

麻酔動物の看護学

麻酔時のモニタリング

中津 賞(なかつ すすむ)

獣医師、獣医学博士/中津動物病院院長

〒590-0960大阪府堺市少林寺町西2-2-15

Tel 072-232-6472, Fax 072-229-5104

e-mail: nakatsu@xa2.so-net.ne.jp

Web: <http://nakatsu.go.to>

麻酔動物の看護学

麻酔管理
容体の把握

気管チューブの挿入

- 挿管とベンレーターによる陽圧呼吸へ誘導するための麻酔→導入麻酔。この麻酔はわずかな時間、筋弛緩と意識喪失があれば充分で、次の薬物が症例毎に選択される。
 1. プロポフォール
 2. ミタゾラム、ブトルファノール、塩酸ケタミンのバランス麻酔
 3. ミタゾラム、メデトミジン、塩酸ケタミンのバランス麻酔

気管チューブの挿入に手間どる原因

- 麻酔が浅い: 閉じている声門をチューブ先端で開けても、反射的に閉じてしまう。
- ベノキシル・スプレーを声門に確実に噴霧して1分間待つ。
- 声門を直視して、正対して挿入
 頷を捻転、持ち上げすぎては入りにくい。
- 声門は胸郭を強く押すと、呼気時に開くので、助手にタイミング良く押ししてもらい、挿入する。
- 挿入時周囲の声門に触れない様にすると、うまく挿入できる。

吸入麻酔の導入

- 挿管できたなら、調節呼吸開始と同時に0.5%から始めて1.7%間で急速に濃度を上げてゆく、ファイティングがある時は、2.3%まで濃度をあげる。
- 高濃度の麻酔ガスを吸わせている時は過剰麻酔に注意する。例えば、その場に居る人に聞こえる様に高濃度ガスを吸わせていることを伝え、注意を喚起する。

吸入麻酔の導入

- 十分に麻酔が安定したならば、MAC値またはMAC値 \times 1.3～1.5の麻酔濃度で、外科的麻酔期の浅麻酔～中麻酔の前半までの深さを維持する。
- 全身状態の良くない動物は0.5%の濃度から始めて、上限を1.5%とし、その後はMAC値、あるいはそれ以下の濃度で維持できることがある。

		I 導入期	II 發揚期 (興奮期)	III 麻酔期				IV 中毒期
				III-1 期	III-2 期	III-3 期	III-4 期	
主として抑制される部位		皮質知覚領	皮質運動領	中脳・脊髄	脊髄	脊髄	<u>延髄</u>	延髄 (麻痺)
呼吸	胸式							
	腹式							
瞳孔 (光反射)								
筋緊張								
脈拍		速脈	速脈	正常	正常	微弱速脈	微弱速脈	消失
血圧								
粘膜色		正常	充血	充血 正常	正常	正常 蒼白	蒼白	チアノーゼ
反射	角膜	+	+	+	-	-	-	-
	結膜	+	+	-	-	-	-	-
	皮膚	+	+	+	-	-	-	-
	腹膜	+	+	+	+	-	-	-

回路内のガス漏れ(リーク)

- 回路内リークは人為的ミスで、回路の気密性が破れたときにADS1000では警報ブザーが鳴る。その原因としては酸素ボンベが空になった時

以外には

1. カフの膨らみが充分でない
2. 気管チューブの破損
3. ジョイントが外れている
4. 食道への誤挿入

(回路内リークや誤挿入では激しいCO₂低下とカプノグラフィが基線に沿って平坦化する)

原因が除去されるとブザーは停止する。

装着器具

- 1パルスオキシメーター
- 2呼気ガスモニタ
- 3心電図モニタ
- 4非観血式血圧計
- 5電子体温計



1パルスオキシメーター

1. 動脈血酸素飽和度
2. 脈拍数



2呼気ガスモニタ

1. CO₂濃度
2. N₂O濃度
3. 吸入麻酔薬濃度
4. 呼吸数

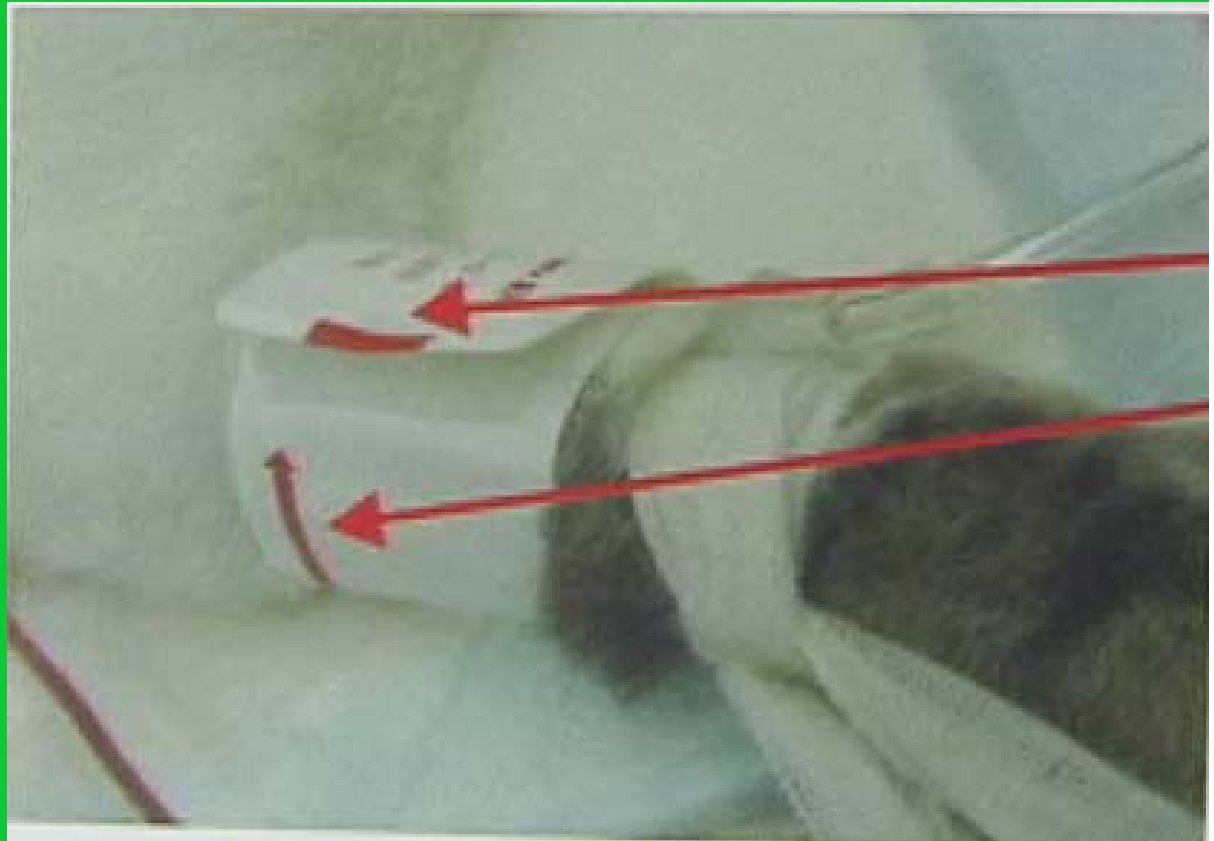
3心電図モニタ

1. 心電図
2. 心拍数



4非観血式血压計

1. 最高血压
2. 平均血压
3. 最低血压
4. 脈拍数



電子体温計 熱電対

- 体温測定
 1. 直腸温(深部体温)
 2. 口腔温
 3. 腋下温

監視装置(モニター)

BP-508 Veterinary Version

測定項目(測定パラメーター)

1. CO₂濃度
2. 吸入麻酔薬濃度
3. N₂O濃度
4. 呼吸数
- 5 動脈血酸素飽和度(SpO₂)
- 6 血圧
- 7 心電図
- 8 体温
 - 記録

各種モニタとその臨床的評価

7-508 VS	CAPNDX CX-25p	○ 高い価値 ○ 中等度の価値 △ 低い価値	呼吸回路の外れ	低換気	盲道挿管	気管支挿管	呼吸回路内酸素濃度低下	吸入麻酔薬の過剰投与	輸液・輸血の不足	気胸	空気塞栓	悪性高熱	誤飲	酸塩基平衡異常	不整脈
○	○	パルスオキシメータ	○	○	○	○	○			○	○	△	△		△
○	○	カブノグラム	○	○	○				△	△	○	○	△	○	
		スパイロメータ	○	○	△					△		△			
○		自動血圧計						○	○	△	○				
		聴診器	○	△	○	○		△		△	△		△		○
○	○	麻酔ガスモニタ	△					○							
		酸素濃度計					○								
○		心電図						△							○
○		体温計										○			

異常検知から麻酔動物が決定的 ダメージを受けるまでの時間的余裕

- 呼気ガスモニタ = CO₂モニタ
→ 4分の猶予
- パルスオキシメーター
→ 1分の猶予
- 心電図
→ 10秒の猶予



★「フィラデルフィア小児病院 Dr.Swedlow」記述を参考

パラシュート降下図

1心電図は100m上空で開く落下傘なので、10秒程度しか余裕がない。

2パルスオキシメーターは250m上空で開くので30～60秒程度の余裕がある。

3CO₂モニタは1000mの上空で開くので地上に激突するまで2～4分の余裕がある。

この差は大きい。



手術室モニタ

安全な麻酔に必要な最小限のモニタ

1. 循環系：パルスオキシメーター
血圧計、心電計
2. 呼吸系：パルスオキシメーター
カプノグラム、
換気量計、酸素濃度計
3. その他：麻酔ガスモニタ、体温計
聴診器

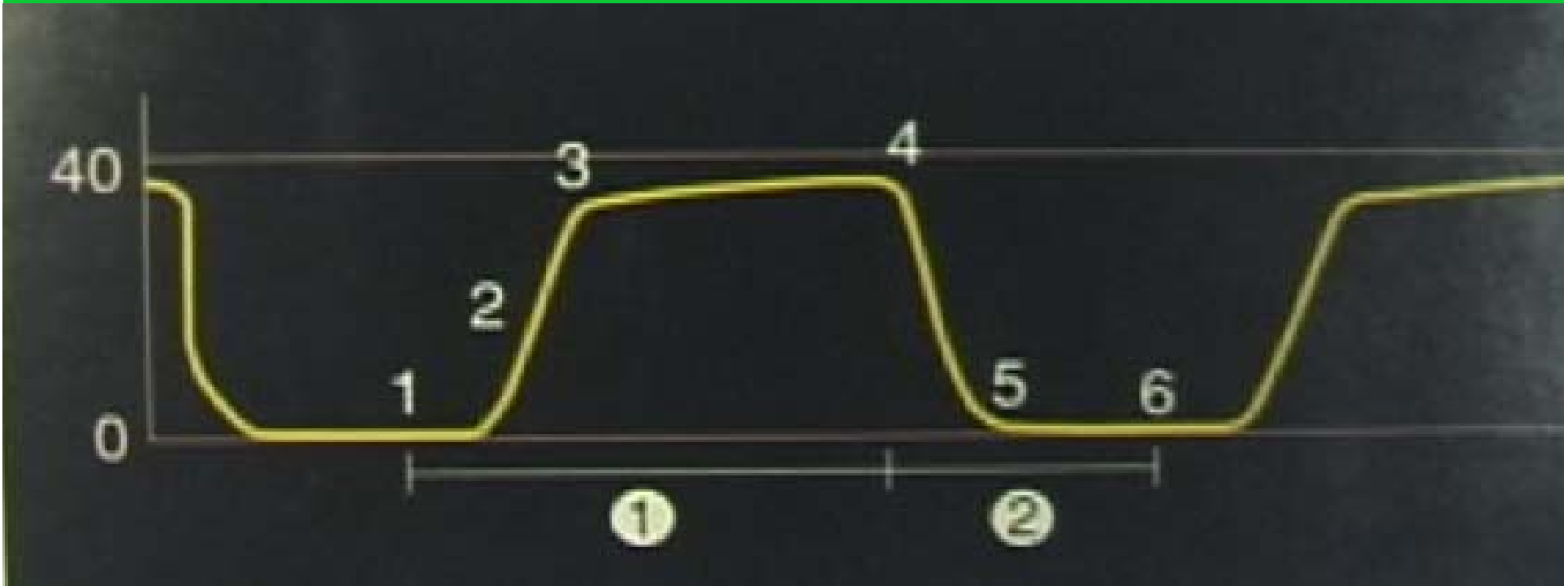
カプノグラム

- 呼気には二酸化炭素が含まれ、吸気には二酸化炭素が含まれない。呼気／吸気の二酸化炭素濃度を連続的に描写すれば、呼吸サイクル毎に特徴的な波形を描く。これをカプノグラフ(カプノグラム)と言う。

● 空気の組成

ガス名	化学式	体積%
窒素	N ₂	78.08
酸素	O ₂	20.95
アルゴン	Ar	0.93
二酸化炭素	CO ₂	0.034
ネオン	Ne	0.0018
ヘリウム	He	0.0052





呼気ガスを監視する意義

- 呼吸しているかを迅速に確認できる。
- 呼気ガスの呼出状態の把握
→気道狭窄、気道閉塞、誤挿管の有無
- 肺胞換気の評価
- PaCO_2 (二酸化炭素ガス分圧)の指標
- 循環不全の評価
- 呼気ガスの再吸入の確認
- 代謝の亢進のチェック

呼吸とは

- 生体は肺で酸素を取り入れ、代わりに二酸化炭素を吐き出している。
- 呼吸数の測定法：
 1. 胸郭の動き
 2. 麻酔器の吸気弁／排気弁の動き
 3. 食道聴診器
 4. 換気量計
 5. サーミスタ、カプノメーター

