

開胸術の麻酔管理 2 : 大型犬の肺葉切除術における 麻酔疼痛管理の 1 例

山下和人 (酪農学園大学獣医学部伴侶動物医療教育群 附属動物病院麻酔科)

はじめに

獣医療における診断治療法の進歩によって、二次診療を担う動物診療施設では、心血管系や肺または胸部食道を対象とした外科手術など、開胸術によって術野にアプローチする外科手術が一般的に実施されている。開胸術では、術式自体が動物の呼吸循環機能に大きな影響を及ぼすことから、麻酔中には積極的な呼吸循環管理が要求される。また、術前後には、症例の呼吸循環機能の安定化を目的とした周術期管理が要求されることもしばしばある。さらに、開胸術は術後疼痛が最大と予想される外科手術の1つであり、積極的な疼痛管理も必要となる¹⁾。RGU-VTH麻酔科Case Reportシリーズでは、前回、小型犬の肺葉切除術における麻酔管理症例を紹介した。本稿では、大型犬の肺葉切除術における麻酔管理症例について解説する。

症例報告

1 | 症例の概要

- プロフィール：バーニーズ・マウンテンドッグ、雄、7歳齢、体重32.4kg
- 術前の全身状態：ASA分類クラスII（高齢）、いくぶん攻撃的
- 手術内容：右肺中葉切除術
- 予想される術後疼痛の程度：重度

本症例は、耳介腫瘍および陰囊周囲の腫瘍を主訴にホームドクターを受診したが、その術前X線検査にて右肺に腫瘍が確認されたことから、精査を目的に酪農学園大学附属動物病院 (RGU-VTH) 腫瘍科に紹介来院した。RGU-VTH腫瘍科初診時 (第1病日) における本症例は、元気・食欲があり、体温39.3℃、心拍数152回/分、呼吸数116回/分であった。血液検査および血清生化学検査では顕著な異常は認められなかった (表1)。CT検査において右肺中葉領域に軽度造影増強効果のある腫瘍を認めた (図1)。また、超音波ガイド下で実施した肺腫瘍の針生検材料により、上皮性腫瘍と組織学的に診断された (RGU-VTH病理診断科 谷山弘行 教授)。

以上の所見から、第20病日に右第5肋間開胸アプローチ

表1 第1病日の血液検査および血清生化学検査所見

血液検査	血清生化学検査	
WBC (/ μ L)	TP (g/dL)	7.0
RBC ($\times 10^4$ / μ L)	ALB (g/dL)	3.4
HGB (g/dL)	血糖 (mg/dL)	100
HCT (%)	T-Chol (mg/dL)	257
MCV (fL)	BUN (mg/dL)	20.4
MCH (pg)	CREA (mg/dL)	1.2
MCHC (g/dL)	T-Bil (mg/dL)	0.4
血小板 ($\times 10^3$ / μ L)	D-Bil (mg/dL)	0.0
	ALP (U)	178
	AST (U)	88
	ALT (U)	48
	GGT (U)	4
	Na (mEq/L)	148
	K (mEq/L)	4.6
	Cl (mEq/L)	111
	Ca (mg/dL)	11.3
	Phos (mg/dL)	3.1

による右肺中葉切除術を実施した (RGU-VTH腫瘍科 廉澤剛 教授)。切除された腫瘍は病理組織学的に肺腺癌と診断され、切除ラインに腫瘍組織は認められなかった (RGU-VTH病理診断科 谷山弘行 教授)。

2 | 術前評価

手術当日 (第20病日) の本症例は一般状態良好であり、7歳齢という年齢を考慮して術前の全身状態をASA分類のクラスII³⁾と判断した。また、肋間開胸アプローチによる右肺中葉切除術が計画されたことから、その術後疼痛は最大¹⁾と予想した。

3 | 麻酔/疼痛管理プロトコール (表2)

本症例では、「最大」と予想される術後疼痛を考慮し、手術刺激が加わる前に鎮痛薬を投与する「先取り鎮痛」および作用機序の異なる複数の鎮痛薬を併用する「マルチモーダル鎮痛」を計画した。すなわち、麻酔前投薬として非ステロイド系抗炎症薬 (NSAID) のメロキシカムを用いるとともに、術中鎮痛および術後疼痛管理として麻薬性オピオイドのレミフェンタニルおよびN-メチル-D-アスパラギン酸受容体 (NMDA受容体) 拮抗薬のケタミンを持続静脈内投与 (CRI) し、開胸前に長時間作用型局所麻酔薬のロピバカインを用いた肋間ブロックを計画した。麻酔維持にはプロポフォールCRIを用い、術中鎮痛のレミフェンタニルおよびケタミンとプロポフォールによる全静脈麻酔 (PRK-TIVA) を実施することと

