

## (2) ECMOの原理



# ECMO



私たちは、どこに  
向かっていくべきか？

**「ECMO？**

**なんでそんなの入れるのか？**

**どちらにせよ、その患者は死ぬ！」**

2004年（研修医1年目）



**「人工呼吸器でも、呼吸ができなくなった患者に、ECMOを入れるという発想はない！」**

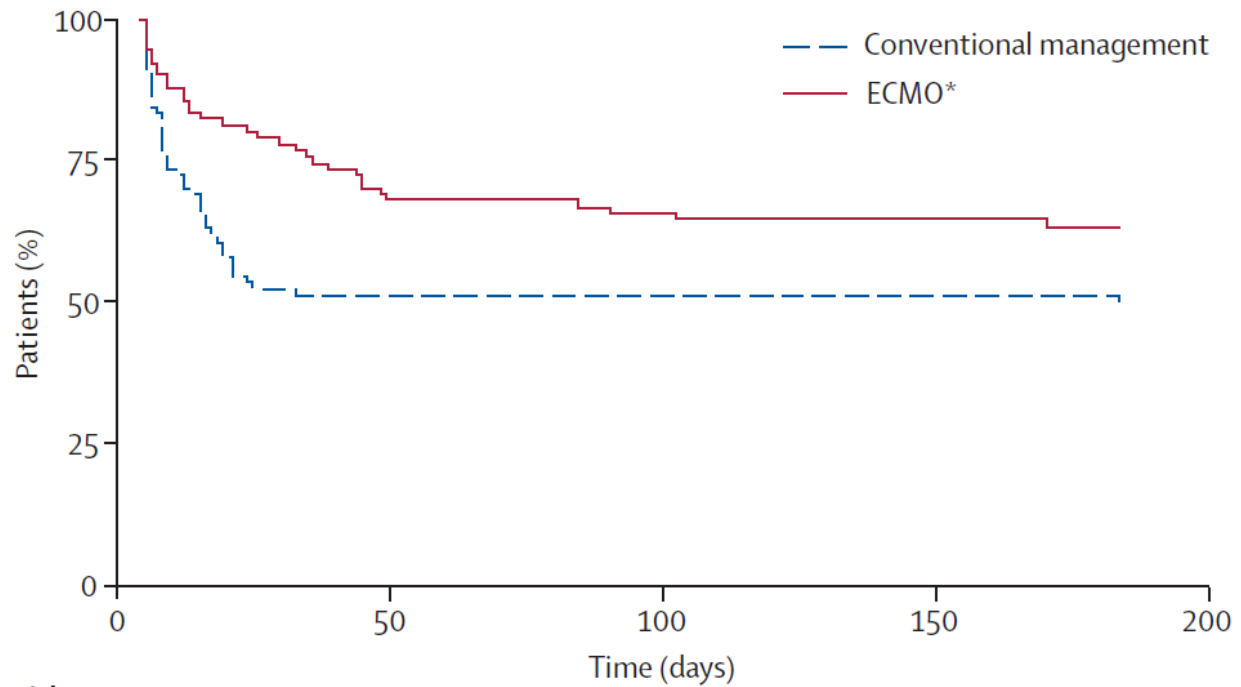
2008年(専修医3年目)



**重症のARDSの治療として、ECMO  
を考慮すべきである。**

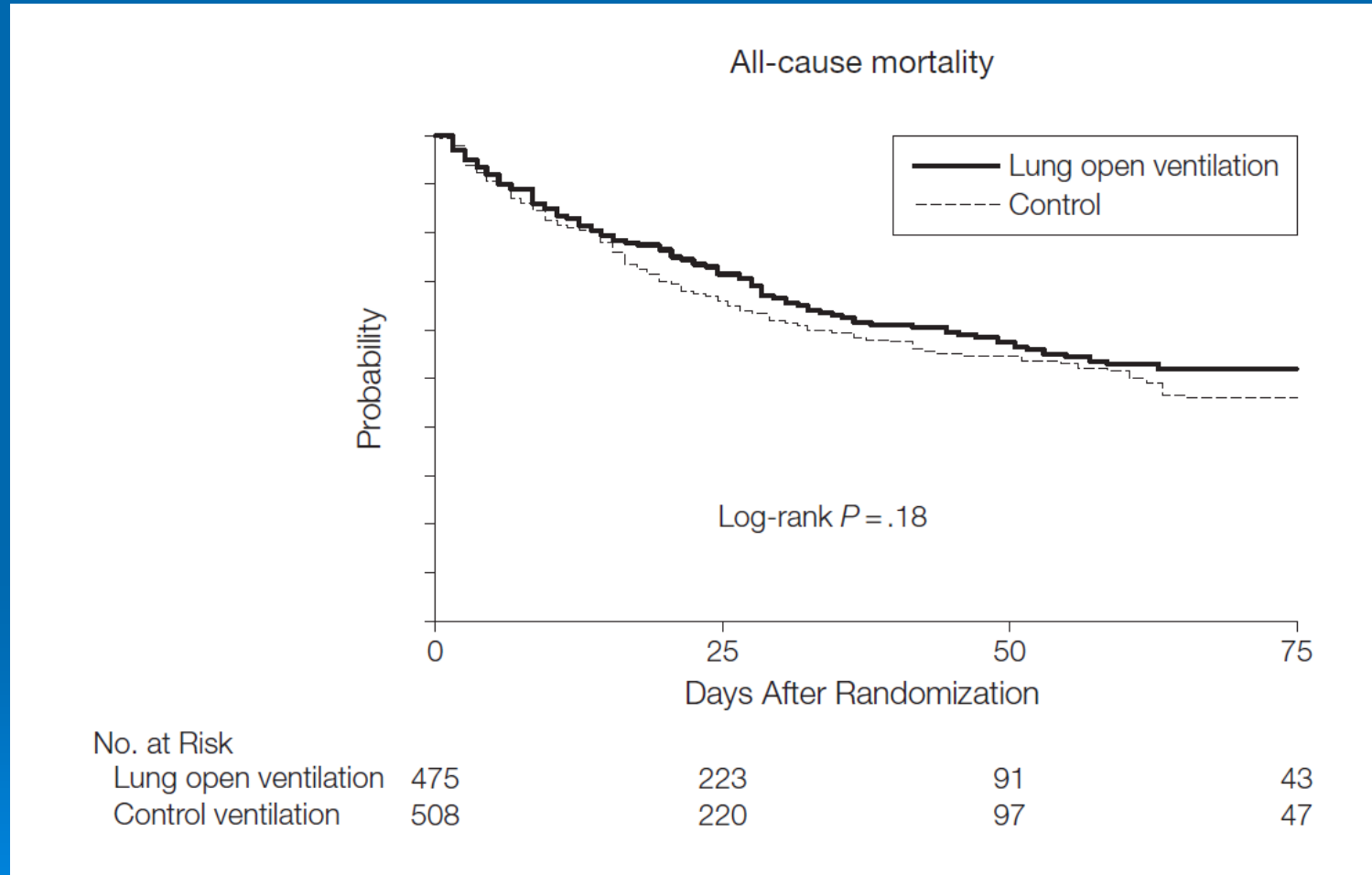
2011年 6月 日本呼吸療法医学会

# CESAR



Patients at risk		Time (days)			
Conventional management	90	45	44	44	0
ECMO*	90	61	59	58	0

# Open Lung Ventilation Study



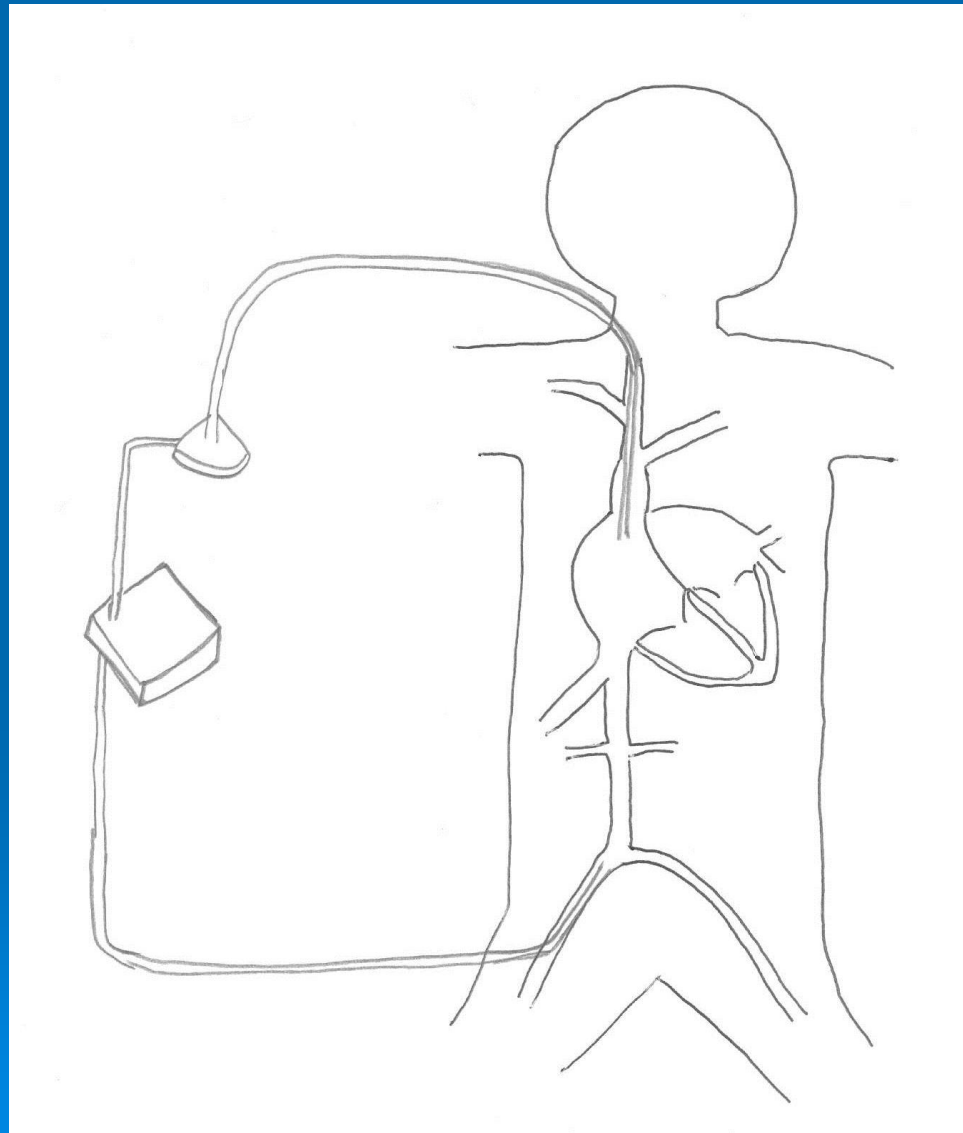
Meade MO. Open Lung Ventilation Study JAMA. 2008 ;299:637-45.

