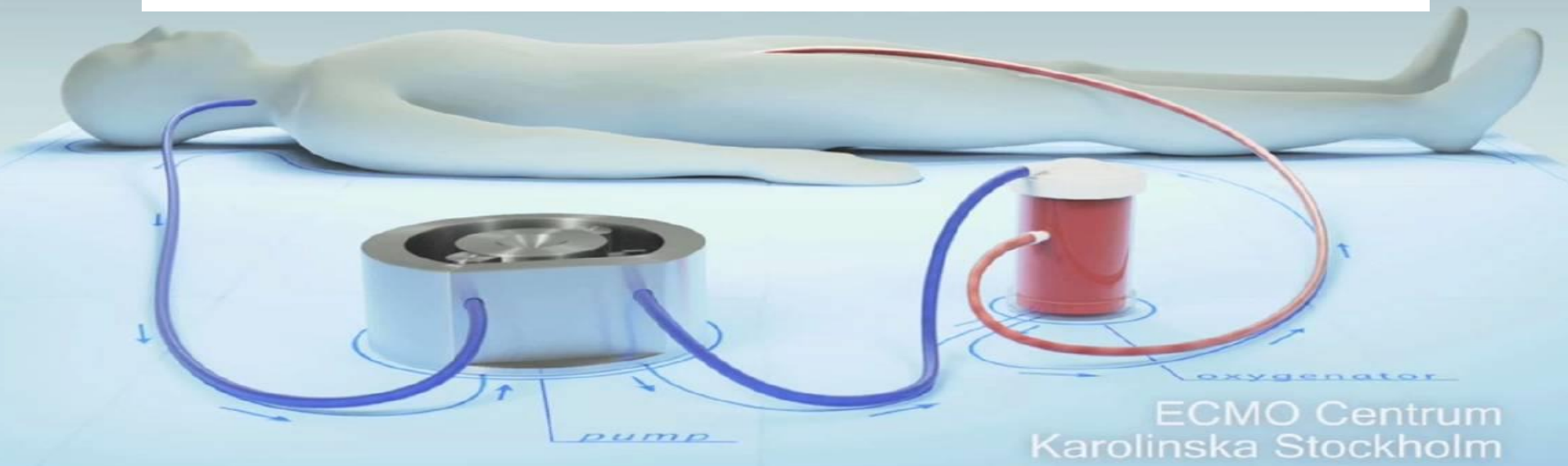




(1) ECMOの基本


KAROLINSKA
University Hospital

— ecmo —
ECMO Centrum KS



ECMOの目的

組織全体の呼吸を維持すること



(好気性生物の)
最も基本的なエネルギー源の獲得

酸素需要量

- Infant(<1y/o): 5-8ml/kg/min
- Child(1-14y/o): 4-6ml/kg/min
- Adult(>15y/o): 3-5ml/kg/min

酸素供給量

$$C_{xO_2}(\text{ml/dL}) = S_{xO_2} \times 1.36 \times \text{Hb} (\text{g/dL}) \\ + 0.003(\text{ml/mmHg} \cdot \text{dL}) \times P_{aO_2}$$

酸素供給量(ml/min)

$$= (C_{aO_2} - C_{vO_2}) \times CO (\text{L/min}) \times 10 \\ \doteq (S_{aO_2} - S_{vO_2}) \times 1.36 \times \text{Hb} \times CO \times 10$$

C_{xO_2} : 血液内の酸素量

S_{xO_2} : 酸素飽和度

a: 動脈血 v: 静脈血 pre: 脱血回路 post: 送血回路

成人の場合

- 40歳男性
- 体重: 60kg (対表面積 1.68m²)
- 酸素消費量: 210ml/min
- Hb 14g/dL
- CO 5L/min(安静時)

