の開始または喉頭反射の回復後に抜管され、呼吸状態の安定を確認したのちにイヌは入院室ケージ内に移動されていた。

3. 統計解析

対象データから抽出した調査項目のうち、性別、年齢、BW、BCS、ASA-PS、RT について統計解析を行った。全ての統計解析は、統計分析ソフトウェア (GraphPad Prism 9.4.0、GraphPad Software、Inc.、San Diego、CA、USA) を用いて行った。HWB群およびSPC群間、あるいは、サブグループ間での性別における頭数の比較は、Fisher' s exact testを用いて行った。HWB群とSPC群における各測定ポイントでのRT、年齢、BW、BCS、およびASA-PSの2群間の比較は、Mann-Whitney testを用いて行った。各測定ポイントでのRT、年齢、BW、BCS、およびASA-PSのサブグループ間での比較は、Kruskal-Wallis test

とDunn' s multiple comparisons testを用いて行った。各測定ポイントでのRTと各グループまたはサブグループ内におけるPre-RTの比較は、Friedman testおよびDunn' s multiple comparisons testを用いて行った。有意水準は $p < 0.05$ とした。

結果

1. 対象

本研究の対象となった症例は100症例であった。性別は雄57頭、雌は43頭、年齢は115 (3 - 201) か月齢 [median (range)]、BWは5.6 (0.7 - 40) kg、BCSは5 (2 - 8) / 9、ASA-PSはclass 2 (1 - 3) であった (表1-1)。犬種は、雑種犬 (16頭)、ミニチュア・ダックスフンド (16頭)、チワワ (14頭)、トイプードル (13頭)、フレンチブルドッグ (7頭)、ビーグル犬 (4頭)、シー・ズー (3頭)、ウェルシュ・コーギー・ペンブローク (3頭)、パグ (3頭)、ミニチュア・シュナウザー (3頭)、ゴールデン・レトリバー (2頭)、柴犬 (2頭)、ボストン・テリア (2頭)、ポメラニアン (2頭)、ヨークシャー・テリア (2頭)、ティーカッププードル (1頭)、イングリッシュ・コッカー・スパニエル (1頭)、カニンヘン・ダックスフンド (1頭)、ジャック・ラッセル・テリア (1頭)、チャイニーズ・クレストッド・ドッグ (1頭)、パピヨン (1頭)、ボーダー・コリー (1頭)、ミニチュア・ピンシャー (1頭) であった。

前述した基準に従って、有効データ100症例をHWB群およびSPC群の2つのグループ、さらに、HWB-L群、SPC-L群、HWB-H群およびSPC-H群、HWB<5群、SPC<5群、HWB \geq 5群およびSPC \geq 5群のサブグループにそれぞれ分けた (表1-1)。その結果、HWB群 (50症例)、SPC群 (50症例)、HWB-L群 (33症例)、SPC-L群 (21症例)、HWB-H群 (17症例)、SPC-H群 (29症例)、HWB<5群 (26症例)、SPC<5群

(18症例)、HWB \geq 5群 (24症例)、およびSPC \geq 5群 (32症例)となった。HWB群とSPC群における性別、年齢、BCS、およびASA-PSを2群間で比較すると、それぞれの項目において有意な差は認められなかった。しかし、BWの比較では、HWB群は 5.7 ± 3.7 kg (mean \pm SD)、SPC群は 8.1 ± 6.5 kg であり、2群間で有意な差が認められた ($p = 0.03$)。

HWB-L群、HWB-H群、SPC-L群およびSPC-H群における、性別、年齢、BW、BCSおよびASA-PSの各群間での比較は、全ての項目において有意な差は認められなかった。同様に、HWB $<$ 5群、HWB \geq 5群、SPC $<$ 5群およびSPC \geq 5群のサブグループ間の比較では、BWにおいてのみ、HWB $<$ 5群とHWB \geq 5群 (HWB $<$ 5群, 3.2 ± 1.2 kg; HWB \geq 5群, 8.5 ± 3.4 kg)、HWB $<$ 5群とSPC \geq 5群 (SPC \geq 5群, 10.6 ± 7.0 kg)、SPC $<$ 5群とHWB \geq 5群 (SPC $<$ 5群, 3.5 ± 1.0 kg)およびSPC $<$ 5群とSPC \geq 5群のサブグループ間にそれぞれ、有意な差が認められた。

2. 直腸温

HWB群とSPC群、HWB-L群とSPC-L群、HWB-H群とSPC-H群、HWB $<$ 5, \geq 5群およびSPC $<$ 5, \geq 5群のPre-RTに有意な差は認められなかった (表1-1)。ただし、HWB-L群とHWB-H群 (HWB-L群, 38.0 ± 0.2 °C; HWB-H群, 38.8 ± 0.3 °C)、SPC-L群とSPC-H群 (SPC-L群, 38.0 ± 0.2 °C; SPC-H群, 38.7 ± 0.2 °C)、HWB-L群とSPC-H群、HWB-H群とSPC-L群におけるPre-RTはそれぞれ有意な差が認められた。

HWB群およびSPC群における各測定ポイントでのRTは、Pre-RT (HWB群, 38.3 ± 0.4 °C; SPC群, 38.4 ± 0.4 °C) と比較し、T15以降で有意に低下した (HWB群, 37.9 ± 0.5 °C, 37.2 ± 0.6 °C, 37.0 ± 0.8 °C; SPC群, 37.7 ± 0.6 °C, 37.2 ± 0.6 °C, 37.1 ± 0.7 (図1-1)。HWB群およびSPC群におけるT15、T30およびT60でのRTを2群間で比較すると、それぞれの測定ポイントにおいて有意な差は認められなかった。

一方、HWB群におけるT15-RTとPre-RTの差分 (Δ T15-Pre) は、SPC群と比較して有意に低値を示した (HWB群, -0.4 ± 0.3 °C; SPC群, -0.6 ± 0.5 °C) (図1-2)。

Pre-RTと比較し、HWB-L群、SPC-L群およびSPC-H群の各測定ポイントにおけるRTは、T15以降で有意に低下した (HWB-L群, 37.5 ± 0.3 °C, 37.0 ± 0.6 °C, 36.8 ± 0.8 °C; SPC-L群, 37.4 ± 0.5 °C, 36.9 ± 0.5 °C, 36.8 ± 0.5 °C; SPC-H群, 37.9 ± 0.6 °C, 37.4 ± 0.6 °C, 37.3 ± 0.7 °C) (図1-3a)。同様にHWB-H群におけるRTを比較すると、T15におけるRTは有意な低下を示さず (38.3 ± 0.4 °C)、T30以降で有意なRTの低下が認められた (37.6 ± 0.5 °C, 37.4 ± 0.6 °C) (図1-3b)。

T15におけるHWB-L群とSPC-L群、HWB-H群とSPC-H群のRTを各群間比較すると、HWB-L群およびHWB-H群のRTがそれぞれ有意に高値を示した。さらに、HWB-H群はHWB-L群より、SPC-H群はSPC-L群より、HWB-H群はSPC-L群より、それぞれのRTは有意に高値を示した。

T30におけるRTは、HWB-L群よりHWB-H群が、SPC-L群よりSPC-H群が、SPC-L群よりHWB-H群が、HWB-L群よりSPC-H群が、それぞれ有意に高値を示した。

T60におけるRTおよび各測定ポイントでのRTとPre-RTの差分は、いずれの群間においても有意な差を認めなかった。

HWB<5群、HWB \geq 5群、SPC<5群およびSPC \geq 5群におけるPre-RT（HWB<5群, 38.3 ± 0.4 °C; HWB \geq 5群, 38.3 ± 0.4 °C; SPC<5群, 38.4 ± 0.3 °C; SPC \geq 5群, 38.5 ± 0.4 °C）と比較し、各測定ポイントでのRTは、全ての群においてT15以降で有意に低下した（HWB<5群, 37.8 ± 0.5 °C, 37.2 ± 0.7 °C, 37.0 ± 0.7 °C; HWB \geq 5群, 37.8 ± 0.6 °C, 37.2 ± 0.6 °C, 36.9 ± 0.8 °C; SPC<5群, 37.6 ± 0.6 °C, 37.0 ± 0.6 °C, 36.8 ± 0.7 °C; SPC \geq 5群, 37.7 ± 0.6 °C, 37.4 ± 0.5 °C, 37.2 ± 0.5 °C）（図1-4a, -1b）。

HWB<5群、HWB \geq 5群、SPC<5群およびSPC \geq 5群におけるT15、T30およびT60のRTを各群間で比較すると、全ての測定ポイントにおいて有意な差を認めなかった。また、いずれの群間においてもPre-RTと各測定ポイントでの直腸温の差分には、有意な差は認められなかった。

3. 鎮静薬および麻酔薬

麻酔前投与が行われていた症例は計54頭であった。麻酔前投与が行われた症例の頭数を薬剤別で算出すると、ミダゾラム（7頭）、ブトルファノール（41頭）、ミダゾラムおよびブトルファノール（6頭）であった。薬剤の投与用量はミダゾラム単剤の投与は0.2（0.2 - 1.9）mg/kg [median (range)]、ブトルファノール単剤の投与は0.2（0.1 - 1.4）mg/kg、ミダゾラムとブトルファノールの併用による投与は0.2（0.2-1.7）、0.2（0.2 - 1.4）mg/kg であった（表1-2）。

麻酔導入にアルファキサロンが投与されていたのは73頭、プロポフォールが投与されていたのは27頭であった。薬剤の投与用量はアルファキサロンが2.2（0.4 - 6.1）mg/kg、プロポフォールが4.0（0.9 - 7.3）mg/kgであった。

4. 安全性

全ての症例において、低温熱傷を含む有害事象は1例も観察されなかった。また、湯たんぽおよび紙布団に起因する撮像へのアーチファクトも一切認められなかった。

表1-1 症例の概要

	HWB				SPC			
	HWB-L	HWB-H	HWB < 5	HWB ≥ 5	SPC-L	SPC-H	SPC < 5	SPC ≥ 5
Number of dogs	50				50			
Age (months)	33	17	26	24	21	29	18	32
	104 ± 51				113 ± 44			
Sex (male/female)	105 ± 51	101 ± 52	95 ± 53	116 ± 49	121 ± 40	108 ± 46	113 ± 48	114 ± 42
	31/19				26/24			
BW (kg)	19/14	10/7	14/12	15/9	13/8	13/16	10/8	16/16
	5.7 ± 3.7 ^b				8.1 ± 6.5 ^a			
BCS	5.7 ± 3.8	5.4 ± 3.2	3.2 ± 1.2 ^{ij}	8.5 ± 3.4 ^{g,h}	7.3 ± 3.6	8.7 ± 8.0	3.5 ± 1.0 ^{ij}	10.6 ± 7.0 ^{g,h}
	4 (2-7)				4 (2-8)			
ASA-PS	4 (3-7)	4 (2-7)	4 (2-7)	5 (4-7)	4 (2-6)	5 (3-8)	4 (2-6)	5 (3-8)
	2 (1-3)				2 (1-3)			
Pre-RT (°C)	2 (1-3)	2 (1-3)	2 (1-3)	2 (1-3)	2 (1-3)	2 (1-3)	2 (1-3)	2 (1-3)
	38.3 ± 0.4				38.4 ± 0.4			
	38.0 ± 0.2 ^{ef}	38.8 ± 0.3 ^{cd}	38.3 ± 0.4	38.3 ± 0.4	38.0 ± 0.2 ^{ef}	38.7 ± 0.2 ^{cd}	38.4 ± 0.3	38.5 ± 0.4

イヌの頭数および性別は実数、BCSおよびASA-PSはmedian (range)、月齢 (months)、BW (kg)、Pre-RT (°C)は (mean ± SD) で示されている。上付き文字は、(a) HWB群 および (b) SPC群の2群間、(c) HWB-L群、(d) HWB-H群、(e) SPC-L群 および(f) SPC-H群の4群間、(g) HWB<5群、(h) SPC<5群、(i) HWB ≥ 5群および(j) SPC ≥ 5の4群間のそれぞれの比較において有意差があることを表している。有意水準は $p < 0.05$ とした。

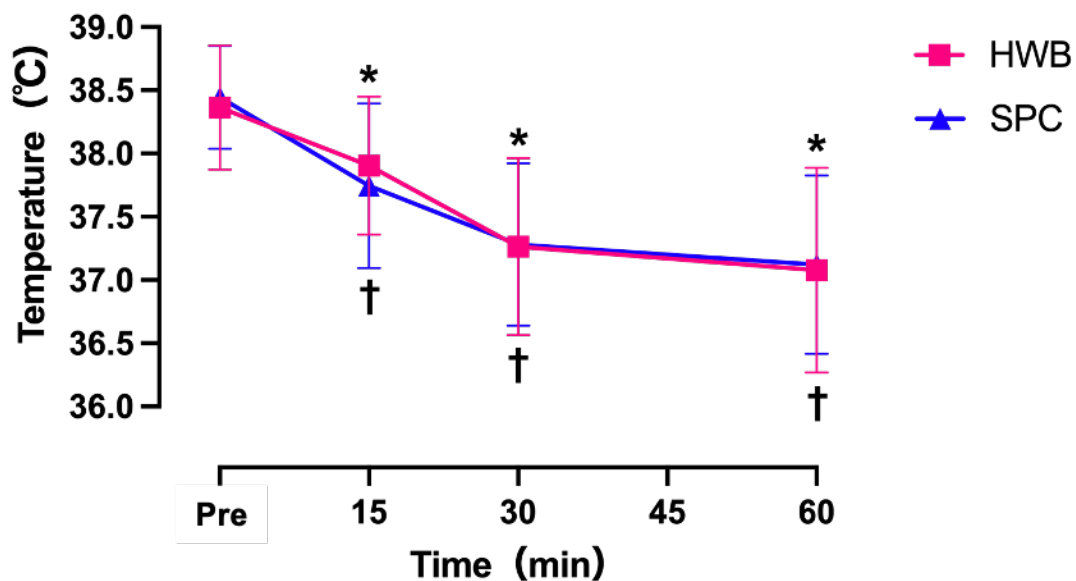


図1-1 HWB群およびSPC群における直腸温の推移

HWB群およびSPC群における直腸温 (mean ± SD) の推移を示している。縦軸は直腸温 (°C)、横軸は麻酔維持の時間 (min) をそれぞれ表している。

* , † はそれぞれHWB群およびSPC群の各群内でのPre-RTとの比較において統計学的に有意であることを示しており、その有意水準は $p < 0.05$ とした。

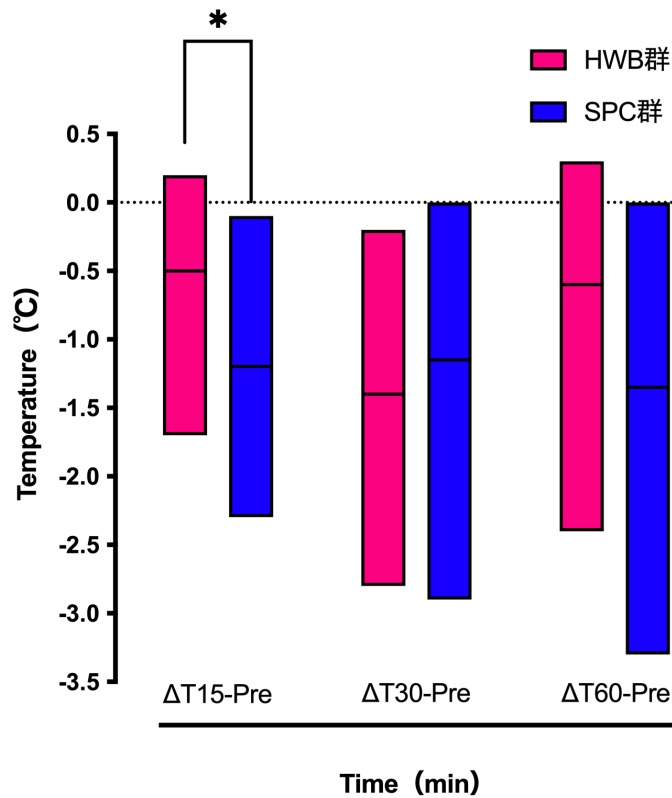


図1-2 HWB群およびSPC群における直腸温の差分

HWB群およびSPC群における、麻酔前と各測定ポイントでの直腸温の差 (mean ± SD) を示している。縦軸は直腸温の差分 (°C)、横軸は麻酔維持の時間 (min) をそれぞれ表している。