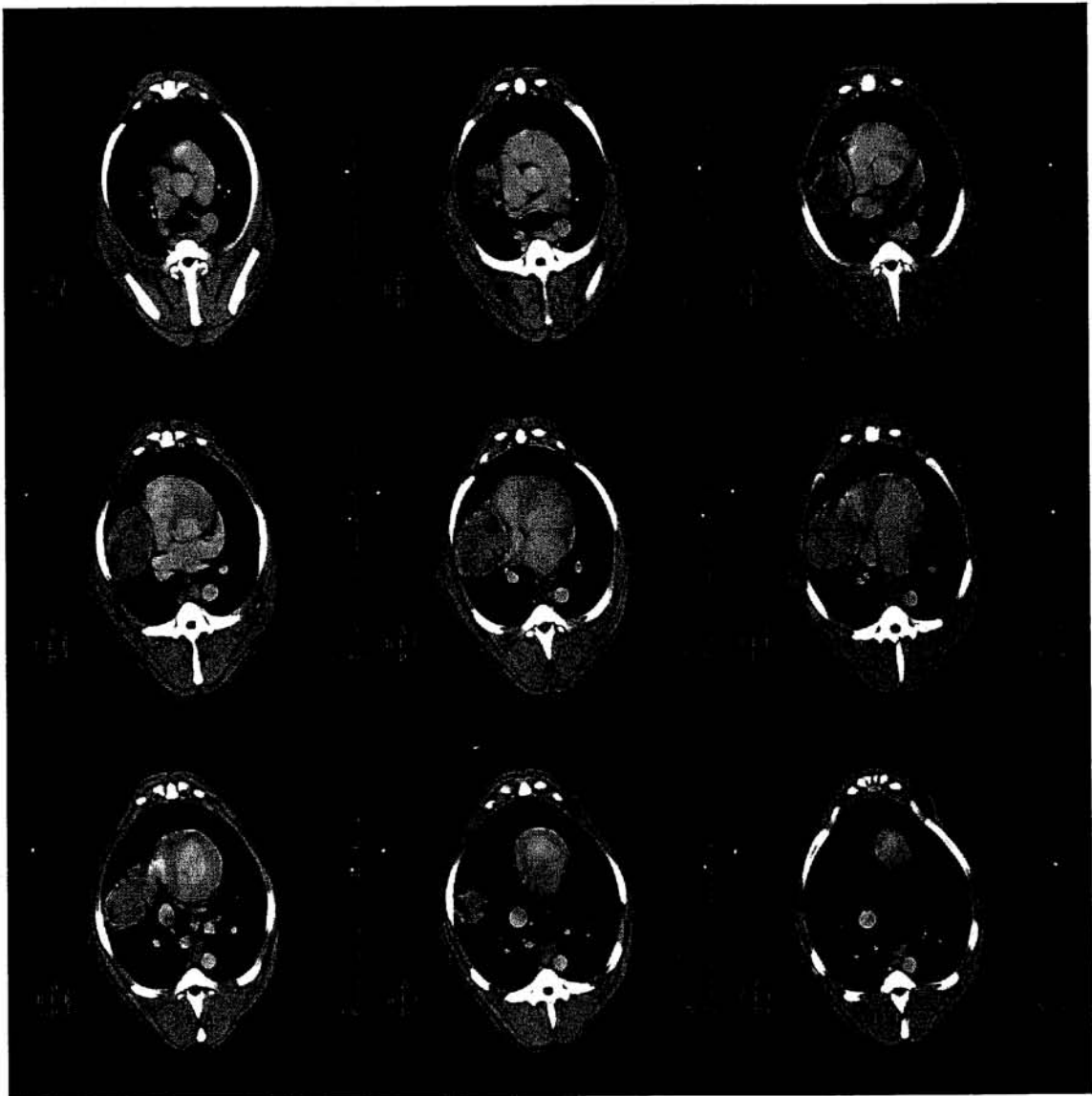


図1 術前の胸部CT検査所見(第1病日:造影剤投与後3分目)
術前の胸部CT検査において、右肺中葉領域に軽度に造影増強効果のある腫瘍を認めた(RGU-VTH画像診断科 中出哲也教授)

した。また、本症例は大型犬でいくぶん攻撃的であったことから、麻酔前投薬に強い鎮静作用を示すフェノチアジン系トランキライザーのアセプロマジン併用するとともに、レミフェentanil CRIによって引き起こされる迷走神経緊張性徐脈の防止を目的としてアトロピンを併用した。なお、開胸術を行うために、術中には調節呼吸による呼吸管理を実施した。

〔麻酔前投薬〕

薬物投与前に左橈側皮静脈に22G留置針(スーパーキャス:メディキット)を留置し、血管を確保した。続いて、麻酔前投薬として、アセプロマジン0.05mg/kg (ACEPROMAZINE MALEATE INJECTION:VEDCO、米国)およびケタミン0.5mg/kg (ケタミン注5%「フジタ」:フジタ製薬、術中ケタミンCRIの負荷用量も兼ねる)を混合して静脈内投与(IV)し、先取り鎮痛、筋弛緩、および軽度の鎮静作用を得た。また、メロキシカム(メタカム注:ベーリンガーインゲルハイム)0.2mg/kgを皮下投与(SC)し、アトロピン(硫酸アトロピン注:扶桑薬品)0.05mg/kgを筋肉内投与(IM)した。

〔麻酔導入および麻酔維持〕

プロポフォール(ラピノベット:インターベット)6mg/kgを準備し、半量を急速IV投与して残りの半分を下顎の力が抜けて気管挿管可能となるまで緩徐にIV投与した。気管チューブ(内径12.0mm)を経口的に気管挿管後、酸素吸入と調節呼吸、レミフェentanil CRI、ケタミンCRI、およびプロポフォールCRIを開始した。酸素吸入と調節呼吸には吸入麻酔器(Vigor 21IIST:アコマ)、再呼吸循環回路、および従量式人工呼吸器(ACE-3000:アコマ)を用いた。レミフェentanil CRIでは、レミフェentanil(アルチバ注:ヤンセンファーマ)を50 μ g/mL溶液(アルチバ2mgを生理食塩水40mLに溶解)に調整し、シリンジポンプ(TOP-5300:トップ)を用いてレミフェentanilを36 μ g \cdot kg $^{-1}$ \cdot 時間 $^{-1}$ (本症例では23.3mL/時間)で投与した。ケタミンCRIでは、リンゲル液(日本薬局方リンゲル液:扶桑薬品)でケタミン0.06mg/mLの溶液を調整し(ケタミン注5%「フジタ」0.6mLをリンゲル液500mLに混合)、輸液ポンプ(サブラテック3030:ジェイ・エム・エス)を用いて10mL \cdot kg $^{-1}$ \cdot 時間 $^{-1}$ (本