210ml/min

$$= (\text{SaO}_2 - \text{SvO}_2) \times 14 \times 5 \times 10$$

$$\text{SaO}_2 - \text{SvO}_2 = 0.30$$

通常であれば、

$$\text{SaO}_2 \doteq 100\%, \text{SvO}_2 \doteq 70\%$$

肺炎となり、肺機能が高度に障害したと仮定

→ V-V ECMOで呼吸補助する場合には、

V-V ECMO

「酸素需要量

= ECMOですべて酸素供給する」場合

$$\begin{aligned} & (\text{SpostO}_2 - \text{SpreO}_2) \times 1.36 \times \text{Hb} \times \text{ECMO flow} \times 10 \\ &= (1 - \text{SpreO}_2) \times 1.36 \times 14 \times \text{ECMO flow} \times 10 \\ &= 210(\text{一定}) \end{aligned}$$

$$(1 - \text{SpreO}_2) \times \text{ECMO flow} = 1.10$$

$$\rightarrow \text{ECMO flow} = 4\text{L/min} : \text{SpreO}_2 = 73\%$$

Recirculation

R (recirculation ratio)

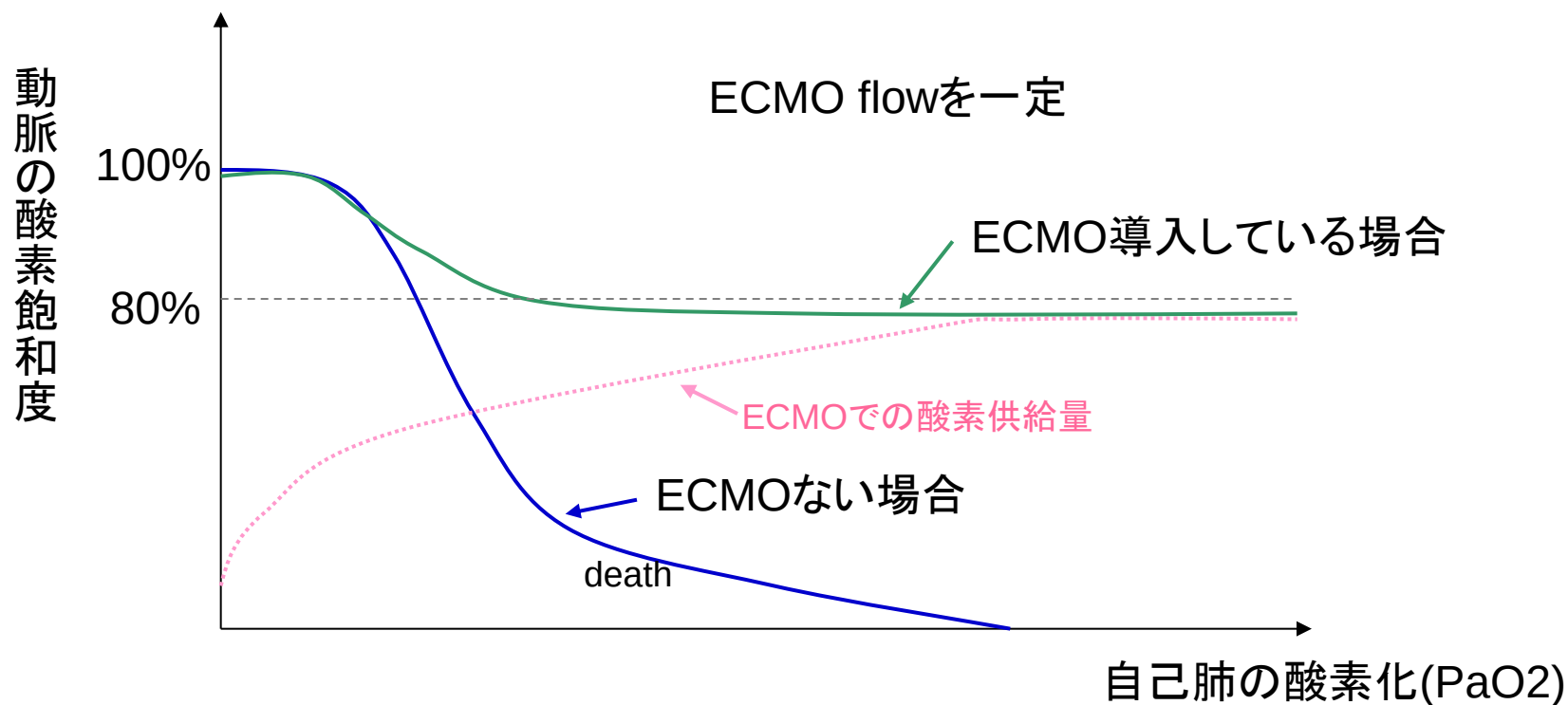
$$= (\text{SpreO2} - \text{SvO2}) / (\text{SpostO2} - \text{SvO2})$$

$$\doteq 0.3 \sim 0.5$$

- R↑の原因 ECMO flow↑に伴ってR↑
 - ①カテーテル位置不良
 - ②心拍出量低下
- $\text{SvO2} = (\text{SpreO2} - R) / (1 - R)$
 - R=0.3とすると SvO2=61% SaO2=91%
 - R=0.5とすると SvO2=46% SaO2=76%

