AER
ACTUALITÉS EN RÉANIMATION

29e Congrès francophone
ACTUALITÉS EN RÉANIMATION
Médecine Intensive, Surveillance Continue
et Urgences Graves

Physiologie appliquée à la défaillance circulatoire

Alexandra Beurton

Service de Médecine Intensive – Réanimation

Hôpital Tenon, AP-HP, Paris

MÉDECINE SORBONNE UNIVERSITÉ

AP-HP. Sorbonne Université

Hôpital Tenon AP-HP

Liens d'intérêt

☑ Je déclare les liens d'intérêt suivants :

Aucun

Plan de la présentation

Physiologie du système circulatoire

Physiopathologie de la défaillance circulatoire

Mécanismes compensateurs

Le cas du choc septique

Impact des états de choc

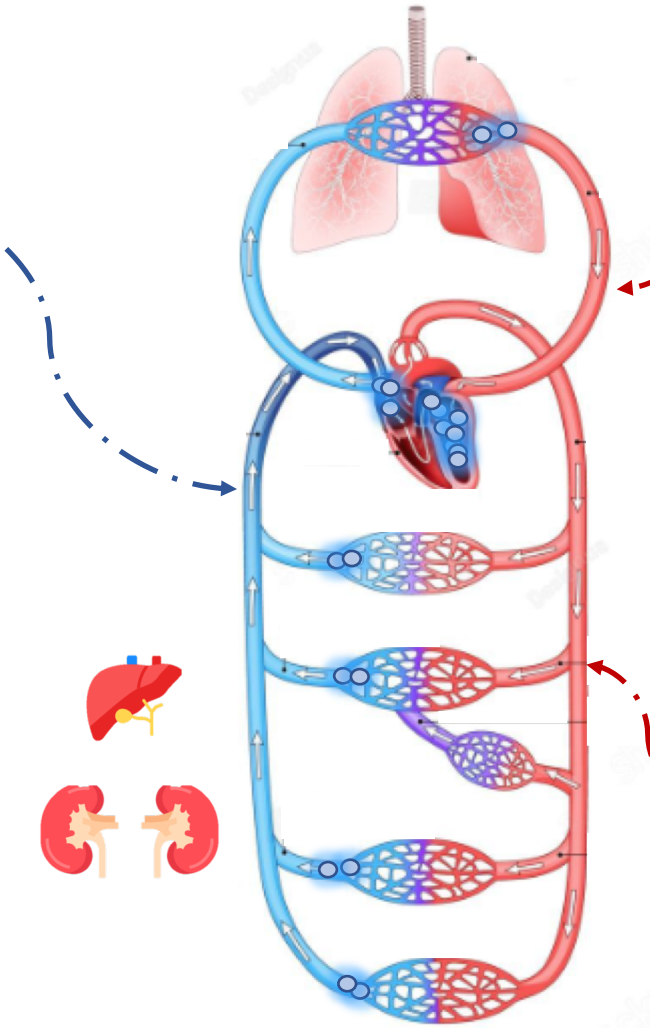
Physiologie système circulatoire

Physiologie système circulatoire

Sang veineux → cœur

Précharge

SvO_2 70%



Sang artériel oxygéné → organes

SaO_2 100%

30% d'extraction

Physiologie système circulatoire

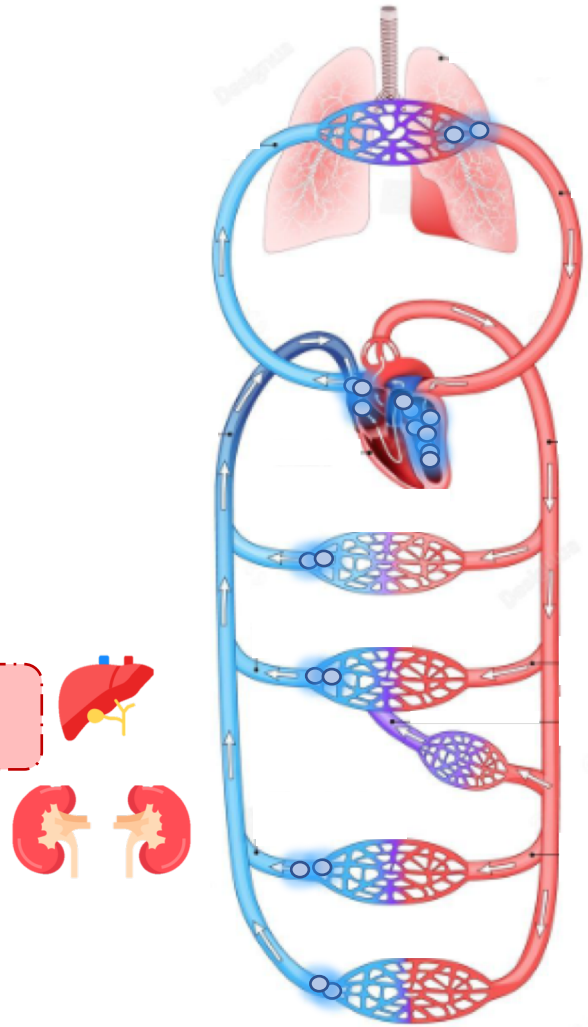
Consommation en O_2

VO_2

$TaO_2 \times EO_2$

Transport artériel en oxygène

Extraction en O_2



Transport artériel en oxygène

