

札幌医科大学医学部麻酔科



教育麻酔科講義ノート

第24版 2021年度

SAPPORO MEDICAL UNIVERSITY HOSPITAL

Anesthesiology

SINCE 1957

講座のロゴマーク

Anesthesiology

はじめに

この「教育麻酔科講義ノート」は、学生諸君に麻酔科の講義をよく理解してもらうために、講義を担当する先生が講義時に使用する講義内容を中心にまとめたものです。これは、学生の意見を反映させて毎年改訂しています。臨床医学講座である麻酔科学講義の目的は、侵襲制御学である麻酔科学を机上で理解する以外に、来年行われる参加型臨床実習（Clinical Clerkship）を充実したものとするために、さらに将来どの臨床医を目指すとしても、それに必要な医学・医療の知識や情報を提供するものです。この講義ノートで予習することによって講義を理解しやすくなるだけでなく、復習することによってさらに理解が深まると思います。また、講義中は麻酔科に関わる先生方の興味深い話や閲覧するスライドや動画によって、さらに医学・医療の実情を知ることができるでしょう。先生方が強調したり、あるいは反復して述べていることは重要であり、その都度この講義ノートに書き加えたり、あるいは自分の作成したノートに記載して貼り付けるなどして各自で工夫することは、生涯学習としての基礎にもなります（→ポートフォリオ）。臨床実習に参加するようになると、直接医療行為を行うことができますが、それは各学生の知識や技術、さらに態度の評価・レベルによってさらに大きく異なってきます。是非、この臨床講義によって医師としての必要十分な力をつけてください。そして外科侵襲から患者さんを守る侵襲制御学の実践＝麻酔科学の扉を叩いてみてください。

札幌医科大学医学部麻酔科学講座 教授 山蔭 道明

目 次

1. 麻酔科学講義（第4学年講義）

(1) 「麻酔総論、吸入麻酔薬、気道管理」山蔭 道明	4
(2) 「静脈麻酔薬、鎮痛薬」中山 祐人	19
(3) 「筋弛緩薬、拮抗薬」早水 憲吾	28
(4) 「ペインクリニック、神経ブロック」澤田 敦史	39
(5) 「循環作用薬、循環管理」平田 直之	54
(6) 「モニタリング」枝長 充隆	64
(7) 「周術期管理・特殊な麻酔」立花 俊祐	82
(8) 「産科麻酔・小児麻酔」茶木 友浩	94

2. 臨床実習	105
---------	-----

1. 麻醉科学講義

(第4学年講義)

麻酔科学概論

山陰 道明
麻酔科学講座
札幌医科大学医学部

麻酔（Anesthesia）とは

Anesthesiaは、ana（否定）+esthesia（感覚）というギリシャ語を語源とした合成語である。

その定義は、生体が受ける不快な感覚を必要に応じて遮断し、生体のホメオスターシスを維持させること。

エーテル麻酔の公開実験

William TG Morton



1846/10/16

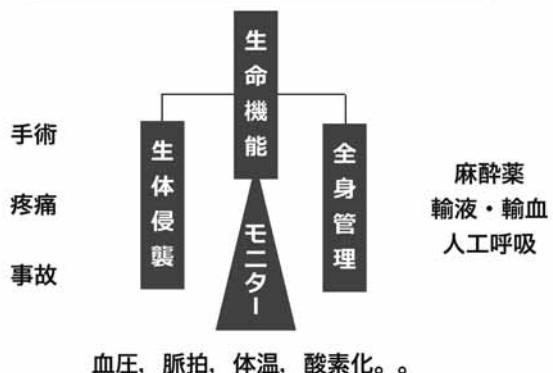
at Massachusetts General Hospital

当時は、麻酔の知識や技術が不十分なため、麻酔による合併症、死亡例が多発した。



麻酔の重要性が認識され、麻酔の臨床的・基礎的研究が行われるようになった。

麻酔の基本的な考え方



麻酔科学

麻酔科診療

臨床麻酔学

手術・検査の麻酔

集中治療医学
救急医学

重症患者の全身管理
重症患者の選別と対応

疼痛学

ペインクリニック
無痛分娩、緩和医療

蘇生学

手術患者・重症患者の回復

麻酔（法）の種類

全身麻酔

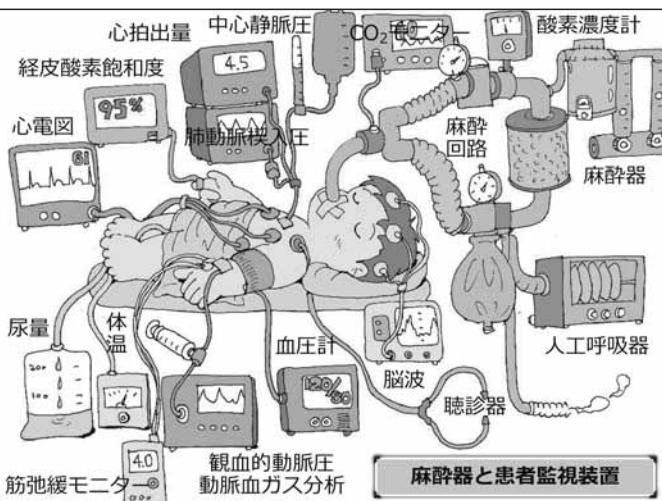
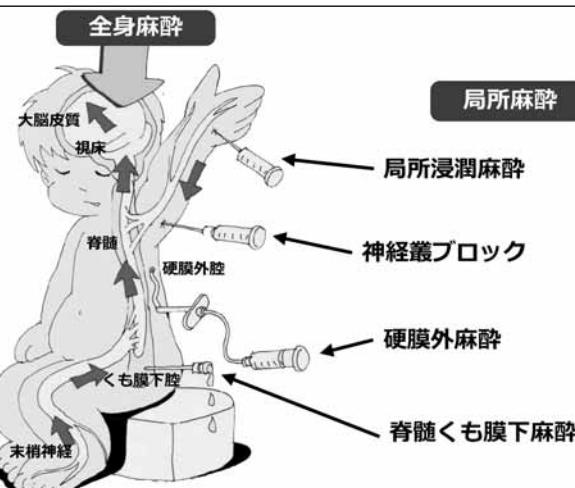
吸入麻酔（気管挿管, LMA）
静脈麻酔（TIVA）

局所麻酔

狭義の局所麻酔（表面麻酔, 浸潤麻酔）
伝達麻酔（末梢神経, 神經叢）
区域麻酔（硬膜外麻酔, 脊髓くも膜下麻酔）

特殊な麻酔

低血圧麻酔, 低体温麻酔
分離肺換気。

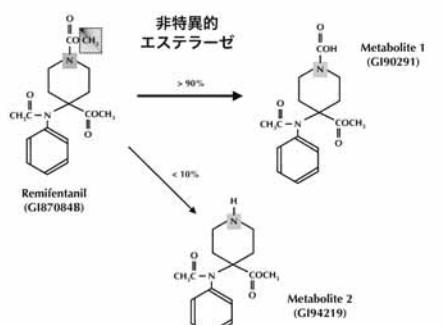


最新の麻酔薬を紹介

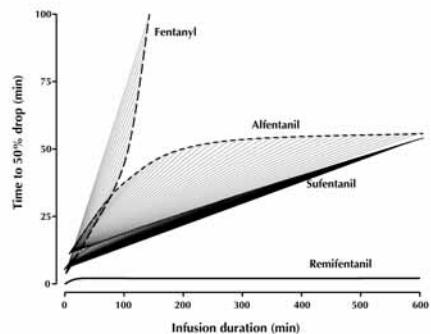
- レミフェンタニル
- セボフルラン
- ロクロニウム
- スガマデクス

レミフェンタニル

物理化学的特性



薬物動態



Context-sensitive half-lifeが短く安定している

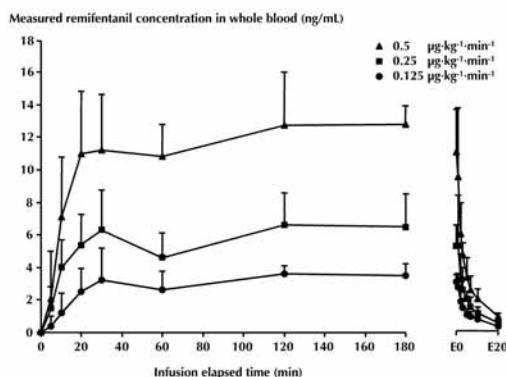
薬物動態

他のオピオイドと比較して

	レミフェンタニル	フェンタニル	スフェンタニル	アルフェンタニル
T _{1/2} (min)	4-8	10-30	15-20	4-16
Cl (mL/min/kg)	40-60	10-20	10-15	4-10
V _D (L/kg)	0.2-0.4	3-5	2.5-3.0	0.4-1.0

レミフェンタニルは再分布等を考えなくていい

日本での臨床治験



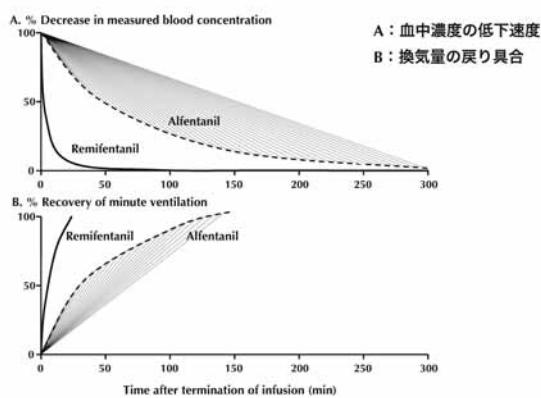
薬物動態

腎不全・肝不全患者で

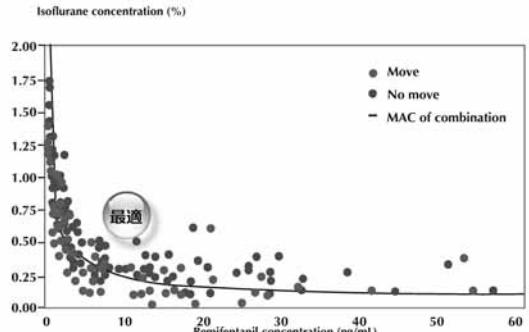
	正常	腎不全	肝不全
T _{1/2} (min)	4.3 (4.1-4.5)	4.5 (3.9-5.1)	5.7 (4.0-8.1)
Cl (mL/min/kg)	33 (28.5-38.1)	35.6 (31.7-40.0)	33.0 (23.0-48.3)
V _D (mL/kg)	205 (178-235)	229 (211-249)	272 (162-450)

薬物動態を考える上で、肝腎機能を考慮しなくてよい

薬力学



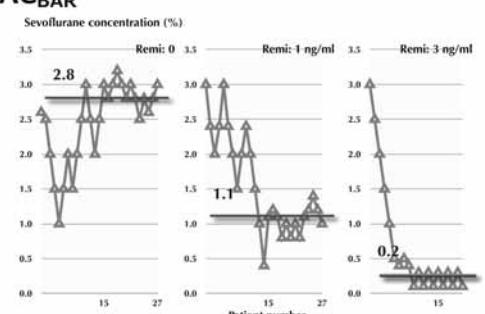
イソフルランとレミフェンタニル



Lang E, et al.: Anesthesiology 1996; 85: 721

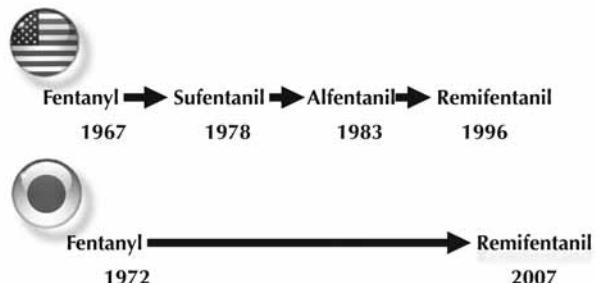
セボフルランとレミフェンタニル

MAC_{RAB}

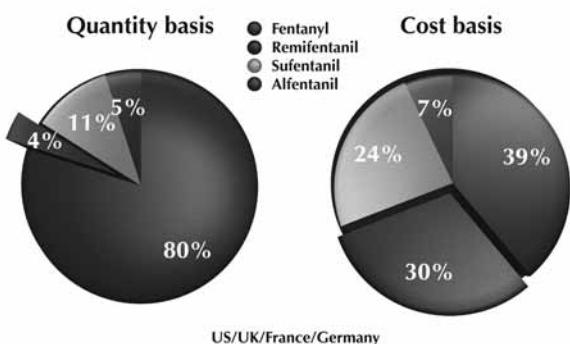


Albertin A, et al.: Anesthesiology 2004; 100: 255

静注用オピオイド



先進国における静注用オピオイドの 使用状況



まとめ

- レミフェンタニルの薬物動態学はシンプル！
 - 鎮痛薬レミフェンタニルは他の鎮静薬（吸入麻酔薬や静脈麻酔薬）と併用してバランス麻酔を達成する。
 - 速やかな覚醒が望める反面、術後鎮痛には十分注意を払う必要がある。

セボフルラン

特徴を活かした吸入麻酔薬麻酔

目次



- ・セボフルランはなぜVIMAに適しているか？
 - ・セボフルランの体内各部の分布変化
 - ・VIMAの各種方法とその特徴
 - ・VIMAの術中維持法
 - ・術後の疼痛・悪心嘔吐管理
 - ・成人の導入法の工夫
 - ・小児・高齢者の導入法の工夫
 - ・VIMAの適応症例
 - ・VIMA導入法の利点と欠点

バルビタール系薬物

- 喘息の誘発
- 気道狭窄（喘鳴） Anesthesiology 1995;82:1111

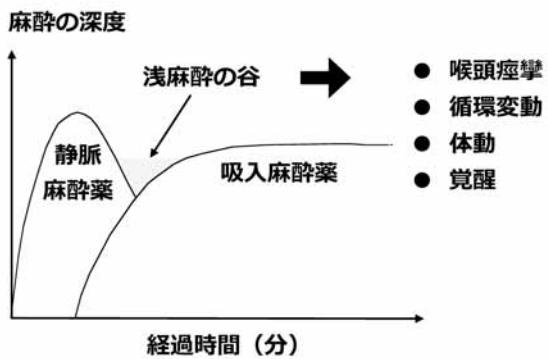
	合計	チオバルビタール	オキソバルビタール	プロポフォール
喘息患者 人数	15/59 25%	9/20 45%	6/23 26%	0/16 0%
非喘息患者 人数	6/96 6%	5/32 16%	1/32 3%	0/32 0%

プロポフォール

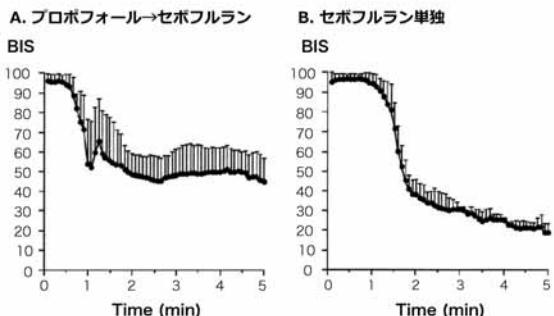


- 血管痛
- 低血圧

浅麻酔の谷



麻酔導入時の麻酔深度の変化



Jpn J Anesthesiol 2001; 50: 383

低い血液ガス分配係数
0.63

セボフルランのメリット

適切な麻酔力価
MAC 1.71

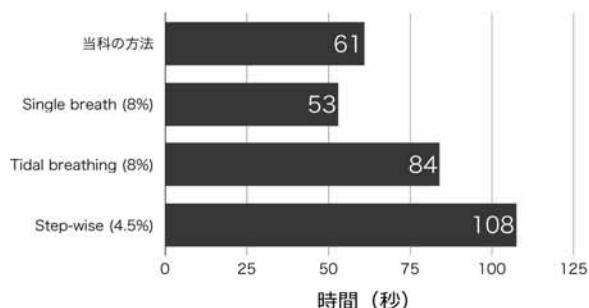
気道刺激性
なし

当科で用いている
吸入麻酔導入法の紹介

当科の方法

J Anesth 2001;15:117-9

睫毛反射の消失



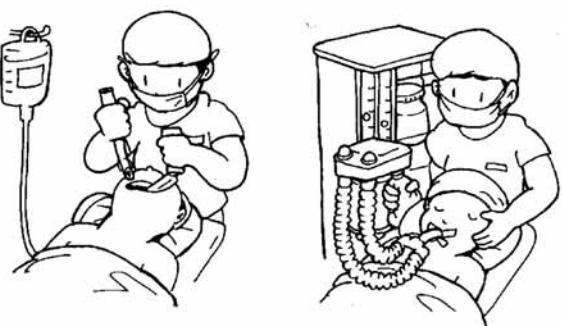
まとめ

- セボフルランは日本発の吸入麻酔薬である。
- セボフルランは、気道刺激性がないため、吸入麻酔導入法に向いている。
- 当科で用いている方法は安全で早い。

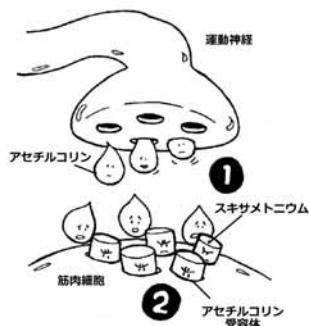
ロクロニウム

気管挿管

筋弛緩



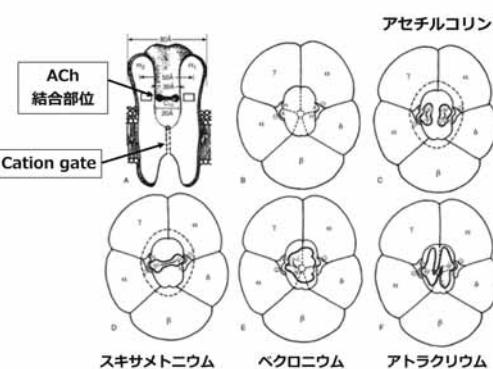
脱分極性 筋弛緩薬



非脱分極性 筋弛緩薬



ACh受容体と筋弛緩薬



Br J Anaesth 2001; 87: 755-69

Rocuroniumの名称の由来

Rocuronium
= Rapid + Onset + **curonium**

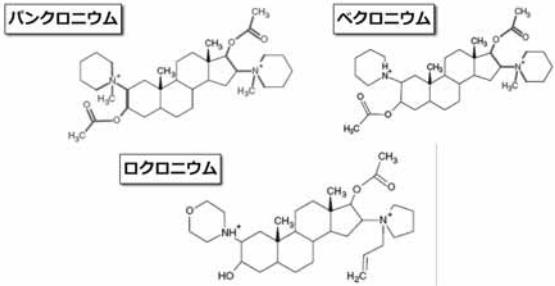
作用発現の速い筋弛緩 (curarization)

筋弛緩剤の分類

脱分極性筋弛緩剤
サクシン® (スキサメトニウム)

非脱分極性筋弛緩剤
エスラックス® (ロクロニウム)
マスクュラックス® (ベクロニウム)
ミオブロック® (パンクロニウム)

アミノステロイド系筋弛緩剤

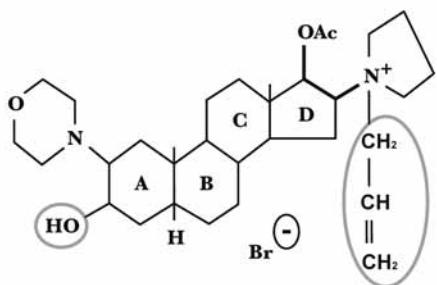


ロクロニウムで必要とされる改善点

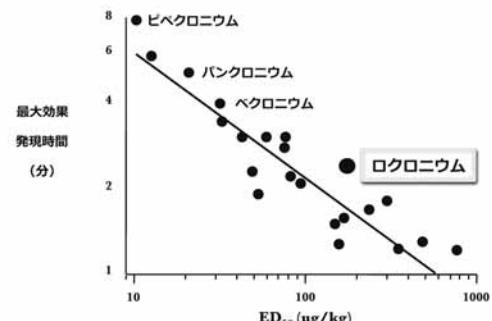
- 作用発現時間がスキサメトニウムに比べかなり遅い。
- 安定性がよくない。
 - 水溶液製剤にできなかった。
(凍結乾燥品で使用直前に溶解させる必要がある)
- 代謝物 (3-OHベクロニウム) に活性がある。
 - 長時間用いると作用持続時間が延長する。
 - 持続注入に適さない。

ロクロニウムの化学構造の特徴

④ ステロイド骨格第3位のアセチル基を水酸基に置換
④ D環の4級アンモニウム基に結合しているメチル基をアリル基に置換



アミノステロイド系筋弛緩剤の力価

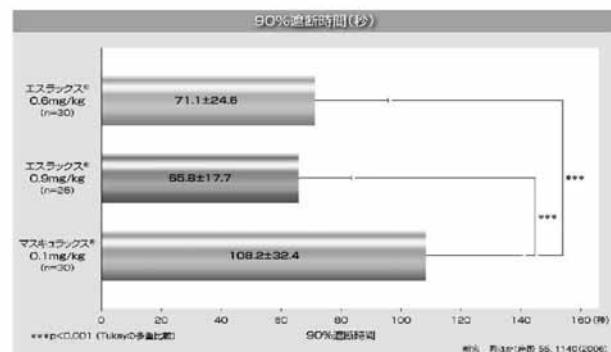


Adapted from Bowman et al., Anesthesiology 69:57, 1988

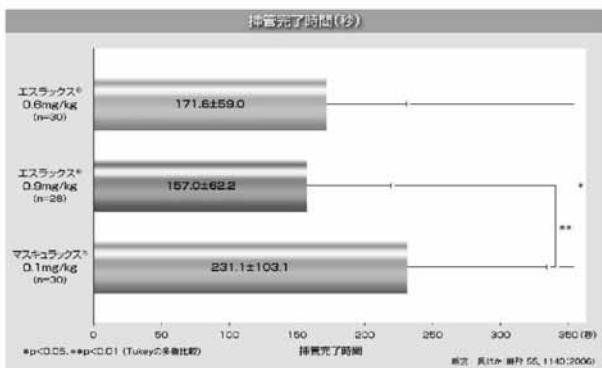
ベクロニウムとロクロニウムの力価、挿管量、維持量の比較

	ベクロニウム	ロクロニウム
ED ₉₅	0.05 mg/kg	0.3 mg/kg
挿管量	0.1~0.2 mg/kg	0.6~0.9 mg/kg
維持量	0.02~0.04 mg/kg	0.1~0.2 mg/kg

90%遮断時間（秒）



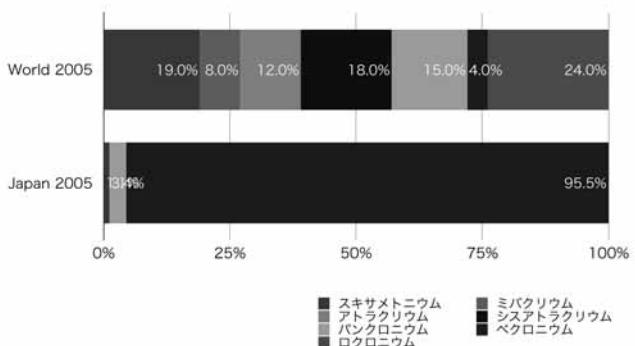
挿管完了時間（秒）



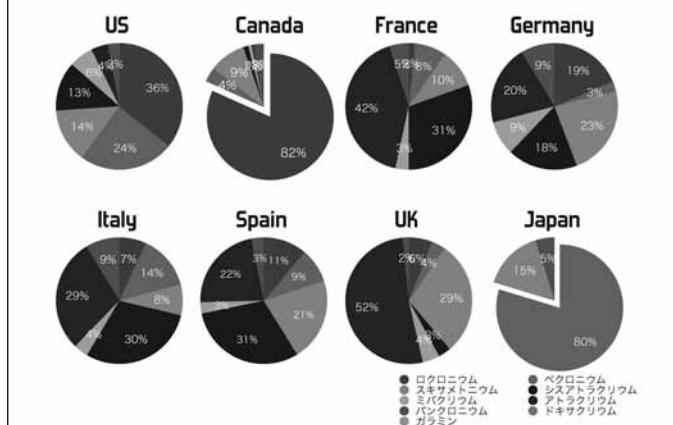
世界での筋弛緩薬の歴史

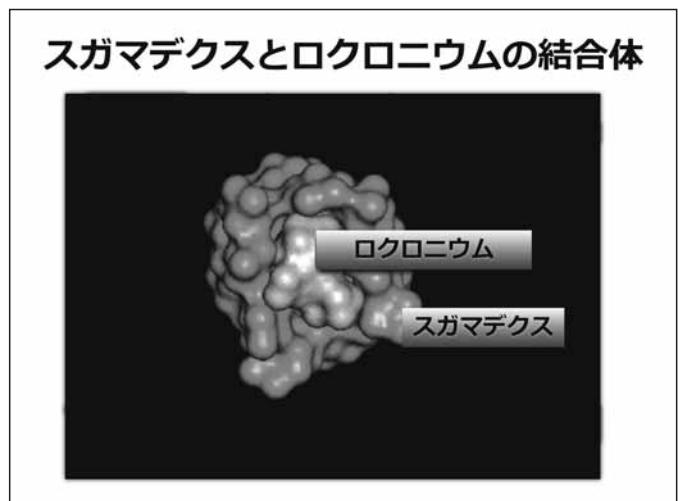
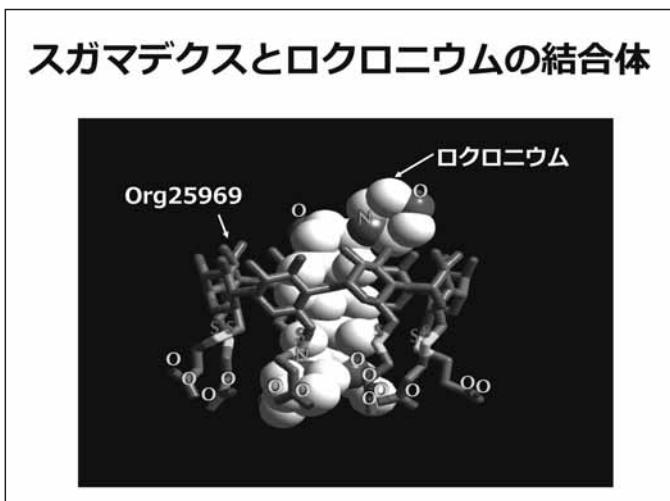
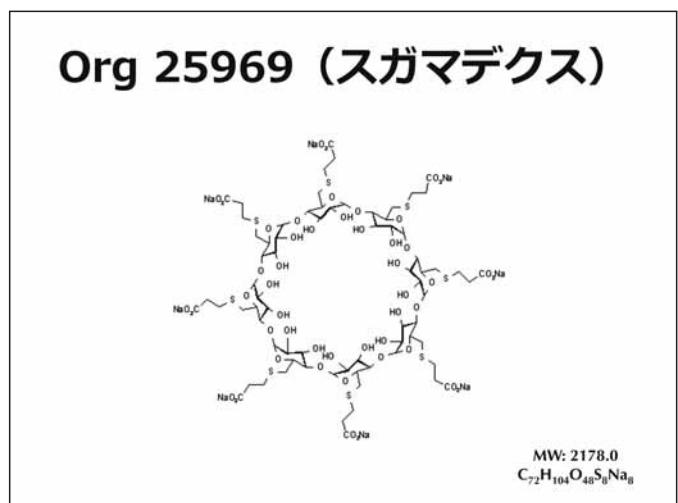
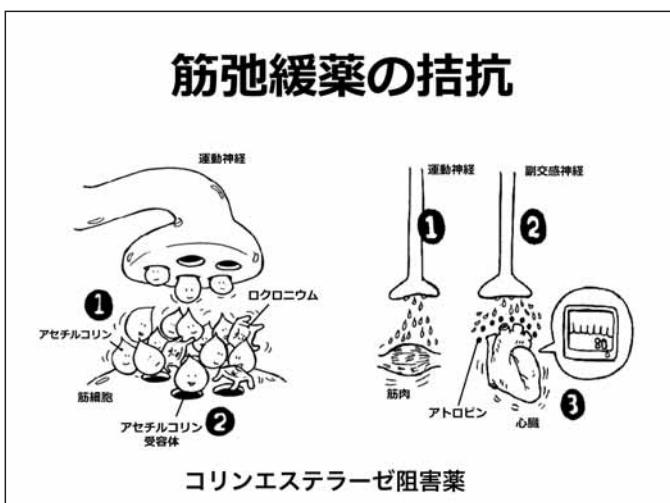
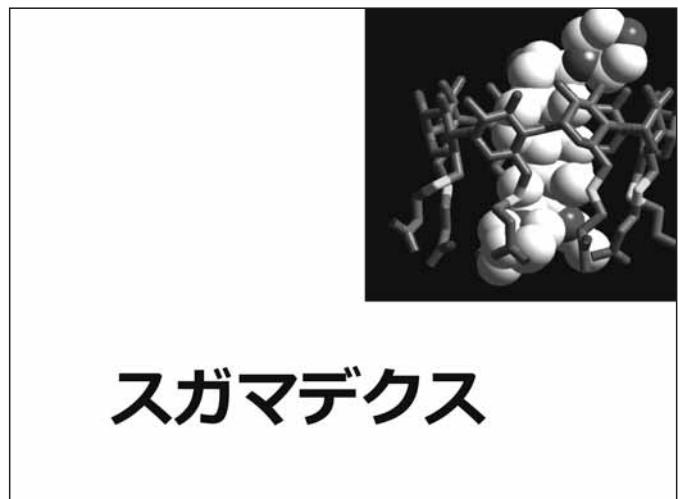
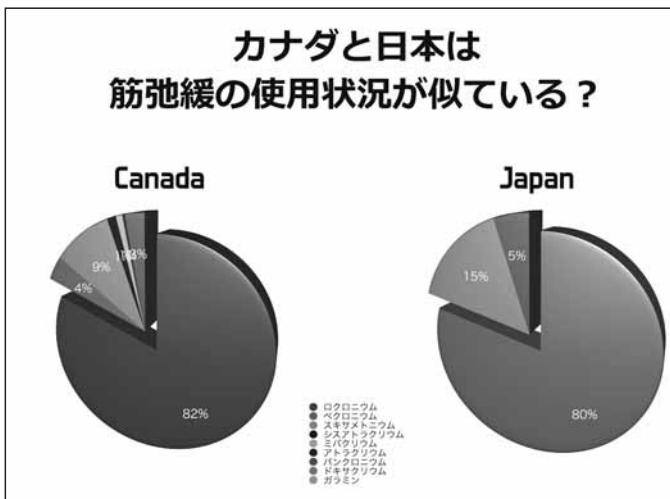
一般名	最初の発売国	米国	日本
スキサメトニウム	1951 in Germany	1975	1955
パンクロニウム	1966 in France	1974	1973
ベクロニウム	1982 in Netherlands	1984	1988
ヒベクロニウム	1983 in Hungary	1990	治験中止
ロクロニウム	1994.4 in US	1994.4	2007.10.02
アトラクリウム	1982 in UK	1984	
ミバクリウム	1992.4 in US	1992	
シスマトラクリウム	1996.1 in UK	1996.2	

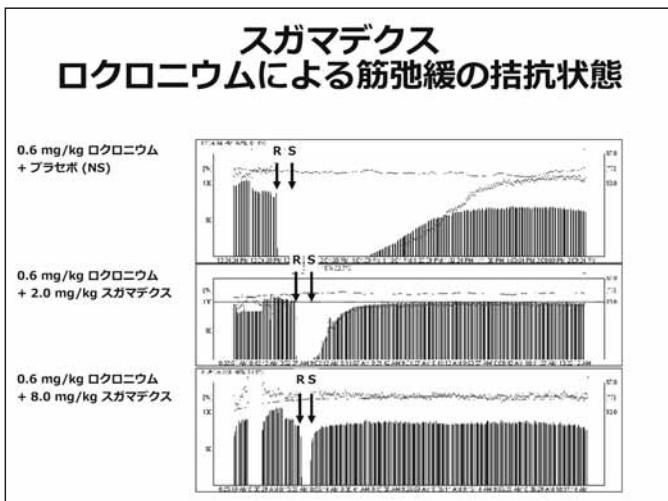
世界での筋弛緩薬の使用状況



世界での筋弛緩薬の使用状況







まとめ

- ベクロニウムはロクロニウムに取って代わった。
- ロクロニウムは急速導入に利用できる。
- ロクロニウムは代謝物が活性を持たないため、安全に持続投与できる。
- スガマデクスは筋弛緩拮抗薬として理想的な薬剤である。

吸入麻酔薬

Inhalation Anesthetics

吸入麻酔薬の種類と薬理作用

※ 挥発性吸入麻酔薬

- ※ 常温で液体である麻酔薬を気化器を用いて気化させてから使用する
- ※ エーテル, ハロタン, エンフルラン, イソフルラン, セボフルラン, デスフルラン

※ ガス性吸入麻酔薬

- ※ 常温では気体であるが、圧縮ボンベ内では液体化している。
- ※ 亜酸化窒素（笑気）, キセノン

1. 挥発性吸入麻酔薬

一般教育目標 (GIO)

- ② 挥発性吸入麻酔薬の薬理作用やその特徴を理解する。
- ③ 個別行動目標 (SBOs)
- ④ 現在使用されている揮発性吸入麻酔薬の種類を列挙できる。
- ⑤ 理想的な吸入麻酔薬の条件を列挙できる。
- ⑥ 挥発性吸入麻酔薬の物理化学的性質で、とくに分配係数と最小肺胞内濃度 (MAC) について説明できる。
- ⑦ 各揮発性吸入麻酔薬の呼吸・循環に対する作用の特徴を説明できる。
- ⑧ 挥発性吸入麻酔薬の代謝・排泄について、とくにハロタンとセボフルランの肝・腎機能に及ぼす影響を説明できる。

A. 挥発性吸入麻酔薬とは？

- ① 沸点が常温より低く、常温下では液体で存在する吸入麻酔薬を揮発性吸入麻酔薬という。
- ② デスフルランは蒸気圧（20°Cで699mmHg）が大気圧に近いため、正確な濃度で供給するために特殊な加熱加圧式の気化器を必要とする。
- ③ ガス麻酔薬（亜酸化窒素など）は流量計で正確な濃度で供給することができるが、揮発性吸入麻酔薬を使用する際には気化器が必要となる。
- ④ 挥発性吸入麻酔薬は常温下で液体で存在するため、持ち運びや保管が簡単である。

全身麻酔とは

投与した全身麻酔薬が、中枢神経系において神経細胞の機能を可逆性に抑制し、無痛状態をもたらすもので、意識の消失を伴う。



理想的な吸入麻酔薬の条件

- 麻酔作用が強く、低濃度で使用できる。
- 安全域が広い。
- 麻酔作用が可逆性である。
- 導入・覚醒が速やかで、かつ円滑に施行できる。
- 満足すべき催眠作用、鎮痛作用、ならびに骨格筋弛緩作用がある。
- 化学的に安定しており、他の薬物との間に不都合な相互作用がない。
- 生体内代謝率が低く、かつ代謝産物に毒性がない。
- 不燃性、非爆発性である。
- 臓器（肝、腎など）毒性がない。
- 気道刺激作用や刺激臭がない。
- 呼吸・循環の抑制作用が軽度である。
- 有害な自律神経反射を抑制する。
- 気管支拡張作用を有する。
- 習慣性、耽溺性がない。
- 発癌性、催奇性がない。
- 安価である。