* はHWB群およびSPC群の2群間での比較において統計学的に有意であることを示しており、その有意水準は $p < 0.05$ とした。

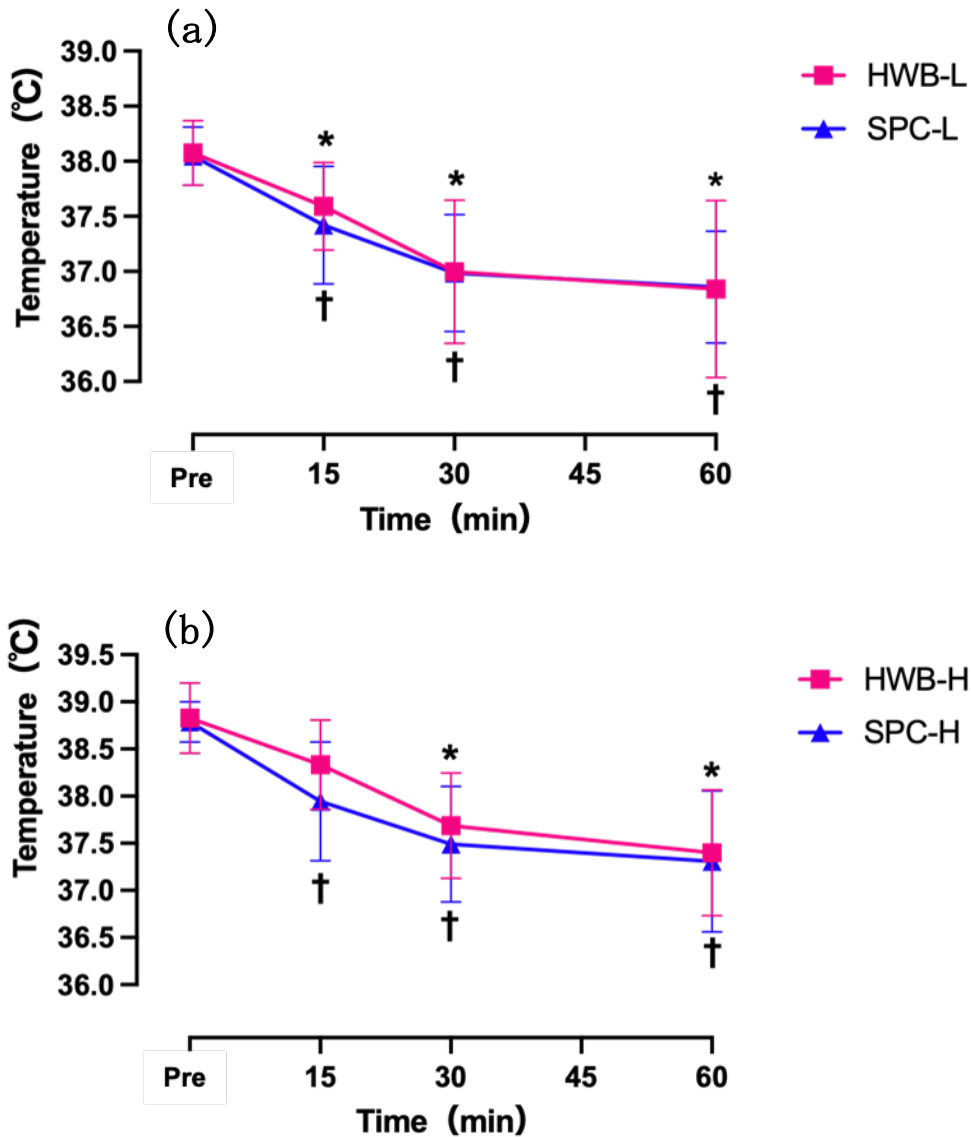


図1-3 (a, b) 麻酔前の直腸温が38.5 °C未満 (-L) および 麻酔前の直腸温が38.5 °C以上 (-H)のサブグループにおける直腸温の推移

HWB/SPC-L群 (a) およびHWB/SPC-H群 (b)における直腸温 (mean ± SD) の推移を示している。縦軸は直腸温 (°C)、横軸は麻酔維持の時間 (min) をそれぞれ表している。

* , †はそれぞれHWB-L, -H群およびSPC-L, -H群の各群内でのPre-RTとの比較において統計学的に有意であることを示しており、その有意水準は $p < 0.05$ とした。

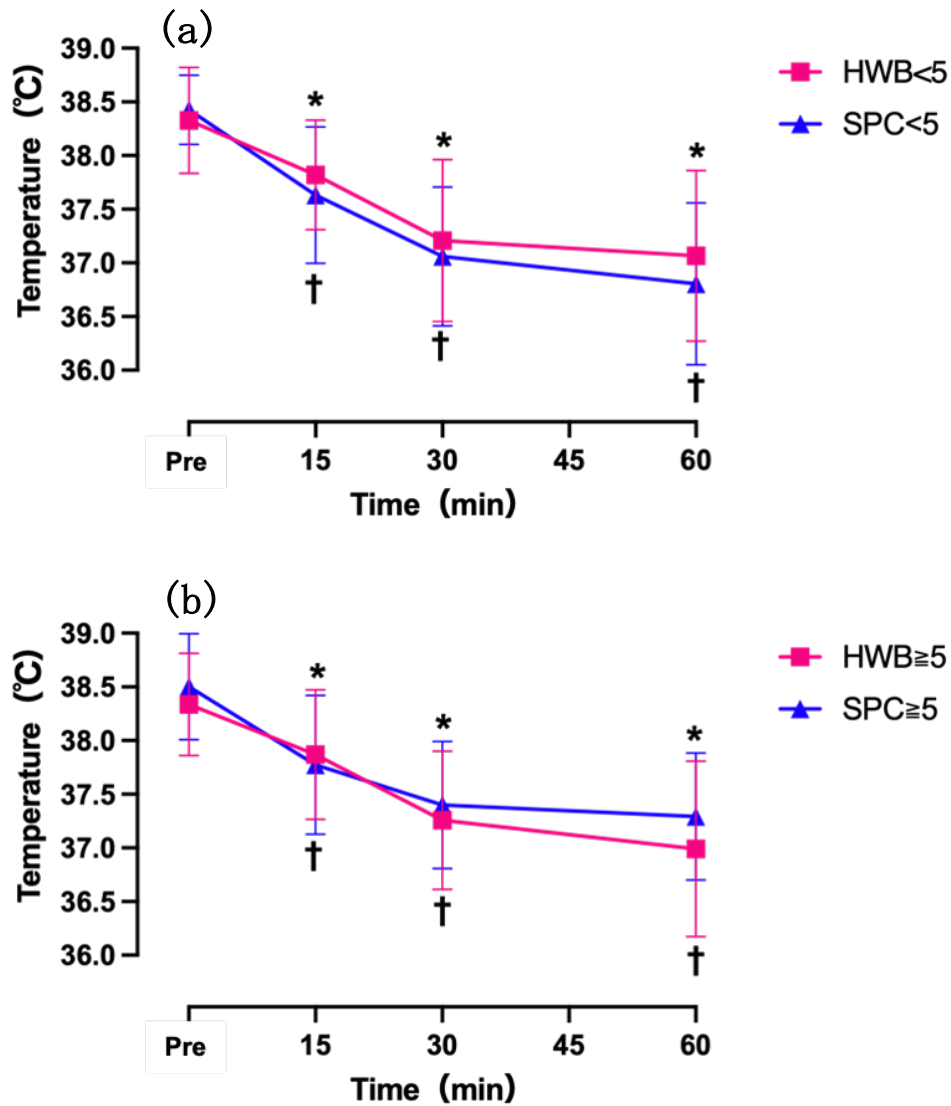


図1-4 (a, b) 体重が5 kg未満 (<5) および体重が5 kg以上 (≥5) のサブグループにおける直腸温の推移

HWB/SPC<5群 (a) およびHWB/SPC≥5群 (b) における直腸温 (mean ± SD) の推移を示している。縦軸は直腸温 (°C)、横軸は麻酔維持の時間 (min) をそれぞれ表している。

* , † はそれぞれHWB<5, ≥5群およびSPC<5, ≥5群の各群内でのPre-RTとの比較において統計学的に有意であることを示しており、その有意水準は $p < 0.05$ とした。

表1-2 麻酔管理のために投与された薬剤

Drugs	Number of Dogs	Dose (mg/kg)
Premedication		
midazolam	7	0.2 (0.2-1.9)
butorphanol	41	0.2 (0.1-1.4)
midazolam + butorphanol	6	0.2 (0.2-1.7) + 0.2 (0.2-1.4)
none	46	-
Induction		
Alfaxalone	73	2.2 (0.4-6.1)
propofol	27	4.0 (0.9-7.3)

イヌの頭数および投与用量はそれぞれ実数および median (range) で示されている。

考察

本研究において、HWB群およびSPC群の直腸温は、麻酔前の直腸温や体重の差にかかわらず、気管内挿管直後から30分以内で有意に低下した。多くの麻酔薬は体温調節機構の抑制し、視床下部におけるセットポイントを破綻させ、体温低下を引き起こす(Matsukawa et al., 1995; Sessler, 2000)。全身麻酔中の体温低下は再分布相 (redistributable phase; 第1相)、リニア相 (linear phase; 第2相)、プラトー相 (plateau phase; 第3相) の3相の推移にわたって生じる(Sessler, 2000)。第1相は麻酔導入から1時間以内、第2相は麻酔導入から1から3時間後、第3相は麻酔導入から3時間以降にそれぞれ相当する。第1相の再分布相では、麻酔薬の投与により末梢血管拡張が惹起され、熱の再分布が生じることで約1-1.5 °Cの急激な深部体温の低下が起こる(Sessler, 2000)。通常、覚醒状態では体温低下に伴う交感神経の活性化により末梢血管収縮が誘発されるが全身麻酔下ではこの反応が減弱するため、体温低下の抑制が困難な状態となる(Muir et al., 2013)。本研究では、麻酔導入のためにアルファキサロンあるいはプロポフォールが投与されていた。アルファキサロンおよびプロポフォールはGABA_A受容体に作用し中枢神経系を抑制する(Davies, 2014; Muir et al., 2008; Şen and Kiliç, 2018)。アルファキサロンおよびプロポフォールは循環抑制作用を有するものの、その作用はアルファキサロンの方が軽度であることが知られている(Şen and Kiliç, 2018)。しかし、アルファキサロンおよびプロポフォールをそれぞれ単剤で静

脈内に投与すると、いずれもが有意な体温低下を引き起こすと田村らによって報告されている(田村, 2014)。さらに、プロポフォールは血管収縮作用を起こすセットポイントの下限を低下させることも報告されている(Matsukawa et al., 1995)。本研究において、気管内挿管直後から30分以内に急激な直腸温の低下が認められたことから、湯たんぽは、麻酔薬の投与による急激な体温低下を防止することができないと示唆された。

HWB群における麻酔前と気管内挿管直後から15分の直腸温の低下は、SPC群よりも有意に小さかった。また、麻酔前の直腸温と比較し、同測定ポイントにおけるSPC-H群での直腸温は有意な低下が認められたものの、HWB-H群での直腸温は有意な低下を示さなかった。さらに、同測定ポイントにおいてHWB-H群およびHWB-L群における直腸温は、SPC-H群およびSPC-L群よりもそれぞれ有意に高値を示した。なお、HWB-H群およびSPC-H群、HWB-L群およびSPC-L群における麻酔前の直腸温をそれぞれ比較すると、いずれの群間において有意な差は認められなかった。

以上の結果から、湯たんぽによる体温管理では、第1相で認められる急激な体温低下を完全に予防することは叶わないものの、気管内挿管直後から15分間のごく短時間に限って直腸温の低下を軽減することが可能であると考えられた。

MRI検査の所要時間は撮影部位や検査内容によって異なるものの、筆者の経験上、MRI検査開始から15分以内で検査が終了することはほぼない。よって、本研究の結果から湯たんぽによる体温管理を実施する場合には、湯たんぽを

頻繁に交換することで効果を延長できる可能性があると考えられた。しかしながら、MRI検査中に湯たんぽの交換を実施する場合は、交換毎に寝台をガントリの外に出し、イヌに装着している固定用ベルトを脱着する作業が必要となる。この作業はあらかじめ定められていたポジションから、イヌを移動させてしまう可能性があり、再度、撮影条件を設定し直す必要となるリスクがある。また、本研究において気管内挿管直後から15分間の体温低下の抑制が可能であると考えられたことから、湯たんぽの交換を行うタイミングを15分毎と仮定すると、円滑なMRI検査の実施の妨げとなることは明らかであり、総麻酔時間の冗長な延長の原因ともなりうる。よって、臨床現場にこの方法を導入するには慎重な判断を必要とし、実践には限りがあると考えられた。

SPC-L群およびSPC-H群の直腸温を比較すると、麻酔前および気管内挿管後30分までの直腸温に有意な差が認められた。ヒト医療では麻酔導入による熱の再分布の予防を目的とし、麻酔導入前に積極的な加温を行うことで末梢温度を上昇させ、核心温との温度差を縮小しておくためのプレウォーミングが広く検討されている(Hynson et al., 1993; Just et al., 1993; Sessler et al., 1995)。ヒトにおけるプレウォーミングは全身麻酔中の低体温の発生率を低下させることが報告されているだけでなく、低体温の完全な防止が叶わずとも体温低下の程度を緩和させることが可能であるとされている(Becerra et al., 2021; de Brito Poveda et al., 2013; De Witte et al., 2010; Horn et al., 2012)。一方、イヌにおいてもプレウォーミングに関する検討がなされてはいるが、ヒトとは異なり全身麻酔中の低体温の予防には寄与しな

いとの報告もあり、未だ議論が続いている (Aarnes et al., 2017; Rigotti et al., 2015)。しかし、SPC-L群と比較して、SPC-H群における麻酔前および気管内挿管直後から30分までの直腸温が有意に高い値を示したことから、プレウォーミングによって麻酔前の直腸温を38.5 °C以上に維持しておくことは、全身麻酔下でのMRI検査における直腸温の低下を有意に抑制する可能性があると考えられた。

HWB<5群、SPC<5群、HWB \geq 5群およびSPC \geq 5群における全ての測定ポイントでの直腸温の比較では、いずれの群間においても有意な差は認められなかった。一般的に、動物のサイズが小さいほど体表面積と体重の比率が大きくなり、熱対流による熱損失が大きくなることが知られている (Pineiro, 2018; Sharma et al., 2017)。本研究におけるHWB<5群およびSPC<5群での直腸温は、HWB \geq 5群およびSPC \geq 5群と比較し有意な体温低下を示さなかったことから、湯たんぽによる体温管理を実施することで有意な直腸温の低下に寄与しないものの、体表面積が小さいことで、より大きくなるはずの熱損失をいくらか緩和できるのではないかと考えられた。したがって、体重が5 kg未満のイヌに対し湯たんぽを用いた体温管理を行うことは、少なからず直腸温の低下を緩和する可能性があるのではないかと考えられた。

本研究では、麻酔導入のために投与した薬剤が直腸温の低下に及ぼす影響について薬剤別の検討は検討しておらず、全身麻酔下でのMRI検査において投与される薬剤が異なる場合においても、湯たんぽが同等の効果を有するか検

討することはできておらず、これは本研究における制限であった。また、本研究の対象となった全ての症例において、湯たんぽおよび紙布団の設置による撮像への影響や低温熱傷といった有害事象は一切観察されなかったことから、本研究において設定された条件下での体温管理は少なくとも患者動物に不利益をもたらす介入ではなかったと考えられた。

以上のことから、全身麻酔下でのイヌのMRI検査における湯たんぽによる体温管理は、MRI検査開始直後の体温低下を軽減することが示唆された。しかしながら、湯たんぽが有する体温低下の抑制効果は短時間しか持続せず、低体温を完全に予防することは叶わなかった。全身麻酔下でのMRI検査において、湯たんぽを用いた体温管理を実施する際には、湯たんぽは低体温そのものを予防するのではなく、あくまで体温低下を緩徐にする一助であると認識する必要があると考えられた。

第1章 第2節

湯たんぽの表面温度の推移

序文

第1節より、全身麻酔下でのイヌの磁気共鳴画像検査（以下、MRI検査）における湯たんぽによる体温管理は、MRI検査開始直後から15分以内の体温低下の抑制に有用であることが示唆されたが、その効果はごく短時間に限られるものであった。この問題を解決する手段として、湯たんぽを加熱されたばかりの新しいものと定期的に交換することを考えたが、その実践に困難が伴うことは前節で述べた通りである。さらに、湯たんぽの頻繁な交換を行いその温度を維持し続けることが、体温低下の抑制に寄与するのも不明である。また、前節で示した回顧的研究の結果では、実際に湯たんぽの温度がどのように推移したのかが明らかとなっておらず、体温低下の抑制効果が短時間しか維持されない原因が、湯たんぽそのものの温度低下によるものなのかも明らかでなかった。

低体温時における体温管理には、受動的あるいは能動的方法がある。受動的方法は毛布やブランケットといった覆布を動物にかけることや環境温の調整による体温管理を、能動的方法は加温装置や湯たんぽといった熱源による体温管理をそれぞれ指す。能動的方法は動物に対し持続的な熱供給によって体温管理を行う方法である。能動的方法である湯たんぽも例外ではないが、

湯たんぽは再加熱を行わない限りその温度を維持することは不可能であり、時間経過に伴う温度低下によって熱供給も低下するはずである。この考えに基づき、期待された湯たんぽの効果が短時間しか持続しなかったのは、湯たんぽの温度低下によるものであったと仮説を立てた。

第2節では、この仮説を検証するために、実際に臨床例に対して使用されていたのと同じ条件で湯たんぽを作成、MRI室内に設置し、湯たんぽの表面温度の推移について検討することを目的とした。

材料および方法

本研究では500 mLの水道水を入れた輸液バッグを湯たんぽとして用いた。第1節での加熱条件と同様に、湯たんぽは電子レンジを用いて600Wで90秒の加熱を行った。加熱した湯たんぽは、岡山理科大学獣医学教育病院（以下、OUS-VMTH）に設置されている1.5 T 超伝導装置（Vantage Elan、Canon Medical Systems、大田原、日本）の寝台の上に設置した。寝台の移動がガントリに向かう方向を正面とし、寝台の左右1箇所ずつ計2個の湯たんぽを配置し、湯たんぽの配置場所がガントリの中心となるように寝台をポジショニングした（図1-5a）。また、MRI検査室の室温は全ての実験を通して 23.0 ± 1 °Cに維持した。

本研究では、湯たんぽの温度測定として表面温度の測定を行った。表面温度の測定は皮膚赤外線温度計（Thermofinder Pro、HuBDIC-Global、兵庫、日本）を用い、寝台の左右に設置した計2個の湯たんぽの表面温度をそれぞれ測定した。測定箇所は、寝台の移動がガントリに向かう方向を正面かつ湯たんぽの上部とし、湯たんぽの上部（L1、R1）、中央部（L2、R2）、および下部（L3、R3）の計6箇所とした（図1-5b）。測定を行う際、湯たんぽをMRI室に隣接する前室に持ち出した。前室の室温はMRI検査室の室温と同等である 23.0 ± 1 °Cに維持されており、持ち出した湯たんぽをあらかじめ前室に設置したストレッチャーの上に静置し、表面温度を測定した。なお、全ての表面温度の