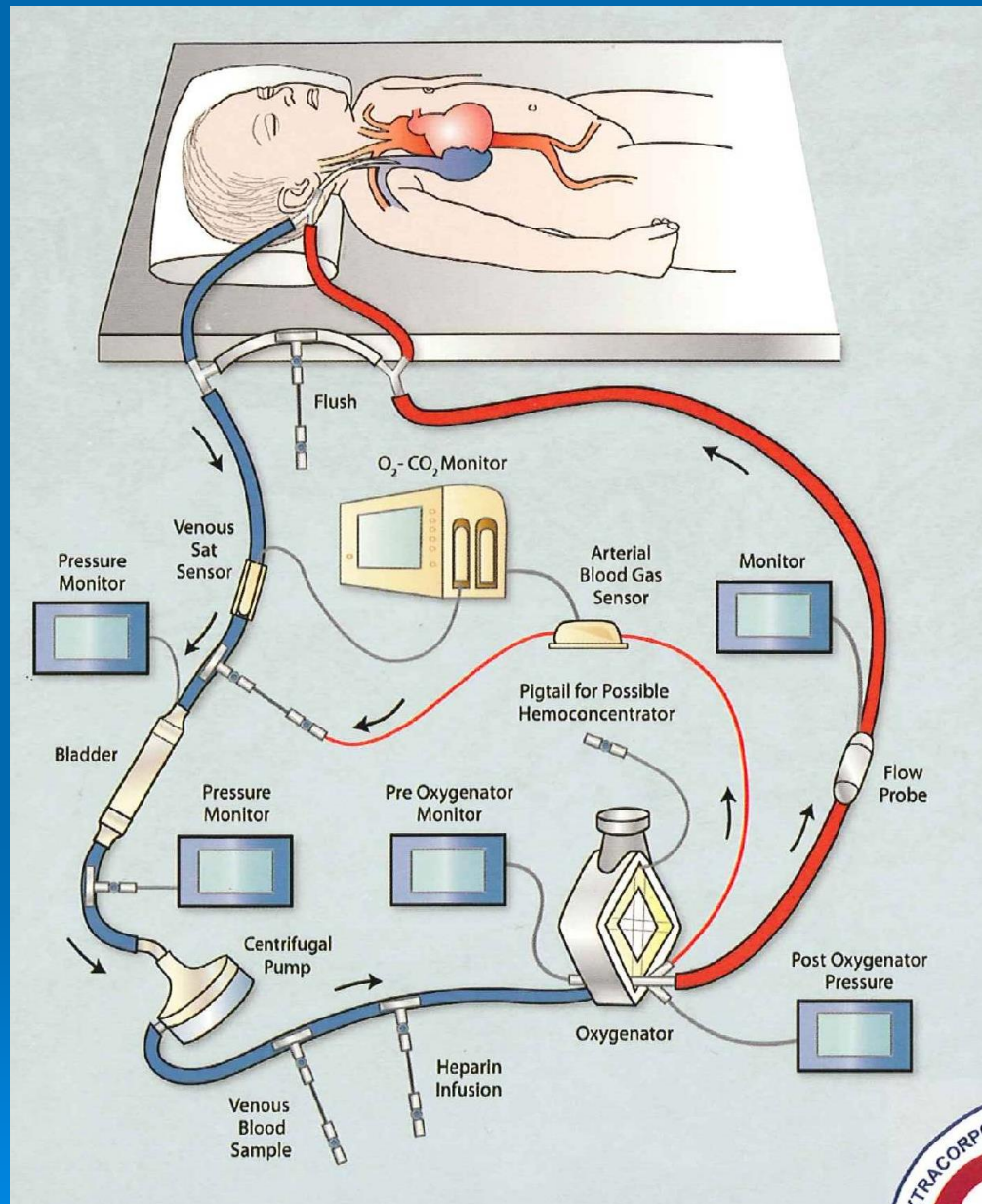
# アウトライン

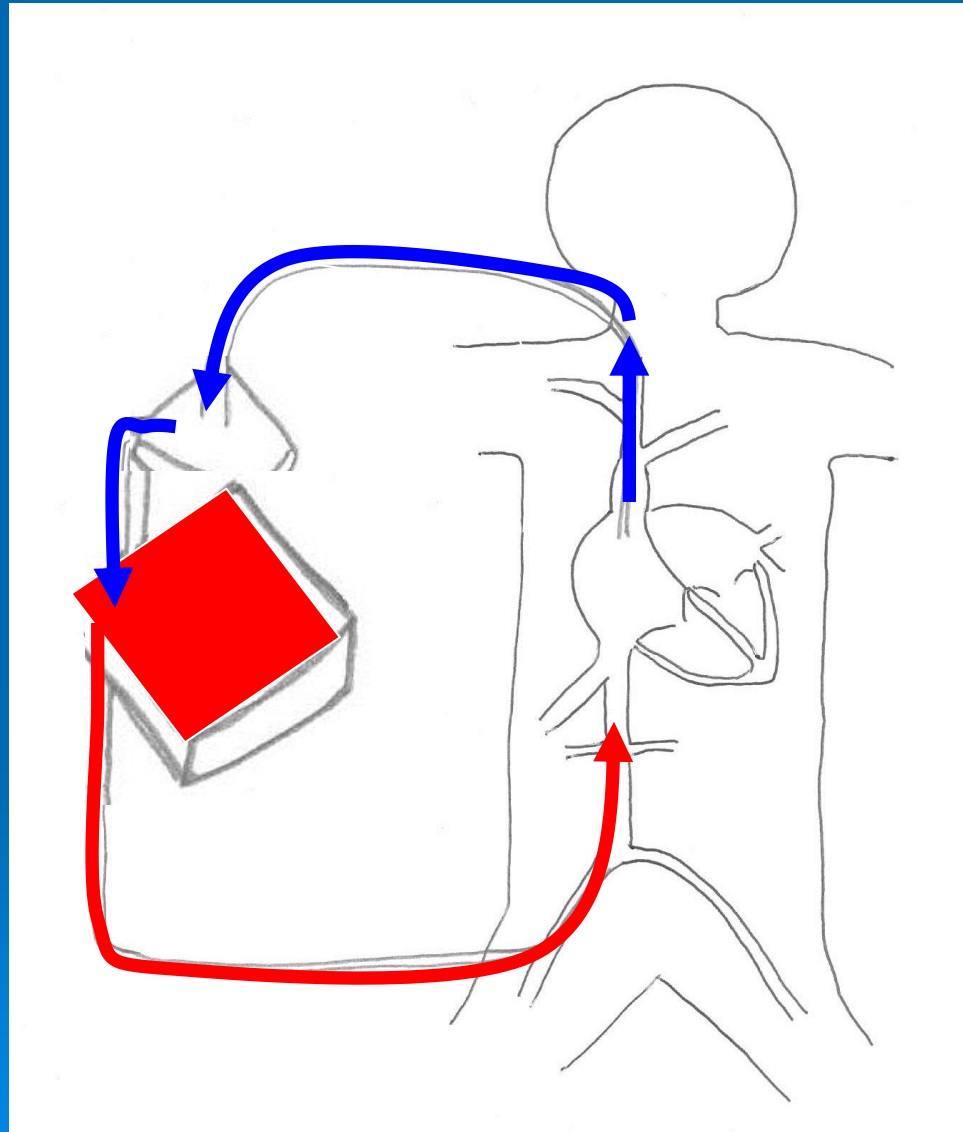
- ECMOって何？
- 適応
- 呼吸不全に対するECMOの考え方
- 使用する機器
- モニタリング
- 質問時間

# ECMOって何？

患者から静脈血を取り出し、  
ポンプを使用し、回路へ血液を通して、  
人工肺で酸素化・二酸化炭素を除去した血液を、  
再度、患者の静脈または、動脈へ戻す、  
体外循環を使用した生命維持装置のこと