B. 揮発性吸入麻酔薬の種類

- 現在使用可能な揮発性吸入麻酔薬はハロタン、エンフルラン、イソフルラン、セボフルラン、およびデスフルランの5種類で、すべて不燃性でかつ非爆発性である。
- 日本では最近デスフルランの使用が許可されて、主にセボフルランとデスフルランが使用されている。
- イソフルランは、気道刺激性ならびに覚醒の不良から本邦ではほとんど使用されていない。

C. 揮発性吸入麻酔薬の物理化学的性質

1) 化学構造



C. 揮発性吸入麻酔薬の物理化学的性質 2) 分子量、蒸気圧、分配係数

	ハロタン	エンフルラン	イソフルラン	セボフルラン	デスフルラン
分子量	197	184.5	184.5	197.4	168
蒸気圧 (mmHg, 20°C)	244	172	240	160	699
燃焼性	—	—	—	—	—
分配係数					
血液／ガス	2.4	1.9	1.4	0.68	0.42
脳／血液	1.9	1.5	1.6	1.7	1.3
油／ガス	244	98.5	94.0	53.7	48.7
MAC (%、ヒト)	0.75	1.68	1.15	1.71	7.25
ソーダライム中での安定性	不安定	安定	安定	不安定	安定

MACとは？

● 最小肺胞内濃度 (minimum alveolar concentration: MAC)

- イヌのしつぼをピンチ（挟む）したときに50%のイヌがそれを払いのけるあるいはしつぼを引っ込めるような体動を引き起こした場合の、麻酔薬の濃度をいう。
- 麻酔薬の力を評価する際の指標
- ハロタンが0.75%と最も小さく、次いでイソフルランの1.15%，エンフルランの1.68%，セボフルランの1.71%であり、デスフルランは7.25%と最も大きい。
- MACは油／ガス分配係数ときわめて逆相関の関係にあることから、吸入麻酔薬の機序の一つとして脂質説 (Meyer-Overton説) が提唱されている。

D. 挥発性吸入麻酔薬の薬理作用

1) 呼吸器系に対する作用

- ⌚ 程度は異なるものの、すべての吸入麻酔薬は用量依存性に呼吸を抑制する。
- ⌚ 呼吸バターン：一回換気量は減少する。呼吸数は増加する。
- ⌚ 動脈血CO₂分圧：濃度依存性に上昇する。その作用はエンフルランとデスフルランが最も強い。
- ⌚ CO₂に対する換気応答：セボフルランが最も保たれる。
- ⌚ 気管支拡張作用：すべての吸入麻酔薬にその作用があるが、ハロタンが最も強い。
- ⌚ 気道刺激性：ハロタンとセボフルランは気道刺激性がなく、緩徐導入に適する。イソフルランとデスフルランは気道刺激性が強いため、緩徐導入には不適切である。

D. 挥発性吸入麻酔薬の薬理作用

2) 循環器系に対する作用

- ⌚ 呼吸に対する作用と同様、すべての吸入麻酔薬に循環抑制作用がある。
- ⌚ 血圧：低下させる。ハロタンとエンフルランは心筋収縮力の抑制に依存し、イソフルランとセボフルランは末梢血管の拡張に依存して、血圧を低下させる。
- ⌚ 心拍数：ハロタンとセボフルランは変化させないが、イソフルランとデスフルランは気道刺激性に依存し増加させる。
- ⌚ 心拍出量：低下させるがハロタンとエンフルランが著明である。
- ⌚ 体血管抵抗：イソフルランとデスフルランで著明である。
- ⌚ 冠動脈拡張作用：イソフルランとセボフルランに作用がある。
- ⌚ 不整脈誘発作用：ハロタンにある。アルカン族に特異的である。

D. 挥発性吸入麻酔薬の薬理作用

3) 代謝物

- ⌚ 代謝率は、ハロタンが約20%と最も高く、次いでセボフルランの3.0%，エンフルランの2.4%である。イソフルランとデスフルランはそれぞれ0.2%，0.02%と低い。
- ⌚ ハロタンは肝障害で問題となるトリフルオロ酢酸やラジカル中間体（CF₃-COCl）を多量に産生する。エンフルランやイソフルランも同様の代謝物を産生するが、その量は少ない。
- ⌚ セボフルランは、ヘキサフルオロイソプロパノールと無機フッ素を産生し、トリフルオロ酢酸は産生しない。

揮発性吸入麻酔薬の薬理作用

	ハロタン	エンフルラン	イソフルラン	セボフルラン	デスフルラン
気管支拡張作用	+++	++	++	++	++
気道刺激性	-	±	+	-	++
心拍数增加作用	±	+	++	-	++
心拍出量低下作用	++	++	-	+	-
体血管抵抗低下作用	-	+	++	+	++
不整脈誘発作用	+	-	-	-	-
肝障害	+	±	-	-	-
腎障害	-	±	-	-	-

吸入麻酔薬の作用機序

吸入麻酔薬は、それに対する選択的な吸入麻酔薬受容体を持っているわけではなく、そのためその拮抗薬も存在しない。吸入麻酔薬の作用機序はその物理化学的特性と深く関わっているとする説がある。脂溶性が高いほど麻酔作用が強いことから、細胞膜（脂質二重膜）に溶け込む分子の数（量）に依存して細胞機能を抑制するというものである（Meyer-Overton仮説）。

2. ガス性吸入麻酔薬

一般教育目標 (GIO)

- ⌚ 亜酸化窒素の物理化学的性質と薬理作用を理解する。

個別行動目標 (SBOs)

- ⌚ 亜酸化窒素の物理化学的特性を述べることができる。
- ⌚ 亜酸化窒素の血液／ガス分配係数について説明できる。
- ⌚ 亜酸化窒素の薬理作用を述べることができる。
- ⌚ 亜酸化窒素の臨床使用上の問題点を列挙できる。

A. 物理化学的性質

- 無色、非刺激性でわずかに甘い香りがする。
- 麻酔に用いる濃度では非爆発性、不燃性である。
- 化学式は N_2O 、分子量は44で空気よりわずかに重い。
- 沸点は $-89^{\circ}C$ 、蒸気圧は39,800mmHg ($20^{\circ}C$) のガス麻酔薬である。
- 血液／ガス分配係数：0.47
- 中央配管で供給される、ポンベもある。
- ボンベ内では90%が液化亜酸化窒素で、よって内圧はすべて気化するまでは一定で、ガスだけになると短時間で空になる。

B. 薬理作用および特徴

- 中枢神経系に対する作用：MACは105%と麻酔作用は弱い。催眠作用はほとんどない。つまり、鎮痛作用がメインである。
- 循環器系に対する作用：心筋収縮力をやや低下させるが、交感神経刺激作用があるため、心臓に問題のない患者では循環抑制は見られない。
- 呼吸器系に対する作用：気道に対する刺激性はない。CO₂に対する換気応答には変化がない。
- その他：体内で直接代謝されることはない。肝毒性、腎毒性、筋弛緩作用はない。長期の使用で骨髄造血機能の抑制が報告されている。

C. 臨床上の問題点

- 閉鎖腔がある場合：亜酸化窒素の血液／ガス分配係数は、他の吸入麻酔薬と比較して非常に小さいものの、空気中に80%存在する窒素と比較すると、34倍と大きい。そのため、体内に空気（窒素）を含む腔があると、理論上、窒素が血液に移行する34倍の速さで亜酸化窒素が閉鎖腔に移行し、閉鎖腔の増大および内圧の上昇をきたす。実際の臨床でも、閉鎖腔の容積や内圧は2倍以上になるので注意する。例）イレウス、鼓室形成術、気脳症など
- 拡散性低酸素性血症（Diffusion Hypoxia）：麻酔導入時は、亜酸化窒素が速やかに血中に移行するため、肺胞の酸素濃度は低下しにくい。麻酔覚醒時は逆に血中から亜酸化窒素が肺胞に移行し、肺胞酸素濃度が低下するため、低酸素血症に陥りやすい。そのため、覚醒時には十分な酸素投与が必要となる。

麻酔科医にとっての気道確保

Airway & Ventilation

項目

- マスク換気、気管挿管
- 経鼻挿管
- ラリンジアルマスク
- 片肺換気
- 挿管困難

教育目標

- 一般教育目標（GIO）
 - 麻酔科的気道確保を習得する。
- 個別行動目標（SBOs）
 - マスク換気法を習得する。
 - 気管挿管法を習得する。
 - 挿管困難症への対処法を習得する。

マスク換気

● マスク換気

気管挿管などの確実な気道の確保ができないとも、マスク換気を十分に備わっていれば、救命救急処置の現場では有効である。マスク換気は見た目よりも難しく修練を必要とする。

● マスク換気による全身麻酔の維持

他に合併病変が認められない健康な患者
短時間の手術
低侵襲な手術

気管挿管

● 気管挿管

全身麻酔を受ける患者にとって最も安全な気道確保法であり、かつ多用されている方法である。合併症を引き起こすことなく気管挿管を行うためには、上気道の解剖や適切な器具と薬物、とくに筋弛緩薬に対する知識が必要である。

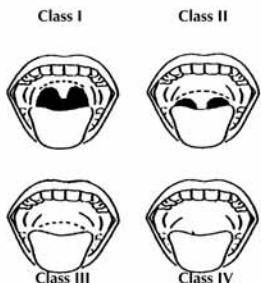
● 気管挿管の難易度を予測する検査

咽頭に対する舌の大きさ
環椎後頭骨関節の伸展
下顎前方の空間

咽頭に対する舌の大きさ

Mallanpatiの分類

- 頭を中立位
- 口を最大限に開く
- 舌を突出させる

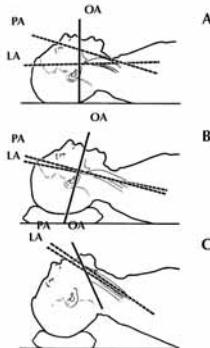


Class III～IVであれば、挿管困難が予想される。

環椎後頭骨関節の伸展

Sniffing positionで観察

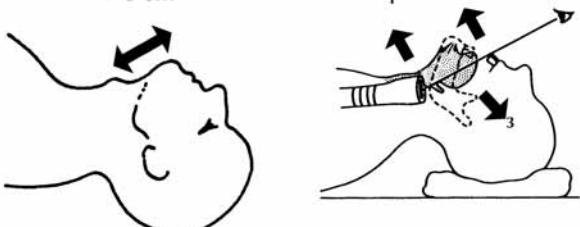
- 枕を入れ、できる限り環椎後頭骨関節を伸展させる。
- 正常では35度程度伸展できる。
- 伸展の度合いが低い場合（例えば肥満、猪首），挿管困難が予想される。



下顎前方の空間

甲状腺骨切痕～おとがい先端

>6 cm



気管内チューブのサイズと長さの関係

年齢	内径 (mm)	口唇からの適切な長さ (cm)	気管内径 (mm)	気管の長さ (cm)	口唇から気管分歧部までの距離
未熟児	2.5	6			
成熟新生児	3.0	10			
1～6ヶ月	3.5	11			
6～12ヶ月	4.0	12			
2歳	4.5	13			
4歳	5.0	14			
6歳	5.5	15			
10歳	6.5	16			
12歳	7.0	17-18			
14歳	7.5	19-20	20 (男性)	14 (男性)	28 (男性)
14歳以上	8.0-8.5	20-22	15 (女性)	12 (女性)	24 (女性)

経鼻チューブの場合は2～3 cmを加える。

ラリンジアルマスク

- ラリンジアルマスク＝喉頭マスク
- 気管挿管ほどではないが、上気道を確保して全身麻酔を行うことが可能である。

LMAの禁忌

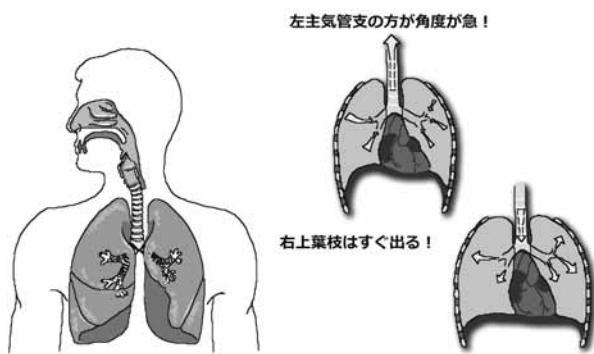
絶対的禁忌

- フルストマック
- 消化管通過障害、イレウス
- 挿管困難が過去に指摘されている患者
- 上部消化管手術（胆嚢を含む）の既往
- 腹臥位症例
- 上気道の炎症・腫瘍（気道狭窄のあるもの）
- 気管支喘息重積発作

相対的禁忌

- 長時間症例（例えば3時間以上の麻酔症例）
- 肥満
- 扁桃肥大
- Wet lung（気道分泌物や出血のある場合）
- 低肺機能患者
- 頭頸部手術
- オピオイド使用患者
- 載石位

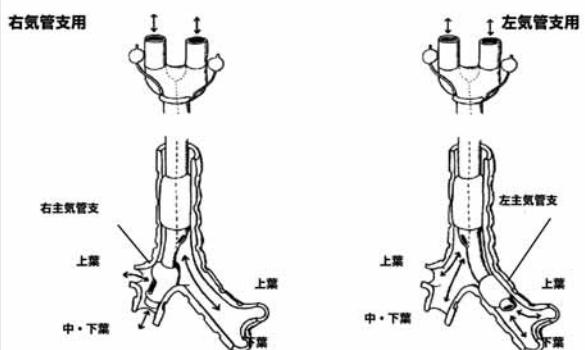
肺の構造



片肺換気 (OLV) の適応

- 肺腫瘍切除術
- 気胸根治術
- 食道癌根治術
- 胸部下行大動脈瘤
- Volume reduction surgery

ダブルルーメンチューブ



OLVの注意点

- チューブトラブル
- チューブの位置異常による換気異常
- 体位変換、頭部位置異常
- 低酸素血症
- 間欠的両肺換気、酸素の吹きつけ、PEEP
- 酸素中毒
- 特発性間質性肺炎患者では注意が必要！

札幌医科大学医学部医学科 麻酔科講義

静脈麻酔 Intravenous Anesthesia

札幌南三条病院 麻酔科
中山禎人



札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山禎人

今日の目標

静脈麻酔薬の特徴、種類(特性と副作用)、
および臨床での使用目的を理解する。

- 1 静脈麻酔とは
- 2 主な静脈麻酔薬
- 3 これからの静脈麻酔

札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山禎人

1 静脈麻酔とは

全身麻酔の一種。全身麻酔薬には、
吸入麻酔薬と静脈麻酔薬がある。

静脈麻酔=静脈麻酔薬を静脈内に
入れて全身麻酔を得る方法。

札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山禎人

麻酔管理とは…?

- ・ 薬物によって可逆的に感覚を消失させ、(手術)侵襲から 生体を守り、生命維持を行うこと
 - ・ 呼吸管理
 - ・ 循環管理
 - ・ 体液管理
 - ・ 体温管理
 - ・ 中枢神経管理
- ・ 手術中、刻々と変化する全身状態への対応が必要になる。



札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山禎人

麻酔法の種類



全身
麻酔
麻酔薬を中枢神経に
作用させ、意識を可
逆的に抑制し、鎮痛・
鎮静作用を得る。

局所
麻酔
麻酔薬を局所に作用
させ、末梢神経の伝
導を可逆的に遮断す
ることで鎮痛作用得
る。

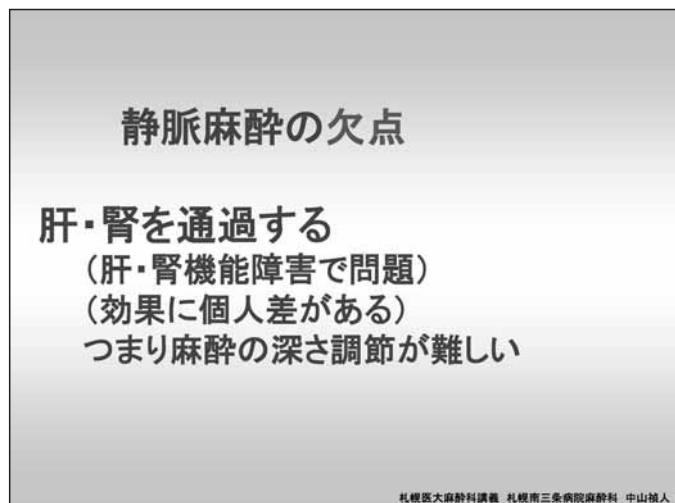
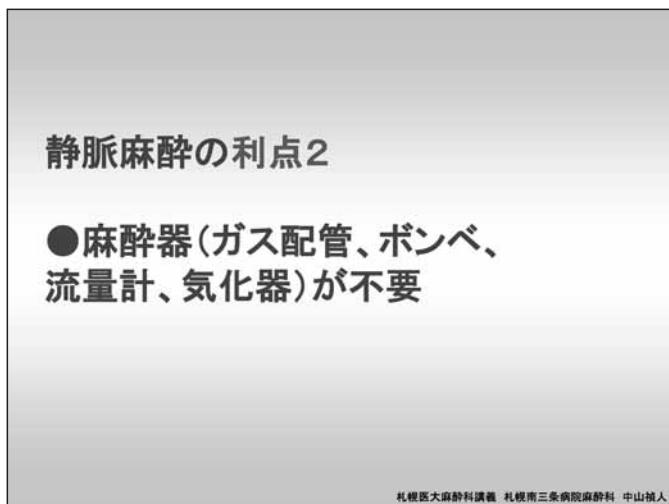
札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山禎人

静脈麻酔の利点1

- 吸入しなくても麻酔が可能
(臭くない。息を止めても大丈夫)
- 静注後、非常に短時間で麻酔導入
が可能 — 興奮期を最短に出来る

札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山禎人

2 静脈麻酔薬、鎮痛薬



静脈麻酔薬の薬理動態と代謝の特徴

- 脂溶性が高い
(妊婦、肥満での問題)
- 肝で代謝され腎で排泄
(肝腎障害での問題)

札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山哲人

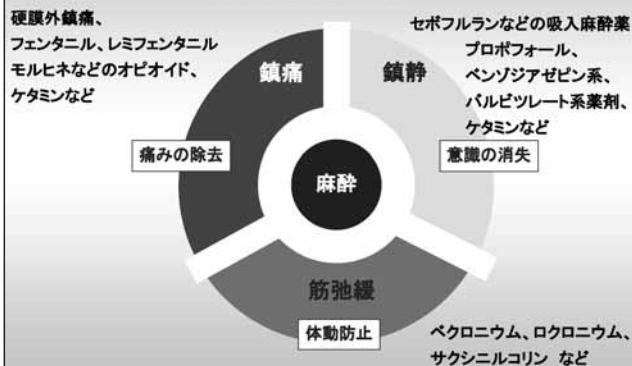
2 主な静脈麻酔薬

- (1) プロポフォール
- (2) バルビツレート系
- (3) ベンゾジアゼピン系
- (4) ケタミン
- (5) デクスマメトミジン
- (6) オピオイド

札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山哲人

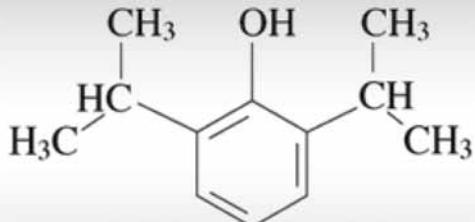
麻酔の3要素

バランス麻酔の概念



札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山哲人

(1) プロポフォール



Isopropyl phenol

フェノール(石炭酸)は脂溶性

札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山哲人

- バルビツレート系に代わって主流となった静脈麻酔薬。1995より日本で発売。GABA_A受容体に作用。
- 導入・覚醒が極めて早い。
- 鎮静効果はあるが鎮痛作用はない。
- 白い混濁液である。注入時に血管痛あり。
- 全身麻酔の導入に汎用される。体内での代謝が早く蓄積しないため持続投与による全身麻酔維持も可能である。

札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山哲人

○ プロポフォールの小児への使用

禁忌: 小児の集中治療における人工呼吸中の鎮静

(添付文書より)集中治療における人工呼吸中の鎮静においては、小児等には投与しないこと。[因果関係は不明であるが、海外で集中治療中の鎮静に使用し、小児等で死亡例が報告されている。]

(日本麻酔科学会ガイドラインより)プロポフォールによる小児鎮静後に乳酸アシドーシスを生じ、治療抵抗性の徐脈・心停止に至るプロポフォール症候群(propofol infusion syndrome: PRIS)の報告あり。発症機序: 不明 ミトコンドリアでの脂質代謝障害が原因? 小児へのプロポフォールの長期使用は厳禁。

札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山哲人

2 静脈麻酔薬、鎮痛薬

○禁忌:

妊娠・授乳期の症例(胎盤通過・乳汁移行が良いため)、大豆・卵アレルギー症例への投与

○副作用:

呼吸抑制(バルビツレートよりはるかに強力)、低血圧、乳酸アシドーシス、高脂血症、感染、敗血症、小児で死亡例。

札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山哲人

○マイケル・ジャクソンとプロポフォール 新聞記事より

マイケル・ジャクソンの血液から致死量レベルの強力な麻酔薬プロポフォールが検出されたことが検索令状からわかった。プロポフォールを含む鎮痛剤と鎮静剤のカクテルを投与されたという。

主治医コンラッド・マレー氏によれば、数週間にわたりプロポフォールからの離脱にためてロラゼバムとミダゾラムなどの薬剤を投与していたという。マイケル・ジャクソンは「ミルク」と呼び病院で使用する麻酔薬を要求し、毎晩50mgのプロポフォールを静注して中毒にならざるを得なかったとされる。

6月25日AM1:30にジアゼバムを与え、AM2:00にロラゼバム2mgを静注した。AM3:00にミダゾラムを、AM5:00にロラゼバム2mg追加、AM7:30にミダゾラム2mg追加。AM10:40に眠れないので再びのマイケルの要求により鎮痛剤リドカインで希釈したプロポフォール25mgを投与し、10分その場を離れている間に呼吸が止まっていた。



主治医コンラッド・マレー氏:心臓内科医

札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山哲人

○ジャクソンさんに大手術並みの麻酔薬 検視報告で明らかに 2010.02.10 CNN

昨年6月に死去した米歌手マイケル・ジャクソンさんの専属医だったコンラッド・マレー医師が訴訟されたことを受け、ロサンゼルスの検視官が検視結果報告書を公開した。

マレー医師はジャクソンさんが死亡した6月25日、睡眠誘発のために強力な麻酔薬「プロポフォール」をジャクソンさんに投与したとされ、しかるべき注意を怠ったとして8日に過失致死容疑で訴訟された。検視結果を検証した麻酔専門家はプロポフォール投与について「不眠症治療のためにこれが使われた事例は、私の知る限り1件もない。家庭での使用が報告されているのは虐待、自殺、殺人、誤用のケースのみだ」と指摘している。

検視結果では、「大手術のための麻酔に使われるのと同程度のレベルのプロポフォールが見つかった」と報告。しかも、プロポフォールを投与する際は麻酔専門医が付き添い、酸素濃度や血圧などを継続的に測る必要があるのに、そのための機器が使われた様子ではなく、必要な手順が守られていなかつたと結論付けた。



判決:懲役4年
医師免許剥奪

札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山哲人

●TCI

Target Controlled Infusion

薬物動態モデルを使って輸液ポンプをコントロールし、望む値の薬物濃度にする。



札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山哲人

今日から実現できる

著者 木山秀哉

TIVA(全静脈麻酔)
Total Intravenous Anesthesia
静脈麻酔薬のみで
行う全身麻酔

利点:吸入麻酔薬を使わないので、大気汚染にならない
(笑気の地球温暖化作用)など

札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山哲人

(2)バルビツレート系

○主に鎮静、睡眠薬として使用

札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山哲人

バルビツレート系の特徴

チアミラール（イソゾール®）



チオペンタール(ラボナール®)

- プロポフォールの一つ前の世代で頻用されていた静脈麻酔薬。現在は脳低体温療法時に使用。
- 導入・覚醒が極めて早いが、分解・排泄は遅い。作用時間が短いのは、脂肪組織に速く移行し、血中濃度が急速に低下するため。→麻酔導入には使用するが、持続・反復投与で体内に蓄積されるので、麻酔維持には通常用いない。

札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山慎人

バルビツレート系の特徴

○鎮静効果はあるが鎮痛作用はない。

○副交感神経系を緊張させる。ヒスタミン遊離作用あり。→気管支収縮を惹起する喘息には禁忌

○呼吸・循環抑制作用あり(プロポフォールよりは弱い)。

○ポルフィリン症、筋ジストロフィー症に禁忌。

札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山慎人

(3)ベンゾジアゼピン系

○マイナー・トランキライザー。基本的に鎮静・睡眠薬で鎮痛作用はない。強い抗不安・健忘作用がある。筋弛緩作用(中枢性)あり。GABA_Aの特異的受容体に結合し、クロールチャネルを調節し、主に鎮静作用を示す。

○作用発現時間が遅く、持続時間が長いため、静注剤は手術中の鎮静薬として使用。麻酔前投薬として筋肉注射でも用いられる。

○抗痙攣薬でもあるので、急性局所麻酔中毒で用いることがある。妊婦、急性緑内障、重症筋無力症では禁忌。

札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山慎人

○静脈内投与は

ジアゼパム(ホリゾン、セルシン)

フルニトラゼパム(サイレース、ロヒプノール)

ミダゾラム(ドルミカム)

—短時間作用性で調節性に富む

○拮抗薬

フルマゼニル(アネキセート)

短時間作用型。本薬の方が早く効果が消失し、ベンゾジアゼピンの効果が再出現する可能性があるため、要注意。

札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山慎人

新薬:レミマゾラム



○新しい超短時間作用型ベンゾジアゼピン系の静脈麻酔薬。世界に先駆けて2020年に日本で発売。

○ベンゾジアゼピン系と共通の性質:GABA_A受容体に結合し、鎮静作用を示す。急性緑内障、重症筋無力症では禁忌。フルマゼニルで拮抗可能。

札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山慎人

レミマゾラム



○従来のベンゾジアゼピン系にない特徴:

超短時間作用型なので、麻酔導入だけでなく、持続静注による麻酔維持も可能。

カルボキシルエステラーゼにより加水分解され代謝される。代謝産物の鎮静作用は約1/400(ミダゾラムは約1/8)。→投与中止で速やかに覚醒。

札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山慎人

2 静脈麻酔薬、鎮痛薬

レミマゾラムとプロポフォールの主な相違点

	レミマゾラム	プロポフォール
血圧低下	少ない	しばしばあり
注入時血管痛	—	+
拮抗薬	あり (フルマゼニル)	なし
性状	白い混濁液	生理食塩水に溶解し使用(無色透明)

レミマゾラムは今後普及していくと思われる。

札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山哲人



フォークランド戦争(1982年) ケタミン麻酔50%



湾岸戦争(1991年) ケタミン麻酔5%

札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山哲人

(4) ケタミン

ケタミン(ケタラール)



○視床皮質系を抑制、大脳辺縁系を賦活化することから解離性麻酔薬と呼ばれる。

○他の静脈麻酔薬と異なり、呼吸・循環の抑制が少ない。

○鎮静に加え、体性痛への鎮痛効果も持つ。筋注も可能。

札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山哲人

ケタミンの特徴

○血圧、脳圧、眼圧など、圧という圧は全て上がる。唾液分泌が亢進する。心拍数増加。

○気管支拡張作用があり、喘息症例にも使用可能。

○麻酔の質が良くない。幻覚や悪夢を見る(予防にはベンゾジアゼピン系の併用が効果的)。濫用が多くなり、近年麻薬指定となった。

○禁忌:頭蓋内圧亢進、痙攣性疾患、緑内障、脳外科・眼科手術には適さない。

札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山哲人

CN(C)C(=O)c1ccc2[nH]cnc2c1

NIGHTMARE BY KETAMINE ANESTHESIA

1962年

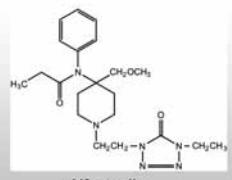
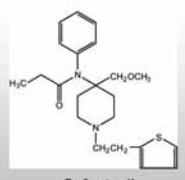
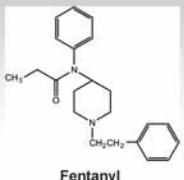
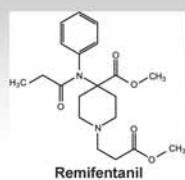
ケタミンは悪夢を見る

札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山哲人



2 静脈麻酔薬、鎮痛薬

様々なオピオイド鎮痛剤



札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山慎人

レミフェンタニル：夢の麻薬

- 超短時間作用性のオピオイド鎮痛剤(麻薬性鎮痛剤)
- 鎮痛作用の発現と消失が速やか→持続静脈内投与で使用
- 血液中及び組織内の非特異的エステラーゼによって速やかに代謝され、蓄積性なし 肝・腎機能障害症例にも使用可能
- 侵襲刺激に応じた鎮痛のコントロールが可能
- 麻酔からの覚醒に投与時間は影響を与えない
- 添加剤としてグリシン(神経毒性あり)使用→硬膜外腔・くも膜下腔への投与は禁忌 静脈内投与のみ

札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山慎人

オピオイド鎮痛剤の作用持続時間

作用持続時間

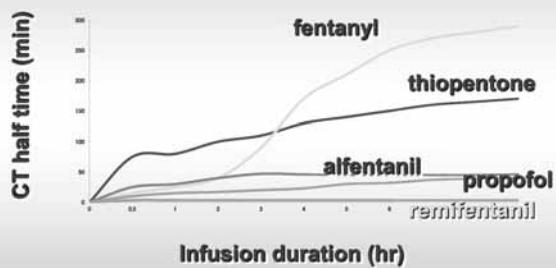
オピオイド鎮痛剤	作用持続時間(分)
レミフェンタニル	3~10分
フェンタニル	20~30分
モルヒネ	180~240分

Mason P. Intensive Crit Care Nurs., 18, 355-357, 2002

札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山慎人

CONTEXT-SENSITIVE HALF TIME

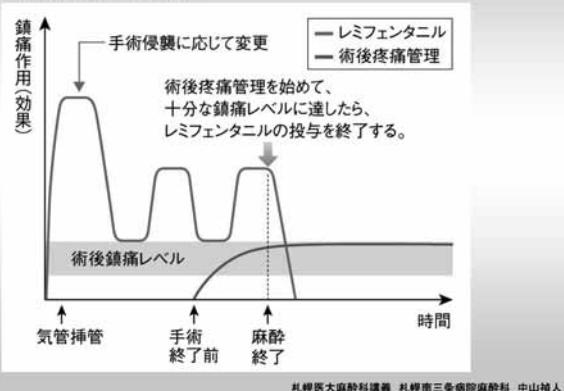
持続静脈内投与後に血中濃度が半分になる時間



Egan TD, et al. Anesthesiology, 79, 881-892, 1993を改変 札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山慎人

術後疼痛管理

周術期の疼痛管理の概念図



札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山慎人



Encarta Encyclopedia, The Everett Collection

麻薬拮抗薬
ナロキソン



3 これからの静脈麻酔

静脈麻酔単独で全身麻酔を行うことは吸入麻酔に較べて難しい。

本が出るくらいだから



1960年代にもバランス麻酔が試みられた…

NLA(Neurolept-analgesia)

- ・強力な神経遮断薬neurolepticと鎮痛薬analgesicを静脈内に投与して、患者の意識を残したまま周囲に全く無関心な状態と無痛を得る方法。
- ・喉頭微細手術等で、術中の発声等、患者の協力を得ながら行う手術に適応がある。
- ・近年は静脈麻酔薬の進歩で殆ど行わない。

札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山哲人

NLAに使用される薬剤

- ・NLA原法:ドロペリドール+フェンタニル
- ・変法:ベンゾジアゼピン系薬+麻薬系薬剤

ドロペリドール:強力な鎮静作用がある。周囲に無関心になる。少量で強力な制吐作用あり。副作用:錐体外路症候群...parkinson病症例には禁忌。

麻薬系薬剤

- ・変法:ベンゾジアゼピン系薬+麻薬系薬剤

札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山哲人

最新のバランス麻酔

- 鎮静薬 = プロポフォール
鎮痛薬 = レミフェンタニル
筋弛緩薬 = ロクロニウム



札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山哲人

静脈麻酔薬のまとめ

1. 静脈麻酔薬は全身麻酔において極めて重要な薬剤である。
2. 新たな静脈麻酔薬の開発と共に、麻酔管理は行いやすくなっているが、個々の薬剤の特性、副作用を十分に理解して安全に使用することが重要である。

札幌医大麻酔科講義 札幌南三条病院麻酔科 中山哲人

3 筋弛緩薬、拮抗薬

筋弛緩薬 拮抗薬

札幌医科大学医学部 麻酔科学講座
早水憲吾

本日のアウトライン

- ・麻酔と筋弛緩薬の歴史
- ・筋弛緩薬はなぜ必要かを理解する
- ・筋弛緩の種類を理解する
- ・筋弛緩薬の作用機序を理解する
- ・筋弛緩の効果を判定する方法を理解する
- ・筋弛緩薬の拮抗について理解する
- ・悪性高熱症について理解する

13世紀の手術



助手は患者を見つめながら
患者の注意をそらしている
間に、手術を行った。
(麻酔科医は存在せず)

疼痛に対するアプローチは
Mesmerism
Hypnotism
Acupuncture であった。

Mesmerism : (体内的動物磁気を整える) 催眠術
Hypnotism : 催眠術
Acupuncture : 鍼治療

交感神経と副交感神経のバランス



侵襲に対する麻酔のアプローチ



バランス麻酔とは

- ・1926年 John S. Lundy (Mayo Clinic)
- ・個々の薬剤だけでは理想の全身麻酔とならなかった
- ・複数の薬剤を使用
- ・相乗効果を用いることで個々の薬剤を減ずる
- ・複数の薬剤を組み合わせて以下の状態を作る
鎮静, 鎮痛, 筋弛緩, (有害反射の抑制)



John S. Lundy

麻酔の3要素 (+有害反射の抑制)

- 鎮静 (意識を消失させる)
- 鎮痛 (痛みを抑える)
- 筋弛緩 (術中の不動化)
- (有害反射の抑制)

筋弛緩薬の適応

- ① 気管挿管時：
声門部の筋群の弛緩、喉頭痙攣の防止
- ② 手術操作を容易にする：
自発呼吸が手術操作の妨げとなる場合に調節呼吸とする
開腹時の腹筋の筋緊張を取り除き腹壁縫合を容易にする
肩・股関節の脱臼時に筋緊張を取り除き整復を容易にする