測定に要する時間は1分以内とした。測定終了後は、測定前と同じ位置に湯たんぽを設置し直した。

表面温度の測定は湯たんぽの加温直後 (T0) から180分後 (T180) まで、30分間隔で実施し、1試行につき計7回の表面温度の測定を行った。各測定ポイントにおいて、左右に設置された湯たんぽのそれぞれの測定箇所の表面温度を3回ずつ測定し、得られたデータの中央値を各測定ポイントにおける測定値とした。本研究では全試行において測定者を統一し、計10試行の測定を実施した。

すべての統計解析は、統計分析ソフトウェア (GraphPad Prism 9.4.0、GraphPad Software、Inc.、San Diego、CA、USA) を用いて行った。T0と各測定ポイントでの表面温度の比較を、Friedman testおよび Dunn' s multiple comparisons testを用いて行った。有意水準は $p < 0.05$ とした。

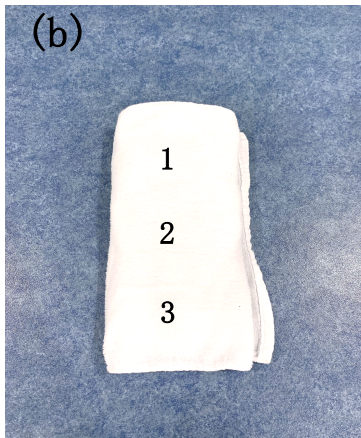
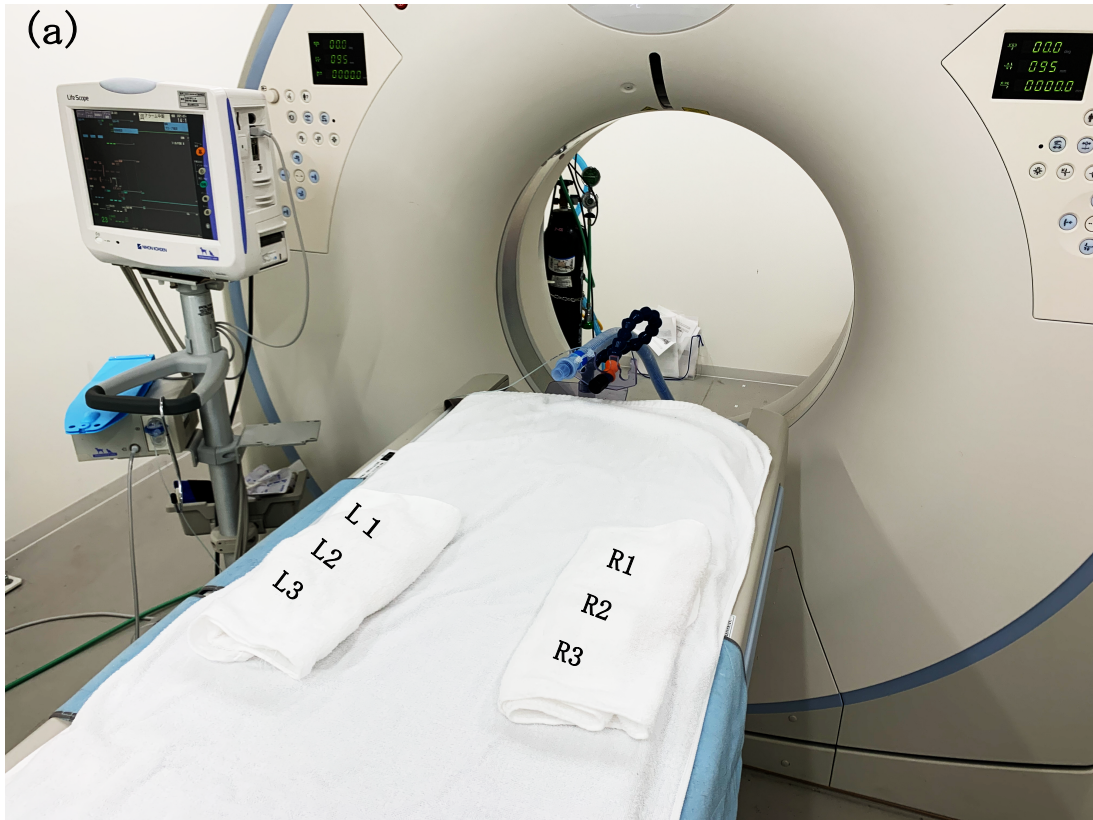


図1-5 (a, b) 湯たんぽの設置および測定箇所

湯たんぽの設置をCT室にて再現した様子を表している (a)。測定箇所は寝台の移動がガントリに向かう方向を正面かつ湯たんぽの上部とし、湯たんぽの上部 (1)、中央部 (2)、および下部 (3) としたことを示している (b)。

結果

本研究において、湯たんぽの表面温度は、L2およびR2ではT60 (L2群, 37.2 ± 1.2 °C ; R2群, 37.3 ± 1.3 °C)、他の測定箇所ではT30 (L1群, 39.6 ± 1.3 °C ; R1群, 39.9 ± 1.2 °C ; L3群, 38.8 ± 1.0 °C ; R3群, 39.2 ± 1.3 °C) に40 °Cを下回った。

また、全ての測定箇所において、湯たんぽの表面温度はT60で約37 °Cまで低下した (L1群, 36.7 ± 1.1 °C ; R1群, 36.8 ± 1.1 °C ; L2群, 37.2 ± 1.2 °C ; R2群, 37.3 ± 1.3 °C ; L3群, 38.8 ± 1.0 °C ; R3群, 39.2 ± 1.3 °C)。

L1における表面温度は、T0 (44.4 ± 1.3 °C [mean \pm SD]) と比較し、T90以降 (34.9 ± 1.0 °C, 33.0 ± 0.7 °C, 31.5 ± 0.6 °C, 30.2 ± 0.7 °C) で有意に低下した (図1-6a)。

R1における表面温度は、T0 (44.5 ± 1.2 °C) と比較し、T90以降 (34.8 ± 1.0 °C, 33.2 ± 0.8 °C, 31.5 ± 0.8 °C, 30.1 ± 0.6 °C) で有意に低下した (図1-6b)。

L2における表面温度は、T0 (45.0 ± 1.3 °C) と比較し、T90以降 (35.1 ± 1.0 °C, 33.4 ± 0.7 °C, 31.8 ± 0.6 °C, 30.2 ± 0.7 °C) で有意に低下した (図1-6c)。

R2における表面温度は、T0 ($45.0 \pm 1.4 \text{ }^\circ\text{C}$) と比較し、T90以降 ($35.2 \pm 1.0 \text{ }^\circ\text{C}$, $33.5 \pm 0.8 \text{ }^\circ\text{C}$, $31.8 \pm 0.7 \text{ }^\circ\text{C}$, $30.4 \pm 0.7 \text{ }^\circ\text{C}$) で有意に低下した (図1-6d)。

L3における表面温度は、T0 ($44.0 \pm 1.1 \text{ }^\circ\text{C}$) と比較し、T90以降 ($34.0 \pm 0.9 \text{ }^\circ\text{C}$, $32.4 \pm 0.9 \text{ }^\circ\text{C}$, $34.0 \pm 0.9 \text{ }^\circ\text{C}$, $34.0 \pm 0.9 \text{ }^\circ\text{C}$) で有意に低下した (図1-6e)。

一方、R3では、T0 ($44.1 \pm 1.1 \text{ }^\circ\text{C}$) と比較しT120以降 ($32.8 \pm 0.8 \text{ }^\circ\text{C}$, $31.2 \pm 0.8 \text{ }^\circ\text{C}$, $30.0 \pm 0.7 \text{ }^\circ\text{C}$) に有意な低下が認められた (図1-6f)。

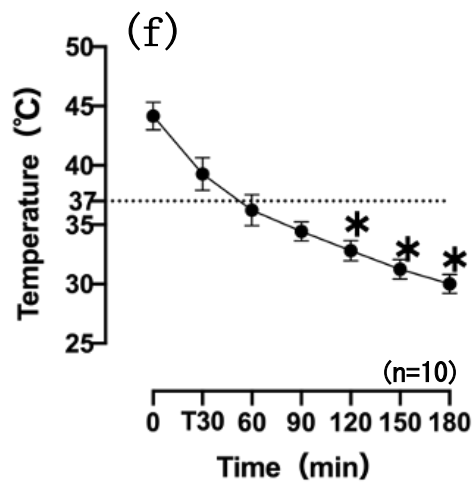
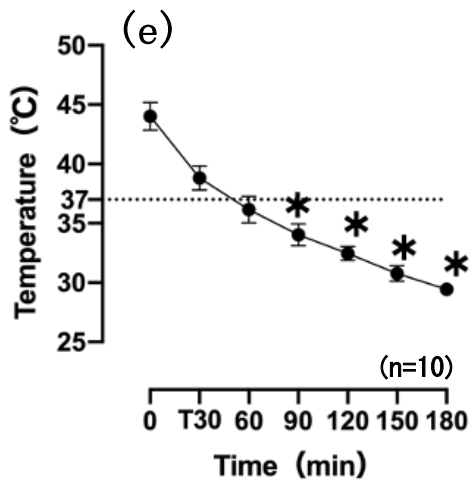
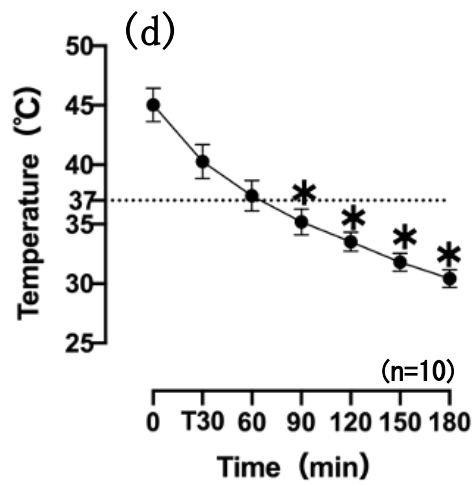
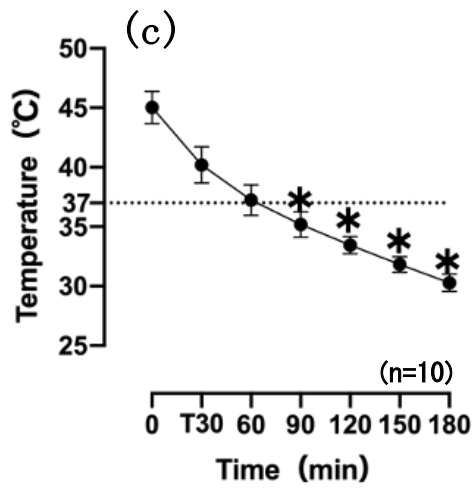
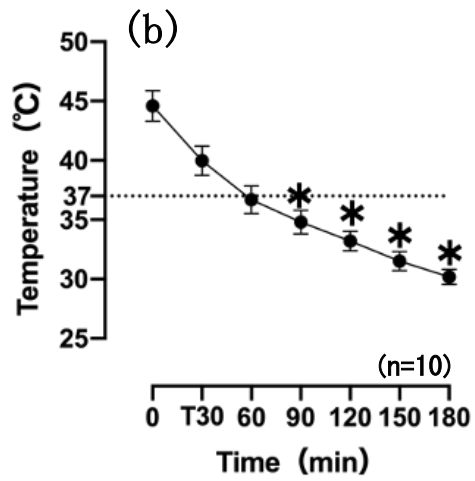
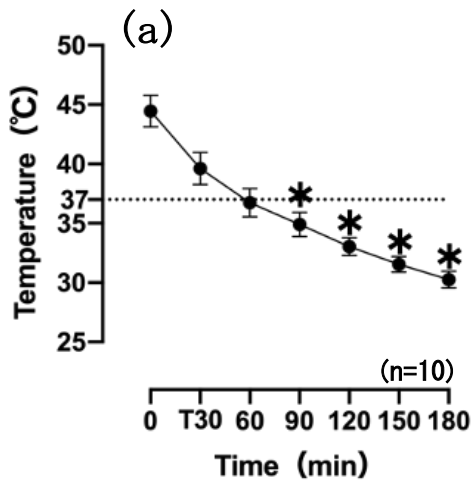


図1-6 (a-f) 湯たんぽの表面温度の推移

L1 (a)、R1 (b)、L2 (c)、R2 (d)、L3 (e)、R3 (f) における湯たんぽの表面温度 (mean \pm SD) の推移を示している。縦軸は表面温度 ($^{\circ}\text{C}$)、横軸は時間 (min) をそれぞれ表している。

* は各測定箇所における湯たんぽの加温直後および各測定ポイントでの表面温度を比較し統計学的に有意であることを示しており、その有意水準は $p < 0.05$ とした

考察

本研究において、全ての測定箇所における湯たんぽの表面温度は加熱後60分で約37 °Cまで低下したものの、統計学的に有意な低下とは認められなかった。湯たんぽによる体温管理は、接触による熱伝導を利用した方法である(Tan et al., 2004)。つまり、熱伝導による体表への加温を実施することで、末梢へ分散される血液に熱量が加わり、核心温の低下を抑制させることが可能となる。第1節において湯たんぽはMRI検査開始初期の体温低下の抑制に寄与する可能性が示唆されており、本研究においても加熱後60分までは湯たんぽの温度は維持されていた。第1節および本研究の結果より、本研究における条件下での湯たんぽの使用は、麻酔導入後の初期においてのみ体温の維持に貢献していたと考えられた。

また、本研究に結果から湯たんぽの表面温度はR3では加熱後から120分、その他の測定箇所では90分以降で有意に低下した。イヌの覚醒時の核心温度は約38.5 °C、体表および末梢温度は約29 °Cから33 °Cとされており(Muir et al., 2013)、麻酔中には、核心温度の低下に伴い体表および末梢温度がわずかに上昇することが知られており、さらに、明確な基準はないものの、一般的にイヌの低体温とは37 °C以下の状態を指すとされている。本研究では、湯たんぽの設置場所に関わらず、少なくとも加熱後90分以内であれば湯たんぽの温度の維持が可能であったものの、加熱後60分にはすでに湯たんぽの表面

温度が約37 °Cまで低下していた。37 °Cの湯たんぽは、体表および末梢温度と比較して、その表面温度が高くはなるものの、その温度差は僅かであり、熱伝導により核心温度を上昇させるために必要な熱供給は困難であると考えられた。よって、第1節の結果から示唆された通り、本条件下での湯たんぽの使用による体温低下の軽減効果は全身麻酔下でのMRI検査の初期に限られると考えられた。

本研究において、加温直後の湯たんぽの表面温度は全ての群において約45 °Cであった。さらに、全ての測定箇所において加熱後30分から60分の間に、湯たんぽの表面温度は40 °Cを大幅に下回った。皮膚および皮下組織の蛋白質の変性が開始する温度は42 °C以上とされている。過去の研究において、マウスの皮膚を用いて低温熱傷を生じる時間と温度の関係が検討されており、42 °Cで2時間以上加温されると低温熱傷が惹起される可能性があると報告されている (Moritz and Henriques, 1947; 飯田 and 山本, 2004)。第1節において使用されていた湯たんぽは、本研究の条件と同様に、電子レンジを用いて600Wで90秒の加熱を行い、設置する際にはフェイスタオルに包まれていた。全ての症例において低温熱傷を含む有害事象は観察されなかった。本条件下とは異なりより高温の湯たんぽを設置した場合には、有害事象の発生リスクを高める危険性があると考えられた。

一方、ヒト医療において低体温の改善、あるいは、下肢麻痺および意識障害を呈する患者における冷感の改善を目的とした温罨法のために湯たんぽを使用したところ、低温熱傷を含む皮膚障害が引き起こされたと報告されてい

る(公益財団法人日本医療機能評価機構, 2013)。報告の中では、湯たんぽを直接身体に接触させていた場合だけではなく、患者の身体から離して配置した場合にも有害事象を引き起こした事例が記されていた。この報告の内容を考慮しても、全身麻酔下のイヌに対し、より高い体温維持の効果を期待し、本条件とは異なり高温の湯たんぽを使用することや、湯たんぽをイヌの身体へ直接接触させること、頻繁な交換によって高い温度が維持された状態の湯たんぽを長時間使用することは、有害事象の発生リスクを高める可能性があると考えられた。

以上のことから、湯たんぽによる体温低下の抑制効果が、全身麻酔下でのMRI検査における初期にしか観察されないのは、時間経過とともに湯たんぽの温度が低下し、イヌに供給するだけの熱量を保持できないことが原因であると考えられた。

小括

本章では、湯たんぽによる体温が全身麻酔下でのイヌのMRI検査中の体温に及ぼす影響について検討した。

第1節では、岡山理科大学獣医学教育病院にて全身麻酔下でMRI検査を実施したイヌの麻酔記録を調査し、全身麻酔下でのイヌのMRI検査における湯たんぽによる体温管理がイヌの体温に及ぼす影響を回顧的に検討した。

結果より、湯たんぽによる体温管理はMRI検査開始初期の体温低下を有意に抑制することが示唆されたが、その効果はごく短時間しか持続しないことが明らかとなった。全身麻酔下でのMRI検査において湯たんぽを用いた体温管理を実施する際には、低体温そのものを予防するものではなく、あくまで体温低下を緩徐にする一助の方法として認識すべきであると考えられた。

第2節では、第1節で臨床例に対して使用されていたのと同じ条件の湯たんぽを作成、MRI室内に設置し、湯たんぽの表面温度の推移について再現的に検証した。結果より、湯たんぽの表面温度は一部の測定箇所を除き、加温直後と比較し90分後で有意な低下が認められた。また、湯たんぽの表面温度は60分後までは維持されていたものの、その表面温度は約37℃で低下しており、イヌに供給することが可能な熱量を十分に維持できないことが示唆された。

本研究の条件下での湯たんぽは、短時間であれば体温の維持に貢献できる可能性が考えられた。

以上のことから、湯たんぽはMRI検査開始初期の体温低下を軽減するものの、効果が長時間持続することは期待できないと理解した上で、体温管理に臨む必要があると考えられた。

