

麻醉・集中治療における循環管理

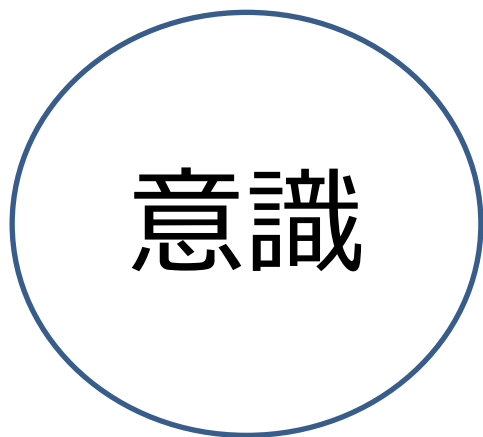
名古屋市立大学大学院医学研究科 麻醉科学・集中治療医学分野

田村 哲也

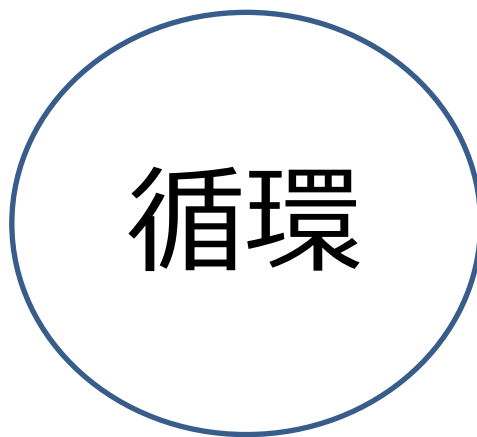
本日の講義内容

- ✓ 重症患者とは？
- ✓ 重症患者の共通点 SIRSそしてリフィリング
- ✓ 集中治療管理とは？
- ✓ ショックとは？
- ✓ 酸素供給量、混合静脈血酸素飽和度
- ✓ ショックの分類
- ✓ 敗血症、敗血症性ショック

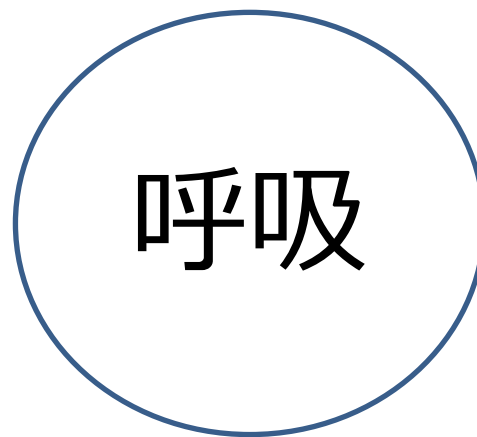
重症患者とは？



D: 意識障害



C: 循環不全



B: 呼吸不全



A: 気道 の問題

いずれかに問題がある患者が多い

重症患者とは？（病態、疾患）

術後

心臓外科手術
食道癌手術
長時間手術
ショック
既往疾患
(心臓、呼吸、
腎、肝)

救急外来

外傷/熱傷
脳出血/脳梗塞
薬物中毒
CPA
ショック
敗血症
肺炎
急性腎障害
急性肝不全

病棟

CPA
窒息
急性呼吸不全
ショック
敗血症
急性腎障害
急性肝不全

ICU

重症患者の共通点は**侵襲、臓器障害** ?!

SIRS

Systemic inflammatory response syndrome

- ✓ 全身性炎症反応症候群
- ✓ 侵襲（感染症、手術後、外傷、膵炎、熱傷など）によって過剰産生されたサイトカインによる非特異的な全身性炎症反応
- ✓ 血管透過性の亢進 ➡ 血管内volume維持困難 ➡ 臓器障害
- ✓ 下記4項目中2項目以上で診断

1. 体温 $> 38^{\circ}\text{C}$ あるいは $< 36^{\circ}\text{C}$
2. 心拍数 > 90 回/分
3. 呼吸数 > 20 回/分 あるいは $\text{PaCO}_2 < 32\text{mmHg}$
4. 白血球数 $> 12,000/\text{mm}^3$ あるいは $< 4,000/\text{mm}^3$

リフィリング

間質から血管内へ体液成分が移行することをいう。

外傷、熱傷、急性中毒、環境障害、感染などの**侵襲**が生体に加わると、**微小血管の透過性が亢進**し、血漿成分が間質（いわゆるthird space）へ漏出する。

輸液療法がおこなわれ、循環血液量が一定時間（侵襲の大きさによって異なるが通常は48時間程度）十分に維持されると、**血管透過性が正常化**するとともに、血管外に漏出した水分が血管内に再度戻ってくる。

重症患者の経過

病態

SIRS  リフィリング
治療

日にち薬
SIRSの原因治療

※必要時ステロイド

輸液

輸液不足 × 輸液過剰 ×

循環薬剤

必要～多量

不必要～少量

中心静脈圧

低め

上昇傾向

尿量

少ない

増加

利尿薬で除水
AKI継続ならCHDFで除水

体重

▲
挿管

人工呼吸

▲
抜管

集中治療管理とは？

① モニタリング

デバイスによるモニタリング + デバイスによらないモニタリング

② 検査



小さな異常を素早く覚知



早期に対応

③ 脳神経管理

④ 循環管理

⑤ 呼吸管理

⑥ 栄養管理

⑦ 代謝・電解質水分管理（血液浄化療法）

⑧ 感染管理

⑨ 凝固管理

⑩ 内分泌管理

} 重症患者

※ 術後合併症を起こしてからのICU入室症例の死亡率は高い。

➡ モニタリング + 全身管理

モニタリング（検査、診察含む）

基本モニタリング：心電図、血圧、SpO₂、呼吸数、体温

脳神経

NPI/瞳孔
BIS
脳酸素モニター
簡易脳波モニター
aEEGモニター
頭蓋内圧（ICP）
鎮静度（RASS）
CPOT
せん妄

循環

心電図
血圧
聴診
中心静脈圧（CVP）
肺動脈圧（PAP）
CO/CI, SvO₂
尿量/バランス/体重
心臓エコー
末梢冷感の有無

呼吸

呼吸数
SpO₂
努力呼吸/パターン
聴診
バックキングの強さ
痰の性状、痰量
人工呼吸器設定
胸部Xp
経肺圧/EIT

感染

体温
ドレーンの性状
WBC
CRP
プロカルシトニン
プレセプシン
培養検査

栄養

腸蠕動音
胃管の戻り
排便
血糖
プレアルブミン

その他 腹腔内圧、各種血液検査、凝固検査、ACT、TEG、ホルモン検査・・・

ショックとは？

= 血圧低下？

ショックの定義

生体に対する**侵襲**あるいは**侵襲**に対する生体反応の結果、重要臓器の血流が維持できなくなり、細胞の代謝障害や**臓器障害**が起こり、生命の危機にいたる急性の症候群。