表2 本症例に計画した麻酔/疼痛管理プロトコール

<p>〈麻酔前投薬〉</p> <ul style="list-style-type: none"> ● アセプロマジン0.05mg/kg-ケタミン0.5mg/kg IV ● アトロピン0.05mg/kg IM ● メロキシカム0.2mg/kg SC
<p>〈麻酔導入〉</p> <ul style="list-style-type: none"> ● プロポフォール to effect IV
<p>〈麻酔維持〉</p> <ul style="list-style-type: none"> ● プロポフォールCRI ● 酸素吸入 (2.0 L/分)、再呼吸循環回路 ● 間欠的陽圧換気 <ul style="list-style-type: none"> 換気回数 8~12回/分 吸気時間:呼気時間=1:2
<p>〈術中鎮痛〉</p> <ul style="list-style-type: none"> ● レミフェンタニル $36 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{時間}^{-1}$ CRI ● ケタミン $0.6 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{時間}^{-1}$ CRI ● 肋間ブロック:ロピバカイン2mg/kgを第3~7肋間に投与
<p>〈術後疼痛管理〉</p> <p>術後24時間 (部分的静脈栄養とともに)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● レミフェンタニル $8 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{時間}^{-1}$ CRI ● ケタミン $0.12 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{時間}^{-1}$ CRI <p>術後2~3日目 (退院まで)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● プレネロフィン0.01mg/kg IMを1日2回 ● メロキシカム0.1mg/kg SCを1日1回

IV: 静脈内投与, SC: 皮下投与, IM: 筋肉内投与, CRI: 持続静脈内投与

症例では324mL/時間)で投与することによって、静脈内輸液と同時にケタミン $0.6 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{時間}^{-1}$ 投与を実施した。また、シリンジポンプ (TOP-5300: トップ) を用いてプロポフォールの投与速度を調節し、肺葉切除術に要求される麻酔深度を維持した。

[麻酔モニタリング]

麻酔中には、動物用患者監視装置 (BP-608V: オムロンコーリン) を用い、体温、心電図、心拍数、呼吸数、終末呼気炭酸ガス分圧 (PETCO₂)、経皮的酸素飽和度 (SpO₂)、およびオシロメトリック法による非観血的動脈血圧 (測定部位: 尾根、カフNo.24) を測定した。本症例では、麻酔前投薬後80分目以降に低血圧が継続したことから、NICOシステム (NICO モニタ7300: フクダ電子) を用いて非侵襲的に心拍出量を測定するとともに、観血的動脈血圧測定を実施した。観血的動脈血圧測定では、右足背動脈に24G留置針 (スーパーキャス) を留置し、圧トランスデューサー (血圧モニタリングキット: 日本ベクトン・ディッキンソン) および動物用患者監視装置 (BP-608V: オムロンコーリン) を用いて測定した。また、必要に応じて右足背動脈に留置したカテーテルより動脈血を採取し、血液ガス分析装置 (GEM 3000: Instrumentation Laboratory) を用いて血液ガス分析を実施した。

[術後疼痛管理および術後栄養管理]

本症例では、肺葉切除術終了後にレミフェンタニルの投与速度を $8 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{時間}^{-1}$ 、ケタミンの投与速度を $0.12 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{時間}^{-1}$ に落とし、術後24時間目まで投与した。その後、術後3日目までメロキシカム0.1mg/kg SCを1日1回およびプレネロフィン0.01mg/kg IM (レパタン注: 大塚製薬) を1日2回投与した。

術後24時間目までの栄養管理として、部分的静脈栄養 (PPN) を実施した³⁾。PPNでは、本症例の基礎エネルギー要求量 (BER: $30 \text{kcal/kg} \times \text{体重} + 70 \text{kcal} = 1,042 \text{kcal}$) を1.2倍して維持エネルギー要求量 (MER: $1,042 \text{kcal} \times 1.2 = 1250.4 \text{kcal}$) を計算し、算出されたMERの半分 (625.2kcal) をPPNとして投与した。具体的には、5%ブドウ糖液1,042mL (テルモ糖注: テルモ)、アミノ酸製剤579mL (強力モリアミンS: 味の素ファルマ)、および20%脂肪乳剤 (イントラファット: 日本製薬) 104mLを混合し、さらにビタミンB複合性剤3.5mL (ダイビタミックス注: 原沢製薬) を添加するとともに、術後疼痛管理に使用する24時間分のレミフェンタニル $6,221 \mu\text{g}$ (約124.4mL) およびケタミン93.3mg (約1.9mL) を加えて77mL/時間で静脈内輸液した。

4 | 実際の麻酔管理状況

麻酔記録を図2に示した。総麻酔時間は359分間であった。手術室にて酸素化しながら麻酔前投薬を実施し (麻酔時間0分目)、5分目にプロポフォールIV投与を開始した。6分目にプロポフォール投与を終了し (総投与量6mg/kg)、気管チューブ (内径12.0mm) を気管挿管して左側臥位とし、酸素吸入 (酸素流量2L/分) を開始した。ほぼ同時に、プロポフォール $0.4 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{分}^{-1}$ CRI、レミフェンタニル $36 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{時間}^{-1}$ CRI、および静脈内輸液 (すなわちケタミン $0.6 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{時間}^{-1}$ CRI) を開始した。また、72分目に肋間ブロックを実施した。外科手術は52~357分目に実施され、開胸時間は192分間 (73~265分目) であった。本症例では、184分目に動脈留置が完了したことから、これ以降に観血的血圧測定と血液ガス分析が可能となった。術中には、開胸中の196分目に手術操作によって比較的大量の出血を認め、217分目までの間に止血操作の術野を確保するために調節呼吸を中止するなどの操作を要求された。