O₂
CO₂

PO₂ 150mmHg } 吸入気
PCO₂ 0mmHg }

気道

肺胞

肺動脈

肺動脈

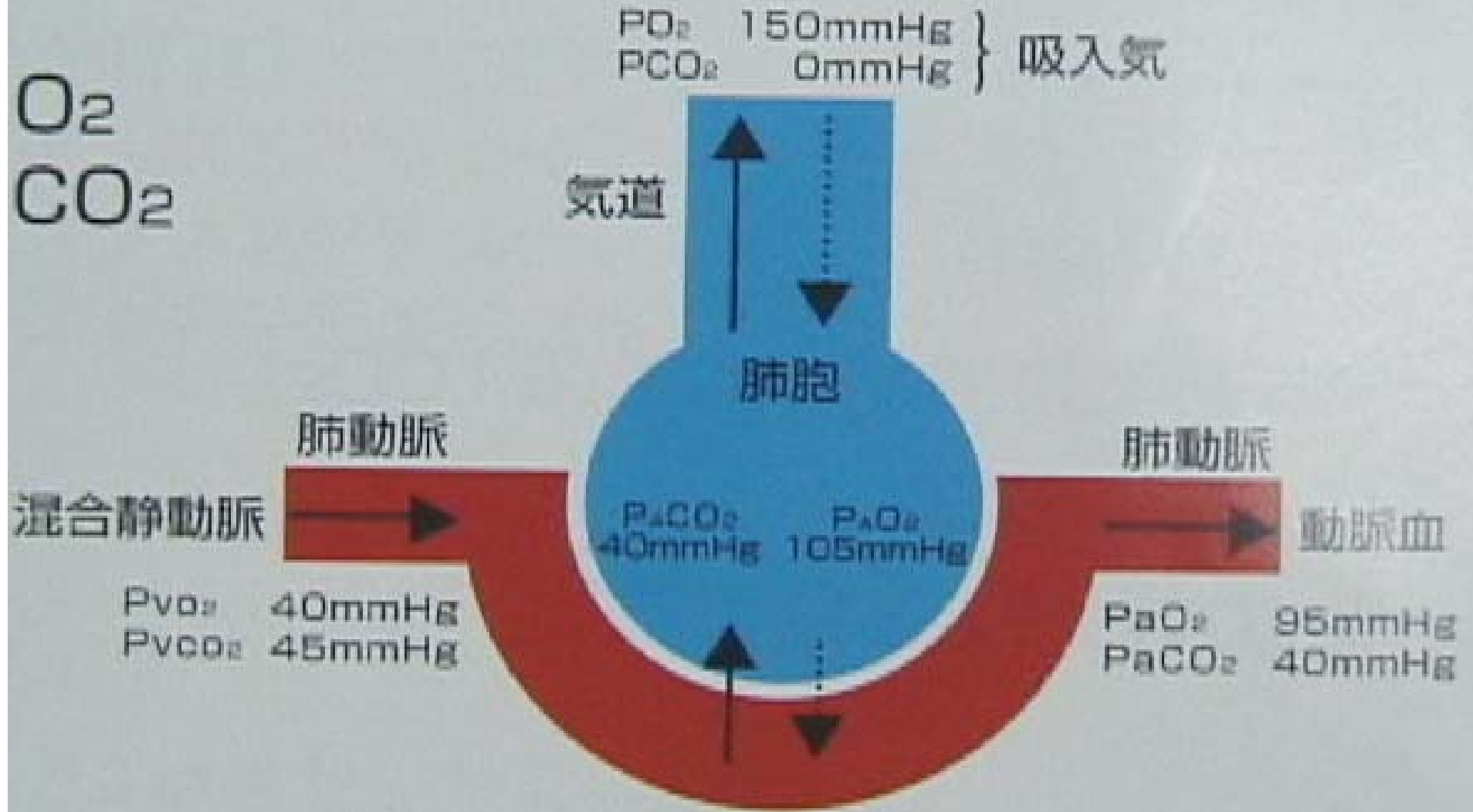
混合静動脈

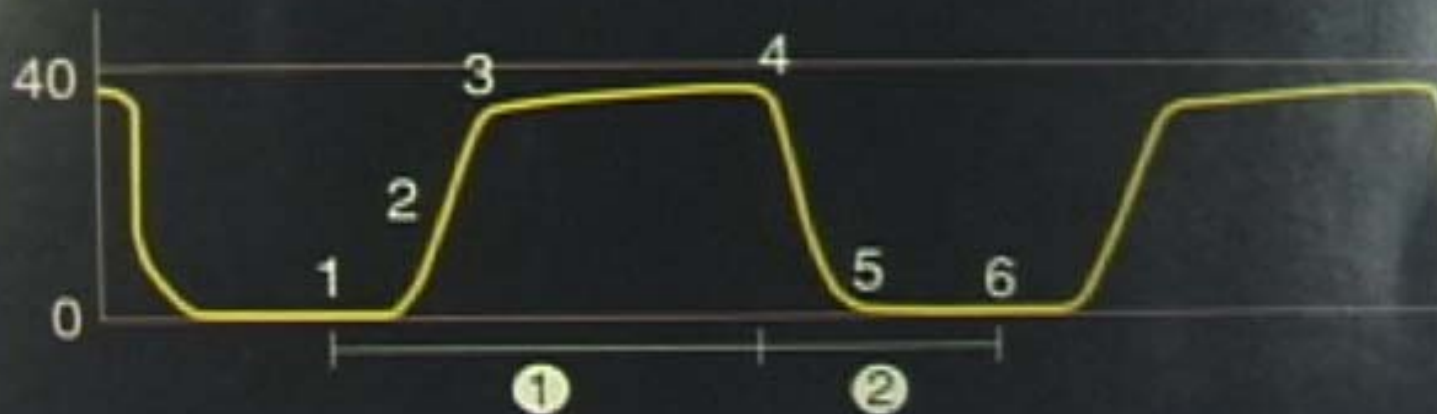
動脈血

PvO₂ 40mmHg
PvCO₂ 45mmHg

P_ACO₂ 40mmHg
P_AO₂ 105mmHg

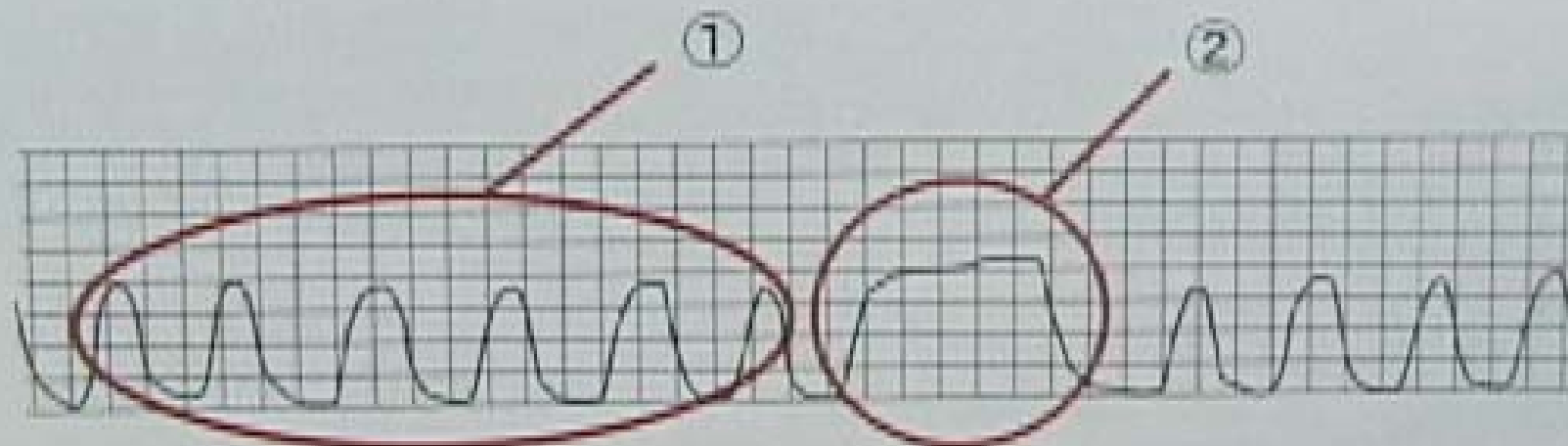
PaO₂ 95mmHg
PaCO₂ 40mmHg





◆自発呼吸時のカブノグラム

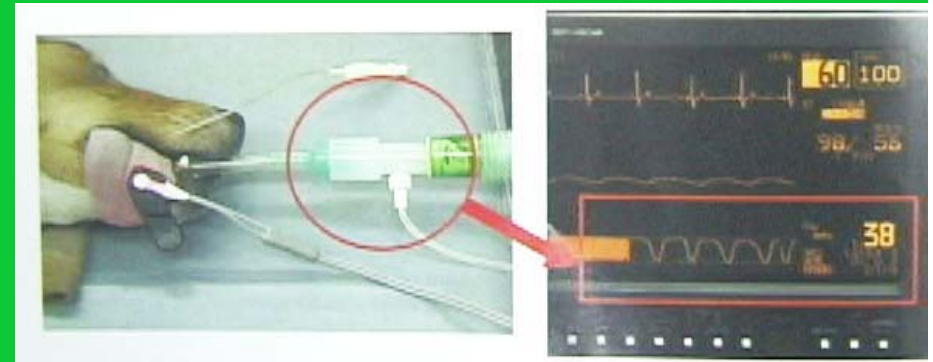
通常、動物病院に於いては自発呼吸にて麻酔維持がなされ、下図①のような波形になり、プラトーなカブノグラムは見られません。しかし、呼気時に胸部を軽く押すと十分なプラトーが形成されて②のような波形になり、肺胞でのCO₂レベルに近いETCO₂濃度を測定することができます。



呼吸数

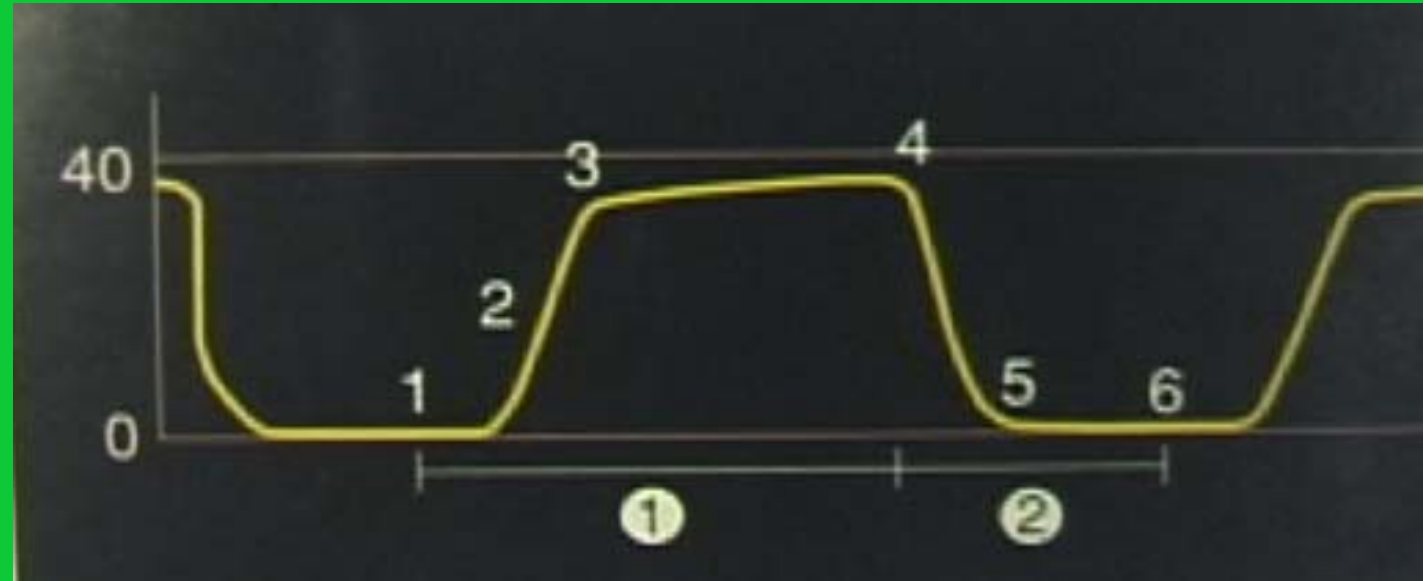
- 正常値
- 安静時：ネコ、子犬で20～30／分
成犬で20～25／分
- 補助呼吸：通常は麻酔器のバッグを手動で圧迫する→12／分
- 調節呼吸：ネコで10～14／分
イヌで 8～14／分

終末呼気炭酸ガス濃度測定



- 測定方法: 気管チューブの途中から細い管で測定室まで呼気を吸引して測定
- 測定項目: 呼吸数(RR), 終末呼気炭酸ガス濃度(ETCO₂), 呼気CO₂濃度、
N₂O麻酔使用時→吸気／呼気N₂O濃度
- 正常値: ETCO₂=肺胞CO₂=PaCO₂-2~5mmHg
麻酔中はこの差が幾分大きい。
PaCO₂=35~45mmHg=ETCO₂

カプノグラムの読み方



① 呼気相

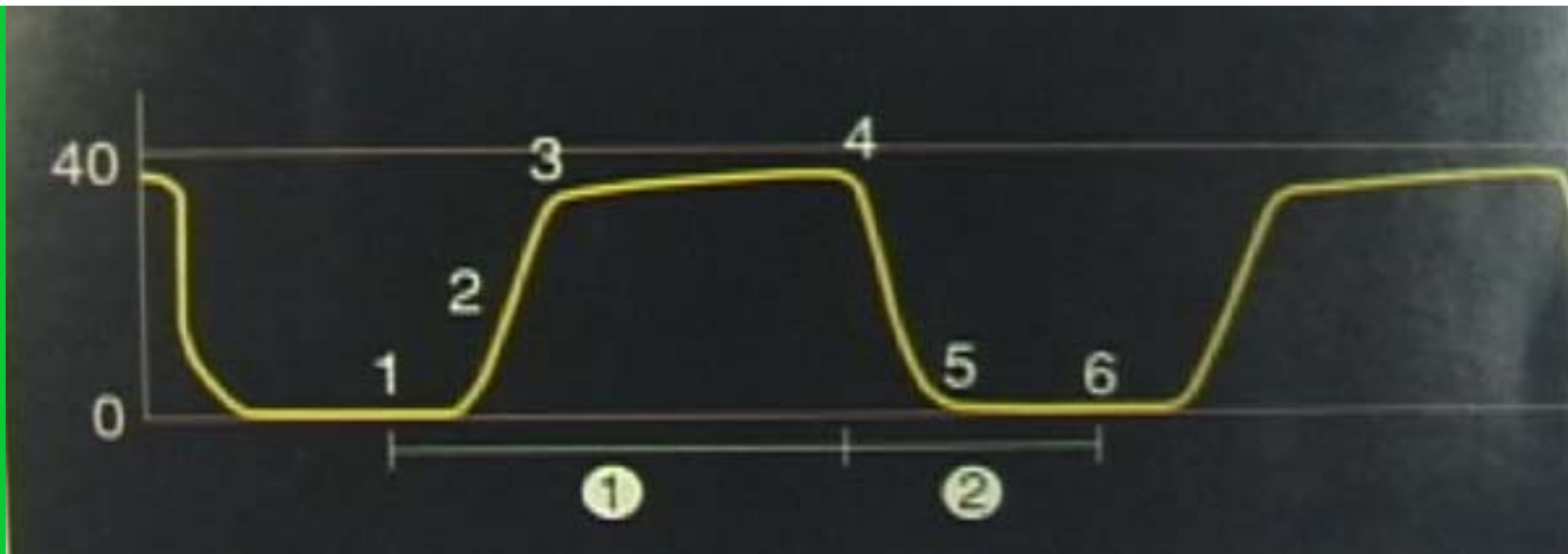
1呼気開始点:死腔内の空気=基線

解剖学的死腔部の呼気=死腔内の空気

2肺胞からの呼気の混合して、炭酸ガス濃度の急激な上昇

3.肺胞相

4.呼気終末点= $ETCO_2$ =肺胞内の炭酸ガス分圧を反映



① 呼気相

② 吸気相

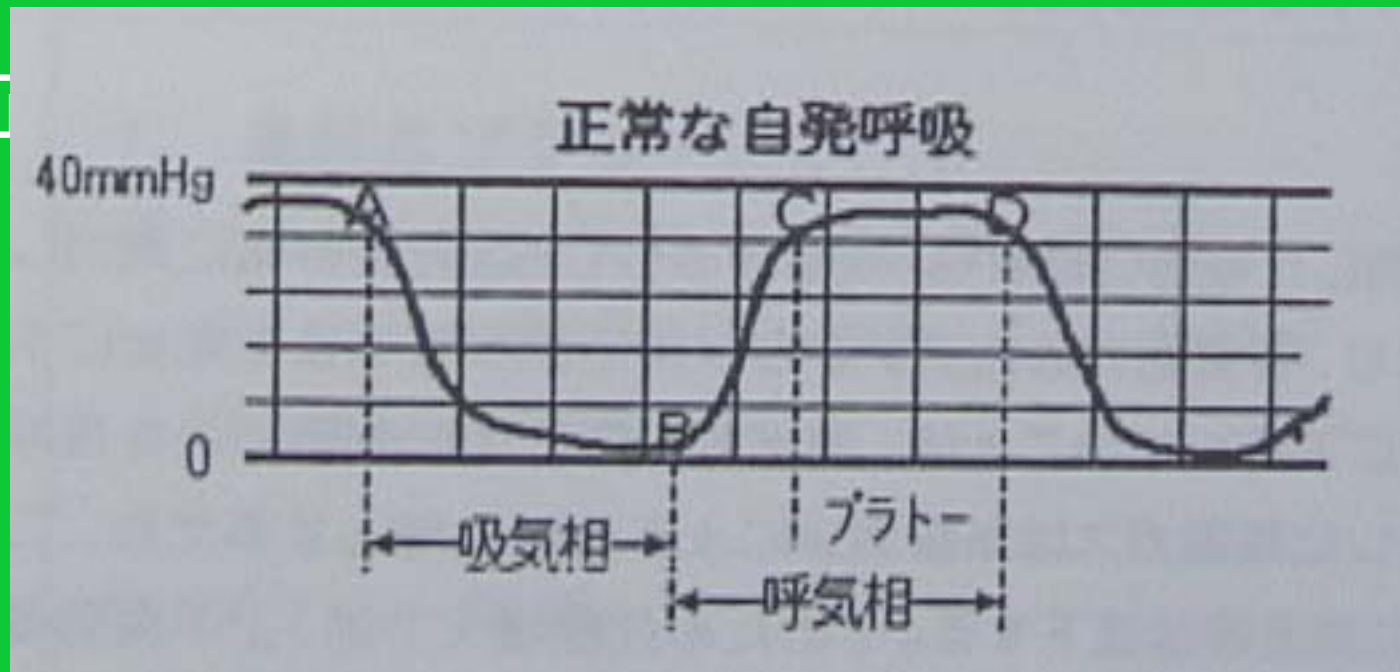
4. 吸気開始点.(呼気終末点 = $ETCO_2$)