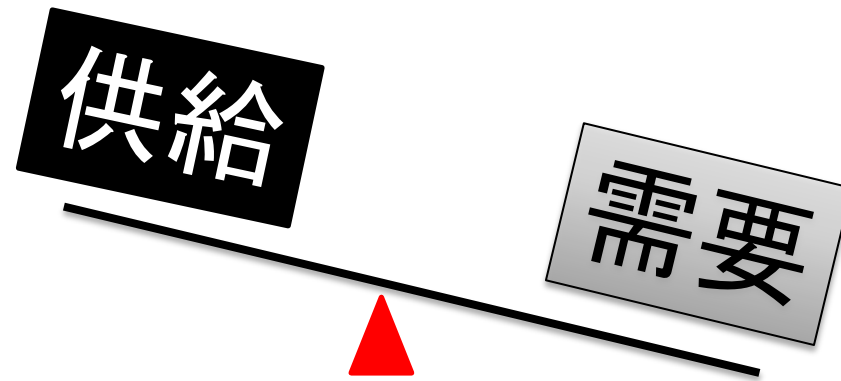
収縮期血圧90mmHg以下の低下を指標とすることが多い。

日本救急医学会医学用語解説集

十分な血流が送れなくなったら、**組織**が酸欠になり、**乳酸**が増加する。

「末梢組織で相対的に酸素が足りない状態」

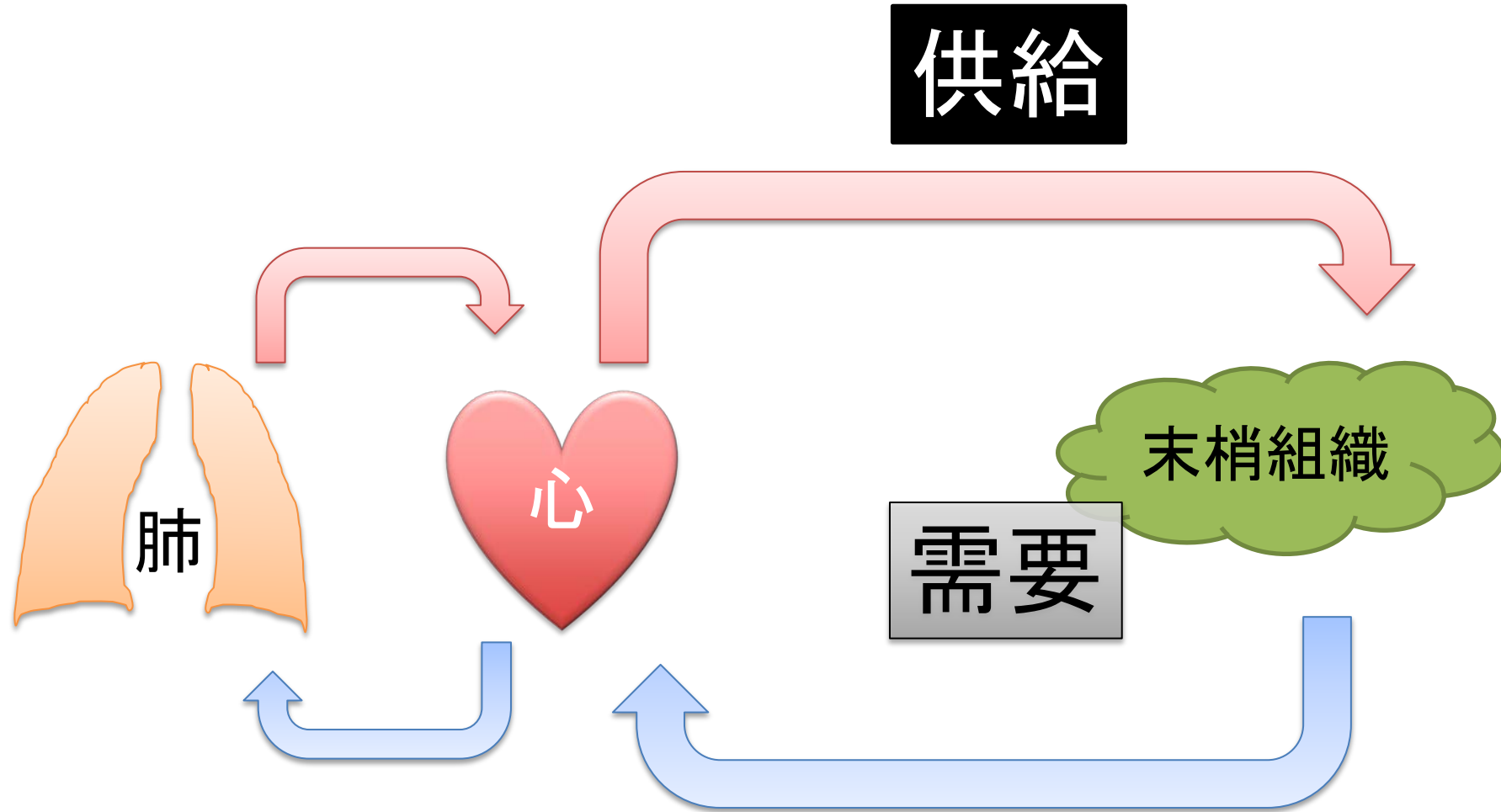
- 酸素需要と酸素供給のバランス
（需給バランス）が不均衡な状態



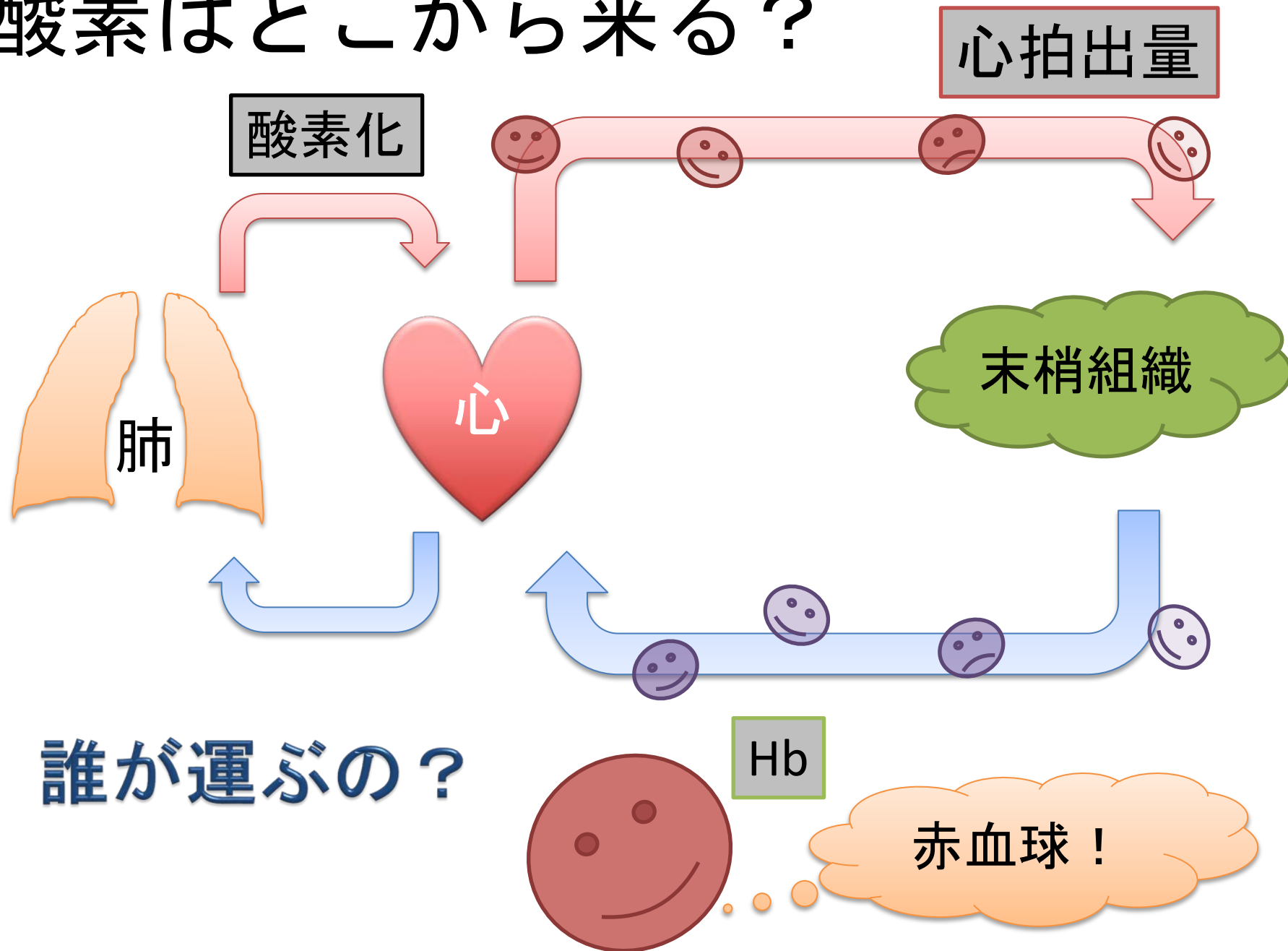
バランスを取り戻すには

- ① 供給を増やす
- ② 需要を減らす

酸素の需要と供給



酸素はどこから来る？



臓器への酸素供給を保つのに必要な因子は？

動脈血酸素含量 (CaO_2):

1dLの血液にどれだけ酸素が含まれているか (ml/dL)

※ 正常値 17-20 ml/dL

酸素供給量 (DO_2):

1分間にどれだけの酸素を供給できるか (ml/分)

$\text{CaO}_2 \times \text{CO}$ (心拍出量) $\times 10$

※ 正常値 1000 ml/分

臓器への酸素供給を保つのに必要な因子は？

動脈血酸素含量 (CaO₂):

$$= \frac{\text{Hb} \times 1.34 \times \text{SaO}_2 / 100}{\text{(ヘモグロビンが含有している酸素量)}} + \frac{0.003 \times \text{PaO}_2}{\text{(血液に溶けている酸素量)}} \quad (\text{ml/dL})$$

※ 正常値 17-20 ml/dL

酸素供給量 (DO₂):

(ml/分)

$$= \text{CaO}_2 \times \text{CO (心拍出量)} \times 10$$

※ 正常値 1000 ml/分

$$= \underbrace{\text{Hb}}_{15} \times 1.34 \times \underbrace{\text{SaO}_2}_{100} / 100 + 0.003 \times \underbrace{\text{PaO}_2}_{100} \times \underbrace{\text{CO}}_{5.0} \times 10 = 1020$$

Hb, SaO₂, (PaO₂), COのどれかが低下するとショックになる。

ショック時の対応



$$DO_2 = (Hb \times 1.34 \times SaO_2 / 100 + 0.003 \times PaO_2) \times CO \times 10$$

供給

需要

酸素供給量を増やす

- ✓ Hb濃度 ↑
- ✓ 心拍出量 ↑
- ✓ SaO_2 ↑, PaO_2 ↑

輸血

輸液、カテコラミン

酸素 ↑、 FIO_2 ↑

酸素消費量
(約 250 mL/min)