[麻酔深度]

プロポフォール $0.4 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{分}^{-1}$ でPRK-TIVAを開始し、19分目までにプロポフォールCRI速度を $0.175 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{分}^{-1}$ に落とし、しかしながら、前肢を細かく動かすなどの体動を認め、プロポフォールCRI速度を36分目に $0.2 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{分}^{-1}$ 、43分目に $0.3 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{分}^{-1}$ 、52分目に $0.4 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{分}^{-1}$ と徐々に高めた。52分目の切皮に対する反応はなかったが、その後も細かな体動が止まらないことから、54分目に一時的にプロポフォール投与速度を $0.6 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{分}^{-1}$ まで高めた。しかしながら、体動は手術操作に関連したものではなく、動脈血圧にも低下傾向を認めたことから、プロポフォール投与速度を59分目に $0.4 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{分}^{-1}$ 、70分目に $0.25 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{分}^{-1}$ に落とし、血圧低下に対しては、コロイド液の投与を開始した (後述)。72分目に術者が肋間ブロックを実施し、73分目に開胸となった。84分目に体動を認めたことから、プロポフォール投与速度を $0.3 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{分}^{-1}$ に高めたが、血圧低下傾向がさらに強くなったために、90分目にプロポフォール投与速度を $0.275 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{分}^{-1}$ に落とし、ドブタミン投与を開始した。その後、プロポフォール投与速度を徐々に落とし、114分目には $0.15 \text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{分}^{-1}$ とした。

