

2nd Veterinary Emergency & Critical Care International Symposium
March 15, 17:00-18:00

Ventilatory management for cardiogenic pulmonary edema



Jun Tamura, DVM Ph.D.
Hokkaido University
Veterinary Teaching Hospital
Anesthesiology & Critical Care Medicine

1

心原性肺水腫

非心原性肺水腫

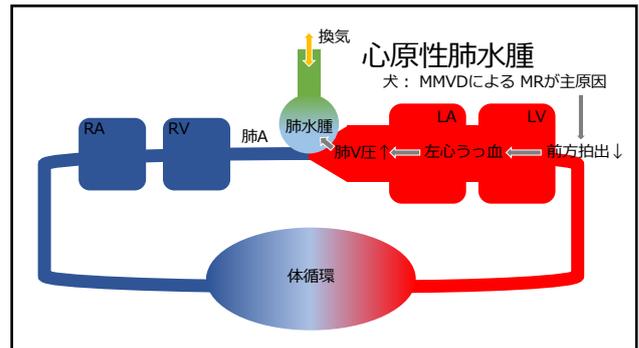
必要となる人工呼吸手技は同じ

前演者と一部内容が重複する点はご了承ください

2

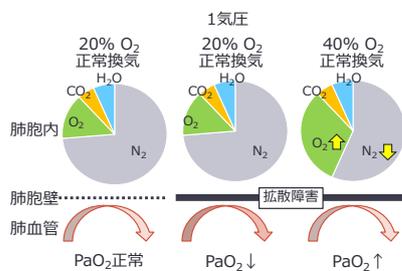
何故、人工呼吸が必要か？

3



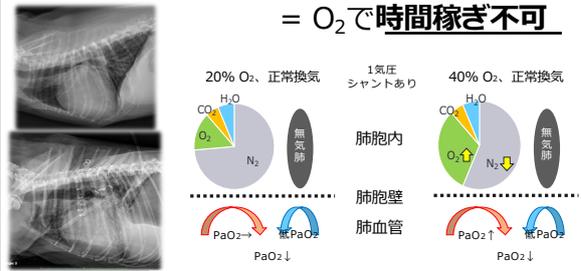
4

初期病態は**拡散障害** = O₂で時間稼ぎ可能



5

重症化した場合、**シャント血流↑**
= O₂で**時間稼ぎ不可**



8

通常の酸素吸入では時間稼ぎできない

→ 人工呼吸管理 の適応

もしくは High-flow nasal oxygen therapy ?
専用機材、大量の酸素消費 (10-60L/min)
犬での報告は限定的
Whitney et al. Front Vet Sci 2023;10:1070881.

9

人工呼吸管理の開始検討 (私見)

- ・酸素吸入を行っているが、
 - **低酸素血症**持続
PaO₂ >60 mmHg、SpO₂ >90%は欲しい
 - **呼吸苦** (回数↑、呼吸努力) が改善しない
 - **意識障害** (脳は低酸素の症状が出やすい)
- ・水泡音聴取、ピンク色の水様液・泡沫液の喀出
→ 無気肺↑ (=シヤント↑) の可能性大



11

人工呼吸開始への インフォームドコンセント

12

心原性が非心原性よりも

- ・weaning率が高い 66% vs 35%
- ・生存退院率が高い 54% vs 26%
- ・人工呼吸時間は短い 14 (1-48) hr
vs 24 (2-132) hr
- ・ただし、>2ヶ月生存率低い 54% vs 100%

Oppenheimer N et al. JVECC 2022;32:769-776.