# 適応

## ➤ 適応(CESAR)

マレイスコア\* > 3, P/F比<80mmHg

人工呼吸管理日数 < 7日

年齢 <65

可逆性の肺であること！

## ➤ 結果

- ECMO

63%(CESAR), 53%(ELSO), 77%(ANZ H1N1)

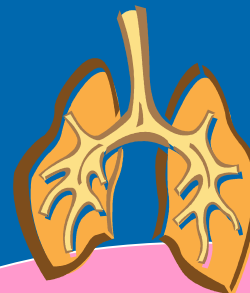
- 呼吸管理のみ

43%(CESAR), 42%(Open Lung Ventilation Study, P/F<104)

# 呼吸不全に対するECMOの考え方



酸素消費



酸素供給



# 症例



32歳男性

身長: 167cm

体重: 65kg (推定)

対表面積: 1.73m<sup>2</sup>

生来健康であったが、某年  
某日原因不明の呼吸不全  
にて救急搬送され、挿管・  
人工呼吸管理となった。

# 人工呼吸管理 5日目

PCV

pH 7.2

PEEP 20 cmH<sub>2</sub>O

PaO<sub>2</sub> 40mmHg

吸気圧 40 cmH<sub>2</sub>O

PaCO<sub>2</sub> 60mmHg

FiO<sub>2</sub> 1.0

SpO<sub>2</sub> 70%

呼吸回数 40回

# ECMO(VV)導入しました！

SpO<sub>2</sub>: 70 → 85 に上昇！

PaO<sub>2</sub>: 40 → 55 に上昇！

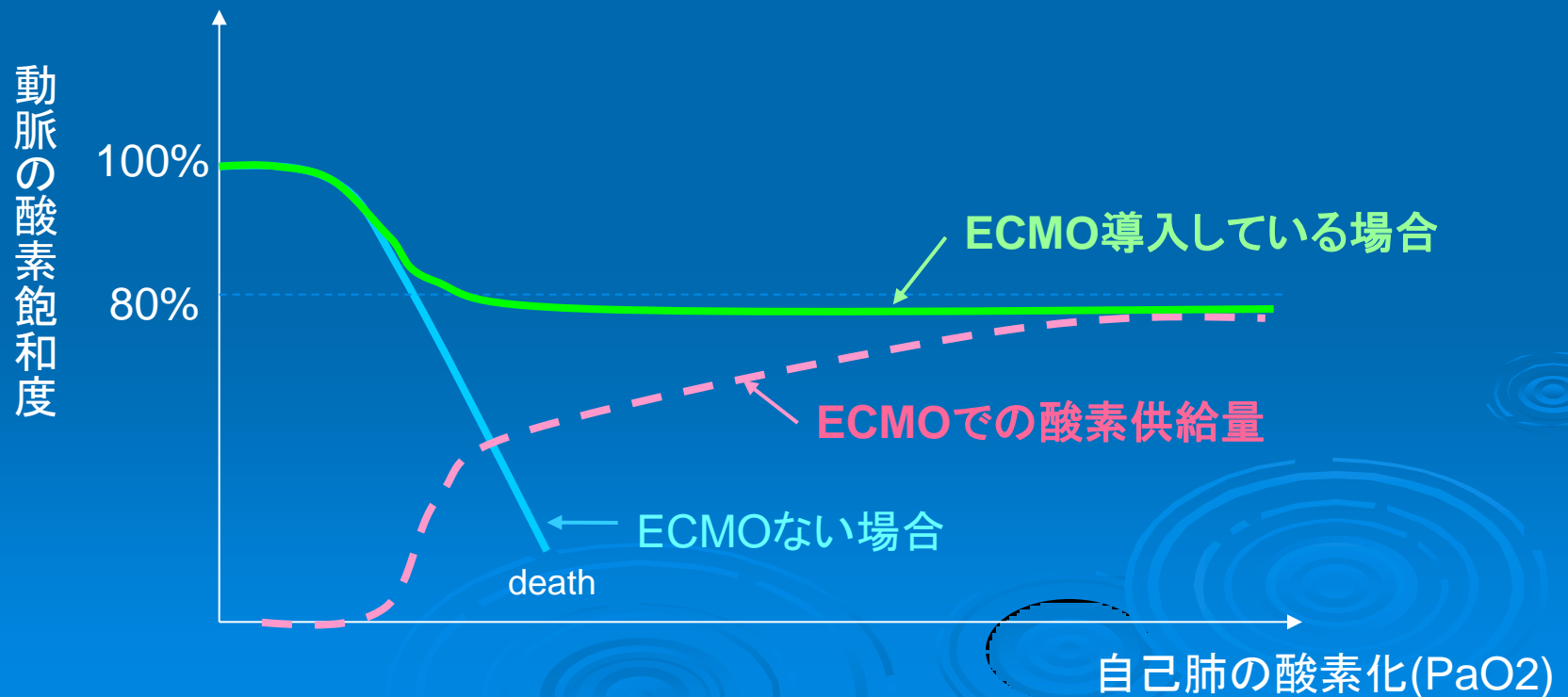
これでいいの？



# ECMOの効率は 脱血した血液の酸素飽和度が低いほど 高まる

ECMOの酸素化能 =

(100% - 脱血した血液の酸素飽和度) × ECMO流量 × Hb



# この患者の酸素バランスは

酸素消費量 = 体表面積 × 120

酸素消費量  
200ml

# この患者の酸素バランスは

$$\text{酸素消費量} = 1.73 \times 120 = 200$$

酸素消費量  
200ml



# この患者の酸素バランスは

酸素供給量 = 心拍出量 × Hb(g/L) × SpO2 × 1.36

酸素消費量  
200ml

# この患者の酸素バランスは

$$\text{酸素供給量} = 5.2 \times 140 \times 1 \times 1.36 = 1000$$

正常時(SpO<sub>2</sub> 100%)の酸素供給量  
1000ml

酸素消費量  
200ml

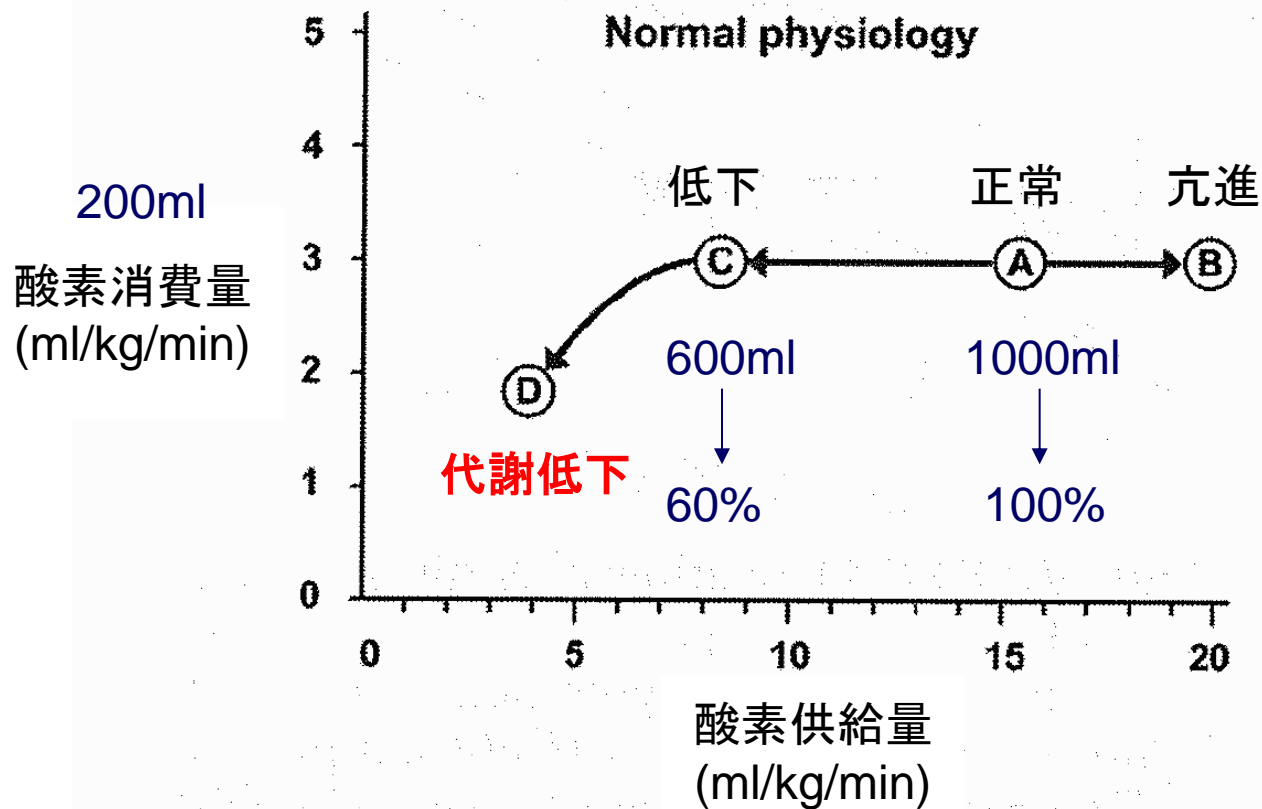
# この患者の酸素バランスは

$$\text{酸素供給量} = 5.2 \times 140 \times 0.7 \times 1.36 = 700$$

SpO2 70%時の酸素供給量  
700ml

酸素消費量  
200ml

# 酸素供給量は酸素消費量の3倍でよい



# 動脈酸素飽和度 70%は許容される

ただし、

- ・心拍出量が正常
- ・貧血がない

であることが前提

# ECMO開始後は Rest Lung 設定

## ECMO開始後

PEEP 5 cmH<sub>2</sub>O

吸気圧 20 cmH<sub>2</sub>O

FiO<sub>2</sub> 0.21

呼吸回数 10回

pH 7.4

PaO<sub>2</sub> 43 mmHg

PaCO<sub>2</sub> 40 mmHg

SpO<sub>2</sub> 75%



➤ ECMO開始前の  $\text{SpO}_2$  70%



➤ ECMO開始後の  $\text{SpO}_2$  75%

この $\text{SpO}_2$ でOK

重要なことは“Rest Lung設定”で  
維持すること！



# ELSOガイドライン

ECMO中の動脈酸素飽和度は通常は80-85%であるが、時に75-80%となることがある。

(中略)