吸気の開始 = 呼気 of 最終点

5. 呼気 of 流入: 急速に炭酸ガス濃度が低下して
基線に達する。

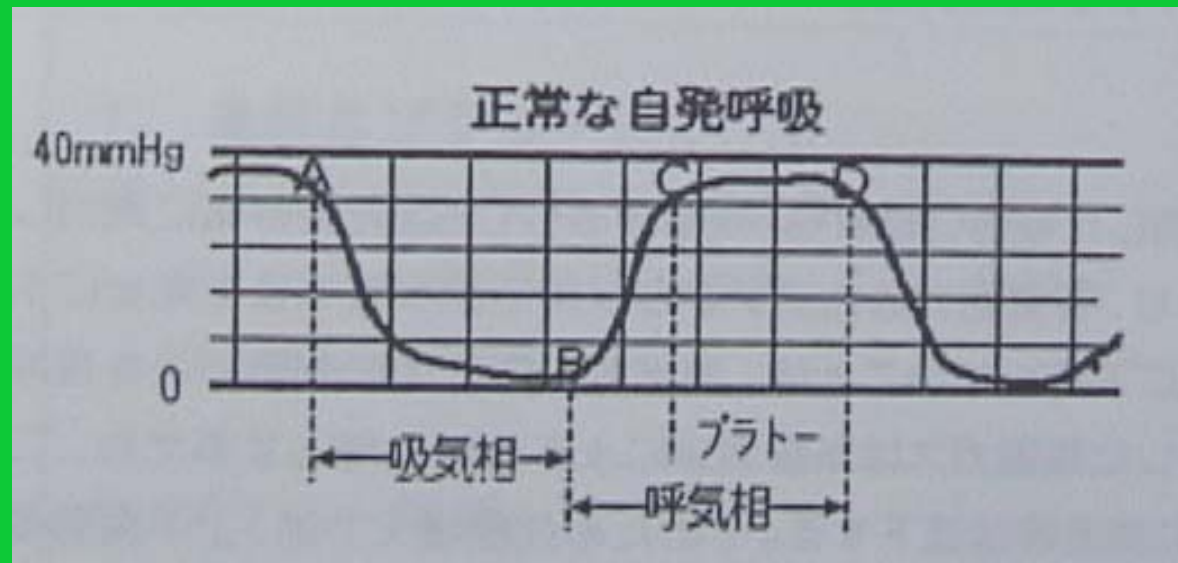
6. 呼気 of 終末点

カプノグラムの評価

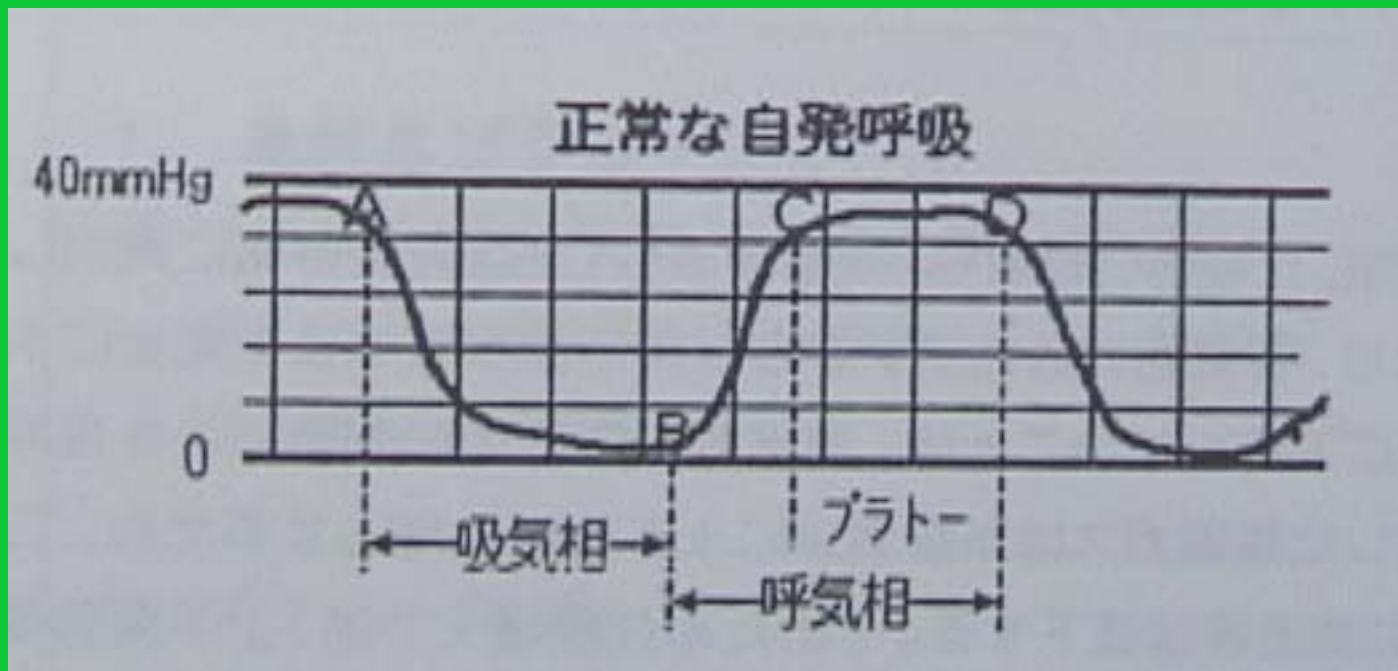


カプノグラムの評価 正常な自発呼吸

- 安定した自発呼吸の吸気／呼気時間比は1:1で、対称的な曲線になる。その数は呼吸数に一致している。
- 吸気相: 軌道内の残留呼気を再吸入するためCO₂濃度は高いが、引き続き吸入するCO₂を含まない新鮮ガスにより急激に低下する。



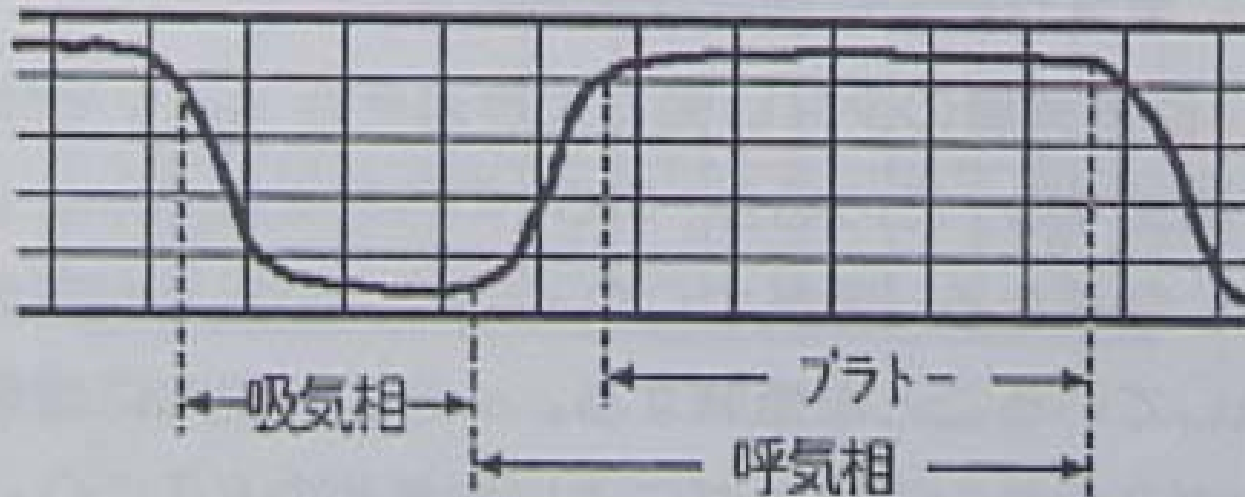
- 呼気相: 曲線の立ち上がりから次の下降するまでが呼気になる。呼気相の始まりは、肺胞と接触しなかったCO₂の少ない残留ガスが含まれるために波形は低いですが、CO₂が吐き出るに従って急上昇し、呼気の最大点に際かかると終末呼気中の炭酸ガスがしばらくの間、高濃度に測定され波形の上部に平坦な部分として描写される。この平坦な範囲をプラトー(平坦部)と呼び、呼気相の最大持続時間を示す。

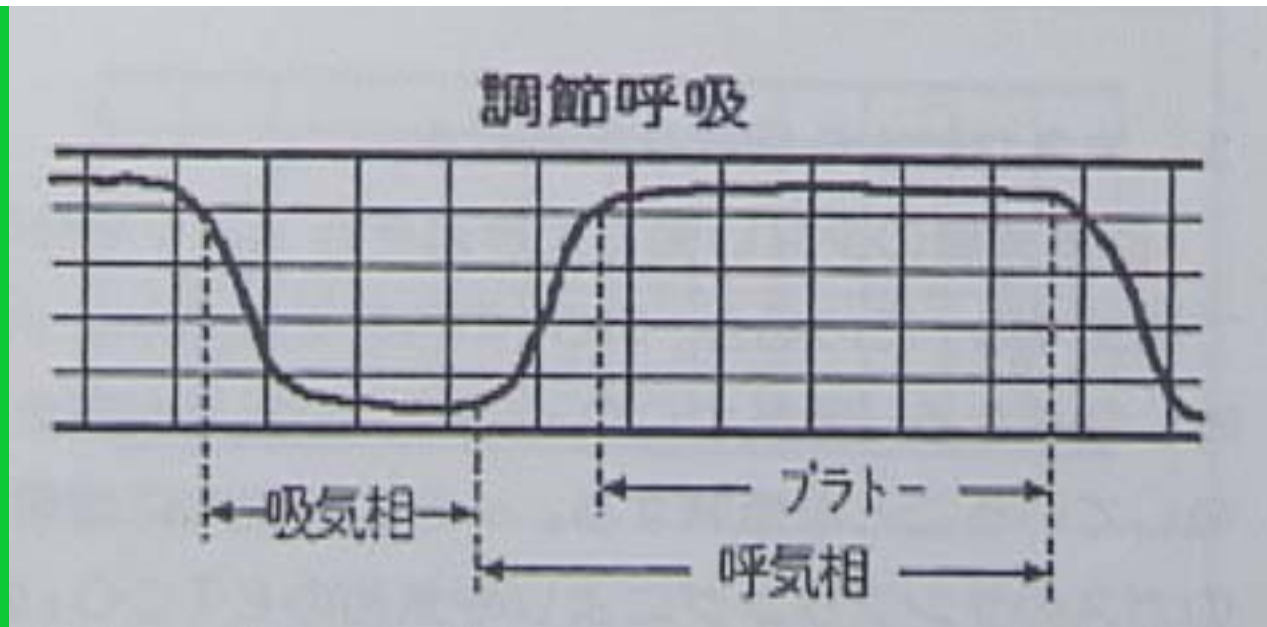


正常な自発呼吸



調節呼吸

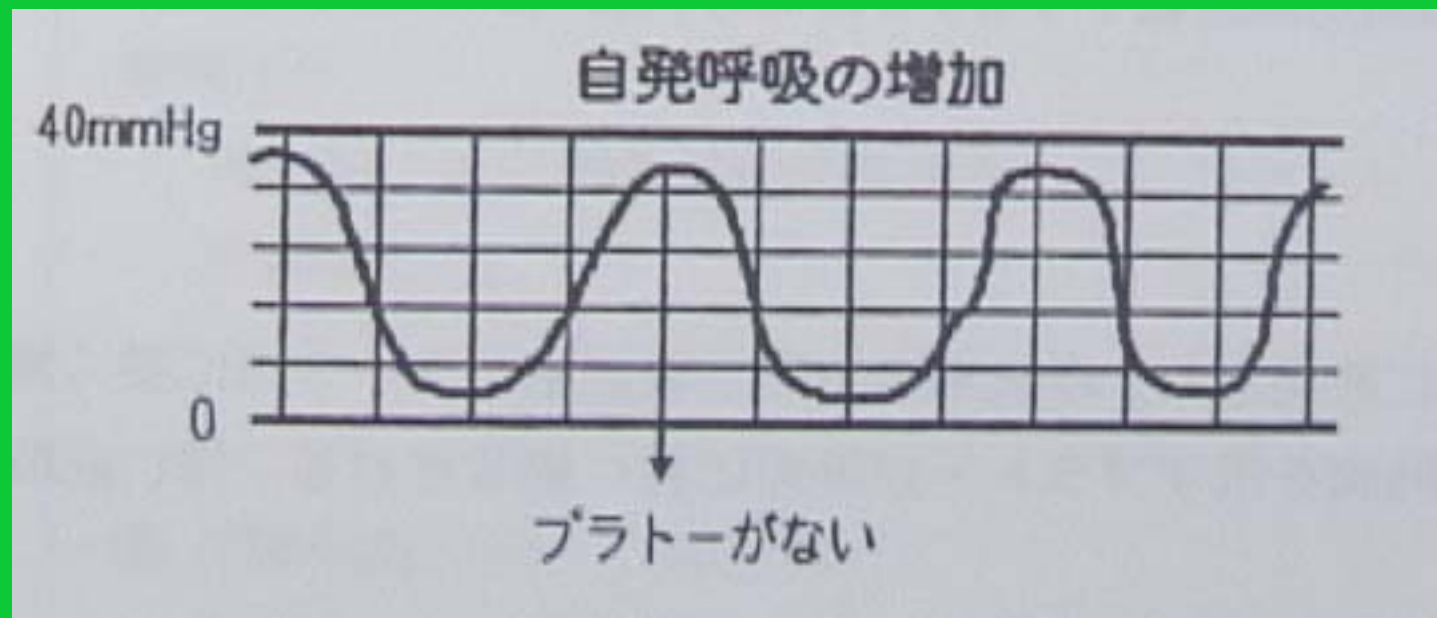


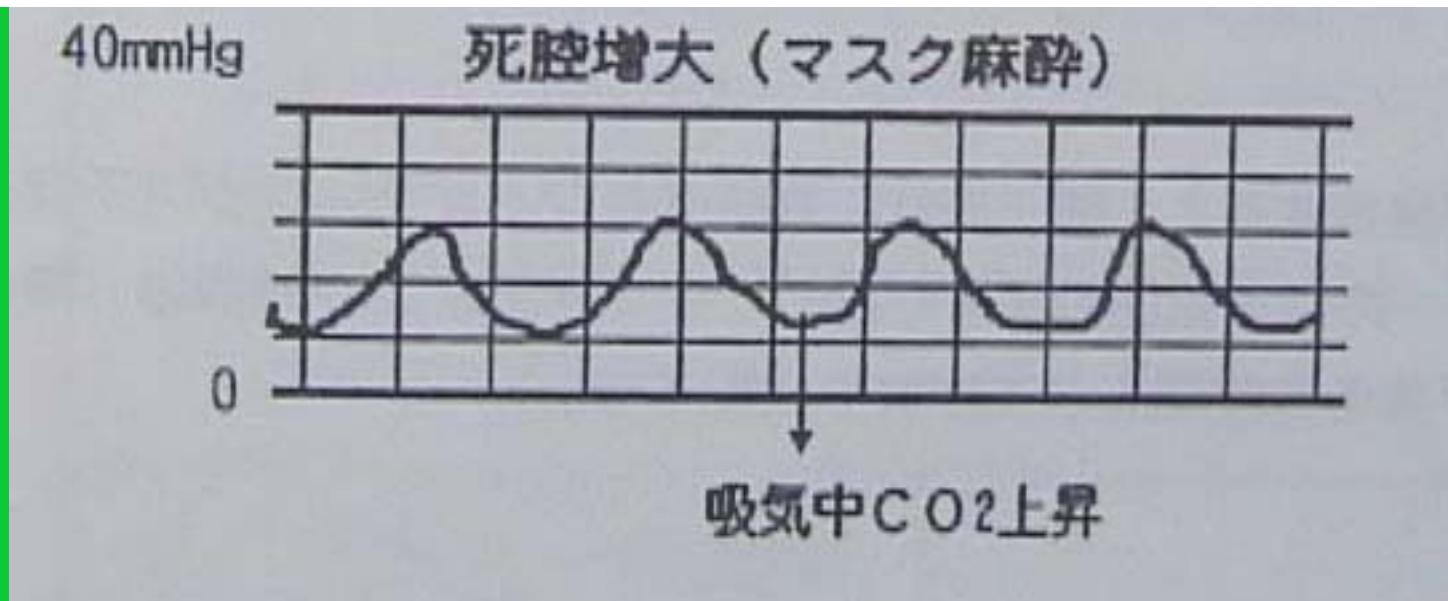


- 調節呼吸では吸気と呼気の時間比が1:2～1:3に設定され、呼気相の時間が吸気相の2～3倍に長く維持される。カプノグラフでは呼気相の最大持続時間を示すプラトーが平坦に長く描写される。浅い麻酔ではこのプラトーは短くなる。

自発呼吸の増加

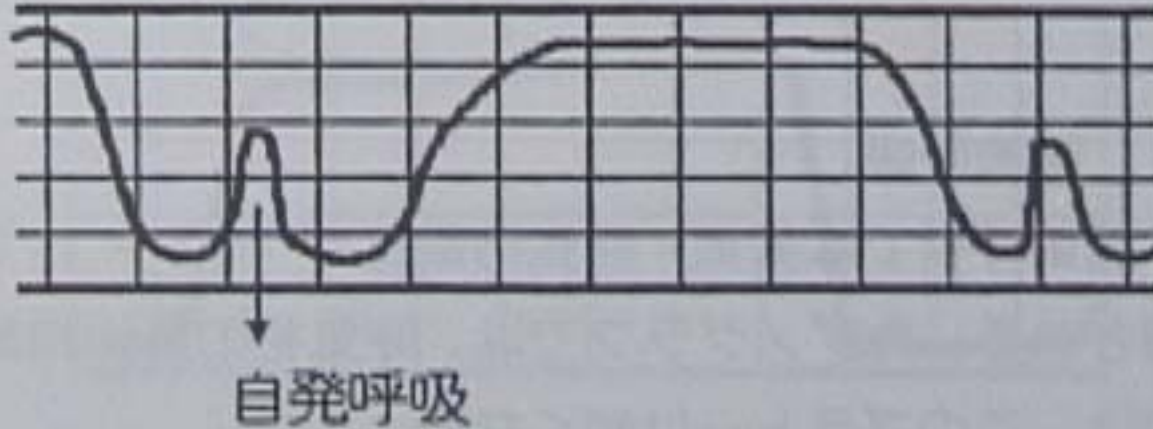
- カプノグラフの波形は呼吸運動に一致することから、呼吸数が増加すれば波形数も増加し、プラトー持続時間は短縮する。呼吸速拍が強くなるとプラトーは消失する。そして死腔内ガスの再吸入等で上下変動幅の少ないグラフとなる。