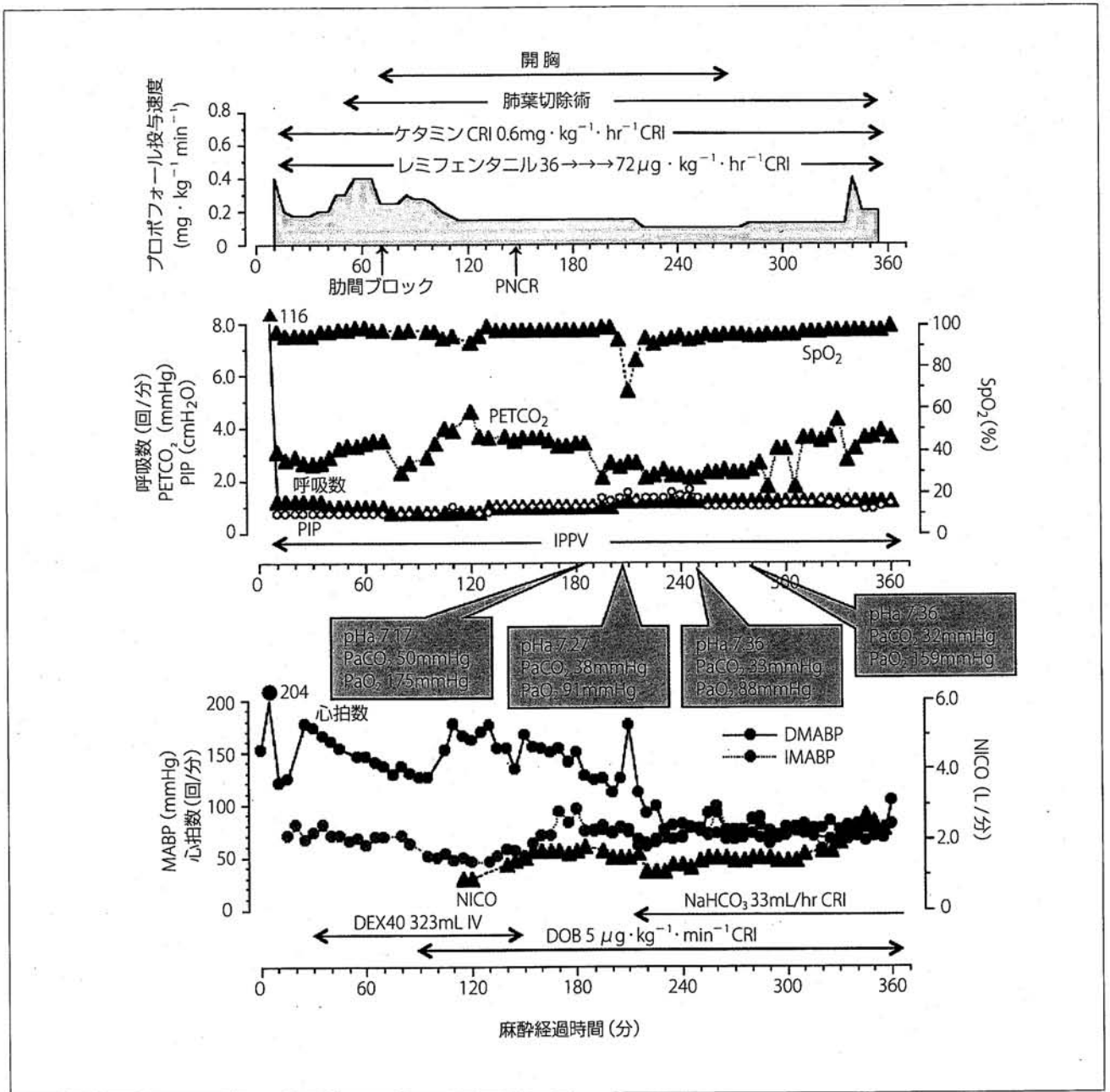


図2 本症例の麻酔記録

SpO₂: 経皮的酸素飽和度、PETCO₂: 終末呼吸炭酸ガス分圧、IPPV: 間欠的陽圧換気、PIP: 最大気道内圧、pHa: 動脈血pH、PaCO₂: 動脈血二酸化炭素分圧、PaO₂: 動脈血酸素分圧、MABP: 平均動脈血圧、DMABP: 観血的動脈血圧、IMABP: オシロメトリック法で測定した非観血的平均血圧、NICO: NICOモニターで非侵襲的に測定した心拍出量、麻酔経過時間: 麻酔前投薬投与時を0分とした経過時間、PNCR: パンクロニウム投与、DEX40: デキストラン40製剤投与、DOB: ドブタミン製剤投与、NaHCO₃: 重炭酸ナトリウム製剤投与

本症例では、PRK-TIVA開始直後より調節呼吸で呼吸管理していたが、121分目より自発呼吸によるファイティングを認め始めた。そこで、147分目に非脱分極性筋弛緩薬の臭化バンクロニウム0.06mg/kg IV (ミオブロック: 第一三共) を投与した。その後は体動やファイティングを生じることなく経過し、210分目にレミフェンタニルの投与速度を72 μg · kg⁻¹ · 時間⁻¹にすることで、プロポフォール投与速度を0.125mg · kg⁻¹ · 分⁻¹まで落とすことができた。337分目に嘔下反射を認めたために、プロポフォール投与速度を一時的に0.3mg · kg⁻¹ · 分⁻¹とした。

レミフェンタニルは、オピオイドμ受容体を介してフェンタニルの約半分の鎮痛効果と血液や組織中(とくに骨格筋)の非特異的エステラーゼによる急速な代謝排泄が特徴

である⁴⁻⁷⁾。犬においてもレミフェンタニルによる吸入麻酔薬の要求量減少効果は用量依存性であり、レミフェンタニル43.2 μg · kg⁻¹ · 時間⁻¹CRIで吸入麻酔薬の最小肺胞濃度(MAC)を50%減少できると考えられている⁸⁾。また、犬の卵巣子宮全摘出術では、術中鎮痛にレミフェンタニル36 μg · kg⁻¹ · 時間⁻¹CRIを用いることによって、プロポフォール0.33 ± 0.03mg · kg⁻¹ · 分⁻¹CRIで外科麻酔を維持できたと報告されている⁹⁾。

さらに、レミフェンタニル18 μg · kg⁻¹ · 時間⁻¹CRIによって、麻酔維持に要する血漿プロポフォール濃度を約55%まで減少させることも報告されている¹⁰⁾。また、ケタミンはN-メチル-D-アスパラギン酸(NMDA)受容体遮断によって鎮痛作用を発揮し、犬ではイソフルランMACを用量依存

性に減少させ¹¹⁾、 $0.6\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{時間}^{-1}$ CRIでイソフルラン MACを25%減少させることが報告されている¹²⁾。さらに、メロキシカム ($0.2\text{mg}/\text{kg}$ SC)の術前投与は犬のセボフルランMACを約13%減少すると報告されている¹³⁾。本症例では、メロキシカムの術前投与、レミフェンタニルCRI、およびケタミンCRIによる「先取り鎮痛」と「マルチモーダル鎮痛」によって得られた相加的または相乗的な鎮痛効果と加齢による麻酔要求量の減少によって、比較的低いプロポフォール投与量で外科麻酔の維持が可能であったと考えられる。

しかしながら、麻酔導入後から90分目にかけて認められた細かな体動を麻酔深度が浅いためと判断し、高いプロポフォールCRI速度 ($0.4 \sim 0.6\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{分}^{-1}$) を選択してしまった結果、血圧低下が助長されたと推測される。犬の臨床例では、プロポフォールとフェンタニルを用いたTIVAで手術操作に関係のない体動が約1/4の症例で認められたとの報告がある¹⁴⁾。プロポフォールを用いたTIVAでは、本症例のように手術操作に関係のない体動によって麻酔深度を誤認してしまう可能性のあることを留意すべきであろう。プロポフォールを用いたTIVAでは、パンクロニウムやベクロニウムまたはロクロニウムなどの非脱分極性筋弛緩薬を併用して体動をコントロールすることも考慮すべきかもしれない。

【呼吸管理】

本症例は、麻酔前投薬後に浅速呼吸を示していたが、麻酔導入直後に無呼吸となり、10分目に調節呼吸を開始した。調節呼吸開始後から開胸までの間に、 SpO_2 は95~99%、 PETCO_2 27~35mmHg、および最大気道内圧 (PIP) $7\text{cmH}_2\text{O}$ で推移していた。開胸直後に PETCO_2 が23~27mmHgと減少したことから、換気回数を8回/分として分時換気量を減少させるなどして対応した。この開胸後の急激な PETCO_2 の減少は、開胸によって肺胸郭コンプライアンス (気道内圧 $1\text{cmH}_2\text{O}$ 当たりで得られる換気量: 単位 $\text{mL}/\text{cmH}_2\text{O}$) が急激に増加したことによるものと推測される。すなわち、開胸前の調節呼吸では肺と胸壁を膨らませる必要があったが、開胸後には胸壁による換気抵抗がなくなって肺胸郭コンプライアンスが増大し、効率よく換気できるようになったものと考えられる。