筋弛緩薬の適応

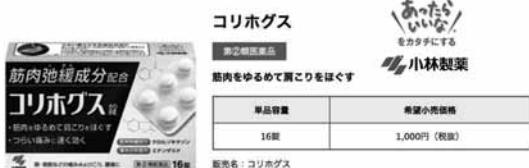
- ③ 全身麻酔中の有害反射の防止：
浅麻酔時の体動、吃逆、バッキング（気道刺激による咳嗽反射）防止
特に、脳外科、眼科手術中では脳圧、眼圧を上昇させ危険
- ④ 全身痙攣時：
電気痙攣療法（Electro-convulsive therapy (ECT)）での脊椎骨折、口腔内損傷の防止

筋弛緩薬の種類



中枢性筋弛緩薬

脊髄・脳幹におけるシナプス応答を抑制
：脳血管障害、痙攣性麻痺、肩こりなど



クロルゾキサゾン（ベンゾオキサール系筋弛緩薬 中枢神経系に作用）を配合
効能効果：肩・首筋などの痛みおよびこり、腰痛、背痛、ねんざ、うち身、神經痛・リウマチ性疼痛、四十肩、関節痛、筋炎、腱炎

小林製薬HP

AFP Online Latest Popular News Sports Video Focus Photo Fashion Area Q

ウェブ選手、選捕時に筋弛緩薬を服用と供述 検査報告書で明らかに

2017年8月10日 13:16 発信地：マイアミ/米国 [北米、米国]



米フロリダ州で逮捕されたタイガー・ウッズ選手。州警パームビーチ郡保安官事務所によると、2017年5月29日撮影。

【6月10日 AFP】飲酒または薬物を使用した状態で車を運転した疑いで5月29日未明に逮捕された男子ゴルフのタイガーウッズ(Tiger Woods)選手(41)が、当時、筋弛緩薬を服用していたと供述していたことが明らかになった。警察の検査報告書を入手したゴルフ専門サイトの「ゴルフチャンネル(Golf Channel)」が報じた。

AFP通信

3 筋弛緩薬、拮抗薬

末梢性筋弛緩薬



時計型麻醉銃



麻酔銃の原理は毒矢 (麻酔科医考査)



クラーレ (curare)

矢毒の種類のひとつ

d-ツボクラリン

ツヅラフジから抽出されていた

神経筋接続部のニコチン性アセチルコリン ツヅラフジ
受容体においてアセチルコリンと競合的に作用
骨格筋を麻痺させ窒息死

麻醉科領域において クラーレ ≈ 筋弛緩

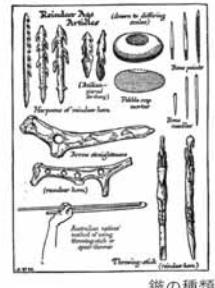
1935年単離に成功 その後医療用に使用



毒矢

毒矢は、鏃（やじり）に様々な種類の毒を塗りつけ、殺傷力を高めた矢の総称。狩猟・戦争・暗殺などの場面で標的をより確実に仕留めるために使用。

鏃に塗布された毒は全身に回り、麻痺などの症状を引き起こし、標的を行動不能へと追い込む。



(手術室で使用する) 筋弛緩薬 (神経筋遮断薬)

① 非脱分極性 (ACh受容体競合性) 筋弛緩薬

d-ツボクラリン

ロクロニウム (臨床使用頻度 高)

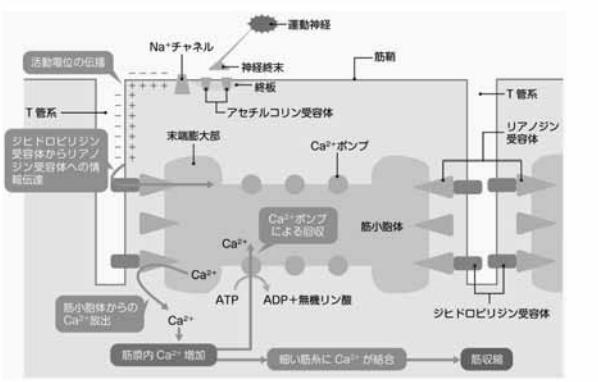
パンクロニウム

ベクロニウム

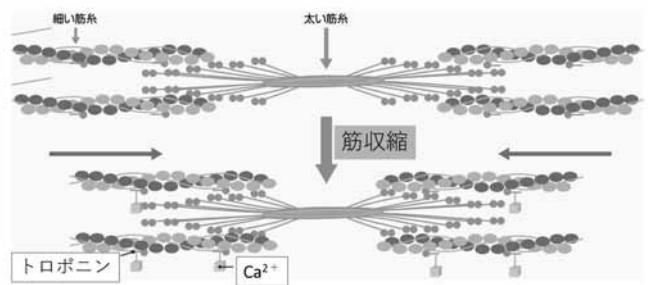
② 脱分極性筋弛緩薬

スキサメトニウム (臨床使用頻度 高)

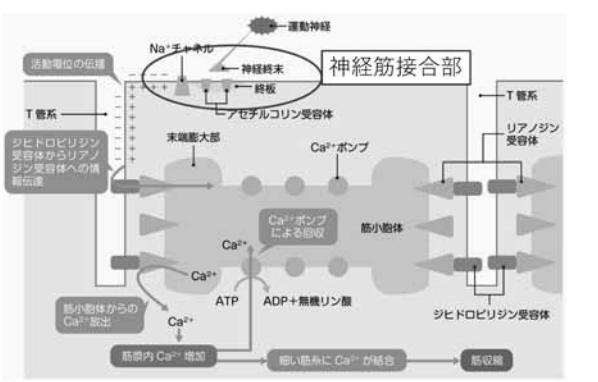
骨格筋の収縮様式（復習）



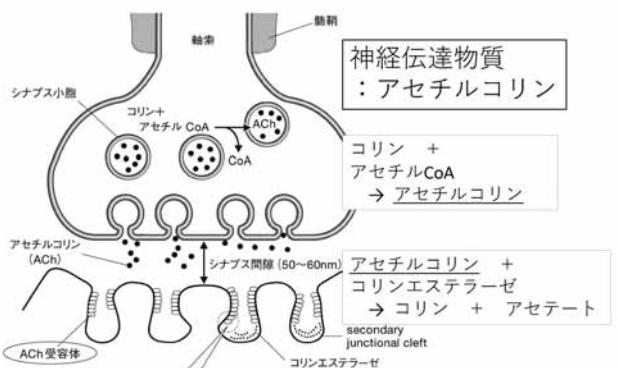
骨格筋の収縮様式



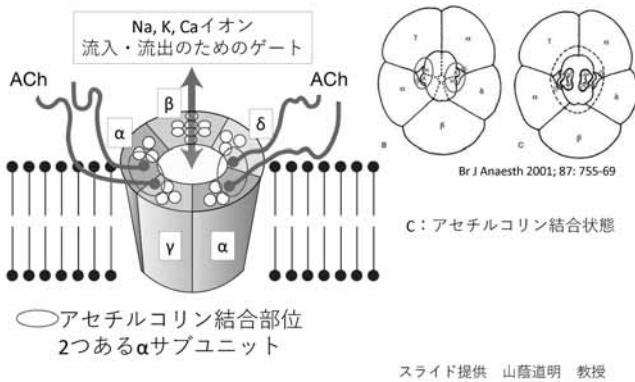
筋弛緩薬の作用部位



神経筋接合部



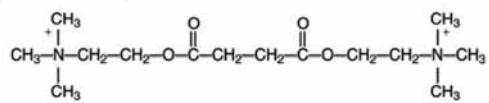
アセチルコリン受容体



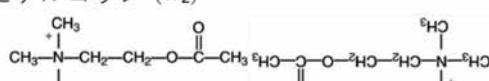
脱分極性筋弛緩薬

スキサメトニウム

サクシニルコリン

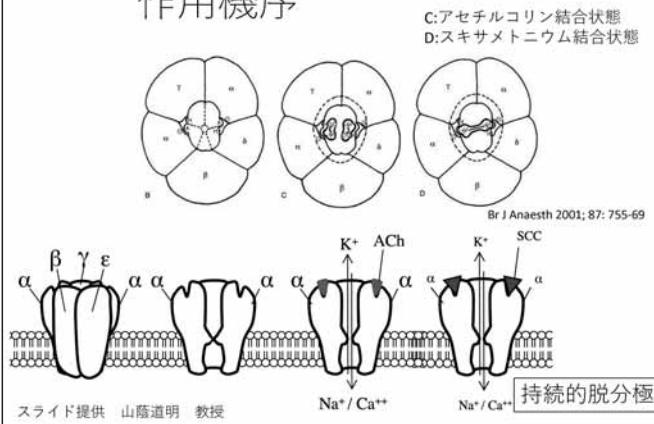


(アセチルコリン (x2))



3 筋弛緩薬、拮抗薬

作用機序



脱分極性筋弛緩薬の特徴

- 作用発現までが早く 持続時間も短い
効果発現まで約1分 持続時間10分程度
 - 血中の偽性コリンエステラーゼで分解される
 - 反復投与で耐性が見られる
 - 投与時に線維束攣縮 (fasciculation) その後筋弛緩が得られる
- 腹筋・・・胃内圧上昇(0~40 cmH₂O)
外眼筋・・・眼圧上昇(5~10 mmHg)

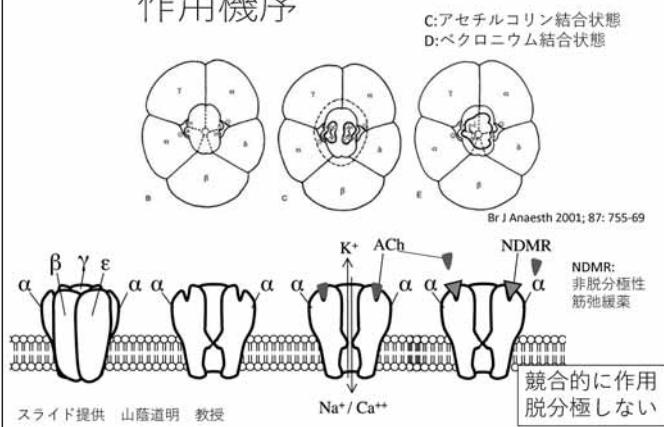
脱分極性筋弛緩薬の特徴

- 攣縮による術後筋肉痛
precursorizationで予防 術後CK上昇
- 洞性徐脈、まれに心静止
- K上昇 : 0.5~1.0 mEq/L
腎不全、熱傷等ではさらに上昇する
- 悪性高熱症のトリガーとなる
- 胎盤通過性がある
臨床上問題とならないとされている

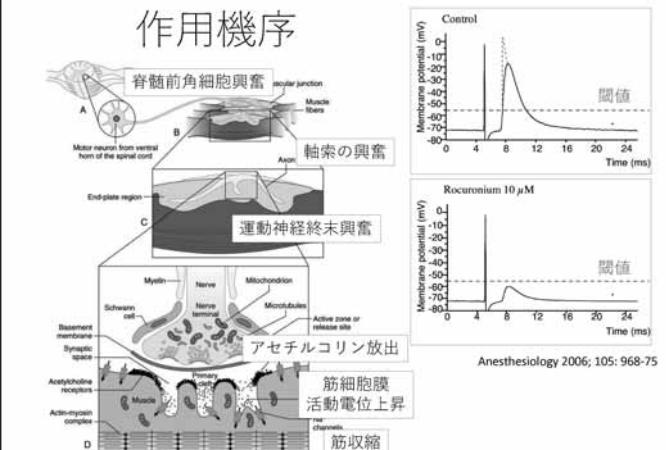
非脱分極性筋弛緩薬

	作用時間	排泄経路	循環系への作用
d-Tubocurarine	長	腎臓 一部胆汁	頻脈・血圧低下 血管拡張
Pancuronium	長	腎臓	頻脈・血圧低下
Vecuronium	短	胆汁 一部腎臓	ほとんどなし
Rocuronium	短	胆汁 一部腎臓	ほとんどなし
Atracurium	短	ホフマン 分解	ほとんどなし

作用機序



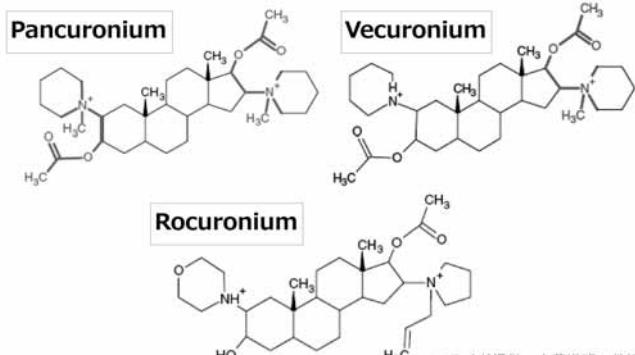
作用機序



非脱分極性筋弛緩薬の特徴

- 脱分極性に比べ作用発現まで時間がかかる
- 脱分極性に比べ作用時間が長い薬剤が多い
- 極めて作用時間の長い薬剤もある
- 持続投与を行う薬剤もある
- 循環動態に影響を与える薬剤もある
- 薬剤の拮抗の仕方に特徴がある（後述）
- 特異的な薬剤で拮抗できる筋弛緩薬がある（後述）
- 主に臨床使用される薬剤はロクロニウム（後述）

構造式



麻酔において使いやすい薬とは

- 安全性が高い
- 副作用が少ない
- 作用発現が早い
- 容易に拮抗することができる
- 調節性が良い
- 薬剤として安定している

臨床使用は主にロクロニウム

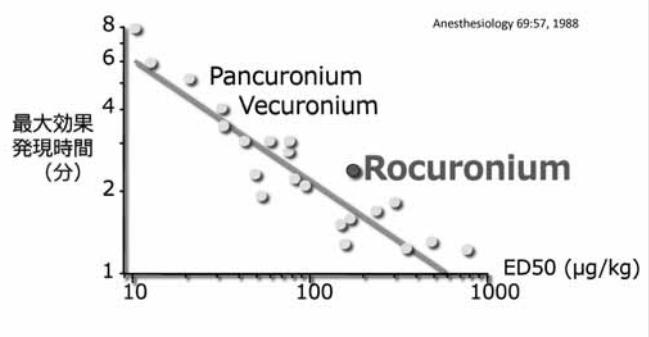
- 作用発現を早くする
 - 効力の弱い筋弛緩剤を開発する
 - 投与量（投与分子数）が増える
 - 濃度勾配に従って神経筋接合部に速く到達
- 中時間作用性を担保する
 - 中時間作用性のベクロニウムを材料とする
 - 代謝物が活性を持たない
 - 水溶性で安定
 - + α

スライド提供 山藤道明 教授

ロクロニウムの化学構造の特徴

- ステロイド骨格第3位のアセチル基を水酸基に置換
→ 水溶性で安定する
 - D環4級アンモニウム基に結合しているメチル基をアリル基に置換
→ ACh受容体に結合しづらくなる
→ 作用が弱くなる
- | | |
|-------------------|--|
| Vecuronium | |
| Rocuronium | |
- スライド提供 山藤道明 教授

アミノステロイド系筋弛緩剤の力価



3 筋弛緩薬、拮抗薬

筋弛緩薬は極めて危険な薬剤

トップ > 地域のニュース > 関野用の筋弛緩薬を紛失 3人分の致死量に相当、大津市民病院

地域
麻酔用の筋弛緩薬を紛失 3人分の致死量に相当、大津市民病院

2020年1月17日 19:38

記事を保存



大津市立大津市民病院（同市本宮2丁目）は17日、医薬品医療機器法で毒薬に指定されている麻酔用筋弛緩薬「トキ（5ミリリットル）」を紛失したと発表した。15日に手術室の薬品庫の在庫確認をした麻酔科医が気付いた。1瓶で成人3人分の致死量に相当するという。

同病院は17日、大津市保健所に報告し、大津署に紛失届を出した。

京都新聞

死刑執行にも使用（米国）

IHUFFPOST

アメリカで「26分間苦しむ死刑」が行われている理由

ヨーロッパ諸国では死刑廃止論が強まっており、このことが、死刑が残るアメリカの一部の州における死刑執行の障害になっている。ヨーロッパの大手製薬会社数社が、2010年頃から、死刑執行に使われる場合には薬物を販売しない方針になったからだ（アメリカでは現在、薬物注射による薬剤投与が死刑の主な方法になっている）。

Jan Diehm

2014年04月10日 14時37分 JST | 更新 2018年03月30日 12時54分 JST

ヨーロッパ諸国では死刑廃止論が強まっており、このことが、死刑が残るアメリカの一部の州における死刑執行の障害になっている。ヨーロッパの大手製薬会社数社が、2010年頃から、死刑執行に使われる場合には薬物を販売しない方針になったからだ（アメリカでは現在、薬物注射による薬剤投与が死刑の主な方法になっている）。

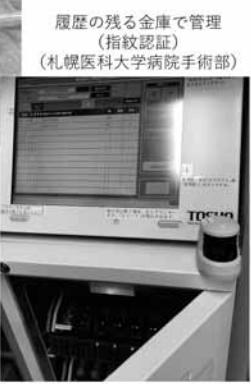
HUFFPOST JAPAN

筋弛緩薬は極めて危険な薬剤

履歴の残る金庫で管理（指紋認証）
(札幌医科大学病院手術部)

ヤバイ死に様
名探偵コナン より

使用履歴を残す（日時・患者名）



筋弛緩効果の判定

- 筋弛緩モニターで行う
- 商品名 TOFウォッチ®

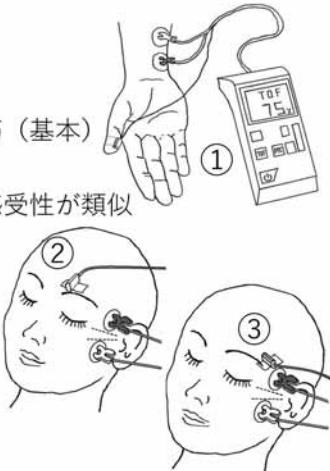
筋弛緩薬のより安全な使用
かつ合理的な患者管理のために開発された筋弛緩モニタリング装置
筋弛緩の程度や追加投与・リバース等のタイミングを把握する上で有用な数値を表示



刺激部位

①尺骨神経—母指内転筋（基本）
②顔面神経—皺眉筋
→横隔膜と筋弛緩薬感受性が類似
③顔面神経一眼輪筋

・母指内転筋で TOF: 0 でも横隔膜の筋弛緩の程度はわからない



筋弛緩のモニタリング

日本麻酔科学会より
「安全な麻酔のためのモニター指針」
が改訂されました

- 2019年 改訂版
「筋弛緩モニターは必要に応じて行うこと」
↓
「筋弛緩薬および拮抗薬を使用する際には、筋弛緩状態をモニタリングすること」

モニタリングを確実にしたい症例

術中筋弛緩の適正調節

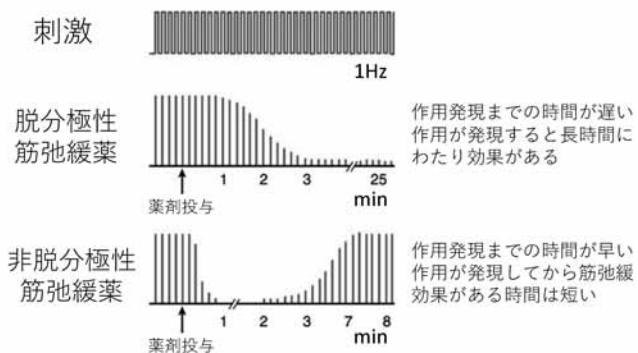
- ・術中胎動が許容されない脳外科、眼科、その他顕微鏡使用手術
- ・腹腔鏡使用手術における適正な術野環境の提供
- ・筋弛緩薬の長期使用症例の評価
(長時間手術、ICUでの長期挿管管理症例)

モニタリングを確実にしたい症例

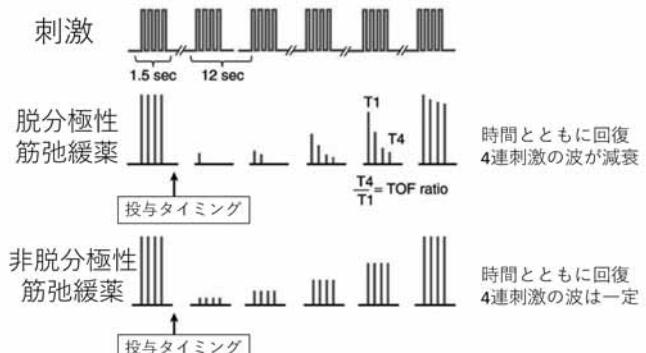
残存筋弛緩効果の判定

- ・筋弛緩作用の異常が懸念される患者
- ・日帰り手術
- ・脳死判定時
- ・筋弛緩拮抗薬投与を回避したい患者
(アナフィラキシーの既往等)
- ・ごく少量の筋弛緩残存が合併症を引き起こす懸念がある患者
(重症筋無力症の患者等)

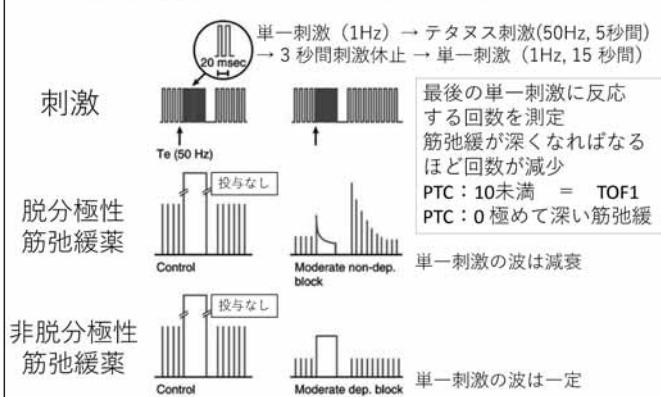
筋弛緩モニターの実際 単一刺激



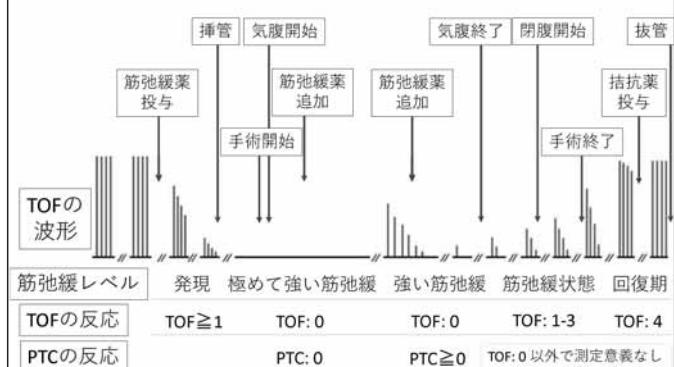
筋弛緩モニターの実際 TOF



筋弛緩モニターの実際 PTC



筋弛緩モニターの実際



3 筋弛緩薬、拮抗薬

症例提示①

70歳、男性、71 kg。
並存症として慢性腎不全。
尿管全摘術施行。
合計240 mgのロクロニウムが7時間33分間の麻酔中に投与された。
スガマデクス（拮抗薬）200 mgが、ロクロニウム20 mg最終投与の87分後に投与され、患者は自発呼吸を再開した。

症例提示①

患者は意思疎通可能で抜管された。
筋弛緩モニタリングは行われなかった。
麻醉後治療室（PACU）に移動してから15分後、患者は呼吸停止に陥り、再挿管された。
その際、筋弛緩モニターのTOFは3であった。
さらに200 mgのスガマデクス（拮抗薬）を投与したところ、体動が出現。
自発呼吸が再開し、その後は再クラーレ化の兆候はなかった。

症例提示②

80歳、男性、61 kg。
腹部大動脈瘤手術施行。
気管挿管のためにロクロニウム50 mgを投与し、挿管の1時間後から25 mgを30分間隔で投与した。
筋弛緩モニタリングは行われなかった。
ロクロニウム25 mgを最終投与してから50分後、意識と自発呼吸がない状態でスガマデクス（拮抗薬）200 mgを投与した。

症例提示②

スガマデクス（拮抗薬）の投与後、自発呼吸は弱かったが、患者は意思疎通可能で抜管され、PACUに移送された。
抜管15分後に呼吸が停止した。
スガマデクス（拮抗薬）200 mgを追加投与したところ自発呼吸が回復した。

回復室での重篤な呼吸器合併症

発症率 0.8%
(n=61/7459)

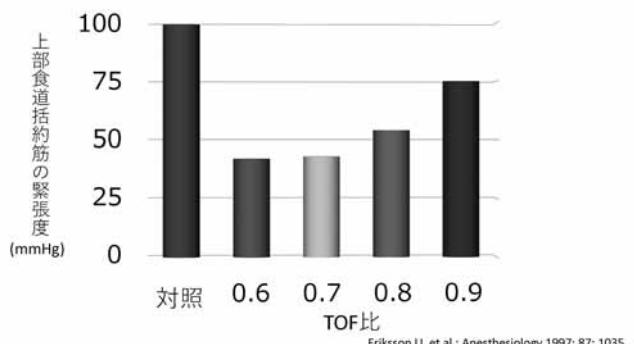
呼吸器合併症の定義と頻度

- ・高度低酸素血症 ($\text{SpO}_2 < 90\%$) 59%
- ・処置が必要な上気道閉塞 34%
- ・中等度低酸素血症 ($\text{SpO}_2 \sim 93\%$) 20%
- ・深呼吸ができない 12%
- ・再挿管 6%

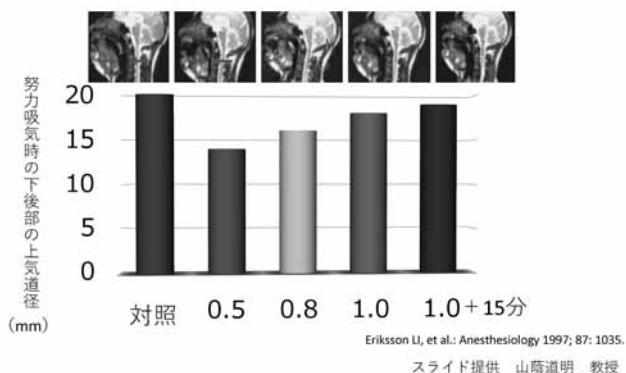
Murphy GS, et al.: Anesth Analg 2008; 107: 130.

スライド提供 山藤道明 教授

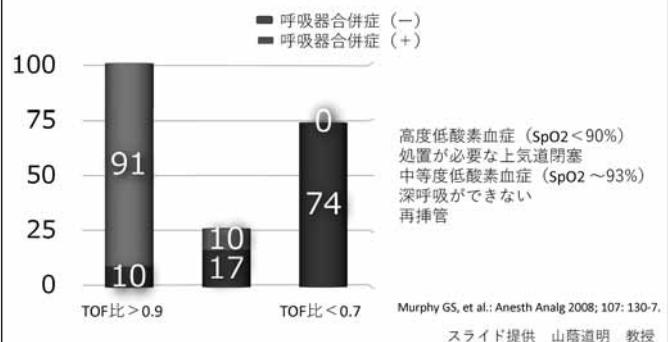
残存筋弛緩と誤嚥リスク



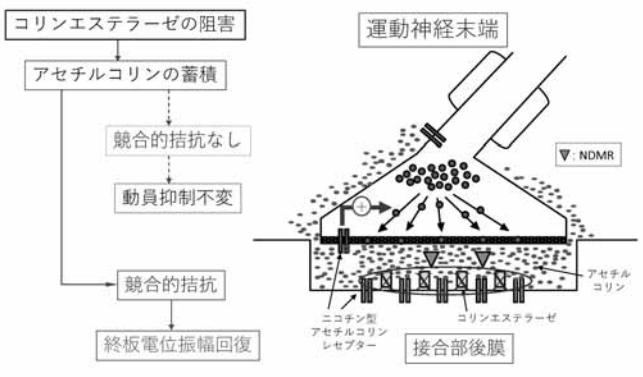
TOF比と上気道閉塞の関係



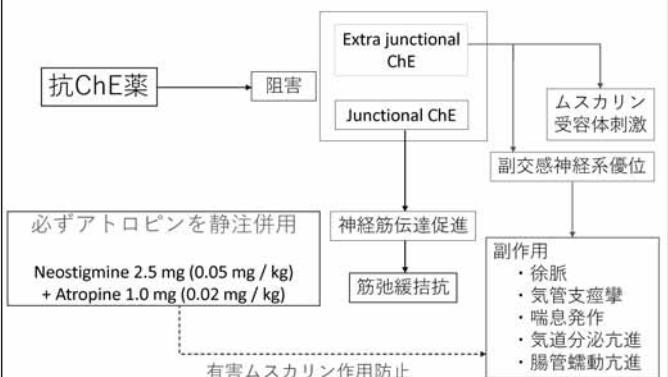
呼吸器障害とTOF比の関係



筋弛緩の拮抗



筋弛緩薬拮抗の問題点

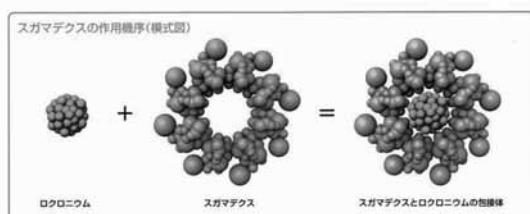


臨床使用は主にロクロニウム

- 作用発現を早くする
 - 効力の弱い筋弛緩剤を開発する
 - 投与量（投与分子数）が増える
 - 濃度勾配に従って神経筋接合部に速く到達
- 中時間作用性を担保する
 - 中時間作用性のベクロニウムを材料とする
- 代謝物が活性を持たない
- 水溶性で安定
- 特異的な拮抗薬が存在する

スライド提供 山藤道明 教授

新しい筋弛緩薬とその拮抗



スガマデクスが包接体を形成
尿中に排泄されるまでは解離なし

スライド提供 山藤道明 教授

3 筋弛緩薬、拮抗薬

悪性高熱症

・病態

遺伝的に筋肉の収縮をつかさどるカルシウムがその貯蔵庫から細胞内に遊離する機能が異常であるために、全身の筋肉が異常収縮を続ける疾患

遺伝的な素因を持った人が吸入麻酔薬や脱分極性の筋弛緩薬で麻酔したときのみに起こる、非常に希な疾患

悪性高熱症

・症状

体温上昇

全身の筋肉が異常に収縮し続けているため、体が硬直した状態

筋肉の異常収縮による筋細胞破壊

筋細胞内破壊によるカリウム上昇、ミオグロビン尿、腎機能低下

代謝性アシドーシス、DIC

治療開始が遅れると死に至るケースも

悪性高熱症

・診断

表2. 盛生らの臨床診断基準

カテゴリ1	体温上昇	40°C以上 または 38°C以上で「0.5°C／15分」以上の上昇
カテゴリ2	呼吸・循環	1. 頻脈、不整脈、血圧変動 2. 過呼吸、呼吸性・代謝性アシドーシス
	体表所見	1. 筋強直 2. 発汗 3. 赤褐色尿
	検査所見	1. P_{aCO_2} の低下 2. カリウム、CK、AST、ALT、LDHの上昇
	術野所見	出血傾向(DIC)

劇症型悪性高熱症 カテゴリ1を満たし、カテゴリ2のいくつかの症状を満たす。

軽症型悪性高熱症 カテゴリ1を満たさないが、カテゴリ2のいくつかの症状を満たす。

悪性高熱症

・治療

ダントロレンナトリウム水和物の投与

起因・禁忌薬物の投与中止

全身管理、対症療法（冷却含む）

麻酔科医が一生に一度診るかどうか

重篤度が高いため、麻酔科医として見逃してはならない症候群

本講義のまとめ

- ・バランス麻酔を遂行するために、筋弛緩薬は必要な薬剤の1つである。
- ・筋弛緩薬とその拮抗薬について、特性を理解し適切に管理することが肝要である。
- ・悪性高熱症は重篤な症候群で、早期の診断と治療介入が必要である。

札幌医科大学医学部
第4学年講義 2021年度

ペインクリニック 神経ブロック

札幌医科大学医学部麻酔科学講座
澤田敦史



ペインクリニックについて理解する

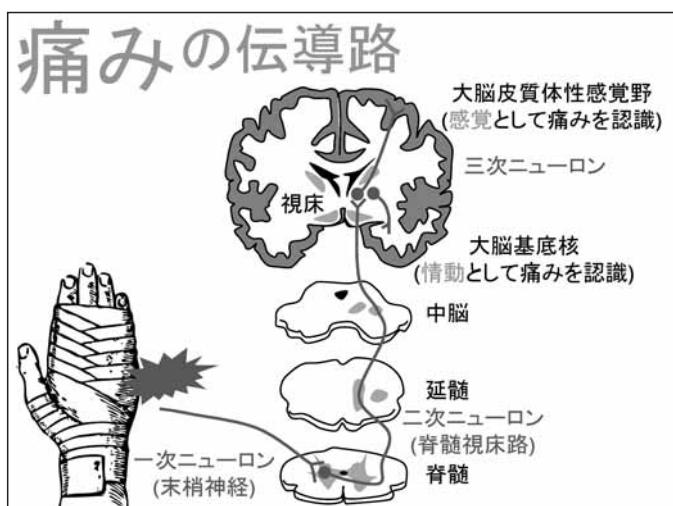


痛みとは？

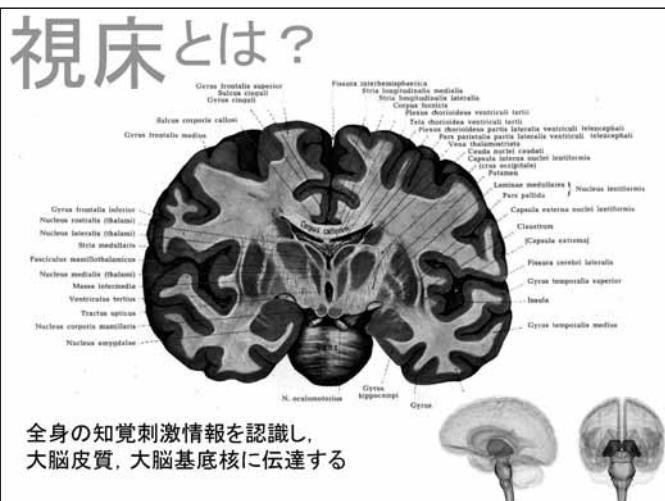
1979年 国際疼痛学会 (IASP)