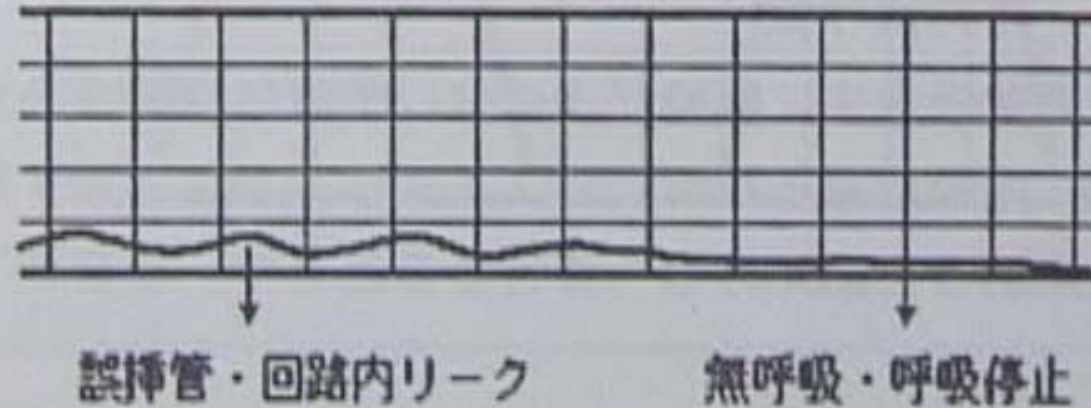
- 1回換気量の少ないネコで、大き過ぎるマスクを使用した場合、CO₂の再呼吸量の増加により、基線まで降下せず、また死腔内ガスによる呼気ガスの希釈によって呼気相のETCO₂測定値は低下する
- 死腔増大では上下変動の幅の少ないカプノグラフとなる。
→ 瀕回自発呼吸でも同じグラフ

調節呼吸(ファイティング)



- 調節呼吸中に麻酔が浅くなり、明瞭な自発呼吸が発現すると、陽圧換気に抵抗するファイティング(不同調)呼吸が見られる。カプノグラフはプラトーのない山型の波形が出る。
- この波形は導入麻酔から調節呼吸へ移行する時や、手術終了後の覚醒期など浅麻酔で発現する。

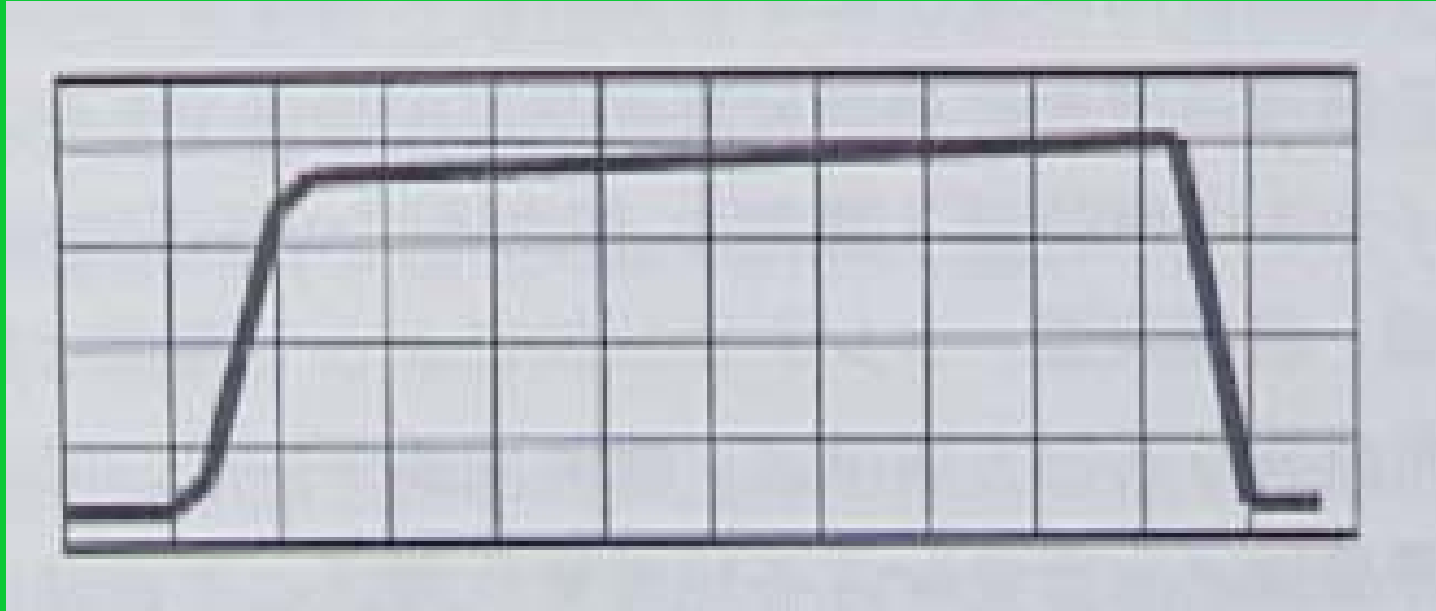
極端な曲線の低下



- これは気道内の炭酸ガスが全く測定できないほど存在していないことを表している。
 1. わずかに曲線が表記される場合は**誤挿管**や**回路内リーク**のあることを示す。

回路内リーク: ジョイントのはずれ、蛇管の破損で回路と外気とが通じて麻酔器の密閉性がなくなっていることを意味している。
 2. 全くCO₂が測定されないと**曲線は消失**する。この場合は**無呼吸**、**呼吸停止**、**心停止**等を意味している。

- ADS1000では
 1. 回路内リークが発生すると、警報音と共にベンチレーターの作動が停止する。
 2. 食道内の誤挿管ではカフによって一応の密閉状態が作られるので、ベンチレーターは作動するが、カプノグラフは平坦化するので直ぐに判る。従って、挿管後は必ずCO₂の排泄を示す呼吸運動曲線を確認すべきである。



- 良好なプラトー: プラトーがわずかに上向きで長い波形ほど、ETCO₂は肺胞内CO₂濃度に近く、動脈血CO₂濃度に相関する。

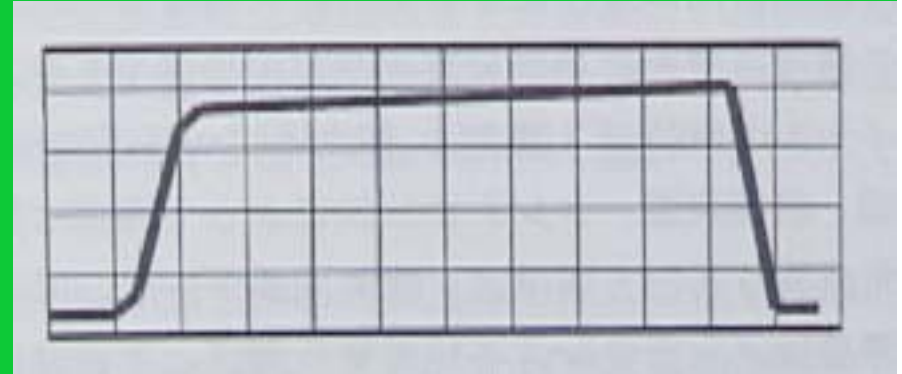
望ましい波形→

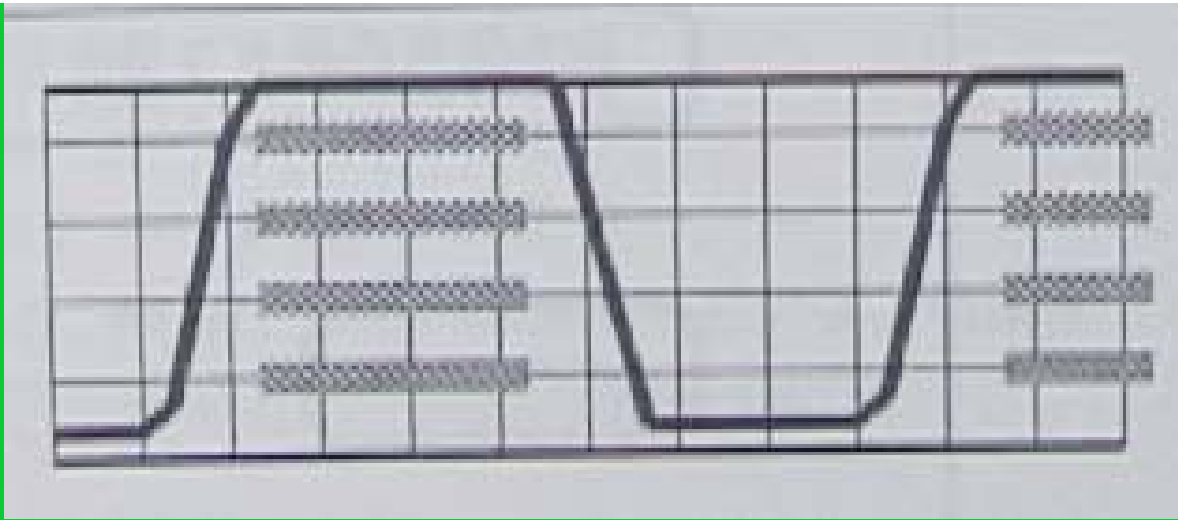
★浅麻酔で自発呼吸が
出るとプラトーが

短縮する →→→

気管チューブに閉塞、

★チューブ先端の位置異常があると
麻酔ガス濃度を高くしても麻酔が
深くならず、しかも低換気のために
ETCO₂が上昇しプラトーが高い





- プラトーの上昇：
($>60\text{mmHg}$ の ETCO_2 とプラトーの短縮を伴うことが多い)
- 原因：重度の低換気、気道閉塞、代謝亢進＝発熱(加温しすぎ)、甲状腺機能亢進、震え、高熱、
- 呼気弁に異常、
- ソーダライムの劣化、浅麻酔



- プラトーの低下
(ETCO₂の低下と長いプラトーを伴う)
- 原因:
 - 1代謝低下＝低体温、
 - 2循環不全＝低心拍出量、低血圧、肺血流量の減少、深麻酔

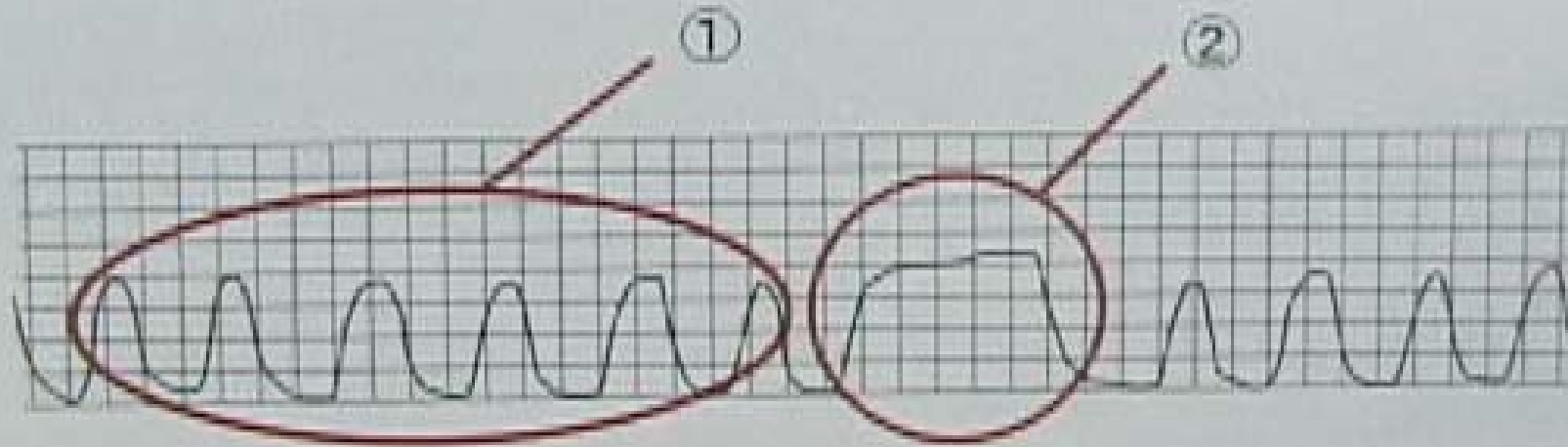
カプノグラムの評価

正常な自発呼吸

- 呼気相: 曲線の立ち上がりから次の下降するまでが呼気になる。呼気相の始まりは、肺胞と接触しなかったCO₂の少ない残留ガスが含まれるために波形は低いですが、CO₂が吐き出るに従って急上昇し、呼気の最大点に際かかると終末呼気中の炭酸ガスがしばらくの間、高濃度に測定され波形の上部に平坦な部分として描写される。この平坦な範囲を**プラトー(平坦部)**と呼び、**呼気相の最大持続時間**を示している。

プラトーの長短

1. 良好なプラトー: プラトーがわずかに上向きで、長い波形ほど、 ETCO_2 は肺胞内 CO_2 濃度に近く、動脈血 CO_2 濃度に相関する。
2. プラトー短縮
 - a **浅麻酔**: 自発呼吸が発現するとプラトーが短縮する。
 - b **気道閉塞とMAC値上昇**: 気管チューブの閉塞、チューブ先端の位置異常があると、**麻酔濃度を上げて**もプラトーが長くない、**麻酔も浅い傾向**がある。この時は低換気のために ETCO_2 が上昇し、プラトーが高くなる。



カプノグラムの読み方

- 自発呼吸が発現している時は平坦なカーブを示す部位はなくなる。呼気時に胸壁を軽く押すと肺胞内呼気が排泄されて、平坦な部分が出る。この部はETCO₂濃度を示している。

カプノグラムの読み方

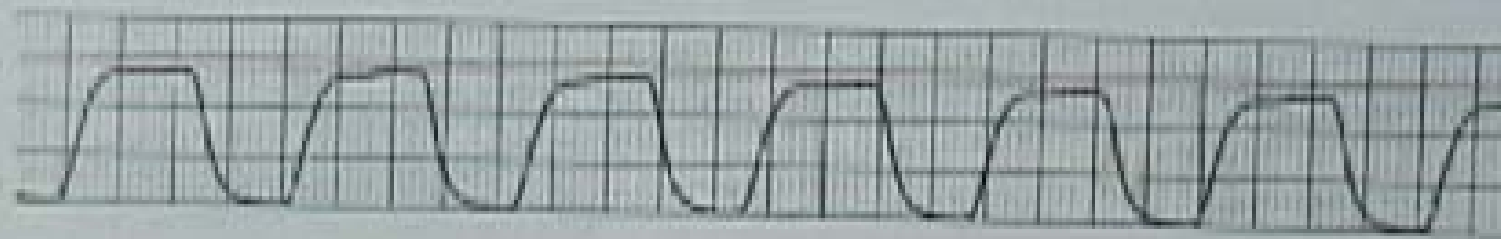
- 正常カプノグラム
- 異常カプノグラム



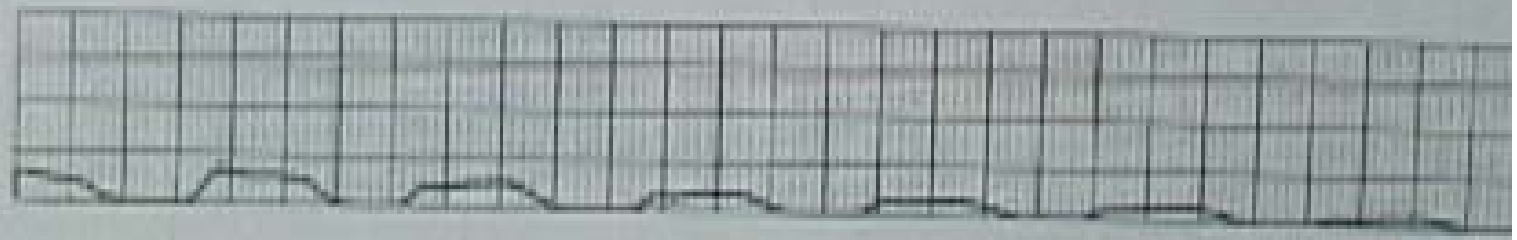
正常

40mmHg
(正常値)