第2章

加温輸液がイソフルラン麻酔下のイヌの直腸温に及ぼす影響

序文

全身麻酔における最も一般的な合併症の一つとして低体温が挙げられる (Aarnes et al., 2017; Muir et al., 2013; Pottie et al., 2007; Redondo et al., 2012; Sessler, 2000)。低体温は、様々な有害事象の要因となりうるため (Bindu et al., 2017; Díaz and Becker, 2010; Sessler, 2001)、麻酔看視を行う際には、低体温の危険性を十分に認識し、麻酔中の動物の体温管理について最大限の配慮をする必要がある。小動物臨床において、麻酔薬の投与以外にも、低体温の発生を助長させる要因として、手術部位の剪毛および消毒、腹腔内の外気への曝露、環境温、冷たい輸液剤の静脈内投与といったものが知られている (Ma et al., 2017; Muir et al., 2013)。全身麻酔下での磁気共鳴画像検査（以下、MRI検査）に際しては、外科手術に伴うような要因こそ当てはまらないが、麻酔薬の投与そのものによる影響に加え、低い環境温度が低体温の発生を助長する特徴的な要因となる。MRI検査室は、装置の性能確保と安全な稼働のために、室温が低く保たれているのが一般的であり、装置の特性から磁性体を含む他の機器を検査室に持ち込むことが困難であるため、MRI検査中に実施することが可能な体温管理方法は限られる。

第1章の結果より、全身麻酔下でのイヌのMRI検査における湯たんぽを用いた体温管理は、MRI検査初期の体温管理に限って有用であることが示唆され

た。しかし、持続した効果を得ることが困難であることから、湯たんぽによる体温管理は低体温を完全に予防する方法ではなく、あくまで体温低下を緩徐にする一助にすぎないと考えられた。

そこで、MRI検査室内での実施が可能な、湯たんぽ以外の体温管理方法として、加温した輸液剤の静脈内投与が考えられた。MRI検査では、前述した理由から輸液加温装置をMRI検査室内に持ち込み、使用することは不可能であるが、あらかじめ加温された輸液剤を投与することは可能である。加温輸液の静脈内投与であれば、湯たんぽの使用のように低温熱傷のリスクを伴うといった問題点もなく(及川 et al., 2007; 清水 et al., 2018)、輸液剤の投与が検査の進捗を妨げる、あるいは、検査内容によって投与の実施が困難となる可能性は小さい。以上を踏まえ、MRI室内で加温した輸液剤を静脈内に投与することは、全身麻酔下でのMRI検査中の体温維持に貢献できるのではないかと考えた。

小動物獣医療における加温輸液の投与は、体温管理方法の一例として成書に記されており、臨床現場においてよく用いられる方法でありながらも、関連する報告は極めて限定的である(Grimm, 2015; Hilary and Welsh, 2011)。また、イヌにおいてメドトミジンが引き起こす体温低下に対し、加温輸液の静脈内投与は体温低下を有意に抑制しないとの報告もあり(Kanda et al., 2011)、低体温に対する加温輸液の効果については議論が続いている。さらに、この報告では、一度は加温された輸液剤が、輸液チューブの一部が外気に晒

されることで体内に投与されるまでに冷めてしまうため、十分な効果を得られない原因の一つになるのではないかと考察している。一方、小動物を対象に開発された小動物専用輸液加温器 [(F-CARE、株式会社キムラメド、東京) 以下、F-CARE] は、従来のヒトを対象とした輸液加温装置と異なり、輸液剤が体内に投与される直前まで加温できる構造を有しており (図2-1a, -1b)、過去の報告で指摘された問題を解決できている可能性がある。ただし、現在入手可能な輸液加温装置は磁性体を含んでおり、MRI検査室に持ち込むことができない。

そこで、本研究ではMRI室と同様の室温環境下において、加温輸液の静脈内投与が、イソフルラン吸入麻酔下にあるイヌの直腸温に及ぼす影響を実験的に検討することを目的とした。



図2-1 (a, b) 輸液加温装置の構造

ヒト用乾式電気輸液・輸血加温装置 (a)および小動物専用輸液加温器 (b)の構造をそれぞれ表している。

材料および方法

1. 供試動物

倉敷芸術科学大学教育動物病院内で適切に飼育されており、American Society of Anesthesiologists physical status (ASA-PS) がclass1と評価されたビーグル犬6頭（未避妊雌3頭、未去勢雄2頭、去勢済み雄1頭）を供試した。年齢は45 ± 7か月齢（mean ± SD）、体重は12.2 ± 1.3 kgであった。供試するにあたり、実験開始の20時間前から絶食および1時間前から絶水とした。なお、本研究は、倉敷芸術科学大学動物実験委員会の承認を得て行なわれた（承認番号：29-05）。

2. 実験群

実験群は、輸液加温装置を用いないCONTROL群、ヒト医療用乾式電気輸液・輸血加温器 [（アニメックSA-1、エルテック株式会社、愛知、日本）以下、ANIMEC] を用いたAM群、小動物専用輸液加温器 [（F-CARE、株式会社キムラメド、東京、日本）以下、F-CARE] を用いたFC群の3群とした。なお、加温装置の温度設定はANIMECでは27 °Cから37 °C、F-CAREでは39 °Cであり、いずれも任意に設定温度を変更することはできなかった。

乱塊法に基づいて実験順序を決定し、最短1週間以上の間隔をあけて、6頭のビーグル犬を繰り返し実験に供試した。

3. 実験手順

すべての実験において実験室の室温をMRI検査室と同様の 23.0 ± 1.0 °Cに維持した。実験開始前に、直腸温 (RT) を動物用電子直腸体温計 (Sure Temp PLUS、ウェルチアレンジャパン、東京、日本) を用いて、非観血的動脈血圧 (BP [SAP、MAP、および DAP] ; mmHg) を動物用血圧計 (動物用血圧計ペットマップ、株式会社AVS、東京) を用いて測定した。さらに、心拍数 (HR; bpm/min) 、脈拍数 (PR; bpm/min) 、呼吸数 (RR; beat/min) をそれぞれ測定し、一般状態に問題が認められないことを確認した後に、左右いずれかの橈側皮静脈に静脈内カテーテル (ジェルコI.VカテーテルII、スミスメディカル・ジャパン株式会社、東京、日本) を設置した。

麻酔導入にはプロポフォール (プロポフォール静注1 % 「FK」、フレゼニウスカービジャパン株式会社、東京、日本) を、8 mg/kg で投与し、喉頭反射あるいは自発呼吸の消失が確認された時点で薬剤の投与を中止し、速やかに気管内挿管を行なった。麻酔維持の時間は、吸入麻酔薬の投与開始 (T0) から投与終了 (T180) までの3時間とし、麻酔器 (アコマ動物用麻酔器、アコマ医科工業株式会社、東京、日本) とイソフルラン (動物用イソフルラン、ゾエティスジャパン株式会社、東京、日本) と100 %酸素を使用し、呼気中イソフルラン濃度が1.5 - 2.5 %となるように維持した。

輸液剤の投与時間は、吸入麻酔薬の投与開始直後 (T0) から吸入麻酔薬の投与終了より1時間後 (T240) までの計4時間とした。実験開始2時間前から実験室に保管されていた乳酸加リンゲル液 (ソルラクト、テルモ株式会社、東京、日本) を、すべての実験群において10 ml/kg/hで投与した。

RTは、Sure-Temp PLUSを用いて吸入麻酔薬投与開始直後 (T0) から輸液剤の投与終了 (T240) までの間、5分毎に測定した。麻酔維持中は、生体情報モニタ (生体情報モニタBP-608 EV、オムロンヘルスケア株式会社、京都、日本) を用いて、HR、PR、経皮的動脈血酸素飽和度 (SpO₂; %)、BP、RR、終末呼気二酸化炭素分圧 (EtCO₂; mmHg)、呼気イソフルラン濃度 (EtIso; %) を連続的に監視し5分毎に記録した。また、自発呼吸による呼吸管理を原則とし、EtCO₂が35 - 45 mmHg の範囲から逸脱する場合のみ、動物用人工呼吸器 (COMPOS β-EV、株式会社メトラン、埼玉) を用いて、従圧式換気による調節換気を実施した。なお、調節換気を実施する場合は、気道内圧を8 - 12 cmH₂O、呼吸回数を6 - 12 beat/min、I : E比を1 : 2とし、EtCO₂が規定値を逸脱しないよう適宜設定を調節し、呼吸管理を行った。BPは、体動が観察されず気管内チューブの挿管した状態を許容し続けることが可能なEtIsoを調節し、MAPが65 mmHg以上になるよう維持した。

180分間の麻酔維持が完了した時点で、イソフルランの投与を終了し、自発呼吸の回復あるいは喉頭反射の回復を確認後、抜管した。その後、輸液剤投与およびモニタリングを240分後 (T240) まで継続し、また、シバリリングが観察された場合は、その持続時間を記録した。なお、RTが37 °C以下であること、麻酔から十分な覚醒が得られていること、全身性あるいは身体の一部に持続的な震えが認められる状態をシバリリングがある状態と判断し記録した。

翌日に供試動物の一般状態に問題がないことを確認し、実験終了とした。

4. 統計処理方法

すべての統計解析は、統計解析ソフトウェア（GraphPad Prism 9.4.0、GraphPad Software, Inc.、米国）を用いて行った。CONTROL群、AM群およびFC群の各群内における、T0からT60、T60からT120、T120からT180の5分毎のタイムポイントでのRTの比較、T0からT60、T60からT120、T120からT180、T0からT180の各タイムポイント間におけるRTの差（ $RT \Delta T60 - T0$ °C、 $RT \Delta T120 - T60$ °C、 $RT \Delta T180 - T120$ °C、 $RT \Delta T180 - T0$ °C）の比較、CONTROL群、AM群およびFC群におけるT180の直腸温の比較を、Friedman TestおよびDunn' s Multiple Comparison Testを用いて行った。CONTROL群、AM群およびFC群におけるRTが37 °Cまで回復するために要した時間、シバリングの持続時間の3群間での比較を、Friedman TestおよびDunn' s Multiple Comparison Testを用いて行った。有意水準は $p < 0.05$ とした。

結果

1. 直腸温

CONTROL群、AM群およびFC群それぞれの群内におけるT0からT60における5分毎のタイムポイントでのRTは、T0 (CONTROL群, 38.4 ± 0.1 °C ; AM群, 38.4 ± 0.1 °C, FC群, 38.4 ± 0.1 °C [mean \pm SE]) と比較し、すべての群においてT45以降で有意な低下を示した (図2-2)。

$\Delta T_{60} - T_0$ °Cは、CONTROL群で 1.3 ± 0.1 °C、AM群で 1.2 ± 0.1 °C、FC群は 1.2 ± 0.1 °Cであり、いずれの群間においても有意な差は認められなかった。

CONTROL群、AM群およびFC群それぞれの群内におけるT60からT120における5分毎のタイムポイントでのRTは、T60 (CONTROL群, 37.0 ± 0.2 °C ; AM群, 37.2 ± 0.1 °C, FC群, 37.0 ± 0.2 °C [mean \pm SE]) と比較し、CONTROL群においてT100からT120、AM群およびFC群においてT105からT120で有意な低下を示した (図2-2)。

$\Delta T_{120} - T_{60}$ °Cは、CONTROL群で 0.8 ± 0.1 °C、AM群で 0.9 ± 0.1 °C、FC群で 0.7 ± 0.2 °Cであり、いずれの群間においても有意な差は認められなかった。

T120からT180における5分毎のタイムポイントでのRTは、T120 (CONTROL群, 36.2 ± 0.2 °C ; AM群, 36.3 ± 0.2 °C, FC群, 36.5 ± 0.3 °C [mean \pm SE]) と比較し、CONTROL群およびAM群においてT165からT180、FC群においてT160からT180で有意な低下を示した (図2-2)。

$\Delta T180 - T120$ °Cは、CONTROL群で 0.8 ± 0.1 °C、AM群で 0.7 ± 0.1 °C、FC群で 0.6 ± 0.1 °Cであり、いずれの群間においても有意な差は認められなかった。

T180におけるRTは、CONTROL群で 35.5 ± 0.3 °C (mean \pm SE) 、AM群で 35.7 ± 0.3 °C、FC群は 35.9 ± 0.4 °Cであった。T180-RTを3群間で比較すると、AM群およびFC群のRTはCONTROL群と比較し、高値を示す傾向が認められたものの、有意な差は認められなかった(図2-2)。

$\Delta T180 - T0$ °Cは、CONTROL群で 3.0 ± 0.2 °C、AM群で 2.7 ± 0.2 °C、FC群で 2.5 ± 0.3 °Cであり、3群間の比較で有意な差は認められなかったものの、FC群はCONTROL群およびAM群と比較し、 $\Delta T180 - T0$ °Cの値が低値を示す傾向が認められた。

2. 直腸温が37 °Cまで回復するために要した時間

T180からT240において、RTが37 °Cまで回復するために要した時間は、CONTROL群で 37 ± 6 分 (mean \pm SE) 、AM群で 37 ± 5 分、FC群で 27 ± 6 分

あり、FC群で短くなる傾向を示したものの、いずれの群間においても有意な差は認められなかった（図2-3）。

3. シバリングの持続時間

T180からT240において観察されたシバリングの持続時間は、CONTROL群で 31 ± 8 (mean \pm SE)、AM群で 35 ± 5 分、FC群で 25 ± 9 分であり、FC群で短くなる傾向を示したものの、いずれの群間においても有意な差は認められなかった（図2-4）。

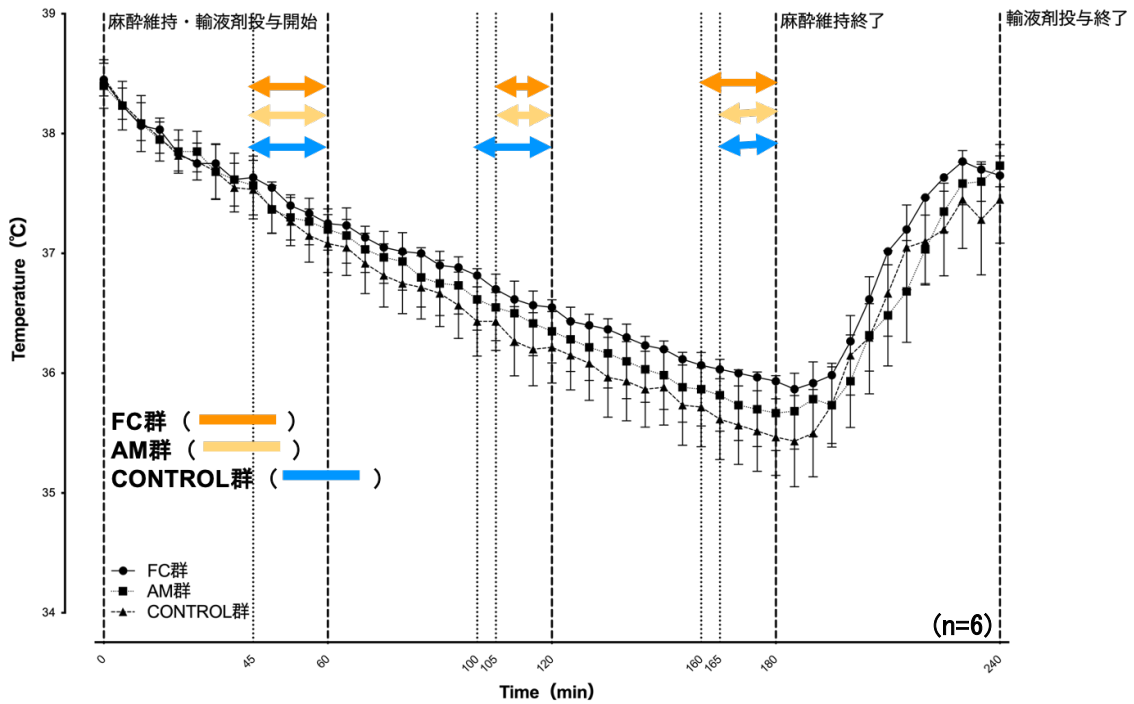


図2-2 直腸温の推移

CONTROL群、AM群およびFC群における直腸温 (mean ± SE) の推移を示している。縦軸は直腸温 (°C)、横軸は麻醉維持の時間 (min) をそれぞれ表している。

両矢印はCONTROL群 (水色)、AM群 (黄色)、FC群 (橙色) のそれぞれにおけるT0、T60、T120と各測定ポイントでの直腸温を比較し統計学的に有意であることを示しており、その有意水準は $p < 0.05$ とした

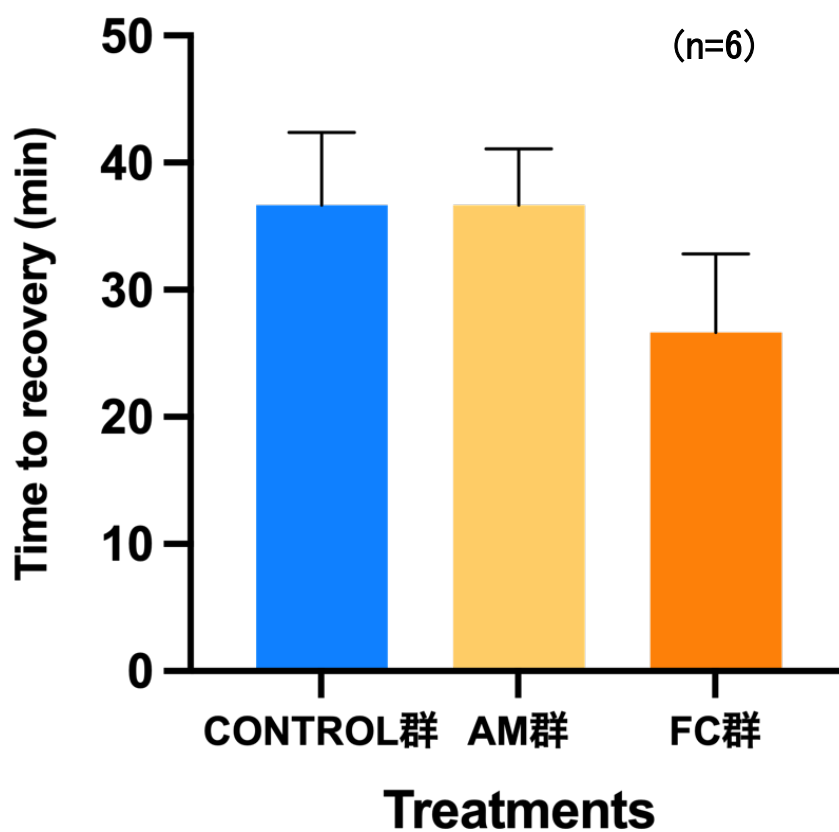


図2-3 直腸温が37 °Cまで回復するために要した時間

CONTROL群、AM群およびFC群における直腸温が37 °Cまで回復するために要した時間 (mean ± SE)を示している。縦軸は時間(min)、横軸は処置群をそれぞれ表している。