「痛み」とは、実質的または潜在的な組織損傷と関連した『不快な感觉的・情動的体験』
あるいは、このような傷害と関連して述べられる『不快な感觉的・情動的体験』

「痛み」とは、損傷・傷害に起因する
『不快な感觉と情動』

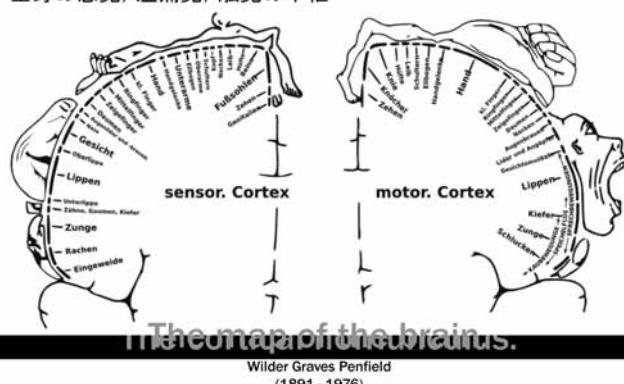


4 ペインクリニック、神経ブロック

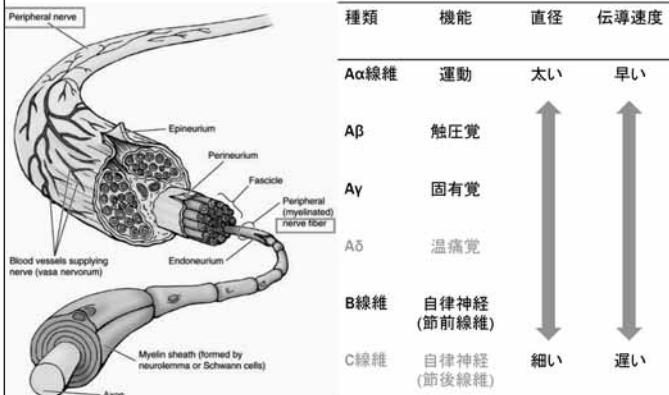


大脳皮質体性感覚野とは？

全身の感覚、温痛覚、触覚の中枢



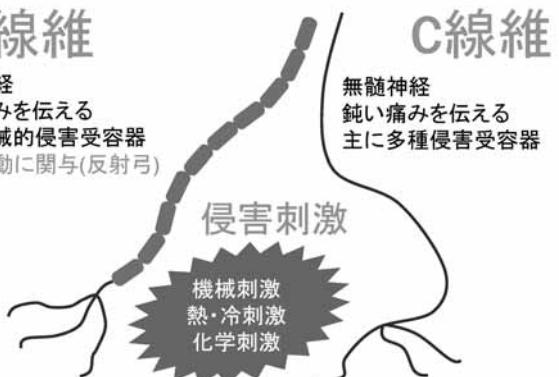
末梢神経とは？



末梢神経とは？

A δ 線維

有髓神経
鋭い痛みを伝える
主に機械的侵害受容器
逃避行動に関与(反射弓)

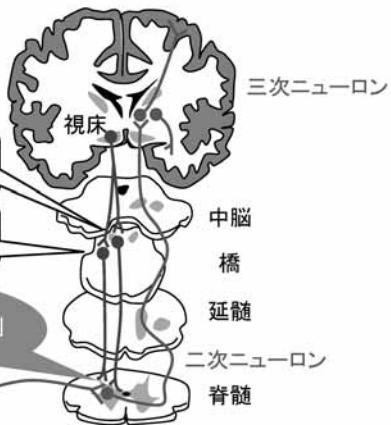
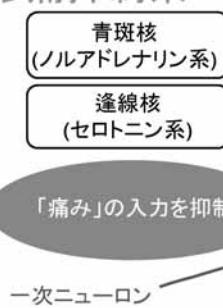


C線維

無髓神経
鈍い痛みを伝える
主に多種侵害受容器

痛みの抑制経路

下行性 疼痛抑制系



痛みの評価

痛みは主観的評価しかできない

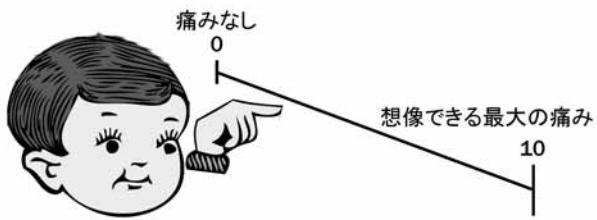
Visual Analogue Scale/ VAS
Numerical Rating Scale/ NRS
Face Rating Scale



痛みの評価

Visual Analogue Scale/ VAS

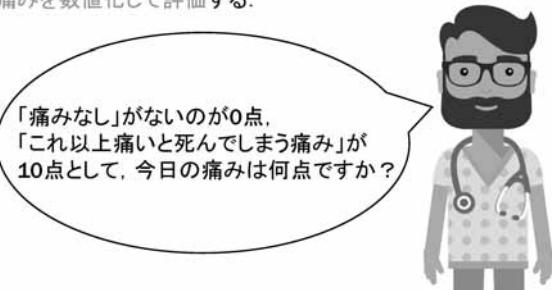
長さが10cmの黒い線(左端:痛みなし、右端:想像できる最大の痛み)を患者に見せて、痛みがどの程度かを指し示してもらう
*臨床では10cmのスケール(定規)を使用する



痛みの評価

Numerical Rating Scale/ NRS

「痛みなし」が0、「想像できる最大の痛み」が10として、11段階に痛みを数値化して評価する。



痛みの評価

Face Rating Scale/ FRS

患者の表情で痛みの強さを評価する方法。VASやNRSで評価が困難な高齢者や小児に用いられる



痛みの分類

痛みの原因による分類

侵害受容性疼痛
神経障害性疼痛
心因性疼痛(身体表現性疼痛障害)



痛みの分類

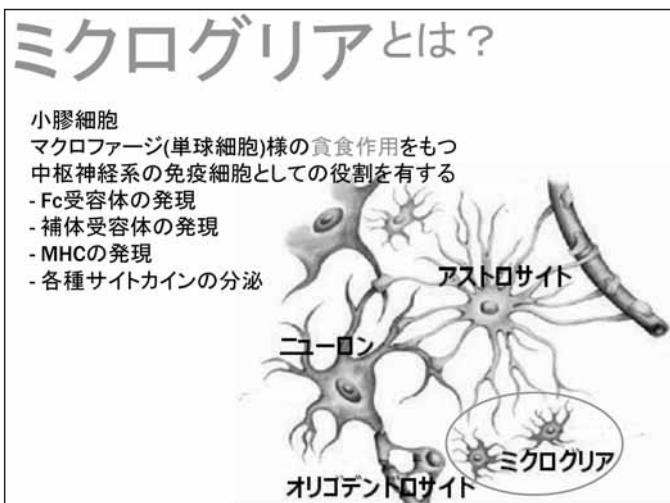
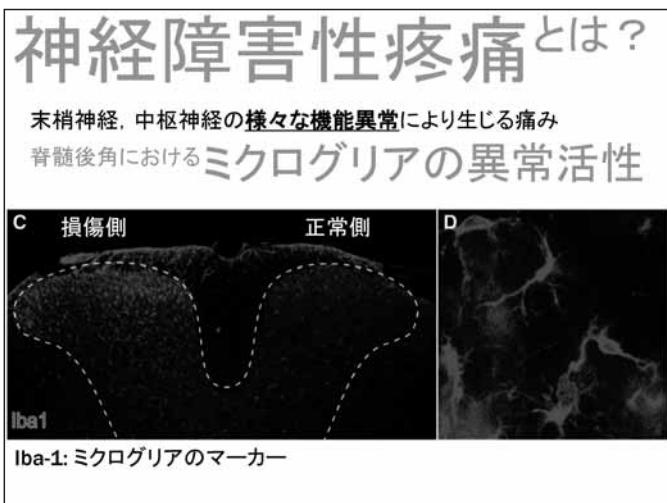
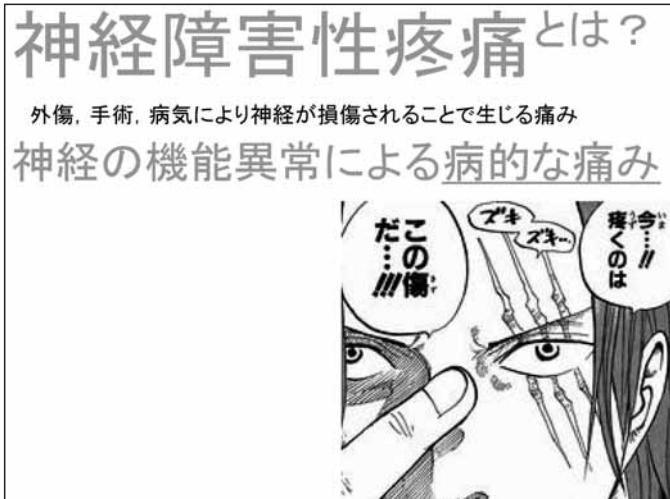
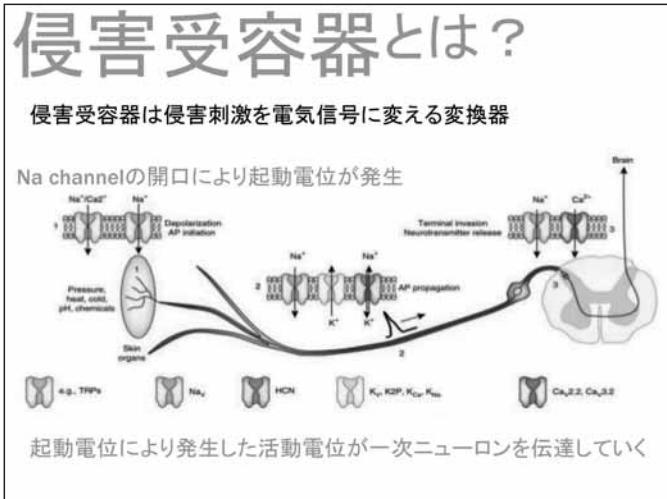
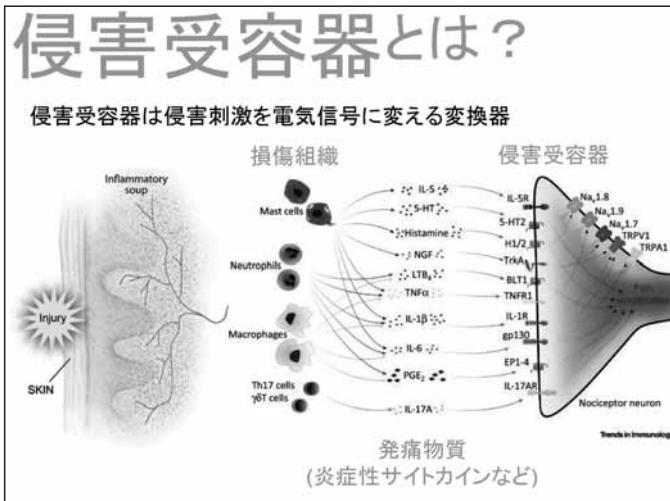
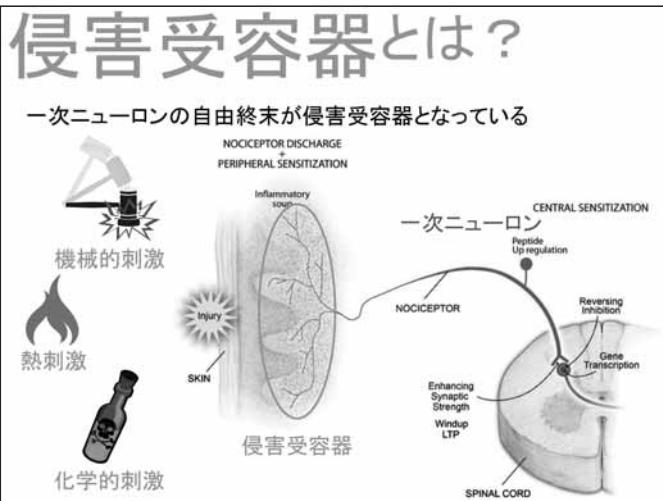


侵害受容性疼痛とは？

健常な組織を傷害するか、その危険性をもつ侵害刺激が加わった際に生じる痛み

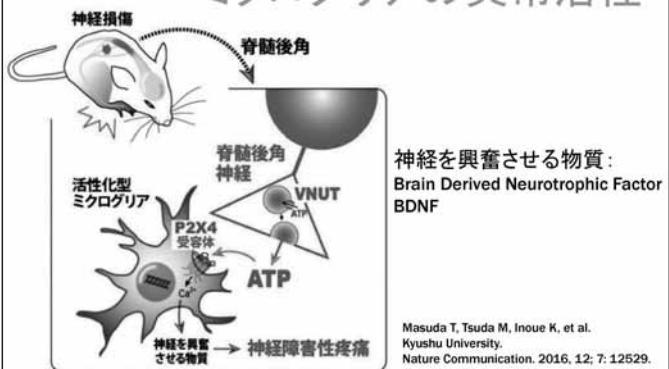
日常生活で最も経験する痛み
危険から身を守る警告サイン





神経障害性疼痛とは？

脊髓後角におけるミクログリアの異常活性



神経障害性疼痛の症状

自発性の持続痛
発作性の電撃痛

痛覚過敏

侵害刺激に対する感覚(痛覚)が通常よりも強くなった状態

アロディニア

通常では痛みを引き起こさない刺激(軽度の触刺激、適度の温熱刺激など)によって生じる痛み

神経障害性疼痛の症状

アロディニア：軽度の触刺激により生じる痛み



心因性疼痛とは？

心理的要因と関連した疼痛性障害

心理的要因が疼痛の発症、重症度、悪化、または持続に重要な役割を果たす



心因性疼痛とは？

『痛みの原因となる身体的な異常がない』

+

心因性疼痛

||

『痛みの原因に心理的要因が関連する』

心因性疼痛とは？

症例

42歳、日系ブラジル人女性

主訴：心窓部痛

上部消化管内視鏡検査：異常なし



4 ペインクリニック、神経ブロック

心因性疼痛とは？

41歳時に一人息子が結婚

受診当初は、このことについて「おめでたいことだと思います」と述べていた。



心因性疼痛とは？

その後、長男が離婚し再び患者と生活するようになってから心窓部痛は消失した



心因性疼痛とは？

養育歴：

- 幼少の時から虐待を受けていた
- 「自分の感情を表に出してはいけない」という思考形成
- ブラジル人男性と結婚したが、理由は「プロポーズされたから」であり、自らの意志ではない

受診後の経過：

- 受診から半年後
人生でようやく愛する人ができたのは長男であり、長男の結婚により、愛する人がいなくなつた悲嘆を表出するようになった

疼痛治療薬

非ステロイド性消炎鎮痛薬(NSAIDs)

アセトアミノフェン

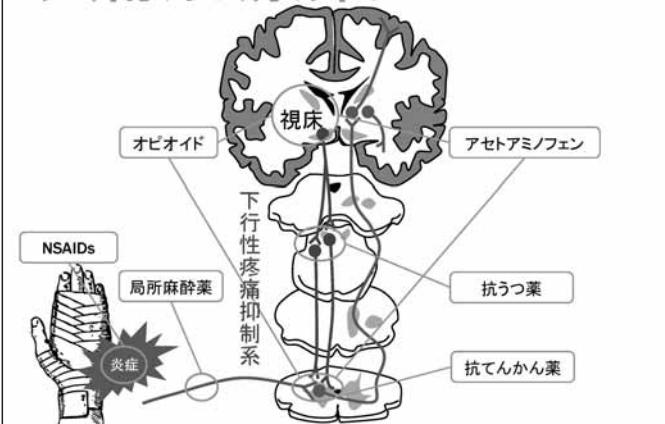
オピオイド

抗うつ薬

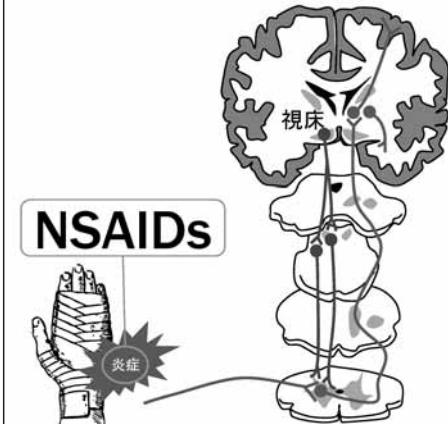
抗てんかん薬

局所麻酔薬

疼痛治療薬の作用機序



NSAIDsとは？



NSAIDsとは？

Non-Steroidal Anti-Inflammatory Drugs

非ステロイド性消炎鎮痛薬

- ステロイドではない抗炎症薬全てを含む

抗炎症作用、鎮痛作用、解熱作用を有する薬剤の総称

作用機序はプロスタグランジン生合成阻害による

アスピリン、インドメタシン、ジクロフェナク、ロキソプロフェンなど

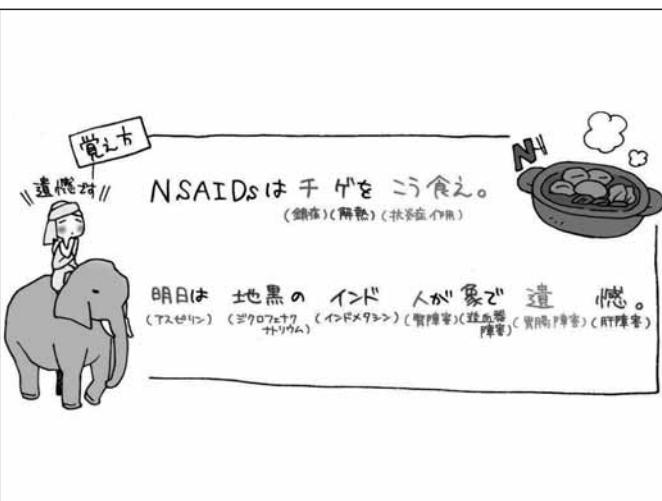
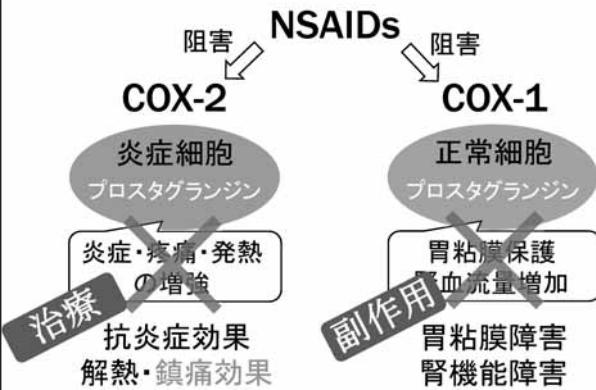
副作用

- 消化管障害

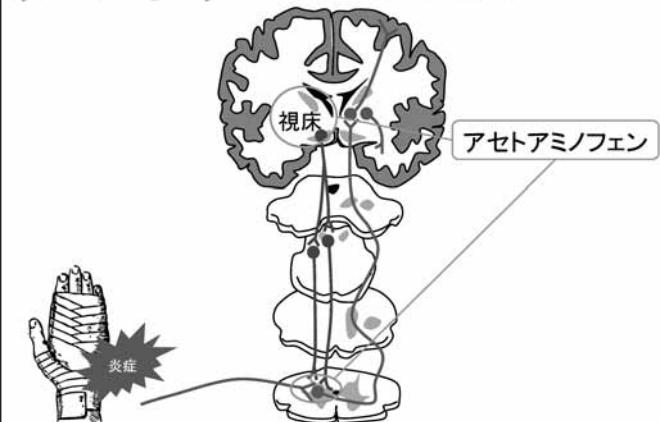
- 腎障害

- 妊婦への投与は禁忌：胎児の動脈管を閉鎖させる危険性がある

NSAIDsの作用機序



アセトアミノフェンとは？



アセトアミノフェンとは？

1980年代に小児に対する解熱鎮痛薬として普及

しばしば、NSAIDsと混同されがちである

- アセトアミノフェンに抗炎症作用はなくNSAIDsとは全く別の薬
詳細な作用機序は確定していない

- 視床と大脳皮質のTRPV1受容体・CB1受容体に作用して
痛覚閾値を上昇させる

- 脊髄後角のC線維終末のTRPV1受容体に作用して興奮性伝達を
抑制する

NSAIDsと異なり、COX阻害作用がないため、消化管障害、腎障害
をきたさない
妊娠にも安全に使用可能

副作用 肝障害

オピオイドとは？



4 ペインクリニック、神経ブロック

オピオイドとは？

麻薬性鎮痛薬

麻薬性鎮痛薬のうち、オピオイド受容体に作用するものを『オピオイド』と呼ぶ
- コカイン、大麻(カンナビノイド受容体に作用)は麻薬ではあるが、オピオイドではない

脊髄から上位中枢への痛覚伝達を抑制
脊髄の下行性疼痛抑制系を賦活

全身麻酔の鎮痛に用いられる
フェンタニル、レミフェンタニル（静脈投与）

副作用 呼吸抑制、嘔気・嘔吐、便秘、尿閉

オピオイドとは？

ペインクリニック・緩和医療で使用するオピオイド

基本的に経口投与（簡便であり侵襲がなく、経済的であるため）
速放性製剤と徐放性製剤がある

速放性製剤

利点 血中濃度の上昇が速やかで、すぐに鎮痛効果が得られる
欠点 短時間作用性なので投与回数が多くなる

徐放性製剤：成分がゆっくりと放出されるように加工された製剤

利点 血中濃度の上昇がゆるやかで副作用が少ない
長時間作用性なので投与回数が少ない

欠点 迅速な鎮痛効果を得ることが難しい

オピオイドとは？

ペインクリニック・緩和医療で使用するオピオイド

一般名	商品名	投与経路	放出機構	投与間隔
モルヒネ硫酸塩	MSContin	経口	徐放性	12時間
モルヒネ塩酸塩	オプソ	経口	速放性	4時間
オキシコドン	オキシコンチン	経口	徐放性	12時間
オキシコドン	オキノーム	経口	速放性	6時間

経皮投与で使用するオピオイド

長時間(24～72時間)の作用が得られる
迅速な投与量の調整は困難

一般名	商品名	投与経路	放出機構	投与間隔
フェンタニル	フェントス	経皮	徐放性	24時間
フェンタニル	デュロテップ	経皮	速放性	72時間

抗うつ薬とは？



うつ病とは？

うつ病は脳内の神経伝達物質のバランスが崩れて起こる

- ノルアドレナリン：意欲に関係する

- セロトニン：安らぎに関係する

うつ病はこの二つの物質の分泌量が少なくなって起こる



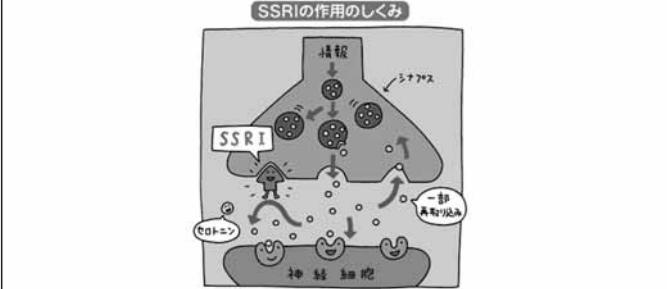
抗うつ薬とは？

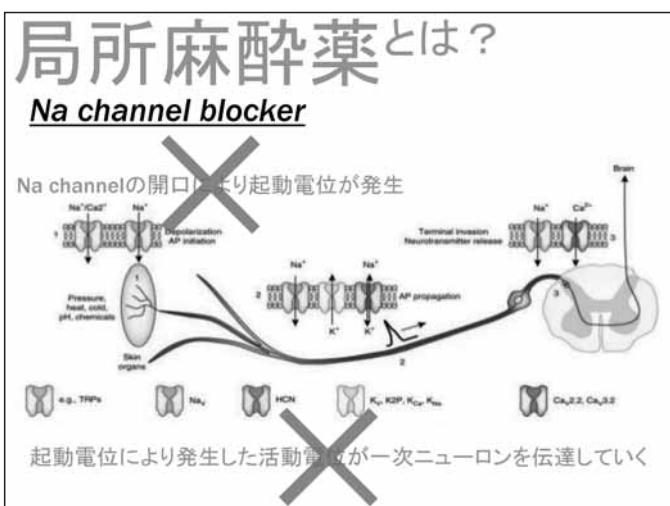
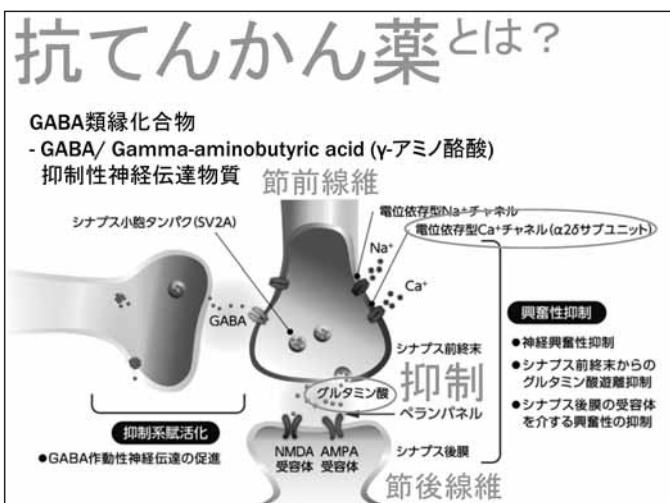
- 選択性セロトニン再取り込み阻害薬

SSRI / Selective Serotonin Reuptake Inhibitor

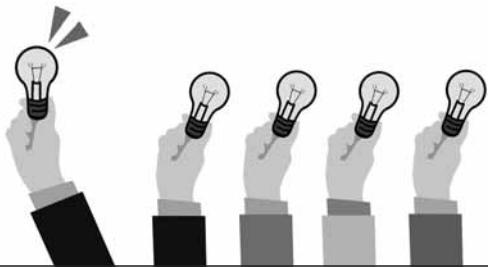
- セロトニン・ノルアドレナリン再取り込み阻害薬

SNRI / Serotonin Noradrenaline Reuptake Inhibitor





神経ブロックについて理解する



神経ブロック とは？

脊髄や末梢神経に局所麻酔薬を作用させることで、脳への痛みの伝達を遮断して痛みを軽減する治療。



脊髄に作用する神経ブロック

脊髄くも膜下麻酔 Spinal anesthesia

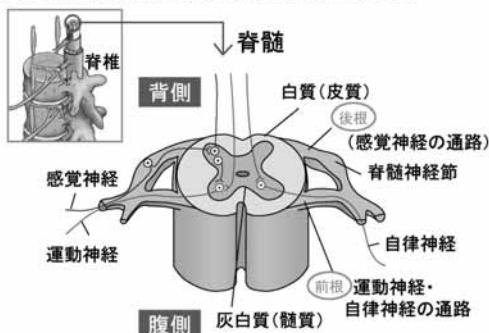
硬膜外麻酔 Epidural anesthesia

脊髄に作用する神経ブロック

脊髄くも膜下麻酔 Spinal anesthesia

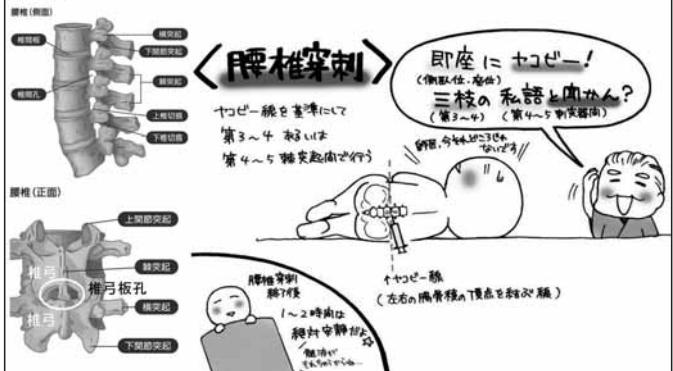
脊髄くも膜下麻酔とは？

腰椎レベルで硬膜を穿刺して脊髄くも膜下腔に局所麻酔薬を注入して、脊髄の前根・後根に麻酔薬を作用させる方法



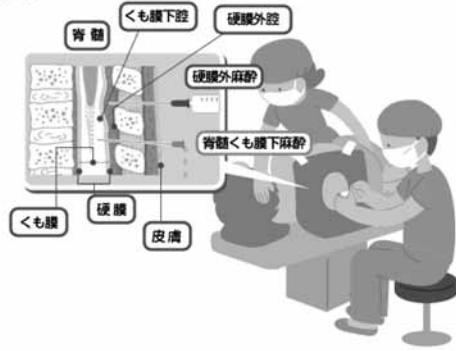
脊髄くも膜下麻酔の手技

第3/第4腰椎椎弓板孔より穿刺。硬膜を破ってくも膜下腔に到達



脊髓くも膜下麻酔の手技

脊髄液の逆流により、針先端がくも膜下腔に到達したことを確認
局所麻酔薬を注入する



脊髓くも膜下麻酔の手技

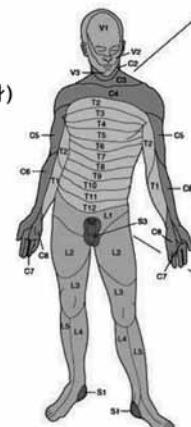
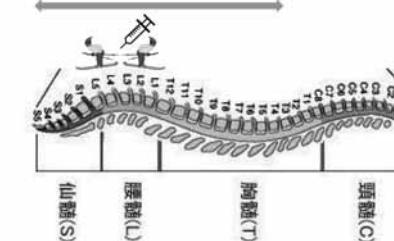
脊椎の生理的彎曲に沿って重力に従い、
局所麻酔薬がくも膜下腔に広がる

- 麻醉域は第4胸髄～仙骨領域(いわゆる下半身)

作用時間は2-3時間

(局所麻酔の効果持続時間に依存する)

麻醉領域

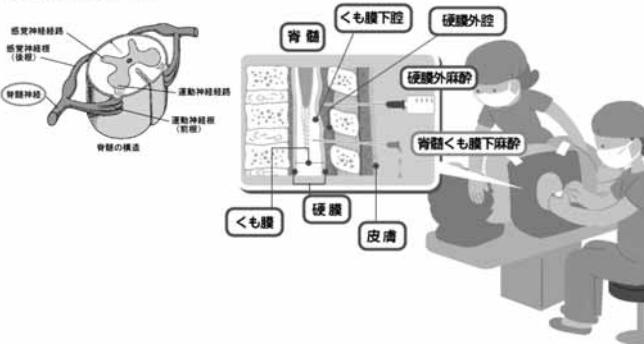


脊髓に作用する神経ブロック

硬膜外麻酔 Epidural anesthesia

硬膜外麻酔とは？

硬膜外腔に局所麻酔薬を注入して、脊髄の神経根に麻酔薬を作用させる方法



硬膜外麻酔とは？

局所麻酔薬が硬膜外腔に沿って広がり、穿刺位置より頭・尾側に
6-8分節程度の麻酔域を得ることが可能



硬膜外麻酔とは？

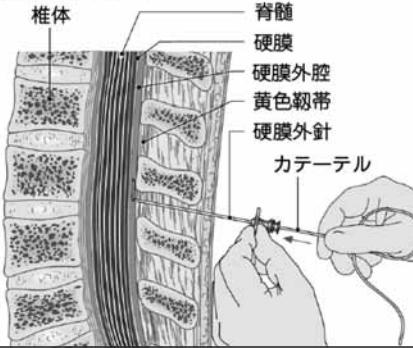
鎮痛を得たい分節に対して適切な穿刺部位で行う

＊場所の決め方。

	麻酔が必要な領域	刺す場所	注記
頭	Th 1~10	Th 5~6	主に中頭部に 入れる考え方
上腹部（胃とか肝臓とか）	Th 4~12	Th 7~9	Th: 胸椎 L: 腰椎 S: 仙骨
下腹部（太腸とか婦人科系）	Th 6~L3	Th 12~L1	
会陰（会陰=睾丸とか）	Th 10~S3	L 1~2	① 目標を たてます。
下肢（整形外科とか）	L 1~S5	L 1~3	どのどの おやじと カレドとか 脚筋解説 脛骨内側 からS5 あたりを 狙うよ

硬膜外麻酔とは？

硬膜外腔にカテーテルを挿入することで局所麻酔の追加投与が可能。長時間の鎮痛を得ることができる



硬膜外麻酔の手技

硬膜外麻酔は硬膜の一歩手前で針を止める、「寸止め」麻酔どうやって、針先端が硬膜外腔に到達したことを確認するのか？



硬膜外麻酔の手技

硬膜外麻酔は硬膜の一歩手前で針を止める、「寸止め」麻酔どうやって、針先端が硬膜外腔に到達したことを確認するのか？

(1) ⑯ ユコエドリヒシリンジを押してみる



硬膜外麻酔の手技

硬膜外麻酔は硬膜の一歩手前で針を止める、「寸止め」麻酔どうやって、針先端が硬膜外腔に到達したことを確認するのか？

⑰ ⑯ 2~3mmまで進める



硬膜外麻酔の手技

硬膜外麻酔は硬膜の一歩手前で針を止める、「寸止め」麻酔どうやって、針先端が硬膜外腔に到達したことを確認するのか？

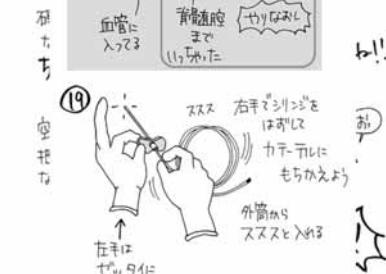
⑰ ⑯ 黄靭帯を越えて硬膜外腔に入ると



硬膜外麻酔の手技

硬膜外麻酔は硬膜の一歩手前で針を止める、「寸止め」麻酔どうやって、針先端が硬膜外腔に到達したことを確認するのか？

⑰ ⑯ 血液や脛液が出てきたら



硬膜外麻酔の合併症

硬膜穿刺後頭痛(PDPH/Post-Dural Puncture Headache)
硬膜外麻酔に使用するTuohy針(18G)はカテーテルを挿入できる
ように内径が太い。(脊麻用の針は25G)
Tuphy針で硬膜を破ってしまうと、硬膜に開いた孔から脊髄液が
硬膜外腔に漏出してしまい、低髄液圧性頭痛の原因となる



末梢神経に作用する神経ブロック

末梢神経ブロックは従来は、ランドマーク法(解剖学的知識を頼りに盲目的に穿刺する方法)で行われてきた

近年の超音波装置の質の向上に伴い、末梢神経ブロックは、
超音波ガイド下末梢神経ブロック
が主流となっている

上肢・下肢のみならず、体幹を含めて様々な超音波ガイド下末梢神経ブロックが報告されている

硬膜穿刺後頭痛の治療

軽症～中等症
通常の鎮痛薬 (NSAIDs, アセトアミノフェン)

中等症～重症
硬膜外自己血パッチ (プラッドパッチ)

硬膜外麻酔と同様に硬膜外穿刺を行い、
患者の自己血(15mL程度)を硬膜外腔に注入
“かさぶた”により硬膜にできた穴をふさぐ

その他の治療
カフェインの内服 (血管収縮効果あり)
漢方薬(五苓散)