心機能が正常で、ヘモグロビン濃度が正常である限り、この酸素飽和度は通常の全身への酸素供給を維持するのに十分である。

しかしながら、ICUスタッフは90%以下の酸素飽和度では心配になる、そのため、酸素供給についての教育は重要である。

VV ECMO時の”rest設定”から、呼吸器の設定を強くしたり、FiO<sub>2</sub>を上げたりしたくなる気持ちを抑えなければならない。



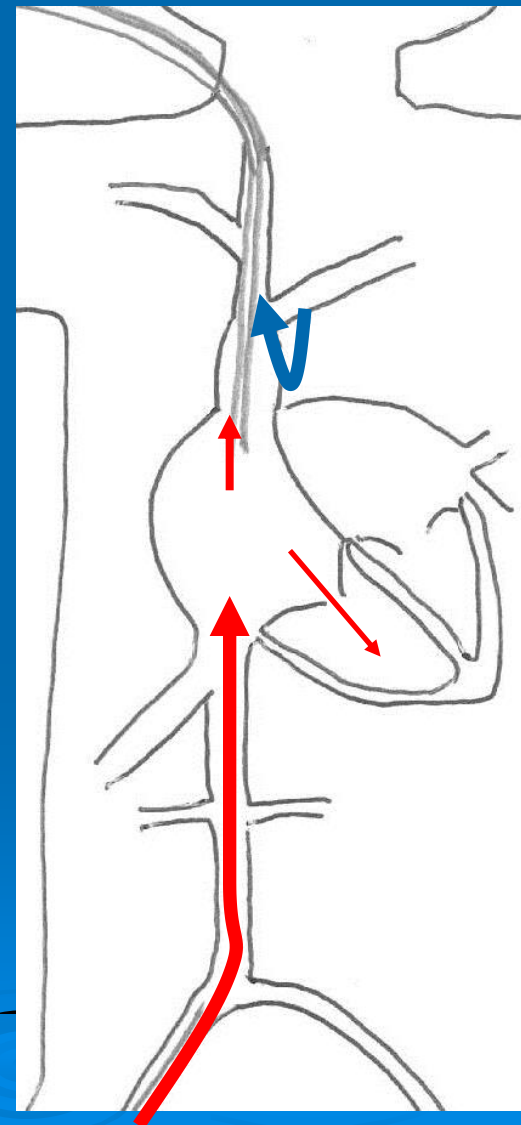
# V-V ECMOの問題点

送血した血液を、また脱血してしまうこと  
“リサーキュレーション”

- ①過剰なECMO流量
- ②カテーテル位置不良
- ③心拍出量低下

脱血Satの目標 65%

75%以上 → 高いリサーキュレーション率を考える



# V-A ECMO

- もし、心拍出量が低下しているのであれば、迷わず V-A ECMOに変更する。
  - ECMO全体の1/3は、V-Aが必要となる
  - V-Aが必要となる病態
    - 肺高血圧症
    - 右心不全
    - 心嚢水貯留
    - 不整脈
    - 血圧低下
- 心エコー、尿量、肝腫大で評価

# V-A ECMOの問題点

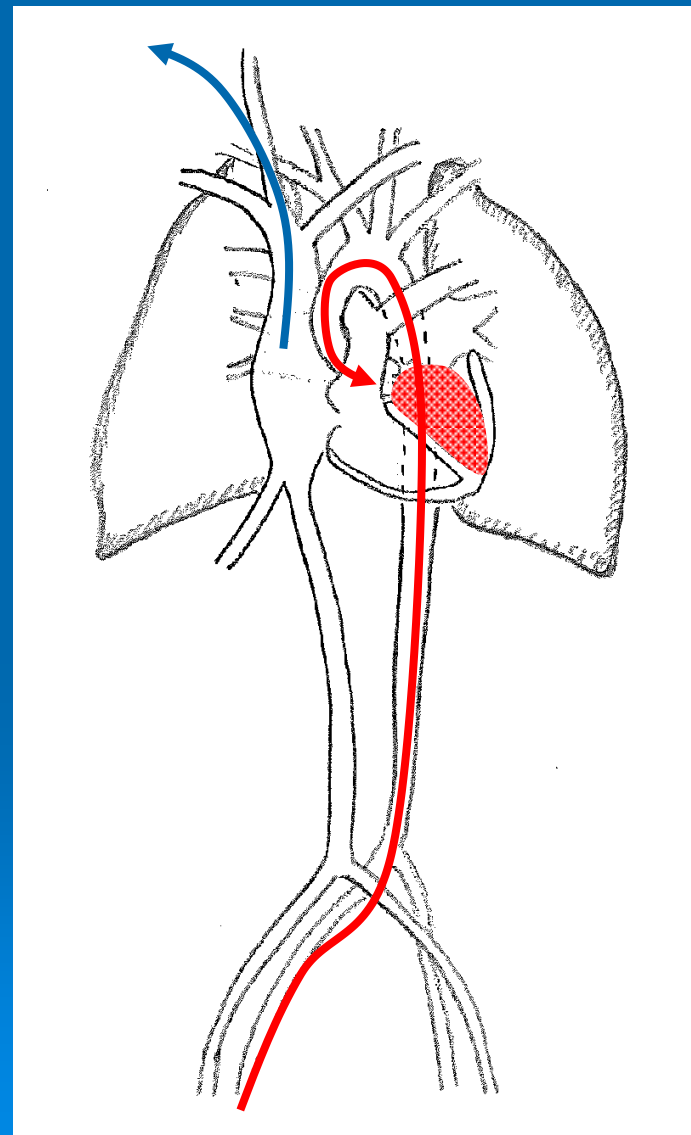
## 左心室の過伸展 (LV distention)

肺うっ血の像悪  
左室内の血栓



- 10mmHg以上の脈圧を維持
- 大動脈弁の開放を維持
- 平均肺動脈圧 <30mmHg

適切な灌流量まで↓  
動脈系の血管拡張剤  
DOB / IABP  
左房脱血 / VAD考慮



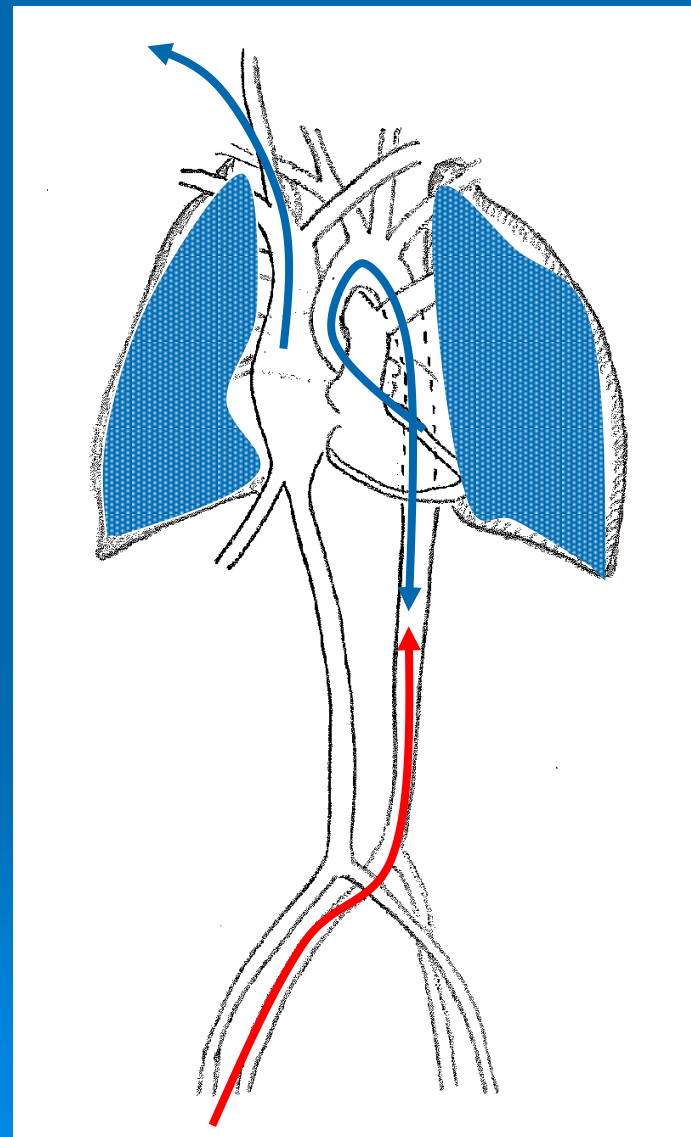
# V-A ECMOの問題点

上半身と下半身のSpO<sub>2</sub>の差  
(differential hypoxia)