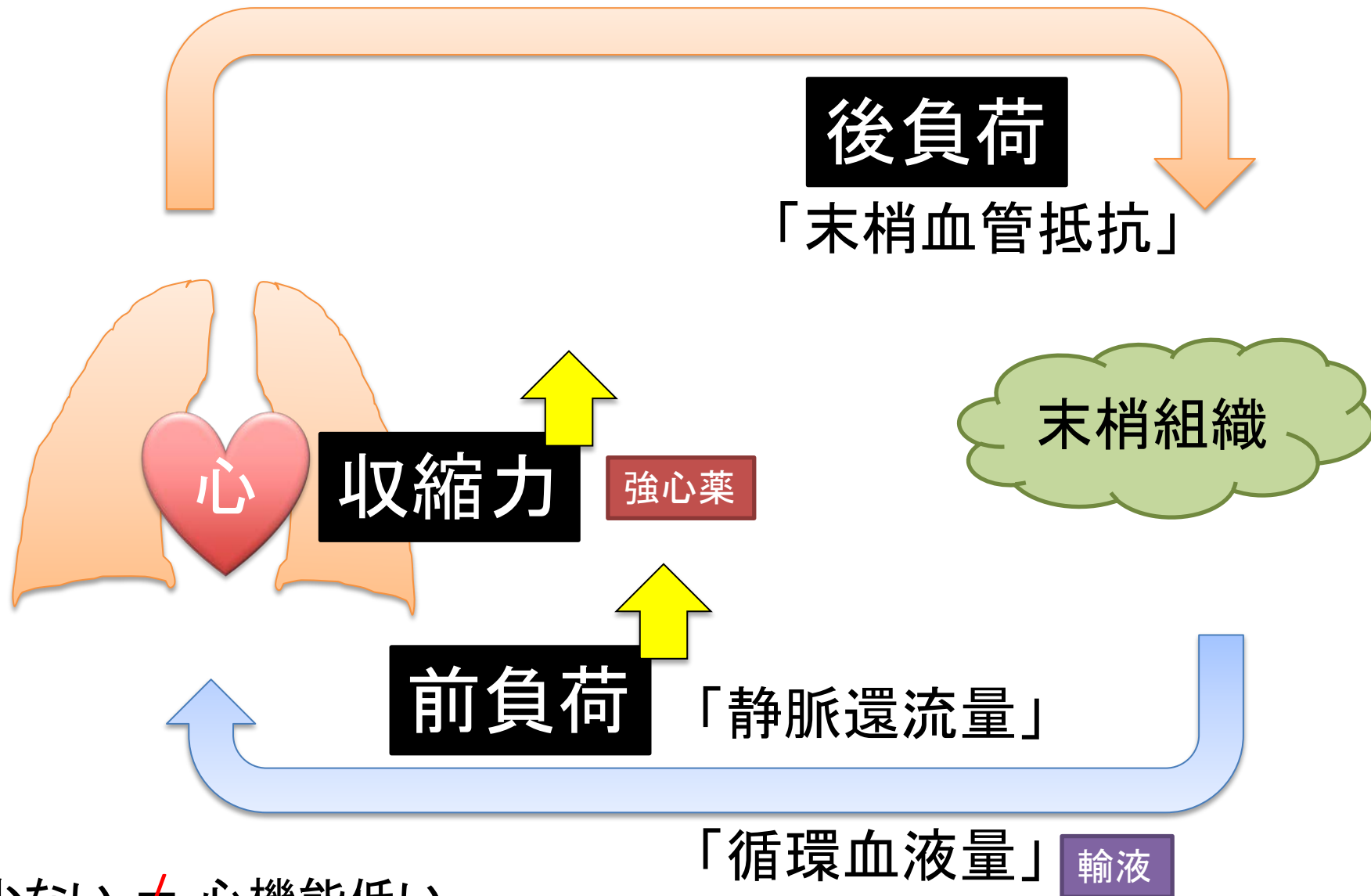
酸素消費量を減らす

- ✓ 鎮静
- ✓ 解熱

まずは低下している因子に介入。
他の因子に介入して酸素供給量を増加させることも可能。

※ 体温1℃上昇すると酸素消費量 10-13 %増加

心拍出量を増やしたい！



※. 心拍出量少ない \neq 心機能低い

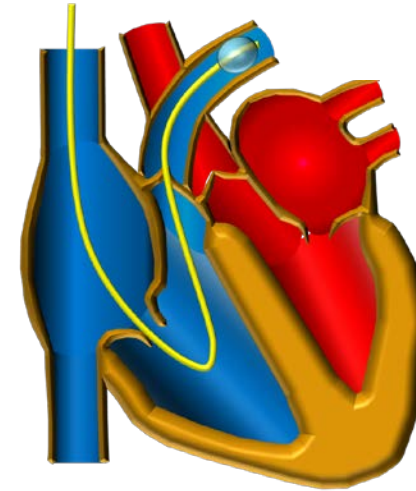
混合静脈血酸素飽和度のモニタリング

※ 心臓外科術後やショックなどでモニタリングされる

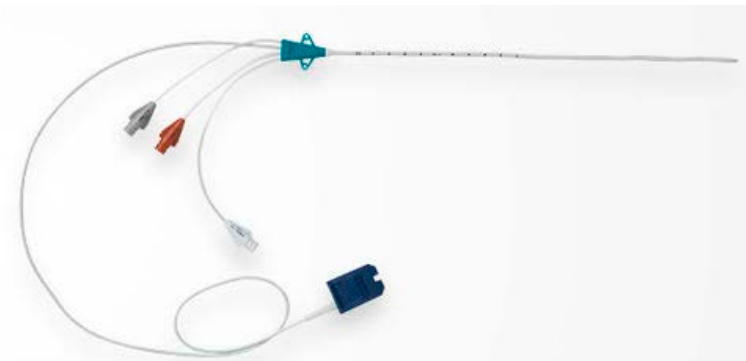
● スワングアンツ・カテーテル SvO_2



先端は肺動脈



● プリセップカテーテル



$ScvO_2$

先端は上大静脈

混合静脈血酸素飽和度 ($S\bar{v}O_2$, $ScvO_2$) との関係

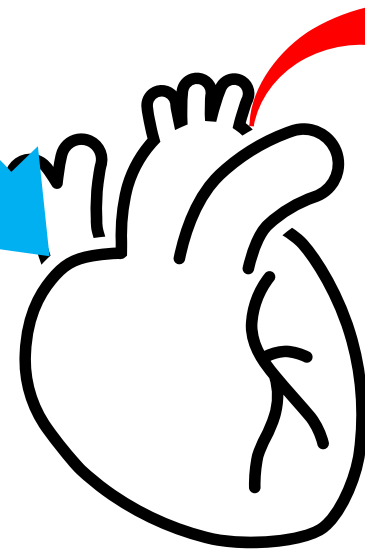
(症例1) Hb=15 SaO₂=100 CO=5.0

※ 正常値 $S\bar{v}O_2$: 75% SGカテーテル
 $ScvO_2$: 70% プリセップカテーテル

$S\bar{v}O_2 = 75.1\%$

混合静脈血の酸素量

$$\begin{array}{ccccccc} (\text{Hb} \times 1.34 \times S\bar{v}O_2 / 100) & \times & \text{CO} & \times & 10 \\ \text{15} & & ? & & \text{5.0} \\ & & & & \\ & = & 755 \text{ mL/min} \end{array}$$



酸素供給量 (DO_2)

$$\begin{array}{ccccccc} (\text{Hb} \times 1.34 \times \text{SaO}_2 / 100) & \times & \text{CO} & \times & 10 \\ \text{15} & & \text{100} & & \text{5.0} \\ & & & & \\ & = & 1005 \text{ mL/min} \end{array}$$

末梢組織

酸素消費量
(一定)

250 mL/min

混合静脈血酸素飽和度 (\bar{SvO}_2 , $ScvO_2$) との関係

(症例2) Hb=12 SaO₂=100 CO=4.0

※ 正常値 SvO₂: 75% SGカテーテル
ScvO₂: 70% プリセップカテーテル

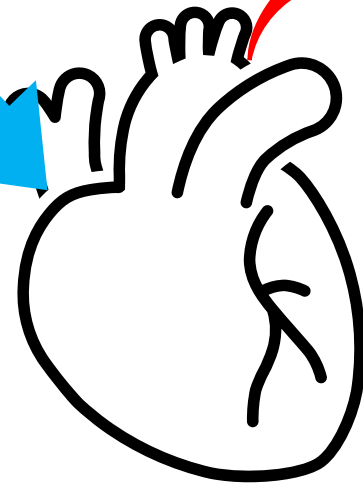
$\bar{SvO}_2 = 61\%$

混合静脈血の酸素量

$$(\text{Hb} \times 1.34 \times \bar{SvO}_2 / 100) \times \text{CO} \times 10$$

12 ? 4.0

$$= 393 \text{ mL/min}$$



酸素供給量 (DO₂)

$$(\text{Hb} \times 1.34 \times \text{SaO}_2 / 100) \times \text{CO} \times 10$$

12 100 4.0

$$= 643 \text{ mL/min}$$

末梢組織

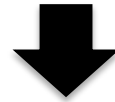
酸素消費量
(一定)

$$250 \text{ mL/min}$$

混合静脈血酸素飽和度 (SvO_2 , $ScvO_2$) が低いと？

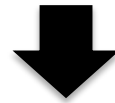
※ 70-80%が正常

酸素消費量が250mL/minでそれほど変わらないと仮定すると
元々の酸素供給量 DO_2 が低いのが原因と考える



$$(\text{Hb}) \times 1.34 \times (\text{SaO}_2) / 100 + 0.003 \times (\text{PaO}_2) \times (\text{CO}) \times 10$$

どれかに介入して DO_2 を増やすべき



輸液、輸血
カテコラミン増量
人工呼吸器の設定変更など

ここまでのおさらい



「ショックとは何か？」

末梢組織で相対的に酸素が足りない状態

治療は？



酸素の需給バランスの改善

そのためには？

「酸素供給」を上げる

酸素供給を上げるには？

心拍出量を上げる

輸血する

酸素飽和度を上げる

心拍出量を上げるには？

前負荷上げる

→輸液

収縮力上げる

→強心薬

ショックの分類

■ 血液分布異常性ショック (distributive shock)

- ✓ 敗血症性ショック
- ✓ アナフィラキシーショック
- ✓ 神経原性ショック

■ 循環血液量減少性ショック (hypovolemic shock)

- ✓ 出血性ショック
- ✓ 脱水
- ✓ 熱傷

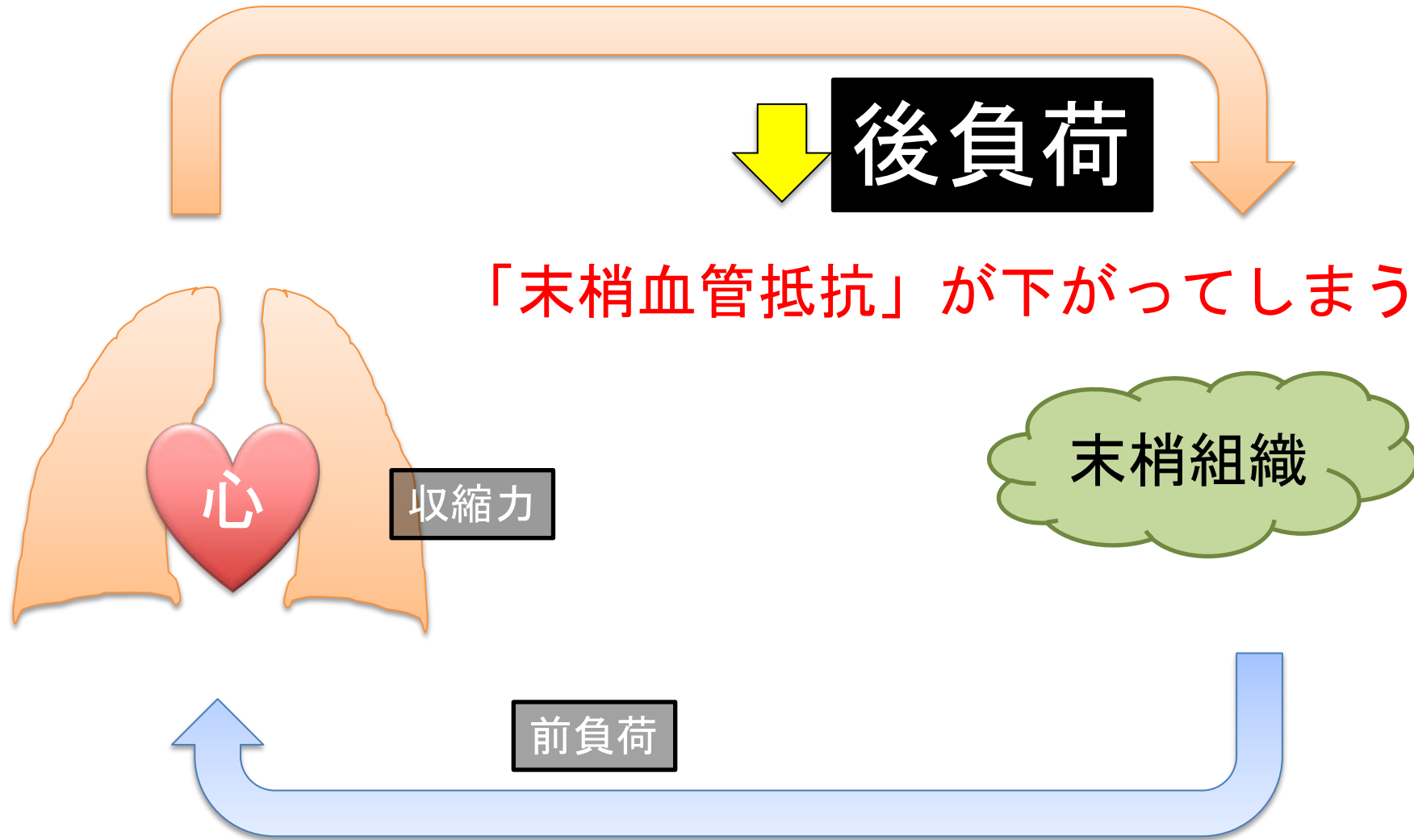
■ 心原性ショック (cardiogenic shock)

- ✓ 急性心筋梗塞、弁膜症、不整脈

■ 閉塞性ショック (obstructive shock)