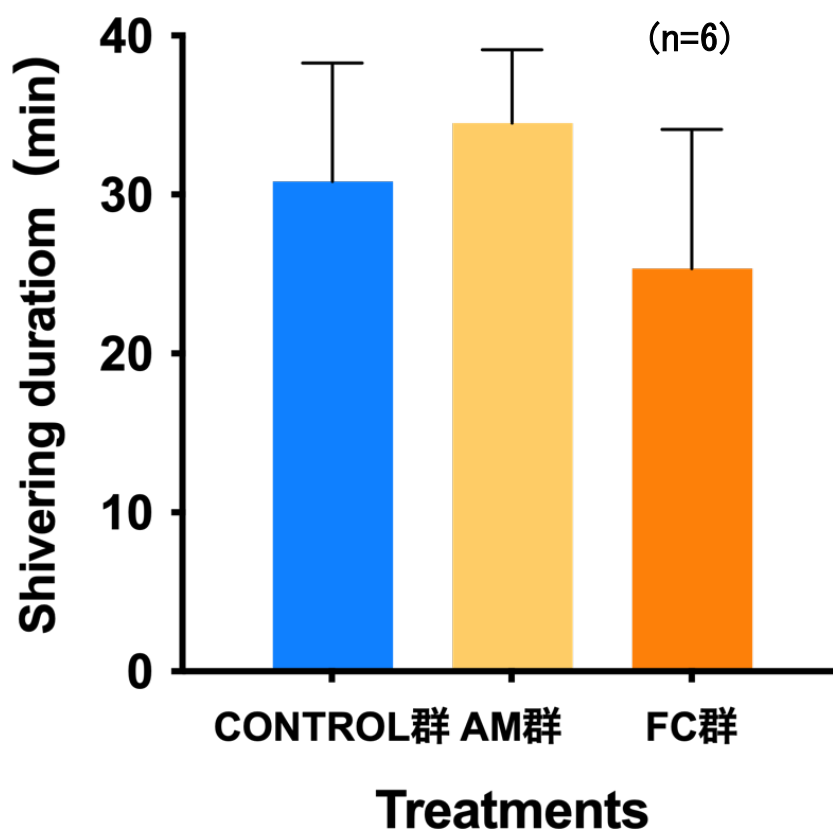


図2-4 シバリングの持続時間

CONTROL群、AM群およびFC群におけるシバリングの持続時間 (mean ± SE) を示している。縦軸は時間(min)、横軸は処置群をそれぞれ表している。

考察

CONTROL群、AM群およびFC群のT0からT60における直腸温は、すべての群でT0と比較し、T45からT60で有意な低下が認められただけでなく、 $\Delta T60 - T0$ °Cが1-1.5 °Cと急激な低下を示した。一般的に、全身麻酔下におけるイヌの体温低下は再分布相、リニア相、プラトー相の3相を示すとされており (Sessler, 2000)、本研究におけるT0からT60で認められた体温低下の推移は再分布相と合致していた。これは、プロポフォールおよびイソフルランの投与により末梢血管拡張が惹起されることで熱の再分布が生じ、核心温度が急激に低下したと考えられた (Clark-Price, 2015; Sessler, 2000)。CONTROL群だけでなくAM群およびFC群においても、T45からT60で有意な直腸温の低下を示したことから、本研究における条件下での輸液加温装置は、再分布相で観察される急激な体温低下を抑制するために必要な熱量を十分に供給できなかった可能性が示唆された。さらに、本研究では、全ての群において輸液剤の投与開始は麻酔維持と同時であったことから、末梢組織の熱量を麻酔前に増加させることができず、再分布相の急激な体温低下に抗うことができなかった可能性も考えられた。

CONTROL群、AM群およびFC群のT0からT60における直腸温は、T60と比較し、CONTROL群はT100からT120、AM群およびFC群はT105からT120で有意な低下が認められた。同様にT120からT180の直腸温を比較すると、FC群はT160からT180、CONTROL群およびAM群はT165からT180で有意な直腸温の低下が認められ

た。また、 $\Delta T_{120} - T_{60}$ °Cおよび $\Delta T_{180} - T_{120}$ °Cは1 °C未満と直腸温の変化は緩やかであり、体温低下の推移はリニア相と合致していた。この体温低下の推移から、プロポフォルおよびイソフルランの投与によって体温調節機構が抑制され、体熱産生量が減少したと考えられた(Clark-Price, 2015; Sessler, 2000)。本研究における条件下での輸液加温装置は、再分布相と同様に、加温された輸液剤の投与だけでは、リニア相においても体温低下を抑制するために必要な熱量を十分に供給できなかった可能性が示唆された。

FC群における $\Delta T_{180} - T_0$ °Cは、CONTROL群およびAM群と比較し3群間で有意な差は認められないものの、低値を示す傾向が認められたことから、体内に投与される直前まで輸液剤を加温することは、他の条件下よりも体温低下を緩徐にできる可能性があると考えられた。ただし、投与直前まで輸液を加温することのできる装置を、磁性体を含まずに実現できるのかどうかについては本研究の範疇を超えており、これ以上の考察を控える。

T_0 - T_{180} を通して、体温低下の要因はプロポフォルおよびイソフルランの投与による末梢血管拡張に起因した熱の再分布や体温調節機構の抑制による熱産生量の低下が主な要因であると考えられたが、その他にも体温低下を助長させる要因として、外部環境への熱放散が挙げられた(Bindu et al., 2017; Muir et al., 2013; Wang et al., 2016)。本研究における体温管理は、加温輸液の静脈内投与のみであり、他の体温管理方法を併用していない。一般的に、麻酔中の熱放散の85%以上は熱対流および熱放射によるものとされる

中で(Muir et al., 2013)、 23.0 ± 1.0 °Cとした室温条件かつ輸液加温装置のみに依存した体温管理方法では、体温低下に抗えなかったと考えられた。

直腸温が37 °Cまで回復するために要した時間およびシバリングの持続時間は、CONTROL群およびAM群と比較し、統計学的に有意な差は認められないものの、FC群で短い傾向を示した。AM群と比較し、FC群で使用した輸液加温装置は、翼状針のチューブまで加温し続けることが可能な管腔構造をしている。この構造によりFC群では、AM群およびCONTROL群と比較し、供試動物の体内に入るまで、より温かな状態での輸液剤の投与が可能であった。より高温の輸液剤が投与されることで、動静脈間の温度勾配が小さくなり対向流熱交換による熱損失が抑制されたと考えられた(Farries et al., 1991; Lee et al., 2014; Xu et al., 2010)。過去の報告で指摘されていたように、加温輸液の静脈内投与を実施する場合には、輸液剤が体内に入るまでより暖かな状態を維持することが望ましいと考えられた。さらに、FC群では輸液剤が体内に投与される直前まで加温されたことによる熱損失の軽減に加え、シバリングによる体熱産生が加わったことが、より短時間での直腸温の回復に寄与したと考えられた。

本研究における実験室の室温は 23.0 ± 1.0 °Cに設定されており、MRI検査室と同様であった。つまり、MRI検査中に本研究と同条件の加温輸液の静脈内投与を行っても、有意な体温低下の抑制はできないだろうと考えられた。また、MRI検査室には現行の輸液加温装置を持ち込むことは不可能であるため、輸液剤を持続的に加温できず、あらかじめ加温された輸液剤を投与するしか

方法がない。よって、MRI検査中の加温輸液の静脈内投与による体温低下の推移は、本研究で観察された推移と同様、もしくはより重度の体温低下を示す可能性が考えられた。

本研究の結果から、小動物専用輸液加温装置を用いた加温輸液の静脈内投与は、イソフルラン全身麻酔下にあるイヌの体温低下を有意に抑制しないことが明らかとなり、MRI検査中の体温管理方法としてもその効果は期待できないことが示唆された。しかしながら、小動物専用輸液加温器を用いた群、つまり輸液剤が体内に投与する直前まで加温された群では、そうではない群と比較し、直腸温が37 °Cまで回復するために要した時間およびシバリングの持続時間が短縮する傾向を示したことから、加温輸液を行うのであれば、体内に投与される直前まで加温を持続できることが少なからず効果的であると考えられた。

利益相反

本研究は、株式会社キムラメドより小動物専用輸液加温器（F-CARE）の提供を受けて実施された。

小括

本章では、MRI室と同様の室温環境下において、加温輸液の静脈内投与が全身麻酔下にあるイヌの直腸温に及ぼす影響を実験的に検討した。

結果より、小動物専用輸液加温装置を用いた加温輸液の静脈内投与は、イソフルラン全身麻酔下にあるイヌの体温低下を有意には抑制しないことが明らかとなった。一方、小動物専用輸液加温装置を用いることで、全身麻酔終了後に直腸温が37 °Cまで回復するために要した時間および、覚醒後に生じるシバリングの持続時間が短縮する傾向を示した。

以上のことから、全身麻酔下でのイヌもMRI検査における加温輸液の静脈内投与は、MRI検査中の体温管理方法としてその効果を期待できないと考えられた。また、麻酔回復過程において加温輸液を行うのであれば、体内に投与される直前まで加温を持続することが望ましいと考えられた。

第3章

環境温の違いが全身麻酔下でのMRI検査後の回復過程における

イヌの体温に及ぼす影響

序文

全身麻酔下での磁気共鳴画像検査（以下、MRI検査）の合併症として低体温が挙げられる (Muir et al., 2013; Pottie et al., 2007; Redondo et al., 2012; Sessler, 2000)。小動物獣医療におけるMRI検査では、麻酔薬の投与による体温調節中枢の抑制、血管拡張作用に伴う熱の再分布、熱産生および熱放散の不均衡のほかに、低環境温、冷たい輸液剤の静脈内投与によって低体温の発生が助長される (Bindu et al., 2017; Muir et al., 2013)。低体温は、薬物代謝の低下による覚醒遅延、酸素消費量の増大、諸臓器の機能低下、免疫機能の低下といった様々な有害事象を引き起こす (Bednarski et al., 2011; Muir et al., 2013)。よって、積極的な体温管理を実施し、低体温の予防に努めることは、安全な麻酔管理を行う上で重要である。

第1章および第2章では、磁性体を含む装置を持ち込むことが許容されない特殊な環境であるMRI検査室内でも実施することのできる体温管理方法を検討したところ、いずれの方法においても低体温を予防することはできなかった。本来であれば、低体温に付随する有害事象を防ぐために可能な限り正常体温近くまで体温を回復させてから覚醒させることが望ましいとされているが (Bednarski et al., 2011)、現行の方法ではMRI検査終了時の低体温を予防

することは難しい。そこで、MRI検査時に生じた低体温の影響を可能な限り軽減するために、麻酔回復過程に介入を行い復温を促す必要があるのではないかと考えた。

小動物臨床の現場において、低体温となった患者動物の体温回復を促す方法は複数の方法があり、麻酔中の体温管理方法と同様に、温風式加温装置や電氣的加温装置、循環式温水マット、輸液加温装置といったものが挙げられる(Brady and Poppell, 2020; Tan et al., 2004)。他にも、入院室内への湯たんぽの設置やブランケットによる保温などが行われている。

しかしながら、小動物の麻酔回復期における復温にはいくつかの問題が挙げられる。まず、患者動物が動き回るために適用できる復温方法が限られてしまうという問題がある。患者動物が覚醒するにつれ、入院室内を動き回ることで設置した湯たんぽや毛布から遠ざかってしまい、実際にはこちらが望むような体温管理が十分に実施できない状況がしばしば生じる。続いて、長時間の付き添い看視が困難となる点である。各施設における動物看護業務は多岐にわたる。決して望ましいことではないが、臨床現場において人手不足といった問題から、個々の患者動物に対し看視に必要な時間を十分に確保することが困難な場合はしばしば見受けられる。

温風式加温装置や循環式温水マットといった大型の装置は入院室内に設置することが困難な場合が多く、使用するには人員の確保とスペースを要する。さらに、麻酔回復期において持続的に熱供給が可能な加温装置を使用する場合は、湯たんぽやブランケットとは異なり、高体温や低温熱傷のリスク

への配慮を特に必要とするため、頻繁な体温測定や皮膚の状態観察が求められる(清水 et al., 2018)。また、第2章の結果より加温輸液の静脈内投与は、直腸温が37 °Cまで回復するために必要とした時間および低体温に付随するシバリングの持続時間、いずれの時間も短縮させる傾向が示された。しかしながら、第2章で検討された体温管理方法は、動物の体内に入る直前まで輸液剤を加温できる装置を必要するだけでなく、患者動物が麻酔下になく動き回る状態であることから、実施は困難であると考えられた。

このような状況下にあって、小動物臨床の現場では麻酔回復期において低体温が認められる動物を、慣例的に高く設定された環境温下で管理する傾向にある。この方法は入院ケージなどの室温を高く設定するのみであるため、特殊な装置や人手を必要としない。しかしながら、その効果は不明であり、高い環境温が麻酔回復期の体温回復を促進するのかを検討した報告は未だなされていない。

そこで本研究では、環境温の違いが、全身麻酔下でのMRI検査後の麻酔回復期におけるイヌの体温回復に及ぼす影響について回顧的に調査することを目的とした。

材料および方法

1. 対象

本研究は回顧的研究として実施された。調査対象は2021年9月から2022年6月まで岡山理科大学獣医学教育病院（以下、OUS-VMTH）にて、全身麻酔下のMRI検査を実施したイヌの動物看護記録とした。本研究では、OUS-VMTHでの獣医療行為に関わる説明において、診療内容および個人情報を除くデータの教育および研究への利用に関するインフォームド・コンセントが得られた症例の記録のみを対象とした。

本研究において、対象とする症例の組み込み条件は、以下のように設定した。(1) イヌのAmerican Society of Anesthesiologists Physical Status (ASA-PS) がclass 1から3であること (2) 抜管後10分以内に入院室へ入室していること (3) 入院室の床材はバスタオルおよびペットシートのみであること (4) 動物用ICU (ICU-MENIOS、株式会社東京メニックス、東京、日本) の空調設備によってのみ体温管理が実施されていたこと (5) 入院室に入れてから30分以上の記録があることとした。これら全ての組み込み条件を満たしていた症例の動物看護記録に限り、本研究の調査対象とした。

調査項目は、シグナルメント [性別、ASA-PS、年齢、体重 (BW)、ボディコンディション・スコア (BCS)]、入院室の温度および湿度、直腸温 (RT)、シバリングの有無、覚醒スコアおよび体表温度とし、対象データから各調査

項目をそれぞれ抽出した。なお、シグナルメント以外の調査項目は入院室への入室時 (T0)、入室から30分後 (T30)、60分後 (T60) の記録を抽出した。また、得られたデータから、T30およびT60それぞれの測定ポイントでのRTのT0からの上昇温度および上昇率を求めた。

OUS-VMTHでは赤外線サーモグラフィ (testo 868 赤外線サーモグラフィ、Testo SE and Co. KGaA、横浜、日本) が試験的に導入されており、簡便かつ侵襲性の少ない体温管理を行うための取り組みの一貫として体表温度の測定が実施されていた。測定箇所は鼻鏡、体幹 (最後肋骨付近)、左右いずれかの前後肢端の計4箇所とし、全ての計測において、対象から1mの距離を設けて測定が実施されていた。本研究において対象となった症例のうち、表面温度の測定されていたものについてはそのデータを抽出し、赤外線サーモグラフィ専用PCソフトウェア (Testo IRSoft、Testo SE and Co. KGaA、横浜、日本) を使用して赤外線画像分析を行った。

得られた結果から、入院室の室温が 25.0 ± 1.0 °Cに設定されていたグループをL群、入院室の室温が30 °C以上に設定されていたグループをH群とした。

2. 覚醒スコア

覚醒の評価を、姿勢、ヘッドアップおよび音への反応の3項目について行った（表3-1）。得られたデータから各項目についてそれぞれ評価を行い、スコアリングを実施した。

3. 統計解析

全ての統計解析は、統計分析ソフトウェア（GraphPad Prism 9.4.0、Graph Pad Software、Inc.、San Diego、CA、USA）を用いて行った。性別、シバリ
ングの有無および覚醒スコア（ヘッドアップ）は、Fisher's exact testを用いて、H群およびL群間での比較を行った。ASA-PS、年齢、BW、BCS、入院室
の室温と湿度、RT（実測値、上昇温度、上昇率）および覚醒スコア（姿勢、音
への反応）は、Mann-Whitney testを用いて、H群およびL群間での比較を行っ
た。H群およびL群における各測定ポイントでの温湿度およびRTの各群内での
比較には、Kruskal-Wallis test および Dunn's multiple comparisons te
stを用いた。有意水準は $P < 0.05$ とした。

表3-1 覚醒スコア

	姿勢	ヘッドアップ	音への反応
0	横臥位 (起き上がりが <u>困難</u>)	不可	なし
1	横臥位 (起き上がりが <u>可能</u>)	可	体の一部を動かす
2	伏臥位または座位		動き回る
3	立位		

数値が大きいほど覚醒状態を表す。 ([田村, 2014] より改変)