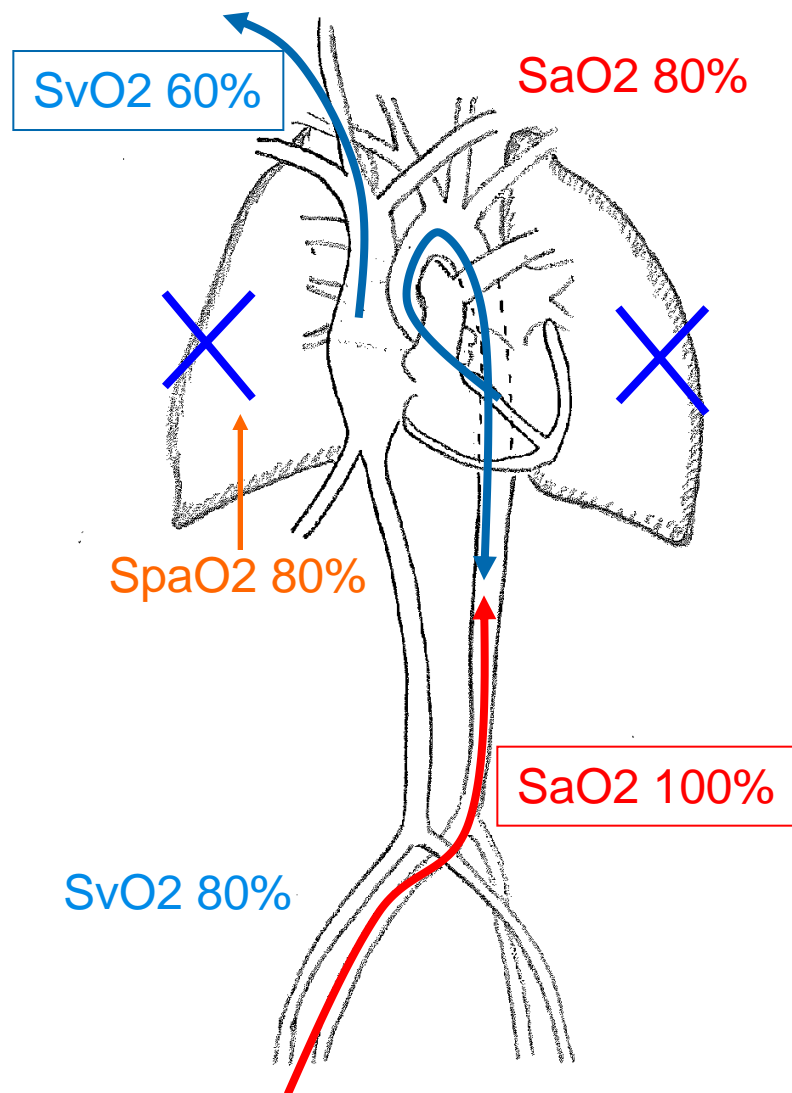
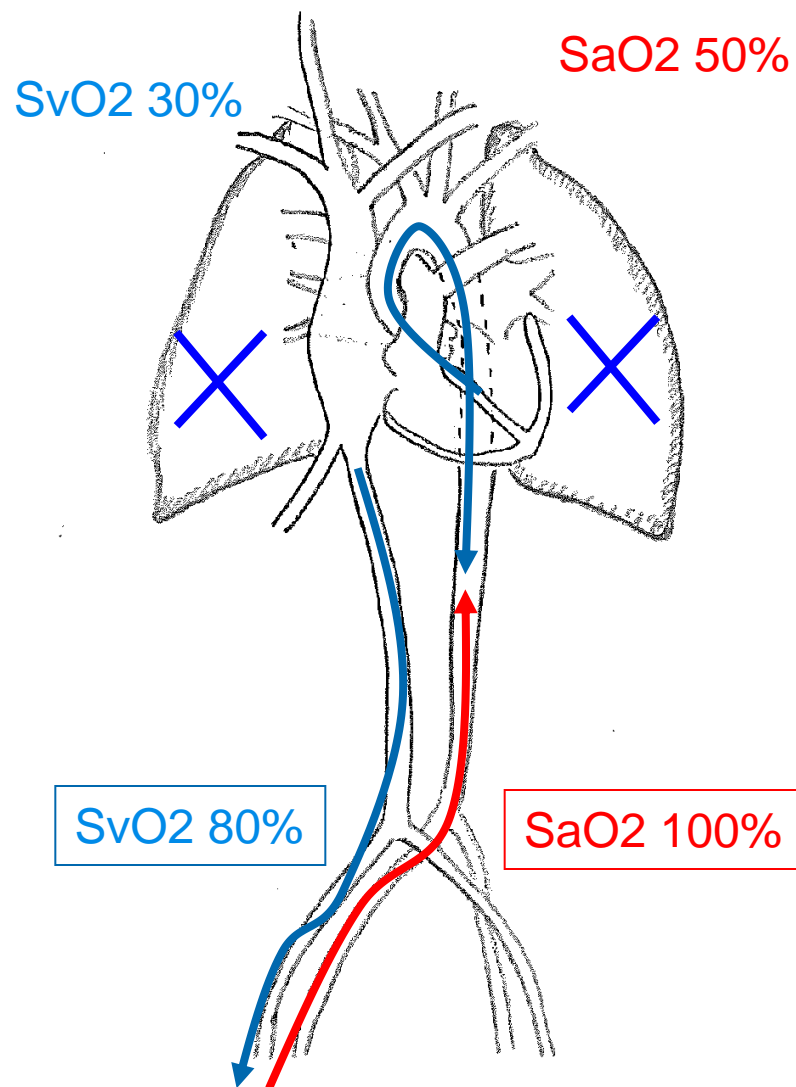


- 十分な灌流量を維持
- 上半身のSpO<sub>2</sub> > 70%
- 上半身のSvO<sub>2</sub> > 40%

もし、大腿静脈脱血であれば  
右内頸からの脱血に変更する。  
(大腿動静脈送血を考慮)



# V-A ECMOの問題点



# 凝固

- ヘパリンは必要  
(ACT 180-240を目標に調整する)
- 出血時はACT 140-160となるように、減量可
- 血小板は、多くの場合減少 → 適時輸血
- 出血・凝固異常が疑われる場合、適切な原因診断と治療を行う (ATIII, FFP補充)
- 回路は凝固因子消耗の原因になりうる → 回路交換

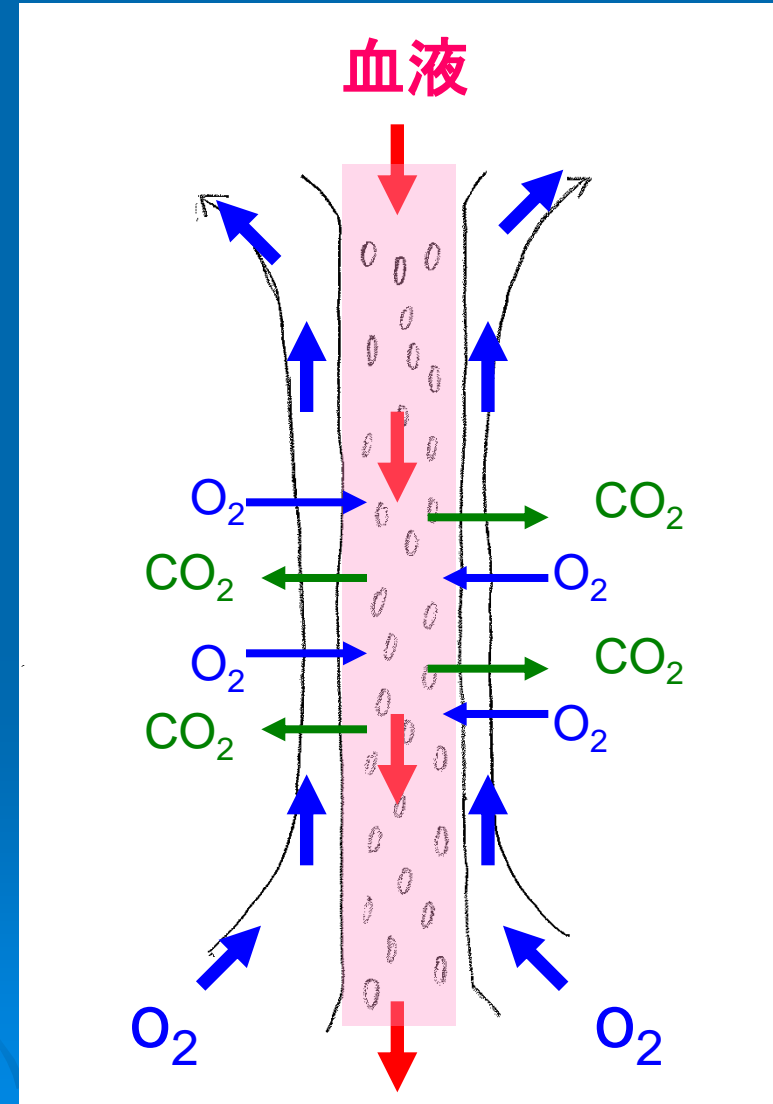
# 使用する機器



# 人工肺

- 空気を通す小孔膜 自然拡散
- 常に 血圧 > ガス圧  
→ ガス圧 > 血圧時は空気混入
- 血圧 300mmHg以上  
→ 血漿リークのリスク↑
- ウェットラング  
→ 酸素化能↓