超音波ガイド下神経ブロック

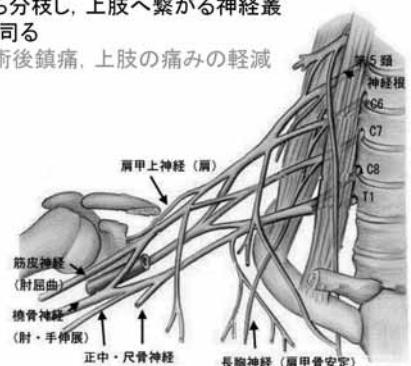
UNIVERSITY HOSPITAL FRANKFURT
GOETHE UNIVERSITY



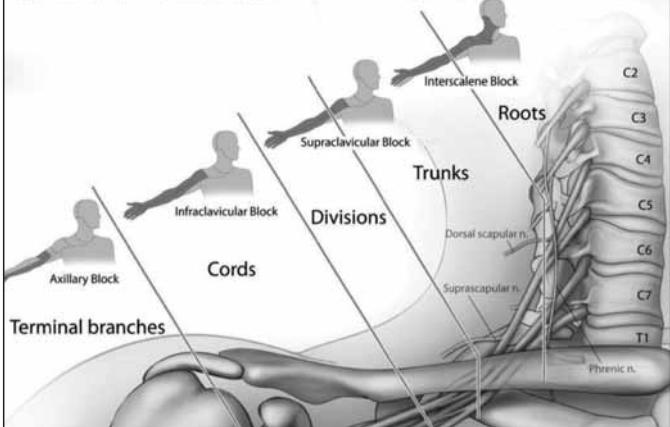
腕神経叢ブロックとは？

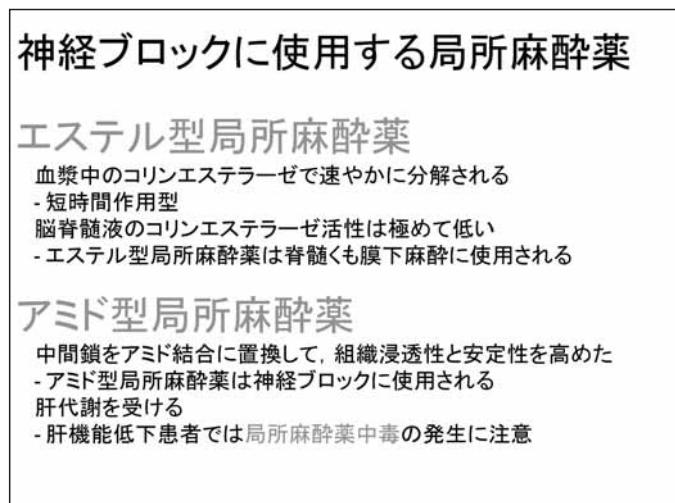
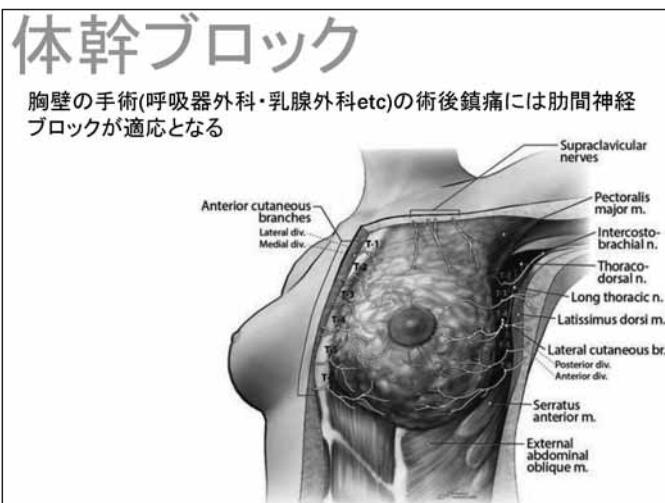
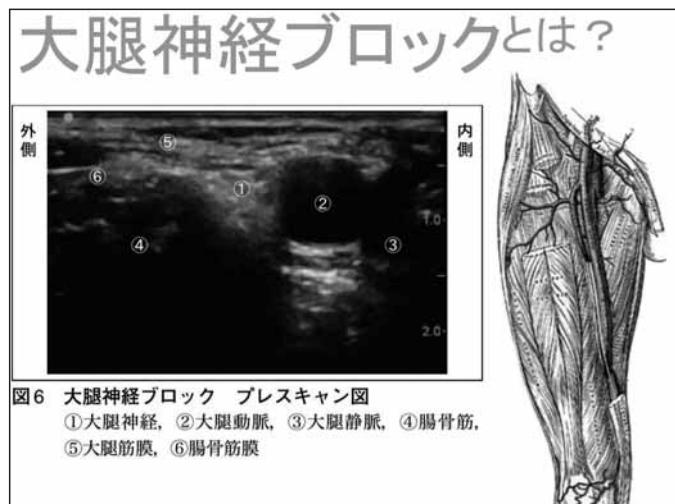
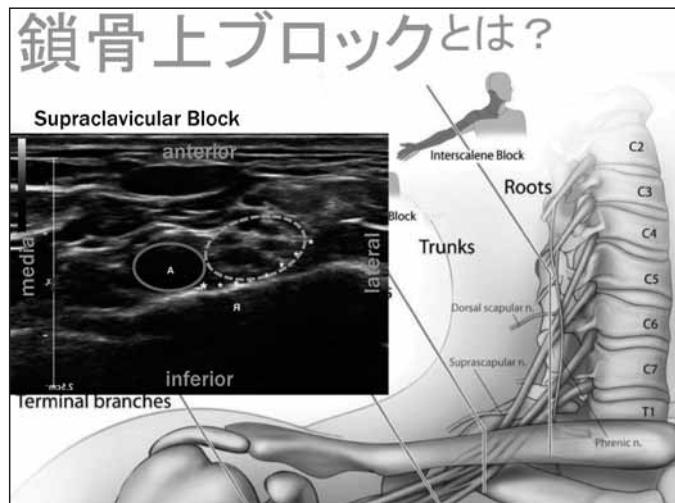
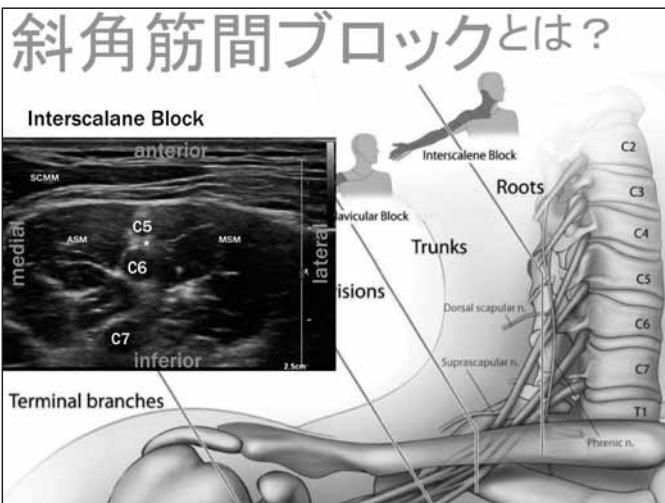
腕神経叢

- 脊髄神経(C5-T1)から分枝し、上肢へ繋がる神経叢
- 上肢の運動・感覚を司る
- 適応：上肢の手術の術後鎮痛、上肢の痛みの軽減



腕神経叢ブロックとは？





局所麻酔薬の種類

分類	一般名	商品名	用途	持続時間
エステル型	テトラカイン	テトカイン®	脊髄も膜下麻酔	1.5-2 時間
アミド型	リドカイン	キシロカイン®	浸潤麻酔 神経ブロック	1-1.5 時間
	ロビバカイン	アナペイン®	硬膜外麻酔 神経ブロック	3-5 時間
	ブビバカイン	マーカイン®	脊髄も膜下麻酔	3-5 時間
	レボブビバカイン	ポブスカイン®	硬膜外麻酔 神経ブロック	3-5 時間

局所麻酔薬中毒

Naチャネルブロッカーである局所麻酔薬は末梢神経のNaチャネルをブロックして神経の電気的伝達を遮断し麻酔作用を発揮する

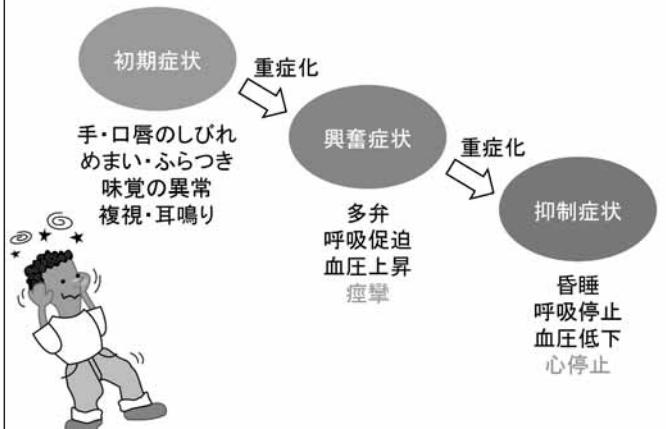
局所麻酔薬の血中濃度が上昇すると、脳のNaチャネルもブロックする危険性がある

脳のNaチャネルがブロックされることにより引き起こされる病態が局所麻酔薬中毒である

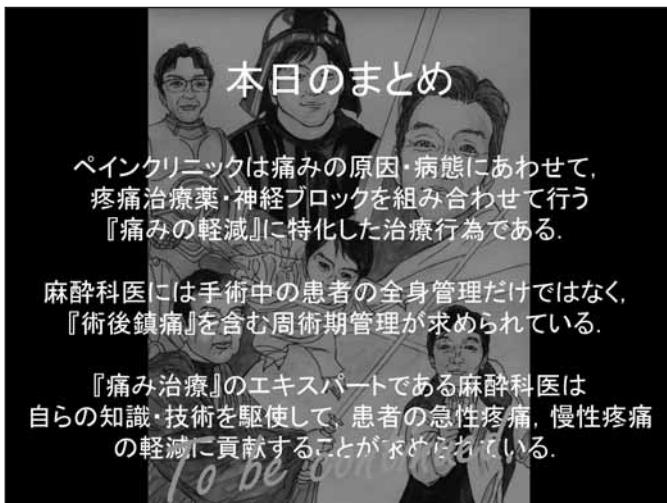
局所麻酔薬中毒

Local Anesthetic Systemic Toxicity/ LAST

局所麻酔薬中毒の症状



局所麻酔薬中毒の治療



周術期循環管理

札幌医科大学麻酔科学講座
平田直之

本日の本題

- 麻酔ではなぜ「循環管理」が必要か? - **Why?**
- どのように「循環管理」を行うのか? - **How?**
- 「循環管理」で何を目指すのか? - **What?**

「循環管理」はなぜ必要か? - **Why?**



麻酔によって「循環抑制」が生じるから

「循環管理」はなぜ必要か? - **Why?**

鎮痛

鎮静

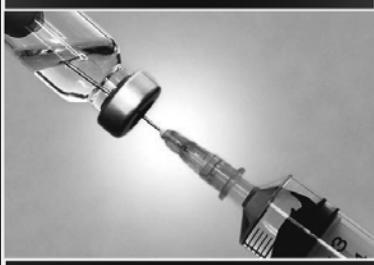
循環も「徐行」する

循環も「入眠」する

血圧脈拍が下がる

麻薬性鎮痛薬の問題点

麻薬性鎮痛薬



循環も「徐行」する

麻薬性鎮痛薬投与により脈拍数が
80回/分から50回/分へ低下する



吸入・静脈麻酔薬の問題点

吸入麻酔・静脈麻酔薬
投与後入眠



循環も「入眠」する

【入眠前】 血圧 120/70 mmHg
脈拍 80 回/分

【入眠後】 血圧 80/40 mmHg
脈拍 60 回/分



手術による「循環抑制」とは？



循環血液量減少

不感蒸泄・出血

不感蒸泄：黙っていても乾く

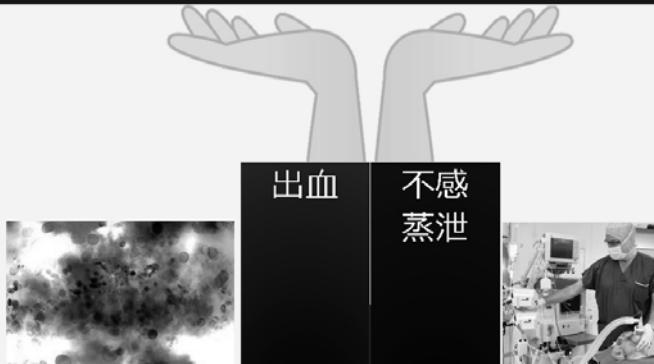


皮膚・呼気からの水分喪失 (900mL/日)

手術野からの水分喪失。

循環血液量減少でなぜ血圧が下がるのか？

血圧 = 心拍出量 × 末梢血管抵抗



どのように「循環管理」を行うのか？ – How?

➤ 麻酔により血圧脈拍が下がるから

循環作動薬

➤ 循環血液量減少により血圧が下がるから

輸液

輸血

昇圧薬：血圧を上げる循環作動薬

α作動薬

β作動薬

α作動薬：末梢血管収縮作用

β作動薬：心陽性変力作用

麻酔中よく使用する昇圧薬

血圧 = 心拍出量 × 末梢血管抵抗



フェニレフリン



血圧 = 心拍出量 × 末梢血管抵抗

β作動薬

エフェドリン



5 循環作動薬、循環管理

麻酔で入眠後、以下のバイタルサインになった。
どちらを使用すべきか？

- ▶ 血圧 80/40 mmHg・心拍数 90 回/分

α作動薬：フェニレフリン 0.1mg
β作動薬：エフェドリン 5mg

麻酔で入眠後、以下のバイタルサインになった。
どちらを使用すべきか？

- ▶ 血圧 90/50 mmHg・心拍数 40 回/分

α作動薬：フェニレフリン 0.1mg
β作動薬：エフェドリン 5mg

麻酔中、血圧がなかなか上がらない!!

カテコールアミン α作用もβ作用もある

ノルアドレナリン



アドレナリン



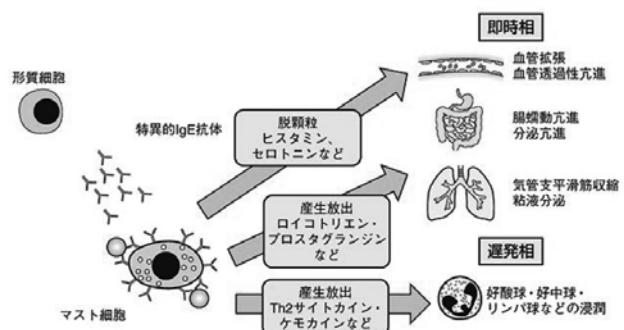
麻酔で入眠後、以下のバイタルサインを示した。
可能性のある病態は？

- ▶ 血圧 60/30 mmHg・心拍数 120 回/分
- ▶ 顔面紅潮
- ▶ 喘鳴

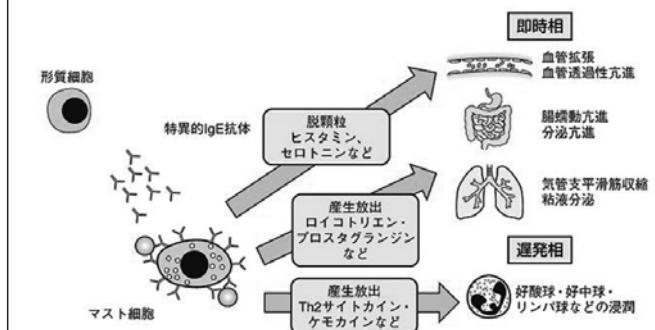
アナフィラキシーショック



麻酔薬もアナフィラキシーの原因薬剤となる



アナフィラキシーショックの治療: アドレナリン0.3mg



アナフィラキシーショックの治療: アドレナリン0.3mg

▲ 製品(エピペン®注射液)0.3mg

日本人の功績

エフェドリンを抽出	アドレナリンを結晶化	
長井長義先生	高峰謙吉先生	上中啓三先生

麻酔中によく用いる循環作動薬: その他

麻薬性鎮痛薬

循環も「徐行」する

麻薬性鎮痛薬投与により脈拍数が
80回/分から50回/分へ低下する

麻酔で入眠後, 以下のバイタルサインになった。
何を使用すべきか?

▶ 血圧 110/60 mmHg・心拍数 36 回/分

心拍数だけ上昇させたい

心拍数を上昇させたい ➡ アトロピン

▶ 血圧 110/60 mmHg・心拍数 30 回/分

副交感神経遮断薬

「徐脈にはアトロピン 0.5mg!」

どのように「循環管理」を行うのか? - How?

▶ 麻酔により血圧脈拍が下がるから

循環作動薬

昇圧薬 ($\alpha\beta$ 作動薬)・アトロピン

▶ 循環血液量減少により血圧が下がるから

輸液	輸血
----	----

5 循環作動薬、循環管理

どのように「輸液・輸血」を行うのか? - How?

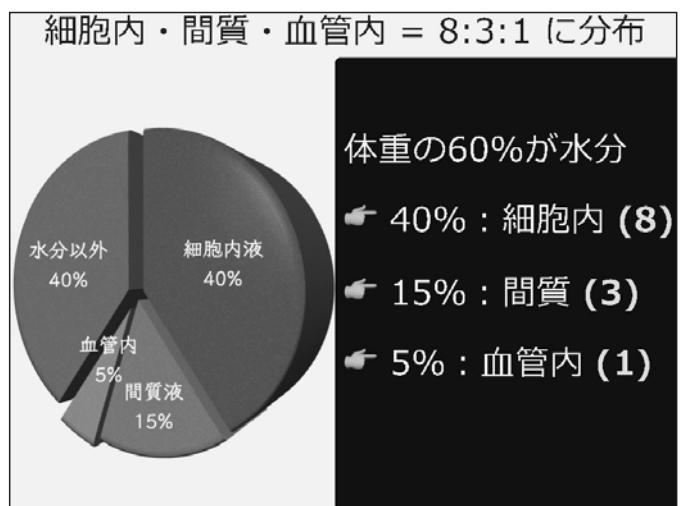
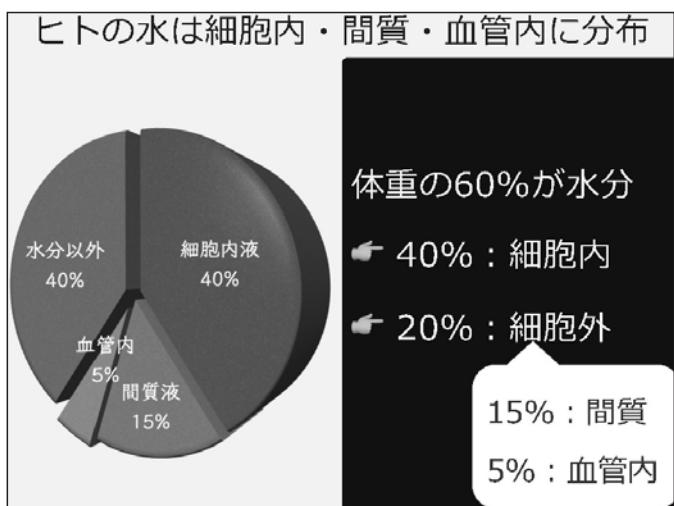
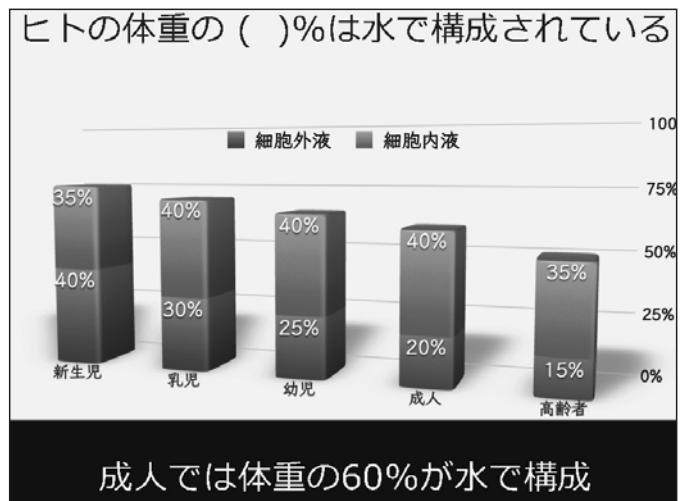
輸液 輸血

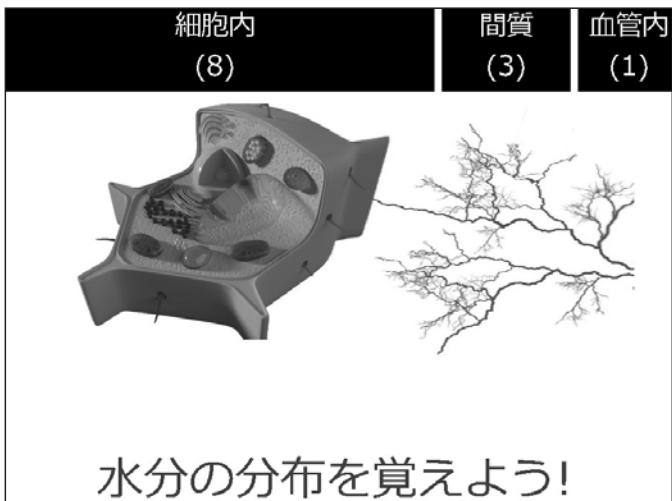
麻酔・手術時には
“必ず”静脈確保し輸液を行う



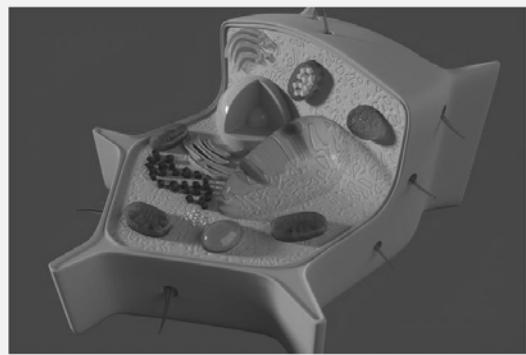
輸液・輸血管理に必要な知識

1. 体液分布
2. 電解質
3. 浸透圧
4. 輸液製剤の違い



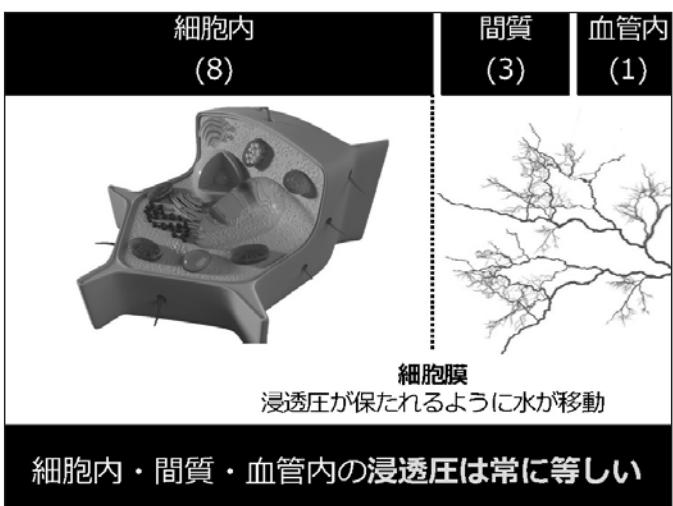
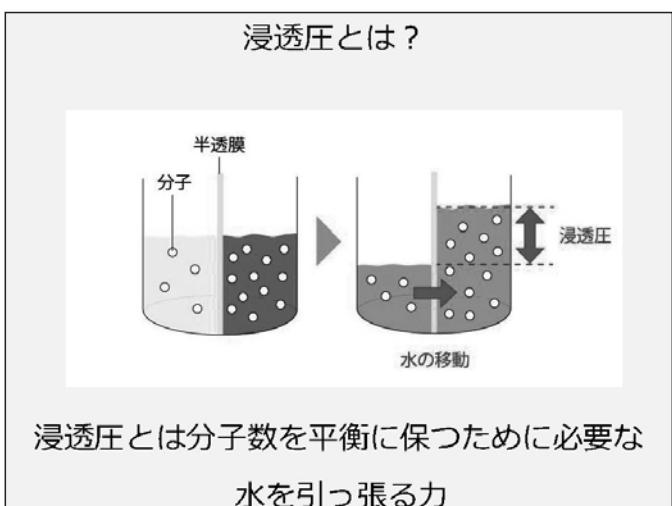
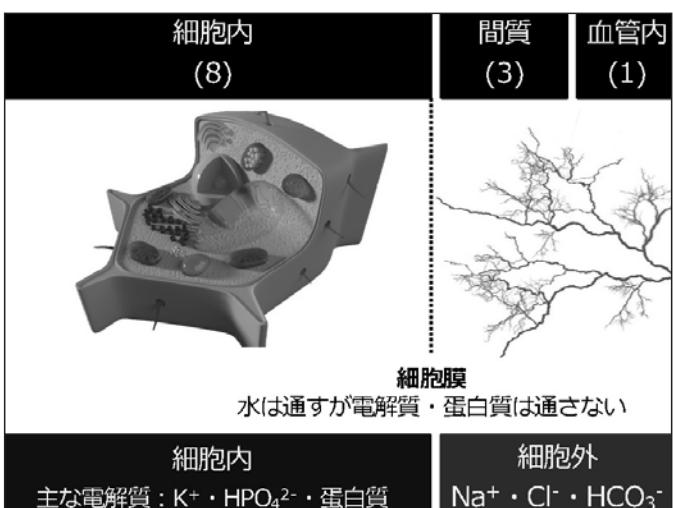


細胞内液と細胞外液（間質・血管内）の電解質組成の理解は輸液療法には必須



mEq/L	細胞外液		細胞内液
	血管内	間質	
陽イオン	Na ⁺	142	144
	K ⁺	4	4
	Ca ²⁺	5	2.5
	Mg ²⁺	3	1.5
	合計	154	152
陰イオン	Cl ⁻	103	114
	HCO ₃ ⁻	27	30
	HPO ₄ ²⁻	2	2
	SO ₄ ²⁻	1	1
	有機酸	5	5
	タンパク質	16	0
	合計	154	152
			194

陽イオンと陰イオンの合計は等しい



よく用いられる輸液製剤4つ

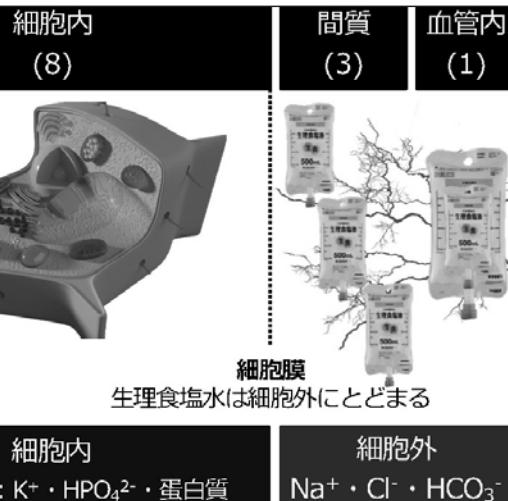
1. 生理食塩水
2. リンゲル液
3. 5%ブドウ糖溶液
4. 膠質輸液

生理食塩水を投与した場合の分布



生理食塩水
 $\text{Na}^+ 154\text{mEq} \cdot \text{Cl}^- 154\text{mEq}$

細胞外と電解質組成が同等
細胞外と浸透圧も同等



生理食塩水を1000mL投与した場合



生理食塩水
= 細胞外と等張

細胞外のみに分布
間質：750mL
血管内：250mL

1,000mL出血した場合、血管内容量を維持するには
理論的には4,000mLの生理食塩水が必要

リンゲル液を投与した場合の分布



リンゲル液

$\text{Na}^+ 147\text{mEq} \cdot \text{K}^+ 4\text{mEq}$
 $\text{Ca}^{2+} 4.5\text{mEq} \cdot \text{Cl}^- 110\text{mEq}$
緩衝材（乳酸・酢酸・重炭酸）

細胞外液と電解質組成・浸透圧は同等
生理食塩水より生理的(pH7.4に近い)



細胞内 (8) 間質 (3) 血管内 (1)



細胞膜
リンゲル液も細胞外にとどまる

細胞内
主な電解質： $\text{K}^+ \cdot \text{HPO}_4^{2-} \cdot \text{蛋白質}$

細胞外
 $\text{Na}^+ \cdot \text{Cl}^- \cdot \text{HCO}_3^-$

リングル液を1000mL投与した場合

リングル液
= 生理的な細胞外液

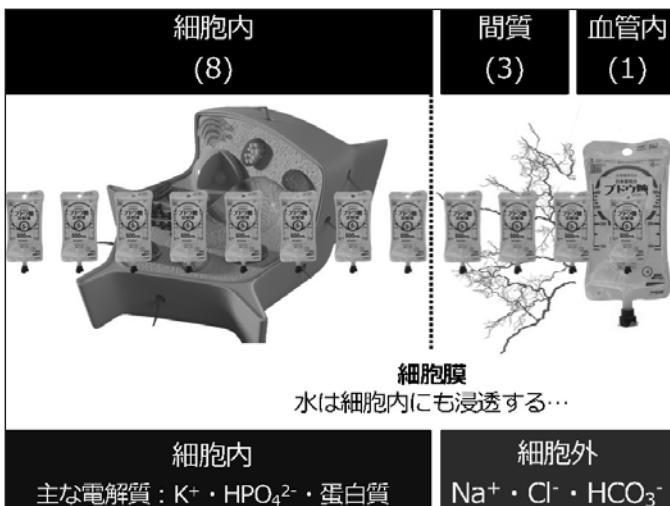
細胞外のみに分布
間質 : 750mL
血管内 : 250mL

1,000mL出血した場合、血管内容量を維持するには
理論的には4,000mLのリングル液が必要

5%ブドウ糖液を投与した場合の分布

5%ブドウ糖 500mL
蒸留水 500mL
ブドウ糖 25g

電解質は入っていない。
ブドウ糖は体内で速やかに代謝され、
水だけになる…



5%ブドウ糖溶液を1000mL投与した場合

5%ブドウ糖溶液
👉 血管内補充液として不適切

細胞内・細胞外に分布
細胞内 : ?? mL
間質 : ??mL
血管内 : ??mL

膠質輸液（コロイド輸液）とは何か？

ヒドロキシエチルstärke
5%アルブミン

膠質は分子量が大きく血管内から
間質（当然、細胞内へも）へ漏れない
👉 デンプン
👉 アルブミン

細胞内 (8)
間質 (3)
血管内 (1)

膠質輸液 血管内に長時間留まる…

1,000mL出血した場合、血管内容量を維持するには
理論的には1,000mLの膠質輸液が必要

5 循環作動薬、循環管理

膠質輸液（コロイド輸液）の利点と欠点

ヒドロキシエチルスター



5%アルブミン

出血時など
血管内用量の維持に効果的

膠質とともに水分も貯留。
血液が希釈される

手術中に予期しない出血が生じ、血圧が下がった!!
すぐに投与すべき輸液として不適切なのはどれか?

1. 生理食塩水



2. リンゲル液

3. 5%ブドウ糖溶液

4. 膠質輸液

手術に用いられる輸血製剤

1. 赤血球輸血 (Red blood cell=RBC)
2. 新鮮凍結血漿 (Fresh Frozen Plasma=FFP)
3. 濃厚血小板 (Platelet concentrate=PC)



RBC

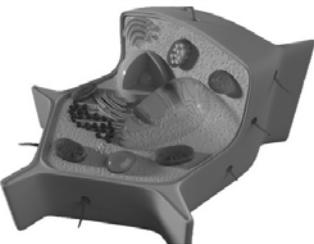


FFP

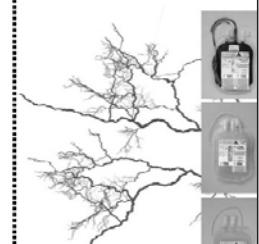


PC

細胞内
(8)



間質
(3)



輸血製剤
血管内に長時間留まる…

輸血製剤は全て血管内に留まる

出血したらどんどん輸血していい?



不必要な輸血は避ける!!