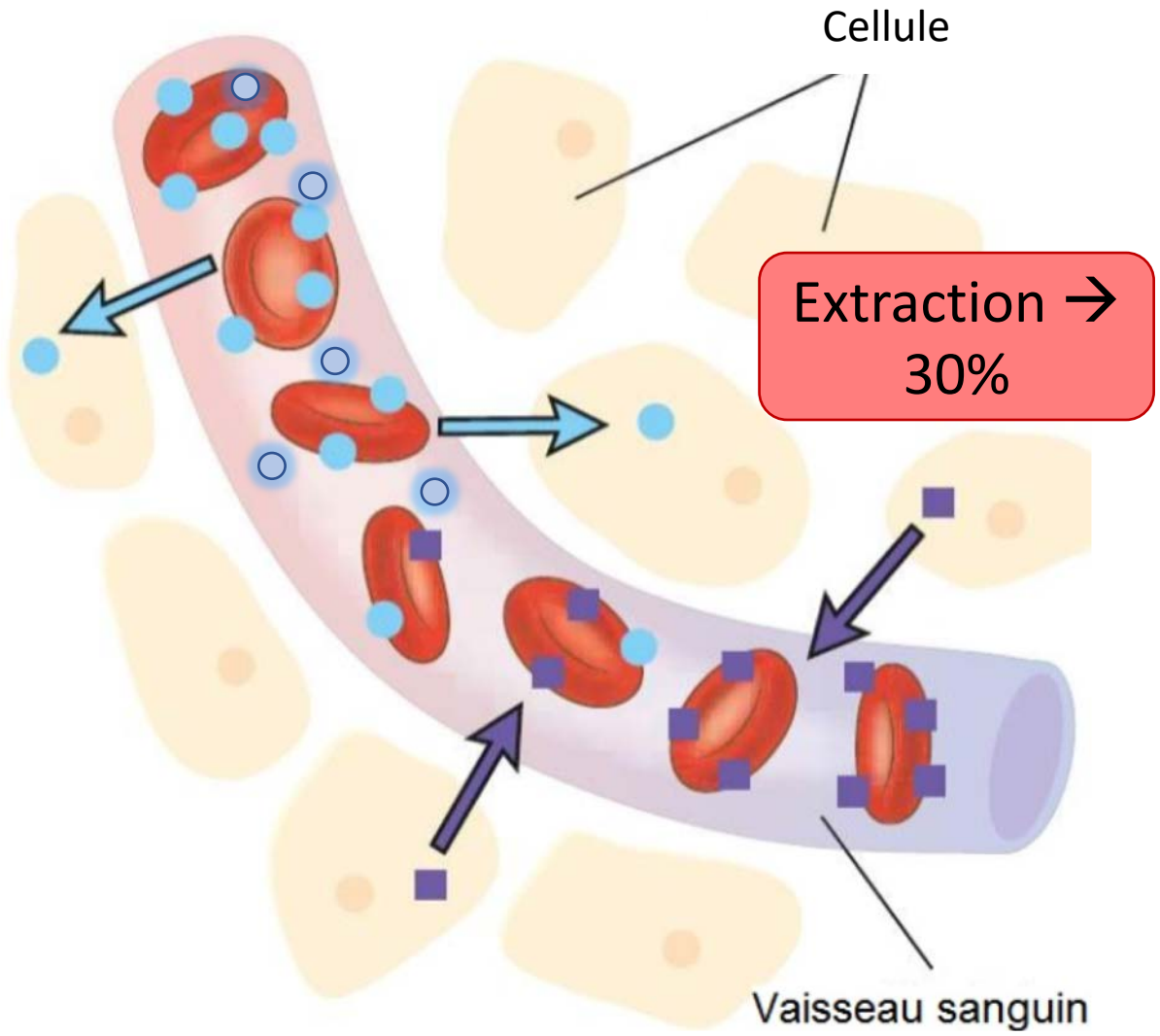
TaO_2

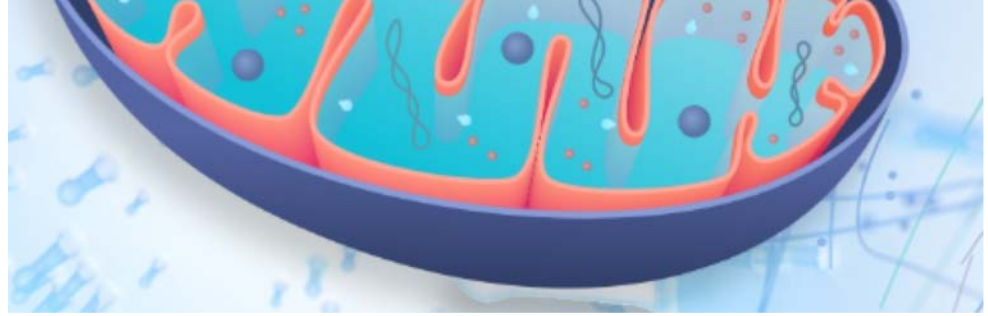
$DC \times CaO_2$

Débit cardiaque

Contenu artériel O_2

Physiologie système circulatoire





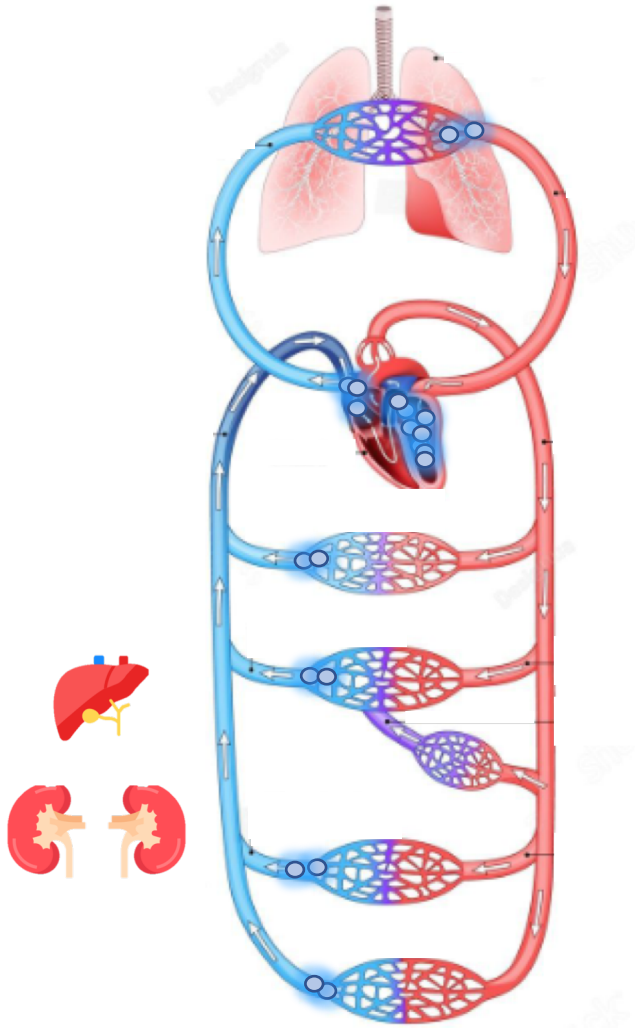
Physiopathologie de la défaillance circulatoire

Quels sont les caractéristiques de la défaillance circulatoire ?

- ❑ ↓ du débit cardiaque
- ❑ ↓ de la précharge cardiaque
- ❑ ↓ de la contractilité
- ❑ ↓ de la pression artérielle
- ❑ Vasodilatation artérielle et veineuse

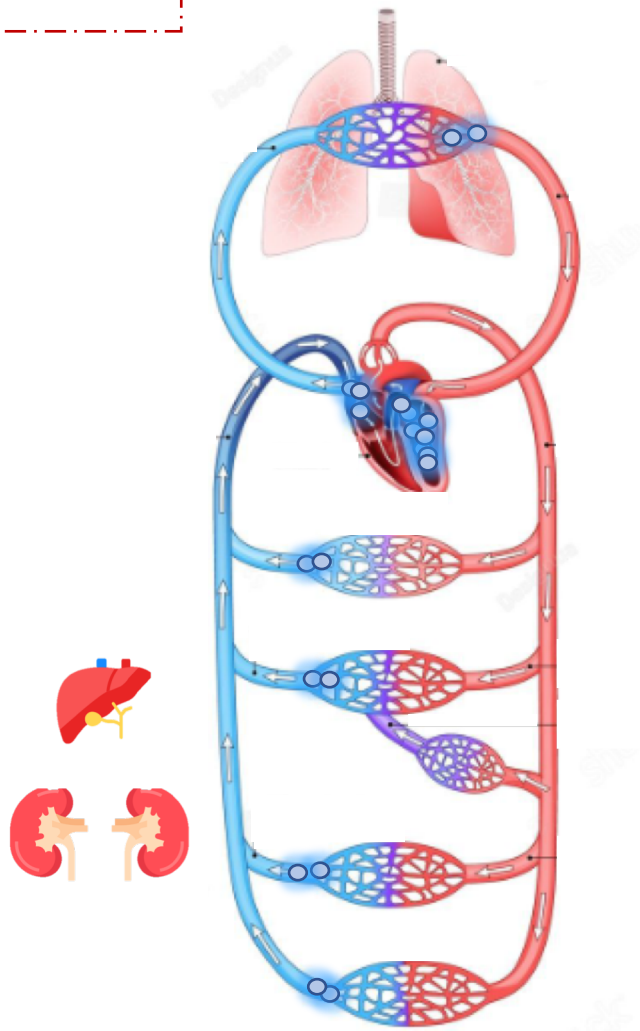
Physiopathologie de la défaillance circulatoire

Etat de choc



Physiopathologie de la défaillance circulatoire

Etat de choc



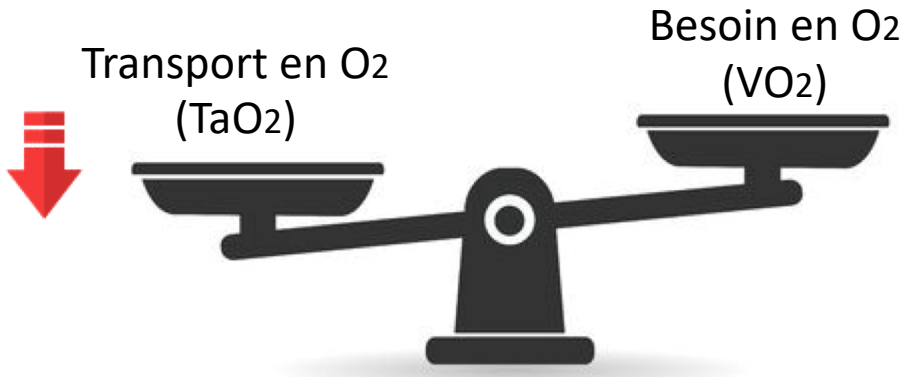
Phase ultime de défaillance circulatoire

↓

↘ de la perfusion des organes

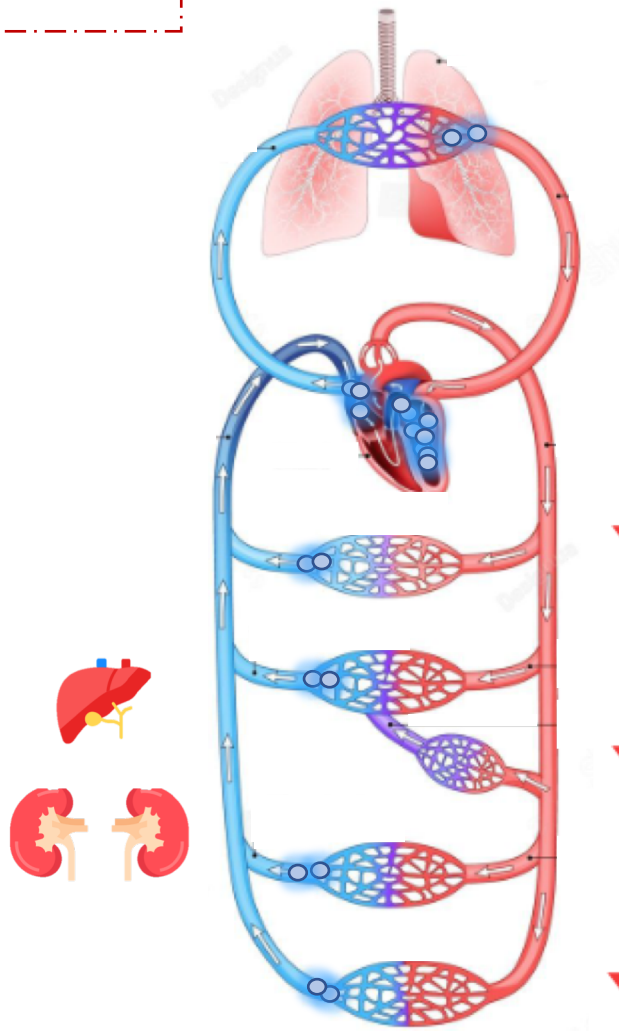
↓

Inadéquation entre apports et besoins en O_2



Physiopathologie de la défaillance circulatoire

Etat de choc



Débit cardiaque

Contractilité

Précharge

Pression artérielle

Besoin en O_2

Vasodilatation

rt en O_2
O_2)