人工肺は患者の位置より低くする  
肺血圧のコントロール  
供給されるガス量を多く保つ





# O<sub>2</sub> フラッシュ

過度のO<sub>2</sub>フラッシュは、アルカローシスを引き起こし、患者を不快にする。

(過換気症候群と同じ状態)

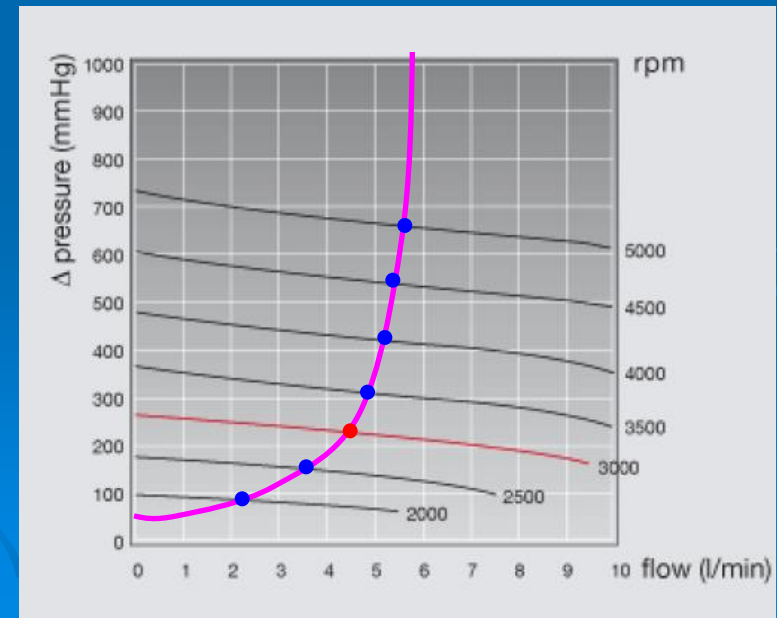
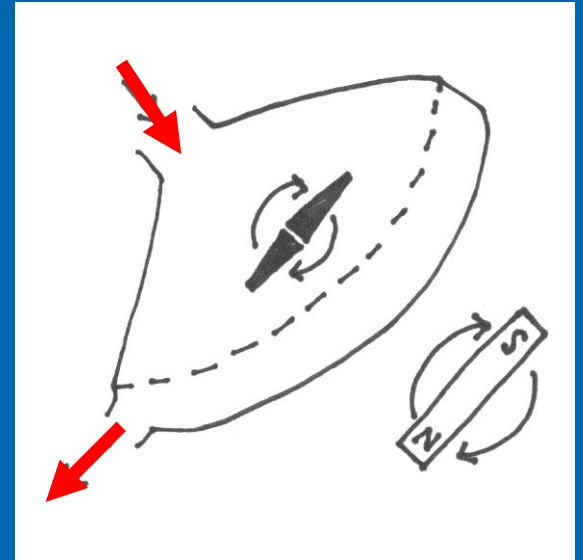
供給ガスは、8～10L/min

CO<sub>2</sub>を混和し、CO<sub>2</sub>量を適切にコントロール



# 遠心ポンプ

- 遠心ポンプの回転数は、ポンプ前後の圧格差と比例する。
- 回転数は流量と比例しない。



# カニューレ

## ➤ 適切な大きさ

脱血: 男性 25Fr 50cm

女性 21Fr 18cm

送血(V): 19Fr~21Fr 18cm

## ➤ 適切な位置

右心房内

## ➤ 適切な手技

出血を起こさないように



# 插入部全景





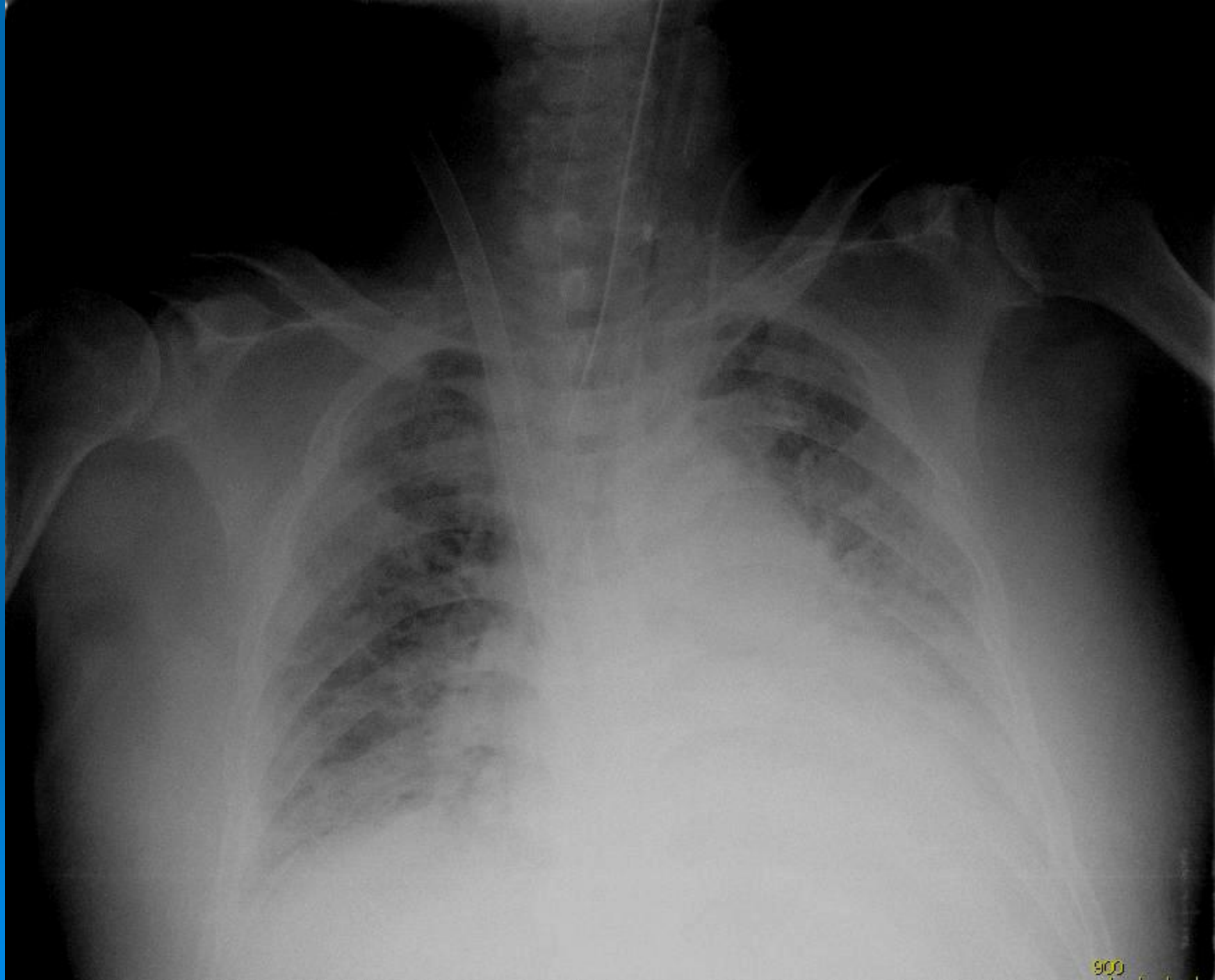
# 挿入部写真



Biomedicus 23Fr 23cm (日本未発売)