- ✓ 心タンポナーデ
- ✓ 肺塞栓
- ✓ 緊張性気胸

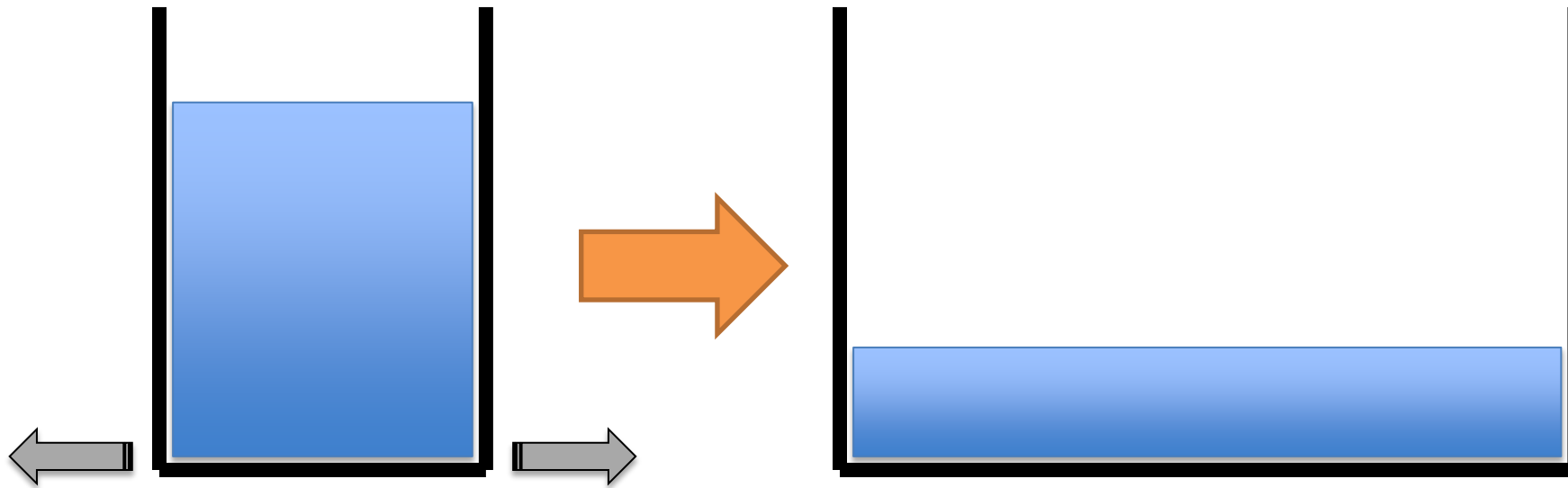
血液分布異常性ショック



血液分布異常性ショック

中身（血液の量）は同じ

容れ物（血管）だけが
大きくなる



水面が低くなる＝血圧低下

後負荷↓

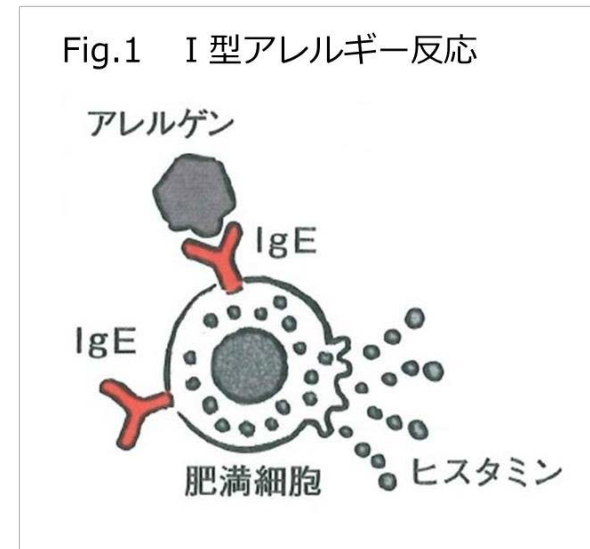
血液分布異常性ショック

・敗血症性ショック

細菌からのエンドトキシンや人体が出す炎症性サイトカインやNOなどにより**血管拡張**

・アナフィラキシーショック

肥満細胞からヒスタミンなどが遊離して
血管拡張



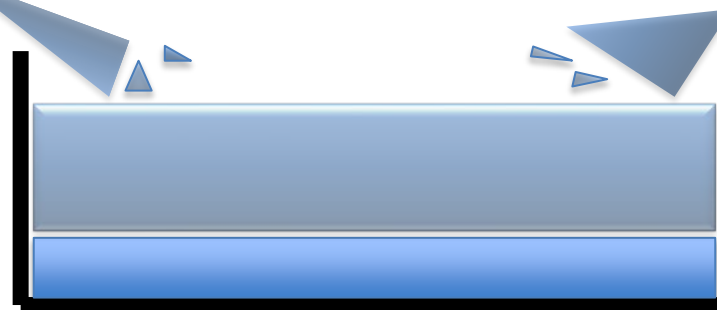
・神経原性ショック

上位胸椎より高位の脊髄損傷→自律神経系失調→**血管拡張**

血液分布異常性ショックの治療

中身（血液の量）を足してやる

輸液

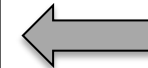
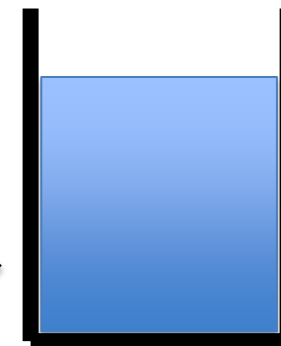