Inadéquation

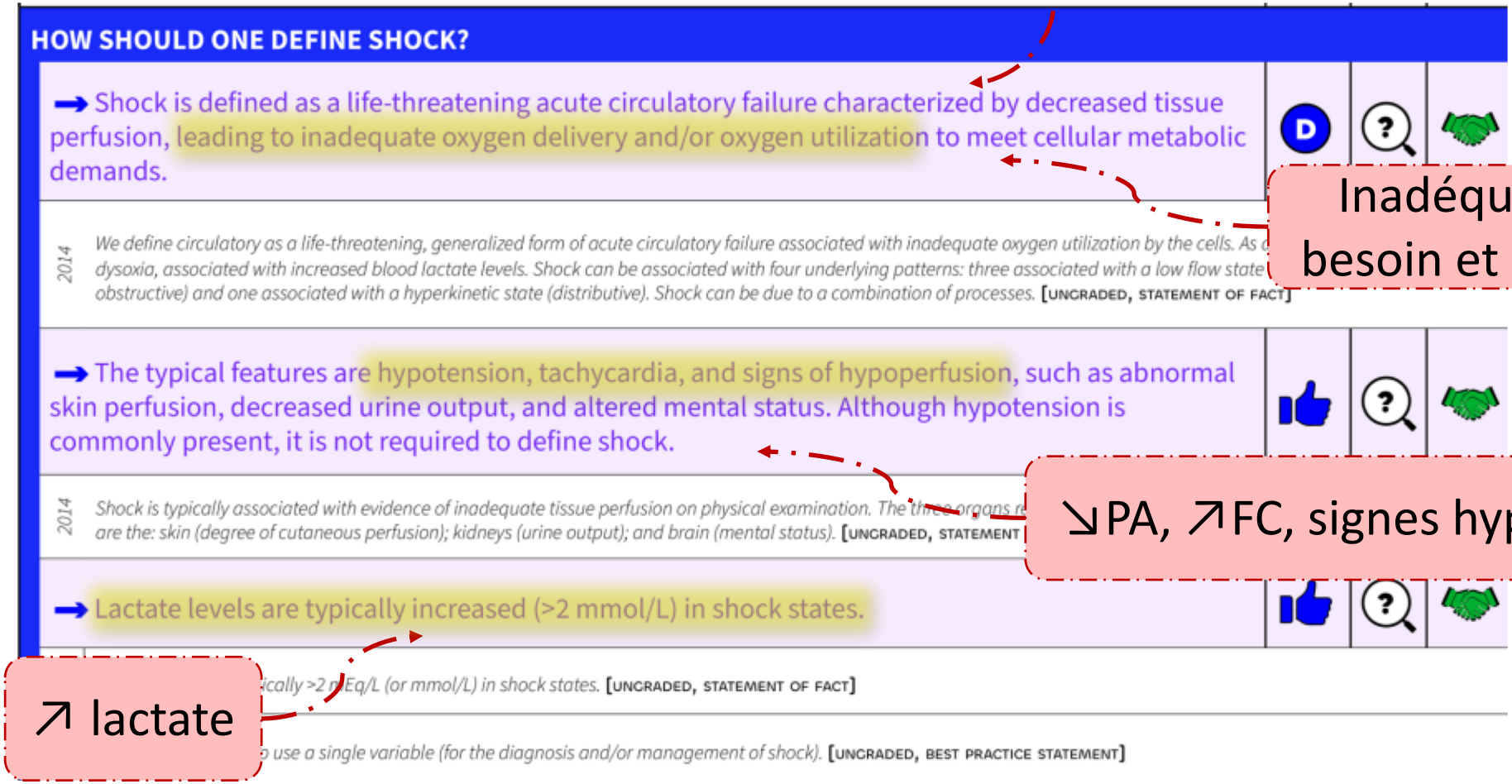
Physiopathologie de la défaillance circulatoire

ESICM guidelines on circulatory shock and hemodynamic monitoring 2025.

Monnet X, et al. Intensive Care Med. 2025. PMID: 41236566

NEW

Insuffisance circulatoire



HOW SHOULD ONE DEFINE SHOCK?

➡ Shock is defined as a life-threatening acute circulatory failure characterized by decreased tissue perfusion, leading to inadequate oxygen delivery and/or oxygen utilization to meet cellular metabolic demands.

D

2014 *We define circulatory as a life-threatening, generalized form of acute circulatory failure associated with inadequate oxygen utilization by the cells. As d dysoxia, associated with increased blood lactate levels. Shock can be associated with four underlying patterns: three associated with a low flow state obstructive) and one associated with a hyperkinetic state (distributive). Shock can be due to a combination of processes.* [UNGRADED, STATEMENT OF FACT]

Inadéquation entre besoin et apport en O_2

➡ The typical features are hypotension, tachycardia, and signs of hypoperfusion, such as abnormal skin perfusion, decreased urine output, and altered mental status. Although hypotension is commonly present, it is not required to define shock.

2014 *Shock is typically associated with evidence of inadequate tissue perfusion on physical examination. The three organs r are the: skin (degree of cutaneous perfusion); kidneys (urine output); and brain (mental status).* [UNGRADED, STATEMENT

↘PA, ↗FC, signes hypoperfusion

➡ Lactate levels are typically increased (>2 mmol/L) in shock states.

ically >2 mEq/L (or mmol/L) in shock states. [UNGRADED, STATEMENT OF FACT]

↗ lactate

o use a single variable (for the diagnosis and/or management of shock). [UNGRADED, BEST PRACTICE STATEMENT]

Physiopathologie de la défaillance circulatoire

Etat de choc

- Hypovolémique
- Cardiogénique
- Distributif
- Obstructif

Etat de choc

Hypovolémique

Cardiogénique

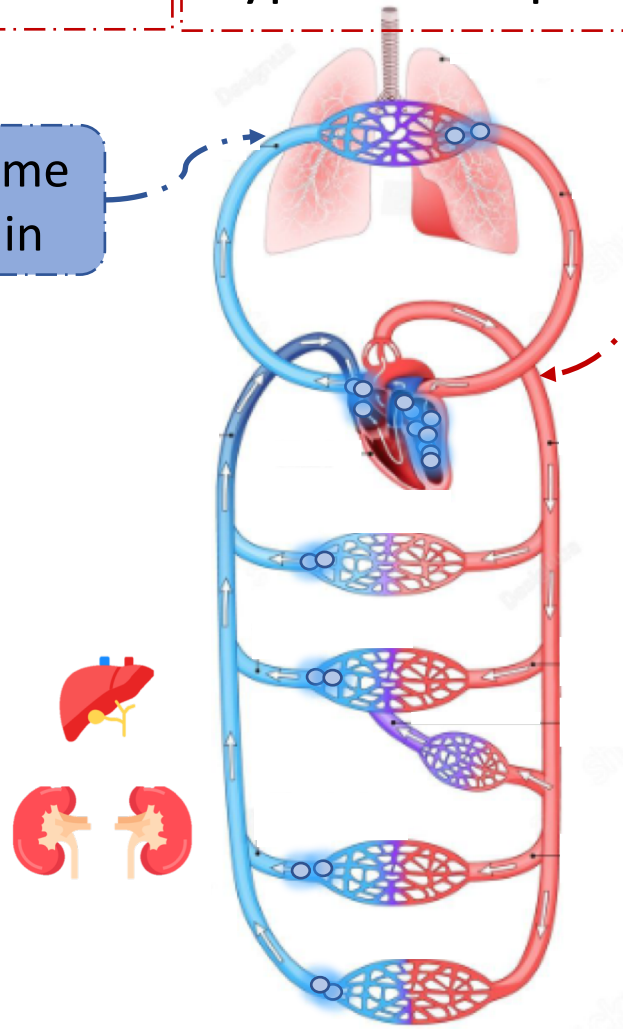
Distributif

Obstructif

Physiopathologie de la défaillance circulatoire

Etat de choc hypovolémique

↘ volume sanguin



↘ débit cardiaque

↘ TaO_2
DC x CaO_2

Précharge

Perte liquide

Pertes digestives, cutanées…

Perte sang

Polytraumatisé, hémorragie dig

Physiopathologie de la défaillance circulatoire

Etat de choc

Hypovolémique

Cardiogénique

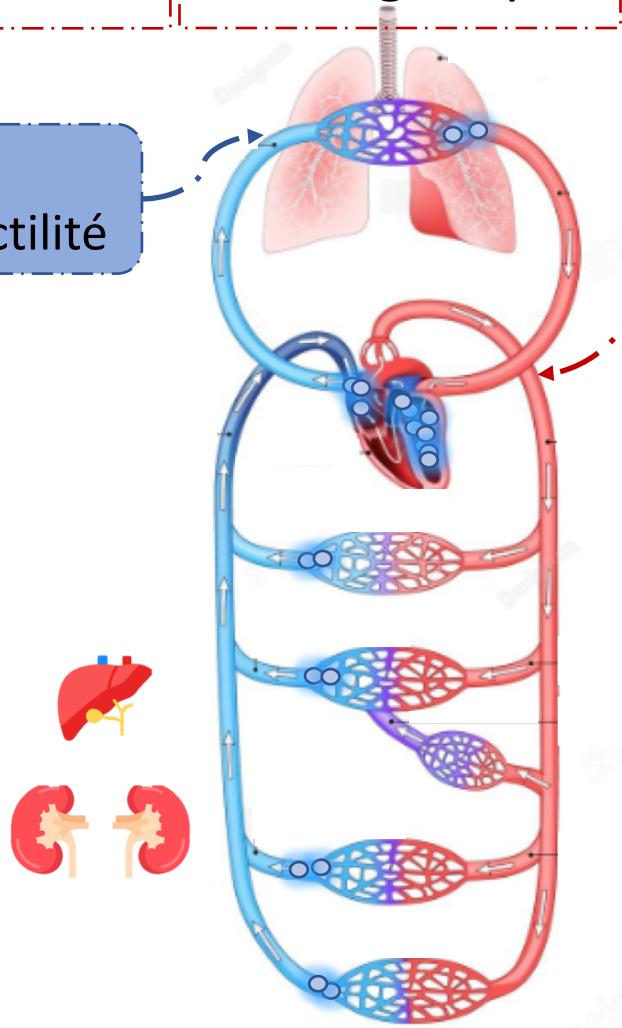
Distributif

Obstructif

Physiopathologie de la défaillance circulatoire

Etat de choc cardiogénique

↘ contractilité



↘ débit cardiaque

↘ TaO_2
DC x CaO_2

Contractilité

- Infarctus — Lésions ischémiques coronariennes
- Myocardite — Inflammation du tissu myocardique