酸素供給量

$$= \text{O2suppl(ECMO)} + \text{O2suppl(自己肺)}$$



V-V ECMOの目標値

- $\text{SpreO}_2 > 70\%$
- $\text{SaO}_2 > 80\%$
- ECMO flow 4L/min (60kg時)

CO↓

- 右心不全(肺高血圧症)
- 左心不全
- 不整脈

徴候

- ①尿量低下 ②Lactate上昇
③心エコーでTRPG↑ 右室拡大

対処

V-A ECMO
(drug is not so effective)

V-A ECMO

- $R=0$ $S_{preO_2} \doteq S_{vO_2}$

- 上記の患者で計算

「酸素需要量

= ECMOですべて酸素供給する」と仮定

$$(1 - S_{preO_2}) \times ECMO_{flow} = 1.10$$

$S_{vO_2} = 70\%$ で管理するには、 $ECMO \text{ flow} = 3.7 \text{ L/min}$
でOKのはず

問題点

- 酸素化された血液のDistributionのムラ
鼠径部から穿刺 右房一脱血
鼠径部送血
→十分なECMO flow出ない場合
脱血管の近部の孔からしか脱血されず、
(自己肺が十分に機能しない場合に)
上肢の $SaO_2 < SpO_2$ となる場合がある。
- 対処 右内頸静脈から脱血管を挿入・flowをやや高めにする。
(鎖骨下や腋窩動脈からの送血は勧められない
bleedingや感染の問題)

V-A ECMOの目標値

- SpreO2 > 65%
- SaO2(右上肢) > 70%
- ECMO flow 4L/min (60kg時)

- 酸素消費量を基に、必要なECMO flowを計算する。
- COが十分か常に念頭をおく必要がある
- V-A ECMOの場合、酸素化された血液のDistributionのムラに注意する必要がある。

