東京大学 THE UNIVERSITY OF TOKYO

HITACHI Inspire the Next

循環とは何か？
～全身管理に必要な循環の生理学～

日立総合病院　救急集中治療科
中村謙介

自己紹介

中村 謙介（なかむら けんすけ） 1977年7月13日生まれ

1996年　筑波大学附属高等学校　卒業
2002年　東京大学医学部医学科　卒業
2014年　東京大学大学院　卒業

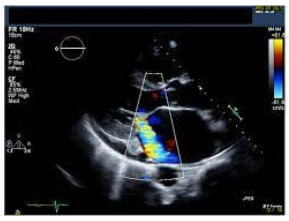
2002年　東京大学附属病院　皮膚科
2004年　東京大学附属病院　救急部集中治療部
2005年　太田西ノ内病院救命救急センター
2007年　東京大学附属病院　救急部集中治療部
2012年　日立総合病院救命救急センター　救急集中治療科

① 膠原病を専門に内科外科幅広く対応できるように皮膚科に入局
② 救急医学、集中治療医学の必要性を再認識し、救急集中治療部に移籍、内科の修練を積んだ上で救急部集中治療部に戻り、自身の臨床の研鑽と若手の教育を行う。
③ 大学院の研究での目途が立った時点で日立総合病院救命救急センターの立ち上げに参画、救命救急センター長として赴任。

HITACHI Inspire the Next

東京大学研鑽時代の師の教え

山口大介先生
航空機動衛生隊長・1等空佐



まず心エコー
循環を把握しろ

HITACHI Inspire the Next

循環を見る

HITACHI Inspire the Next

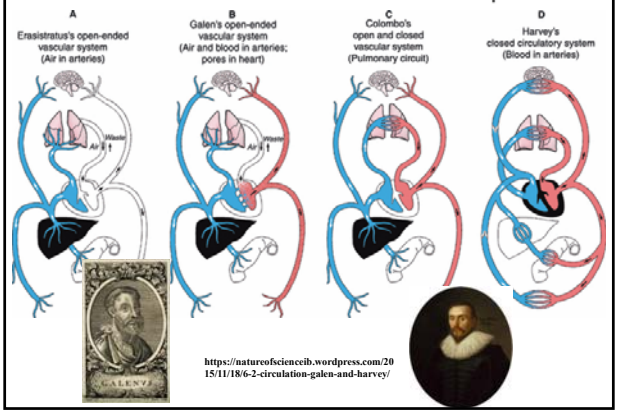
死守すべき循環管理

組織への「循環」を保ちつつ
「うっ血」を回避すること
（循環、うっ血いずれかが破綻した状態が心不全）

その上で
できる限り心仕事量を少なく心保護
を目指す。

HITACHI Inspire the Next

循環とは何か？



HITACHI Inspire the Next

そして現在、臨床において・・・
何をもって循環とみなせるか？

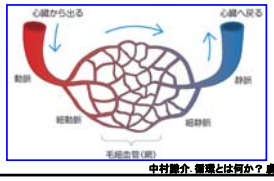
HITACHI Inspire the Next

循環のとらえ方
～循環の2要素～

循環は以下の2つの要素により成り立つ。

Oxygen Delivery　酸素運搬能
単位時間当たりに供給する酸素量
Perfusion　組織還流
末梢組織・細胞にしみわたる血液量

これらが破綻した状態がshockである。



中村謙介. 循環とは何か？ 鼎になる循環の生理学、三輪書房、2020

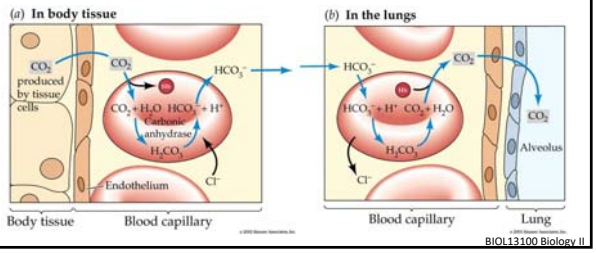
HITACHI Inspire the Next

Oxygen deliveryで循環を代表させる

glucoseなど栄養運搬やCO_2など老廃物回収も加味する必要があるが、これらを酸素運搬で代表させることが可能。

Glucose delivery = 心拍出量×血中glucose濃度

$C_6H_{12}O_6+6O_2 \rightarrow 6CO_2+6H_2O$



BIOL13100 Biology II

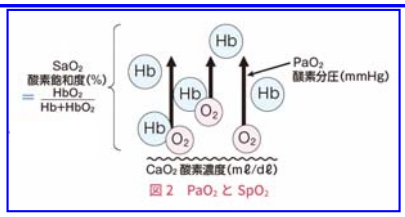
HITACHI Inspire the Next

酸素運搬　oxygen delivery

PaO_2：動脈血中の酸素分圧（mmHg）

SaO_2：酸素飽和度。
総Hb中酸素がくっついているHbの占める割合。

SpO_2：パルスオキシメトリ（SpO_2モニタ）で計測したSaO_2。



中村謙介. 循環とは何か？ 鼎になる循環の生理学、三輪書房、2020

HITACHI Inspire the Next

PaO_2、$SaO_2 \rightarrow CaO_2$

動脈血中の総酸素濃度CaO_2は

$$CaO_2 = 1.34 \times Hb \times SaO_2 + 0.003 \times PaO_2$$

係数に注目。いかにHbが重要な役割を果たしているか。血液に溶け込む酸素の量はHbにくっつく酸素→SaO_2が規定している。

① PaO_2よりもSaO_2が高いことが重要。
② PaO_2を100mmHg（→SaO_2 100%）以上にするメリットはほとんどない。

HITACHI Inspire the Next

$CaO_2 \rightarrow DO_2$, VO_2

酸素供給量 DO_2 oxygen delivery

$DO_2 = Q$（心拍出量）$\times CaO_2$
$= CI \times 13.4 \times Hb \times SaO_2$　（ml/min/m2）