Physiopathologie de la défaillance circulatoire

Etat de choc

Hypovolémique

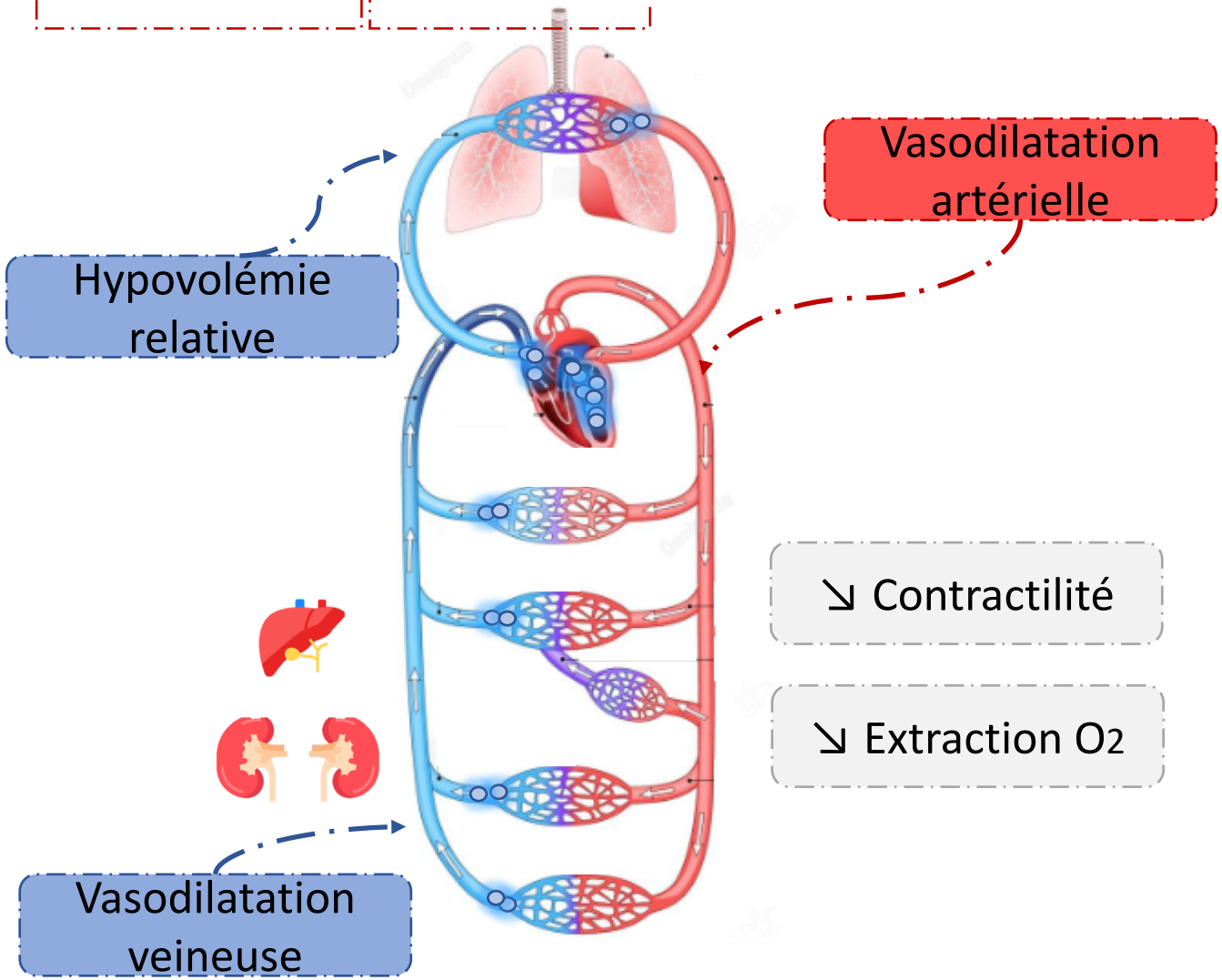
Cardiogénique

Distributif

Obstructif

Physiopathologie de la défaillance circulatoire

Etat de choc distributif



Hypovolémie relative

Vasodilatation artérielle

Vasodilatation veineuse

↘ Contractilité

↘ Extraction O_2

↓ Pression artérielle

Choc septique

Pneumonie, pyélonéphrite

Choc anaphylactique

Allergie médicaments

Physiopathologie de la défaillance circulatoire

Etat de choc

Hypovolémique

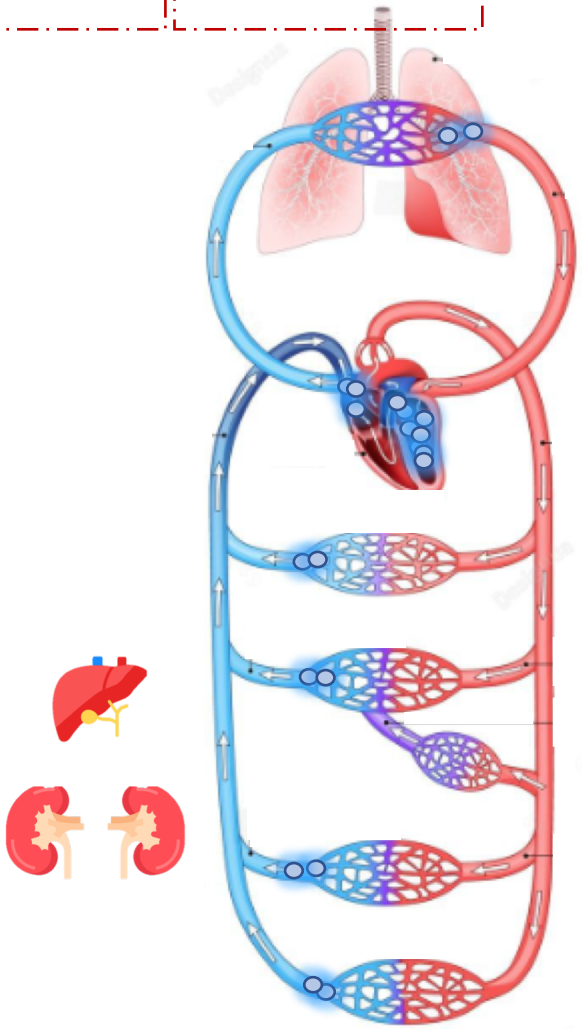
Cardiogénique

Distributif

Obstructif

Physiopathologie de la défaillance circulatoire

Etat de choc | obstructif



Obstacle éjection VD

- Choc obstructif
- EP
- Tamponnade

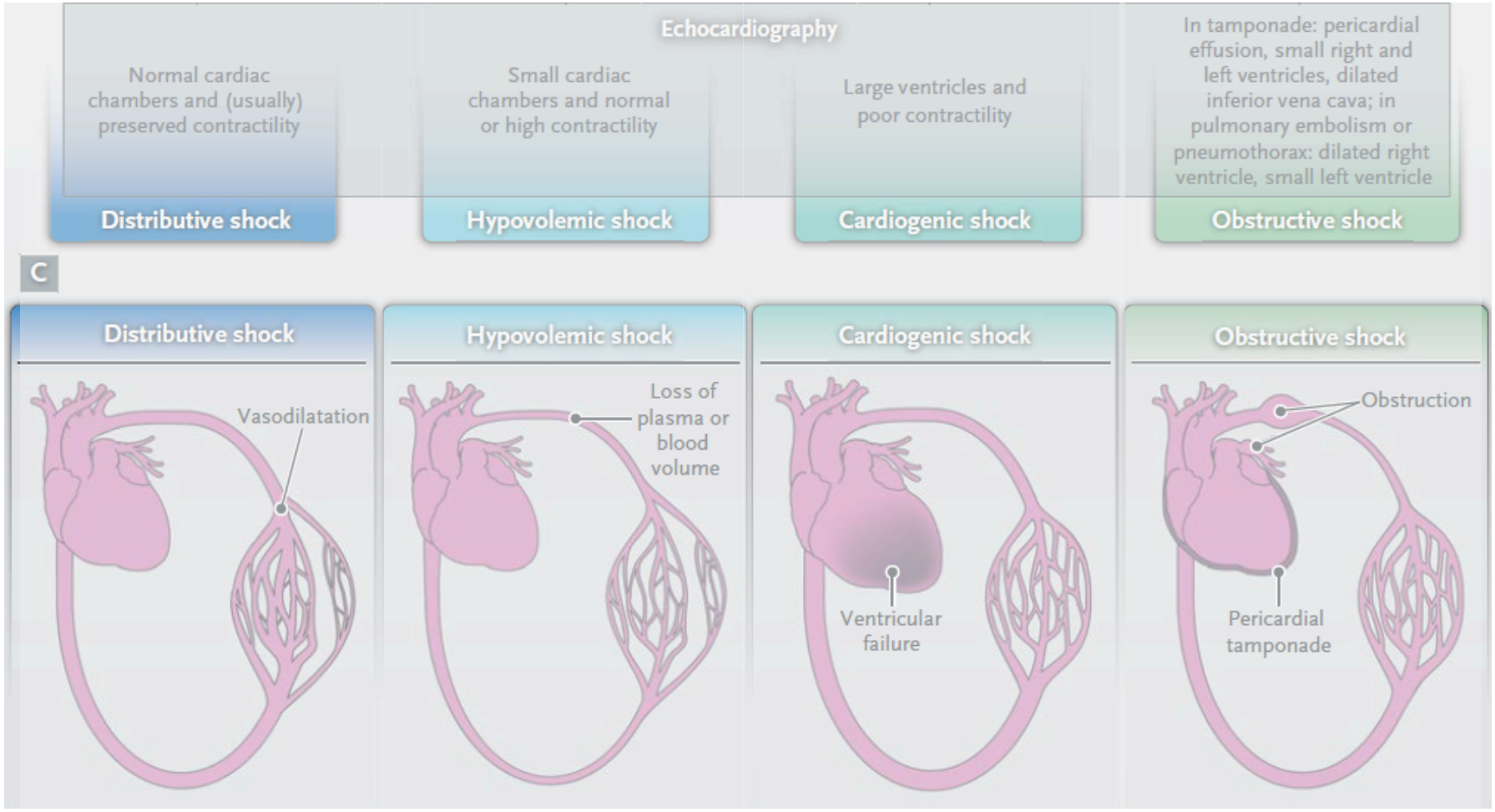
Physiopathologie de la défaillance circulatoire

Circulatory shock.

Vincent JL, De Backer D.

N Engl J Med. 2013 Oct 31;369(18):1726-34.