13

インフォームドのポイント (私見)

- ・お金・人手がかなりかかる
- ・人工呼吸管理はあくまで心臓治療の**時間稼ぎ**
- ・多くは重症例 (予後不良例も含む)
- ・上手くいく症例は**半日~2日以内**
に抜管できることが多い
(普通は時間とともに改善を示す)
- ・長期予後は継続的な心臓治療への反応性次第

14

人工呼吸管理時の麻酔法

15

麻酔導入～気管挿管

通常の麻酔導入で可

- Prop (or Alfx) が基本
ミタゾラムやオピオイドを併用することも有
ケタミン併用可 (ketofol導入)
- 緊急時はP単独導入で挿管で良い
- 導入中はパルスオキシメーター装着、
フローバイ or マスクで酸素吸入を行う



17

麻酔維持

通常の麻酔維持と同様

- 吸入麻酔 (Iso or Sev) : 麻酔器で使用可
- Prop-TIVA : 0.1-0.3mg/kg/min、猫は避けた方が良い
- Alfx-TIVA : 猫?、覚醒時異常行動イベントが多い
- 併用薬として、オピオイドやミタゾラム使用が一般的
フェンタニル 5-10 mcg/kg/hr
ミタゾラム 0.2-0.5 mg/kg/hr など
- $\alpha 2$ の使用は極力避ける



18

筋弛緩薬の併用 (多少の知識が必要)

- ロクロニウムを使用可能 (0.5mg/kg IV?)
- 必須ではないが、呼吸苦が顕著な麻酔導入直後の
自発呼吸と人工呼吸の非同期抑制のため使用 (私見)
- 注意点
 - 麻酔深度調節が難しい
意識があっても不動化を生じうる
 - Weaning時には拮抗などを考慮する必要性
モニタリングは? 拮抗は?



19

人工呼吸管理法

20

設定のポイント

- 心臓治療の**時間稼ぎ**をする
酸素化・換気の正常化が目的ではない
SpO₂を90-95%くらいに維持できればOK
- **人工呼吸誘発性肺障害**を起こさない

肺保護的戦略

- PEEP
- 吸入酸素濃度低下
- 一回換気量の制限
- Permissive hypercapnia

21

人工呼吸誘発性肺障害 (VILI) の原因

- **Volutrauma**
過剰な一回換気量設定
→ 肺胞上皮が過伸展で損傷
- **Atelectrauma**
機能的残気量の低下 (無気肺形成)
(肺胞が**虚脱と膨張の繰り返し**)
→ 肺胞上皮が擦れて損傷

22

Laplaceの法則

$$P = 2T / r$$

P 肺胞内圧、T 表面張力、r 半径

P↑, r↓ :
= 肺胞の膨らみ↓
T↑ = サーファクタント↓
→ 病的肺胞 (肺水腫) は虚脱しやすい

Atelectrauma

23

健常肺と肺水腫の違い

健常肺

肺水腫

吸気

健常肺胞は均等に膨張

虚脱肺胞は膨らみにくい

正常肺胞は容易に過膨張

Volutrauma

24

肺保護的戦略①：肺虚脱の予防措置 (Atelectrauma, Volutraumaの予防)

- **PEEP**の使用 (high PEEPではない)
- **吸入酸素濃度低下**
 - 吸収性無気肺の予防
 - 酸化障害の予防
- ZEEPの状態を極力作らない

25

肺保護的戦略②：一回換気量の制限 (Volutraumaの予防)

- 人：6-8 mL/kg
- 犬猫
 - おそらく6-8mL/kgでは不可能
 - 10 mL/kg程度** (死腔が大きいため)
 - とくに犬は品種差が大きい (時には≥15 mL/kg)

Donati et al. J Vet Sci 2019;20:e21.