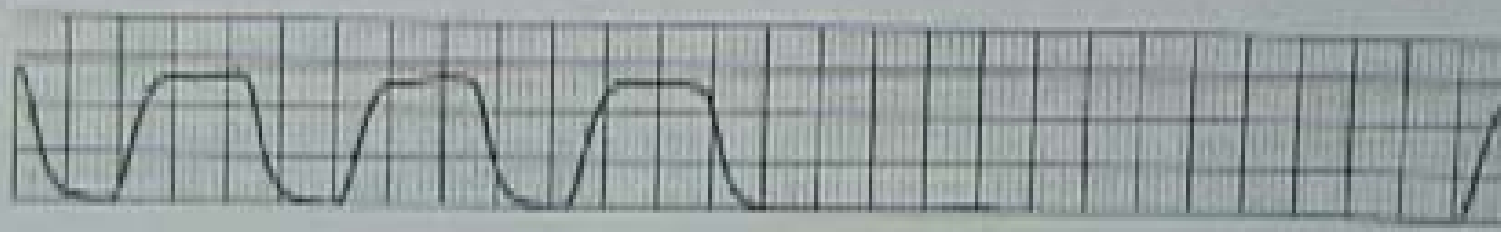
ベースライン



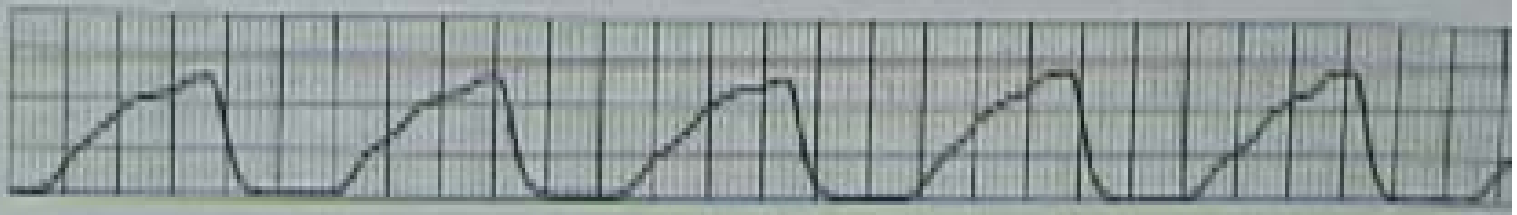
食道挿管



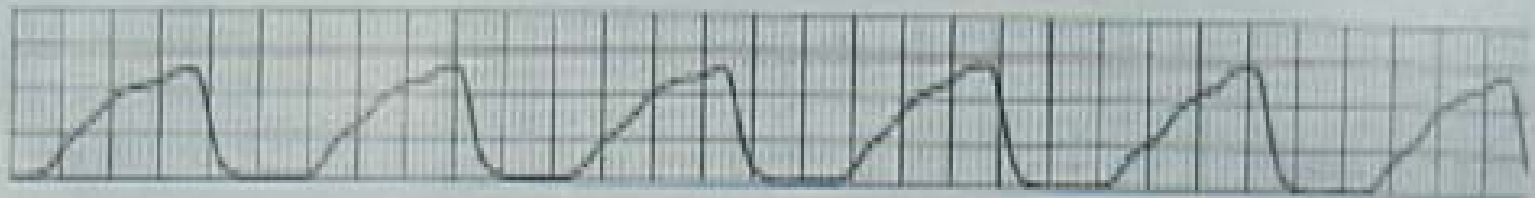
チューブはずれ



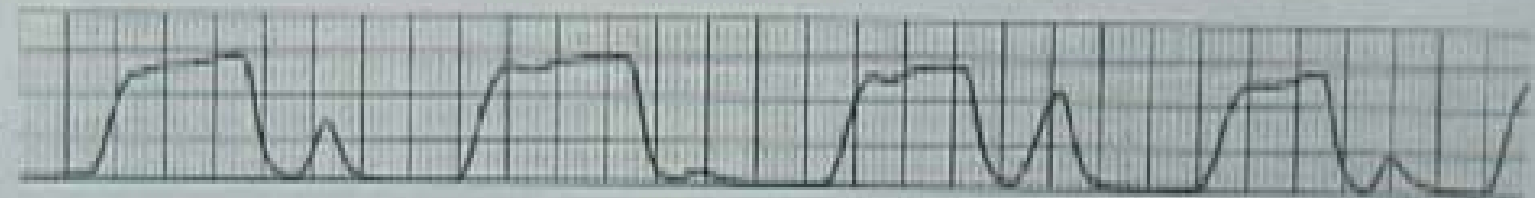
気道狭窄



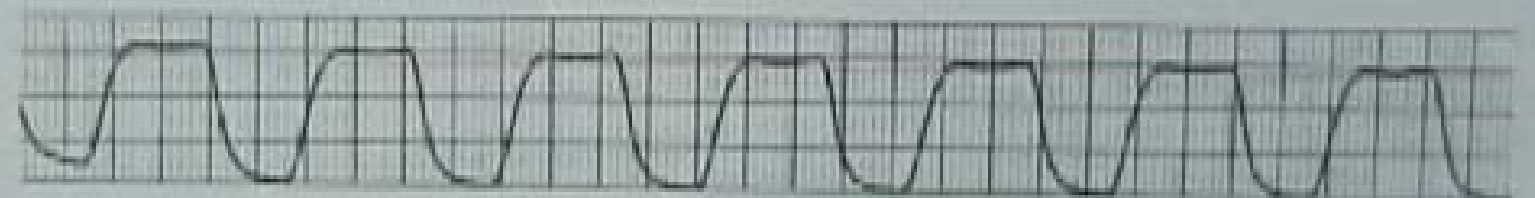
気道気管



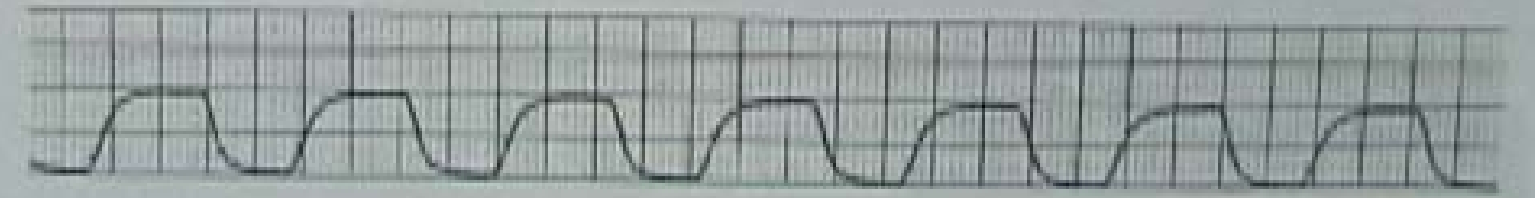
人工呼吸器
ファイティング



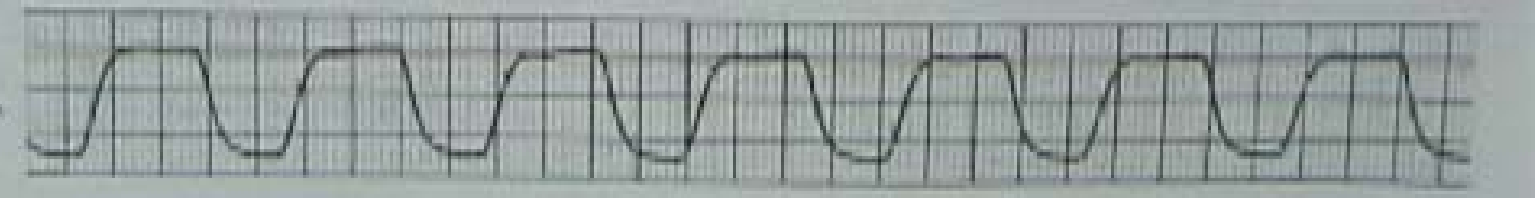
健換気



過換気



呼吸ガス再吸入



マスク使用時のETCO₂測定

- マスクによる死腔が大きい時は栄養カテーテルを鼻腔内に挿入して、これにサンプリングチューブを接続して測定する。
- 回路内に呼気が滞留すると、カプノグラムの基線が上昇するので、この時は回路を一時的に開放して呼気を逃がすと基線が戻る。





死腔とは

- 死腔：呼気中の CO_2 、麻酔ガス、新鮮ガス等の残留ガスが再び吸入される麻酔回路あるいは気道容積を言う。これには
 1. 終末呼気中の CO_2 が高濃度に残留する口腔／鼻腔～肺胞までの**解剖学的死腔**
 2. Yピースやジョイントの麻酔回路の容積に当たる**機械的死腔**

死腔と一回換気量

- 解剖学的死腔：イヌとネコの解剖学的死腔は一回換気量の1/3程度で、気道閉塞や肺疾患で増大する。
- 機械的死腔：機械的死腔は一回換気量に対してマスクやジョイントの容積が大きくなるほど増大する。気管チューブ使用時の死腔は解剖学的死腔よりも小さくなる。

死腔と一回換気量

- 死腔の影響は死腔一回換気量の少ない動物ほど増大し、残留ガスの再呼吸量が多くなる。
- 小さなネコではマスクを使用した時の死腔は一回換気量の2～3倍に達し、残留ガスの再呼吸量は飛躍的に増大する。
- マスクを使う時は出来るだけ小さなものを使用する。

1 回換気量と死腔

解剖学的死腔 : 口腔~鼻腔~肺泡までの再呼吸エリア



機械的死腔 : Yピース~マスクまでの再呼吸エリア

- マスクのとき



- 挿管したとき



麻酔中のETCO₂の上昇

低換気を示唆

- ETCO₂が低下する時は測定ミスがあり得るが、高値を示す時は正確な表示と解釈でき、原因は様々な低換気による。
- ETCO₂が40～45mmHgは死腔の少ない良好な換気が維持されていて、正常値の範囲内とみなされる。
- 45mmHg以上が長時間持続する時は低換気の有無をチェックすること。

麻酔中のETCO₂の上昇

低換気を示唆

- 一般的な原因
 1. 気道閉塞＝気道分泌物(喀痰)、泡沫、異物
 2. 低すぎる最大吸気圧(通常は15～20mmHg)
 3. 無気肺、重度の気胸
 4. 体温上昇：代謝亢進＝CO₂の排泄が増える
 5. 低流量麻酔(麻酔ガス濃度が不安定)

>45mmHg

1. 換気量低下(高炭酸血症アシドーシスという)
2. 麻酔初期の酸素化前、麻酔による呼吸抑制
3. 換気／血流不均衡分布
4. 不同調(ファイティグ)陽圧呼吸に抵抗する
自発呼吸が発現したとき換気量が低下して起こる。
- 5 息こらえ:ガス麻酔薬の刺激で鼻腔の迷走神経が興奮して断続的な無呼吸が起こる。

>45mmHg

6 気道閉塞、

7 メドミジン、キシラジンは呼吸抑制が強い

8 低流量麻酔とソーダライムの劣化

9 無気肺★

この状態では、脳圧上昇、不整脈の増加、
アシドーシスによる心筋抑制が起こる。

麻酔中のETCO₂の上昇 低換気を示唆

- >60mmHg
 1. 重度の換気量低下
 2. SPO₂低下を伴っている時は深刻事態である。

3.SPO₂が正常値を示している間に原因を究明して対処すること。

原因: マスク使用時→単純な原因が多い

- マスクのゴムの部分で気道を圧迫
- 咽頭狭窄を招く屈曲する体位の保定
- 舌根沈下／軟口蓋下垂による気道閉塞
- 軌道内の血液や吐物／気道分泌物

麻酔中のETCO₂の上昇

低換気を示唆

★ >60mmHg / SPO₂の低下を伴うとき(緊急事態)

→救急処置が必須

• 心拍出量の低下→

2. 重篤な徐脈 / 不整脈→

★10倍希釈イソプロテレノール(0.02mg / 1ml)を常備しておく。
ワンショット投与方法(0.1ml ~ 0.5ml / kg, iv)

1. 血圧の急激な低下→上記薬物 + 輸血、あるいは血漿代
用液(低分子デキストラン)の点滴。

予防: 大きな腹腔内の腫瘍摘出で、腹腔内から腫瘍を体外
に出したとき、急激に腹圧が減少するのに合わせて、大
量の輸液ないし輸血を実施すると良い。

麻酔中のETCO₂の低下 (過換気)

- ETCO₂が29mmHg以下のときで、技術的な測定ミスがない時は過換気(低炭酸血症:アルカローシス)に起因。
- 技術的な測定ミス: マスク麻酔では気管挿管に比べ死腔が大きいので、終末呼気中のCO₂よりも、新鮮ガスや残留ガスの方が多く滞留する不適切な部位からのサンプリングに起因して起こる
- 食道内への誤挿管、気管チューブのはずれ、呼吸回路の細孔からのリーク(漏れ)

過換気の原因

- 過換気とは: 1回換気量や分時換気量の増大によってPaCO₂の低下に起因。
- 吸気圧が高すぎるか、呼吸回数が多すぎる
- 浅麻酔、疼痛、覚醒時の換気量増大でPaCO₂が減少
→ETCO₂の低下を招く。

★PaCO₂の正常値: 45mmHg

麻酔中はやや過換気に維持されて: 30~40mmHg

★過換気: <29mmHg

★極端な低下(17~20mmHg)は技術的測定ミスが多い

ETCO₂の低下の是正

最大吸気圧を低くする

- ETCO₂の低下は、上昇(低換気)に比べると原因は複雑である。
- 原理的には最大吸気圧を低くすると、やがて測定値は上昇するはずである。
- ETCO₂が低下してもSpO₂は正常な場合が多い。しかし、SpO₂の低下が同時に見られる時は急性循環不全による心拍出量の低下を示唆する緊急事態である。

ETCO₂の低下の是正

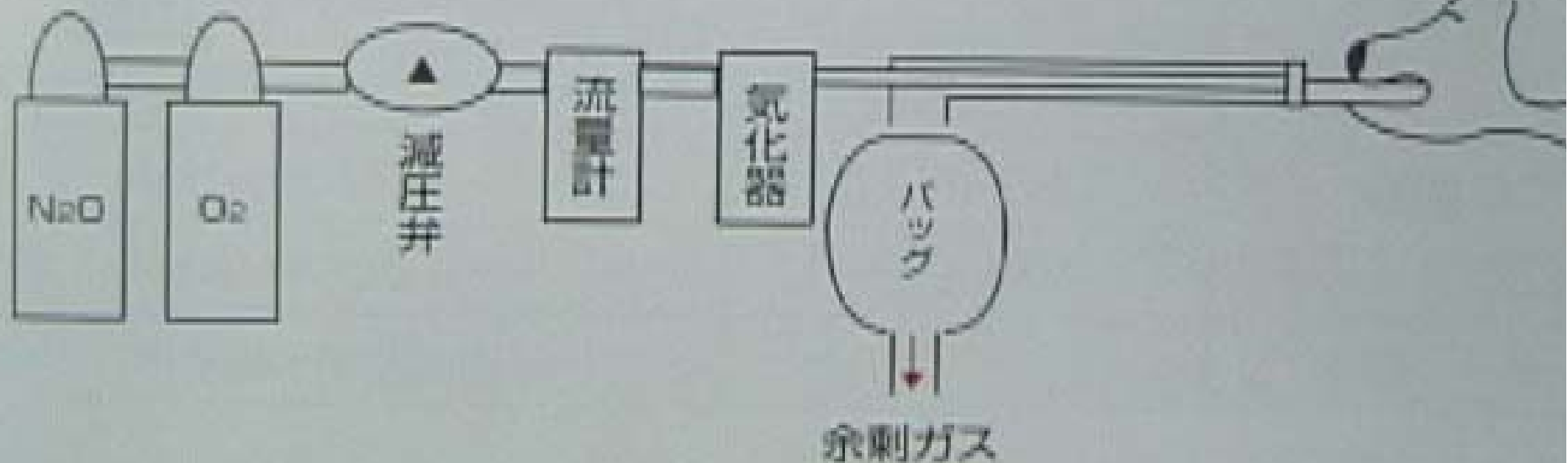
代謝／血流低下

- CO₂の産生は生体の代謝率に依存するため、体温が上昇するほどCO₂の産生が増加し、
- 体温の低下では分時換気量が正常であっても、CO₂の産生が減少するためETCO₂の低下を起こす。
- 代謝率は麻酔が深くなるほど低下し、ETCO₂も低下する。
- **ハイリスク**(危険な事態が起こる可能性の高い、重度の貧血、黄疸、腎不全、低タンパク血症)の動物では
 1. 麻酔を浅めに維持し、
 2. 体温低下に十分注意して、
 3. **ETCO₂の低下を予防してゆくことが重要。**

吸入麻醉回路

【非再呼吸法】

◆半開放式（ジャクソンリース法、ペイン回路等）



人工呼吸器使用中の点検項目

2 気道内圧

- 通常のコンプライアンスの肺では
10～20cmH₂Oの範囲内で加圧呼吸実施
- 肺気腫とは、病理学的に「肺胞壁の破壊による、線維化を伴わない気腔の拡大」を呈する慢性閉塞性肺疾患である。気管支拡張症と異なり、終末細気管支よりも遠位(つまり呼吸細気管支と肺胞)を病変の主徴とする。炎症による気道の狭窄と、肺胞壁の破壊に伴う肺コンプライアンス値の増大によって、換気が障害される。

肺コンプライアンス

(肺と胸郭の膨らみやすさ)