結果

1. 対象

本研究の対象となった症例は49症例であった。性別は雄27頭、雌は22頭、ASA-PSはclass 2 (1 - 3)、年齢は103 (6 - 186) か月齢 [median (range)]、BWは5.5 (1.6 - 23) kg、BCSは5 (2 - 7) / 9であった (表3-2)。前述した基準に従いL群に24症例、H群に25症例が割り当てられた。L群およびH群における性別、ASA-PS、年齢、BWおよびBCSを2群間で比較したところ、それぞれの項目において有意な差は認められなかった。

2. 入院室の室温

T0における入院室の室温 (°C) は、L群で 25.6 ± 0.5 °C (mean \pm SD)、H群で 31.8 ± 1.3 °Cであり、これらの間には統計学的に有意な差が認められた。

T30およびT60における室温を同様に比較すると、いずれの測定ポイントにおいても有意な差が認められた (L群, 25.5 ± 0.5 °C, 25.5 ± 0.4 °C ; H群, 31.9 ± 1.4 °C, 31.5 ± 1.5 °C) (図3-1)。

3. 入院室の湿度

いずれの測定ポイントにおいても、L群およびH群の湿度に有意な差は認められなかった(図3-2)。

4. 直腸温

L群およびH群におけるT0-RT (L群, 36.3 ± 0.9 °C ; H群, 36.3 ± 1.0 °C) に、有意な差は認められなかった。

L群およびH群における各群内でのRTは、T0-RTと比較しT30以降 (L群, 37.5 ± 0.8 °C, 37.9 ± 0.7 °C; H群, 37.4 ± 0.5 °C, 37.9 ± 0.4 °C) で有意な上昇が認められたが、いずれの測定ポイントにおいても2群間のRTに有意な差は認められなかった。また、T30およびT60それぞれの測定ポイントでの、RTのT0からの上昇温度および上昇率は、L群およびH群の間で有意な差は認められなかった (図3-3, -4, -5)。

5. シバリング

L群およびH群におけるシバリングの発生率 (L群, 75.0 %, 62.5 %, 40.2 %; H群, 52.0 %, 44.0 %, 17.4 %) を2群間で比較すると、いずれの測定ポイントにおいても有意な差は認められなかった (表3-3)。しかしながら、いずれの測定ポイントにおいても、H群ではシバリングの発生率がL群よりも低い傾向を示した。

6. 覚醒スコア

全ての測定ポイントにおけるL群およびH群における覚醒スコアを2群間で比較すると、姿勢 (L群, 2 [0 - 3], 2 [0 - 3], 2 [1 -3] ; H群, 2 [0 - 3], 2 [0 - 3], 2 [1 -3]) (median [range])、ヘッドアップ (L群, 95.9 %, 100 %, 100 %; H群, 84.0 %, 100 %, 100 %)、および、音への反応 (L群, 1 [0 - 2], 1 [1 - 1], 2 [1 - 2] ; H群, 1 [1 - 2], 1 [1 - 2], 2 [1 -2]) のいずれの評価項目においても、有意な差は認められなかった (図3-6a, -6b, -6c, 表3-4, -7a, -7b, -7c)。

7. 体表温度

L群およびH群における体表温度を2群間で比較すると、鼻鏡 (L群, 28.4 ± 2.7 °C, 27.2 ± 3.7 °C, 27.6 ± 4.2 °C; H群, 27.4 ± 4.1 °C, 27.8 ± 2.2 °C, 30.3 ± 2.6 °C [mean ± SD])、体幹 (L群, 29.6 ± 1.6 °C, 30.0 ± 2.6 °C, 30.4 ± 2.8 °C; H群, 29.6 ± 1.9 °C, 31.1 ± 1.8 °C, 30.0 ± 1.2 °C)、前肢端 (L群, 26.3 ± 2.0 °C, 26.6 ± 2.9 °C, 26.9 ± 2.6 °C; H群, 25.7 ± 1.1 °C, 26.6 ± 2.3 °C, 26.8 ± 2.3 °C) および後肢端 (L群, 26.7 ± 2.9 °C, 27.3 ± 2.9 °C, 27.5 ± 2.2 °C; H群, 25.7 ± 1.6 °C, 27.3 ± 2.3 °C, 27.4 ± 2.8 °C) のいずれの測定箇所においても有意な差は認められなかった (図3-8a, -8b, -8c)。

表3-2 症例の概要

	L群	H群
Sex (male/female)	16/8	11/14
Age (months)	103±45	94±55
BW (kg)	5.8±3.0	6.3±4.2
BCS (/9)	4.6±1.4	4.8±1.3
ASA-PS	2.0±0.4	1.9±0.4
Pre-RT (°C)	36.3±0.9	36.3±1.0

イヌの頭数および性別は実数、BCSおよびASA-PSはmedian (range)、月齢 (months)、BW (kg)、Pre-RT (°C)は (mean ± SD) で示されている。

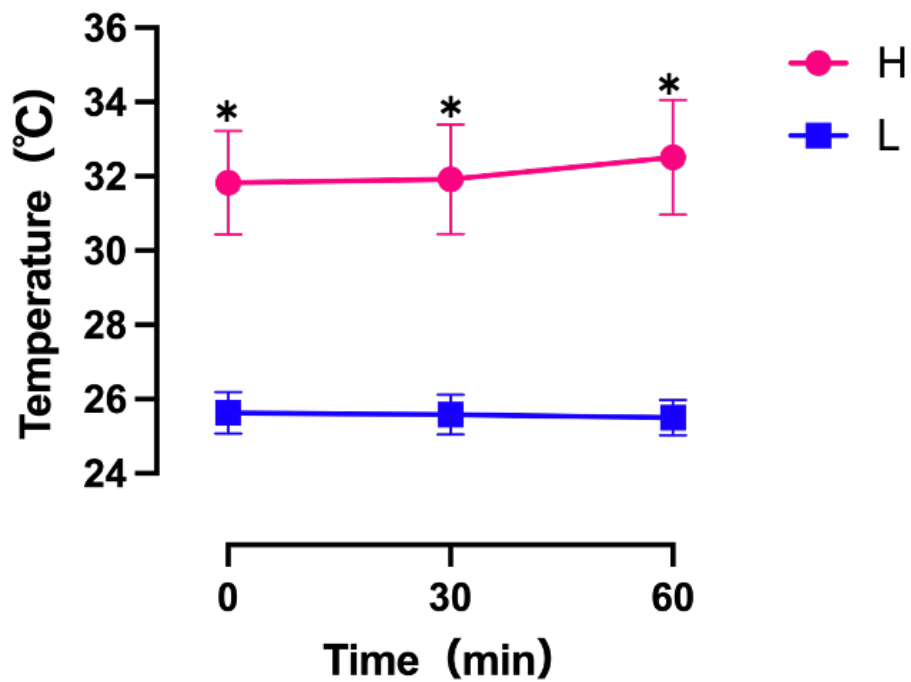


図3-1 入院室における室温の推移

L群およびH群における入院室の室温 (mean ± SD) の推移を示している。

縦軸は温度 (°C)、横軸は麻酔維持の時間 (min) をそれぞれ表している。

* はL群およびH群の2群間での比較において統計学的に有意であることを示しており、その有意水準は $p < 0.05$ とした。

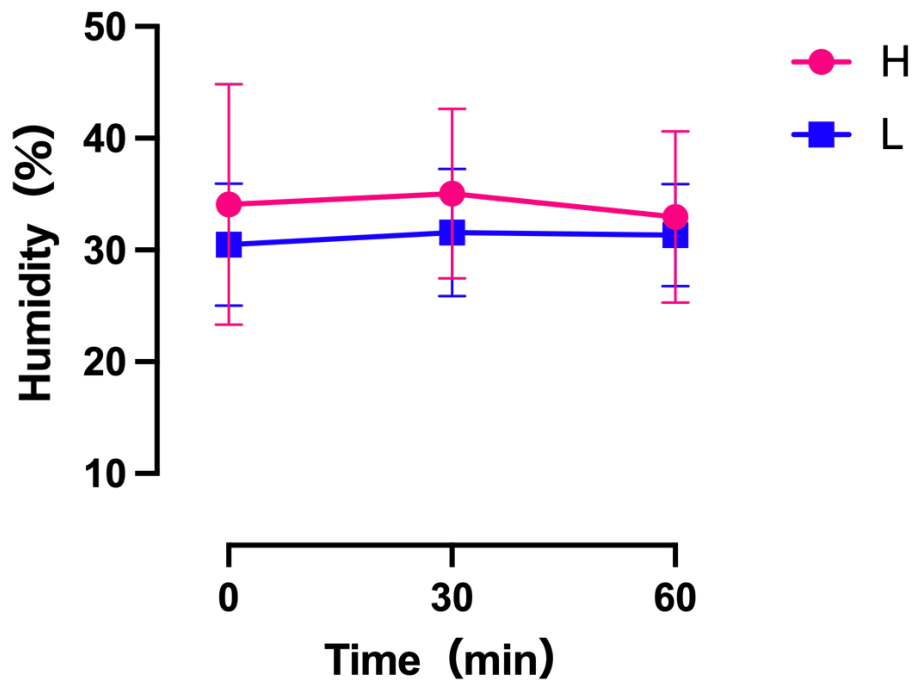


図3-2 入院室における湿度の推移

L群およびH群における入院室の室温 (mean ± SD) の推移を示している。

縦軸は湿度 (%)、横軸は麻酔維持の時間 (min) をそれぞれ表している。

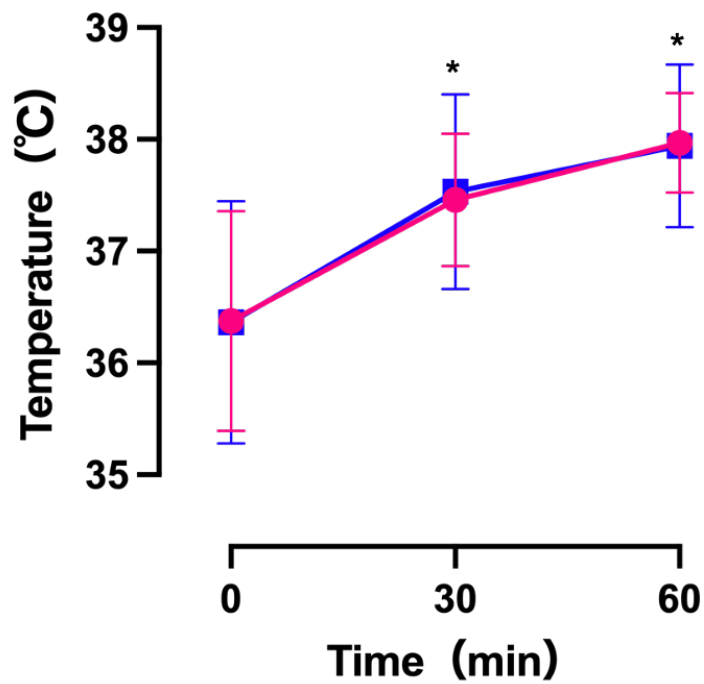


図3-3 直腸温の推移

L群およびH群における直腸温(mean ± SD) の推移を示している。縦軸は直腸温 (°C)、横軸は麻酔維持の時間 (min) をそれぞれ表している。

* はL群およびH群のそれぞれの群内での比較において統計学的に有意であることを示しており、その有意水準は $p < 0.05$ とした。

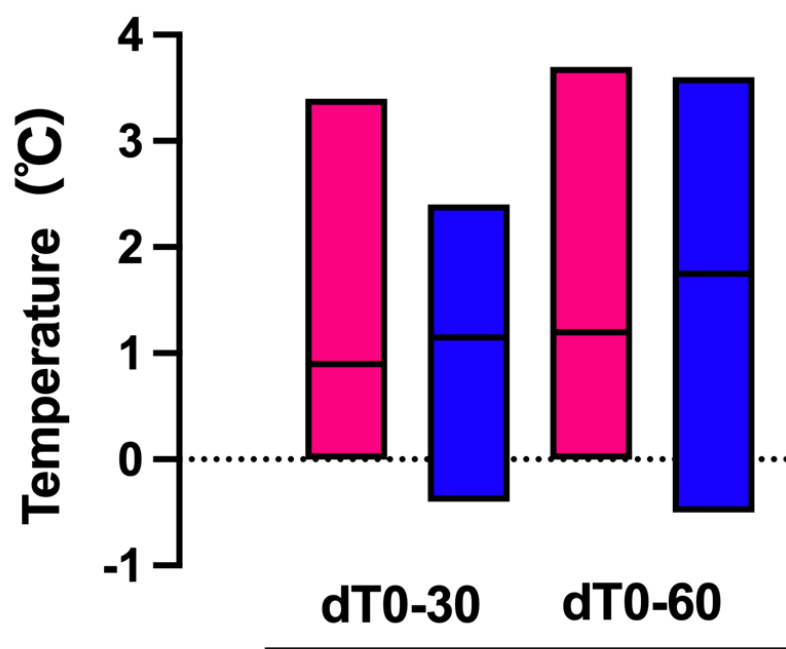


図3-4 直腸温の上昇温度

L群およびH群における直腸温の上昇温度 (mean ± SD) を示している。縦軸は上昇した温度 (°C)、横軸は直腸温を比較した時間をそれぞれ表している。

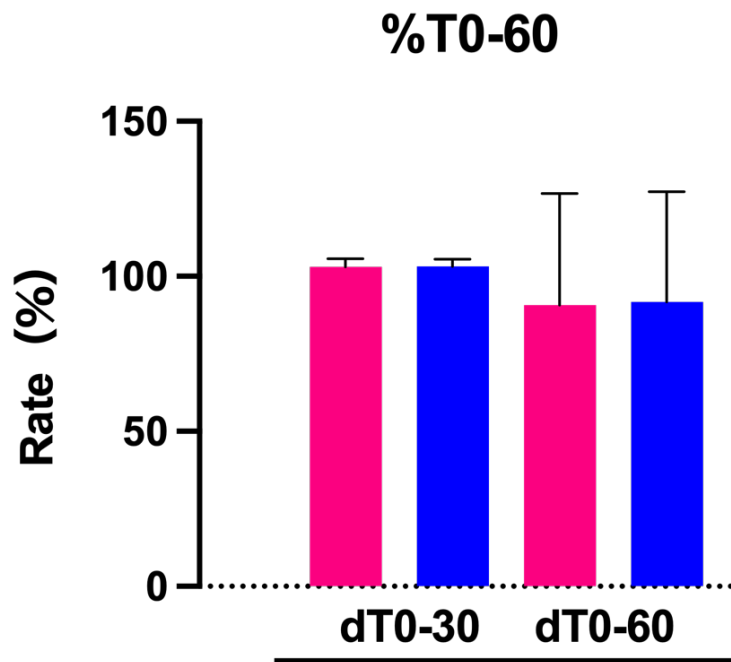


図3-5 直腸温の上昇率

L群およびH群における直腸温の上昇率 (mean ± SD) を示している。縦軸は上昇率(%)、横軸は直腸温を比較した時間をそれぞれ表している。

表3-3 シバリングの発生率

	T0		T30		T60	
	Shivering	Non-Shivering	Shivering	Non-Shivering	Shivering	Non-Shivering
L群	18	6	15	9	9	13
H群	13	12	11	14	4	19
<i>p</i> 値	0.1398		0.2563		0.1075	

イヌの頭数は実数で示されている。

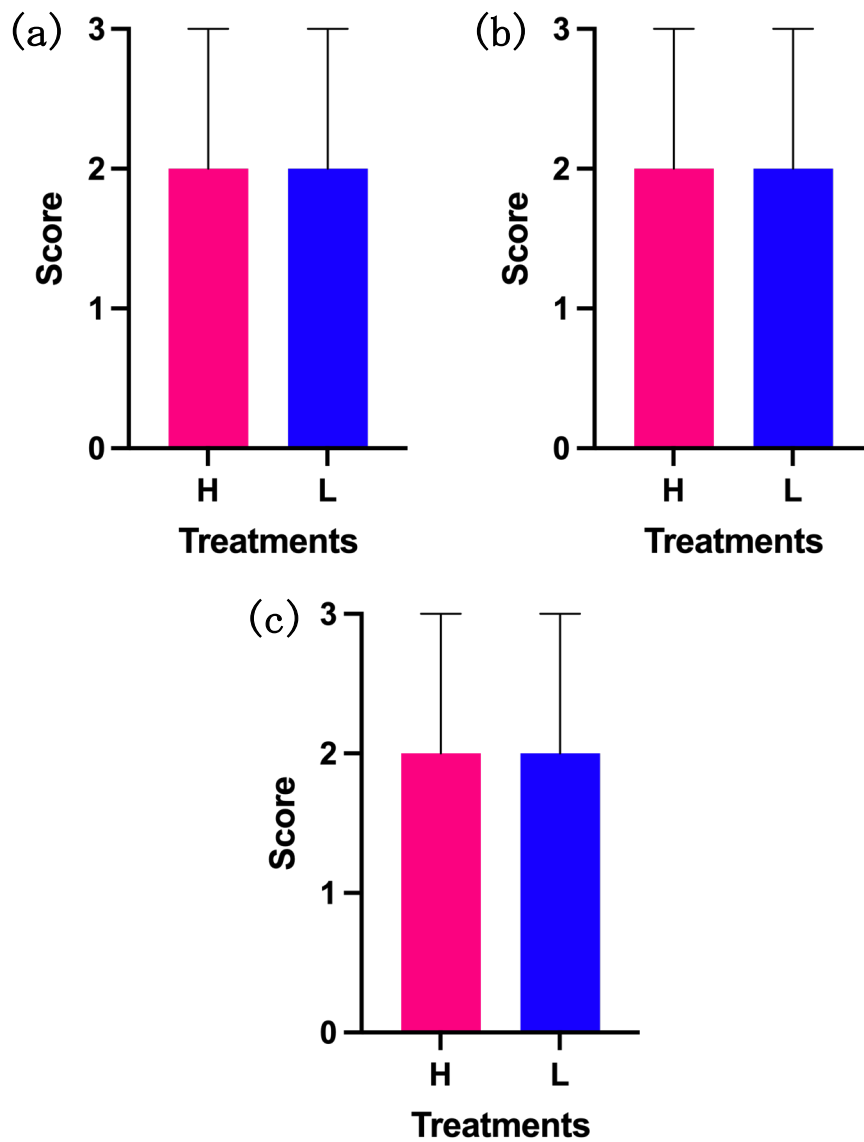


図3-6 (a, b, c) 覚醒スコア：姿勢

L群およびH群におけるT0 (a)、T30 (b)、T60 (c)での覚醒スコア (姿勢)を示している (median [range])。縦軸はスコア、横軸は処置群をそれぞれ表している。