ECMO本体

脱血サイド回路

送血サイド回路

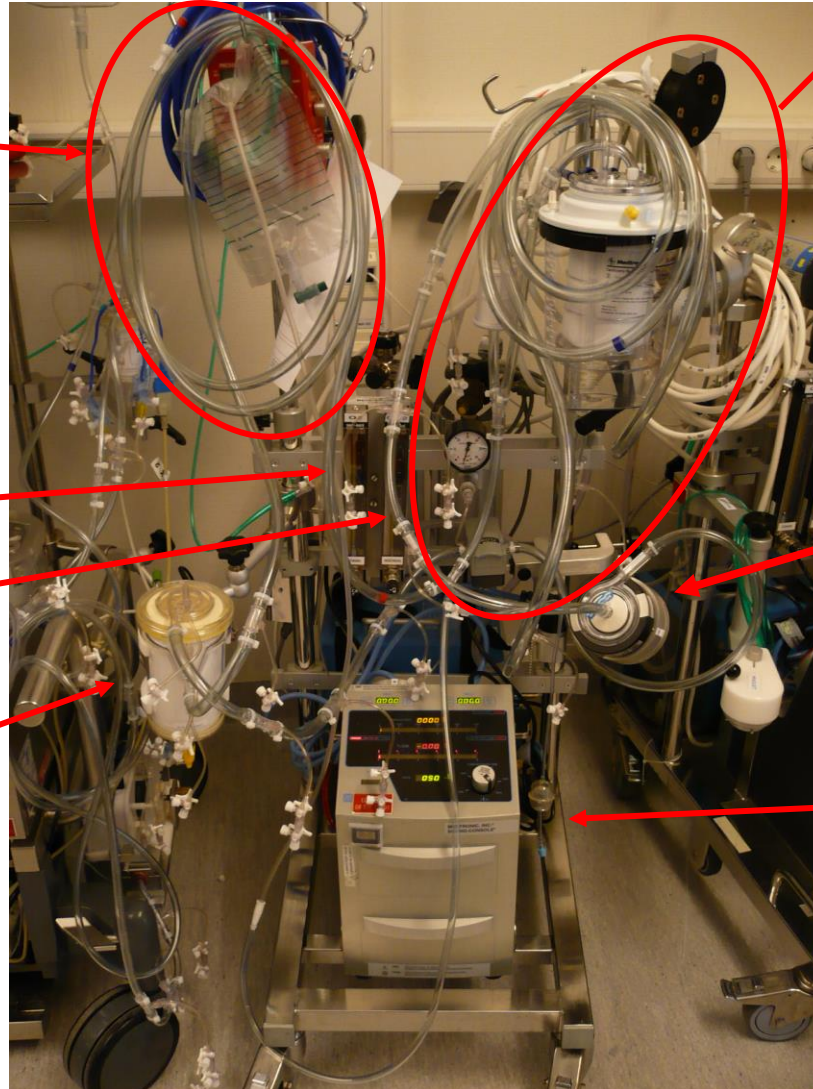
O₂

CO₂

人工肺

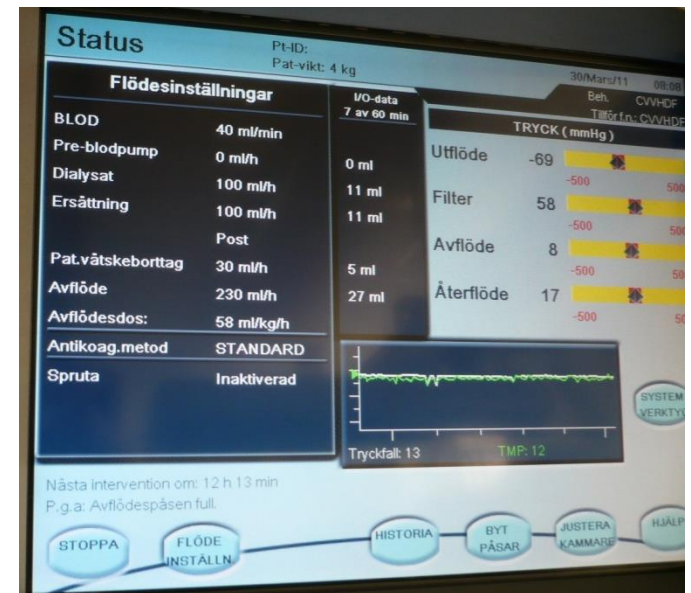
遠心ポンプ

ポンプ前の圧センサー



CHDF

- 脱血回路に接続
(場合によっては、人工肺から脱血し、脱血回路に脱血することもある)
- HVCHFを併用



回路内圧モニタ

- P1・・・ポンプの前（bladderの後）
- P2・・・ポンプと人工肺の間
- P3・・・人工肺のすぐ後
- P4・・・O2とCO2のコネクタ

P1>-20mmHg

P3-P2<50mmHg

P3<300mmHg

P4>5mmHg (airが止まるとアラーム)