治療

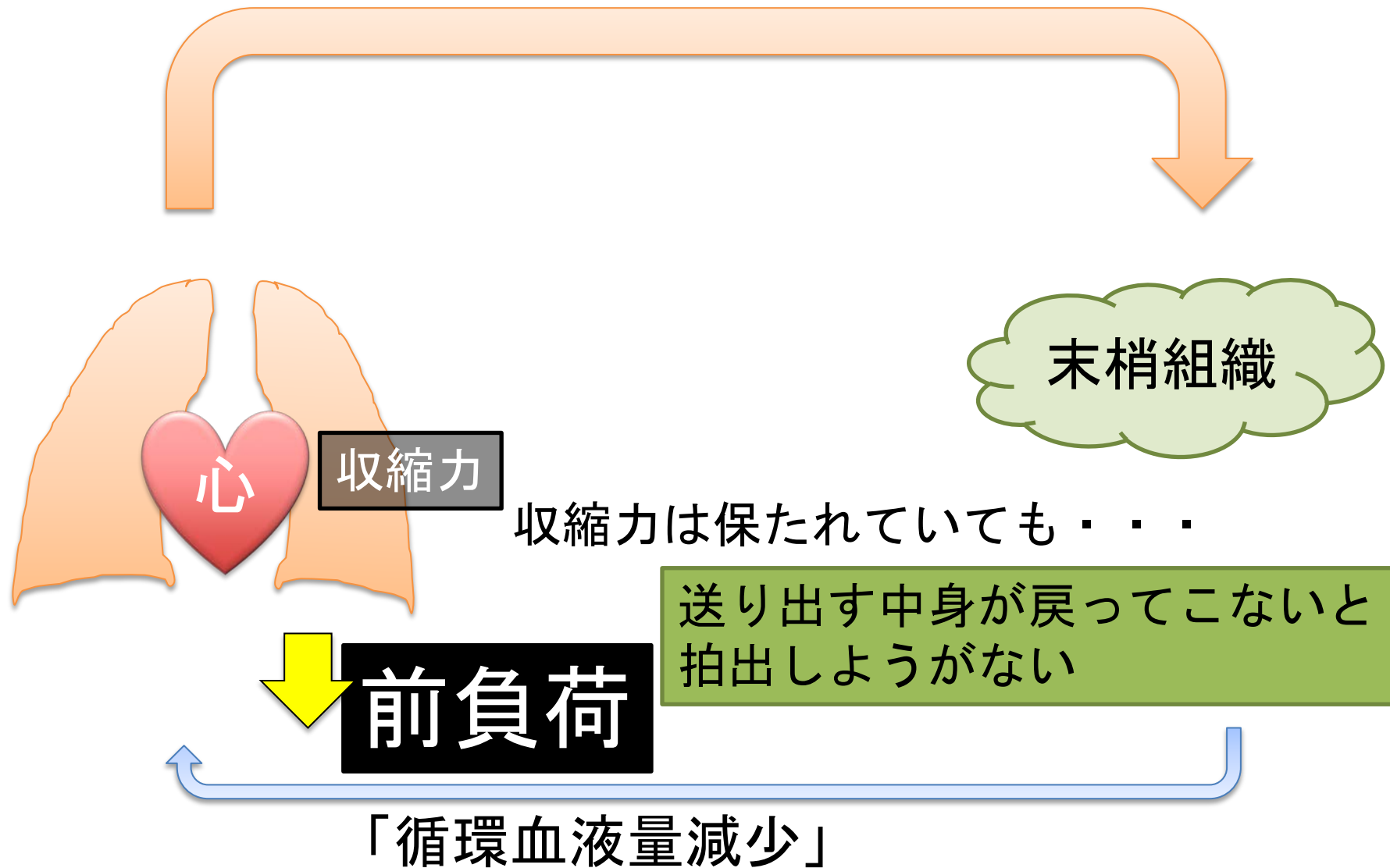
容れ物（血管）を小さくする

後負荷↑

血管収縮薬

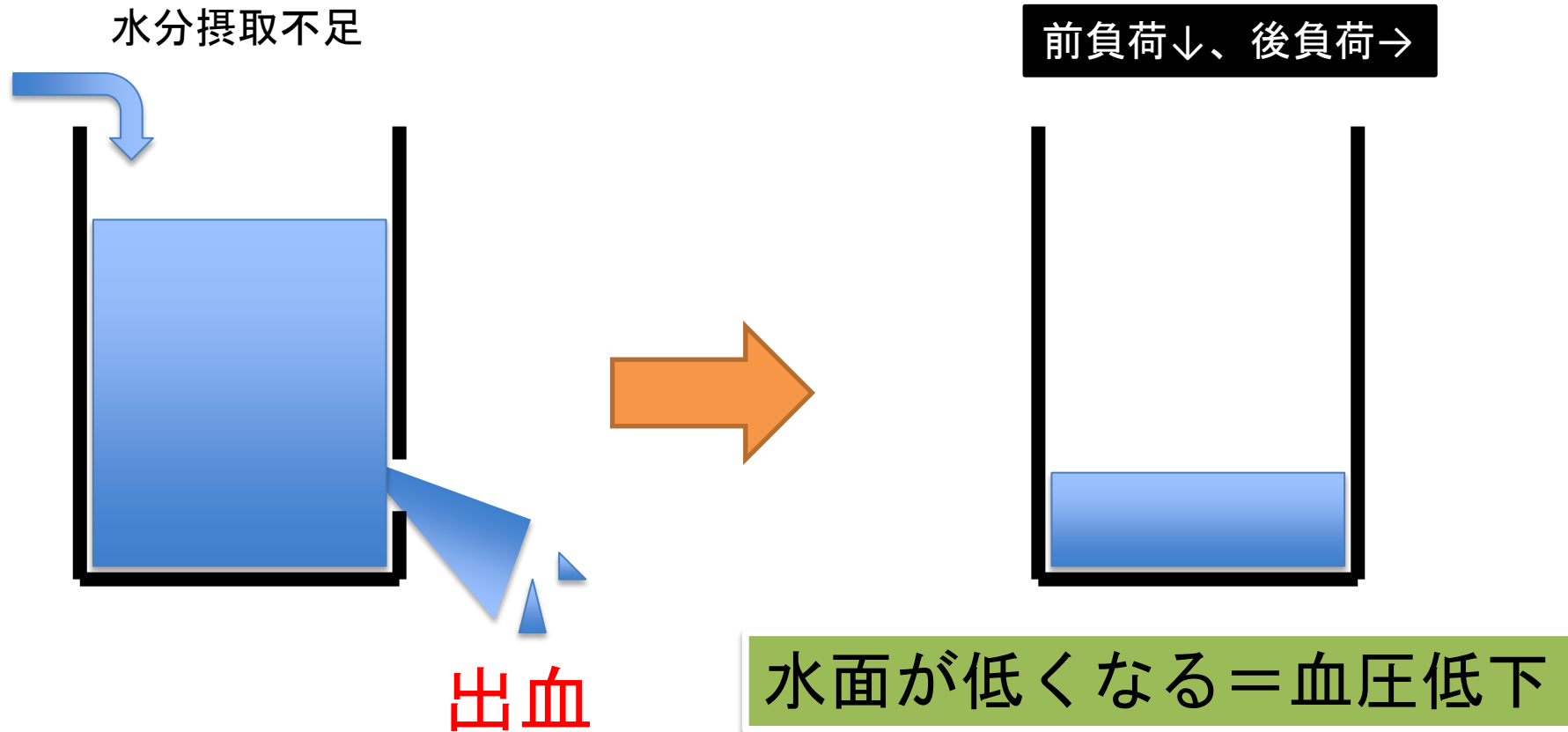


循環血液量減少性ショック

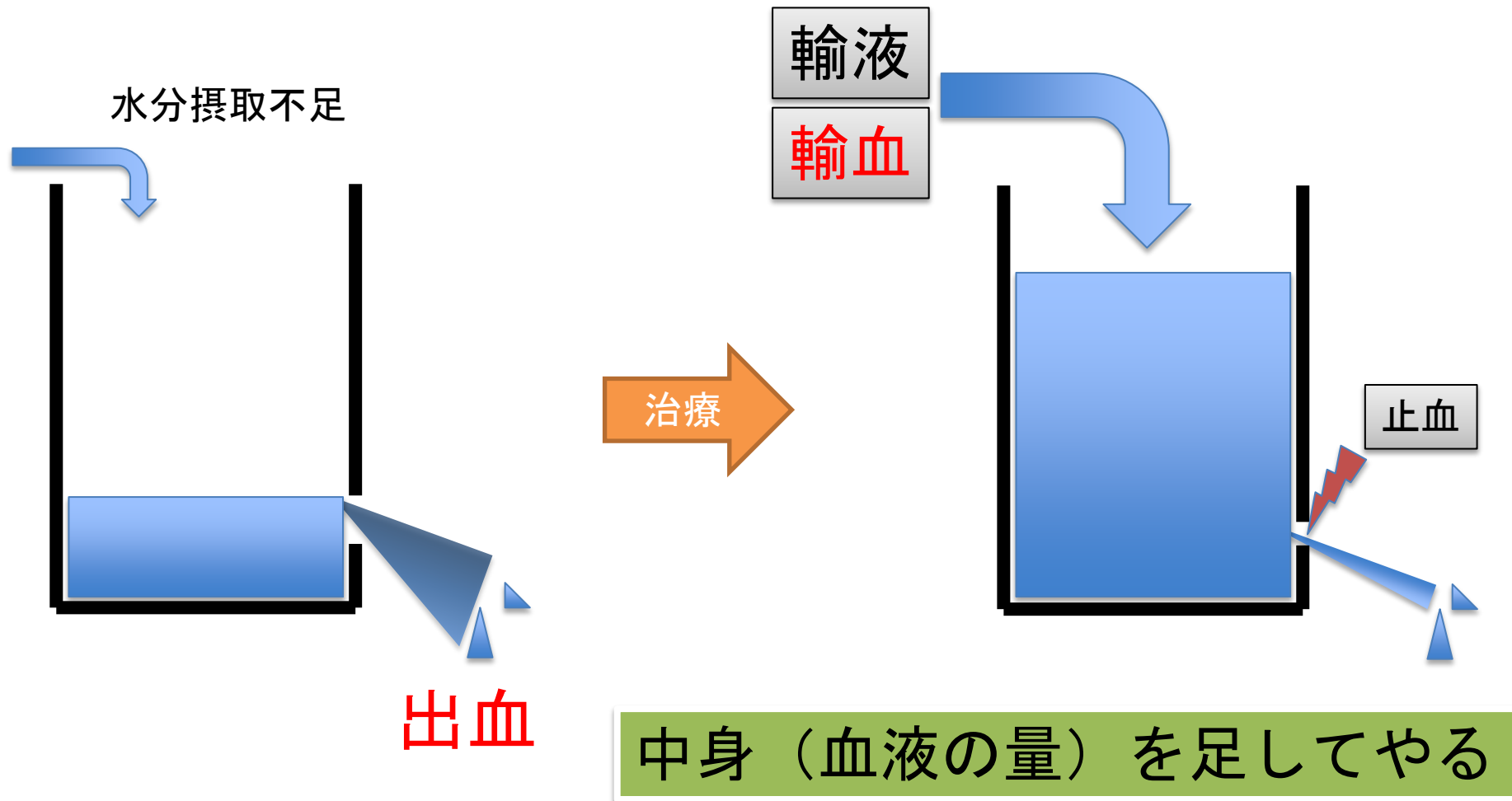


循環血液量減少性ショック

容れ物（血管）は同じ 中身（血液の量）が減る

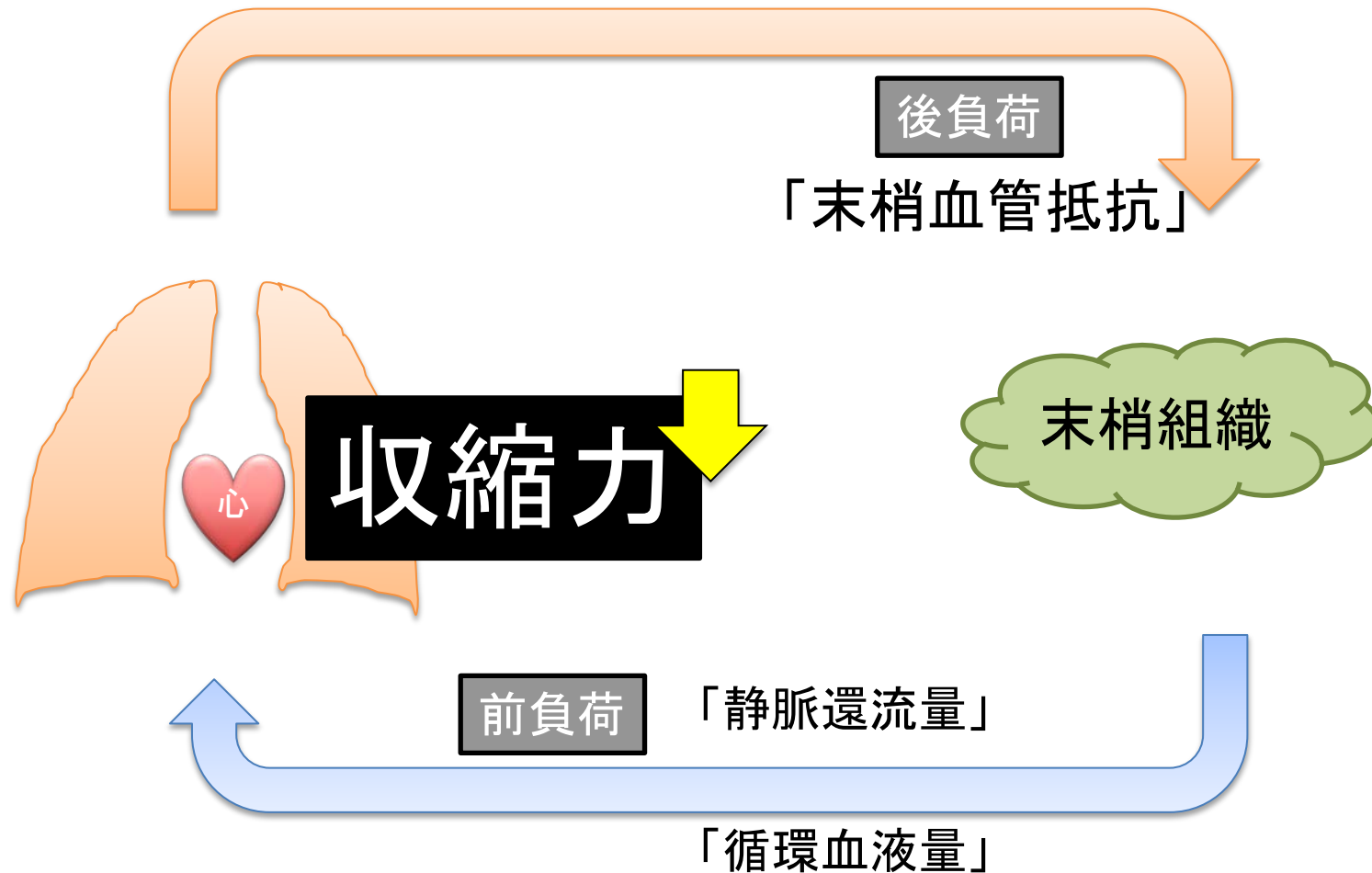


循環血液量減少性ショックの治療

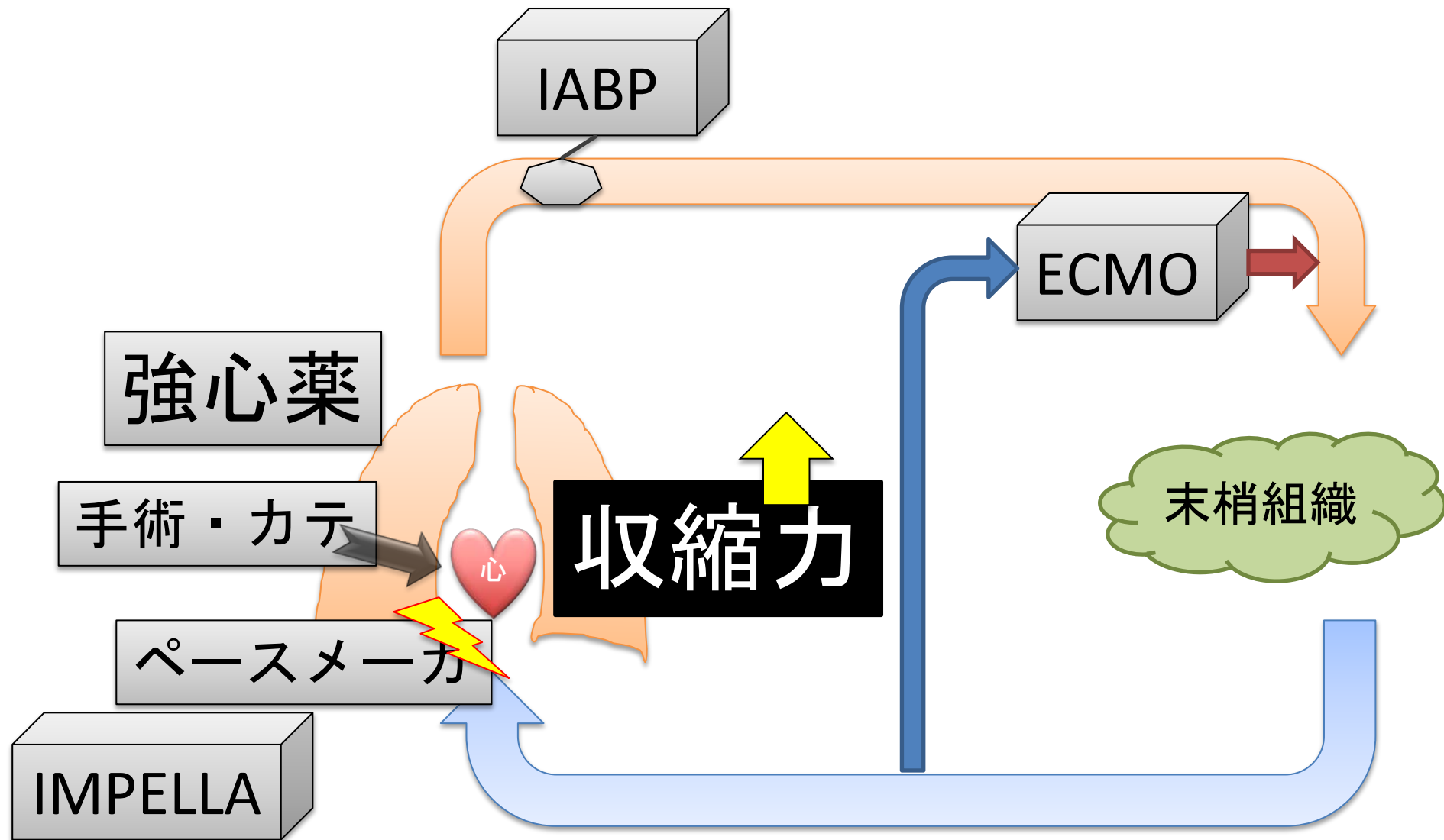


$$(\text{Hb} \downarrow \times 1.34 \times \text{SaO}_2 / 100 + 0.003 \times \text{PaO}_2) \times \text{CO} \downarrow \times 10$$

心原性ショックとは 「心臓のポンプ機能低下」



心原性ショックの治療



$$(\text{Hb} \times 1.34 \times \text{SaO}_2/100 + 0.003 \times \text{PaO}_2) \times \text{CO} \downarrow \times 10$$