これがOxygen Deliveryの定義式である。
CaO_2におけるPaO_2の関与は少ないので省略。
1.34が10倍されているのは単位合わせ。

酸素摂取量（消費量） VO_2 oxygen consumption

$VO_2 = Q \times (CaO_2 - CvO_2)$
$= CI \times 13.4 \times Hb \times (SaO_2 - SvO_2)$（ml/min/m2）

酸素が実際に末梢でどれだけとりこまれたかをあらわすことになる。

DO_2とO_2ER

HITACHI Inspire the Next

酸素摂取率 O_2ER Oxygen Extraction Ratio

$$O_2ER = VO_2 / DO_2$$

酸素供給(DO_2)に対する末梢摂取(VO_2)の割合。
→供給された酸素のうちどの程度とりこまれたか。

供給される酸素が少なくても(DO_2↓)
O_2ERが高くなれば組織的には低酸素にならない？

Table 1. Oxygenation Variables

	Rest-1	Rest-2	CPT-1	CPT-2	Post-CPT	Rest-3
Vo_2 (mL/min)	231 ± 55	244 ± 52	332 ± 94*†	346 ± 90*†	263 ± 65*‡§	240 ± 59‡§
Do_2 (mL/min)	990 ± 338	1043 ± 229	1088 ± 324	1122 ± 375‖	1073 ± 317	1017 ± 340‡§
ERo_2	0.24 ± 0.05	0.24 ± 0.04	0.31 ± 0.06*†	0.32 ± 0.07*†	0.25 ± 0.05‡§	0.25 ± 0.04‡§
Q_T (L/min)	7.2 ± 2.5	7.6 ± 2.0	7.9 ± 2.2‖	8.1 ± 2.6‖	7.8 ± 2.2	7.4 ± 2.4‡§
Svo_2 (mm Hg)	72 ± 6	72 ± 4	65 ± 7*†	64 ± 7*†	71 ± 5†§	71 ± 5†§

Note: Values are expressed as mean ± SD, n = 30.
Abbreviations: ERO_2, oxygen extraction; Q_T, cardiac output; Svo_2, venous oxygen saturation.

HITACHI Inspire the Next

Comparison of cardiorespiratory responses to sudden progressive hypoxia in an animal model with and without respiratory failure

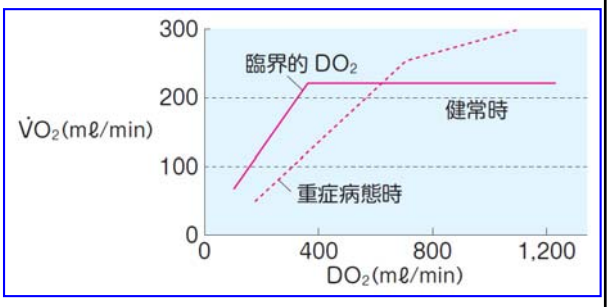
SANDRA LOOKINLAND, RN, PhD; WILLIAM C. SHOEMAKER, MD

TABLE 1. Temporal sequence of measured and derived variables in control and distemper animals

		Baseline	Early		Middle			Preterminal	Terminal
		Period 1	2	3	4	5	6	7	8
FiO_2	C	0.21	0.20	0.19	0.18	0.16	0.12	0.08	0.03
	D	0.21	0.20	0.20	0.18	0.15	0.10	0.07	0.02
PaO_2 (torr)	C	87 ± 6.2	83 ± 6.0	81 ± 5.9	73 ± 5.3	64 ± 4.8	41 ± 4.1	27 ± 3.2	12 ± 2.1
	D	48 ± 2.5	47 ± 2.3	46 ± 2.4	45 ± 2.1	39 ± 2.0	30 ± 1.8	22 ± 1.5	13 ± 1.1
CI (ml/min·kg)	C	87 ± 7	76 ± 3	68 ± 8[a]	86 ± 6	79 ± 6	77 ± 7	67 ± 6[a]	10 ± 4[b]
	D	57 ± 6[a]	67 ± 4	64 ± 6	54 ± 4[a]	58 ± 3[c]	64 ± 2	67 ± 6[a,c]	38 ± 10[a]
HR (beat/min)	C	109 ± 5	111 ± 7	107 ± 7	115 ± 8	112 ± 6	108 ± 4	83 ± 8[b]	40 ± 5[a]
	D	92 ± 6[c]	82 ± 3[a]	86 ± 5[c]	85 ± 5[c]	82 ± 4[a]	73 ± 7[c,a]	70 ± 9[b,a]	35 ± 4[a]
MAP (mm Hg)	C	123 ± 5	114 ± 4	115 ± 6	114 ± 6	116 ± 6	117 ± 6	124 ± 5	85 ± 9[a]
	D	113 ± 4	107 ± 2	104 ± 4	100 ± 5	102 ± 3	102 ± 4	102 ± 2	86 ± 10[a]
SVRI (dyne·sec/cm^5·kg)	C	2586 ± 95	2792 ± 252	2857 ± 209	2540 ± 307	2522 ± 218	2616 ± 189	3547 ± 580[a]	14,248 ± 622[a]
	D	3363 ± 378[c]	2563 ± 154[a]	2716 ± 215	2768 ± 150	2690 ± 124	2342 ± 96	2398 ± 210[b]	6556 ± 610[b,a]
WP (mm Hg)	C	8 ± 0.6	9 ± 0.5	10 ± 1	10 ± 0.8	11 ± 0.8	13 ± 0.8	22 ± 2	29 ± 2
	D	4 ± 0.7[a]	5 ± 0.4	5 ± 0.3	6 ± 0.3	7 ± 4	8 ± 0.6	8 ± 0.9	13 ± 2
Do_2 (ml/min·kg)	C	19 ± 2	14 ± 1	12 ± 4[a]	11 ± 2[a]	10 ± 1[b]	8 ± 1[b]	4 ± 0.3[b]	0.4 ± 0.2[b]
	D	11 ± 1[a]	13 ± 1[c]	10 ± 1	8 ± 0.7	7 ± 0.4[b]	6 ± 0.4[a]	4 ± 0.2[b]	1.2 ± 0.2[a]
Vo_2 (ml/min·kg)	C	3.4 ± 0.2	3.6 ± 0.1	3.5 ± 0.4	4.0 ± 0.2	3.6 ± 0.4	3.2 ± 0.4	2.2 ± 0.5[a]	0.14 ± 0.1[b]
	D	4.7 ± 0.5[c]	4.3 ± 0.1	4.3 ± 0.2	4.3 ± 0.3	4.4 ± 0.2	2.9 ± 0.3[b]	1.8 ± 0.2[b]	0.54 ± 0.2[a]
O_2 extr (%)	C	27 ± 4	38 ± 4	42 ± 5[c]	42 ± 5[c]	47 ± 5[a]	52 ± 5[a]	65 ± 4[a]	52 ± 5[a]
	D	50 ± 7[a]	52 ± 4	54 ± 7	59 ± 4[c]	64 ± 4[a,c]	72 ± 1[b,a]	68 ± 2[a]	65 ± 3[a]