26

肺保護的戦略③：Permissive hypercapnia

- 病的肺 かつ 一回換気量制限あり
 - PaCO₂ (≒EtCO₂) の多少の増加はあきらめる
 - 分時換気量は少なめでも良い
- **PaCO₂ 50-60 mmHg**は許容 (とくに治療開始当初)

27

肺保護的戦略の+ alpha

- 経肺圧 (気道内圧-胸腔内圧) による肺負荷
- 強い自発呼吸努力+人工呼吸 = 肺傷害の原因

時には自発呼吸の積極的制御を検討 (必要なら筋弛緩薬使用)

人工呼吸

人工呼吸

自発呼吸 ↓

経肺圧：15

経肺圧：10

※ 肺が改善すれば、呼吸苦は勝手に落ち着く

28

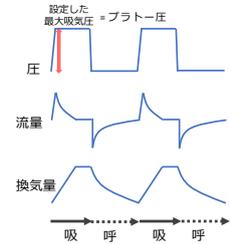
人工呼吸導入時の初期設定（私見）

- PCV or VCV
- 吸入酸素濃度：100%
- 一回換気量：10 mL/kg程度
PCV：PIP 15 cmH₂O (above PEEP 10 cmH₂O)
- PEEP：5 cmH₂Oを併用
- 呼吸回数：20-30 回/分、I/E比 1:2

29

従圧：PCV

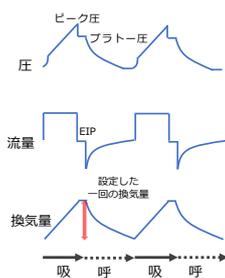
- 長所
- 小型動物でも使用しやすい
 - 気道内圧急上昇リスク小
 - 自発呼吸との同調性が良い？
 - 肺の膨らみを維持しやすい？
- 短所
- 1回換気量モニタが必要
 - リークに気づきにくい
- 呼吸グラフィックス使用



30

従量：VCV

- 長所
- ピーク圧とプレートー圧が得られる
 - リークに気づきやすい
- 短所
- 従圧の長所の逆



31

人工呼吸中のトラブルシューティング

- リーク
- 気道抵抗上昇
- 肺コンプライアンス低下
- 自発呼吸との非同期



呼吸グラフィックスが役立つ

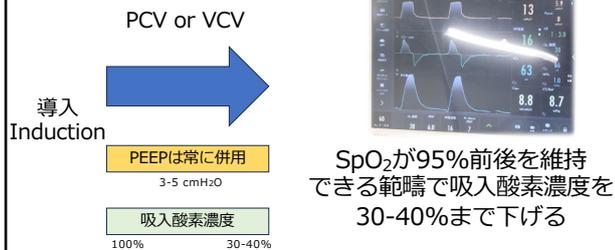
WEB動画で学ぶ人工呼吸管理

人工呼吸器トラブルシューティングセミナー

人工呼吸器トラブルシューティングセミナー 130分

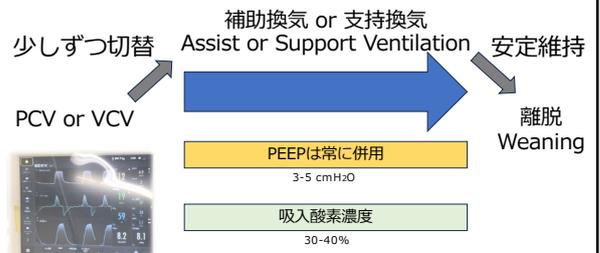
32

初期の目標（簡単）



34

次の目標（難しい）

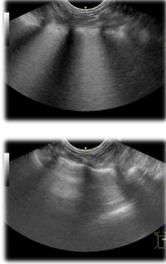


35

パラメーターの改善は？

- ・コンプライアンス改善
- ・A血ガスが良くなる (P/F比↑)
- ・肺エコー像の改善 (B-line↓)