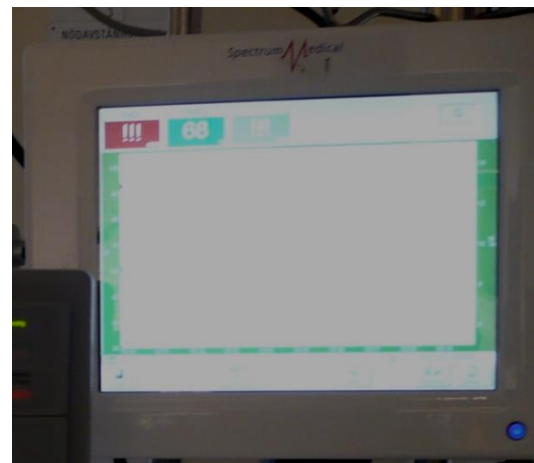


ACT

- ヘパリン持続iv
- ポンプ直前のひげから直接脱血回路内へ
- 200－250sec
- はじめは毎時間チェック
→落ち着けば、2,3時間に1回程度

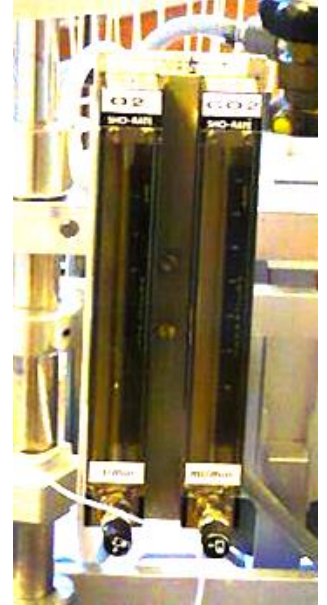
脱血側と送血側のSpO₂測定

- 脱血側 SpreO2 >65-70%を目安に
- 送血側 SpostO2は常に100%



人工肺への送気

- O_2 と CO_2 のみ
(ブレンダーでのAirの送気はなし)
- O_2 は、ECMO flowの2倍程度
(ECMO flow 4Lであれば、 O_2 8L程度。厳密ではない。)
- CO_2 濃度は、5%以下になるように
(O_2 8L $\rightarrow$ CO_2 400ml/min)
- 送血管内の PaO_2 は高くても(>400mmHg)、気にしない。
- O_2 フラッシュはなし