心原性ショックの治療

例；急性心筋梗塞、弁膜症、不整脈

1. 強心薬（カテコラミン）

→ドパミン、ドブタミン、アドレナリン

2. 原疾患の治療

→手術、血管内カテーテル治療

→抗不整脈薬、ペースメーカー留置

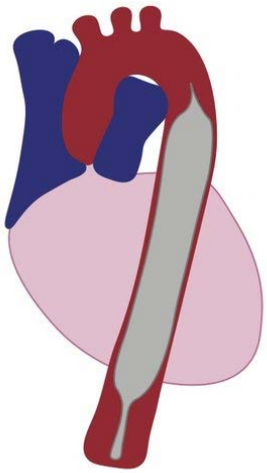
3. 補助循環の使用

IABP (Intra aortic balloon pumping)

ECMO (Extracorporeal membrane oxygenation)

IMPELLA 補助循環用ポンプカテーテル

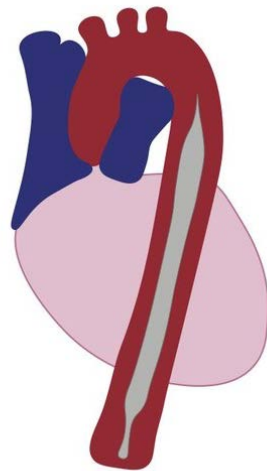
補助循環（IABP）



Diastolic augmentation

（拡張期にバルーン拡張）

- ・冠動脈血流↑ 心筋の酸素供給量を増やす



Systolic unloading

（収縮期にバルーン収縮）

- ・後負荷↓ 心仕事量↓

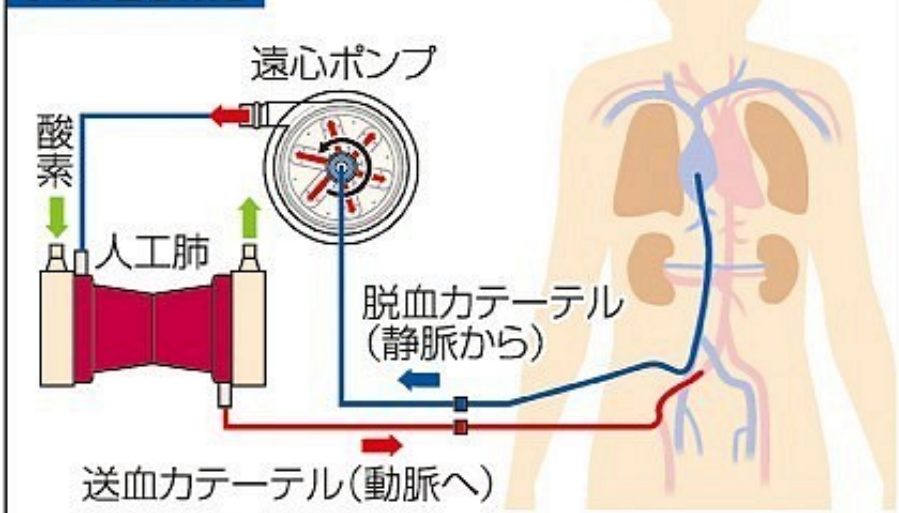
心拍出量の10～15%程度の補助効果



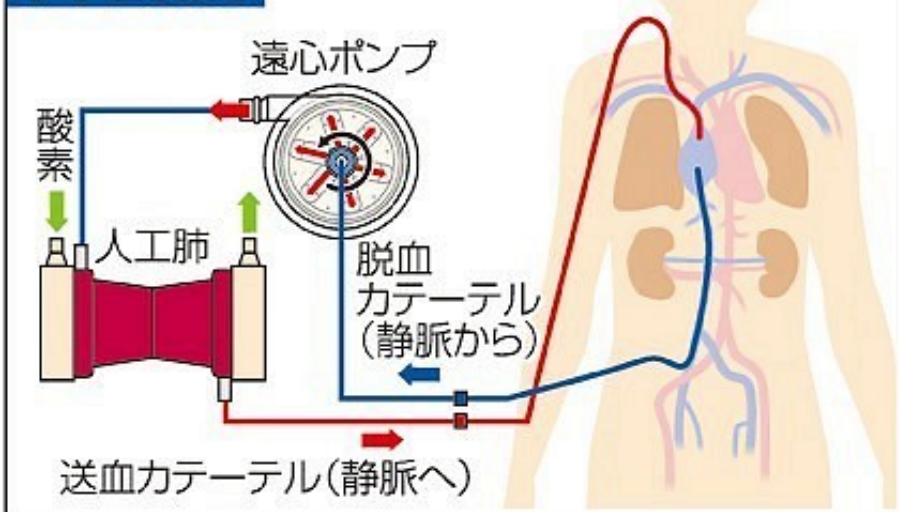
補助循環（ECMO）

2種類のECMO

V-A ECMO



V-V ECMO



循環補助するのはV-A ECMO

＜別名＞ PCPS

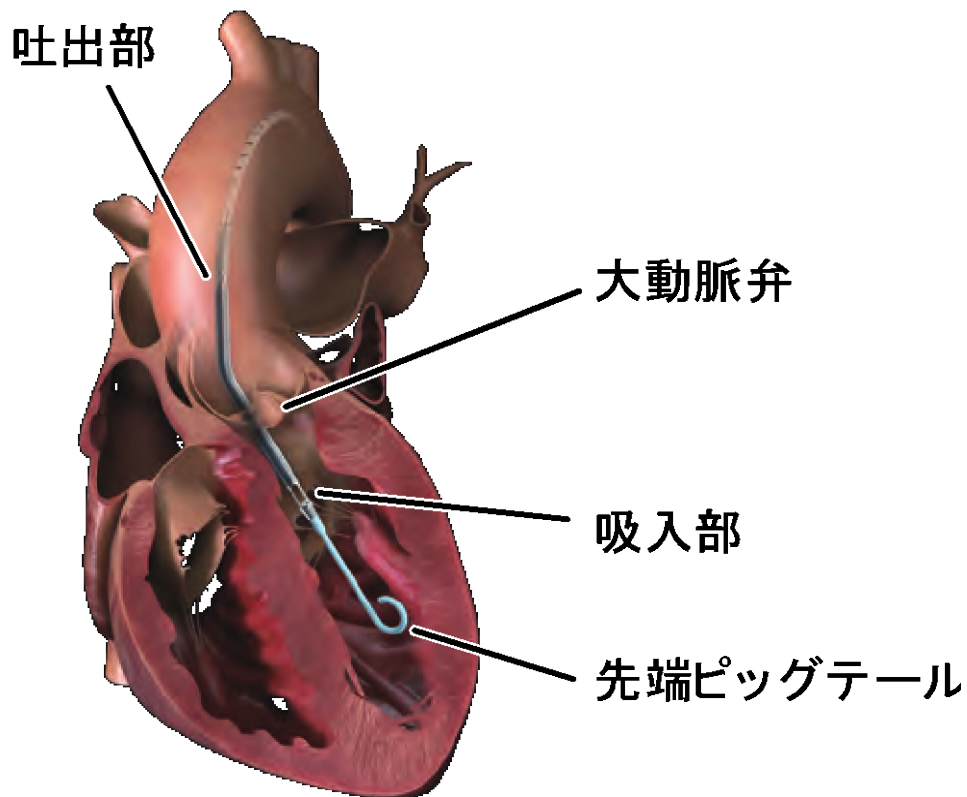
(Percutaneous Cardiopulmonary Support)

← COVID-19でよく使用されたのはこちら
V-V ECMOは肺の補助のみ



補助循環（IMPELLA）

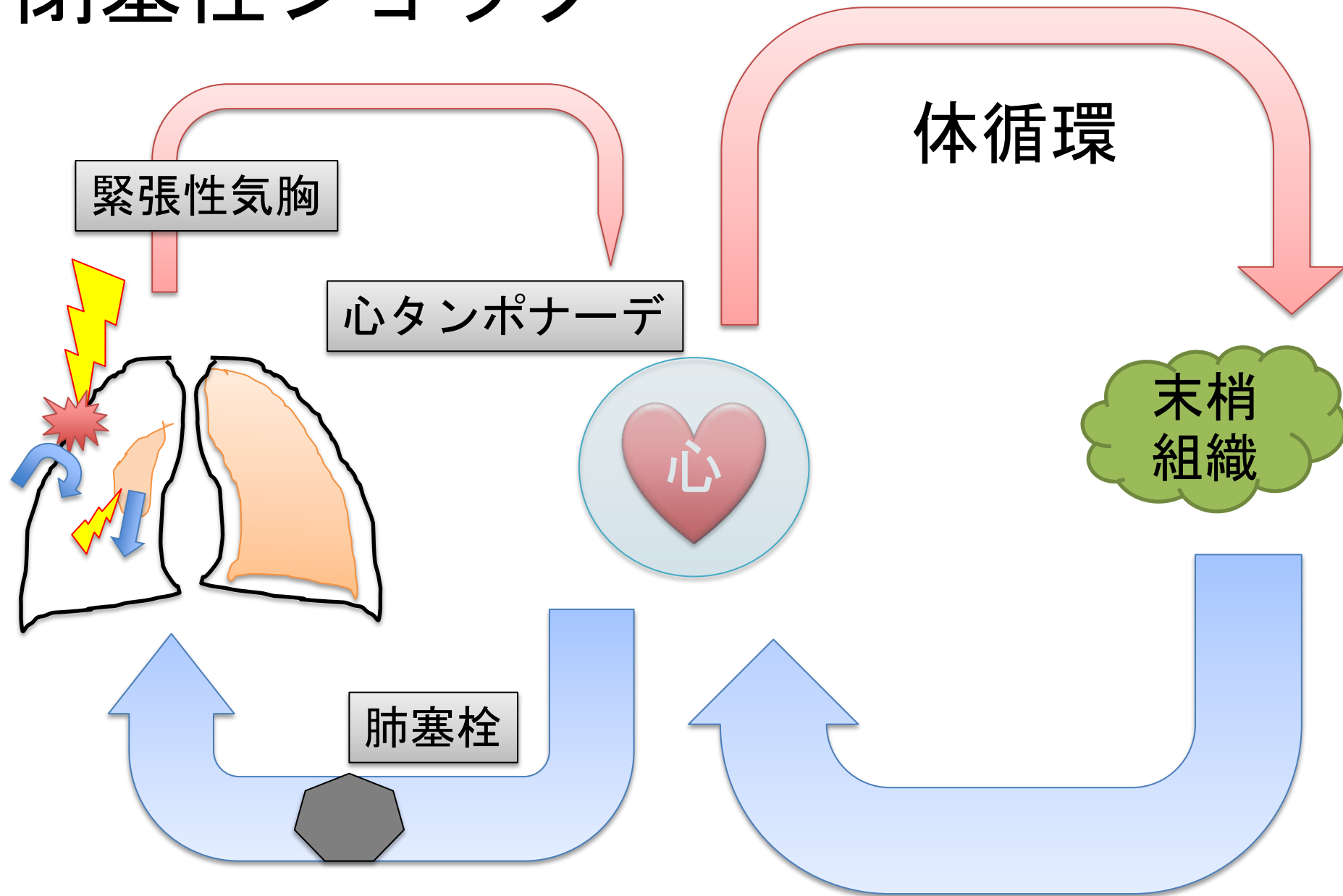
左心室に留置し循環を補助するための超小型のポンプを内蔵したカテーテル装置。
日本では2017年9月に保険適用