Etat de choc



Take home message

1

2

3

4

Take home message

1. Etat de choc → inadéquation entre apports et besoins en O_2
2.
3.
4.

Take home message

1. Etat de choc → inadéquation entre apports et besoins en O_2
2. 4 grands types de choc caractérisés par une ↘ du TaO_2 (DC) et/ou ↘ de PA
3.
4.

Mécanismes adaptatifs

Mécanismes adaptatifs

Quels sont les mécanismes adaptatifs ?

- ❑ ↑ l'extraction en oxygène
- ❑ ↓ l'inotropisme
- ❑ ↑ l'inflammation
- ❑ Vasodilatation la microcirculation
- ❑ Vasoconstriction artérielle et veineuse

Mécanismes adaptatifs

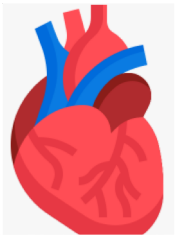
1 Système Σ

Mécanismes adaptatifs

1 Système Σ

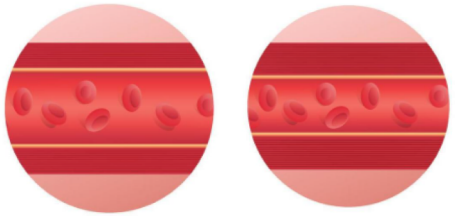
Barorécepteurs

Sinus carotidien
Crosse aortique



↗ fréquence cardiaque

↗ débit cardiaque



Vasoconstriction

↗ pression artérielle

PA Moyenne

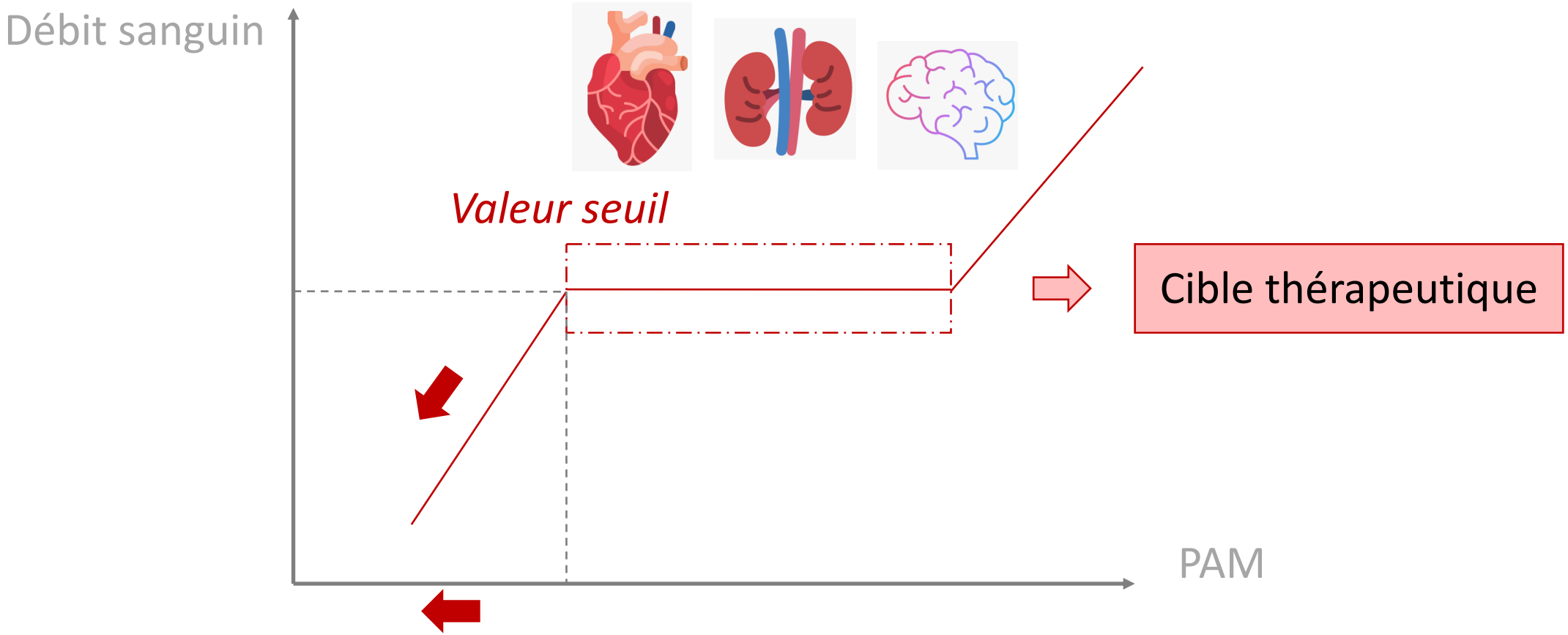
M Durand, Méd Intensive Réa 2019

Mécanismes adaptatifs

1 Système Σ

↗ pression artérielle

Marqueur de perfusion des organes



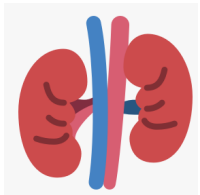
Mécanismes adaptatifs

1 Système Σ

↗ pression artérielle

Marqueur de perfusion des organes

PVC



Pression de perfusion moyenne = PAM - PVC

En cas de PVC basse → PPM = PAM - ~~PVC~~

PIA

PAD

Geri et al. Journal Critical Care 2021
Hussain-Syed et al. ESC-Heart Failure 2021
Roger et al. Chest 2017
Hamzaoui et al. Journal of Critical Care 2018

Mécanismes adaptatifs

1 Système Σ

↗ pression artérielle

Marqueur de perfusion des organes

Low **mean perfusion pressure** is a risk factor for progression of **acute kidney injury in critically ill patients - A retrospective analysis.**

Ostermann M, Hall A, Crichton S.

BMC Nephrol. 2017 May 3;18(1):151.

Rétrospectif
n=2,118

Parameter	OR (95% CI)[a]	*p*-value
First arterial lactate following diagnosis of AKI I [mmol/L]	1.45 (1.12–1.89)	0.005
SOFA score on day of AKI I	1.20 (1.05–1.37)	0.01
First DO_2I in 12 h period after diagnosis of AKI I [ml/min/m^2]	0.997 (0.994–0.99)	0.01
First calculated MPP	0.995 (0.92–0.99)	0.03
Age [years]	1.02 (0.997–1.05)	0.09
Cumulative fluid balance on day of AKI I [ml]	1.00 (0.99–1.00)	0.98
MAP <65 mmHg for >1 h in first 12 h after diagnosis of AKI I	0.97 (0.48–1.96)	0.93