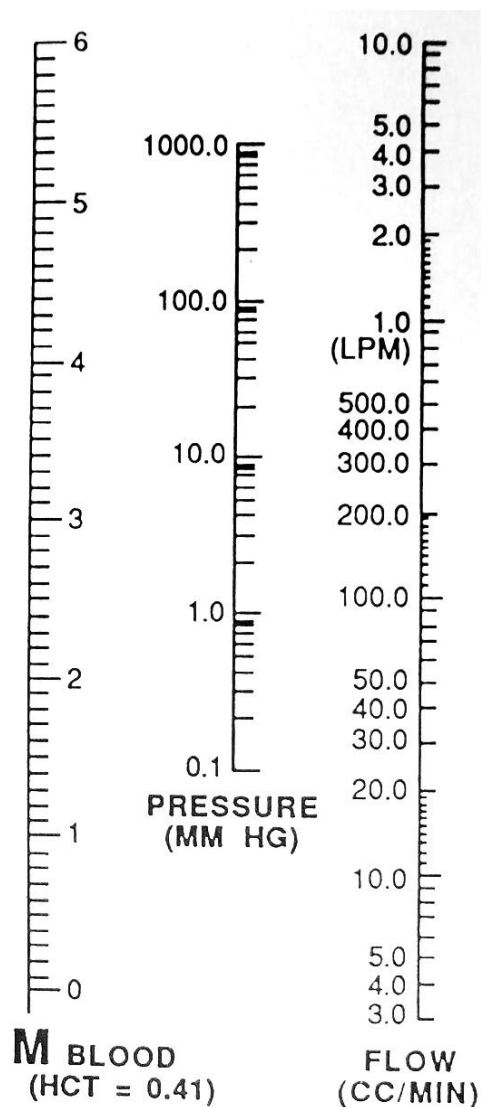


熱交換器

- 熱交換機は38度程度に設定
→回路が長いため、冷める
- 深部体温で37度台で管理



カニューレの選択 = 圧の計算



Veno-venous ECMO

Weight in kg	Cannula	Length	M nr	Typical flow L/min	Theoretical max flow L/min
2-4 kg	12 F	dl	3,62/ 4,62 Jostra 3,87/ 4,66 OriGen	0,35-0,4	1,0
	15 F	dl	3,62/ 4,60 Jostra 3,53/ 4,30 OriGen	0,4-0,6	1,5
4-15 kg	15 F	dl	3,62/ 4,60 Jostra 3,53/ 4,30 OriGen	0,4-0,6	1,5
	18 F	dl	3,36/ 3,76 OriGen	0,6-1,1	2,0
15-20 kg	14 F d/i	10 cm	3,35	0,4-0,8	1,8
	15 F d/i	18 cm	3,30	0,8-1,5	2,0
	15 F d/i	50 cm	3,65		1,3
	17 F d/i	18 cm	3,05	1,5-2,5	2,8
	17 F d/i	50 cm	3,40		1,7
	19 F d/i	18 cm	2,80	2,5-3,5	3,8
	19 F d/i	50 cm	3,15		2,3
	17 F d/i	18 cm	3,05	1,5-2,5	2,8
20-30 kg	17 F d/i	50 cm	3,40		1,7
	19 F d/i	18 cm	2,80	2,5-3,5	3,8
	19 F d/i	50 cm	3,15		2,3
	21 F d/i	18 cm	2,60	3,5-4,5	5,0
	21 F d/i	50 cm	2,90		3,2
	19 F d/i	18 cm	2,80	2,5-3,5	3,8
	19 F d/i	50 cm	3,15		2,3
	21 F d/i	18 cm	2,60	3,5-4,5	5,0
30-50 kg	21 F d/i	50 cm	2,90		3,2
	23 F d/i	25 cm	2,40	4,0-5,0	6,5
	23 F d/i	50 cm	2,65		4,8
	21 F d/i	18 cm	2,60	3,5-4,5	5,0
	21 F d/i	50 cm	2,90		3,2
	23 F d/i	25 cm	2,40	4,0-5,0	6,5
	23 F d/i	50 cm	2,65		4,8
	25 F d/i	50 cm	2,55		5,2
>50 kg	27 F d	50 cm	2,40		6,5
	29 F d	50 cm	2,30		7,0

D= draining, I= infusing, M= Michigan nr= resistance.

カニューレ

体重60kgの成人男性では、

- V-V ECMO

脱血: rt internal jugular vein 23Fr 25cm

送血: femoral vein 19Fr 18cm

- V-A ECMO

脱血: rt internal jugular vein 23Fr 25cm

送血: femoral artery 19Fr 18cm

(17Fr 18cm is permitted for severe PAD pts)

カニューレ挿入は

- No bleeding is most important.
わずかなカットでも、必ず電気メスを使用
(2-3cm程度カット、ペアンで無理に開かない)
- 止血をかならず確認すること



回路交換

- 定期的な回路交換は行わない
- 回路交換を考えるとき
 - Clot
 - 凝固障害(フィブリノーゲンの消耗など)
 - フローに見合ったチューブ径でない、回路を短くしたい、など
 - 時に、infectionのコントロールがつかない時も考慮(経験上、あまり効果はない)

プライミング

- ①生食で回路を満たし、Airを完全に脱く。
- ②25%アルブミン 50mlにて、回路内面をコーティングする。
- ③RCC 6単位、FFP 2単位混合液、回路を満たす。
(RCC:FFP = 3:1)
- ④塩化カルシウム、重炭酸ナトリウム、ヘパリンを加える
→ pH 7.35-7.45
BE ± 5 mmol
ACT >500秒

手技は

- 毎週トレーニング
- 何度も何度もトレーニング
- トラブルシューティングをトレーニング
- ECMOチームは、全員(Ns ME Dr)
トレーニング

ECMO中の呼吸器設定

- No high PEEP
- No high FiO₂
- 呼吸器設定は、もはや重要ではない

セデーション

- DEX 0.1～1.0 μ g/kg/hr (0.4 μ g/kg/hr)
(or クロニジン: 日本にはない)
- 塩酸モルヒネ 0.01～0.04mg/kg/hr
(0.02mg/kg/hr)

→ 覚醒、コンタクトがとれることが重要

(高度の肺水腫時は、deep sedation考慮)

感染対策

- 必ずエプロン着用
- 吸痰時：手袋 マスク ゴーグル着用
- 創部処置：手袋 マスク 帽子

あとは通常のICU管理と同じ

- 十分な栄養
- 胃潰瘍予防 腸管を動かす薬物使用
- 血糖コントロール

ECMOの適応

(カロリンスカ大学ECMOセンターでは)

簡単に言えば、

- PEEP 15cmH₂Oで、 P/F 80以下
- 徐々に悪くなっている

Contra-indication

高齢 (75歳以上)

離脱できる可能性がない。

– 間質性肺炎 (ECMOより、肺移植を考慮)

骨髄移植後の白血病 → ECMOでも予後不良

ただし、重症肺炎から肺の線維化を伴ってくるケース

いわゆる肺線維症とは異なるとの認識

ECMO離脱困難と判断された時点から、肺移植を考慮。

成績はそれほど悪くないか??