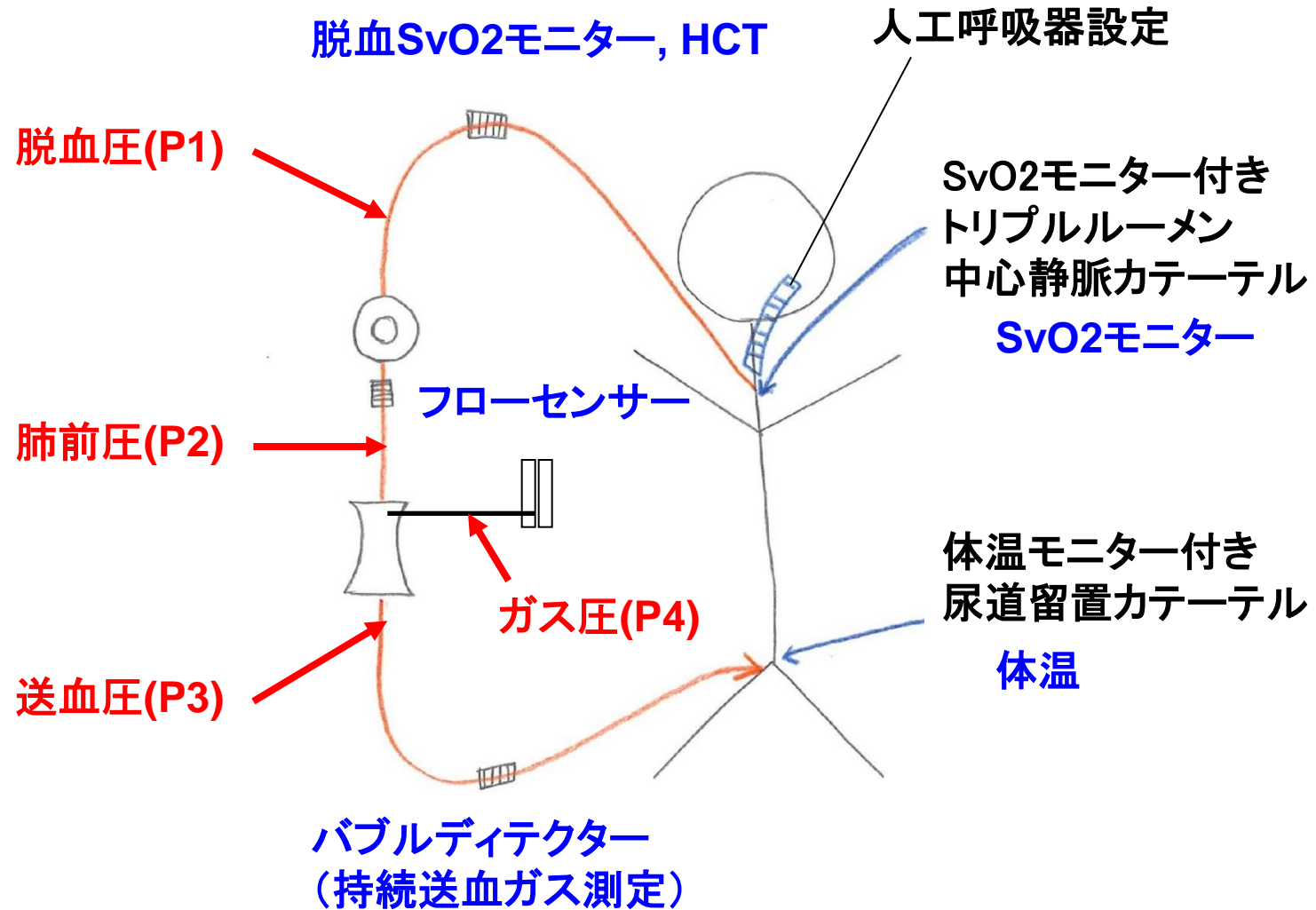
# 插入部写真







# モニタリング





# 回路内圧モニタ

- P1・・・ポンプの前
- P2・・・ポンプと人工肺の間
- P3・・・人工肺のすぐ後
- P4・・・ガス圧

P1>-20mmHg

P2-P3<50mmHg

P2<300mmHg

P4>5mmHg (airが止まるとアラーム)



# 酸素化能のモニター

ECMOの酸素化能 =

(100% - 脱血した血液の酸素飽和度) × ECMO流量 × Hb



ECMO流量 : 3.5L/min → 4.2L/min

脱血のSat : 70% → 75%

Hb : 14g/dl → 14g/dl

SaO2: 77% → 78%

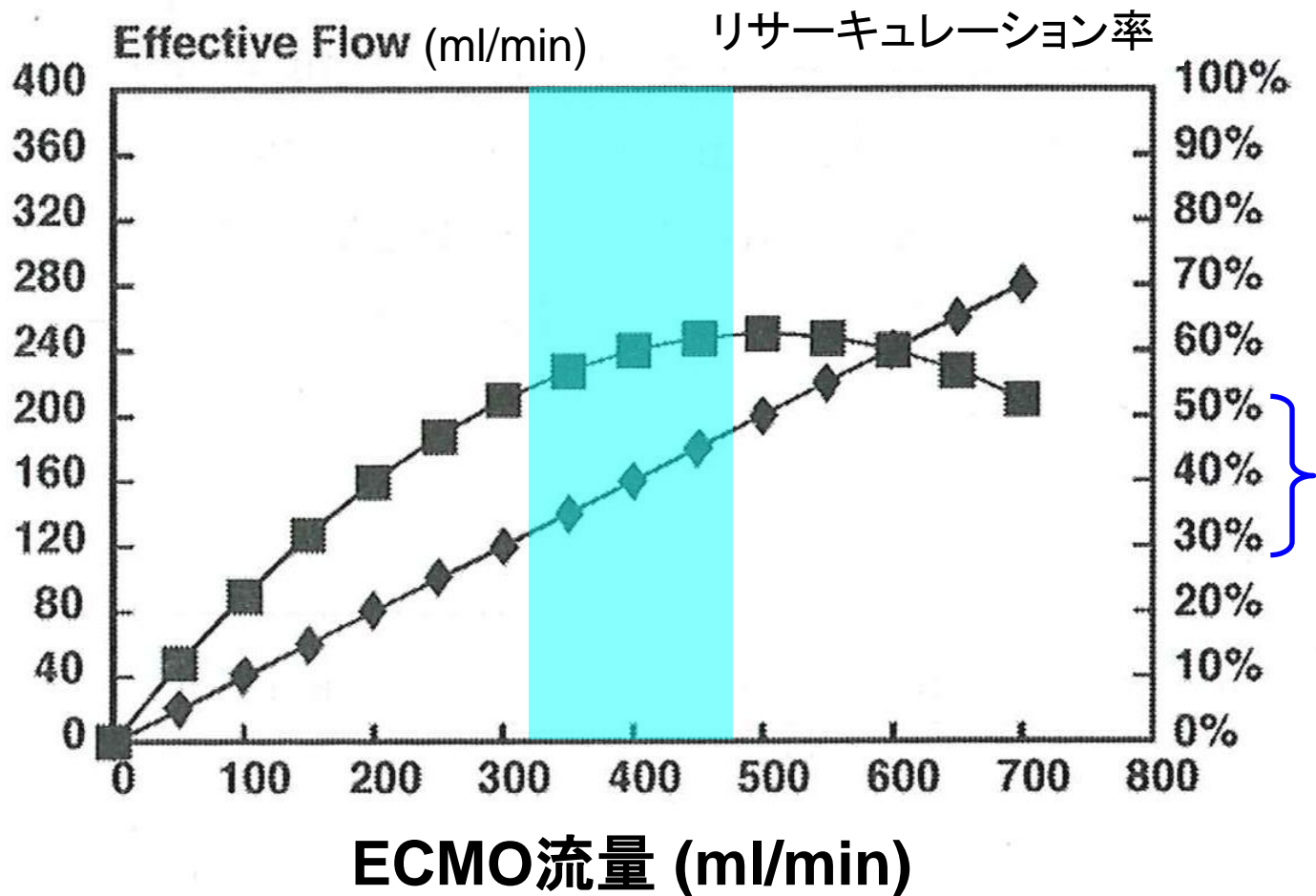
ECMOの酸素化能 =

$$(1-0.70) \times 3.5 \times 140 \times 1.36 = 200$$

ECMOの酸素化能 =

$$(1-0.75) \times 4.2 \times 140 \times 1.36 = 200$$

## 新生児の場合



# ICUでの基本的な患者モニタリング

意識レベル 心拍数  
血圧 呼吸数 尿量  
体温 Sat CVP

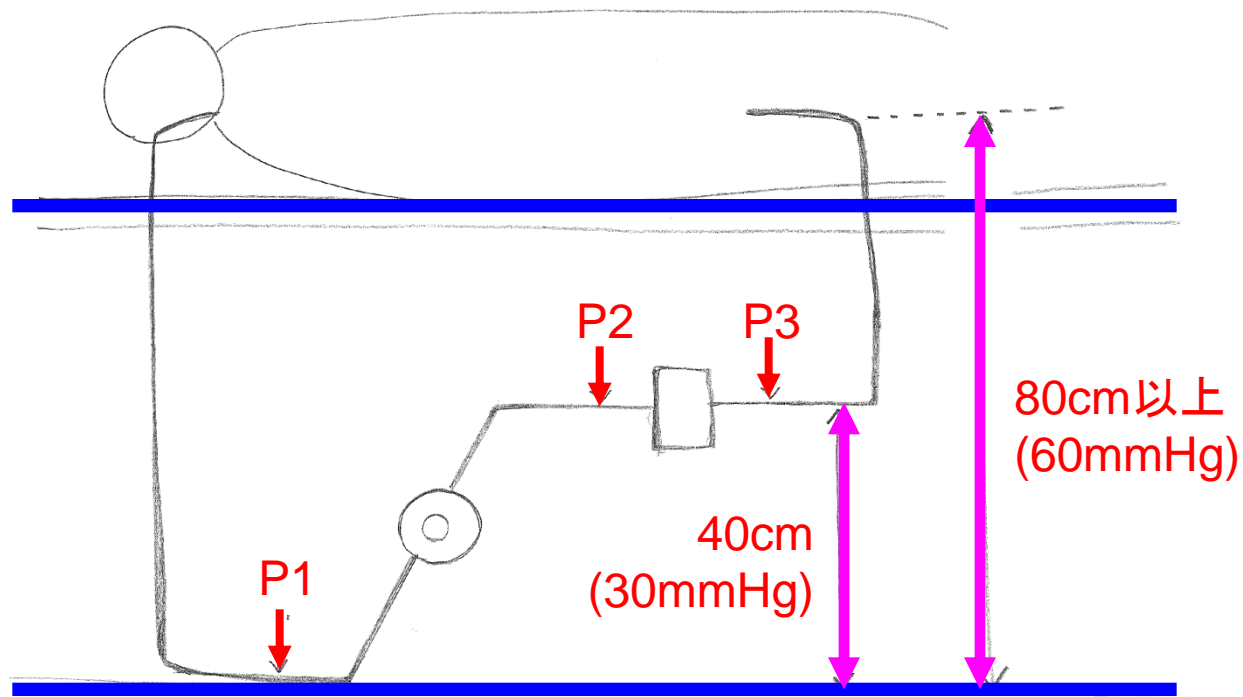
心エコー レントゲン  
腹部エコー

動脈血ガス: pH  $p\text{CO}_2$   $p\text{O}_2$   $\text{HCO}_3$  BE  
生化学検査: Na K Ca Glu Lactate  
血算: WBC Hb Hct Plt  
凝固: PT APTT Fib D-dimer