表3-4 覚醒スコア：ヘッドアップ

	T0		T30		T60	
	Head up	Non-Head up	Head up	Non-Head up	Head up	Non-Head up
L群	23	1	24	0	24	0
H群	21	4	25	0	25	0
<i>p</i> 値	0.3487		>0.9999		>0.9999	

イヌの頭数は実数で示されている。

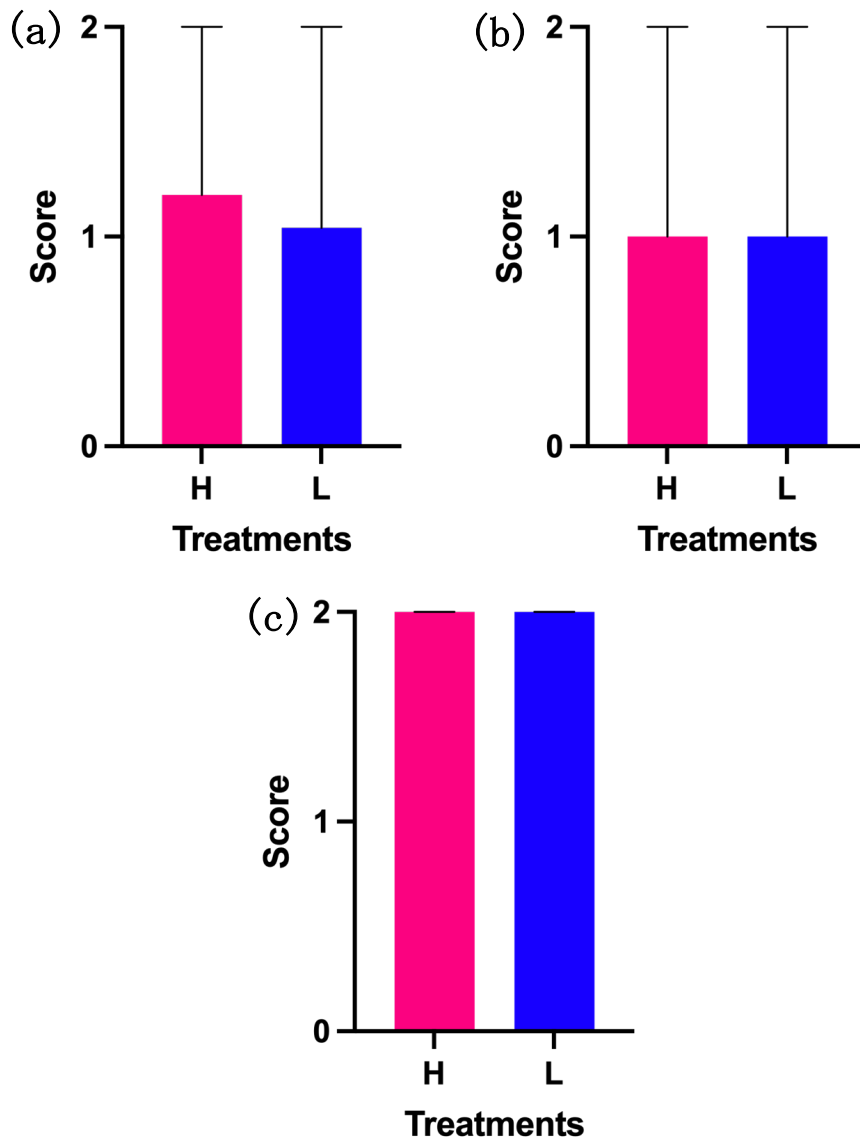


図3-7 (a, b, c) 覚醒スコア：音への反応

L群およびH群におけるT0 (a)、T30 (b)、T60 (c)での覚醒スコア（音への反応）を示している (median [range])。縦軸はスコア、横軸は処置群をそれぞれ表している。

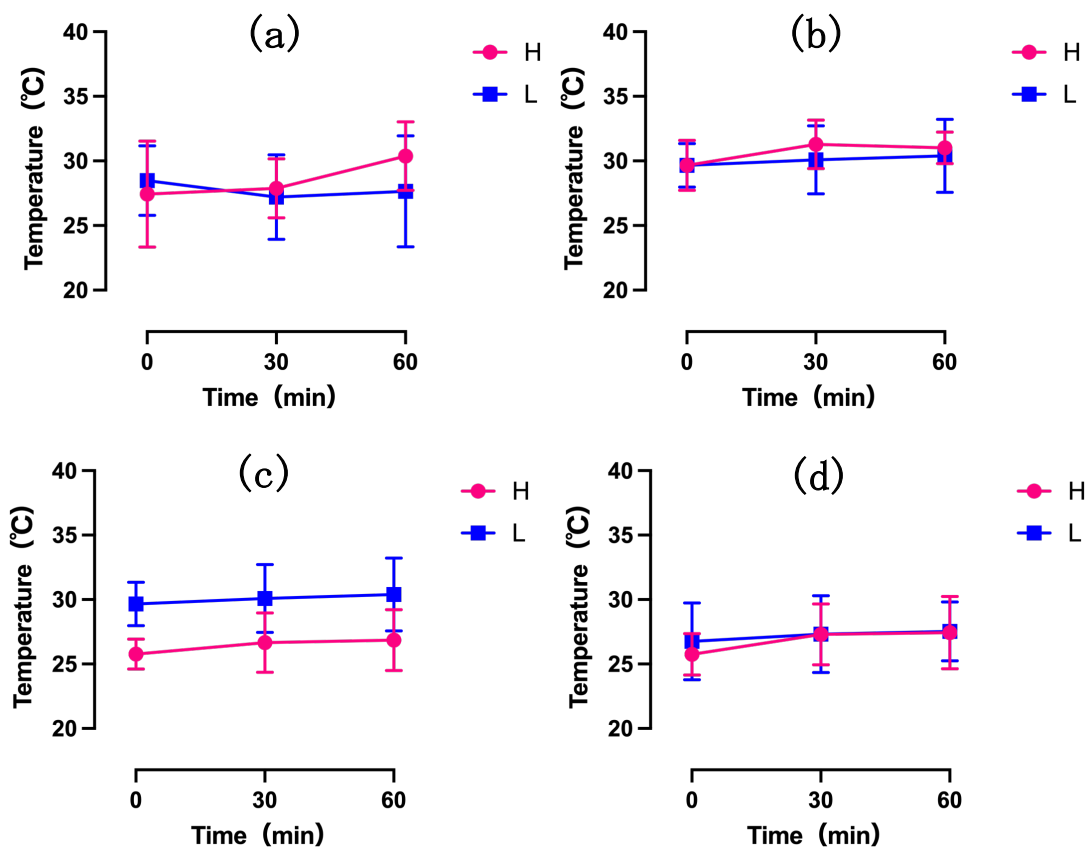


図3-8 (a, b, c, d) 体表温度

L群およびH群における各測定ポイントでの鼻鏡 (a)、体幹 (b)、前肢端 (c)、後肢端 (d) の体表温度をそれぞれ示している (mean \pm SD)。縦軸は表面温度 (°C)、横軸は麻酔維持の時間 (min) をそれぞれ表している。

考察

本研究において、室温が 25 ± 1 °Cに設定されていた群および室温が30 °C以上に設定されていた群の直腸温には、環境温の差にかかわらず、有意な差は認められなかった。また、覚醒スコアの各評価項目も、いずれの群間において有意な差は認められなかった。この結果から、環境温の違いは麻酔回復期における体温の回復に影響を与えないことが示唆された。低体温からの回復を促す方法について、獣医療における記述は乏しいが、ヒト医療では環境温の管理を含め低体温症に対する復温方法が多数検討および分類されている。

ヒト医療において低体温症に対する復温方法は能動的あるいは受動的な方法に大別される(Anan, 2013)。能動的復温方法は、さらに2つの方法に区別される。1つ目は、体外より熱源を接触あるいは照射を行うことで体表面を温める体外復温法である。体外復温法には、温風式加温装置や電气的加温装置、循環式温水マットの使用および温水浸水といった方法が挙げられる。2つ目は、体内への加温した液体や気体の循環、あるいは、血液そのものを加温する体内復温法である。体内復温法には、加温輸液の投与、胸腔または腹腔といった諸臓器への加温した滅菌生理食塩水の貯留、加温した酸素や空気を用いた呼吸介助および体外循環を利用した血液の直接加温といった方法が挙げられる。

一方、受動的復温方法は自然な復温を待つ方法であり、環境温度の調整やブランケットなどを被覆することによる保温が挙げられる。

ヒト医療において、受動的復温方法はシバリングによる体温調節が認められる場合、且つ低体温症の重症度が軽症に分類される場合に適用される (Anan, 2013)。しかしながら、受動的復温方法はその復温速度が遅いため、中等症以上の低体温が認められる場合や循環動態が不安定な症例に対しては適さない方法とも言われている。本研究の結果において、環境温の違いによって直腸温および覚醒スコアの回復に有意な差が認められなかったことから、本条件で設定した高環境温はヒト医療と同様に、速やかな復温の促進には寄与しなかったと考えられた。しかしながら、本研究で設定された高温環境の温度は 31.8 ± 1.3 °C であり、イヌの適正飼育温度とされる 15.5 °C から 26.6 °C を大幅に超える環境温であった (Jordan et al., 2016)。各診療施設において設定されている環境温は異なるものの、受動的復温方法による速やかな復温過程の達成のためだけに、恒常的に入院室の室温を 30 °C 以上に保つことは一般的な臨床現場において実践が困難であると考えられた。したがって、麻酔回復期において体温低下が認められた場合には、環境温の調整に依存した復温方法ではなく、他の能動的復温方法と併用して、復温を促すように介入を行う必要があると考えられた。

室温が 25 ± 1 °C に設定されていた群および室温が 30 °C 以上に設定されていた群におけるシバリングの発生率を比較すると、いずれの測定ポイントにおいても統計学的に有意な差は認められなかった。しかしながら、室温が 3

0 °C以上に設定されていた群の方がシバリングの発生率が低い傾向を示した。

麻酔回復期では麻酔深度が浅くなるにつれて、麻酔薬の投与によって開大したセットポイントが元に戻ろうとする(Pottie et al., 2007; Sessler, 2000)。シバリングは骨格筋が収縮することで生じるふるえであり、麻酔回復期において低体温を呈している場合は、ふるえによって代謝性産熱が増加され、体温が上昇する(Osilla et al., 2022)。シバリングは骨格筋に対する血流を増加させるため、熱放射による熱損失が増加するが、熱損失よりも代謝性産熱が上回るために体温が上昇する。また、復温過程においてはシバリングによる代謝生産熱に加え、環境温を高く設定することで熱対流による熱損失を軽減し、より効率のよい復温が可能となる(Muir et al., 2013)。本研究では、室温が30 °C以上に設定されていた群の方がシバリングの発生率が低い傾向を示したことから、熱対流による熱損失が軽減され、体温を維持しやすい環境であった可能性が考えられた。

しかし、前述した通り、本研究における環境温の条件では直腸温の回復に有意な差は認められなかった。この結果から、本研究における高温環境がシバリングの発生率を軽減したのではなく、低温環境下に置かれたイヌではシバリングによって代謝性産熱が増加することで、結果的に高温環境下に置かれたイヌと同等の直腸温を維持した可能性も考えられた。

シバリングによって酸素消費量が大幅に増加した結果、酸素供給量が不足し心血管系に負担が生じると、患者動物の状態悪化を引き起こす可能性がある(Beilin et al., 1998)。また、ヒト医療では麻酔回復過程におけるシバリ

シバリングは不快感を伴うだけでなく、痛みを伴う患者では、その痛みを増悪させる要因になるとされている(鈴木, 2013)。そのため、可能な限りシバリングの発現を抑制するために、麻酔中に体温を低下させないよう体温管理に努めるのはもちろんのこと、麻酔回復期においても患者動物への負担が少なくなるような看護的配慮が求められる。

小動物臨床の現場において、MRI検査を目的に来院するイヌは、脊髄疾患などによって痛みを呈することが少なくない(Fenn et al., 2020)。したがって、復温への影響の有無に関わらず、環境温に配慮しシバリングの発現を抑制させることでさらなる痛みが生じるリスクを軽減する必要があると考えられた。また、イヌはヒトとは異なり、患者動物が快適だと感じる温度の情報をイヌから得ることは困難である。よって、獣医療従事者は麻酔前後のイヌの状態や飼い主からの稟告といった多面的な情報を合わせて評価し、個々の患者動物にとってより良い環境作りに努める必要があると考えられた。

室温が 25 ± 1 °Cに設定されていた群および室温が30 °C以上に設定されていた群における体表温度を比較すると、鼻鏡、体幹、前肢端および後肢端の全ての測定箇所において有意な差は認められなかった。臨床現場において、触知による熱感や冷感の評価を行う箇所として、体幹や四肢末端が一般的である。よって、本研究では体幹および前後肢端の体表温度に着目して考察を述べる。

一般的に、覚醒時のイヌの体幹および末梢温度は約29 °Cから33 °Cとされている(Muir et al., 2013)。本研究の結果では入院室へ入室した時点での体

幹の体表温度は、室温が $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ に設定された群では $29.6 \pm 1.6 \text{ }^\circ\text{C}$ 、室温が $30 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上に設定されていた群では $29.6 \pm 1.9 \text{ }^\circ\text{C}$ であり、以降、いずれの群においても緩やかな上昇を示し、一般的な覚醒時のイヌの体表温度と同等であった。また、いずれの測定ポイントにおいても、室温が $30 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上に設定されていた群における体表温度は室温が $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ に設定された群と比較し、ごく僅かではあるものの高値を示した。一方、入院室へ入室した時点での前後肢端の表面温度は、室温が $25 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ に設定された群では前肢端が $26.3 \pm 2.0 \text{ }^\circ\text{C}$ 、後肢端が $26.3 \pm 2.9 \text{ }^\circ\text{C}$ 、同様に室温が $30 \text{ }^\circ\text{C}$ 以上に設定されていたでは $25.7 \pm 1.1 \text{ }^\circ\text{C}$ および $25.7 \pm 1.1 \text{ }^\circ\text{C}$ であり、一般的な覚醒時のイヌの末梢温度よりも低い値を示した。なお、以降は体幹の体表温度の上昇と、ほぼ同様の推移で緩やかに上昇した。

この結果から、麻酔回復期において体幹の体表温度を測定する際は、環境温を考慮する必要があると考えられた。しかしながら、OUS-VMTHにおいて赤外線サーモグラフィを用いた体表温度の測定は、試験的な運用であり、測定頭数も僅かであった。また、本研究における体幹の体表温度は一般的な覚醒時のイヌの体表温度と同等の値であったが、前後肢端の体表温度はその値と合致しなかったことから、体表温度の測定に依存した体温管理が適切であるかの判断は不可能であった。さらに、イヌが保有する被毛の特性によって断熱機能に相違があるものの(岡崎 and 岩寄, 2015)、本研究ではそれらを考慮できなかった。イヌが保有する被毛の違いが体表温度の変化に及ぼす影響について検討することはできておらず、本研究における研究限界であった。

以上のことから、全身麻酔下でのMRI検査を実施したイヌの復温過程において、本条件での高環境温は直腸温の回復およびシバリングの発生率に影響を及ぼさないことが明らかとなった。

小括

本章では、岡山理科大学獣医学教育病院にて全身麻酔下でのMRI検査を実施したイヌの看護記録を回顧的に調査し、環境温の違いが麻酔回復期におけるイヌの体温回復に及ぼす影響について検討することを目的とした。

結果より、本条件における環境温の違いによって、直腸温の回復およびシバリングの発生率に有意な差は認められなかった。

以上のことから、全身麻酔下でMRI検査を実施したイヌの復温過程において本条件での高環境温は直腸温の回復およびシバリングの有無に影響を及ぼさないことが明らかとなった。

総括

本研究は、全身麻酔下でのMRI検査におけるイヌの体温管理方法について、周麻酔期動物看護の観点から検討することを目的とした。

第1章第1節では、全身麻酔下でのMRI検査が実施されたイヌの麻酔記録を回顧的に調査し、湯たんぽが体温に及ぼす影響について検討した。第1節の結果より、全身麻酔下でのイヌのMRI検査における湯たんぽはMRI検査開始初期の体温低下を有意に抑制することが示唆されたが、その効果が持続するのはごく短時間であり、低体温を完全に予防することは叶わなかった。第1節の結果をうけて、第2節では第1節において臨床例に対して使用されていたのと同じ条件の湯たんぽを作成、MRI室内に設置し、湯たんぽの温度の推移について再現的に検証した。第2節の結果により、湯たんぽの表面温度は一部の測定箇所を除き、加温直後と比較し90分後で有意な低下が認められた。しかし、全ての測定箇所では30分から60分の間に、湯たんぽの表面温度は40℃を大幅に下回るだけでなく、60分後において全ての測定箇所において湯たんぽの表面温度は約37℃まで低下した。以上より、湯たんぽはMRI検査開始初期の体温低下を僅かに軽減とするものの、その効果が長時間持続することは期待できないことを認識した上で体温管理に臨む必要があると考えられた。