- 肺コンプライアンスの低下する要因＝
膨らみにくい状況＝送気量の低下
 1. 胸壁や腹部からの圧迫
 2. 腹臥位
 3. 腹腔容積拡大(腹水、腹腔内の腫瘍)
 4. 無気肺、肺水腫、胸水、気胸
 5. 肥満

これらは器械が自動的に一回換気量と分時換気量の増大が行われ、換気量の低下分が補正される。

気管チューブの閉塞では自動補正ができず要注意

人工呼吸器使用中の点検項目

3小動物の換気量

- 1回換気量: 10~20ml/kg
- 分時換気量: 150~250ml/kg

- 例: 体重10kgの場合
- $10\text{ml} \times 12 \sim 15\text{回} \times 10\text{kg} / \text{分} = 1.2 \sim 1.5\text{L} / \text{分}$

呼吸の深さと呼吸数の肺胞換気量に与える影響

呼吸の深さと呼吸数の肺胞換気量に与える影響

・浅くて速い呼吸



・深くてゆっくりした呼吸



麻酔ガス濃度モニタ

吸入麻酔ガス濃度測定

- 呼気ガス濃度＝肺胞濃度＝脳内濃度
維持麻酔期では脳での麻酔濃度を推定できる。
 - 気化器の設定濃度と呼気ガス濃度は必ずしも一致しないので、呼気ガス濃度を測定できないモニターでは気化器の設定濃度から推察するしかない。
 - 良好な麻酔状態が得られる麻酔ガス濃度は病態で異なる。
 - 老齡、妊娠、低体温、薬物で低下
 - 高Na血症、高体温で上昇
- 各個体に適した濃度で維持する。

MAC

最小肺胞内濃度

- 麻酔強度の指標の一つ
- 50%の動物が疼痛刺激の反応を示さなかった時の麻酔ガスの肺胞内濃度
- MAC値が小さいことは麻酔作用が強いことを示している。
- 吸入濃度は気化器の設定濃度とは異なるので注意する。

	ハロセン	イソフルラン	セボフルラン
犬	0.87%	1.28%	2.36%
猫	0.82%	1.63%	2.60%

脳内濃度＝肺胞濃度(MAC濃度)
＝呼気麻酔ガス濃度

(MAC 濃度は臨床的には、安定した麻酔深度を得るための指標の一つとして、特に調節呼吸では非常に有用である)

- イソフルラン麻酔で、手術中の麻酔安定期には、調節呼吸下で、終末呼気麻酔ガス濃度をMAC値(イヌ1.28%,ネコ1.61%)に設定することで必要最低限の麻酔深度を維持することが出来る。
- 麻酔安定期には基本的にはMAC値×1.3～1.5の濃度(イヌ1.66～1.92%、ネコ2.09～2.42%)で維持する。
- 麻酔安定期に入ってからMAC値を利用することが大切で、麻酔がまだ安定しないうちにMAC値に設定すると覚醒し始めて痛みに反応するかも知れない。

MAC値の低下

(低い濃度で麻酔がかかる)

- MAC値低下をもたらす要因

1. 前投薬の種類、用量、
2. 低栄養状態
3. 加齢
4. 体温低下★
5. 重篤な疾患

★麻酔中に体温が低下するとMAC値は極端に低くなるために、体温維持に努めると共に、測定体温を参考にしながら維持濃度を設定すること。

心拍出量低下、貧血、低蛋白血症の動物

1. これらの病態の動物は血流量は、脳と心冠動脈の血流は維持されているが、他の組織の血流量は著しく減少する。
2. そのため麻酔剤の分布は減少し、麻酔ガスは脳と心臓に集中する様になる。
3. その結果、少量(低濃度)の麻酔剤で深い麻酔効果が発現する。

モニター機器によるMAC値の調整

- 麻酔安定期でも、体温、手術時間、代謝率、心拍出量、分時換気量などによりMAC値は変動する→麻酔深度に応じてMAC値を調整する必要がある。
- 調整に常に利用する項目：
終末呼気麻酔ガス濃度、カプノグラフのプラトー、ETCO₂と換気量、心電図と心拍数、体温、動脈圧。

手術中に現在の麻酔深度を知る方法

- MAC値を低く(麻酔ガス濃度をさげる)してからプラトーが若干短縮するまでの時間を確認することで深度が判る。プラトーが短縮するまで時間がかかる場合はそれまでのMAC値よりも低い濃度で麻酔維持できる可能性を示している。

肥満動物と麻酔薬の選択

- 血液中の麻酔ガスは脳や心臓など血流の多い臓器に集中するが、麻酔時間が長くなるほど血流の少ない脂肪や筋肉中にも溶解していく。
 1. 脂肪への溶解度(脂溶性)の高いハロタンは導入のみならず、長時間麻酔ほど脂肪に溶解する量が多くなるために、排泄にも時間を要し、覚醒時間が延長する。
 2. イソフルレンとセボフルレンは脂肪へ溶解度の低く、脳への取り込みが迅速で、他の臓器への分布も少ないので、麻酔の段階が明瞭で、深さを調整しやすい長所がある。

吸気圧と肺胞麻酔ガス濃度

- 最大吸気圧を上げて肺胞換気量を多くすると、肺胞に到達する麻酔薬濃度も増加するが、
- 過換気のために $ETCO_2$ と $PaCO_2$ が低下して、脳血管が収縮するために脳血流量が減少し、脳における麻酔濃度の上昇が逆に低下。
- そのために麻酔深度を維持するための麻酔剤の消費量が増加する。

麻酔中の麻酔深度の調整

ETCO₂と換気量の関係1

- MAC値付近(イヌで1.4%)の麻酔ガス濃度にも関わらず、ETCO₂濃度が低下し、麻酔が浅くなる傾向にある時は、過換気状態をチェックすること。
- 過換気状態では、次第に麻酔ガスが希釈され、吸入される麻酔ガス濃度は低下する。時々終末呼気麻酔ガス濃度をチェックすることは重要である。

麻酔中の麻酔深度の調整

ETCO₂と換気量の関係2

- 麻酔深度が浅くなる傾向のある時
 1. 先ず、麻酔濃度を高くし(1.7%)、極端にETCO₂が低い時は最大吸気圧を下げる。
 2. 体重設定を多めにしていないかをチェック
1〜2kg多めに設定しただけでも1回換気量の増加で過換気になるため、測定値はかなり低めに表示されることがある。調節呼吸中に体重設定を確認するには、スタートスイッチを設定に切り替えると体重の設定パネルが表示される。

気化器の設定濃度と麻酔ガス濃度の差

1. 気化器の性質上、濃度は酸素流量で変化する分時送気量が4L以上で安定する気化器が多い。
2. 吸気／呼気濃度は導入、維持、覚醒等の各段階で変化する
3. 手術終了時に気化器を零に設定しても、しばらく呼気中には麻酔ガスが排泄され続ける。

パルスオキシメータ

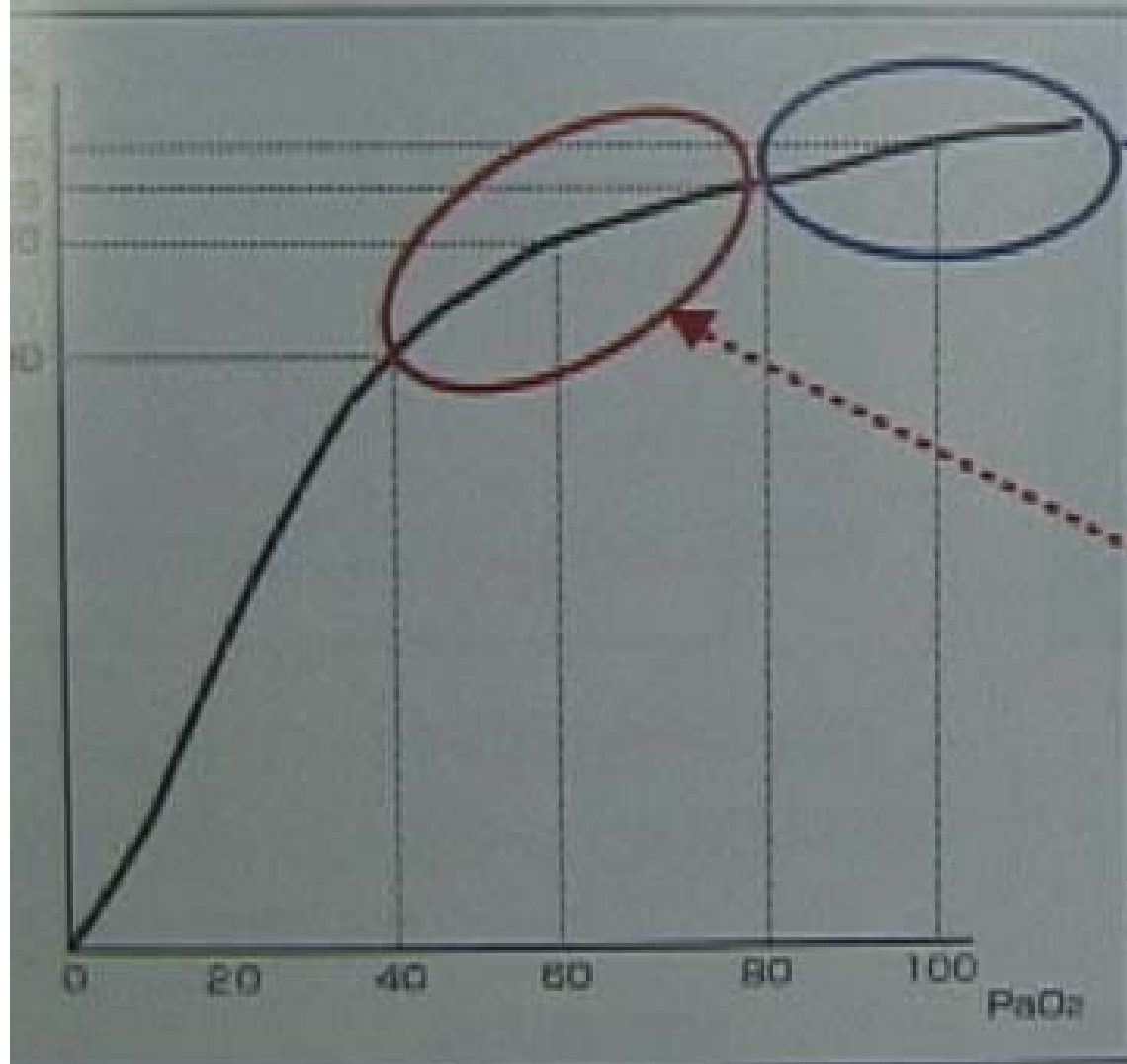
動脈血中の酸素と結合したオキシヘモグロビンは
鮮紅色

酸素を放出した後の還元ヘモグロビンは暗赤色

- 前者は赤外光(波長940nm),
- 後者は赤外光(波長660nm)を良く吸収する。

この差を利用したのが、本装置である

正常値は95%以上である。



正常値 = 100 ~ 95
PaO₂ 80
(正常の下)

危険域 = 94% 以下

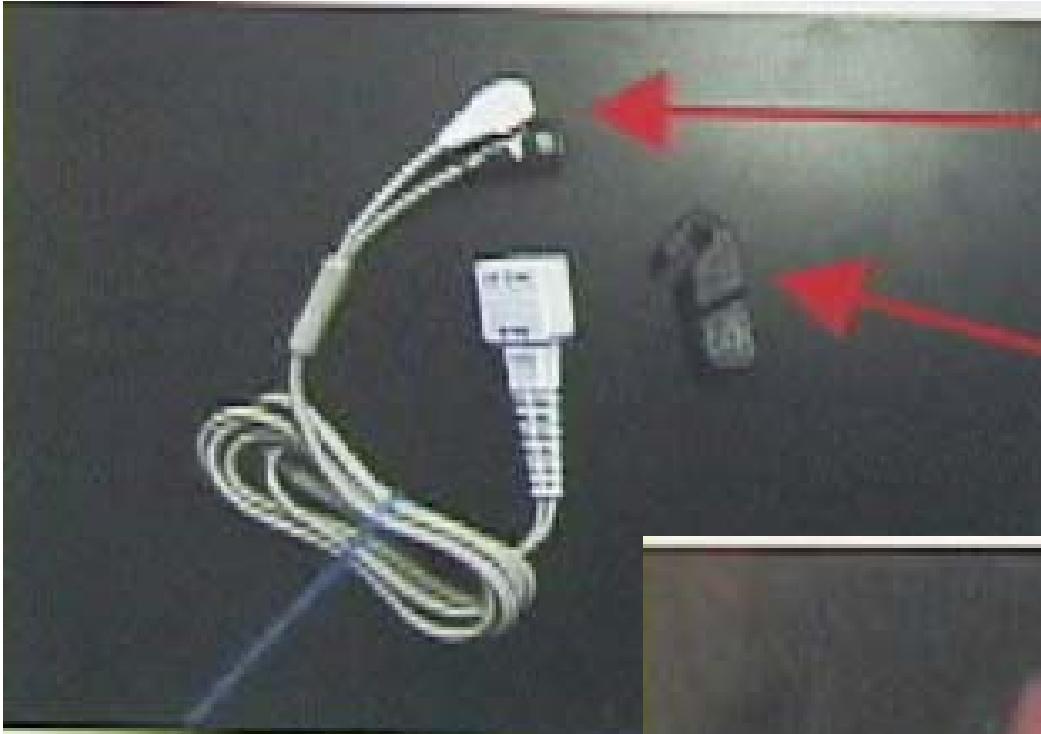
酸素解離曲線

SPO₂とPaO₂の関係

PaO ₂ (mmHg)	SaO ₂ (%)
10	13
20	35
30	57
40	75
50	83
60	89
70	93
80	95
90	97
100	98

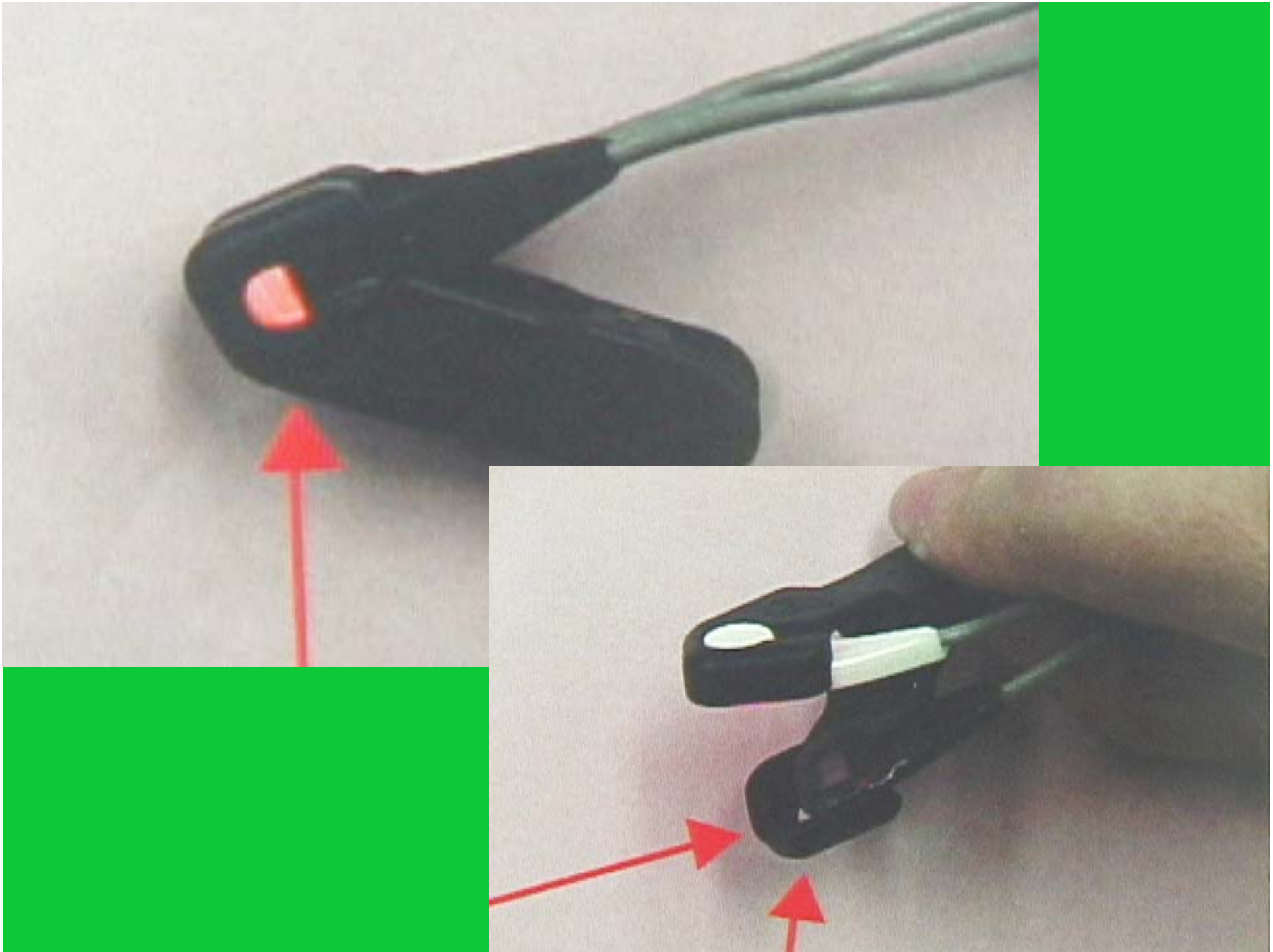
SpO₂の測定方法

- 麻酔導入後、舌の中央部を挟む様にセンサを取り付ける。
- 唾液で滑りやすい時はガーゼを舌に巻いて取り付けると良い。
- 測定値の正確性は心拍数(HR),脈拍数(PR)の一致と、
プレシスモグラフ(末梢血酸素飽和度)の連続性と波形の大きさにより判断できる。