- 輸血関連合併症：血栓症, 感染, GVHDなど
- 輸血製剤には限りがある

制限輸血（赤血球輸血の場合）

JAMA | Special Communication
Clinical Practice Guidelines From the AABB
Red Blood Cell Transfusion Thresholds and Storage

Jeffrey L. Carson, MD; Gordon Guyatt, MD; Nancy M. Heddle, MSC; Brenda J. Grossman, MD, MPH; Claudia S. Cohn, MD, PhD; Mark K. Fung, MD, PhD; Terry Gernsheimer, MD; John B. Holcomb, MD; Lewis J. Kaplan, MD; Louis M. Katz, MD; Nikki Peterson, BA; Glenn Ramsey, MD; Sunil V. Rao, MD; John D. Roback, MD, PhD; Aryeh Shander, MD; Aaron A. R. Tobian, MD, PhD

● 血行動態が安定している患者 **Hb < 7g/dL**
 ● 整形外科手術、心臓血管外科手術、心血管合併症患者 **Hb < 8g/dL**
 ● 急性冠症候群、重症血小板減少症、慢性的非輸血患者 **状況に応じて**

Carson JL, et al. JAMA 2016; 316: 2025-2035

どのように「輸液・輸血」を行うのか? – **How?**

 **輸液**  **輸血** 

循環血液減少に対する戦略

1. 生理食塩水・リングル液
2. 膠質輸液
3. 輸血製剤



本日の本題

- ▶ 麻酔ではなぜ「循環管理」が必要か? – **Why?**
- ▶ どのように「循環管理」を行うのか? - **How?**
- ▶ 「循環管理」で何を目指すのか? - **What?**

「循環管理」で何を目指すのか? – **What?**

- ▶ 麻酔により血圧脈拍が下がるから **循環作動薬**
- ▶ 循環血液量減少により血圧が下がるから **輸液** **輸血**

循環管理 ≈ 赤い血液を細胞に届ける

血圧維持

心拍出量維持 **酸素化維持**
ヘモグロビン維持

周術期の患者さんの命を守ります



周術期の患者さんの命を守ります

周術期のモニタリング

枝長 充隆
札幌医科大学医学部麻酔科学講座

モニタリングの重要性

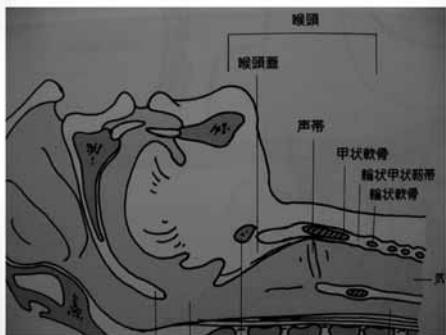
- 生体活動を予測する上でモニタリングは非常に重要である。
- 麻酔領域においては、とくに呼吸および循環の指標が必要不可欠となります。

モニタリングの盲点

- モニターを過信すると、事故につながる可能性があるため注意が必要である。
- 視診、聴診、触診が大切であることは言うまでも有りません。この上にモニタリングを利用することが、患者さんを安全に寄与します。

呼吸 モニタリング

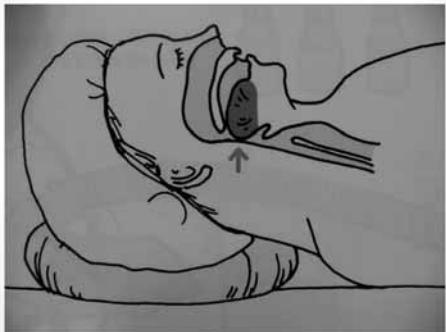
上気道の解剖



麻酔薬の影響

- 麻酔薬の利点：鎮痛・鎮静
- 麻酔薬の欠点：呼吸抑制
- 呼吸抑制：呼吸数低下、呼吸停止、低酸素血症
 - 一つの原因として、舌根沈下による気道閉塞が関与

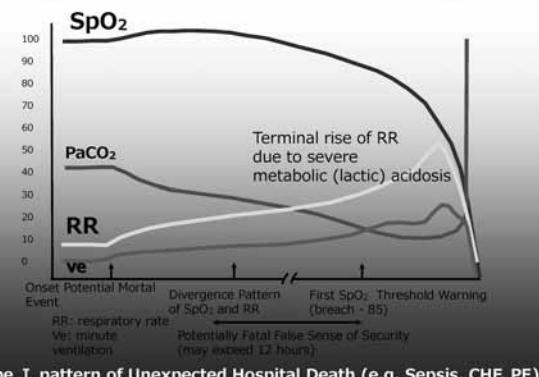
舌根沈下



呼吸抑制のモニタリング

- 動脈血酸素飽和度 = パルスオキシメータ
 - 酸素化
- 呼気CO₂分圧 = カプノメータ
 - 換気と呼吸回数
- RRa = (acoustic respiration rate)
 - 呼吸回数

Time Respiration rate < Time Desaturation



SpO₂

Saturation of pulseoximeter oxygen

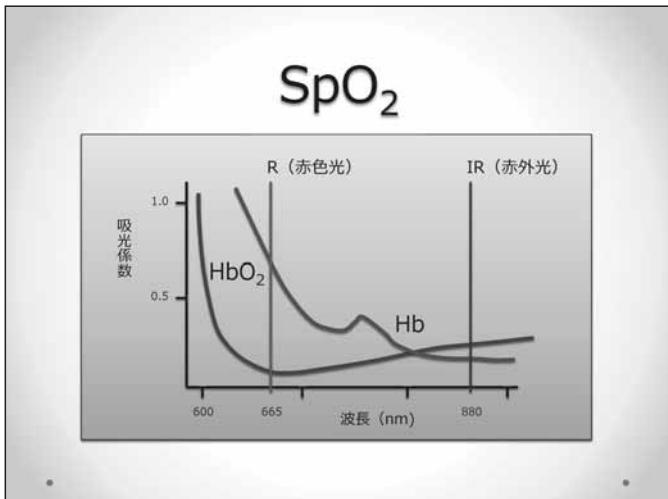
SpO₂ (動脈血酸素飽和度)



SpO₂

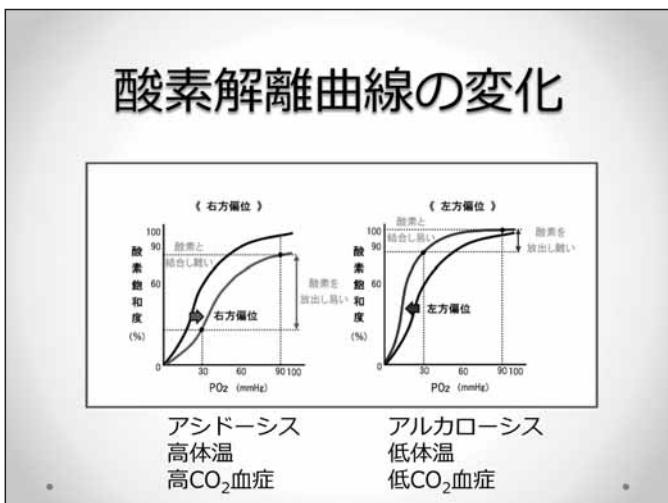
- 酸素はヘモグロビン (Hb) と結合して酸化ヘモグロビン (HbO_2) として全身に運ばれる。組織でヘモグロビンから酸素が離れて還元ヘモグロビン (Hb) となる。
- SpO₂はHbO₂とHbから測定される
 - センサーから放出される光を反対側の受光部で光を検知
 - HbO₂とHbはそれぞれ光の波長が違う成分を吸収
 - 吸光率の比からSpO₂を測定しています。
 - $\text{SpO}_2 = \frac{\text{HbO}_2}{\text{HbO}_2 + \text{Hb}}$

6 モニタリング



SpO₂

利点	欠点
<ul style="list-style-type: none">非侵襲的かつ連続的に動脈血酸素飽和度が測定できる。	<ul style="list-style-type: none">低体温や循環不全では測定不能になり得る。マニキュアなどの色素によって値の信頼性が低くなる（低値）。



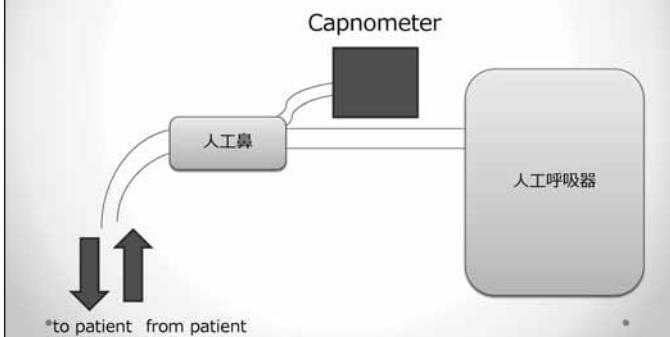
SpO₂と PaO₂の目安

SpO ₂ (%)	PaO ₂ (mmHg)
98~100	95~
95	80
90	57 ÷ 60
75	40

EtCO₂

Endtidal CO₂
呼気終末CO₂濃度

Capnometer



EtCO₂

- CO₂は4.3μmの波長の赤外線を吸収（吸収される光量がCO₂分圧と比例）する。吸入麻酔薬は8～9μmの赤外線を吸収する。この吸収率の変化から濃度を測定する。
- サンプリングチューブを用いて測定装置まで導く
- 人工鼻からのサンプリングは死腔にならない
- 非挿管患者でも測定できる



EtCO₂

- 目的
非侵襲的に呼気CO₂分圧をモニターする
呼吸回数を測定
- 正常値 35mmHg
(一般的にPaCO₂との差は5mmHg)

Capnometer



***EtCO₂*の利点と欠点**

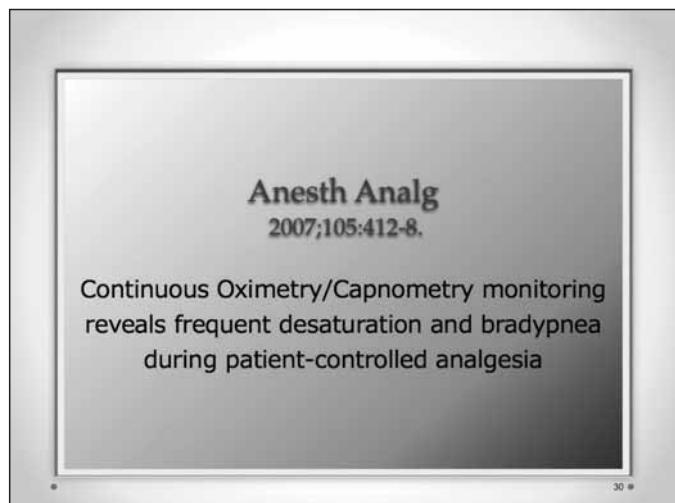
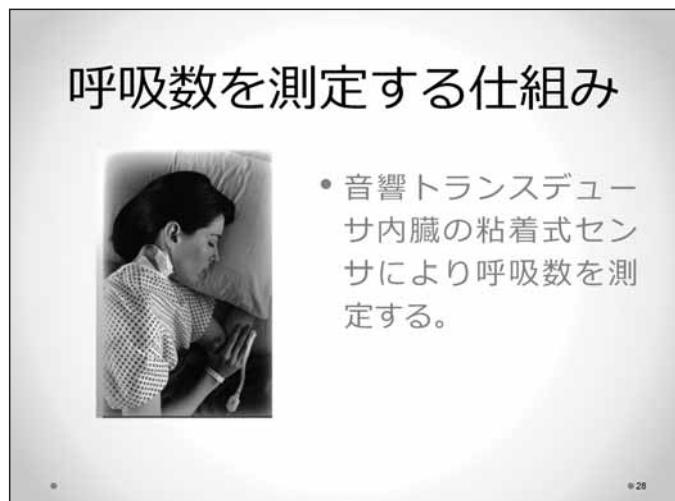
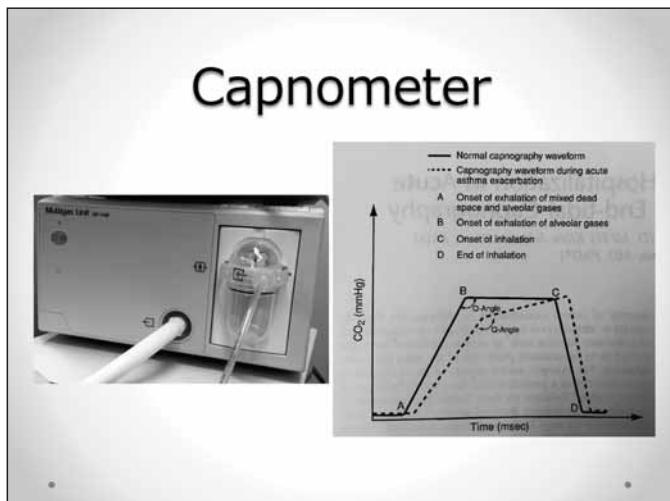
利点

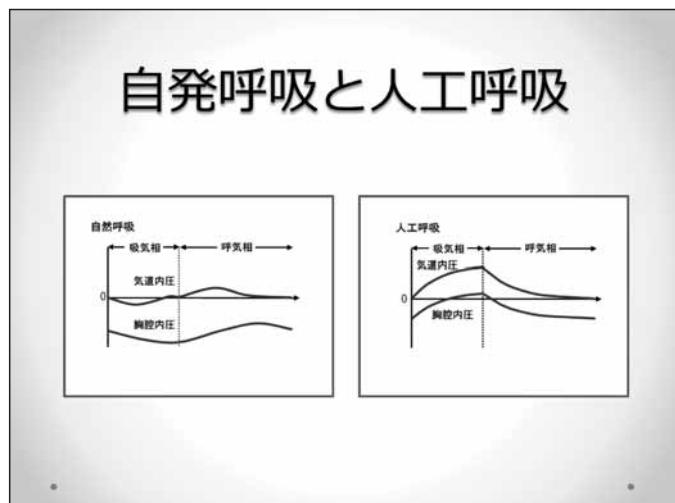
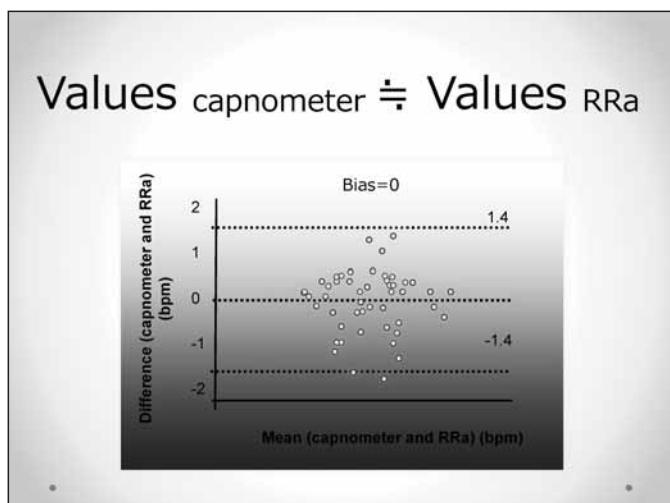
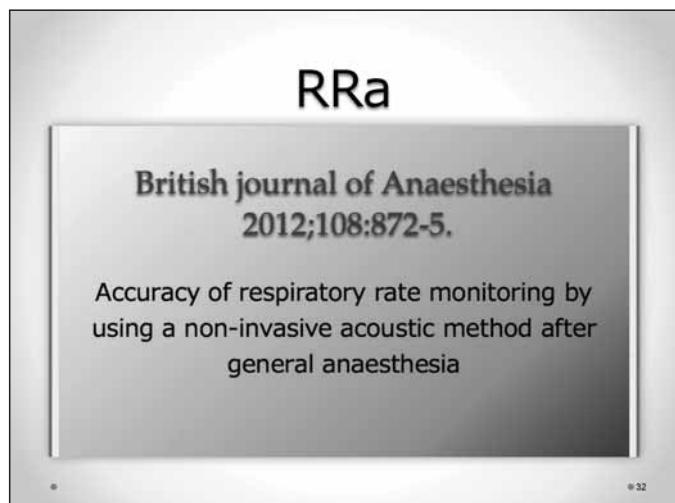
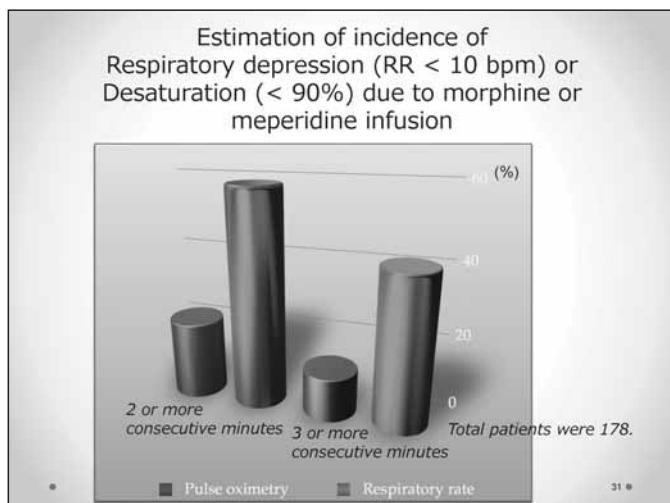
- 非侵襲的に測定可能
- 換気機能の指標
- PaCO₂を推定できる
- 食道内留置かどうか
- 肺梗塞の診断
- 気道狭窄の程度

欠点

- 病棟では、非装備

6 モニタリング

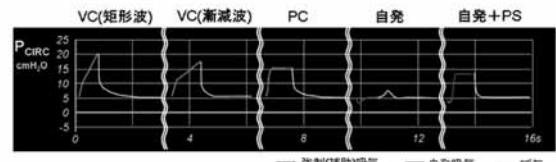




非生理的呼吸

- 気道内圧の上昇によって、気胸の発生する可能性がある
- 気道内圧のモニタリングは、人工呼吸では必須
-

人工呼吸



<http://www.covidien.co.jp/medical/academia/respiratory/basic3>

循環のモニタリング

- ECG
- Blood pressure
- CVP (central venous pressure)
- SVV (stroke volume variation)
- PCWP (pulmonary capillary wedge pressure)
-

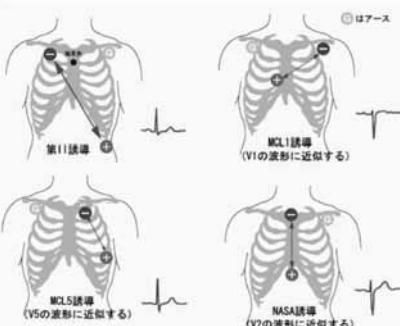
麻酔薬の影響

- 麻酔薬の利点：鎮痛・鎮静
- 麻酔薬の欠点：循環抑制
- 循環抑制：後負荷低下、心機能抑制、徐脈など

ECG

Electrocardiogram

心電図3極のつけ方



虚血検知力

Number of lead	Combination	Sensitivity (%)
1 lead	II V5	33 75
2 lead	II/V5	80
4 lead	II/V2～V5	100

心室性不整脈 (Lown分類)

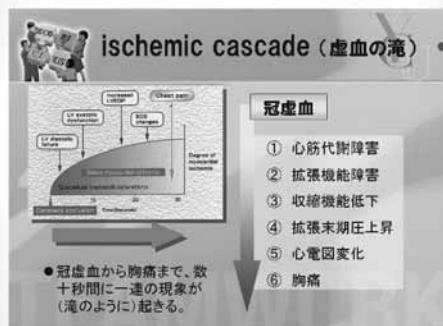
- Ⅰ度：単発性
- Ⅱ度：多発性
- Ⅲ度：多形性
- Ⅳa：2連発
- Ⅳb：3連発
- V: Ron T



心電図所見

- 入室時の波形を十分把握し、周術期の変化に注意する。
- ST-T変化や不整脈をすぐに察知することが、早急な治療へつながる。

虚血による変化



Blood pressure

血圧

- 血圧 = 心拍出量 × 血管抵抗
- 心拍出量 = 1回拍出量 × 心拍数
- 1回拍出量は前負荷、心収縮力に影響する
- 前負荷 = 静脈還流量であるため、中心静脈圧が一つの指標となる。

6 モニタリング

CVP

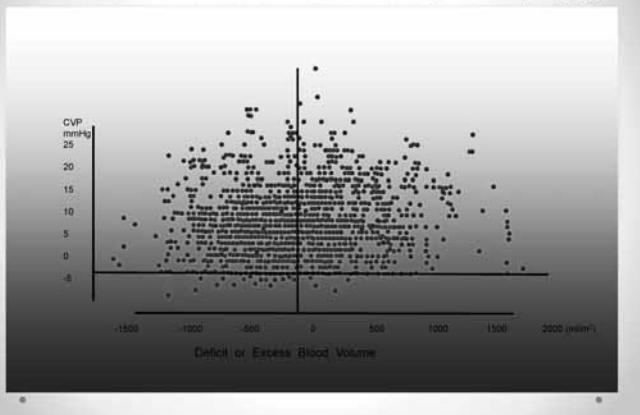
- 右房圧あるいは上大静脈圧
- 正常値0~5 mmHg
- 50年ほど前より輸液投与のgold standard
 - 輸液の反応性は低い
 - 数値が高いと予後が悪い
- .
- .

CHEST

2008;134:172-8.

Does Central Venous Pressure Predict
Fluid Responsiveness?

Blood volumeとCVP値の関係

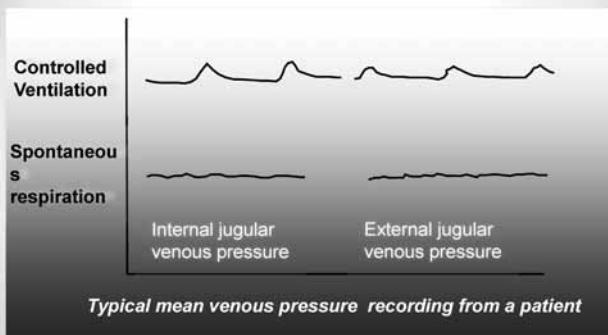


Anesthesiology

1973;38:291-4.

Evaluation of external jugular venous pressure as a reflection of right atrial pressure.

Venous pressureの呼吸変動



CVPの増減

増加

- 循環血流量の増加
- 心機能の低下
- 心タンポナーデ
- 人工呼吸
- 肺高血圧
- PEEP

低下

- 循環血流量の低下
- 血管抵抗の減少
- 尿の流出
- 頭部高位

S-G catheter

Swan-ganz catheter

S-G catheter

- 肺動脈留置で左室機能が測れる

測定項目

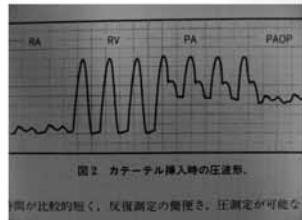
- CO : 心拍出量
 SvO_2 : 混合静脈血酸素飽和度
 PA : 肺動脈圧
 PCWP : 肺動脈楔入圧
 CVP : 中心静脈圧
 SVR : 体血管抵抗
 PVR : 肺血管抵抗



<http://www.edwards.com/products/pacatheters/pages/thermodilutioncatheter.aspx>

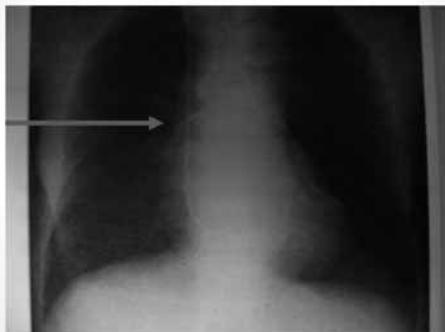
S-G catheter挿入時の波形

- RA圧
0~5mmHg
- RV圧
20~30/0mmHg
- PA圧
20~30/5~10mmHg
- PCWP
5~10mmHg



S-G catheter

カテーテルの先端



S-G catheter

- 適応
 - 各種ショックの病態解析
 - 肺水腫、ARDS、低酸素血症の診断と評価
 - 乏尿あるいはBUN/Creaが上昇する場合
 - 治療に抵抗する右心不全、左心不全
 - 肺梗塞など肺血管系の変化が疑われる時
 - 心臓術後の循環動態管理の目的

心拍出量連続測定装置



心拍出量連続測定装置

CCO (continuous cardiac output)

CCI (continuous cardiac index)

- Forrester分類に使用する。

- CCIの正常値 2.2L/min/m²

測定は直前の3分間から6分間に連続測定して得られた値の平均値で30秒毎に更新する。

PCWP

- 肺動脈楔入圧
- 正常値≤ 18mmHg
- Forrester分類における管理の指標
- 心臓血管外科手術でのルーティン

心拍出量連続測定装置

SvO₂

- 混合静脈血酸素飽和度

$$S_vO_2 = SaO_2 - VO_2 / CO \times Hb \quad (VO_2 : 酸素消費量)$$

- 正常値 65~75%

センサーが、カテーテルを短軸で考えたときに中心ではなく外側にある。そのため、血管壁につくと信用性が低くなる。

S_vO₂

増加

- 低体温
- COが上昇
- 輸血

減少

- 体温が上昇
- COが低下
- 貧血
- 低酸素血症

Forrester分類

心 率 数 2.2	(l/min/m ²)	
	Subset 1 末梢循環不全 (-) 肺うっ血 (-) 治療：経過観察	Subset 2 末梢循環不全 (-) 肺うっ血 (+) 治療：利尿薬 血管拡張薬
	Subset 3 末梢循環不全 (+) 肺うっ血 (-) 治療：輸液 カテコラミン ペーシング	Subset 4 末梢循環不全 (+) 肺うっ血 (+) 治療：利尿薬、カテコラミン 血管拡張薬 IABP

肺動脈楔入圧 18 (mmHg)

N Eng J Med

2003;348:5-14.

A Randomized, Controlled Trial of
the Use of Pulmonary-Artery Catheters
in High-Risk Surgical Patients

Perioperative and postoperative morbidity

	Standard care group	Catheter group	P value
Length of hospital day	10	10	0.41
In hospital mortality	77	78	0.93
Renal insufficiency	95	70	0.07
Hepatic insufficiency	26	23	0.84
Wound infection	83	66	0.23

PCWPで管理すると

- 生存率は変わらない
- 肺血栓が有意に多かった

Flotrac
フロートラックセンサー

Vigileo monitor

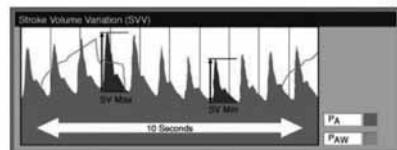
- 動脈圧心拍出量測定をする装置
- 動脈圧波形から心拍出量を連続的に測定し、患者のデータを入力することで以下の項目が測定可能となる
- 測定項目
 - CO : 心拍出量
 - CI : 心係数
 - SV : 1回拍出量
 - SVI : 1回拍出量index 35ml/m²以上を目標
 - SVV : stroke volume variation 10~13%
 - SVR : 体血管抵抗
 - ScvO₂ : 上大静脈酸素飽和度

SVV

- Flotrac/Vigileo にて測定できる指標の一つ
- 専用の動脈ラインイントロデューサーに接続すれば画面に表示
- 輸液の反応性を図る指標として期待される

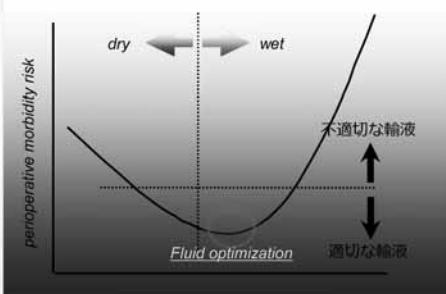


<http://www.edwards.com/Products/MinInvasive/pages/Vigileo.aspx>

SVVの意味

- 100%人工呼吸に依存している患者は、呼吸性に血圧変動があると同時に脈圧も変化する。
- これは、Stroke volumeが吸気と呼気で変化することである。
- この変動をstroke volume variation : SVVという。

最適な輸液量を求めて



プリセップカテーテル

- プリセップCVオキシメトリーカテーテルは、中心静脈カテーテルの機能に加え、中心静脈血酸素飽和度 (ScvO_2) の連続的測定が可能なトリプルルーメンのカテーテルです。

ScvO_2

- 上大静脈酸素飽和度
- 正常値 65%以上
- 計算式はないが、組織の酸素代謝を表す指標
- 中心静脈カテーテルのみ留置すればよいため、肺動脈カテーテルと比べると留置時の安全性は高い。

Crit Care Med

2005;33:1119-22.

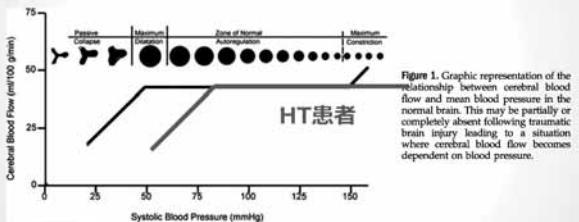
Let us use the pulmonary artery catheter
correctly and only when we need it

Fluid balance

data	ScvO_2 group	Control group	P value
Perioperative Ringer acetate	649 ± 333	2743 ± 1020	< 0.001
HES 130/0.4	438 ± 419	285 ± 405	0.004
Postoperative Ringer acetate	138 ± 529	1363 ± 771	< 0.001
HES 130/0.4	313 ± 328	194 ± 333	0.006
Total fluid unit	3869 ± 992	6491 ± 1649	< 0.001

血圧と脳血流

血圧を維持する重要性



脳波モニタリング

脳循環を規定する因子

- ・ 血圧
- ・ 心拍出量
- ・ SpO_2
- ・ CO_2
- ・ 脳灌流圧

SpO_2 とは別のモニタリングが必要である

INVOS



http://www.nihonkohden.co.jp/iryo/products/monitor/01_bedside/invos5100c.html

INVOS

- ・ 脳局所酸素飽和度は、前額部にセンサーを貼付する事で測定できる
例： $r\text{SO}_2 = 0.25 \times \text{SpO}_2 + 0.75 \times \text{SvO}_2$
正常値 55～75%
- ・ 適応は、脳血管手術（特に内頸動脈内膜剥離術）や心臓血管手術
- ・ 左右差は認められることが多い（優位半球が高い）
- ・ 絶対値ではなく、相対変化を指標
絶対値で50%以下、相対変化で20%以上の変化は注意

NIRO



<http://www.hamamatsu.com/jp/ja/product/alpha/N/C10448/index.html>

6 モニタリング

NIRO

- ・脳の局所ヘモグロビン濃度を捉えること
- ・O₂Hb濃度とHb濃度を捉えて血液の酸化状態を測定
- ・Tissue Oxygenation Index (TOI)
 - TOI = O₂Hb/O₂Hb+Hb
- ・頭蓋から約3cmの深さ、脳実質表面から約1cm程度の深さを中心とした強湾バナナ状の部位を測定
- ・組織に含まれるO₂Hb濃度の割合を測定し、拍動がなくても測定できる。
- ・人工心肺下、心拍停止時にも測定できる。
- ・相対変化を指標
- ・

O3



O3

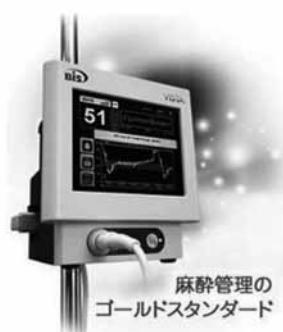
- ・ランベルト・ベールの法則を用いて測定する
- ・センサより近赤外光を発する
- ・センサは一つの発光部と受光部から成る
- ・局所脳酸素飽和度は、30%の動脈血と70%の静脈血から構成されているものと仮定されて測定
- ・

麻酔レベルのモニタリング

麻酔レベルをどうチェック

- ・鎮静度：BIS (bispectral index)、PSI (patient state index)
- ・鎮痛度：麻酔中には測定できない。術後に関しては、VAS (visual analog scale)がある。
- ・筋弛緩の程度：TOF watch (train-of four)
- ・

BIS



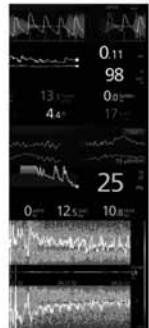
http://www.nihonkohden.co.jp/iryo/products/monitor/01_bedside/a3000.html

BISを測定する

利点

- 患者の脳波（EEG）信号を連続的に処理し、複雑な計算を実行してBIS値を算出
- BIS値=100は完全な覚醒状態を示し、BIS値=0は脳の電気的活動の消失を示す。40～60が適切な鎮静度
- 術中覚醒のモニタリング
- 鎮静薬の投与量をある程度少なくできる可能性あり。
- ・
- ・

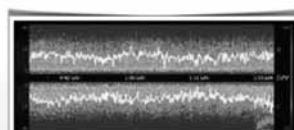
PSI (patient state index)



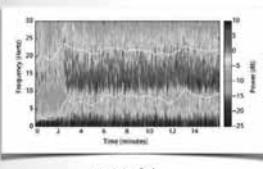
PSIを測定する

利点

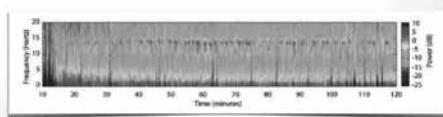
- 患者の脳波（EEG）信号を連続的に処理する
- PSI値=100は完全な覚醒状態を示し、PSI値=0は脳の電気的活動の消失を示す。25～50が適切な鎮静度を表す
- 麻酔薬の種類や時間経過をDSA (density spectral array)で示す



薬剤によるDSAの違い

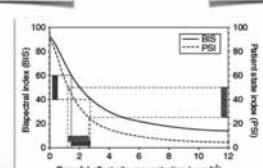
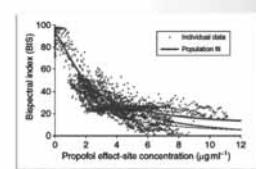
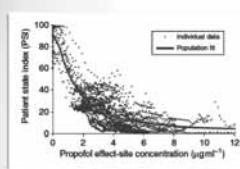


propofol

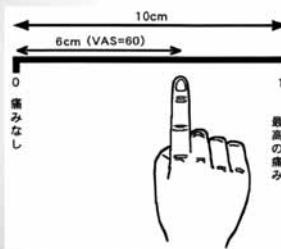


dexmedetomidine

BISとPSI



鎮痛度を測定する



- 0 : 痛みなし
- 10 : 最高の痛み
- 感情などいろんな要素に影響されるため、完璧な客観的指標にはなり得ない。

筋弛緩薬の効果を測定



筋弛緩薬の効果

- **4回の刺激 (Train Of Four: TOF)** を母指内転筋に与えることで何回筋肉が収縮するかで筋弛緩の効果を判断します。

0回 強い筋弛緩状態

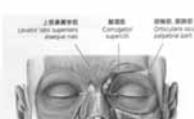
1回 適切な筋弛緩状態

2~3回 筋弛緩薬の追加が必要

4回 抗拮抗できる

筋弛緩薬の効果

- 母指内転筋だけではありません！
- 細眉筋
- 眼輪筋
- 後脛骨筋



Body Temperature 体温

体温管理

- 36°以上に保つ。以下を低体温
- 低体温となると、出血量や輸血量が増加、止血凝固機能の異常、創部感染が増える、心筋虚血を起こしやすいなどがいわれている。
- 鼓膜温、直腸温、膀胱温、血液温、食道温
- 温水/温風ブランケット、室温、輸液/輸血の加温で対処

体温管理



安全な麻酔のための モニター指針2019年改訂版

- ・ 麻酔科医が絶え間なく看視すること
- ・ 酸素化
- ・ 換気
- ・ 循環
- ・ 体温
- ・ 筋弛緩（筋弛緩薬および拮抗薬を使用する際）
- ・ 脳波モニター

7 周術期管理・特殊な麻酔

2021.5.24 第4学年講義

周術期管理・特殊な麻酔



札幌医科大学医学部 麻酔科学講座
立花 俊祐

本講義の目標

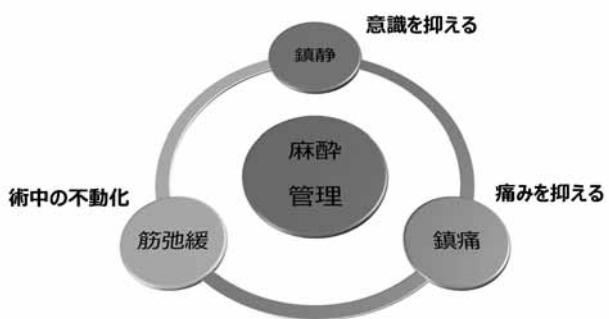
- ① 麻酔科医の視点から周術期管理や疼痛管理を学ぶ。
- ② 特殊な麻酔を含めた麻酔管理の実際に触れる。

Lecture Contents

1. 麻酔管理とは
2. 周術期管理と麻酔科医
3. 特殊な麻酔管理



麻酔の3要素



実際の麻酔に置き換えると



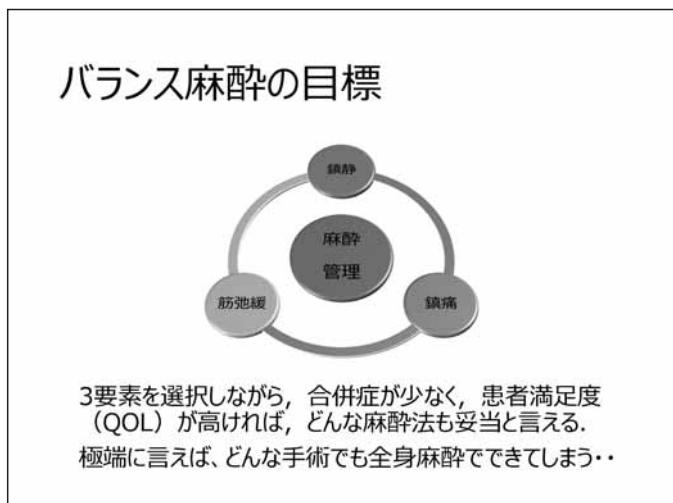
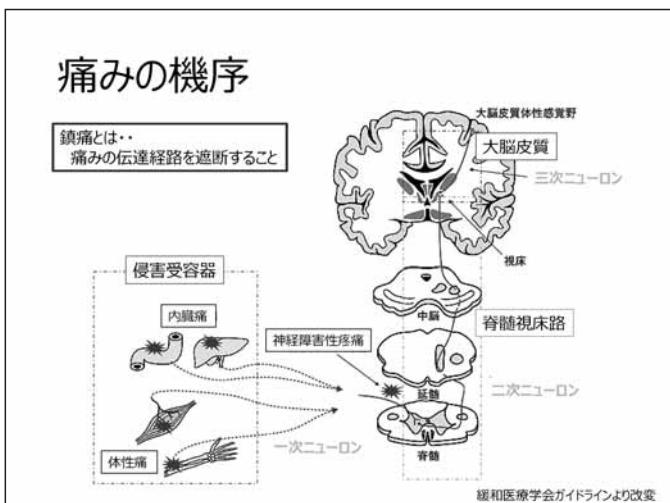
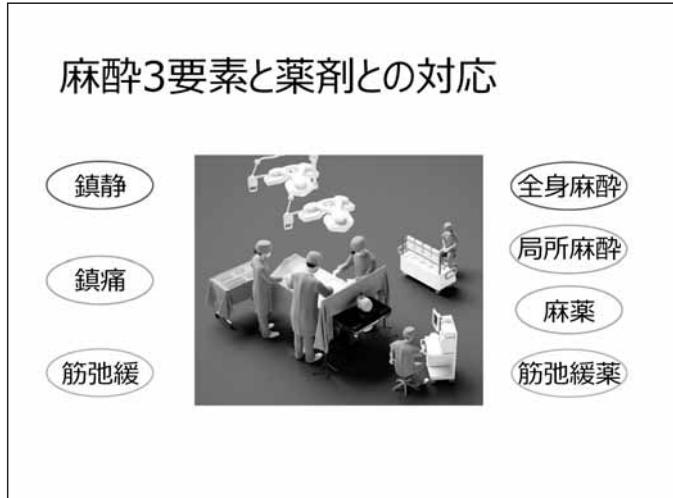
異なる効果・作用機序の薬剤を組み合わせて投与することにより相乗効果を得て、かつ全体としての副作用を最小にして質の高い麻酔を行うこと。