Oxygen deliveryにおけるO_2ER代償

HITACHI Inspire the Next



O_2ERが限界に達するとVO_2がDO_2減少とともに下がる。
→ oxygen deliveryにはO_2ERという代償機転があり、多少少なくなっても大丈夫(臨界的DO_2→O_2ER50%程度まで)

中村勝介. 循環とは何か？ 歳になる循環の生理学、三輪書房、2020

通常のSaO2目標は90%
vvECMO中は80%程度でOK

HITACHI Inspire the Next

急性呼吸不全の定義：PaO_2＜60mmHg

Hbの酸素解離曲線が
PH 7.4, 37℃で
PaO_2 60mmHg＝SaO_2 90%
ここを境にPaO_2の低下で
大きくSaO_2が低下する
(→CaO_2が低下する)から

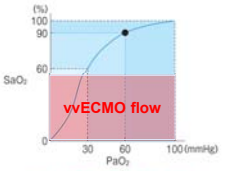


図 4 健常時の酸素解離曲線

① PaO_2<60mmHgでも生存可能
(DO2の限界はもっと低い)
② vvECMOが回っていれば安全のために
PaO2>60mmHgを目指す必要はない

中村勝介. 循環とは何か？ 歳になる循環の生理学、三輪書房、2020

Oxygen deliveryのモニタリング
SvO_2, $ScvO_2$

HITACHI Inspire the Next

前述のVO_2の式から、

$VO_2 = CI \times 13.4 \times Hb \times (SaO_2 - SvO_2)$

$$\Leftrightarrow SvO_2 = SaO_2 - \frac{VO_2}{13.4 \times CI \times Hb}$$

またDO_2,VO_2,O_2ERの式から

$$SvO_2 = (1 - O_2ER) \times SaO_2$$

SaO_2 = 1(100%)とすれば、

$$SvO_2 = 1 - O_2ER$$

SvO_2はO_2ER(oxygen delivery代償の限界)を見ているのと同じ

SvO_2はperfusionの指標となるか？

HITACHI Inspire the Next

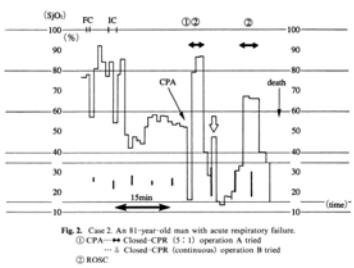


Fig. 2. Case 2. An 81-year-old man with acute respiratory failure.
①CPA→⇔ Closed-CPR (5 : 1) operation A tried
⋯ & Closed-CPR (continuous) operation B tried
② ROSC

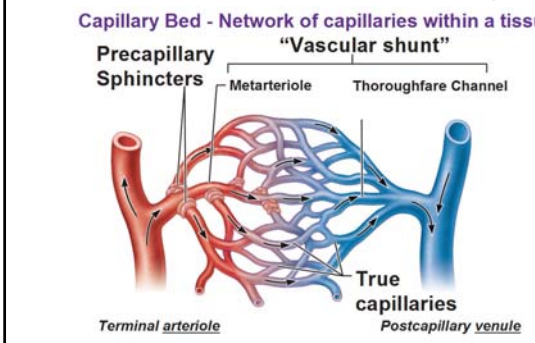
CPAで組織は×だが
蘇生はうまくいっている
場合
SvO2はむしろ高くなる。
(脳の活きをみれる)

perfusion↓+oxygen delivery+ →SvO2↑
perfusion↓+oxygen delivery− →SvO2↓

SvO2はoxygen deliveryの直接の指標であるが
perfusionの直接の指標ではない。

組織潅流 Perfusion

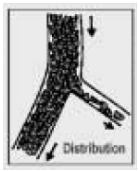
HITACHI Inspire the Next



http://bloodvesseld.blogspot.com/2012/06/anatomy-of-blood-vessels.html（2020年11月27日閲覧）

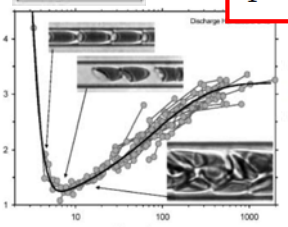
Rheology流動学 から考えるPerfusion

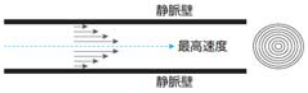
HITACHI Inspire the Next



ポアズイユの法則を用いて
血管内のflow流量はdriving pressure ΔP,
血管径r, 血管長L, 粘調度ηを用いて

$$F = \pi \Delta P r^4 / (8 \eta L)$$



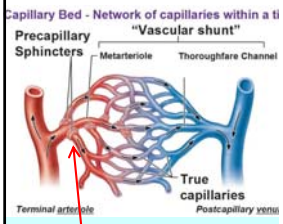


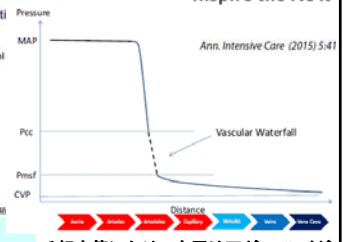
毛細血管の血流は
driving pressure血圧が作る

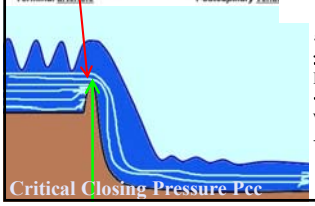
Clinical Hemorheology and Microcirculation 29 (2003) 143–148