改善の目安としては有用
 ただし、人工呼吸設定
 に依存した値



36

いつ換気モードを切り替えるか？

- ・呼吸苦が落ち着いたら
 - 自発呼吸回数↓
 - 吸気/呼気努力↓

→ 補助・支持換気が
同期しやすくなる

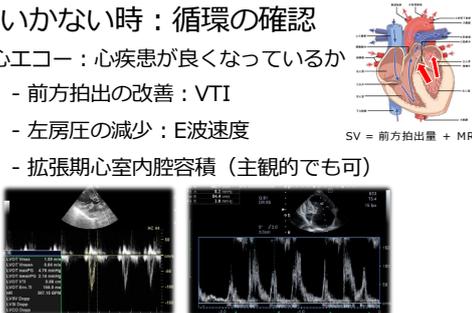


37

上手くいかない時：循環の確認

- ・心エコー：心疾患が良くなっているか
 - 前方拍出の改善：VTI
 - 左房圧の減少：E波速度
 - 拡張期心室内腔容積 (主観的でも可)

SV = 前方拍出量 + MR



38

Weaningへの目安 (私見)

- ・呼吸苦の消失
自発呼吸回数20-30回/分くらい
吸気/呼気努力なし
- ・P/F比 >300
- ・肺野の改善 (肺エコー)

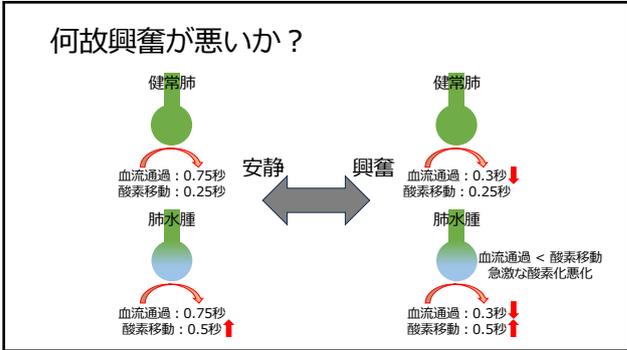
Weaning開始前に
 - 咽喉頭ケア後、麻酔薬を減量
 - 必要なら筋弛緩拮抗 (スガマデクス)
 - 人工呼吸設定を少しずつ下げる (PIPなど)

40

Weaning後のケア (抜管できたら)

- ・循環器治療の継続
- ・興奮をさせない
 必要なら鎮静薬使用
 ブトルファンール 0.1-0.2mg/kg
 ± アセプロマジン 0.01-0.02mg/kg IV
- ・呼吸様式、回数の変化に注意!

41



42

人工呼吸管理中のケア

= **感染**との戦い!

人工呼吸関連肺炎 (VAP) など

44

- ・毎処置ごとにグローブ着用
- ・滅菌呼吸回路使用
- ・気道内加湿加温：専用装置使用
- ・舌ケア：水+グリセリン q2hr
- ・咽頭ケア：サクシオン後、水+クロルヘキシジン q4hr
- ・眼ケア：人工涙液点眼 q2hr
- ・角膜潰瘍確認：フルオレセイン染色 q24hr
- ・気道内サクシオン q4hr
- ・カフ圧確認 (20-25 mmHg) q4hr
- ・体位変換 (腹臥、右横臥、左横臥) 可能ならq4hr
- ・四肢ストレッチ q4hr
- ・気管チューブ交換 必要に応じて

Laura et al. JVECC 2022;32:376-385.

45

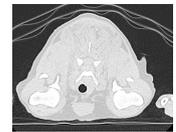
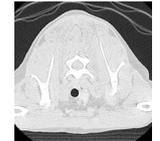
演者の場合 (1-2日程度の人工呼吸管理)

手洗い、手指消毒、グローブ着用

- ・滅菌呼吸回路、人工鼻使用
- ・咽頭部サクシオン q4-6hr
- ・口腔・咽頭・舌ケア：希釈クロルヘキシジン+ガーゼで拭く q4-6hr
- ・眼ケア：眼軟膏 q6hr
- ・気道内サクシオン 必要に応じて (openは極力避ける)
- ・カフ圧調整 必要に応じて
- ・体位変換 (腹臥、右横臥、左横臥) あまり出来ていない
- ・四肢ストレッチ あまり出来ていない
- ・気管チューブ交換 基本はやらない

46

Questions ?



j-tamura@vetmed.hokudai.ac.jp

47