↓
バランス麻酔

バランス麻酔のすゝめ



術式（侵襲）や患者の全身状態、合併症の有無などを考慮し、麻酔の3要素と照らし合わせながら、麻酔法・投与薬剤などを継続的に選択していく作業



麻酔管理とは・・

「薬剤を用いて感覚を可逆的に変容させ、侵襲や外界の変化から生体を守る。」
「患者の個人差を考慮しながら、生体の機能を最大に維持する。」



Lecture Contents

1. 麻酔管理とは

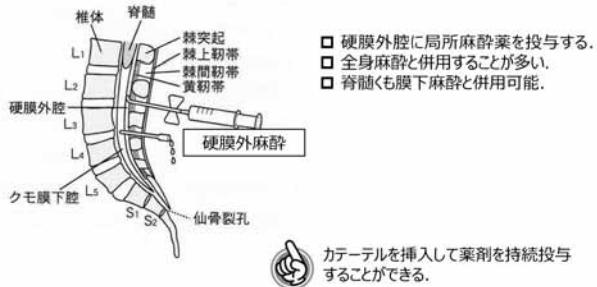
2. 周術期管理と麻酔科医

3. 特殊な麻酔管理



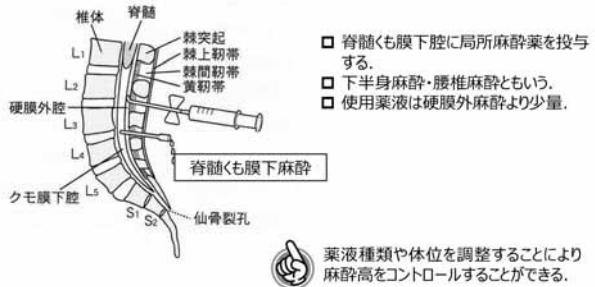
麻酔科医の醍醐味-鎮痛

1. 硬膜外麻酔 (Epidural anesthesia)



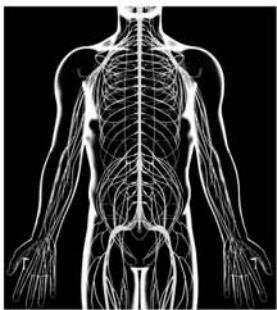
麻酔科医の醍醐味-鎮痛

2. 脊髄くも膜下麻酔 (Spinal anesthesia)



麻酔科医の醍醐味-鎮痛

3. 末梢神経ブロック (Peripheral nerve block)



周術期鎮痛法-PROSPECT Study

prospect

procedures

publications

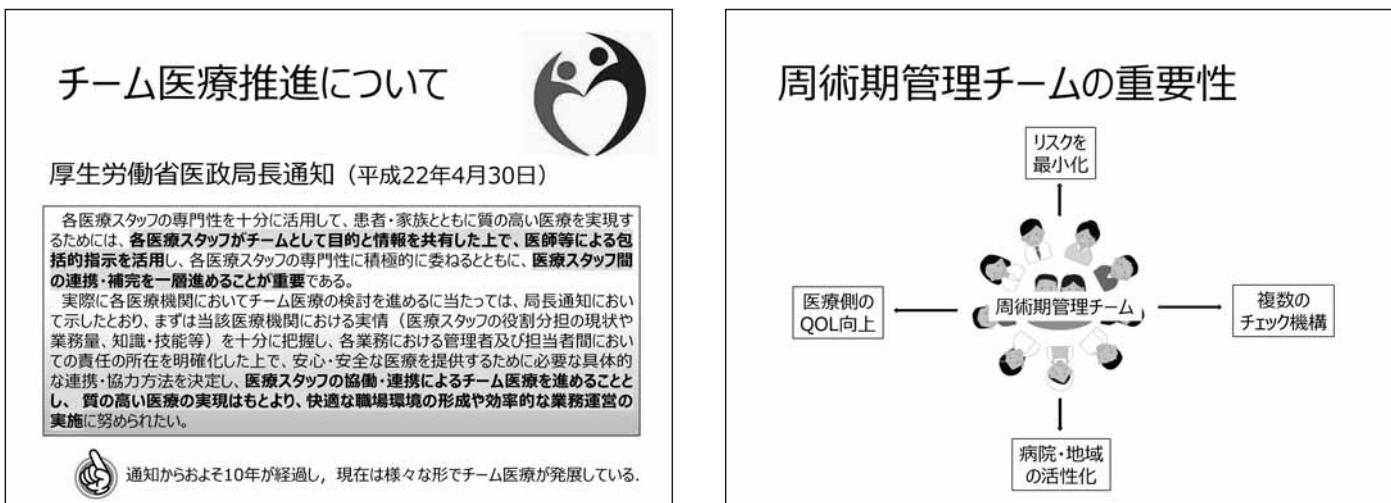
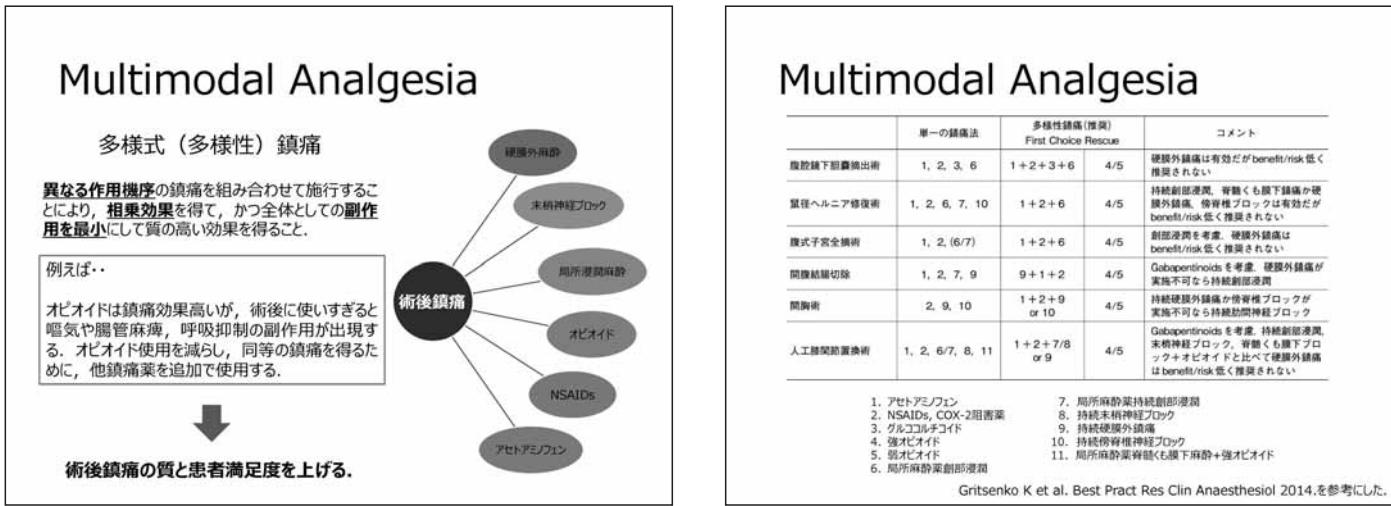
術式に応じてエビデンスのある鎮痛法を提唱している。

Better Postoperative Pain Management

Recommendations on this website are in the process of being updated. Please check back regularly for both updated content and new procedures.

- C-Section 2014
- Abdominal Hysterectomy 2006
- Herniorraphy 2004
- Non-cosmetic Breast Surgery 2006
- Radical Prostatectomy 2012
- Total Hip Arthroplasty 2004
- Total Knee Arthroplasty 2005
- Open Colorectal Surgery 2016





7 周術期管理・特殊な麻酔

病棟看護師との連携



- 術前後の患者さんの経過をともに確認する。
- 麻酔科医が把握しきれない情報を得てもらう。
- 手術室外での急変を察知してもらう。

手術室看護師との連携

- どのような状況でも患者さんの安全（命）を守る。
- 術者に良好な手術環境を提供する。
- 手術が円滑に進行するように諸々のサポートを行う。
- 依頼された麻酔は断らない。

WHO手術安全チェックリスト(2009年)

Surgical Safety Checklist

Before induction of anaesthesia	Before skin incision	Before patient leaves operating room
(with at least nurse and anaesthetist)	(with nurse, anaesthetist and surgeon)	(with nurse, anaesthetist and surgeon)
Has the patient confirmed his/her identity, site, procedure, and consent?	患者・手術確認	Nurse Verbally Confirms:
<input type="checkbox"/> Yes 患者の理解は？	<input type="checkbox"/> Confirm the patient's name, procedure, and where the incision will be made.	<input type="checkbox"/> The name of the procedure
<input type="checkbox"/> Yes Is the site marked? マーキングは？	<input type="checkbox"/> Confirm that all relevant sterile items have been introduced by name and role.	<input type="checkbox"/> Completion of instrument, sponge and needle counts
<input type="checkbox"/> Yes Is the anaesthesia machine and medication checked?	<input type="checkbox"/> Has antibiotic prophylaxis been given within last 60 minutes?	<input type="checkbox"/> Specimen labeling (read specimen labels aloud, including patient name)
<input type="checkbox"/> Yes 設備・薬剤チェック	<input type="checkbox"/> Yes 60分以内の抗生素？	<input type="checkbox"/> Whether there are any equipment problems to be addressed
<input type="checkbox"/> Yes Is the pulse oximeter on the patient and functioning?	Anticipated Critical Events	II Surgeon, Anaesthetist and Nurse:
<input type="checkbox"/> Yes Does the patient know:	To Survive: 予想イベント？	<input type="checkbox"/> What are the key concerns for recovery and management of this patient?
<input type="checkbox"/> No アレルギーチェック	<input type="checkbox"/> What are the critical or life-saving steps?	
<input type="checkbox"/> No What is the anticipated blood loss?	<input type="checkbox"/> What is the anticipated blood loss?	
<input type="checkbox"/> No Difficult airway or respiratory issues?	<input type="checkbox"/> To Anesthetist:	
<input type="checkbox"/> No Risk of re-breathing carbon dioxide?	<input type="checkbox"/> Are there any patient specific concerns?	
<input type="checkbox"/> No 呼吸困難	<input type="checkbox"/> To Nursing Team:	
<input type="checkbox"/> No Are there any equipment issues or any concerns?	<input type="checkbox"/> Has continuity (including indicator results) of care confirmed?	
<input type="checkbox"/> No 痛み	<input type="checkbox"/> Are there any equipment issues or any concerns?	
<input type="checkbox"/> No 痛みと呼吸困難	<input type="checkbox"/> Is essential imaging displayed?	
<input type="checkbox"/> No 痛みと呼吸困難と痛み	<input type="checkbox"/> Yes Not applicable	

WHO手術安全チェックリストは有効か？

Surgical Checklist Implementation Project: The Impact of Variable WHO Checklist Compliance on Risk-adjusted Clinical Outcomes After National Implementation

A Longitudinal Study

Erik K. Mayer, PhD, FRCS, Nick Sevdalis, PhD, Shantanu Rout, MRCS, Jochem Caris, MRCS, Stephanie Russ, PhD, Jenny Mansell, MSc, BSc, Rachel Davies, BA (Hons), Petros Skapinakis, PhD, MPH, Charles Vincent, PhD, Thanos Athanasiou, PhD, FETCS, Krishna Moorthy, PhD, FRCS, and Ara Darzi, FACS, FMedSci, FRS, KBE

- 2010年3月-2011年6月に調査。
- 調査対象は6,714患者。
- チェックリスト運用によって臨床的予後に与える影響を調べた。

Annals of surgery. 2016; 263:58-64.

WHO手術安全チェックリストは有効か？

Surgical Checklist Implementation Project: The Impact of Variable WHO Checklist Compliance on Risk-adjusted Clinical Outcomes After National Implementation

A Longitudinal Study

Erik K. Mayer, PhD, FRCS, Nick Sevdalis, PhD, Shantanu Rout, MRCS, Jochem Caris, MRCS, Stephanie Russ, PhD, Jenny Mansell, MSc, BSc, Rachel Davies, BA (Hons), Petros Skapinakis, PhD, MPH, Charles Vincent, PhD, Thanos Athanasiou, PhD, FETCS, Krishna Moorthy, PhD, FRCS, and Ara Darzi, FACS, FMedSci, FRS, KBE

- 3つの大項目全てをチェックした症例は全体の62.1%。
- 死亡率に影響はないが、術後合併症発症率を有意に下げた。
- チェックリストが運用できなかった原因として、『上席の外科医や麻酔科医がチェックリストに著しく非協力的』が多かった。

Annals of surgery. 2016; 263:58-64.

当大学病院における執刀時タイムアウト

手術執刀時に執刀医は、タイムアウトを宣言する。

患者名・手術部位・術式・予想時間・出血量を声に出して医療スタッフに呼びかけ、担当麻酔医は麻酔チャートなどで、執刀医と看護師は麻酔申込書、手術同意書などで間違いないことを指差確認してから手術を開始する。

※ 担当麻酔医はその際に、チェックリストをチェックする。

札幌医科大学病院 医療安全対策マニュアル
第IV章 6. 周手術期「手術部位の誤認防止」より抜粋

ERASプロトコル

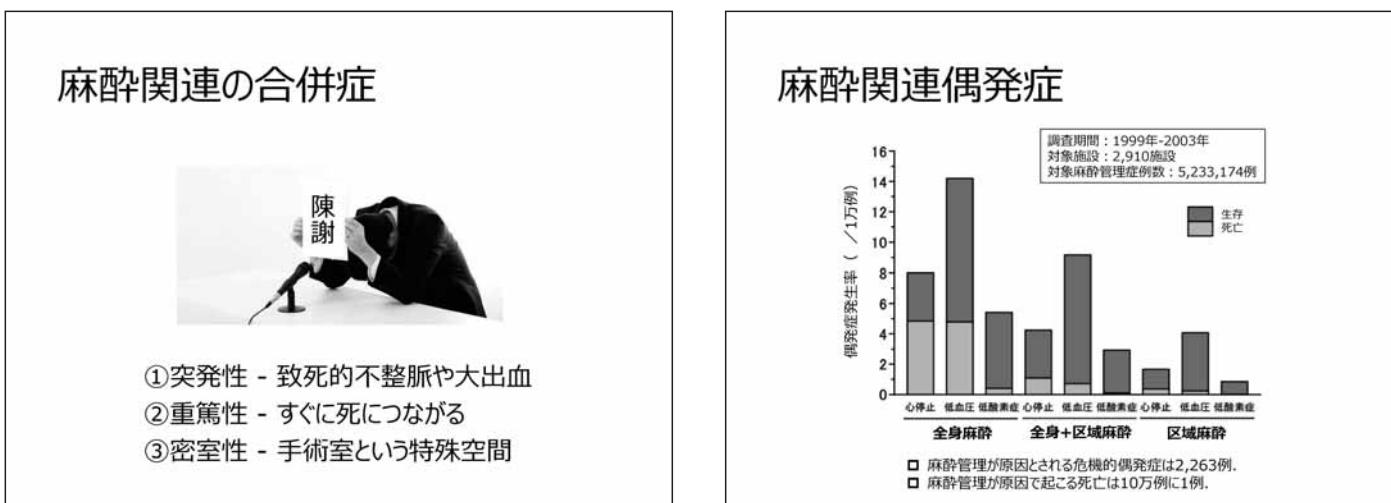
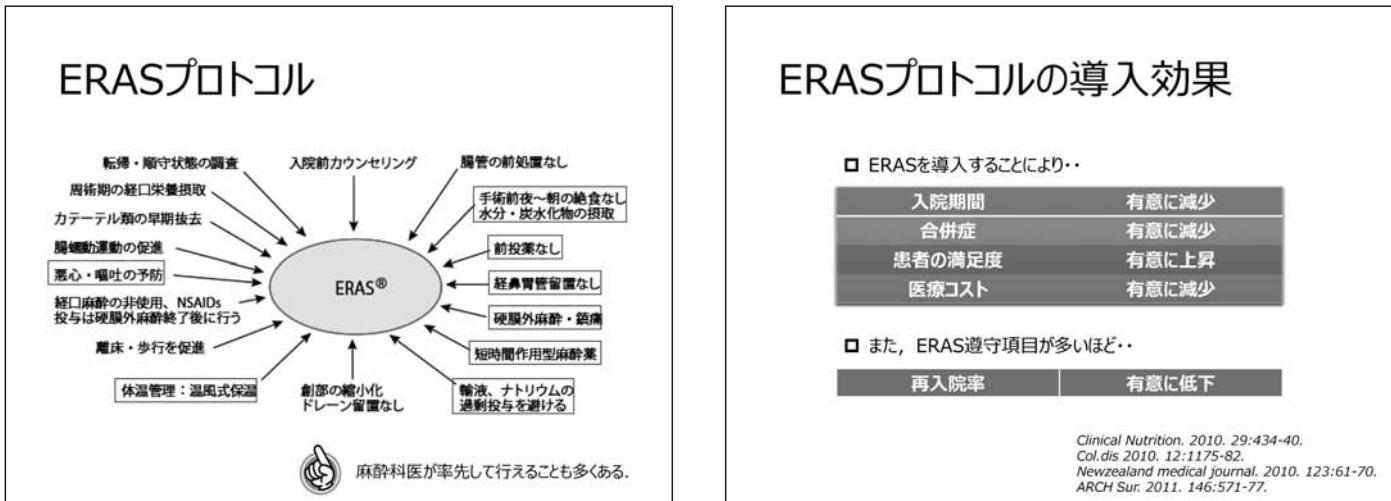
ERAS

= Enhanced Recovery After Surgery

- 術後回復力を高めるための多くのエビデンスを集約し周術期管理を行う。
- 手術による侵襲を可能な限り最小として、術後早期回復を図る。

1. 手術侵襲軽減
2. 術後合併症軽減
3. 術後回復促進
4. 在院日数の最短化
5. 早期の社会復帰
6. 医療費削減





Lecture Contents

1. 麻酔管理とは
2. 周術期管理と麻酔医
3. 特殊な麻酔管理



特殊な麻酔管理

- ① 帝王切開
 - ② 小児麻酔
 - ③ ダ・ヴィンチ麻酔
 - ④ 覚醒下手術
 - ⑤ 低血圧麻酔
 - ⑥ 低体温麻酔
- + 臨時手術麻酔も

より繊細な計画と管理が求められる。

帝王切開（カイザー）

キーワードは “two-in-one package”



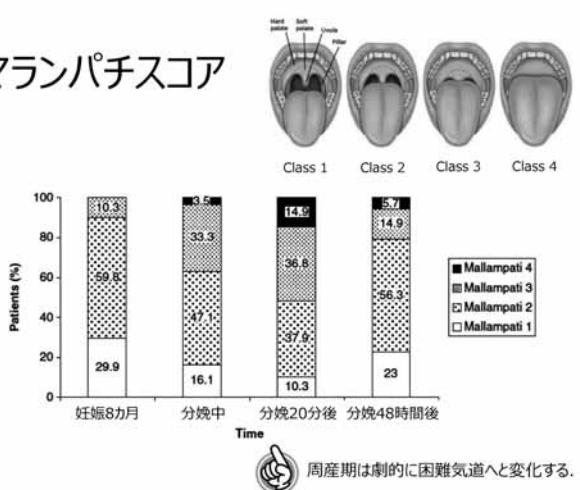
麻酔管理において、母体と児両方の全身状態を把握し対応しなければならない。



基本的には局所麻酔で管理する。

1. 鎮静薬や筋弛緩薬は胎盤を通過する。
 - 妊出直後の児の無呼吸
 - 人工呼吸器管理が必要となる可能性
2. 気道確保の危険を避ける。
 - フルストマック
 - 妊娠期特有の困難気道：マランパチスコアの急激な変化
3. 児娩出後の対面が可能となる。

マランパチスコア



帝王切開では血圧の安定が難しい。

1. 脊髄も膜下麻酔が主軸。
2. 妊娠子宮が下大静脈を圧迫する。
3. 妊婦の脱水が進んでいる。

脊髄くも膜下麻酔への対処

脊髄くも膜下麻酔によって交感神経が遮断される
(副交感神経が相対的に賦活化される)

末梢血管が拡張して後負荷が減少する

重篤な低血圧が起こる



- ①エフェドリン 心拍数を上げる
- ②フェニレフリン 末梢血管を収縮する
- ③アトロピン 副交感神経を抑制する

晶質液だけでなく膠質液(コロイド)の投与も考慮する

下大静脈の圧迫への対処

仰臥位になることで妊娠子宮が下大静脈（大動脈も）を圧迫

静脈還流が低下し前負荷が減少する

重篤な低血圧が起こる

(大動脈圧迫症候群または仰臥位低血圧症候群という)



※米国麻酔科学会産科麻酔ガイドラインでは、麻酔法に関わらず麻酔導入後から分娩までの間、子宮左方転位と積極的な輸液負荷が推奨されている。

小児麻酔

生理や解剖が成人とはあって非なる。
「小さな大人と思うなかれ。」



小児の特徴をしっかりとえた
麻酔管理が必要となる。



周術期における小児特有の問題

予防接種スケジュールの確認

「一般的に、麻酔手術の影響が残存している期間は
予防接種を避ける。」

また

「生ワクチン接種後**1ヶ月以内**、不活性ワクチン接種
後**2週間以内**は麻酔を避ける。」



小児の呼吸生理

生理的特徴

頭が大きく舌も相対的に大きい。	気道閉塞リスク
喉頭けいれんリスクが高い。	
気管が細い。	
機能的残気量が相対的に小さい。	低酸素までの 予備力がない

小児の覚醒時興奮

Emergence agitation / delirium



発症の関連要因が明らかになりつつある。

Volatile anaesthetics	吸入麻酔薬
Type of surgery	手術の種類
Patient age	患児の年齢
Parental anxiety	不安や行動
Patient anxiety	医療側との人間関係
Patient pre-existing behaviour	Patient and parent interaction with health-care providers

BJA. 2017. 118:335-43.



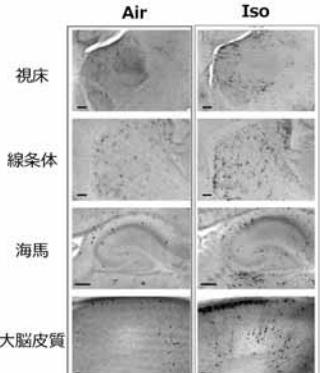
全静脉麻酔が有効である。

幼若脳への影響

生まれたばかりのマウスに対して複数回に渡りイソフルランを曝露した。

脳神経の細胞死と神經変性が出現。
(イソフルランは神經毒性を有する)

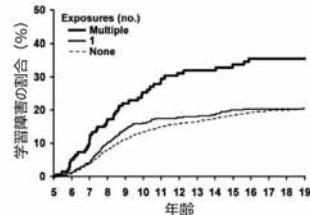
その後長期的な観察の結果、マウスの認知行動にも影響した。



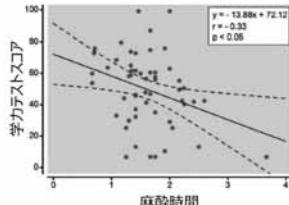
Scientific Reports. 2019; 9:2779

ヒトへの長期的な影響

- 4歳までの麻酔経験が0または1回の小児と比較して、複数回の麻酔経験を有する小児は将来的な学習障害の割合が高い。



- 1歳までに手術を経験した、中枢神経系に異常がない小児を対象とした。
- 麻酔時間が長いほど学力スコアが低い傾向となる。



Anesthesiology. 2009; 110:796-804.
Anesthesiology. 2012; 117:494-503.

FDAの最新勧告（2017年）



直近のエビデンス-GAS study

Neurodevelopmental outcome at 5 years of age after general anaesthesia or awake-regional anaesthesia in infancy (GAS): an international, multicentre, randomised, controlled equivalence trial

Lancet. 2019; 393:664-77.

- オーストラリア、イタリア、アメリカ、イギリス、カナダ、オランダ、ニュージーランドの28病院が参加
- 生後60週未満で麻酔を受けた小児
- 麻酔：セボフルラン麻酔または覚醒下の区域麻酔
- 評価：初等教育時（5歳時点）の知能・行動変容



短時間のセボフルラン麻酔は脳発達に影響しない。

直近のエビデンス-MASK study

Neuropsychological and behavioral outcomes after exposure of young children to procedures requiring general anesthesia: The MASK study
Anesthesiology. 2018; 129:89-105.

- ミネソタ州でのstudy
- 1994年-2007年にミネソタ州で生まれた小児
- 麻酔：3歳までに単回または複数回の全身麻酔を受けたもの
- 評価：8-12歳または15-20歳における知能・行動変容



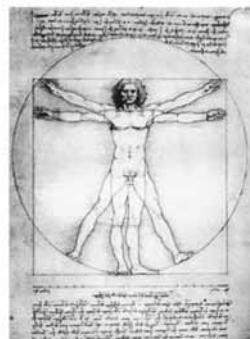
知能の発達に影響はない。しかし、複数回の麻酔曝露によって、学習障害や行動変容につながる可能性あり。



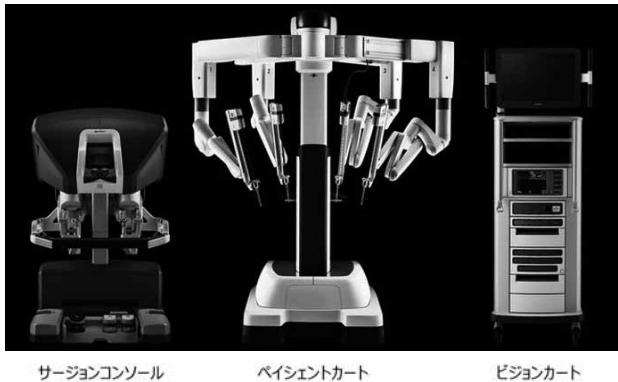
単回かつ短時間の麻酔曝露であれば影響は軽微とも考えられるが、今後も十分な検討が必要である。

ダ・ヴィンチ麻酔

低侵襲で術後回復は早いとされているが、頭低位と気腹の影響で麻酔管理に難渋することがある。



ダ・ヴィンチ手術システム（ロボット支援）



サージョンコンソール

ペイシェントカート

ビジョンカート

ロボット支援手術の適用

2012年前立腺がんの手術に保険が適用

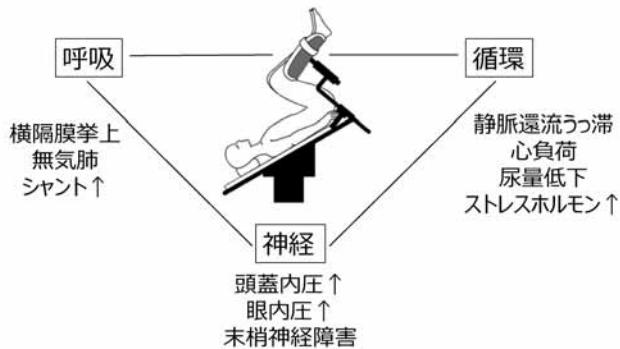
- 前立腺周囲組織の剥離、神経や血管の同定が行いやすい。
- 血管の結紮、膀胱・尿道の吻合操作に適している。
- 米国では、前立腺手術のほとんどはロボット支援下に行われている。

2021年現在（前回の診療報酬改定）は、**12疾患**に保険適用されている。

前立腺がん	直腸がん
食道がん	膀胱がん
肺がん	子宮体がん
縦隔悪性腫瘍	子宮筋腫
心臓弁膜症	縦隔良性腫瘍

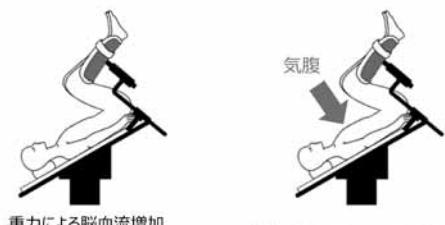
将来的にも適用症例が拡大するだろう。

頭低位によって起こること

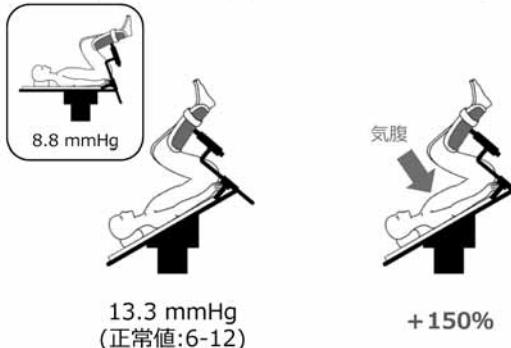


頭低位と気腹の影響を無視できない

頭蓋内圧 → 脳実質 + 脳血管 + 脳脊髄液



頭低位と気腹による脳への影響



脳灌流圧低下

$$\text{脳灌流圧} = \text{平均血圧} - \text{頭蓋内圧}$$



↑ 上がれば上がるほど脳灌流は悪くなる。
↓ 脳浮腫や覚醒遅延などの原因に。

眼内圧上昇

ロボット支援手術後に視覚障害の報告あり。

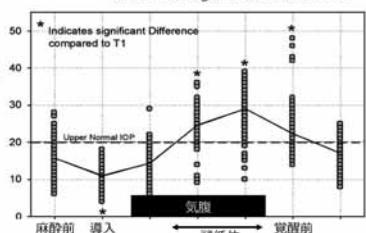
- そのうち1名は失明も。

Neuroophthalmol. 2007. 27:285-7.

ロボット支援手術における眼内圧変化を検討した。

Anesth Analg. 2009. 109:473-8.

- 対象：ロボット手術患者33名
- 体位：頭低位25°
- 気腹圧：15mmHg



覚醒下手術

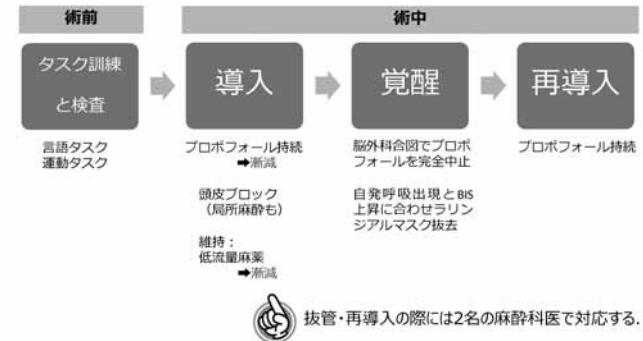
1. 手術最中に、麻酔を覚醒させ全身管理を行う。
2. 脳実質は痛みを感じないことを利用する。
3. 病変切除の最大化と合併症の最小化を目的とする。

覚醒の様子（Awake phase）を見てみましょう！

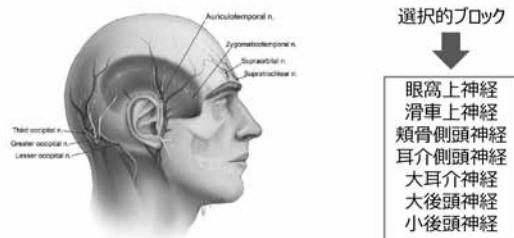


覚醒下手術の流れ

当院ではAsleep-Awake-Asleep法を採用している。



質の高い頭皮神経ブロックを行う。



- ヘッドピン刺入部に対しては、脳外科医から浸潤麻酔を追加する。
- 神経ブロックと浸潤麻酔の効果が、麻酔管理の質に直結する。

低血圧麻酔

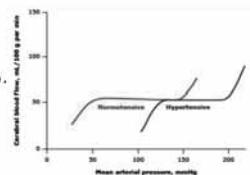
血圧を下げることで出血量を減少させ、手術操作を安全に行うこと

を目的とする。

「低血圧」とは？

1. 通常収縮期血圧の60%
2. 平均動脈圧で60~70mmHgを標準とする。

※脳血流は低血圧でもある程度保たれる。
(cerebral autoregulation)



適応術式として、脳動脈瘤クリッピング術、股関節手術、脊椎手術、口腔外科下顎手術など。
血管拡張薬はニトログリセリン、ニトロフルシドなどを使用する。

低体温麻酔

低体温麻酔の最大の目的は『脳保護』

主に心臓・大血管手術に適用となるが、蘇生後脳症の治療にも応用される。

Ther Hypothermia Temp Manag. 2019. 9:13-47.

低体温は脳を保護するが…

The diagram shows a brain with various physiological processes labeled:

- Hyperglycemia ↑ Rate of Re-warming**
- Coagulopathy ↑**
- Pb²⁺ ↑**
- VO₂ (Perfusion) ↓**
- Shivering**
- Muscle**
- Cooling (TH)**

Associated risks include:

- 心拍数抑制 不整脈** (Bradycardia, Atrial fibrillation)
- 寒冷利尿 AKIリスク ×カテコラミン** (Hypovolemia, AKI risk, catecholamine use)
- 薬物代謝遅延** (Drug metabolism delay)

臨時手術は総じて緊張感が増す！

- 全身状態や既往などの情報が不足している。
- 絶飲食の状態が不明（フルストマックを想定）。
- マンパワーを確保できない。
- 麻酔科サイドの準備不足。
- バイタル不安定の可能性。
- リスク評価が不十分。

2014年ACC/AHA非心臓手術ガイドライン

評価項目

定期手術
虚血性心疾患の既往
心血管イベントの可能性
運動耐久能

臨時手術
リスクの層別化

The flowchart starts with "Patient scheduled for surgery with known or suspected CAD (Class I)" and "Estimated perioperative risk of MACE based on comorbid conditions (Class IIa)." It branches into "Low risk (≤1%) (Class IIa)" and "Elective surgery (Class IIa)." For low-risk surgery, it leads to "No further testing (Class IIa)." For elective surgery, it leads to "Evaluate and treat according to ACC/AHA guidelines (Class IIa)." Then, it asks "Is surgery urgent?" If "Yes," it leads to "Emergency surgery (Class IIa)." If "No," it leads to "Non-elective surgery (Class IIa)." This leads to "Is surgery emergent?" If "Yes," it leads to "Perform CPB (Class IIa)." If "No," it leads to "Perform CPB if further testing indicates high risk for CPB (Class IIa)." Finally, it leads to "Pharmacological risk reduction (Class IIa)." There are also boxes for "Cardiovascular risk stratification (Class IIa)" and "Cardiovascular risk reduction (Class IIa)."