Vascular Waterfall理論

HITACHI Inspire the Next



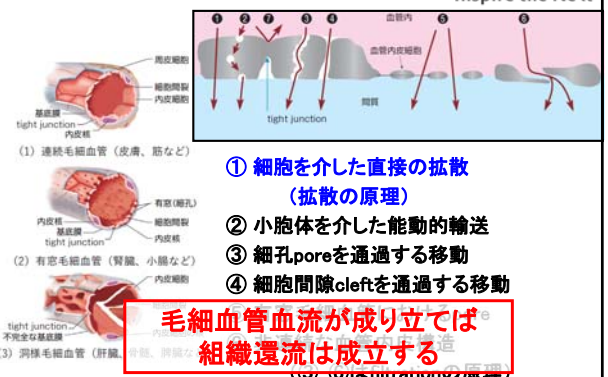




毛細血管にかけて血圧は下がっていくが、
最終的に括約筋関門でCritical Closing Pressure Pccを超えた圧があれば
それ以上いくらあろうが関係なく
Waterfall様に組織血流がなされる。
→臓器ごと局所ごとに
関門までのpressure dropやPccは異なるため、ある程度の体血圧が必要となる。

血管内皮細胞輸送

HITACHI Inspire the Next



① 細胞を介した直接の拡散
（拡散の原理）
② 小胞体を介した能動的輸送
③ 細孔poreを通過する移動
④ 細胞間隙cleftを通過する移動

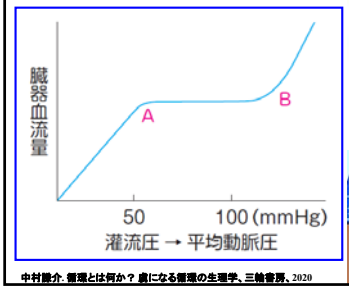
毛細血管血流が成り立てば
組織還流は成立する

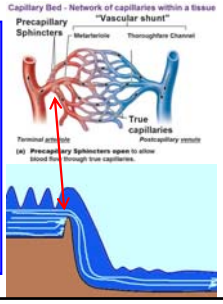
中村譲介. 循環とは何か？ 虜になる循環の生理学、三輪書房、2020

血圧と臓器還流曲線

HITACHI Inspire the Next

基本的に平均血圧Mean Arterial Pressureが
各臓器の還流を決定し、臓器血流量とperfusion pressure（通常はMAP）は図のような相関になる。



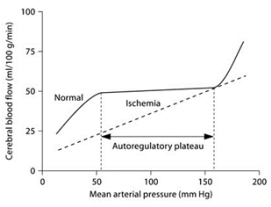


中村譲介. 循環とは何か？ 虜になる循環の生理学、三輪書房、2020

① 脳血流CBF

HITACHI Inspire the Next

$$CPP = MAP - ICP$$
$$CBF = CPP / CVR$$



CPP:cerebral perfusion pressure
CBF:cerebral blood flow
ICP:intracranial pressure
CVR:cerebral vascular resistance

大体MAPで50～150mmHgの間では脳血流が一定になるようにCVRが調節される。
調節幅が最も大きいのが脳。

IyvRiyusp99:5671579

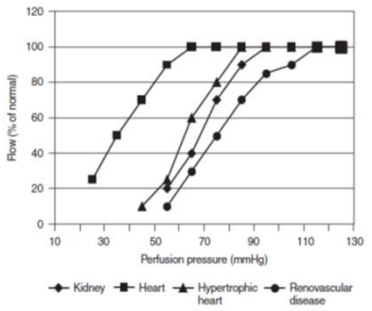
② 心血流

HITACHI Inspire the Next

冠灌流圧CPP
coronary perfusion pressure

CPP＝ diastolic arterial pressure
－RA diastolic pressure
（≒CVP）

冠灌流は主に拡張期になされる。
→心臓への血流を維持したければ
拡張期圧に留意すべき。
拡張気圧が低ければCVPも馬鹿にならない。
（CVPは全臓器の抵抗因子になる）



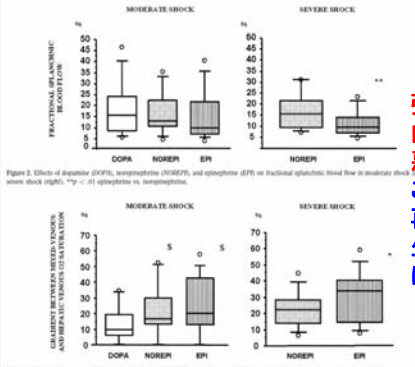
The relationship between perfusion pressure and organ flow for the kidney and heart under the pathophysiologic conditions of hypertrophy or renovascular disease. Coronary perfusion pressure = diastolic arterial pressure - left ventricular end diastolic pressure. Renal perfusion pressure = mean arterial pressure – tissue pressure.

Critical Care 2001, **5**:294-298

①
もともと血圧の高い人には高めの目標設定が必要。

②
生命に直結する重要臓器の血流は保たれやすく、
そうでない臓器のPerfusionから落ちることに留意する。

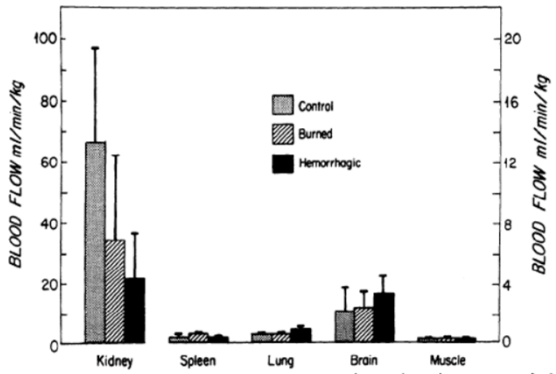
血流分布の再変化



Crit Care Med 2003 Vol. 31, No. 6

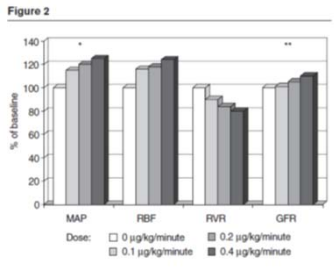
強いカテコラミンは内臓のperfusionを悪くしうる。
これは血流分布の再変化により
生命直結臓器優先に変わるから。