第2章では、MRI検査における加温輸液の静脈内投与による体温管理を行うための前検討として、MRI室と同様の室温環境下において、加温輸液の静脈内投与が全身麻酔下にあるイヌの直腸温に及ぼす影響を実験的に検討した。結果から、小動物専用輸液加温装置を用いた加温輸液の静脈内投与は、イソフルラン全身麻酔下にあるイヌの体温低下を有意に抑制しないことが明らかとなった。一方、小動物専用輸液加温装置を用いることで、全身麻酔終了後の直腸温が37℃まで回復するために要した時間およびシバリングの持続時間が短縮する傾向を示した。以上より、全身麻酔下でのイヌもMRI検査における加温輸液の静脈内投与は、MRI検査中の体温管理方法としてその効果は期待できないと考えられた。麻酔回復過程において、加温輸液の投与を行うのであれば、体内に投与される直前まで加温を持続することが望ましいと考えられた。

第1章および第2章の結果をうけて、麻酔回復期の復温への介入に着目した。第3章では、全身麻酔下でMRI検査を実施したイヌの看護記録を回顧的に調査し、環境温の違いが、全身麻酔下でのイヌのMRI検査後の体温回復に及ぼす影響について回顧的に調査することを目的とした。結果より、本条件における環境温の違いによって、直腸温の回復およびシバリングの発生率に有意な差は認められなかった。以上より、本条件での環境温では直腸温の回復およびシバリングの発生率に影響を及ぼさなかったものの、イヌにとってより安全かつ安寧な環境を提供できるように環境温の設定については十分に配慮を行うべきであると考えられた。

本研究の結果により、湯たんぽや加温輸液の投与および室温調整による全身麻酔下でのMRI検査中および検査後の体温管理は、いずれの方法も低体温の予防あるいは復温の促進に大きく貢献するものではなく、その効果は限定的なものであることが明らかとなった。これらの結果は、それぞれの体温管理方法が有する体温管理の特徴を正しく理解した上で介入を実施しなければ、望むような効果は期待できないということを示唆するものであった。

本研究で検討の対象となった体温管理方法は、その効果が十分に検証されないまま、従来から小動物臨床の現場において慣例的に利用されてきた。そして、動物看護分野では体温管理に限らず、日々の臨床現場において実践されている看護ケアの中にも、その効果が十分に検討されないまま実施されているものが数多くある。慣例的に実施されてきた看護ケアについて科学的検討を積み上げていくことは、今後の動物看護分野の発展に不可欠であると考えられた。

謝辞

本稿を終わるに臨み、本研究において終始御指導および御鞭撻を賜りました、日本獣医生命科学大学 獣医学部 獣医保健看護学科 獣医保健看護学臨床部門 石岡克己 教授、岡山理科大学 獣医学部 獣医学科 獣医麻酔科学講座 神田鉄平 教授に心から深謝いたします。

また、本研究において多大なる御協力および御助言を賜りました、岡山理科大学 獣医学部 獣医学科 浅沼武敏 教授、岡村泰彦 教授、前田憲孝 准教授、久楽賢治 講師、大西章弘 助教、糸井崇将 助教、および同学部 獣医保健看護学科 古本佳代 准教授、佐伯香織 講師、宮部真裕 助教に厚く御礼申し上げます。

そして、岡山理科大学獣医学教育病院に勤務しながらの大学院進学および在籍を快く御承諾いただきました、学校法人 加計学園 加計孝太郎 理事長に心からの御礼を申し上げます。

最後になりましたが、本研究の遂行に多大なる御協力を賜りました岡山理科大学獣医学教育病院ならびに、岡山理科大学 獣医学部の職員各位に深く感謝いたします。

引用文献

Aarnes, T.K., Bednarski, R.M., Lerche, P., Hubbell, J.A.E., 2017. Effect of pre-warming on perioperative hypothermia and anesthetic recovery in small breed dogs undergoing ovariohysterectomy. *Can. Vet. J. Rev. Veterinaire Can.* 58, 175-179.

Anan, H., 2013. Environmental Temperature Disorders -Accidental Hypothermia and Heat Illness-. *Nihon Naika Gakkai Zasshi* 102, 168-173.

Anesthesia Patient Safety Foundation, 2019. ERAS: Roadmap For A Safe Perioperative Journey.

Becerra, Á., Valencia, L., Saavedra, P., Rodríguez-Pérez, A., Villar, J., 2021. Effect of prewarming on body temperature in short-term bladder or prostatic transurethral resection under general anesthesia: A randomized, double-blind, controlled trial. *Sci. Rep.* 11, 20762.

Bednarski, R., Grimm, K., Harvey, R., Lukasik, V.M., Penn, W.S., Sargent, B., Spelts, K., 2011. AAHA anesthesia guidelines for dogs and cats. *J. Am. Anim. Hosp. Assoc.* 47, 377-385.

Beilin, B., Shavit, Y., Razumovsky, J., Wolloch, Y., Zeidel, A., Bessler, H., 1998. Effects of mild perioperative hypothermia on cellular immune responses. *Anesthesiology* 89, 1133-1140.

Bille, C., Auvigne, V., Bomassi, E., Durieux, P., Libermann, S., Rattez, E., 2014. An evidence-based medicine approach to small animal anaesthetic mortality in a referral practice: the influence of initiating three recommendations on subsequent anaesthetic deaths. *Vet. Anaesth. Analg.* 41, 249-258.

Bindu, B., Bindra, A., Rath, G., 2017. Temperature management under general anesthesia: Compulsion or option. *J. Anaesthesiol. Clin. Pharmacol.* 33, 306-316.

Brady, R.B.E., Poppell, W.T., 2020. Effect of intravenous fluid warming on core body temperature during elective orthopedic procedures 61, 5.

Cabell, L.W., Perkowski, S.Z., Gregor, T., Smith, G.K., 1997. The effects of active peripheral skin warming on perioperative hypothermia in dogs. *Vet. Surg.* VS 26, 79-85.

Clark-Price, S., 2015. Inadvertent Perianesthetic Hypothermia in Small Animal Patients. *Vet. Clin. North Am. Small Anim. Pract.* 45, 983-994.

Clark-Price, S.C., Dossin, O., Jones, K.R., Otto, A.N., Weng, H.-Y., 2013. Comparison of three different methods to prevent heat loss in healthy dogs undergoing 90 minutes of general anesthesia. *Vet. Anaesth. Analg.* 40, 280-284.

- Cronin, J.A., Shen, C., Rana, S., Fricke, S.T., Matisoff, A., 2019. Association Between Magnetic Resonance Imaging in Anesthetized Children and Hypothermia. *Pediatr. Qual. Saf.* 4, e181.
- Davies, P.A., 2014. GABAA Receptor Genetics and Clinical Pharmacology. *Curr. Anesthesiol. Rep.* 4, 42-48.
- de Brito Poveda, V., Clark, A.M., Galvão, C.M., 2013. A systematic review on the effectiveness of prewarming to prevent perioperative hypothermia. *J. Clin. Nurs.* 22, 906-918.
- De Witte, J.L., Demeyer, C., Vandemaele, E., 2010. Resistive-heating or forced-air warming for the prevention of redistribution hypothermia. *Anesth. Analg.* 110, 829-833.
- Díaz, M., Becker, D.E., 2010. Thermoregulation: physiological and clinical considerations during sedation and general anesthesia. *Anesth. Prog.* 57, 25-32; quiz 33-34.
- Faries, G., Johnston, C., Pruitt, K.M., Plouff, R.T., 1991. Temperature relationship to distance and flow rate of warmed i.v. fluids. *Ann. Emerg. Med.* 20, 1198-1200.
- Fenn, J., Olby, N.J., Canine Spinal Cord Injury Consortium (CANSORT-SCI), 2020. Classification of Intervertebral Disc Disease. *Front. Vet. Sci.* 7, 579025.
- Grimm, K., 2015. Perioperative Thermoregulation and Heat Balance, in: *Veterinary Anesthesia and Analgesia The Fifth Edition of Lamb and Jones.* pp. 372-379.

Haskins, S.C., 1981. Hypothermia and its prevention during general anesthesia in cats. *Am. J. Vet. Res.* 42, 856-861.

Hilary, O., Welsh, P., 2011. Contemporary Veterinary Nursing, in: *Hand Book of Veterinary Nursing*. pp. 1-104.

Horn, E.-P., Bein, B., Böhm, R., Steinfath, M., Sahili, N., Höcker, J., 2012. The effect of short time periods of pre-operative warming in the prevention of peri-operative hypothermia. *Anaesthesia* 67, 612-617.

Hynson, J.M., Sessler, D.I., 1992. Intraoperative warming therapies: a comparison of three devices. *J. Clin. Anesth.* 4, 194-199.

Hynson, J.M., Sessler, D.I., Moayeri, A., McGuire, J., Schroeder, M., 1993. The effects of preinduction warming on temperature and blood pressure during propofol/nitrous oxide anesthesia. *Anesthesiology* 79, 219-228, discussion 21A-22A.

Japanese Society of Anesthesiologists, 2014. JSA airway management guideline 2014: to improve the safety of induction of anesthesia. *J. Anesth.* 28, 482-493.

Jordan, M., Bauer, A.E., Stella, J.L., Croney, C., 2016. *Temperature Requirements for Dogs*.

Just, B., Trévien, V., Delva, E., Lienhart, A., 1993. Prevention of intraoperative hypothermia by preoperative skin-surface warming. *Anesthesiology* 79, 214-218.

Kanda, T., Ikeda, M., Ouchi, M., Nagasaki, A., Yamamoto, R., Morishita, T., Maeta, N., Sasaki, T., Furumoto, K., Kake, S., Murao, N., Furukawa, T., 2011. Administration of Warmed Intravenous Fluids for Medetomidine-induced Hypothermia in Normal Dogs. *Jpn. J. Vet. Anesth. Surg.* 42, 7-12.

Kibanda, J.O., Gurney, M., 2012. Comparison of two methods for the management of intraoperative hypothermia in dogs. *Vet. Rec.* 170, 392.

Lee, R.A., Towle Millard, H.A., Weil, A.B., Lantz, G., Constable, P., Lescun, T.B., Weng, H.-Y., 2014. In vitro evaluation of three intravenous fluid line warmers. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 244, 1423-1428.

Lo, C., Ormond, G., McDougall, R., Sheppard, S.J., Davidson, A.J., 2014. Effect of magnetic resonance imaging on core body temperature in anaesthetised children. *Anaesth. Intensive Care* 42, 333-9.

Ma, H., Lai, B., Dong, S., Li, X., Cui, Y., Sun, Q., Liu, W., Jiang, W., Xu, F., Lv, H., Han, H., Pan, Z., 2017. Warming infusion improves perioperative outcomes of elderly patients who underwent bilateral hip replacement. *Medicine (Baltimore)* 96, e6490.

Matsukawa, T., Sessler, D.I., Sessler, A.M., Schroeder, M., Ozaki, M., Kurz, A., Cheng, C., 1995. Heat flow and distribution during induction of general anesthesia. *Anesthesiology* 82, 662-673.

Moritz, A.R., Henriques, F.C., 1947. Studies of Thermal Injury: II. The Relative Importance of Time and Surface Temperature in the Causation of Cutaneous Burns. *Am. J. Pathol.* 23, 695-720.

Muir, W., Lerche, P., Wiese, A., Nelson, L., Pasloske, K., Whittem, T., 2008. Cardiorespiratory and anesthetic effects of clinical and supraclinical doses of alfaxalone in dogs. *Vet. Anaesth. Analg.* 35, 451-462.

Muir, W.W., Hubbell, J.A.E., Bednarski, R.M., Lerche, P. (Eds.), 2013. Temperature Regulation During Anesthesia: Anesthetic-Associated Hypothermia and Hypothermia, in: *Handbook of Veterinary Anesthesia*. Elsevier Mosby, St. Louis, pp. 330-347.

Onozawa, E., Azakami, D., Seki, S., Hamamoto, Y., Ishioka, K., 2021. Effect of an Insulation Device in Preventing Hypothermia during Magnetic Resonance Imaging Examinations for Dogs and Cats under General Anesthesia. *Anim. Open Access J. MDPI* 11.

Osilla, E.V., Marsidi, J.L., Sharma, S., 2022. Physiology, Temperature Regulation, in: *StatPearls*. StatPearls Publishing, Treasure Island (FL).

Pinheiro, J.M.B., 2018. Preventing hypothermia in preterm newborns - simple principles for a complicated task. *J. Pediatr. (Rio J.)* 94, 337-339.

Potter, J., Murrell, J., MacFarlane, P., 2015. Comparison of two passive warming devices for prevention of perioperative hypothermia in dogs. *J. Small Anim. Pract.* 56, 560-565.

Pottie, R., Dart, C., Perkins, N., Hodgson, D., 2007. Effect of hypothermia on recovery from general anaesthesia in the dog. *Aust. Vet. J.* 85, 158-162.

Redondo, J.I., Suesta, P., Serra, I., Soler, C., Soler, G., Gil, L., Gómez-Villamandos, R.J., 2012. Retrospective study of the prevalence of postanaesthetic hypothermia in dogs. *Vet. Rec.* 171, 374.

Rigotti, C.F., Jolliffe, C.T., Leece, E.A., 2015. Effect of prewarming on the body temperature of small dogs undergoing inhalation anesthesia. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 247, 765-770.

Rosenberger, L.H., Politano, A.D., Sawyer, R.G., 2011. The surgical care improvement project and prevention of post-operative infection, including surgical site infection. *Surg. Infect.* 12, 163-168.

Ruth, M., Sridharan, N., Rai, E., Joselyn, A., 2020. A prospective observational study to evaluate the magnitude of temperature changes in children undergoing elective MRI under general anesthesia. *Saudi J. Anaesth.* 14, 200.

Şen, Z.B., Kiliç, N., 2018. General Anesthesia in Geriatric Dogs with Propofol-Isflurane, PropofolSevoflurane, Alphaxalone-

- Isoflurane, Alphaxalone-Sevoflurane and Their Comparison of Biochemical, Hemodynamic and Cardiopulmonary Effects. *Acta Sci. Vet.* 46, 9.
- Sessler, D.I., 2001. Complications and Treatment of Mild Hypothermia 95, 13.
- Sessler, D.I., 2000. Perioperative heat balance. *Anesthesiology* 92, 578-596.
- Sessler, D.I., Schroeder, M., Merrifield, B., Matsukawa, T., Cheng, C., 1995. Optimal duration and temperature of prewarming. *Anesthesiology* 82, 674-681.
- Sharma, D., Sharma, P., Shastri, S., 2017. Golden 60 minutes of newborn' s life: Part 2: Term neonate. *J. Matern.-Fetal Neonatal Med. Off. J. Eur. Assoc. Perinat. Med. Fed. Asia Ocean. Perinat. Soc. Int. Soc. Perinat. Obstet.* 30, 2728-2733.
- Tan, C., Govendir, M., Zaki, S., Miyake, Y., Packiarajah, P., Malik, R., 2004. Evaluation of four warming procedures to minimise heat loss induced by anaesthesia and surgery in dogs. *Aust. Vet. J.* 82, 65-68.
- Tremoleda, J.L., Macholl, S., Sosabowski, J.K., 2018. Anesthesia and Monitoring of Animals During MRI Studies. *Methods Mol. Biol. Clifton NJ* 1718, 423-439.

Wang, L., Yin, H., Di, Y., Liu, Y., Liu, J., 2016. Human local and total heat losses in different temperature. *Physiol. Behav.* 157, 270-276.

World Health Organization, 2009. WHO Guidelines for Safe Surgery 2009: Safe Surgery Saves Lives, WHO Guidelines Approved by the Guidelines Review Committee. World Health Organization, Geneva.

Xu, H., You, Z.-J., Zhang, H., Li, Z., 2010. Prevention of hypothermia by infusion of warm fluid during abdominal surgery. *J. Perianesthesia Nurs. Off. J. Am. Soc. PeriAnesthesia Nurses* 25, 366-370.

公益財団法人日本医療機能評価機構, 2013. 湯たんぼ使用時の熱傷. 医療事故情報収集等事業 第35回報告書.

及川慶浩, 山蔭道明, 西村チエ子, 2007. 体温管理の基礎知識, in: 事例で学ぶ手術期体温管理. 真興交易株式会社医書出版部, 東京.

吉田葵, 宮坂勝之, 2013a. 周麻酔期看護とは. *日本手術医学会誌* 34, 121-125.

吉田葵, 宮坂勝之, 2013b. 本邦における「周麻酔期看護師」の役割-その教育と実践-. *J. Jpn. Surg. Soc.* 114, 58-61.

吉田葵, 宮坂勝之, 2012. 聖路加看護大学が目指す周麻酔期看護師. *聖路加看護学会誌* 16, 35-37.

岡崎登志夫, 岩寄哲巳, 2015. 熱流束測定装置を用いた動物被毛の断熱保温機能の解析. *生物試料分析* 38, 189-195.

日本獣医麻酔外科学会 麻酔・疼痛管理専門委員会, 2021. 犬および猫の臨床例に安全な全身麻酔を行うためのモニタリング指針.

日本麻酔医科学会, 2022. 安全な鎮静のためのプラクティカルガイド.

日本麻酔医科学会, 2019. 安全な麻酔のためのモニター指針.

武田純三, 2007. ミラー麻酔科学, 第6版. ed. メディカル・サイエンス・インターナショナル, 東京.

清水夕貴, 阿部舞央, 岡田侑利香, 古賀望美, 西美咲, 原田優香理, 樋口菜津子, 藤原由起子, 待鳥明日香, 松並佑里, 森本遙, 矢木晶, 吉國真衣, 糸井崇将, 神田鉄平, 2018. 全身麻酔下のイヌに低温熱傷を負わせた一事例. Vet. Nurs. 22, 41-47.

田村純, 2014. 犬における筋肉内投与による新たな注射麻酔法の開発 (博士論文). 酪農学園大学.

鈴木怜夢, 2013. 温風式加温装置による加温時間と中枢-抹消温度の温度変化の関係性 (修士論文). 聖路加看護大学.

飯田智恵, 山本昇, 2004. 低温熱傷発症条件に関する実験的検討. 日本看護研究学会雑誌 27, 1_43-1_50.