本症例では、186分目に動脈血の血液ガス分析を実施した。その分析結果は、動脈血pH (pHa) 7.17、動脈血二酸化炭素分圧 (PaCO_2) 50mmHg、および動脈血酸素分圧 (PaO_2) 175mmHgであり、呼吸性アシドーシス、代謝性アシドーシス (HCO_3^- 18.2mmol/L)、および高炭酸ガス血症に陥っていることが明らかになった。そこで換気回数を12回/分として分時換気量を増加した。その結果、 PaCO_2 は206分目に38mmHg、249分目に33mmHg、および280分目に32mmHgで推移し、高炭酸ガス血症は改善された。

一方、 PaO_2 は206分目に91mmHgおよび249分目に88mmHgを示し、この間100%酸素を吸入させていたにもかかわらず SpO_2 は95%前後で推移し、軽度の低酸素血症を認めた。開胸下の外科手術では、術野を確保するために肺を圧迫することから換気量が制限されることがしばしばある。また、本症例のように横臥位での肋間開胸の場合には、術野と反対側の肺、つまり下側になる肺 (本症例では左肺)

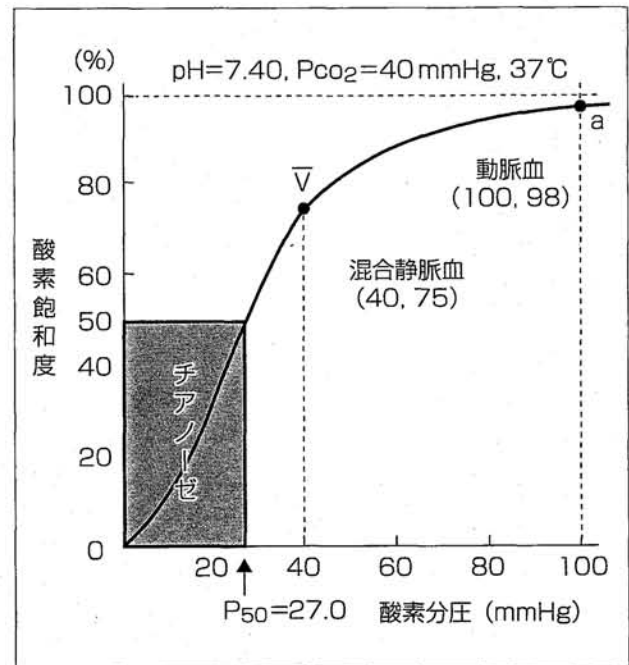


図3 酸素-ヘモグロビン解離曲線

酸素-ヘモグロビン解離曲線は、ヘモグロビンの酸素飽和度と血液の酸素分圧の関係を示す。この曲線には、ヘモグロビンによって運搬される酸素量が血液中の酸素分圧 (PO_2) が50~60mmHgの間で急速に変化し、80mmHg以上では頭打ちになることが示されている。したがって、動脈血酸素分圧 (PaO_2) が80mmHg以上では酸素飽和度 (SaO_2) の変化は小さく、空気 (酸素濃度約21%) を呼吸している時の動脈血の SaO_2 は95%、100%酸素吸入時には99~100%である。酸素-ヘモグロビン解離曲線は、血液pHの低下 (アシドーシス)、血液中の炭酸ガス分圧 (PCO_2) の上昇、体温の上昇、2,3-ジホスホグリセリン酸 (2,3-DPG: 慢性の低酸素血症で赤血球内に増加) の増加で右にシフトする。この酸素-ヘモグロビン解離曲線の右方向へのシフトは、同じ PaO_2 でもヘモグロビンの酸素結合能が低くなることを意味する。

で肺胞虚脱による無気肺領域が生じやすい。さらに、本症例では、前述のように196分目に手術操作によって比較的大量に出血し、止血操作の術野を確保するために217分目までの間に調節呼吸を中止するなどの操作を要求された。実際に、この調節呼吸の一時中止によって、 SpO_2 は210分目に69%まで低下した。また、206分目の血液ガス分析ではpHa 7.27、 HCO_3^- 17.4mmol/L、およびベースエクセス (BE) -8.7mmol/Lであり、低酸素血症と同時に代謝性アシドーシスを示していた。

酸素-ヘモグロビン解離曲線は、ヘモグロビンの酸素飽和度と血液の酸素分圧の関係を示す (図3)。酸素-ヘモグロビン解離曲線は、血液pHの低下 (アシドーシス)、血液中の炭酸ガス分圧 (PCO_2) の上昇、体温の上昇、2,3-ジホスホグリセリン酸 (2,3-DPG: 慢性の低酸素血症で赤血球内に増加) の増加で右にシフトする。この酸素-ヘモグロビン解離曲線の右方向へのシフトは、同じ PaO_2 でもヘモグロビンの酸素結合能が低くなることを意味する。つまり、本症例のように、 PaO_2 の低下と同時に代謝性アシドーシスを認める場合には、酸素-ヘモグロビン解離曲線の右方向へのシフト (ヘモグロビンの酸素結合能の低下) により低酸素状態を助長する可能性がある。したがって、酸-塩基平衡を補正して代謝性アシドーシスを改善し、さらなる低酸素状態を回避する必要があった。そこで、代謝性アシドーシスを改善す

レベル 0	レベル 1	レベル 2	レベル 3	レベル 4
痛みの徴候は見られない	ケージから出ようとしな	痛いところをかばう	背中を丸めている	持続的になきわめく
	逃げる	第 3 眼瞼の突出	心拍数増加	
	尾の振り方が弱々しい、振らない	アイコンタクトの消失	攻撃的になる	全身の強直
	人が近づくと吠える	自分からは動かない (動くよう促すと動く)	呼吸が速い	
	反応が少ない	食欲低下	間欠的に唸る	間欠的になきわめく
	落ち着かない、そわそわ	じっとしている (動くよう促しても動かない)	間欠的に鳴く	
	寝てはいないが目を閉じている	術部に触られるのを嫌がる	体が震えている	持続的に鳴く
	元気がない	耳が垂れたり、平たくなっている	額にしわを寄せた表情	持続的に唸る
	動きが緩慢	立ったり座ったり	体に触れたり、 動かそうとしたりする と怒る	食欲廃絶
	尾が垂れている		流涎	散瞳
	唇を舐める		横臥位にならない	眠れない
	術部を気にする、舐める、咬む		過敏	
	ケージの扉に背を向けている		術部を触ると怒る	