血流分布の再変化



J. Appl. Physiol. 65(4): 1782–1788, 1988.

カテコラミンを躊躇してはならない



Histogram illustrating the effect of different doses (0–0.4 µg/kg/minute) of noradrenaline on mean arterial pressure (MAP), renal blood flow (RBF), renal vascular resistance (RVR) and glomerular filtration rate (GFR) in the dog. Both MAP and GFR are significantly increased by noradrenaline at clinically relevant doses. *$P<0.01$; **$P<0.05$. Published with permission from *The Journal of Physiology* [18].

Critical Care 2001, **5**:294-298

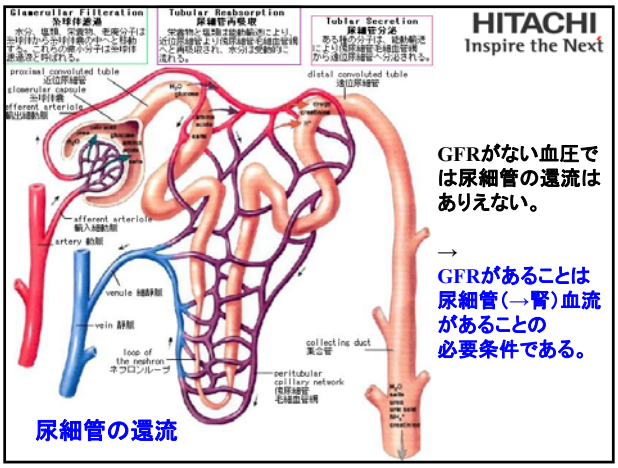
NoAでかえってRBF、GFRが上がる。
→要は強さと量の問題。
血圧不足よりは絶対にいいと。

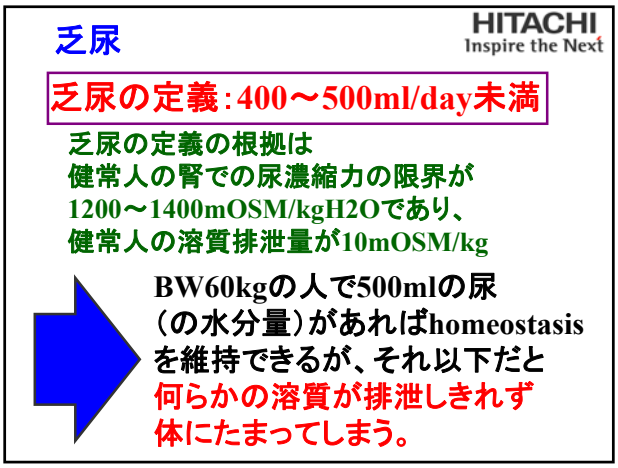
尿はperfusionの指標

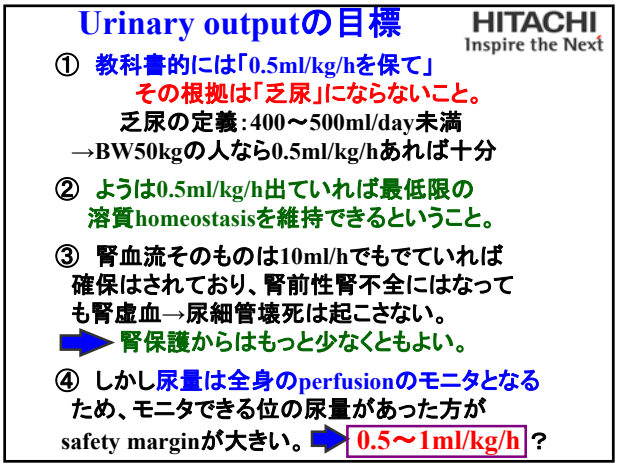
各臓器へのperfusionが十分であることは何で確認すればよいか？
lactate？ →×（破綻しきった後に出る）
重要であるがあまりモニタできるものがない

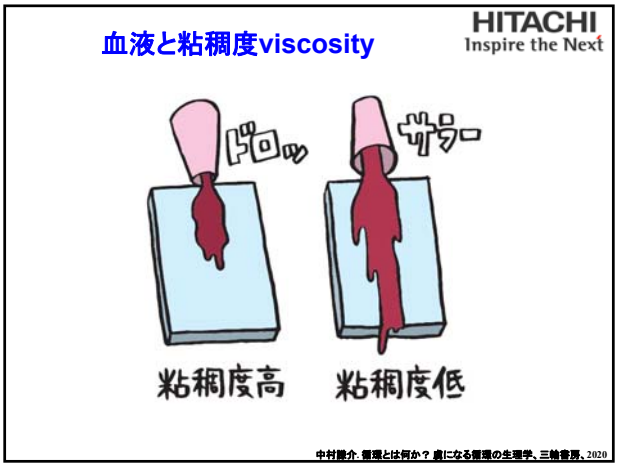
しかし腎のperfusionだけは尿でわかる。
（尿は腎のperfusion→GFRの結果である）
さらに腎のperfusionは落ちやすい方なので、
尿量がある→腎OK→全身perfusion OK
ということが（おおむね）言える。