本講義のまとめ

- 麻酔とは、様々な麻醉法や薬剤を組み合わせ、変化に合わせて対処するテーラーメイド医療である。
- 周術期全体において、早期回復を意識した管理が必要である。
- 特殊な病態や術式では、それぞれの状況を的確に判断した、安全で確実な麻醉管理が求められる。

Thank you for your attentions.

8 産科麻酔・小児麻酔

第4学年講義

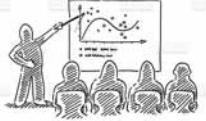
産科麻酔・小児麻酔



札幌医科大学医学部麻酔科学講座
茶木 友浩

本日の目標

- ・産科麻酔特有の問題点を理解し、標準的な管理方法について理解する
- ・小児の特徴を知り、麻酔管理上の問題点を理解する



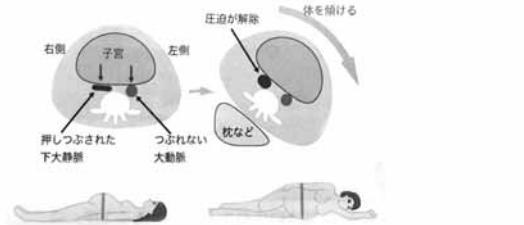
- 産科麻酔
(Obstetric Anesthesia)
産婦の特徴
帝王切開術
無痛分娩
- 小児麻酔
(Pediatric Anesthesia)
小児の特徴
小児特有の問題点

呼吸器系

- ・鼻腔・口腔・咽喉頭粘膜の毛細血管が拡張し、浮腫状になる
→ 産婦全例が気道確保困難症例
- ・CO₂に対する感受性増大
→ 一回換気量、分時換気量増大
- ・横隔膜挙上により機能的残機量が減少
→ 無呼吸状態で急速に低酸素血症が進行

循環器系

- ・仰臥位低血圧症候群



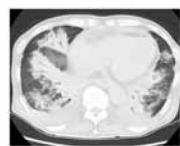
Obster Gynecol. 1953;1:371-7.

血液成分と血液凝固系

- ・Naと水分貯留が生じ、血液量が50%増加
- ・赤血球量も20-30%増加
→ 結果的に希釀性の貧血を呈する
- ・多くの凝固因子活性が亢進
- ・生理的抗凝固因子の活性は低下
→ 出産時の出血に備えて、凝固亢進状態
→ 血栓性合併症のリスクが高い

消化器系

- 下部食道括約筋の圧が低下
- 陣痛が始まると、胃内容物が増加し、排泄時間が延長する
 - フルストマック症例と考える
 - 全身麻酔導入による、嘔吐、誤嚥性肺炎の危険



帝王切開

- 最初の語源は、ラテン語「Sectio Caesarea」
 - ✓ Sectio: 切ること、切開
 - ✓ Caesarea: 切ること、切開
- ドイツ人が「Kaiserschnitt」と訳した
 - ✓ Kaiser: 皇帝、帝王
 - ✓ Schnitt: 切ること、切開
- 日本人医師が「帝王切開」と直訳



ガイウス・ユリウス・カエサル

帝王切開の麻酔方法



全身麻酔

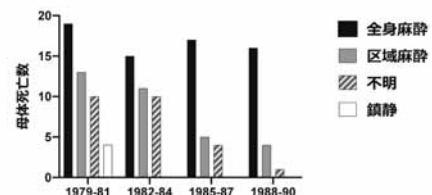
区域麻酔
(硬膜外麻酔、脊髄くも膜下麻酔)

帝王切開の麻酔方法

麻酔方法	メリット	デメリット
全身麻酔	麻酔導入が迅速 効果が確実	挿管困難 誤嚥性肺炎の可能性 胎児への麻酔薬移行
区域麻酔	気道確保の必要がない	硬膜穿刺後頭痛を 起こす可能性

区域麻酔が第一選択

帝王切開の麻酔方法



全身麻酔は、区域麻酔より死亡率が16.7倍高い

Anesthesiology, 1997;86:277-84.

8 産科麻酔・小児麻酔

帝王切開での区域麻酔

- 脊髓くも膜下麻酔 (Spinal)
 - ✓ 確実な鎮痛効果を期待できる
 - ✗ 効果持続時間が短い (3時間程度)
- 硬膜外麻酔 (Epidural)
 - ✓ カテーテルを留置し、長時間効果を得られる
 - ✗ やや確実性に劣る
- 脊髓くも膜下硬膜外併用麻酔 (CSEA: Combined Spinal-Epidural Anesthesia)
 - ✓ 2つの麻酔方法の長所を併せ持つ (確実性と持続時間)

区域麻酔による産婦への影響

区域麻酔によって、交感神経遮断が生じる

↓

主に静脈系が拡張する

↓

心臓への静脈還流（前負荷）が低下

↓

著しい低血圧

区域麻酔による産婦への影響

- 硬膜穿刺後頭痛 (Post-Dural Puncture Headache: PDPH)

針によって、くも膜と硬膜に穴が開き、脊髄液が漏れ出していく

↓

脳脊髄圧が低下

↓

低脳圧性頭痛を呈する
(座位や立位での頭痛出現が特徴的)

区域麻酔による産婦への影響

- 治療方法：プラッドパッチ療法

脳脊髄液が漏れている部分の硬膜外腔に血液を注入

↓

固まった血液が硬膜の穴を塞ぐ

↓

脳脊髄圧上昇

特殊な帝王切開術

- 常位胎盤早期剥離

正常位置に付着している胎盤が、妊娠中または分娩中に胎児の娩出に先立って剥離するもの（超緊急帝王切開術の適応疾患）

胎児への影響	産婦への影響
胎盤血流低下	大量出血
↓	↓
胎児仮死	産婦死亡
胎児死亡	

迅速な児の娩出、産婦の循環管理が必要 → 全身麻酔を選択

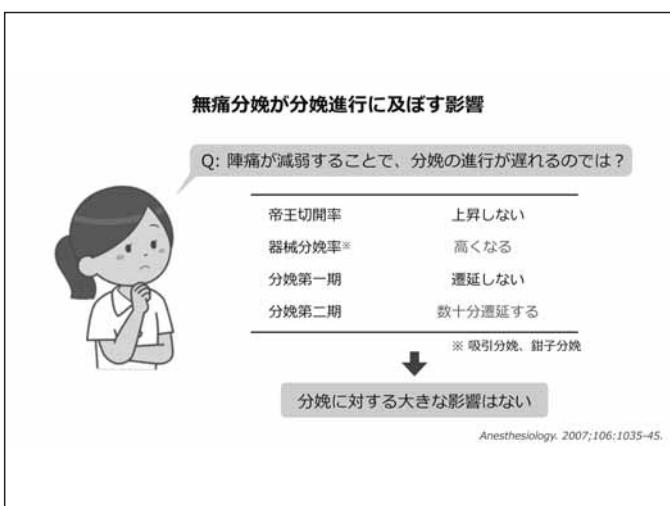
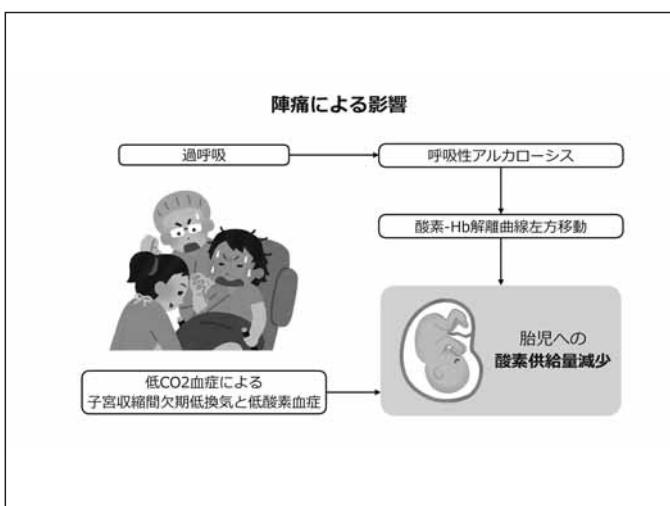
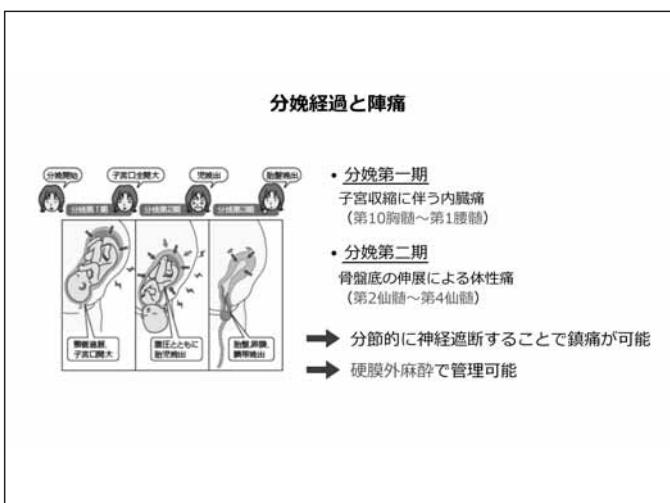
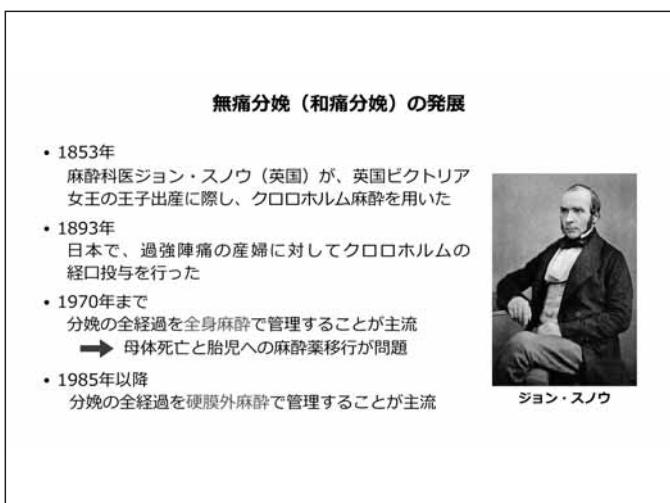
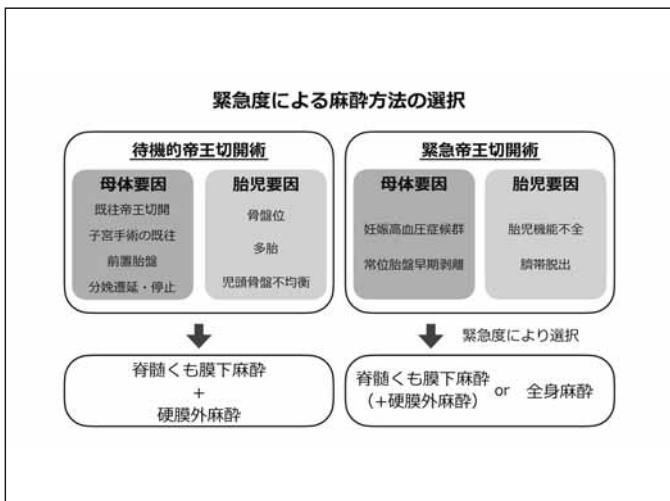
特殊な帝王切開術

- 前置胎盤

子宮頸部に胎盤が形成され、内子宮口にかかる状態で、分娩期に大量出血をきたす

```

    graph TD
      A[子宮頸部] --> B[子宮筋収縮が弱い]
      A --> C[子宮内膜が薄い]
      B --> D[弛緩出血となりやすい]
      C --> D
      D --> E[癒着胎盤を合併しやすい]
      E --> F[原則、帝王切開術による分娩  
大量出血への準備が必須]
      F --> G[輸血  
内腸骨動脈バリーン閉塞]
  
```



8 産科麻酔・小児麻酔

産科麻酔のまとめ

- 帝王切開術では、産婦の気道困難リスクが高く、区域麻酔が第一選択である
- 硬膜外麻酔が無痛分娩管理の中核である



用語整理

小児期の分類

新生児 < 生後28日

乳児 生後1ヶ月～1歳

幼児 生後1歳～就学前

※学童 (6～12歳)

出生体重による分類

低出生体重児 1,500 - 2,500 g

極低出生体重児 1,000 - 1,500 g

超低出生体重児 < 1,000 g

生理学的特徴

中枢神経系

- 生後1年間で大脳皮質の細胞容積が増加し、神経細胞ネットワークが発達
- 疼痛感受性は、成人より新生児の方が高い（痛みを感じやすい）
- 新生児期の疼痛を伴う処置は、成長後の疼痛閾値を低下させる（痛みに過敏になる）

Paediatr Anaesth. 2014;24:39-48.

中枢神経系

- 新生児期は、頭蓋が癒合していない（大泉門や小泉門が開存している）
→ 脑脊髄液および脳組織量増加の影響は、ある程度吸収される

- 大泉門の触知によって、頭蓋内圧を簡易的に評価できる



中枢神経系

- 脳血管が非常に脆弱な部分があり（尾状核周辺），脳内出血，脳室内出血が生じやすい

脳内出血，脳室内出血リスクファクター	
低酸素症	過剰輸液
高CO ₂ 血症	高張液急速投与
高Na血症	貧血
↓	
血圧，脳血流の急激な変動	



呼吸器系

新生児の特徴

- 短い気管長
(新生児：5 cm)
- 柔軟な気管軟骨
- 肋骨の走行が水平
- 横隔膜筋にI型繊維（遮筋）が少ない



新生児



成人

呼吸器系

新生児の特徴

大きな頭と短い首

大きな舌

狭い鼻腔

管理上の問題点

気道確保困難の原因

異物によって容易に閉塞



心血管系

新生児心臓の特徴

- 収縮成分が少ない
- 支持組織成分が多い
- 心拍数依存性心拍出量
- 筋小胞体が未成熟
- 不完全な自律神経支配

管理上の問題点

- 強い収縮が不可能
- 心筋コンプライアンスが低い
- 徐脈により心拍出量が著明に低下
- 血中イオン化カルシウム濃度に対する依存度が高い
- 刺激により徐脈となる

DID YOU KNOW?

A newborn heart is approximately the size of a walnut.



心血管系

小児の正常血圧

齢	収縮期血圧 (mmHg)	拡張期血圧 (mmHg)
1日	60 - 75	30 - 45
1ヶ月	70 - 90	35 - 55
3ヶ月	80 - 100	45 - 65
1歳	85 - 105	40 - 60
2歳	88 - 105	45 - 60
7歳	95 - 115	55 - 75

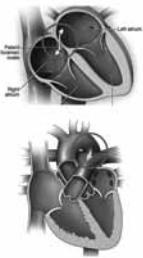
※ 麻酔中の適正血圧に関しては不明

National Heart, Lung, and Blood Institute;2005. NIH publication. 05-5267

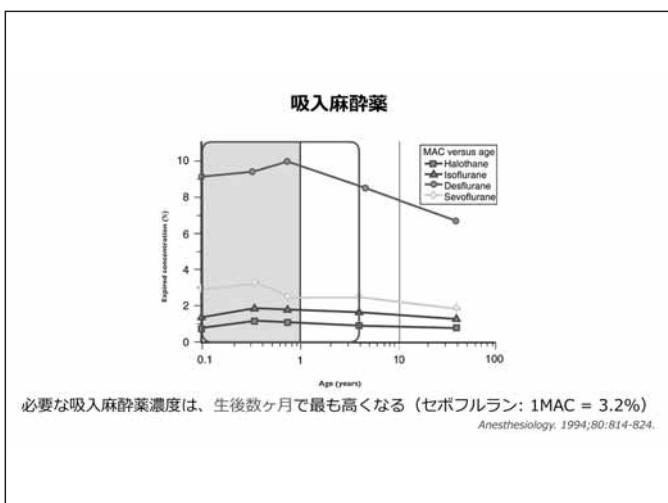
8 産科麻酔・小児麻酔

心血管系

- 卵円孔
- 胎生期には、下大静脈血流を左房・左室に誘導している
出生後、左房圧上昇によって、機能的に生後2-3日、器質的に数週間から数ヶ月で閉鎖する
- 動脈管
- 胎生期には、上大静脈血流を右室経由で下半身に供給している
出生後、機能的に生後15時間、器質的に生後5-7日で閉鎖する
※ 動脈管は、低酸素刺激やアシドーシスを契機に再開通する



薬理学的特徴



デスフルラン

- 異臭性が非常に強い
- 麻酔導入に使用すると、息ごろえと喉頭痙攣が頻発
→換気不能となり、低酸素血症の原因となる
- 小児麻酔では、ほとんど使用されていない

**静脈麻酔薬**

- 静脈麻酔薬による急速導入は、吸入麻酔薬による緩徐導入と比較して、呼吸器合併症が少ない

	急速導入（静脈麻酔薬）	緩徐導入（吸入麻酔薬）	p値
SpO ₂ < 95%	25%	42%	0.002
喉頭痙攣・気管支痙攣	2%	11%	0.007

Anesthesiology. 2018;128:1065-1074.

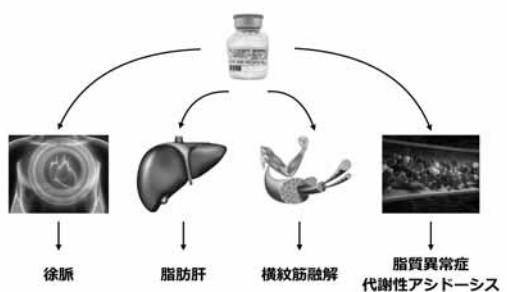
チアミラール

- プロポフォールと違い、注入時の血管痛が無いことが最大のメリット
- 強アルカリ性 ($\text{pH} > 11$) であり、血管外漏出によって皮膚潰瘍を形成することがある
- 気管支痙攣の副作用を有するため、気管支喘息を合併する患者には禁忌

Anesthesiology. 1996;84:1307-1311.

**プロポフォール**

- 注入時血管痛が麻酔導入時に問題となる
- 長期大量持続投与により、プロポフォール注入症候群という致死的合併症を引き起こす

**プロポフォール注入症候群**

Lancet. 1999;353:1117-8.



8 産科麻酔・小児麻酔

小児特有の問題点



幼若脳神経毒性（動物実験）

- 2003年に、ラットを用いた動物実験で、幼若期の麻酔薬曝露が、成長後の学習障害を引き起こすことが報告された



水迷路試験

J Neurosci. 2003;23:876-82.

幼若脳神経毒性（臨床研究）

- GAS study
乳児期における1時間未満の短時間麻酔は、神経発達を障害しない
Lancet. 2019;393:664-677.
- MASK study
3歳未満における1時間程度の短時間麻酔は、知能を低下させない
複数回の麻酔薬曝露は、学習障害を引き起こす可能性がある
Anesthesiology. 2018;129:89-105.
- PANDA study
生後36週未満における短時間麻酔は、知能を低下させない
JAMA. 2016;315:2312-2320.

短時間全身麻酔 → 神経発達障害なし（極軽微）
長時間または複数回の全身麻酔 → 神経発達障害が生じる可能性あり

覚醒時興奮

- 全身麻酔からの覚醒時に暴れることで、自傷などのリスクがあり、小児で起りやすい
- 覚醒時興奮の危険因子

吸入麻酔薬による全身麻酔
頭頸部手術（眼科、耳鼻科）
若年者
強い術前不安
親の強い術前不安
医療提供者との関係不良



Br J Anaesth. 2017;118:335-343.

麻酔導入時不安

- 手術室という異質空間、手術や麻酔という医療行為に対する恐怖から強い不安を抱きやすい
- 手術室入室や、全身麻酔導入が困難となるケースがある
- 強い不安は、術後の行動異常の原因となる



Anesth Analg. 2001;93:98-105.

麻酔導入時不安

- 麻酔導入時不安を緩和する方法
 - 好きな動画を視聴させる
 - 前日に手術室見学を行う
 - 親と一緒に手術室に入室する（同伴入室）
 - 親に鍼治療を行う
 - 催眠療法を行う
 - 鎮静薬の麻酔前投薬を行う



特殊疾患



臍帯ヘルニア

特殊疾患



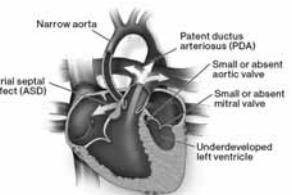
ゴールデンハース症候群

特殊疾患



超低出生体重児

特殊疾患



左心低形成症候群

本日のまとめ

• 産科麻酔

- ✓ 帝王切開術では、産婦の気道確保困難リスクが高く、区域麻酔が第一選択である
- ✓ 硬膜外麻酔が無痛分娩管理の中核である

• 小児麻酔

- ✓ 小児は、成人と異なる生理学的特徴を有している
- ✓ 覚醒時興奮など、小児特有の問題点に関して、特別な配慮が必要である

2. 臨 床 実 習

第5学年麻酔科クリニック・クラーケシップ 必修コース 予定表・出席簿（令和3年度）

出席番号	氏名
月	木
9:00～9:30：教授室 オリエンテーション（教授） テーマの提供 9:30～11:00：教室 ミニ講義（スタッフ） 麻酔科説明・術前訪問 OSCE①点滴確保（スタッフ） OSCE②気道確保 (ペインチーム)	7:45～8:00：麻酔科控室 症例①のプレゼンテーション 8:00～9:30：手術室内 麻酔症例①（教授） 9:30～10:00：外科病棟 術前診察①（スタッフ） 術前診察②（スタッフ） 10:00～11:30：透視室 8番 神経プロック・ペインクリニック (ペインチーム)
サイン _____	サイン _____
13:00～14:00：教室 術前診察①（スタッフ） 14：00～ 自習時間 (与えられたテーマの勉強)	PM 自習時間 (与えられたテーマの勉強) 12:30～13:00：教室 緩和医療講義（緩和チーム） 13:00～13:30：病棟 緩和病棟回診（緩和チーム）
サイン _____	サイン _____
	7:45～8:00：麻酔科控室 症例③のプレゼンテーション 8:00～9:30：手術室内 麻酔症例③（教授） 9:30～10:30：外科病棟 術前診察④（スタッフ） 術後回診②（スタッフ） 11:00～11:30：教室 発表スライドプラッシュアップ 総合テスト（スタッフ）
	サイン _____

補足1：最終日にプレゼンする内容は、月曜日のオリエンテーション時に提示する。

補足2：火～金曜日に経験する麻酔症例は、各担当学生がそれぞれ分担し、プレゼンや医療行為の中心となる。

補足3：5年生CCでは主に、術前診察・麻酔の導入・術後回診を繰り返すが、6年の選択CCでは麻酔からの覚醒を含む全過程ながらの教育関連病院での実習を中心とする。機会を見て6年選択CC説明会を行ふので、是非参加してほしい。

全科共通学生用指導体制評価表

配属先

学籍番号 : M

学生氏名 :

配属先実習期間終了後、すみやかに学生自身で直接、学務課医学部教務係(内線****)に提出してください。

次の質問の答えに該当する番号を選んで○で囲んで下さい。



1. オリエンテーションの説明内容について

- 初めに臨床実習で習得すべき項目が説明された。
- 初めに臨床実習で自分に与えられる診療上の役割が説明された。
- 初めに臨床実習の評価の基準やその方法が説明された。



2. 症例から学習する機会について

- 病歴聴取の機会が与えられた。
- 身体診察の機会が与えられた。
- 診療録を学習する機会が与えられた。
- 学生用電子カルテ(医学生記録)に記載する機会が与えられた。
- 学生に許された医療手技を行う機会が与えられた。



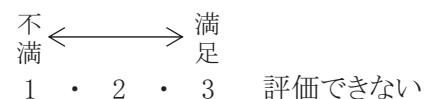
3. 指導医師からのフィードバックについて

- 指導医師から、技能、知識、態度に関するフィードバックがあった。



4. 医療チーム間の人間関係対応について

- 指導医師は相談しやすかった。



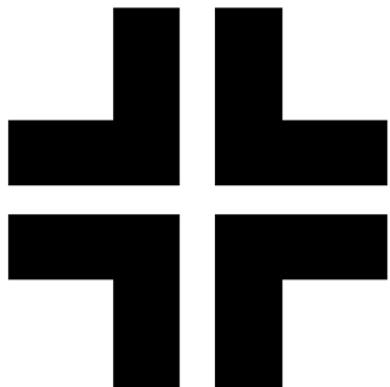
5. 指導体制総括

- 総じて自分の接した指導医師の指導・監督は適切だった。

6. その他

- 今回の配属先で行った臨床実習について、①良かった点、②改善すべき点、③カリキュラムへの提言の3点について意見を聞かせて下さい。

☞ 札幌医科大学麻酔科での臨床実習



当科の臨床実習は、「臨床の現場で医療チームの一員として臨床医の指導の下に実践医療を学び、許された範囲で医行為も行える臨床実習」(クリニカルクラークシップ)に基づいて行われます。簡単に言えば臨床医にくつづいて手伝いながら臨床現場を自分の五感で体験するというものです。

第5学年の臨床実習は2~3名で5日間研修します。第6学年の臨床実習は4週間です。担当医とともに手術患者さんの術前診察、麻酔計画、麻酔管理、術後回診を行います。麻酔科医として働くスタイルを経験してください。その実習内容は、患者の全身管理、呼吸・循環障害への緊急対応、心肺停止に対する蘇生術など、医療の基本技術が含まれています。二次救命訓練用のシミュレータを用いた実習や各種の内容をまんべんなく学習できるようなカリキュラムも工夫しています。また、手術の麻酔にとどまらず、麻酔科の多岐にわたる業務（ペインクリニック・緩和医療・集中治療・救急など）を体験し、麻酔科という仕事を将来の選択肢として考えてみる機会にしてはどうだろうか。

☞ 実習を成功させるためのポイント

麻酔科学は別名“侵襲制御学”と言われます。実習に含まれる医療行為は秒を争う手技であることが多いことから、基礎知識を前もって正確に把握しておく必要があります。

☞ 麻酔前診察

手術の前日の夕方、担当医とともに行き、次のポイントを学んでください。

1. 理学所見、臨床検査データの評価をもとに、患者と手術に適した麻酔法の選択
2. 限られた時間の中で、患者との心の意思の疎通を図り得る面接・対話の技術
3. 絶飲食の指示、麻酔前投薬の決定

翌朝7:45からのカンファレンスで簡潔に症例のプレゼンテーションができるように準備しましょう。実習の承諾書がとれたかどうかチェックしてください。

☞ 麻酔

8:15に患者さんが入室します。

麻酔に必要な準備をその後に行います。簡単な流れは事前に把握しておきましょう。

ここで、実技を含めた麻酔管理を学んだ後、10分程度の講義や手技の確認などの補足を行うことがあります。

☞ 術後回診

担当した患者さんを訪問し、術後患者の経過について学びましょう。

☞ ペインクリニック、緩和医療

痛みの症状の緩和だけでなく、その背景にまで立ち入った医療が求められていることを知りましょう。

実習内容を補足する講義を行う場合があります。

※実習を補足する講義(内容は10分程度)

1. モニタリング
2. 術前訪問のポイント
3. 吸入麻酔薬
4. 静脈麻酔薬
5. 局所麻酔薬と伝達麻酔
6. 硬膜外麻酔と脊髄くも膜下麻酔
7. 筋弛緩薬
8. 抜管と退室のタイミング
9. 術後回診と術後管理
10. 麻酔と循環生理
11. 麻酔と呼吸機能、呼吸管理



・・・症例に応じて・・・

合併症を有する患者の麻酔（虚血性心疾患、高血圧症、糖尿病、など）

特殊疾患を有する患者の麻酔

挿管困難症、産科麻酔、小児麻酔など

・・・必要に応じて・・・

経食道心エコー

気管支ファイバー

各種シミュレータを用いた実習（ACLSなど）



実習期間は日々の麻酔症例をいっしょに担当する担当医以外に、大学院生が相談役として各人に一人つきます。遠慮なく何でも質問してください。他の医療スタッフの人たちともコミュニケーションを取りましょう。また、手渡された資料、麻酔記録、メモなどは、すべてファイルしておきましょう（実習ポートフォリオ）。これが、実習成功のために必要な<ふりかえり>の素材となります。

☞ポートフォリオの作成

麻酔科の実習は、その性格からして偶然性が関与しやすく、経験する麻酔症例や手技などにはばらつきが出ます。したがって、実習の目標に到達するためには、こまめに実習の進行状況を評価し、調整を行う必要があります。また実習課題を評価し、次のステップへの計画を立てることは、実習を成功させるための大切な作業です。こうしたアセスメントの方法としてポートフォリオがあります。



☞どうしてポートフォリオを作成するのか？

ポートフォリオは、自分の実習を見直して、どこがよかったのか？もっとよくするためにはどうしたらいいのか？を考えるためにあるものです。これを＜ふりかえり＞といいます。＜ふりかえり＞を繰り返すことで自分のことがよくわかるようになります。また、ふりかえりが有効にできない場合、将来医師として成長する際の大きな制限になります。

☞ポートフォリオの方法

カンファレンスの資料、麻酔記録、手技を経験した時のメモ、同僚や担当医とのディスカッション、毎日の日記や興味深い所見、印象の残った出来事など、実習中の経験を証明するものは何でもファイルしてください。

☞自分の実習を見つめていこう

ファイルした資料について、「どうしてこれをファイルしたのか」「よくがんばったところ」「自信がもてるようになったところ」「改善したいところ」などを考えて、できればコメントを書き入れてください。

☞ファイルは金曜カンファレンスの前に整理しよう

ポートフォリオをもとにして、実習グループで一週間の実習における自分の考えなどを話し合ってもらいます。その際、担当医や指導医からの評価やフィードバックを聞いてください。

実習後アンケート

この質問は今後の麻酔科実習の改善を目的としています。指導の質を知り、教室員にフィードバックするためのものです。ご協力を願いします。

学 生 氏 名 :

指導医氏名 :

✓チェックしてください。

1 : そのとおり 2 : まあまあ 3 : ふつう 4 : そうとはいえない 5 : まったくちがう

	1	2	3	4	5
麻酔科は好意的だった					
指導医は熱心に教えてくれた					
指導の時間は十分だった					
調べ物をする時間は十分与えられた					
様々な麻酔上の問題例を見学できた					
行った手技の数は十分だった					
患者と話し合う時間が十分あった					

«次のことが学べた»

	1	2	3	4	5
麻酔科医の日常と手術室の業務機構					
手術患者のマネジメント					
合併症を有する患者のマネジメント					
ペインクリニック外来を訪れる患者への理解					

«次の技能が身についた»

	1	2	3	4	5
問診					
静脈路確保					
気道確保					
マスク換気					
挿管					
用手人工呼吸					
循環・呼吸の制御					
蘇生術					

ご協力ありがとうございました。

チェックリスト

<input checked="" type="checkbox"/>	《手術前診察》	摘要
	手術前患者の問診 (レベル1)	
	病歴・麻醉歴聴取	
	理学所見をとる (レベル1)	
	視診、触診	
	ブロックを行う部位の視診、触診	
	臨床検査データの評価 (レベル1)	
	手術と患者に適する麻酔法の選択 (レベル2)	
	患者への麻醉前準備の説明、麻醉法の説明(レベル2)	
	麻醉前投薬の決定 (レベル3)	

<input checked="" type="checkbox"/>	《麻酔中の全身管理》	摘要
	モニター装着 (レベル1)	
	麻酔に必要な処置 (レベル1)	
	患者搬送	
	静脈内カテーテル刺入	
	心電図装着	
	血圧計装着	
	パルスオキシメータ装着	
	筋弛緩モニター装着 (レベル2)	
	滅菌医療器材準備 (レベル2)	
	動脈内カテーテル刺入 (レベル3)	
	中心静脈カテーテル刺入 (レベル3)	
	全身管理法の理解 (レベル2)	
	輸液管理	
	観血的動脈圧測定	
	全身状態の変化に対する対処 (レベル3)	
	静脈内への薬液注入	

✓	《全身麻酔法》	摘要
	気道確保、気管挿管 (レベル 1)	
	マスクによる気道確保	
	エアウェイによる気道確保	
	換気バックを用いた人工呼吸	
	術中バイタルサインの評価	
	麻酔記録作成	
	気管挿管 (レベル 3)	
	気管チューブ抜管 (レベル 2)	
	ラリンジアルマスク挿入 (レベル 2)	
	全身麻酔法について理解する (レベル 2)	
	ラリンジアルマスクによる気道 確保	
	全身麻酔に関係する知識の理解 (レベル 3)	
	麻酔器の始業点検 (レベル 1)	

<input checked="" type="checkbox"/>	《局所麻酔法》	摘要
	局所麻酔薬の種類、局所麻酔法の種類、局所麻酔薬の危険性の理解（レベル1）	
	皮下への局所麻酔薬の注入（レベル1）	
	脊髄くも膜下麻酔、硬膜外麻酔の内容、適応、合併症の理解（レベル2）	
	脊髄くも膜下麻酔を行う（レベル2）	
	腕神経叢ブロック、閉鎖神経ブロック、その他の神経ブロックを行う（レベル3）	

<input checked="" type="checkbox"/>	《疼痛管理・ペインクリニック》	摘要
	鎮痛法の種類と選択法について理解する（レベル1）	
	局所麻酔を実施する（レベル1）	
	硬膜外麻酔の見学（レベル2）	
	星状神経節ブロックを受けた患者の診察、効果確認（レベル2）	
	鎮痛薬、神経ブロック以外の鎮痛法を見学（レベル3）	
	慢性疼痛の疼痛管理について問診を見学する（レベル3）	

<input checked="" type="checkbox"/>	《蘇生法》	摘要
	蘇生の基本手技を取得する（レベル1）	
	気道確保	
	人工呼吸	
	心マッサージ	

教育麻醉科講義ノート

第1版	平成	6年	6月	6日
第2版	平成	8年	1月	15日
第3版	平成	8年	12月	12日
第4版	平成	9年	12月	12日
第5版	平成	11年	10月	10日
第6版	平成	14年	11月	11日
第7版	平成	15年	9月	30日
第8版	平成	17年	4月	15日
第9版	平成	18年	4月	5日
第10版	平成	19年	3月	30日
第11版	平成	20年	3月	31日
第12版	平成	21年	3月	31日
第13版	平成	22年	3月	31日
第14版	平成	23年	3月	31日
第15版	平成	24年	9月	15日
第16版	平成	25年	9月	25日
第17版	平成	26年	9月	25日
第18版	平成	27年	9月	25日
第19版	平成	28年	9月	20日
第20版	平成	29年	3月	8日
第21版	平成	30年	3月	1日
第22版	平成	31年	2月	28日
第23版	令和	2年	3月	1日
第24版	令和	3年	3月	1日

編集発行 札幌医科大学医学部麻酔科
〒 060-8543 札幌市中央区南1条西16丁目
電話：011-611-2111（内線 35680）
ファックス：011-631-9683
電子メール：naohirata@mac.com
編集担当 平田直之