小型のイヌ／ネコでSpO₂を測定するコツ

1. 受光部のセンサを受光部の窓の半分位までずらす。
2. 生体に厚みを持たせる
→舌を二つ折りにしてセンサを付ける。
3. 発光部の先を弱くする
→発光部にガーゼを巻く

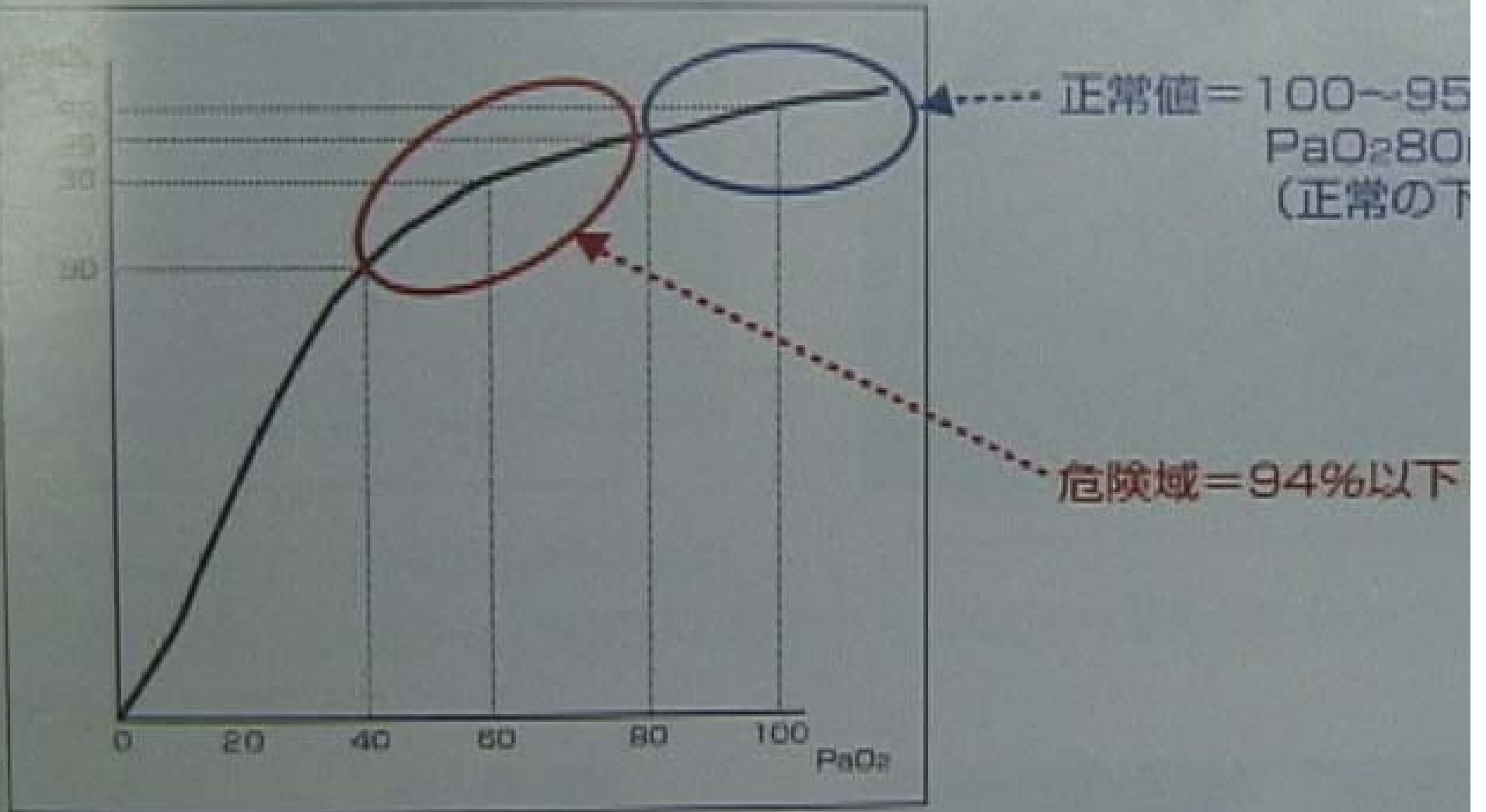




パルスオキシメータの問題点

1. 末梢循環が低下すると測定困難
2. 皮膚や粘膜が黒い動物では測定し難い
3. 長時間測定すると末梢が浮腫、特に舌で
4. 高濃度酸素吸入下では、呼吸抑制によるCO₂の蓄積が起こっても直ぐに異常を表示しない。

酸素解離曲線



酸素解離曲線

SpO₂の低下原因

酸素100%を使用する吸入麻酔では、正常値は95～100%である

1. 一般的な原因: 技術的測定ミス

軽度～中等度の低酸素血症

a 末梢循環不全: 輸液の開始

b 換気障害: 呼吸回路のチェック

2. 90% > : 重度の低酸素血症

急性循環不全と低心拍出量→突然に低下する傾向にあり、救急処置が必要

3. α_2 作動薬のキシラジンやメデトミジンを用いた自発呼吸下の麻酔では、SpO₂値が93～94%という低値を示す場合がある。これはこの薬物による低心拍出量によるもの

技術的測定ミス

- プローブは舌、耳介、指間、その他の被毛の少ない皮膚に装着するが、プローブに毛を挟み込んだり、ズレたりすると低めに出る。あるいは測定不能になる。
- 舌：折れ曲がり、歯による圧迫、乾燥、長時間の測定で浮腫になると血行不良を招き、測定できない
- 皮膚や舌の色素が濃い動物と黄疸の有る動物では測定困難
- プローブの受光部に傷をつけない様に取り扱い、汚れはメガネ拭き用の柔らかい布で清拭する。

90%以下の低下

(重度の低酸素血症)

- 急性循環不全、重度の低心拍出量と血圧低下に起因する時が多く、迅速な原因究明と救急処置を必要とする。
- 症状：舌の蒼白、股動脈圧微弱、心拍数の急激な減少、激しい徐脈(洞停止、房室ブロック)、急激な血圧低下が見られる。
- この状況下では心拍出量低下により、肺胞への CO_2 の輸送量が減少して、 ETCO_2 は若干低下する。

90% 以下の低下

(重度の低酸素血症)

- 伝導障害や先天性心疾患の動物で起こる可能性がある。
- 僧帽弁閉鎖不全症(MR)では、かなり重篤な症例でも麻酔中のSpO₂は持続的に正常値を示す。

90%以下の低下 (重度の低酸素血症)

- 対応策：
 1. イソプロテレノールの点滴
 2. 拮抗薬の投与(アンチセダン、ヨヒンビン等)
 3. 連続したQRS波が発現するまで心マッサージを併用。

麻酔下、不整脈発現時の対処法

- イヌ：徐脈性不整脈←洞性徐脈、洞停止
房室ブロック、
- ネコ：瀕脈性不整脈←心室性早期拍動、
心室性瀕拍
- ★不整脈発現時に即応するために血管確保
は必ず行っておく

不整脈が発現しない様に麻酔前の処置が必要

1. 血管拡張薬を投与中の動物は前日から投薬を中止
2. 術前検査で徐脈性不整脈が有るイヌでは、麻酔初期に起こりやすい徐脈対策としてイソプロテレノール0.002mg～0.004mg/kgを麻酔導入2～3分前に筋注するか導入麻酔直後に点滴する。
3. 心不全の有る動物にはアトロピンの投与は避ける。
4. ネコの塩酸ケタミン麻酔ではアトロピンの投与は瀕脈を助長するのでその使用は必須ではない。

イヌ：徐脈性不整脈

1

- 塩酸イソプロテレノール(0.2mg/1ml) の
★10倍希釈イソプロテレノール(0.02mg/1ml)を常備しておく。

ワンショット投与方法(0.1ml~0.5ml/kg,iv)

1. 脈拍数が30~40/分程度では投与速度を速く。
2. 脈拍数が60/分程度ではゆっくりと投与する。
3. imでは2分後に効果発現、ivが望ましい。
4. 繰り返し投与が可能であるが、その時は点滴とする。
5. 目標心拍数は120/分

イヌ：徐脈性不整脈

2

- ★50倍希釈液の持続点滴法
- 塩酸イソプロテレノール注射液をリンゲル液で50倍に希釈して常備しておく。
- 投与速度：
輸液ポンプを使用して $2.5\text{ml} \sim 5\text{ml}/\text{kg}/\text{hr}$
自然滴下では約 $1.5 \text{ 滴}/\text{kg}/\text{分}$
(点滴セット $15 \text{ 滴}/\text{ml}$ の場合)
- 目標心拍数は $120/\text{分}$

頻脈性不整脈

★塩酸プロプラノロール注射液(2mg/2ml)を10倍に希釈して常備

ワンショット投与方法(通常0.2ml/kg,iv)

1. 脈拍数が120/分程度に減少するまで、心電図をモニターしながら、ゆっくりと投与する。
2. イヌ、ネコの心室性早期拍動や心室性頻拍発現時に使用。

★2%塩酸リドカイン(局麻用も使用可)

0.1ml~0.2ml/kgでも効果あり。

目標心拍数は120/分

動脈圧 オシロメトリック法

- 精度に影響を及ぼす因子としては、
- カフの大きさと巻き方がある。
 1. カフの幅が広すぎると低く測定され、狭すぎると高く測定される。
 2. 動物の四肢は末梢に行くほど細くなり、カフがはずれやすい。

血圧

イヌとネコの正常値

- 測定項目 正常値
- 最高血圧 100～160mmHg 100以上に★
- 平均血圧 80～120 80以上に★
- 最低血圧 60～100
- 脈拍数 100～140／分

★麻酔中の下限界値

最高血圧が80mmHg,平均血圧が60mmHgを下回る時は早急に対処する。

カフ装着部位

撓骨動脈(上膊内側部)、
正中中掌動脈(中手部)、
脛骨動脈(足根近位)、
足背動脈(足根遠位)、
尾骨動脈(尾腹側部)

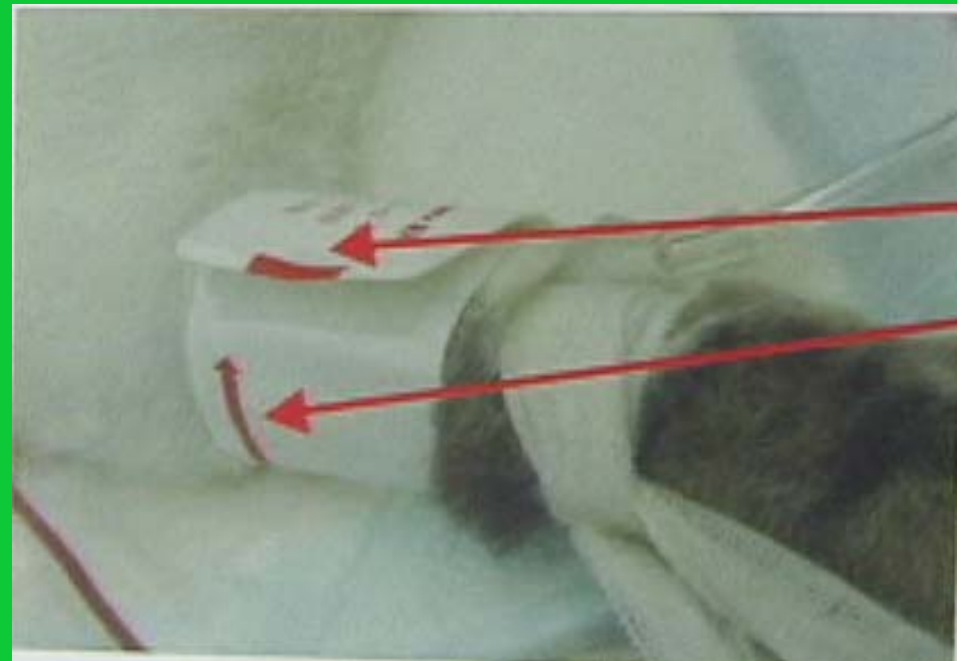


前肢近位、
手根部の内側(とう骨動脈)
とう骨正中、

エアースが、
とう骨動脈に沿うように、
着実にカフを装着する。

血圧測定値の信頼度の検討

- 心拍数＝脈拍数で確認
- オシログラフより確認精度の高い測定はきれいな山形となる。



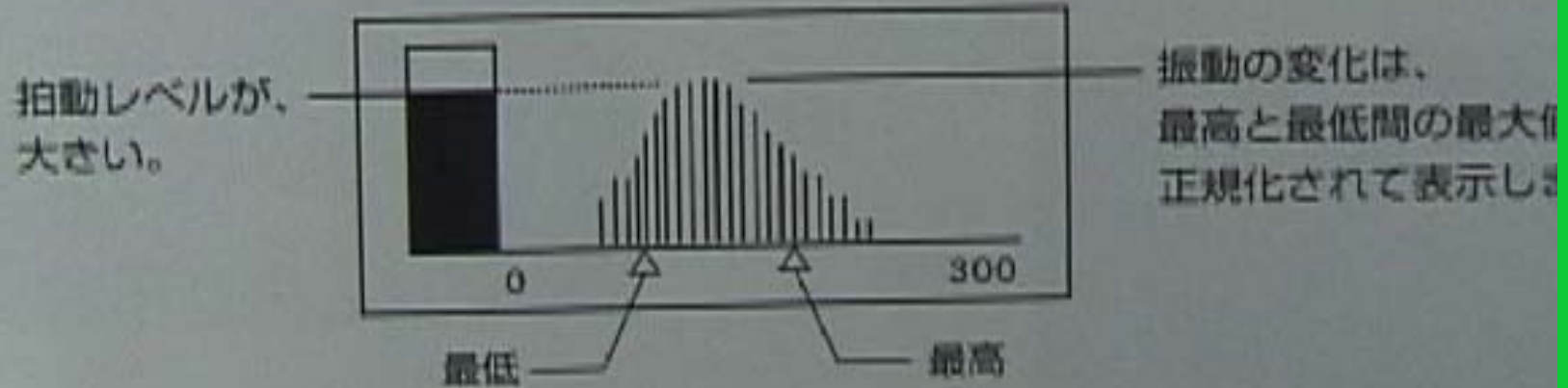
カフの選択

- 装着する前肢周囲長の0.4～0.6倍の幅を使用する。カフサイズが小さい場合は、血圧は高く測定され、大きい時は低く測定される。
- カフ装着時はレンジの目印がカフ最適レンジの矢印の中に入っているのが望ましい。
- カフがずれると測定値は次第に低値になりやすい。

カフ装着時の注意点

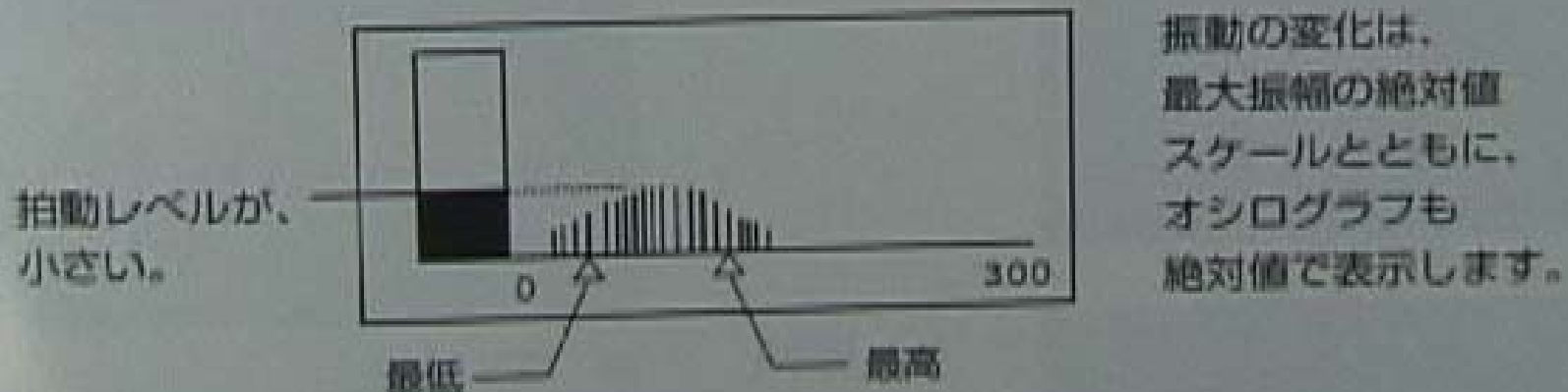
1. カフのエアー漏れがないか事前に点検
2. 適切なサイズのカフを選択
3. 装着部位の位置を心臓の高さに合わせる
4. 空気袋を動脈部に装着させる
5. 保定部付近は装着しない
6. 装着は緩く巻かない
7. エアーホース等の折れ曲がりがないこと