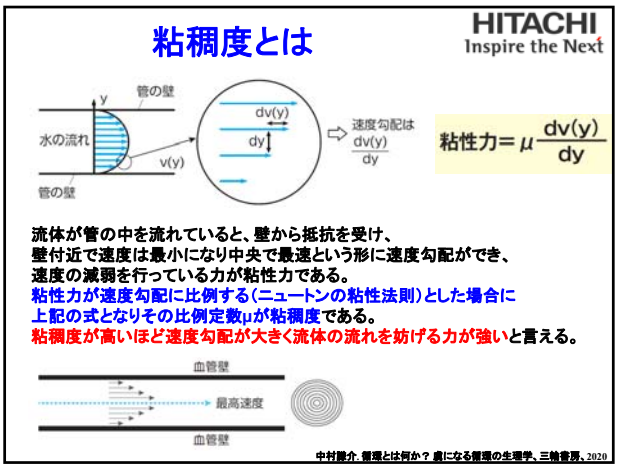
➡ 尿はperfusionの指標となる。

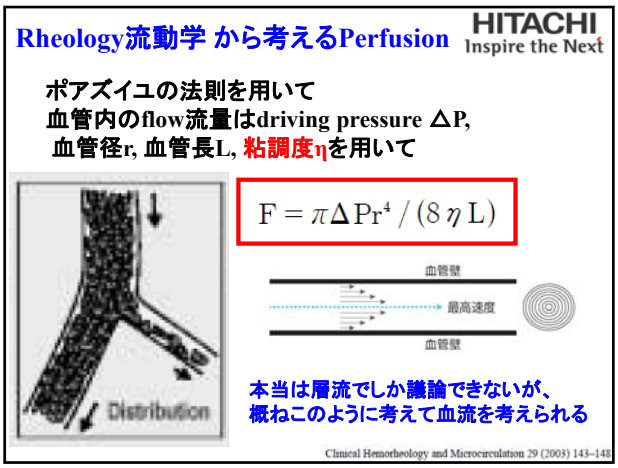

HITACHI
Inspire the Next
Glomerular Filtteration
糸球体濾過
Tubular Reabsorption
尿細管再吸収
Tubler Secretion
尿細管分泌
proximal convoluted tube
近位尿細管
glomerular capsule
糸球体嚢
efferent arteriole
輸出細動脈
afferent arteriole
輸入細動脈
artery 動脈
venule 細静脈
vein 静脈
loop of the nephron
ネフロンループ
peritubular capillary network
尿細管毛細血管網
distal convoluted tube
遠位尿細管
collecting duct
集合管
GFRがない血圧では尿細管の還流はありえない。
→
GFRがあることは尿細管(→腎)血流があることの必要条件である。
尿細管の還流


HITACHI
Inspire the Next
乏尿
乏尿の定義:400～500ml/day未満
乏尿の定義の根拠は
健常人の腎での尿濃縮力の限界が
1200～1400mOSM/kgH2Oであり、
健常人の溶質排泄量が10mOSM/kg
BW60kgの人で500mlの尿(の水分量)があればhomeostasisを維持できるが、それ以下だと何らかの溶質が排泄しきれず体にたまってしまう。


HITACHI
Inspire the Next
Urinary outputの目標
① 教科書的には「0.5ml/kg/hを保て」
その根拠は「乏尿」にならないこと。
乏尿の定義:400～500ml/day未満
→BW50kgの人なら0.5ml/kg/hあれば十分
② ようは0.5ml/kg/h出ていれば最低限の溶質homeostasisを維持できるということ。
③ 腎血流そのものは10ml/hでもでていれば確保はされており、腎前性腎不全にはなっても腎虚血→尿細管壊死は起こさない。
腎保護からはもっと少なくともよい。
④ しかし尿量は全身のperfusionのモニタとなるため、モニタできる位の尿量があった方がsafety marginが大きい。
0.5～1ml/kg/h?

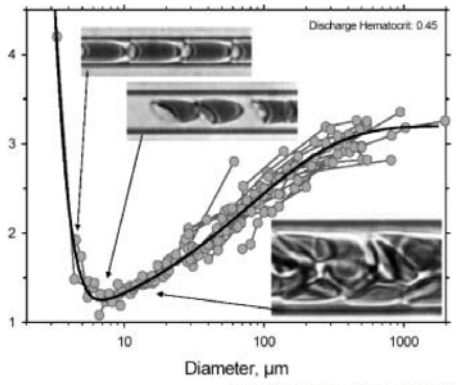

HITACHI
Inspire the Next
血液と粘稠度viscosity
ドロッ
サラー
粘稠度高
粘稠度低
中村隆介. 循環とは何か？ 鼻になる循環の生理学、三輪書房、2020


HITACHI
Inspire the Next
粘稠度とは
管の壁
水の流れ
v
v(y)
dv(y)
dy
速度勾配は dv(y)/dy
粘性力=μ dv(y)/dy
流体が管の中を流れていると、壁から抵抗を受け、
壁付近で速度は最小になり中央で最速という形に速度勾配ができ、
速度の減弱を行っている力が粘性力である。
粘性力が速度勾配に比例する(ニュートンの粘性法則)とした場合に
上記の式となりその比例定数μが粘稠度である。
粘稠度が高いほど速度勾配が大きく流体の流れを妨げる力が強いと言える。
血管壁
最高速度
血管壁
中村隆介. 循環とは何か？ 鼻になる循環の生理学、三輪書房、2020


HITACHI
Inspire the Next
Rheology流動学 から考えるPerfusion
ポアズイユの法則を用いて
血管内のflow流量はdriving pressure ΔP,
血管径r, 血管長L, 粘調度ηを用いて
F = πΔPr⁴ / (8ηL)
Distribution
血管壁
最高速度
血管壁
本当は層流でしか議論できないが、
概ねこのように考えて血流を考えられる
Clinical Hemorheology and Microcirculation 29 (2003) 143–148

血管径と(みかけの)粘稠度変化

HITACHI Inspire the Next



Clinical Hemorheology and Microcirculation 29 (2003) 143–148

赤血球の変形と粘稠度

HITACHI Inspire the Next

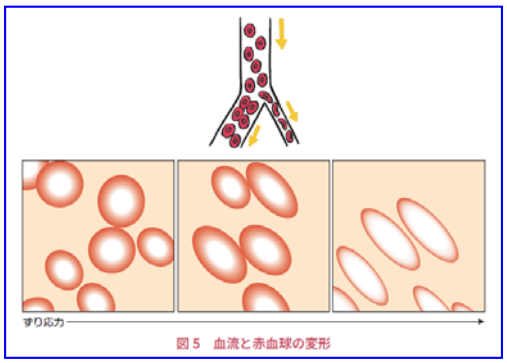
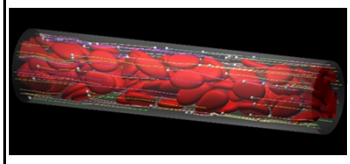