Pression de perfusion moyenne est associée à l'IRA

Mécanismes adaptatifs

1 Système Σ

↗ pression artérielle

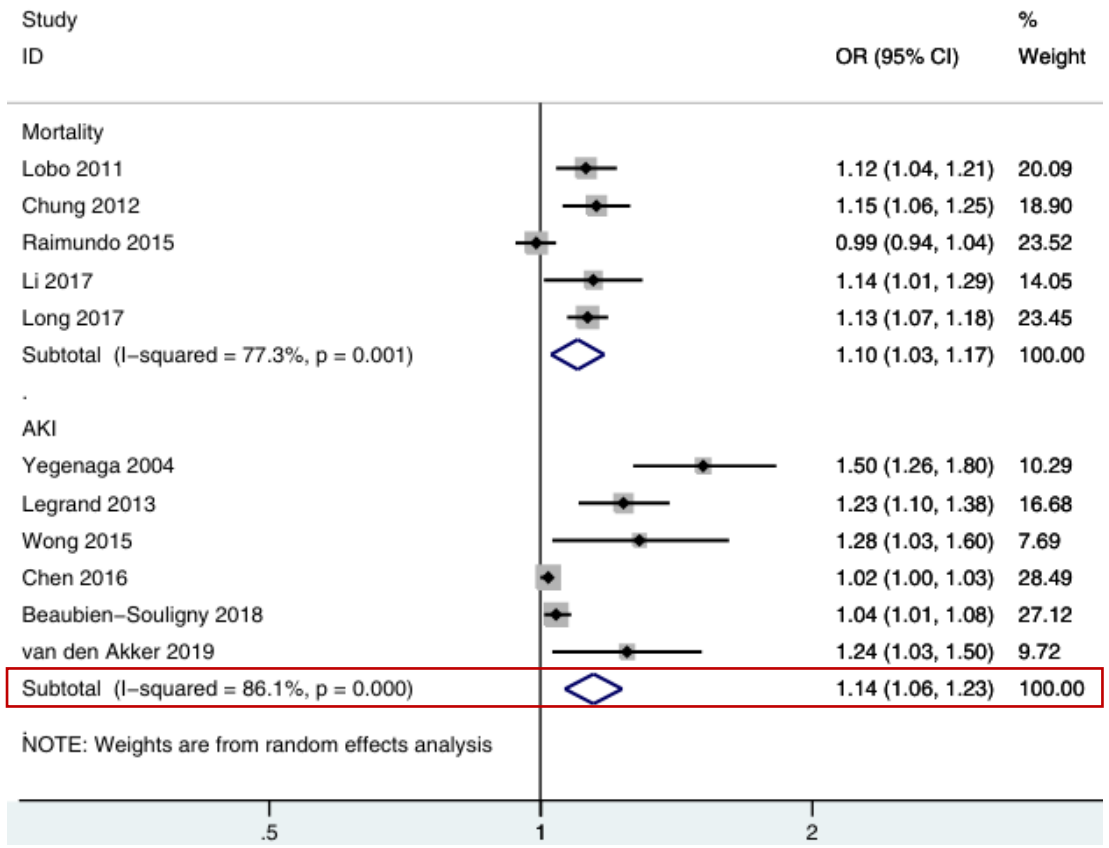
Marqueur de perfusion des organes

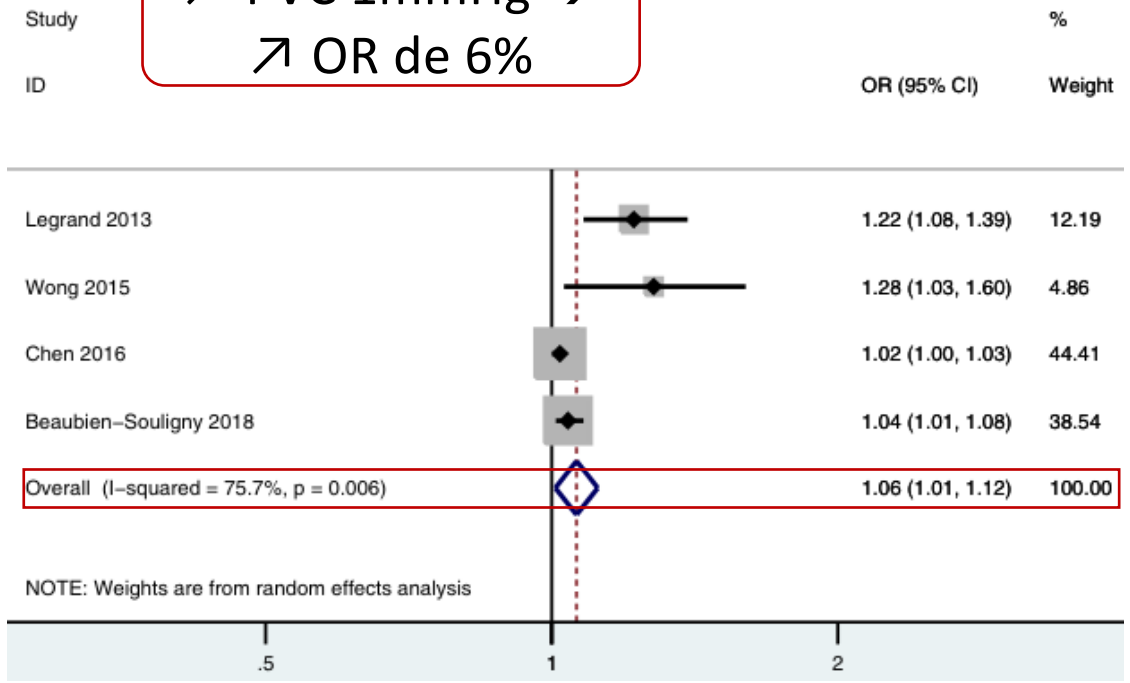
Elevated central venous pressure is associated with increased mortality and acute kidney injury in critically ill patients: a meta-analysis.

Chen CY, et al. Crit Care. 2020.

Méta-analyses
15 cohortes n=2,118

↗ PVC 1mmHg → ↗ OR de 6%





PVC élevée → mortalité ↗

Mécanismes adaptatifs

1 Système Σ

↗ pression artérielle

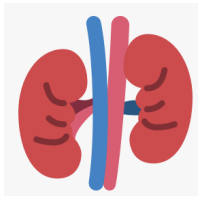
Marqueur de perfusion des organes

PVC

Pression de perfusion moyenne = PAM - PVC

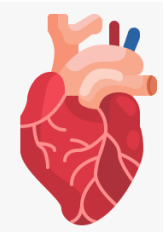
En cas de PVC basse → PPM = PAM - ~~PVC~~

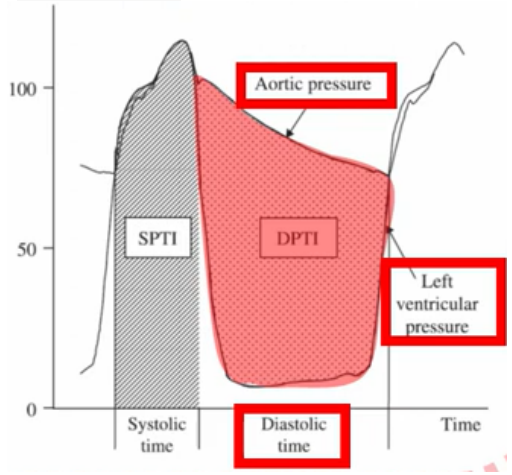
PIA



Influence de la PIA ou encore PIC

PAD





Perfusion des organes dépend aussi d'autres déterminants hémodynamiques

are 2021
art Failure 2021
Hamzaoui et al. Journal of Critical Care 2018

Mécanismes adaptatifs

1 Système Σ

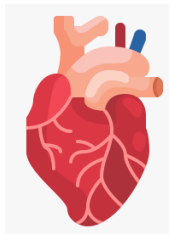
↗ pression artérielle

Marqueur de perfusion des organes

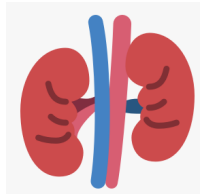
Dysfonction d'organes

✓ Facteur de risque indépendant

✓ Selon la profondeur, la durée de l'hypotension



< 65mmHg
↗ troponine



< 70mmHg
↗ créat ou EER

< 65mmHg
↗ délirium

Seuil optimal variable

Mortalité

✓ Facteur de risque indépendant

✓ Selon la profondeur, la durée de l'hypotension

Maheshwari et al. Intensive Care Medicine 2018
Nguyen et al. Plos One 2018
Vincent et al. Annals of Intensive Care 2018

Mécanismes adaptatifs

1 Système Σ

↗ pression artérielle

Marqueur de perfusion des organes

ESICM guidelines on circulatory shock and hemodynamic monitoring 2025.

Monnet X, et al. Intensive Care Med. 2025. PMID: 41236566

NEW

Individualisation

WHAT IS THE TARGET OF ARTERIAL PRESSURE IN SHOCK?

→ The target blood pressure should be individualized during resuscitation of patients with shock.

2014 *We recommend individualizing the target blood pressure during shock resuscitation.* [LEVEL 1, QoE B]

→ An initial MAP of 65-70 mmHg should be targeted in patients with septic shock.

PAm 65-70mmHg

2014 *We recommend to initially target a MAP of ≥65 mmHg.* [LEVEL 1, QoE C]

→ A higher MAP target may be considered in patients with septic shock and a history of chronic arterial hypertension who show clinical improvement with higher blood pressure.

→ A higher MAP target may be considered in patients with septic shock with high CVP values who show clinical improvement with higher blood pressure.