先端で左室内の血液を吸入し、
大動脈弁の外側で吐出する

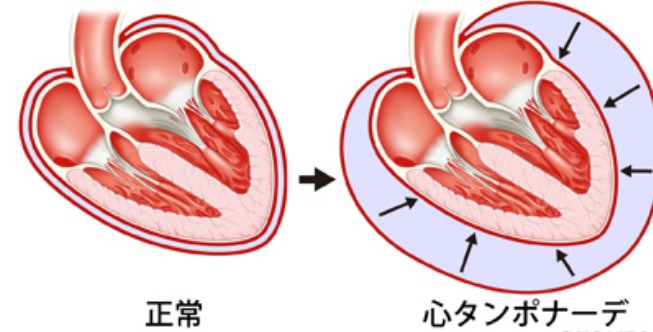
= 左室の仕事

閉塞性ショック

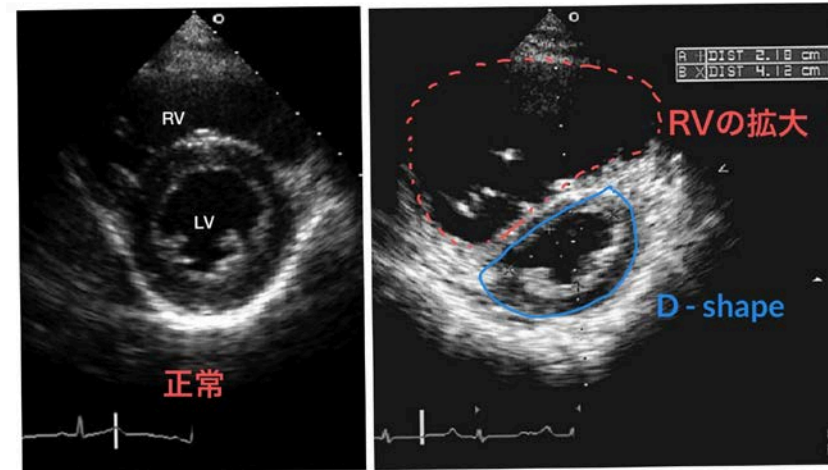


閉塞性ショックの治療

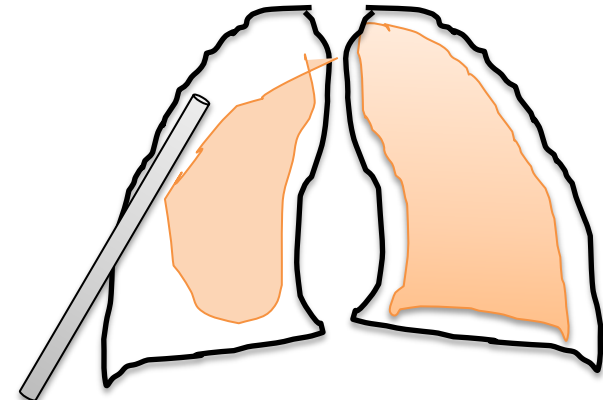
- 心タンポナーデ
心嚢穿刺、ドレナージ



- 肺塞栓
血栓溶解療法、
手術、VA-ECMO



- 緊張性気胸
緊急脱気、胸腔ドレーン挿入





ショックの分類別治療

血液分布異常性ショック

輸液

血管収縮薬

循環血液量減少性ショック

輸液、輸血、止血

心原性ショック

強心薬、原疾患の治療、循環補助装置

閉塞性ショック

外科的処置、循環補助装置（人工心肺）

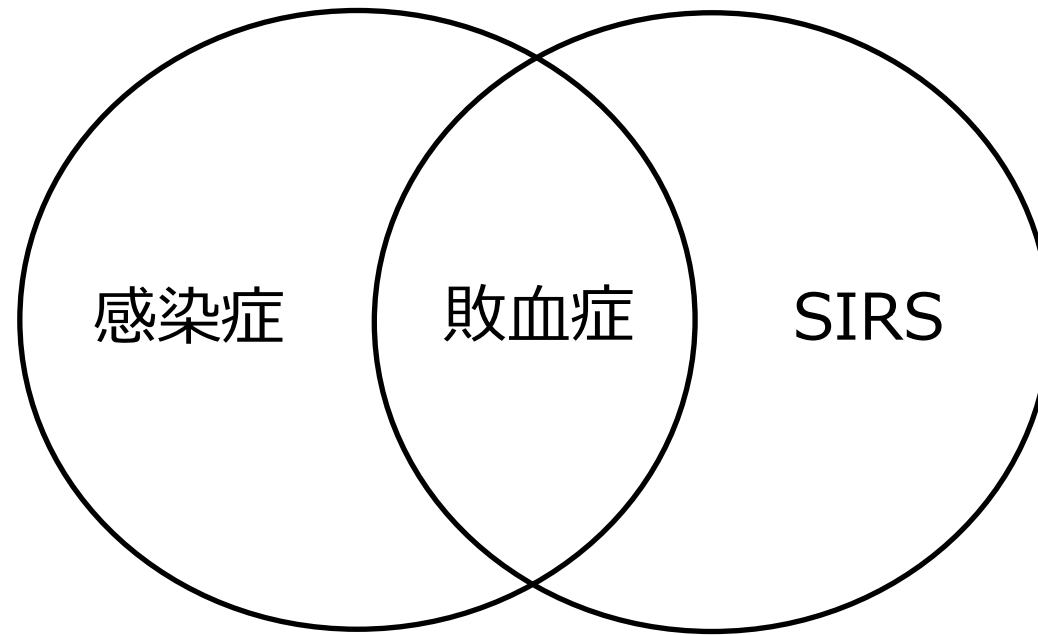
敗血症の歴史

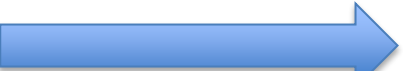
- Sepsis←Septikos（ギリシャ語で腐敗を意味する）
- 紀元前 8 世紀ごろには既に使用されていた
- 1914年 Schottmuller ら
『敗血症は局所から細菌が血中に侵入し、病気を引き起こす状態である』

敗血症の定義（以前）

1992年 Sepsis-1

感染症によるSIRS



- **重症敗血症（severe sepsis）**  後の「敗血症」の定義

臓器障害や循環不全、血圧低下を伴うような敗血症

- **敗血症性ショック（septic shock）**

適切な補液でも血圧低下が続く重症敗血症

敗血症の定義と診断基準 (2016年 Sepsis-3)

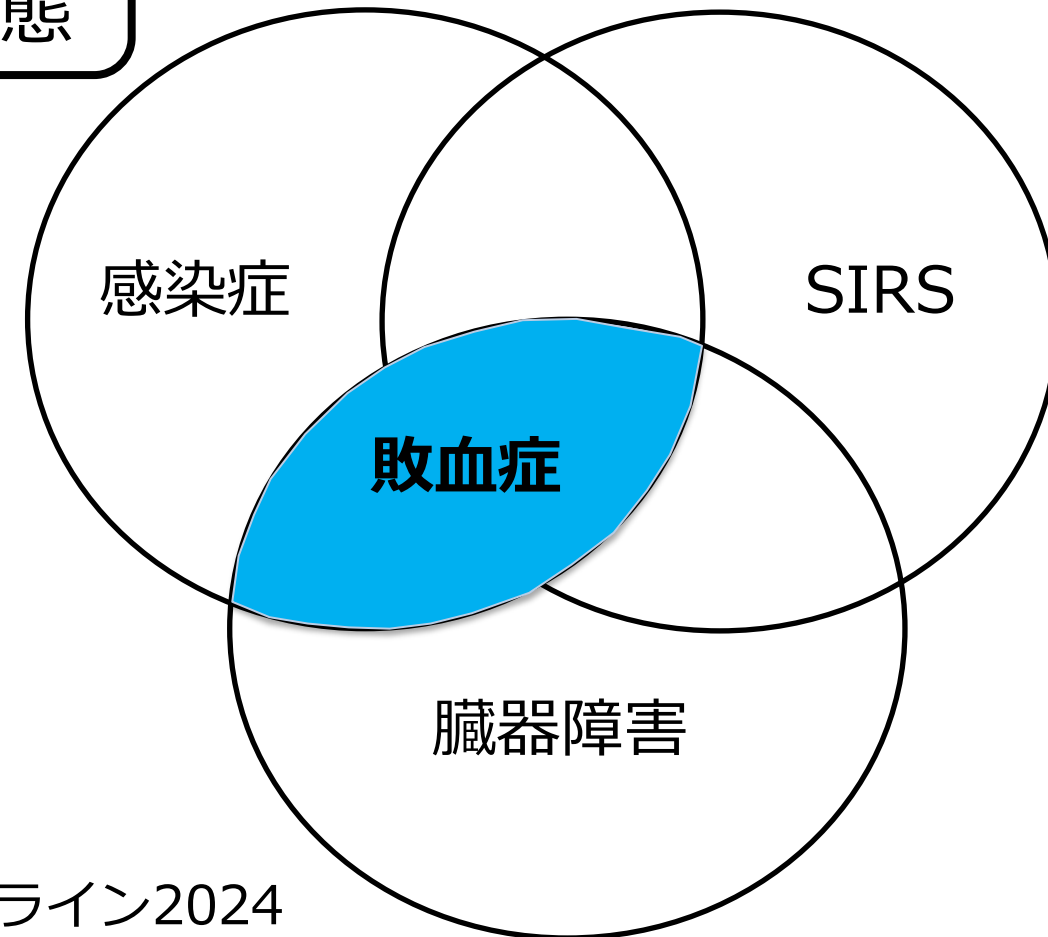
定義:

感染症に対する生体反応が調節不能な状態となり、重篤な**臓器障害**が引き起こされる状態

診断基準:

- ① 感染症もしくは感染症の疑い
- ② SOFAスコアの合計2点以上の急上昇

臓器障害



敗血症の診断基準

ICU

感染症疑い
+
SOFA総スコア2点以上の急上昇

院外、ER、病棟

感染症疑い
+
quick SOFA (qSOFA) 2項目以上

※ qSOFA

SOFAスコア sequential organ failure assessment

(重症度スコア = 臓器の障害度スコア)

	スコア (点)	0	1	2	3	4
意識	GCS	15	13～14	10～12	6～9	< 6
呼吸	PaO ₂ /FIO ₂	≧ 400	< 400	< 300	< 200及び呼吸補助	< 100及び呼吸補助
循環	血圧	平均血圧 ≧ 70mmHg	平均血圧 < 70mmHg	DOA or DOB < 5ug/kg/分	DOA 5-15 ug/kg/分 or NAd/Ad ≦ 0.1ug/kg/ 分	DOA > 15 ug/kg/分 or NAd/Ad > 0.1ug/kg/分
肝臓	血清ビリルビン値 (mg/dL)	< 1.2	1.2～1.9	2.0～5.9	6.0～11.9	≧ 12.0
腎臓	血清Cre (mg/dL) 尿量 (mL/日)	< 1.2	1.2～1.9	2.0～3.4	3.5～4.9 < 500	≧ 5.0 < 200
凝固	血小板数(x10 ³ /uL)	≧ 150	< 150	< 100	< 50	< 20

SOFA と quick SOFA

	SOFA	quick SOFA
場所	ICU	外来・病棟
項目	意識(各項目0-4点) 呼吸 循環 肝臓 腎臓 凝固	意識 呼吸 循環
最高点	4(点)X 6(項目)=24点	3点
最低点	0点	0点
敗血症 の診断	+2点以上の急上昇で疑う	2点以上で疑う