図5　血流と赤血球の変形

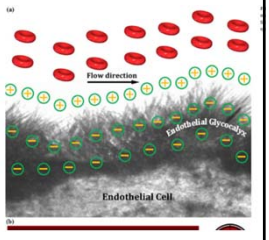
中村隆介. 循環とは何か？ 鼻になる循環の生理学、三輪書房、2020

赤血球の軸集中と血漿層形成

HITACHI Inspire the Next



最たる例がplasma skimming

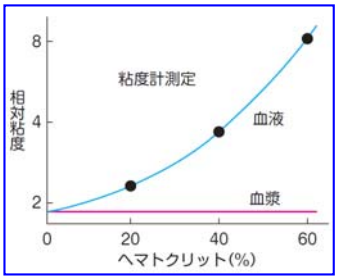


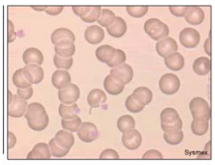
グリコカリクスと血球血漿分離

Clinica Chimica Acta 472 (2017) 5–12

赤血球と粘稠度

HITACHI Inspire the Next





① 赤血球は主な粘稠度形成物質
② 粘度計計測は臨床的意義は少ない

中村隆介. 循環とは何か？ 鼻になる循環の生理学、三輪書房、2020

粘稠度による循環変化

HITACHI Inspire the Next

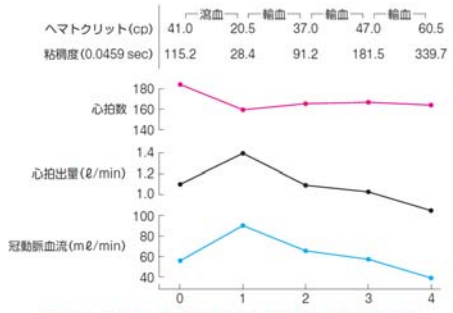


図 10　イヌの粘稠度変化と心拍出量、冠動脈血流

イヌでヘマトクリットと粘稠度を変化させた実験

Japan Circulation Jounal vol44, p443 :1980

中村隆介. 循環とは何か？ 鼻になる循環の生理学、三輪書房、2020

循環を読み解く

HITACHI Inspire the Next

循環は以下の2つの要素により成り立つ。

Oxygen Delivery
$DO_2 = 13.4 \times CO \times Hb \times SaO_2$
それが足りていることの指標に SvO_2

Perfusion
$BP = CO \times VR$
それが足りていることの指標に 尿量
(いずれか破綻すると 乳酸↑)

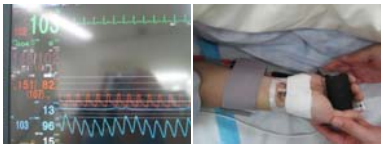
「循環を見る」ということはoxygen deliveryとperfusionを見るということであり、要素として BP, CO, SpO_2, Hb (→SvO_2, 尿量, 乳酸)を見ることで成されるということができる。

perfusionとoxygen delivery

HITACHI Inspire the Next

Oxygen deliveryはO_2ERという代償機転があるが、Perfusionには代償機転がない！→破綻すると死に直結

① 血圧（→perfusion）は死守すべき、最も重要な循環管理対象となる。
② Oxygen delivery（CO, Hb, SaO_2）は多少少なくても大丈夫なので容認しつつ管理することが可能



Aラインモニタリング

循環を読み解くモニタリング手法

HITACHI Inspire the Next

表1　循環の評価

CO	① 正確にはスワンガンツカテーテルによる熱希釈法（経肺熱希釈法でもよい） ② 心エコーで推定（ejection fraction、大動脈弁流出波形解析）
Hb濃度	採血で検査（血液ガス分析で一緒にできるものもある）
SaO_2	① 動脈血ガス分析 ② パルスオキシメトリでSpO_2
血圧	① 動脈圧ライン ② 血圧実測
SvO_2	① スワンガンツカテーテル先端から採血 ※機能がついているものなら、その後、持続モニタリング ② $ScvO_2$で代用 ※内頸静脈から採血し血液ガス分析
尿量	① 尿道バルーンを留置し1～2時間おきに尿量測定 ② 8～12時間ごとあるいは1日ごとの尿量カウント、蓄尿など
乳酸値	血液ガス分析

①＞②でより精確かつ侵襲のある評価

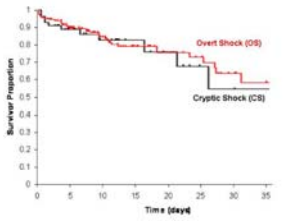
中村謙介. 循環とは何か？ 鼻になる循環の生理学、三輪書房、2020

Cryptic Shockに挑む

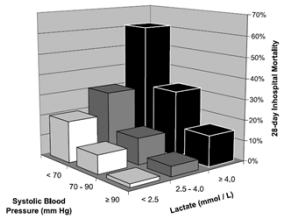
HITACHI Inspire the Next

Cryptic: 秘密の, 謎めいた, 神秘的な

世には血圧正常だがlactateが上がるshockが確実に存在し、cryptic shock, normotensive shock, Occult hypoperfusionなどと表現される。



Resuscitation 2011 October ; 82(10): 1289–1293.