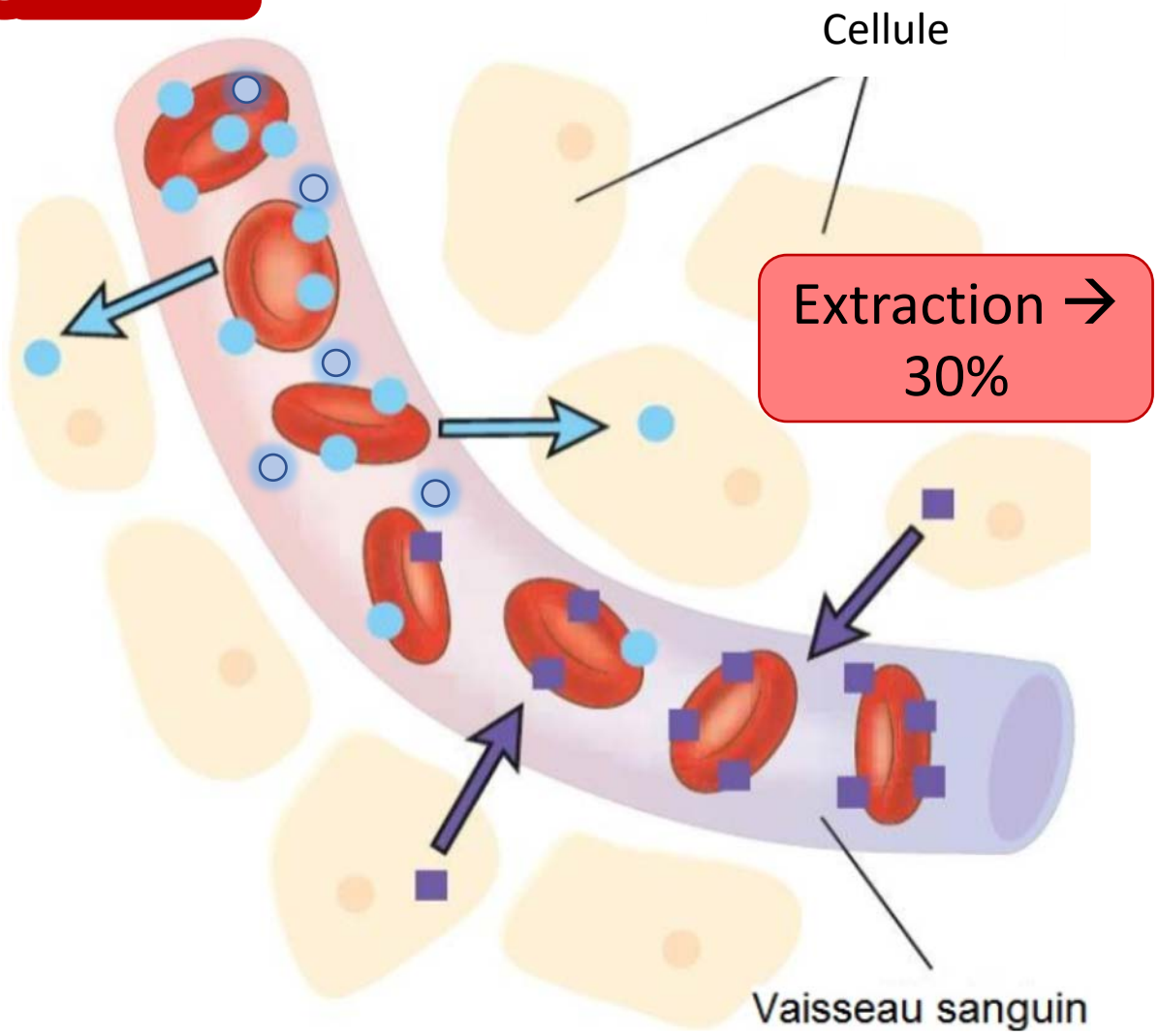
↗PAm si PVC élevée

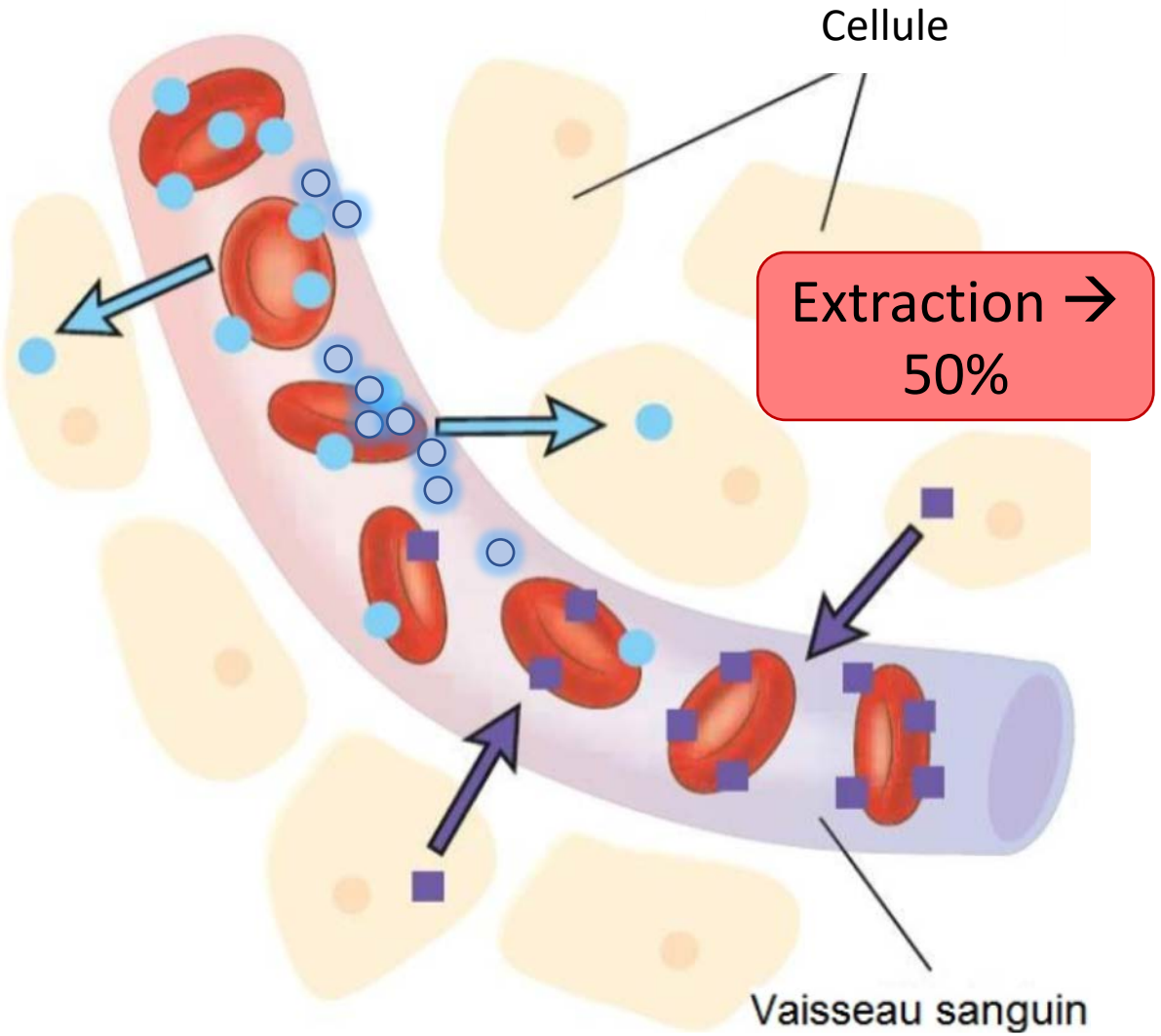
Mécanismes adaptatifs

2 ↗ EO_2

Mécanismes adaptatifs

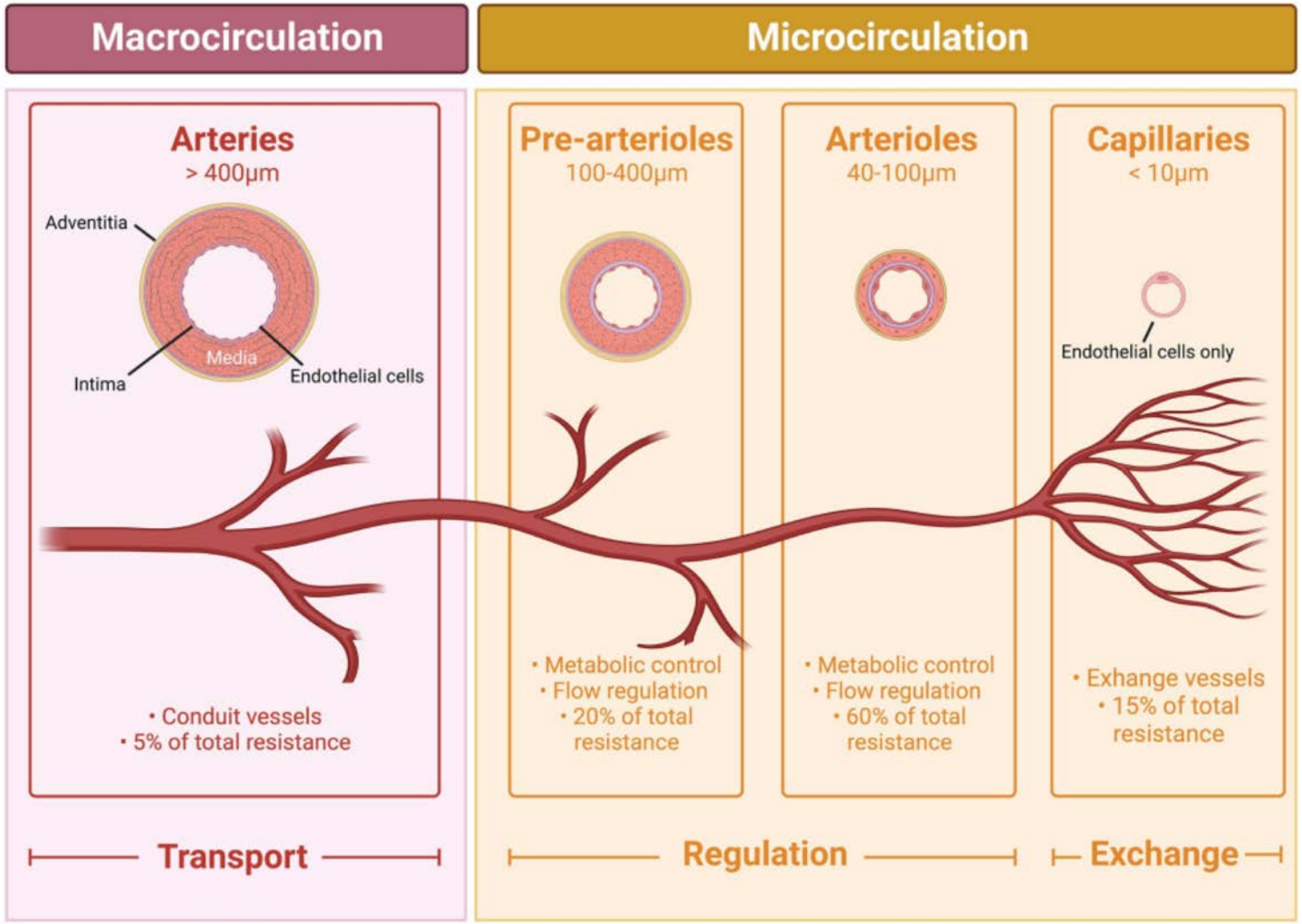
② ↗ EO_2





Mécanismes adaptatifs

2 ↗ EO_2

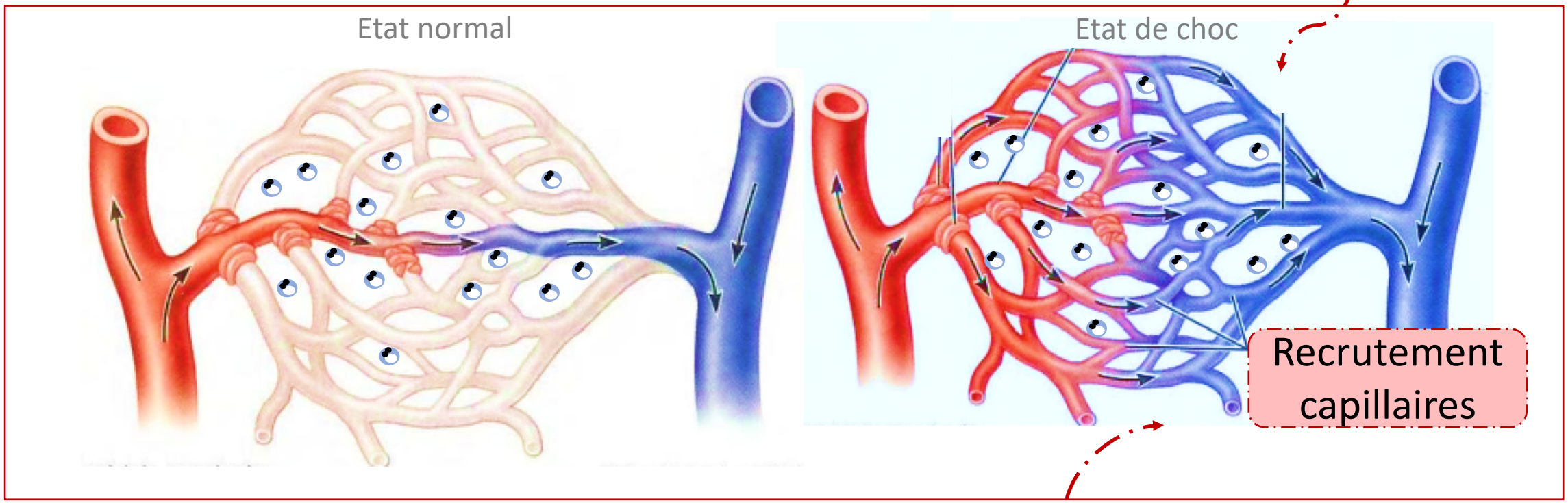


Merdji H et al. Annals of Intensive Care 2023

Mécanismes adaptatifs

② ↗ EO_2

↗ surface d'échanges