ACT

吸気圧 PEEP 平均気道内圧  
呼吸回数  $\text{FiO}_2$  TV MV

# 患者との高さ



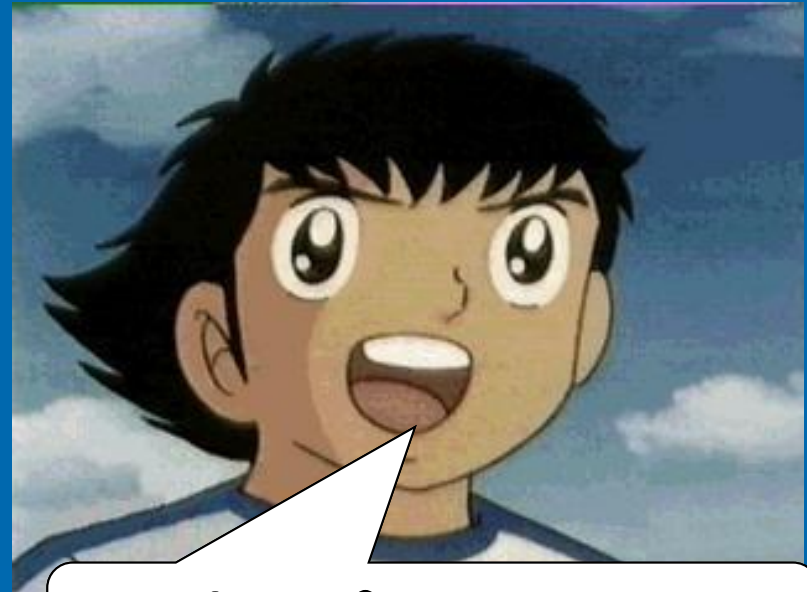
# ECMO全景





# ECMOの基本的なコンセプト

- 自己肺にダメージを与えない
- 不要な出血は作らない
- ポンプは最高の友達
- 酸素飽和度は低くても許容する
- 肺高血圧症は、早期に気づく  
(尿量低下や肝腫大)
- 右心不全になったら、  
V-A ECMOに移行する



**ポンプは友達！**

# 覚醒

- 肺のリンパドレナージをよくする
- 一回換気量を増やす
- 患者管理を容易にする
- 感染にも強くなる
- 患者との人間関係



“心地よい” 状態が患者にとって最もよい

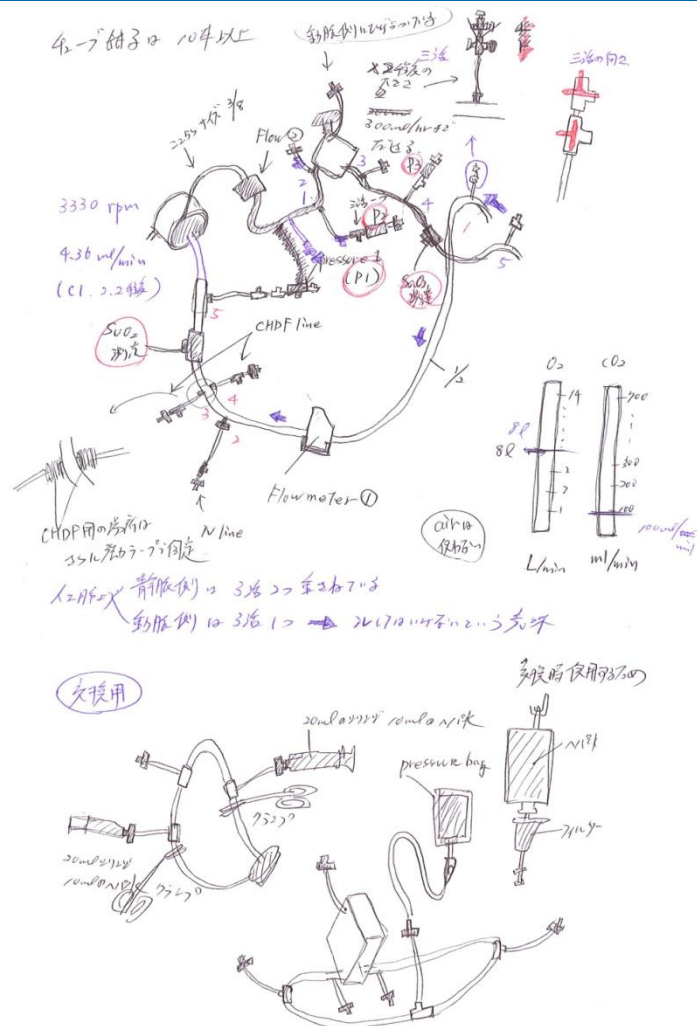


# 質問時間

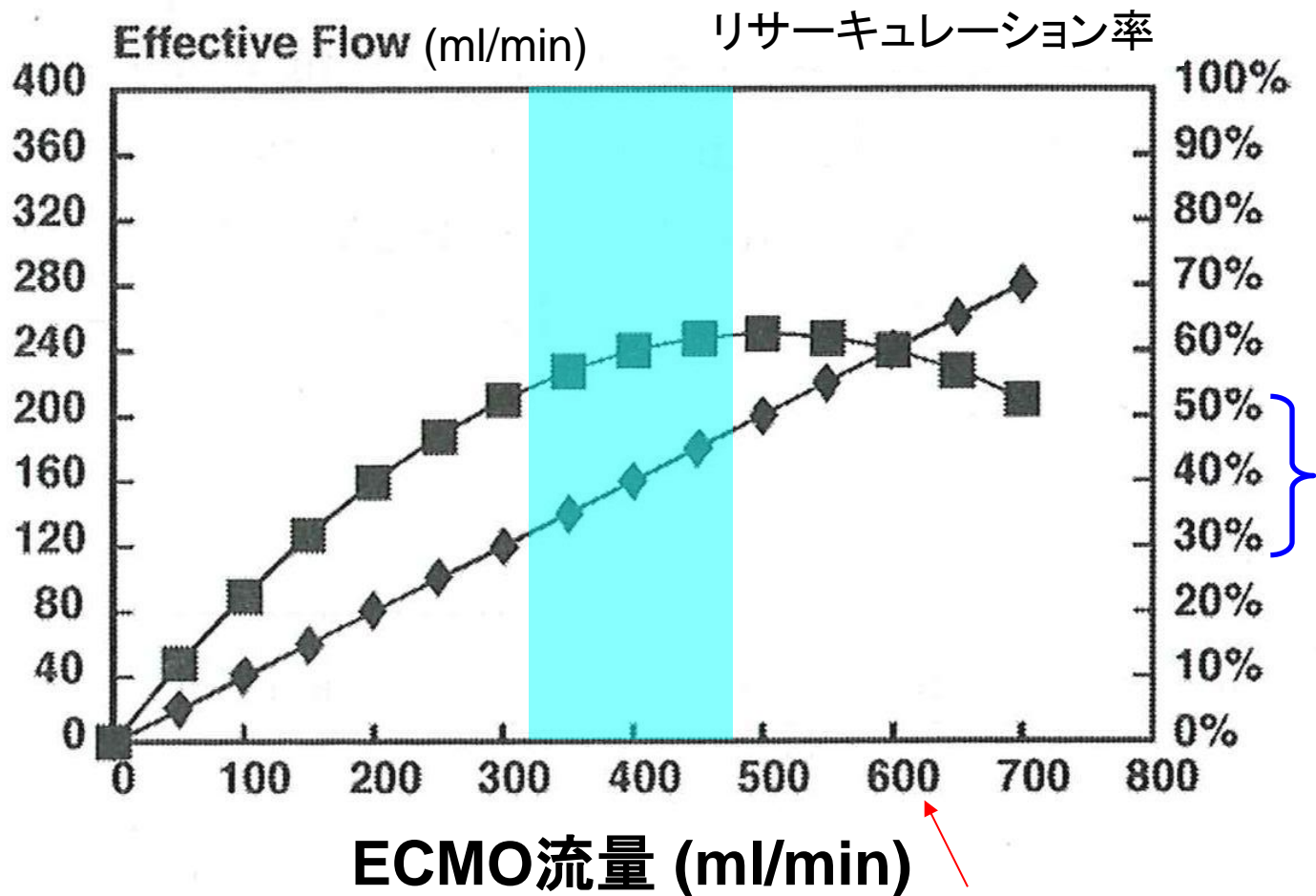




Adult centrifuge system.



## 新生児の場合



Cardiac Output