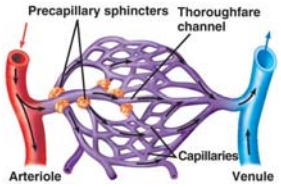
Intensive Care Med (2007) 33:1892–1899

Cryptic Shock / Normotensive shock

HITACHI Inspire the Next

cryptic shockの一部はoxygen deliveryの破綻（perfusionは維持された）による循環の破綻である。

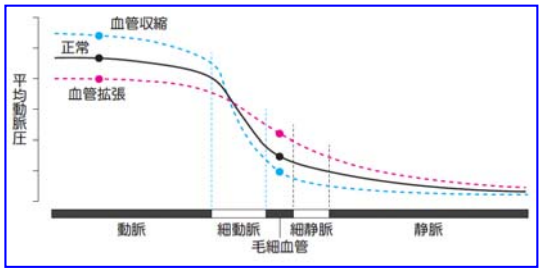
血圧（→perfusion）が維持されていてもあまりに低いCOで管理しているとoxygen deliveryの不足によりshockとなりえて、一部の臓器（生命直結性の低い臓器）の血流不足によって破綻となりうる。



体血圧維持下での局所での血圧低下

HITACHI Inspire the Next

主に心拍出量低下している症例において体血圧～局所血圧の大きな解離を認め、体血圧はあるがperfusion破綻する症例が存在しうる。

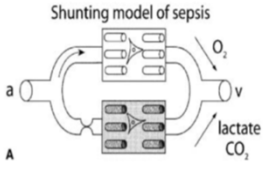


中村謙介. 循環とは何か？ 鼻になる循環の生理学、三輪書房、2020

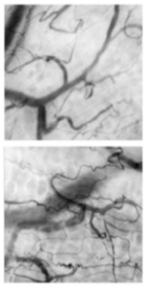
局所での血流低下

HITACHI Inspire the Next

大血管における循環が成り立っていても局所の血流（perfusion）破綻はありえる。
→　① 観察は困難
② 対処は血管拡張？抗凝固？



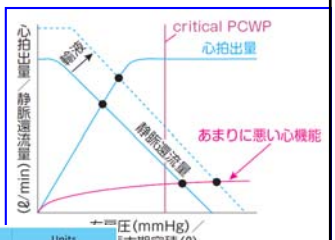
Intensive Care Med (2002) 28:1208–1217



Microperfusion観察
Uz et al. Perioperative Medicine (2018) 7:18

前負荷と循環

HITACHI Inspire the Next



Modality	Formula	Units
Stroke pressure work (SPW)	$\frac{MAP \cdot SV \cdot 1.35}{1000}$	Gm.-m./beat
Stroke kinetic work (SKW)	$\frac{SV^3}{DS^2} \cdot 8.3\times10^{-7}$	Gm.-m./beat
Total stroke work (TSW)	$SPW_V + SKW_V$	Gm.-m./beat
Total minute work (TMW)	$\frac{TSW_V \times HR}{1000}$	Kg.-m./beat

HR : heart rate, MAP : mean arterial pressure, SV : stroke volume, DS : duration of systole,

中村謙介. 循環とは何か？虜になる循環の生理学、三輪書房、2020

HITACHI Inspire the Next

死守すべき循環管理

組織への「循環」を保ちつつ
「うっ血」を回避すること
（循環、うっ血いずれかが破綻した状態が心不全）

その上で
できる限り心仕事量を少なく心保護
を目指す。

東京大学 THE UNIVERSITY OF TOKYO

HITACHI Inspire the Next

Conclusion

循環の2要素として

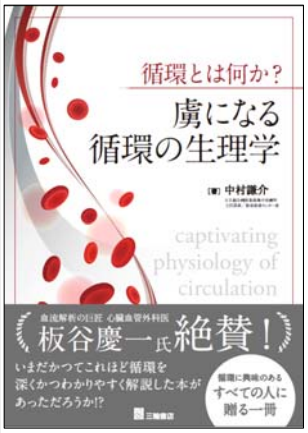
Oxygen Delivery
DO2 = 13.4 × CO × Hb × SaO2
それが足りていることの指標に SvO2

Perfusion
BP = CO × VR
それが足りていることの指標に 尿量

いずれにも関わるCOの源として
CVP, PCWP, SVV, GEDV, etc.

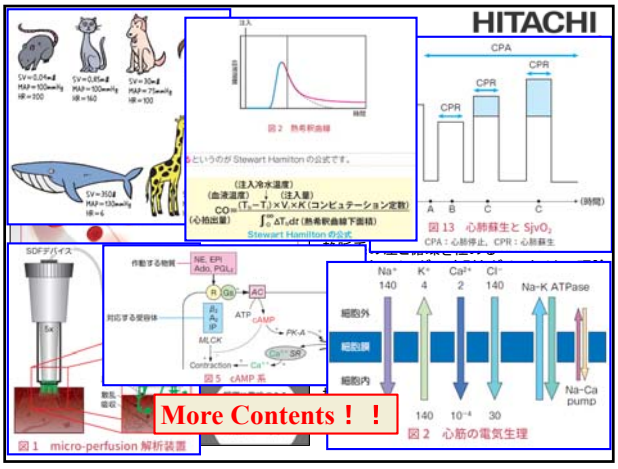
これら（特にCO, BP, SVVなど）をモニタリングするために、
動脈圧ラインと各種モニタリングデバイスを駆使する。

HITACHI Inspire the Next

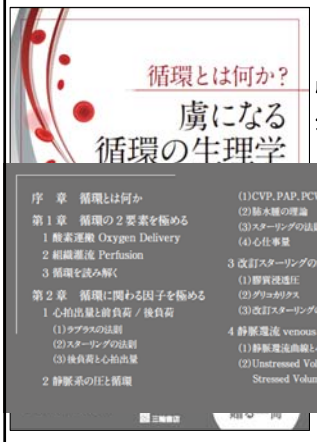


序章 循環を極めよう
循環とは何か
第1章 循環の2要素を極める
酸素運搬 oxygen delivery
組織潅流 perfusion
循環を読み解く
第2章 循環に関わる因子を極める
心拍出量と前負荷／後負荷
静脈系の圧と循環を極める
改訂スターリングの法則とグリコカリクス理論
静脈還流 venous return
血液と粘稠度
第3章 循環作動薬を極める
昇圧薬（血管収縮薬と強心薬）
降圧薬
利尿薬
抗不整脈薬

HITACHI Inspire the Next



HITACHI Inspire the Next



序章 循環を極めよう
循環とは何か
第1章 循環の2要素を極める
酸素運搬 oxygen delivery
組織潅流 perfusion