最大振幅の絶対値スケールが大きい場合



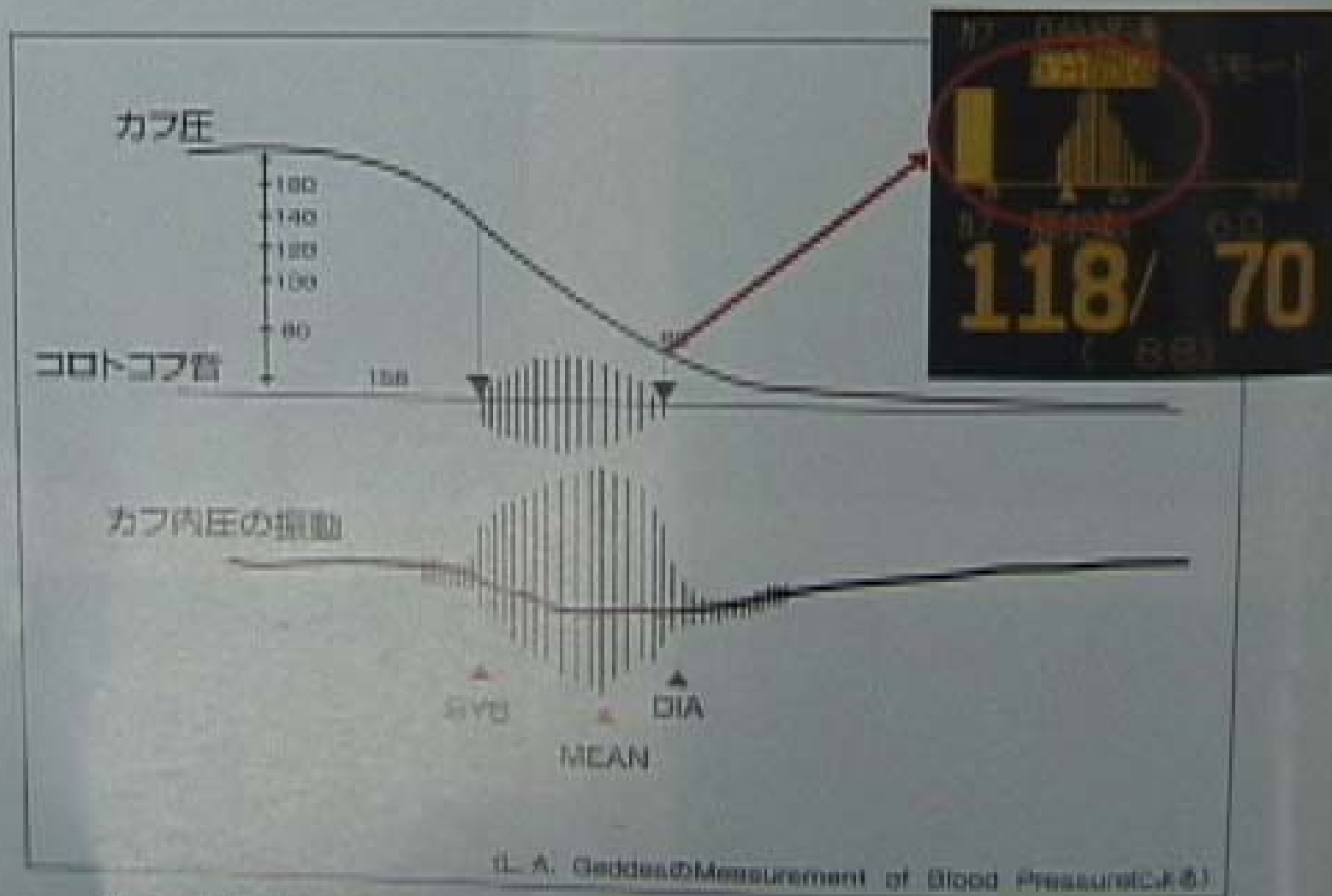
カフ内圧と拍動レベル

最大振幅の絶対値スケールが小さい場合



オシロメトリック法とは（振動法）

心臓の収縮により生じる動脈の拍動を、カフの内圧の振動としてとらえて
血圧を測定する方法。



最高血圧 (SYS) : 振動が急激に増大したところ
平均血圧 (MEAN) : 振動がピークのところ



麻酔中の動脈圧変動の原因

- 技術的ミス(アーチファクト):
 1. カフサイズを選択ミス。
 2. カフのズレ、
 3. 不適當な測定部位、
 4. 被毛の影響、
 5. 巻きが緩い／強すぎる。

麻酔中の動脈圧変動の原因

疾患による変動の原因

心拍数増加

血圧低下: 出血, 心不全
静脈還流量低下

血圧上昇: 疼痛、浅麻酔、交感神経緊張、低酸素症

心拍数低下

血圧低下: 迷走神経緊張
深麻酔、重度の低酸素血症

血圧上昇: α_2 作動薬(キシラジン、メデトミジン)
脳圧亢進(高炭酸血症の時)

麻酔中の動脈圧変動の対策

- 測定ミスがなかったり、不明確な時は直ちに、
 1. 心拍数→2心電図波形→3麻酔ガス濃度→4麻酔の深さ→5角膜乾燥度などを迅速に確認し対処する。
 - ★ 血圧低下と心拍数低下を伴う時は急性心停止の危険性があるため、
 - 先ずは麻酔深度を浅くするか、麻酔ガス吸入を中止する。
 - 同時に心マッサージ、イソプロテレノールの投与
 - 覚醒促進のためのアチバメゾール(アンチセダン)投与
 - 保温→麻酔の覚醒で心拍数の増加に努力する。

麻酔中の心血管系の変化

- 麻酔中は鎮静剤、鎮痛剤、麻酔剤、疼痛、換気不足などのストレス反応によって、副腎髄質と交感神経末梢からカテコルアミン(Catecholamines)の分泌が増加し血中濃度が高まる。
- カテコルアミンにはアドレナリン、エピネフリン、ドパミン、ドプタミン、イソプロテレノールなどの神経伝達物質を総称する。
- これ以外には、心筋内に独自の内因性カテコルアミンが貯蔵されている。

麻酔中の心拍数と血圧の変化

- 健康な動物では麻酔不安定期の浅麻酔では、血中カテコルアミン濃度の増加により、心拍数／血圧上昇が見られる。
- 麻酔安定期に入ると副交感神経作用で、安定した心拍数／血圧が保たれる。
- この恒常性は、心不全、内分泌疾患、その他の疾患、麻酔前投薬、麻酔剤、疼痛、換気不全などのストレス反応で崩れることがる。

麻酔中の心拍数と血圧の変化

- 心不全の動物
- 僧房弁閉鎖不全症を持つイヌでは、血中カテコルアミン濃度の増加に対して、心筋の心因性カテコルアミン濃度は低下しているものが多い。そのため麻酔不安定期に交感神経作用性の心拍数増加と血圧上昇を一過性に起こした後、副交感神経作動が高くなって、持続性の徐脈と血圧低下を招くことがある。
- アトロピンは心不全動物には禁忌である。洞結節の迷走神経を強くブロックすることから、瀕脈を助長させ、心筋の酸素要求量を増大させるので要注意である。

麻酔中の心拍数と血圧の変化

- キシラジン、メデトミジンは、**正常な循環系**では抑制的に作用し、投与量に関係なく、投与直後の一過性の血管収縮による瀕脈と血圧上昇の後、引き続いて、交感神経<副交感神経緊張による血管拡張、血圧低下、洞性徐脈、洞停止、房室(AV)ブロック、血糖上昇などを起こすことがある。
- 循環系に対してはキシラジンよりメデトミジンの方が、副反応が極めて大きく、かなり深刻な徐脈性不整脈(60以下/分)が頻発する。

麻酔中の心拍数と血圧の変化

- キシラジンも頻度は少ないが、徐脈の発生はある。老齢犬や心疾患動物では禁忌である。
- いずれの不整脈も塩酸イソプロテレノールによく反応し、塩酸アパチメゾールも有効なため、緊急時にこれ薬剤を迅速に投与できる様に準備しておく

心不全＋脈拍数増加＝危険

- キシラジン、メドミジンを僧房弁閉鎖不全の様な心不全動物では後負荷増大(血管収縮)に耐えられず、心拍出量の減少と血圧低下を起こし、逆に心拍数が増加する傾向に有る。これは心筋の酸素消費量を増大させ、低換気の場合は危険な状態を招くことがある。心拍数が多いから安心という訳ではない
- 強制換気を行う調節呼吸は、麻酔剤の濃度依存性の呼吸抑制がなく、生体の恒常性を維持するという利点がある。

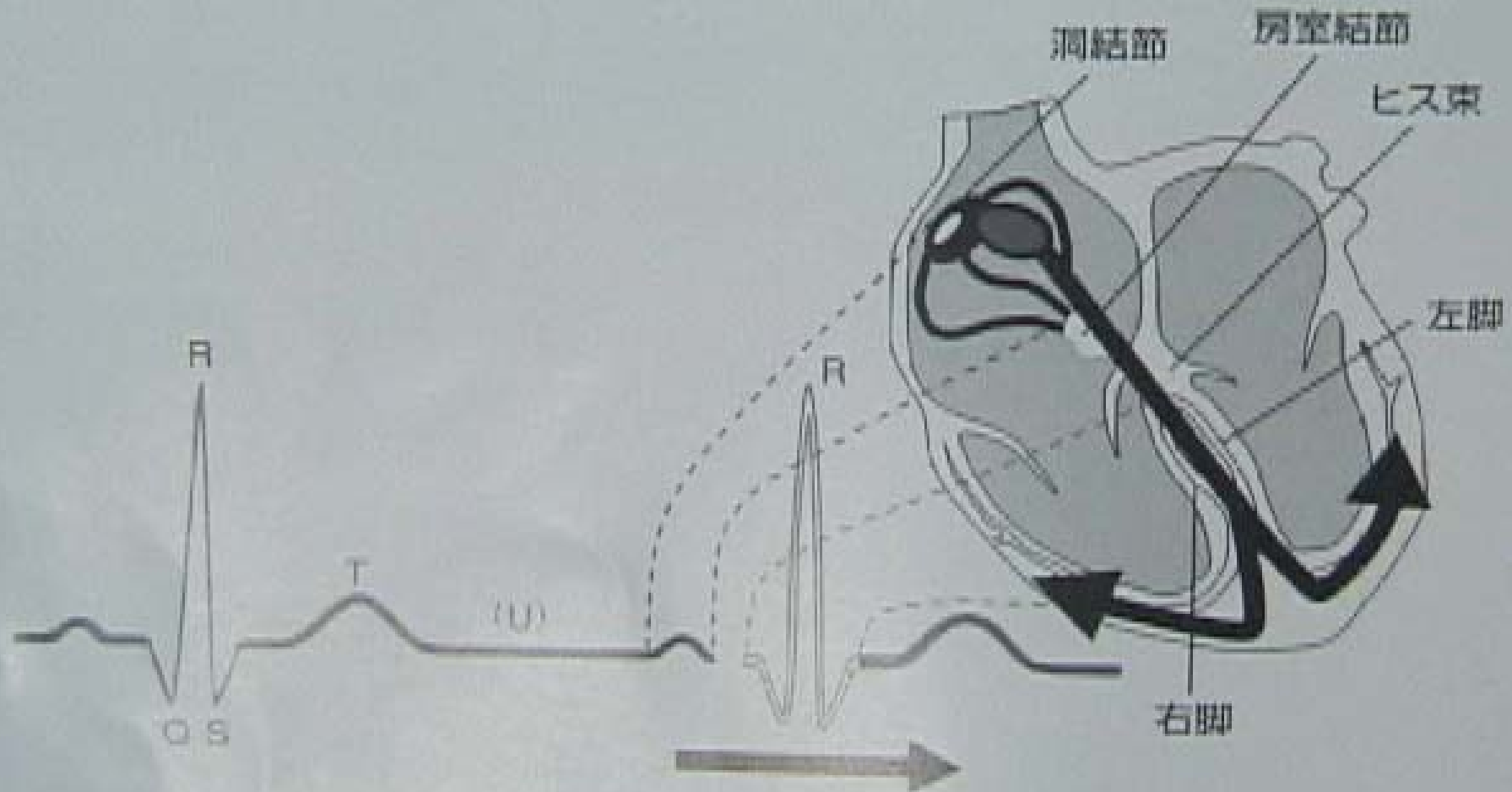
心電図

- 心拍数の正常値
- 大型犬: 60～100／分程度
- 小型犬: 80～150／分程度

- 成ネコ: 100～160／分程度
- 子ネコ: 160～240／分程度

- 麻酔時は正常値かあるいは高めに維持する。

刺激伝導系



心電図波形各部の名称と刺激伝導系との対応

麻酔中の不整脈1

- 徐脈性不整脈を示した体重3.2kgマルチーズの症例
- ブトルファンール、ドロペリドール、ケタミンで導入し、イソフルラン麻酔
- 麻酔導入後に60～70／分の徐脈が発生
- イソフルラン吸入開始直後から心拍数は一気に30／分まで低下した。さらに長い洞停止が発現した。
- 10倍希釈イソプロテレノール2ml(0.0125mg/kg)の静脈注射により正常な洞性調律に回復した。

麻酔中の不整脈2

- 日本ネコ、オス、一才、3.0kg、去勢手術
- 凶暴ネコ
- ハローセン導入箱による麻酔＋マスクによるハロセン維持麻酔
- 術野消毒中の、浅麻酔中に心室性期外収縮(VPC)が発生、イソフルラン麻酔の進行で自然に消失した。

麻酔中の不整脈2

- 麻酔時の心室性期外収縮(VPC)は麻酔不安定期の血中カテコルアミン濃度の上昇による交感神経緊張性のものが多い。心室性期外収縮(VPC)発現中は血圧が低下するが、通常は一過性のものが多い。まもなく交感神経<副交感神経のバランスが成立し、VPCは消滅する。しかし内因性カテコルアミンの低下している症例では、心房の β_1 遮断のよる徐脈性不整脈に移行する時がある。

麻酔中の不整脈2

- ネコでVPCを起こす基礎疾患として、ネコの心筋症がある。術前の胸部レ線検査、心筋症と関連するGOT,LDH,CPK等の検査を実施する。術前の発見が困難な症例もある。

麻酔中の不整脈3

- 心室性早期拍動の症例：メインクーン、4.1kg、去勢手術
- アトロピン0.04mg/kg前投与
- ホリゾンとケタラールで導入し、マスクによるハロセン麻酔、不整脈発現後はイソフルラン麻酔に代えた。
- 術野の消毒中に一拍動毎に心室性期外収縮が一分間連発した。イソフルレン吸入麻酔の進行で自然消失した。

麻酔中の不整脈3

- 原因はアトロピンによる交感神経緊張とハロセンの麻酔深度が浅いために、疼痛があり、そのためにカテコルアミン濃度上昇して発現したと推察される。痛みがある症例では、局所麻酔の併用が進められる。もちろん確実な麻酔深度のコントロール技術が要点である。

麻酔中の麻酔深度の調整

心電図と心拍数の関係1

- 循環系の正常なイヌでは、ミタゾラム、ブトルファンール、ケタミンによる導入麻酔とイソフルラン麻酔により、麻酔初期の心拍数増加／血圧上昇を起こした後、麻酔安定期に入ると脈拍と血圧は安定するのが普通である。

麻酔中の麻酔深度の調整

心電図と心拍数の関係2

- 僧房弁閉鎖不全症の様な心不全動物でも、麻酔前に見られた徐脈が導入麻酔とイソフルラン麻酔で心拍数が増加し、周術期を通じて心拍数が安定することが多い。
- 心不全でも、頻脈傾向のある場合には症例では心筋の酸素消費量増大を起こす危険もあり、心拍数が多ければ安心という訳でもない。
- イソフルラン麻酔ではかなりの深度まで心拍数が不変鈍目、心拍数のみで手術に熱中するのは危険である。

体温

- 体温低下した状態で麻酔から覚醒すると
→覚醒時に全身の震え→酸素消費量の
激増→低酸素血症
- 麻酔中の体温低下→吸入麻酔薬のMAC
が低下→深麻酔へ移行
- 体温の急激な上昇→悪性高熱

参考文献

1恒川 修:

動物病院のモニタリング;Rev.9.1,2003

コーンメディカルテクノロジーKK.

Veterinary Divison、愛知

2獣医麻酔外科学会編:臨床モニターVol.2 No.2(安全な
麻酔のためのモニター指針)ガイドブック

獣医麻酔の基礎と実際

3内藤 博司:調節呼吸による麻酔:A.D.S.1000を使用した
犬と猫の麻酔管理、第2版、2004、三幸製作所、埼
玉