判定レベル:

図 4 犬の急性痛ペインスケール

『動物の痛み研究会』の開発した「犬の急性痛ペインスケール」は、<http://www.dourinken.com/itami.htm>より PDF ファイルをダウンロードできる。外科手術後の入院症例では、バイタルサインの 1 つとして、術後疼痛の程度を評価し (すなわち、計画実施している鎮痛治療の効果を評価)、個々の症例に合わせたもっとも効果的な術後疼痛管理を実施すべきである

るための HCO_3^- 要求量を下記式¹⁴⁾にて計算し、219分目に重炭酸ナトリウム製剤 (メイロン: 大塚製薬) を 33mL/時間CRIで投与し、2時間以上かけて HCO_3^- 不足量を補正した。

$$\begin{aligned} \text{HCO}_3^- \text{ 要求量} &= 1/4 \times \text{体重 (kg)} \times \text{塩基不足} \\ &= 1/4 \times 32.4 \text{ kg} \times 8.7 \text{ mmol/L} = 70.5 \text{ mmol} \end{aligned}$$

252分目に肺葉切除が完了し、術中に増大した無気肺領域を改善するため、PIP 15 cmH₂Oとして約10秒間吸気状態を維持して肺胞を膨らませる作業を数回実施した。閉胸 (265分目)後の280分目に実施した血液ガス分析では、pHa 7.36、PaCO₂ 32mmHg、およびPaO₂ 159mmHgを示し、SpO₂も96~98%で推移するなど、低酸素血症はある程度まで改善していた。

【循環管理】

麻酔導入時には、アトロピンの効果もあり、心拍数は204回/分であったが、PRK-TIVA開始後には心拍数が徐々に低下した (120~125回/分)。しかしながら、20~25分目に血圧低下 (オシロメトリック法による非侵襲的平均血圧50mmHg) および低血圧への反応性の心拍数増加 (173~177回/分) を認めた。そこで、29~145分目に前負荷を増大させる目的でコロイド液であるデキストラン40製剤323mL (デキストセランG: テルモ) を投与した。さらに、90分目には心収縮力の増大を目的としてドブタミン5 μg · kg⁻¹ · 分⁻¹ CRIを開始し、麻酔終了まで継続した。

これらの低血圧治療にもかかわらず、ドブタミン投与開始後に低血圧が進行し、低血圧に対する反応性と推測される心拍数増加を認めたことから、97分目に心拍出量を確認するためにNICOモニターによる非侵襲的心拍出量測定を開始した。NICOモニターで計測した非侵襲的心拍出量は0.9L/分を

示し、低血圧は心拍出量の低下によって引き起こされていることが強く示唆された。その後、心拍出量は1.7L/分に増加し、非侵襲的動脈血圧も平均血圧70~80mmHgに改善してきた。また、190分目以降には観血的動脈血圧が平均血圧70mmHg以上で推移したために、追加の循環管理は実施しなかった。

本シリーズにおいても以前紹介したように、本症例で用いたNICOシステムとは、Fick法を応用した部分的再呼吸による非侵襲的心拍出量測定法であり、体重20~40kgの大型犬において信頼性の高い心拍出量測定値を得られる¹⁶⁾。RGU-VTH麻酔科では、これまでの臨床例を用いた検討から、調節呼吸下で循環状態が良好に維持されている大型犬におけるNICOシステムで測定した心拍出量の標準値は約0.1L · kg⁻¹ · 分⁻¹と推定している¹⁷⁾。この標準値に比べると、本症例で麻酔中に記録された心拍出量はかなり低かった。ヒトでは、開胸手術においてNICOシステムは有用であるが、その測定値は心拍出量を過小評価することが報告されている¹⁸⁾。犬では、開胸手術におけるNICOの測定精度に関する報告はなく、今後の検討が待たれる。現状では、犬の開胸手術におけるNICOシステムの測定値の精度に関しては注意が必要であろう。

【麻酔回復および術後疼痛管理】

358分目に外科手術が終了し、PRK-TIVAを中止するとともに、術後疼痛管理のためのレミフェンタニルおよびケタミンを添加したPPNの投与を開始した。363分目に自発呼吸が回復したために調節呼吸およびドブタミン投与を中止した。366分目 (麻酔終了後8分目) には、喉頭反射も回復したことから気管チューブを抜管した。術後2時間目に「体が震えている」「呼吸が速い」「間欠的に唸る」など動物のいたみ研究会の開発した「犬の急性痛ペインスケール (図4)」でレベ

ル3の術後疼痛を認めたために、アセプロマジン0.05mg/kg IVおよびケタミン0.5mg/kg IVを投与して術後疼痛の緩和を図った。その後、術後疼痛は緩和され、術後3時間目にはレベル1、術後12時間目にはレベル0と痛みの徴候は観察されなくなった。また、元気・食欲も良好に維持され、ドライフードを手術翌日の朝(術後15時間)に2カップ、昼に1カップ、および夕方に3カップ完食し、術後2日目に退院した。