<quick SOFA の3項目
>

- 意識 GCS<15
- 呼吸数 $\geq 22/\text{min}$
- 収縮期血圧 $\leq 100\text{mmHg}$

重症患者？

敗血症性ショックの定義と診断基準（2016年 Sepsis-3）

定義：急性循環不全により細胞障害・代謝異常が重度となり、ショックを伴わない敗血症と比べて死亡の危険性が高まる状態

診断基準：☑敗血症の診断

☑平均動脈圧65mmHg以上を保つのに輸液療法に加えて血管収縮薬が必要

☑血中乳酸値> 2 mmol/L（18mg/dL）

敗血症疑ったら、**血中乳酸値**をチェックしよう！

→診断の感度・特異度はないが死亡率と関連

※ 敗血症性ショックは血液分布異常性ショック？

実は下記3つの要素が混在してる複雑なショックである。

● 血液分布異常性ショック

確かに初期はwarm shockだがcold shockに移行しやすい。

末梢が冷たくても否定しない！

○ 循環血液量減少性ショック

SIRSによる血管内皮細胞障害、血管透過性亢進



血管内脱水になりやすい

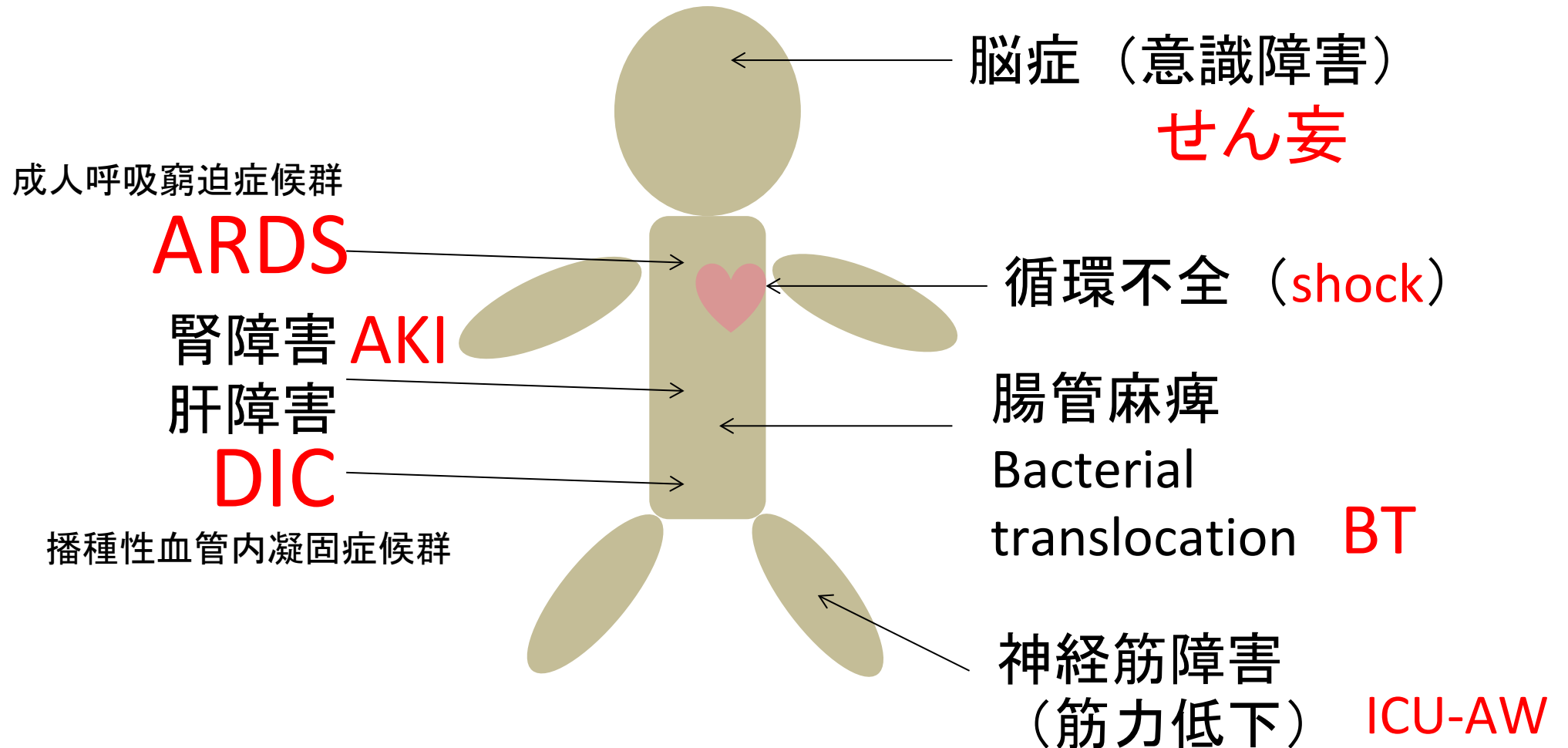


末梢冷感

○ 心原性ショック

敗血症性心筋症により左室のびまん性壁運動低下
敗血症の40-50%に生じる。多くは可逆的。

敗血症の臓器障害は全身に



感染

臓器障害

Sepsis

SOFA2点以上増加
= Mortality $\geq 10\%$

重篤な循環、細胞代謝異常

Septic shock

循環作動薬でmAP ≥ 65 mmHg
Lactate > 2 mmol/L (18mg/dL)
= Mortality $\geq 40\%$

MOF

多臓器不全

死亡

Surviving Sepsis Campaign Guideline

2004年 エビデンスに基づいたSepsis診療のガイドラインが初めて示された

- 単なる感染症治療だけではない
- 初期蘇生（※EGDT）からその後の支持療法まで
- 全身管理の観点から整備されたガイドライン
- 2004年、2008年、2012年、2016年、2021年、2024年

※ Early goal-directed therapy

初期蘇生 (EGDT)

- ・酸素投与
- ・人工呼吸導入検討
- ・輸液療法
- ・血液培養検査
- ・心エコー評価
- ・中心静脈カテーテル

EGDTを6時間以内に達成すると

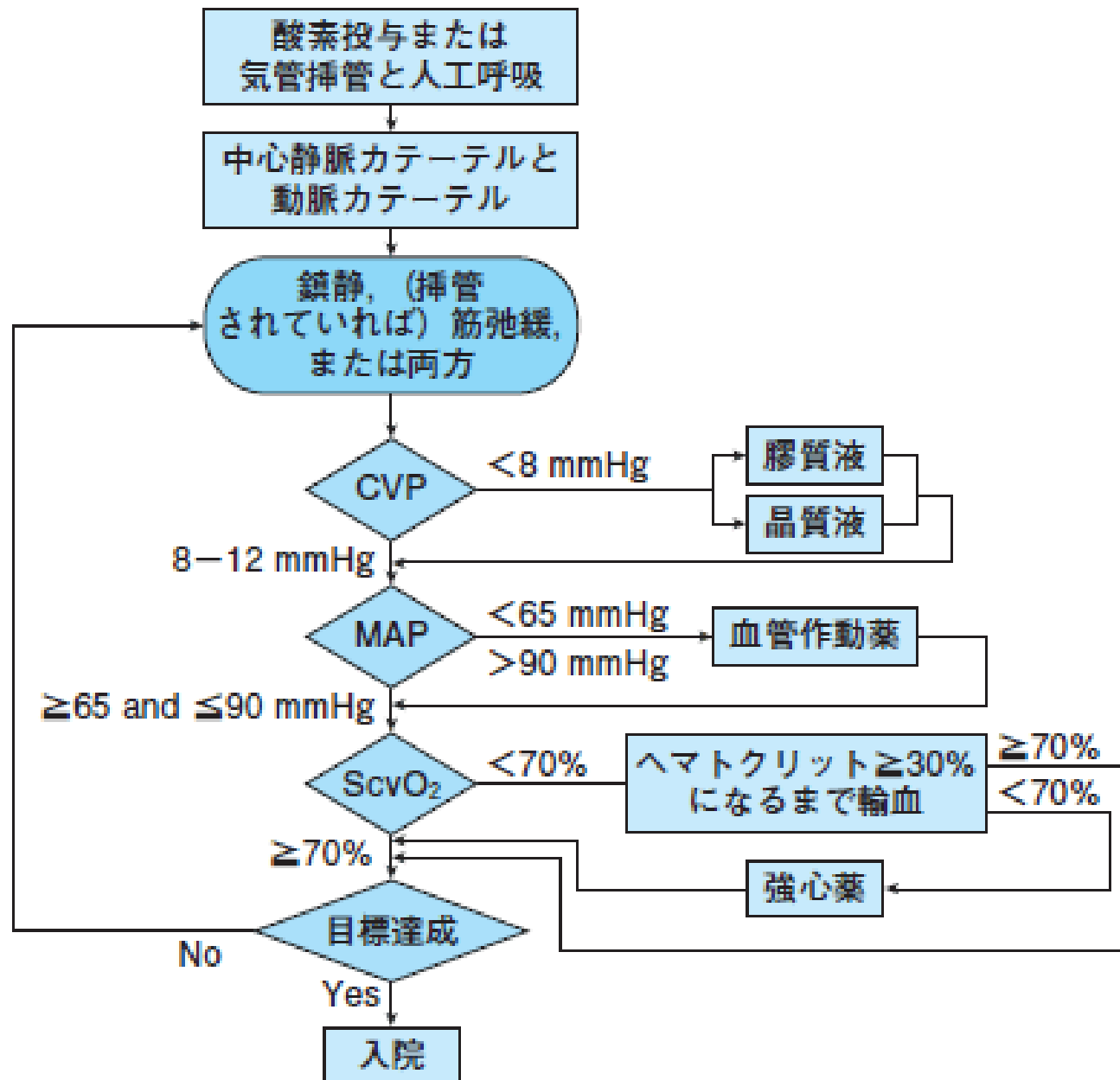
院内死亡率 46.5%



30.5%

※現在はEGDTのエビデンスは否定
(標準的に輸液をしっかりするようになった)

Early goal-directed therapy



J-SSCG 2024バンドル

② 初期治療バンドル

直ちに

微生物検査

- ✓ 血液培養 2セット
- ✓ 感染巣から検体採取

直ちに

抗菌薬

- ✓ 適切な抗菌薬開始

可及的速やかに

感染巣対策

- ✓ 感染巣の探索 全身CT
- ✓ 感染巣のコントロール

直ちに

初期蘇生

- ✓ 初期輸液（晶質液）：
輸液でショック改善しなければ
ICU考慮
3時間以内に30mL/kg目安
5%アルブミン製剤使用可
膠質液は×

- ✓ ノルアドレナリン：
早期に開始（末梢からでも可）
静脈系にプールされた血液を有
効な循環血液へ

- ✓ 乳酸値測定：
繰り返し施行

- ✓ 心エコー：
繰り返し施行



場合により

（腎集合体のV2受容体に作用する抗利尿ホルモン）

- ✓ バゾプレシン：
血管平滑筋のV1受容体に作用
1-2U/hで使用

- ✓ ヒドロコルチゾン：
ハイドロコートン 50 mgx4回/日

敗血症の治療

- 初期蘇生
- 診断
- 抗菌薬
- 感染巣コントロール
- 輸液療法
- 血液製剤
- 血管収縮薬
- コルチコステロイド
- 栄養療法
- 人工呼吸
- 鎮痛・鎮静
- 体温管理
- 血糖コントロール
- 腎代替療法
- 静脈血栓塞栓症対策

集中治療の基本的管理