5 | まとめとポイント

本症例では、PRK-TIVAにおいても、プロポフォールとフェンタニルを用いたTIVAと同様に、手術操作とは関連しない体動で麻酔深度の判断を誤る可能性があることを確認した。このことは、PRK-TIVAにおいて非脱分極性筋弛緩薬を併用する必要性のあることを示していると考えられる。また、動脈留置による観血的動脈血圧測定と動脈血の血液ガス分析の重要性を再確認した。本症例では、術中の出血とこれに対する止血処置で低酸素状態を余儀なくされたが、呼吸循環系機能の変化と酸-塩基平衡を的確に把握できたことから、余裕を持つて的確に麻酔管理を行うことができた。

参考文献:

- 1) Carroll G. L. (山下和人訳): 周期的マルチモーダル鎮痛, In: スモールアニマルサージェリー第3版・上巻 (若尾義人, 田中茂男, 多川政弘 監訳). 105-128. インターズー, 2008.
- 2) Muir W. W., Hubbell J. A. E., Bednarski R. M., et al. (山下和人訳): 症例の評価と準備, 11-24. In: 獣医臨床オペレーション・ハンドブック第4版 (山下和人, 久代季子 共訳). インターズー, 2009.
- 3) Willard M. D., Seim H. B. (山下和人訳): 手術症例の術後管理, 105-128. In: スモールアニマル・サージェリー第3版・上巻 (若尾義人, 田中茂男, 多川政弘 監訳). インターズー, 2008.
- 4) Wagner A. E. (山下和人訳): オピオイド, 165-184. In: 犬猫の疼痛管理 (山下和人, 今井彩子 共訳). ファームプレス, 2006.
- 5) Lamont L. A., Mathews K. A.: Opioids, nonsteroidal anti-inflammatory, and analgesic adjuvants, 241-271. In: Lumb & Jones' Veterinary Anesthesia and Analgesia 4th ed. (Tranquilli W. J., Thurmon J. C., and Crim K. A. eds.). Blackwell, 2007.
- 6) Michelsen L. G., Salmenpera M., Hug C. C. Jr., et al.: Anesthetic potency of remifentanil in dogs. Anesthesiology, 84: 865-872, 1996.
- 7) Hoke J. F., Cunningham F., James M. K., et al.: Comparative pharmacokinetics and extra-hepatic clearance of remifentanil, its principle metabolite (GR90291) and alfentanil in dogs. J Pharmacol Exp Ther, 281: 226-232, 1997.
- 8) Ilweiler S., Brodbelt D. C., Borer K., et al.: The isoflurane-sparing and clinical effects of a constant rate infusion of remifentanil in dogs. Vet Anaesth Analg, 34: 388-393, 2007.
- 9) Murrell J. C., van Notten R. W., Hellebrekers L. J.: Clinical investigation of remifentanil and propofol for the total intravenous anaesthesia. Vet Rec, 156: 804-808, 2005.
- 10) Beier S. L., de Araujo Aquiar A. J., Vianna P. T., et al.: Effect of remifentanil on requirements for propofol administered by use of a target-controlled infusion system for maintaining anesthesia in dogs. Am J Vet Res, 70: 703-709, 2009.
- 11) Solano A. M., Pypendop B. H., Boscan P. L., et al.: Effect of intravenous administration of ketamine on the minimum alveolar concentration of isoflurane in anesthetized dog. Am J Vet Res, 67: 21-25, 2006.
- 12) Muir W. W., 3rd, Wiese A. J., March P. A.: Effects of morphine, lidocaine, ketamine, and morphine-lidocaine-ketamine drug combination on minimum alveolar concentration in dogs anesthetized with isoflurane. Am J Vet Res, 64: 1155-1160, 2003.
- 13) Yamashita K., Okano Y., Yamashita M., et al.: Effects of carprofen and meloxicam with or without butorphanol on the minimum alveolar concentration of sevoflurane in dogs. J Vet Med Sci, 70: 29-35, 2008.
- 14) 山下和人, 安達洋平, 久代季子ら: プロポフォール-フェンタニルを用いた犬の全静脈麻酔の臨床応用. 日獣会誌, 57: 715-720, 2004.
- 15) Muir W. W., Hubbell J. A. E., Bednarski R. M., et al. (山下和人訳): 酸-塩基平衡と血液ガス, 319-338. In: 獣医臨床オペレーション・ハンドブック第4版 (山下和人, 久代季子 共訳). インターズー, 2009.
- 16) Haryadi D. G., Orr J. A., Kuck K., et al.: Partial carbon dioxide

- rebreathing indirect Fick technique for non-invasive measurement of cardiac output. J Clin Monit Comput, 16: 361-374, 2000.
- 17) 福井 翔, Umar MA, 都築圭子ら: 麻酔下の大型犬におけるNICOシステムを用いた非侵襲的心拍出量測定法の検討. 獣医麻酔外科誌 37 (Supplement 1): 168 (第72回獣医麻酔外科学会講演要旨), 2006.
 - 18) Ng J. M., Chow M. Y., Ip - Yam P. C., et al.: Evaluation of partial carbon dioxide rebreathing cardiac out put measurement during thoracic surgery. J Cardiothorac Vasc Anesth, 21: 655-658, 2007.

訂正とお詫び

麻酔/疼痛コントロール-RGU-VTH麻酔科 Case Report ⑮ (2009年5月号) および⑲ (2010年1月号) において、レミフェンタニルの投与速度の単位に誤りがありました。正しくは、「 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{時間}^{-1}$ 」となります。

また、Case Report⑳ (2008年11月号) では、表2中のプロポフォールの投薬速度に誤りがありました。正しくは、「 $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{分}^{-1}$ 」となります。

以上のとおりに訂正し、お詫び申し上げます。

(編集部)