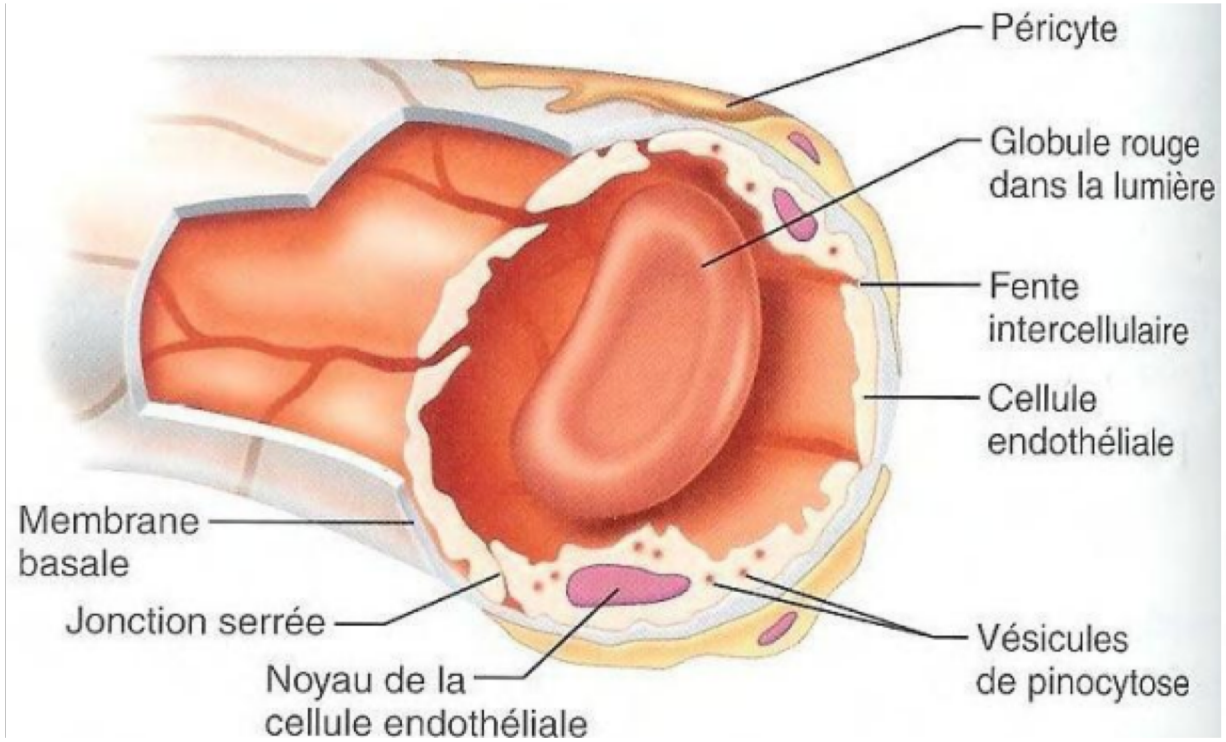


Recrutement capillaires

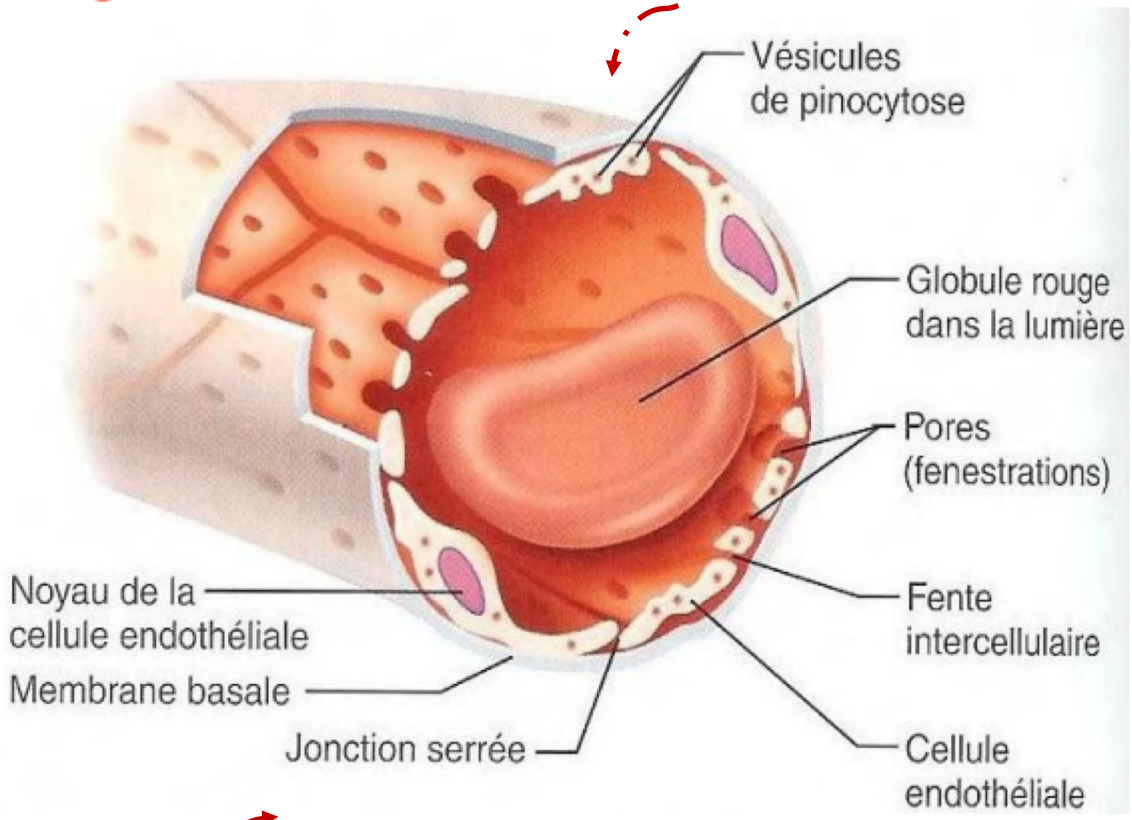
Vasodilatation µcirculation

Mécanismes adaptatifs

2 ↗ EO_2



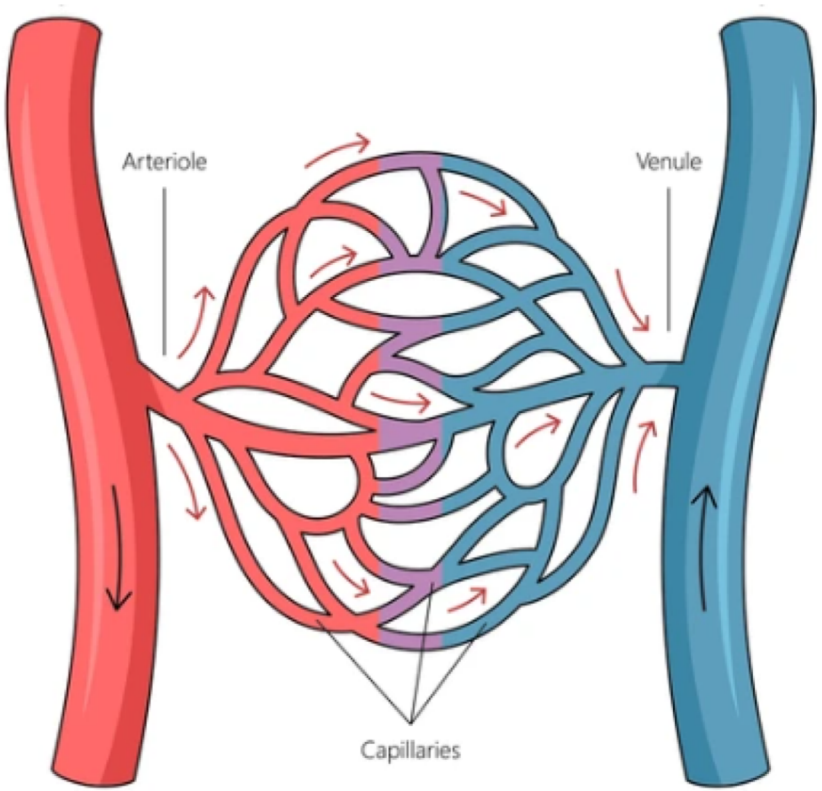
Ouverture de pores



↗ perméabilité

Mécanismes adaptatifs

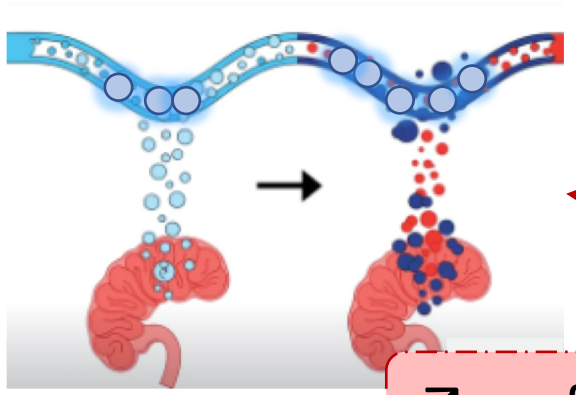
2 ↗ EO_2



Vasodilatation µcirculation

NO

Prostaglandines

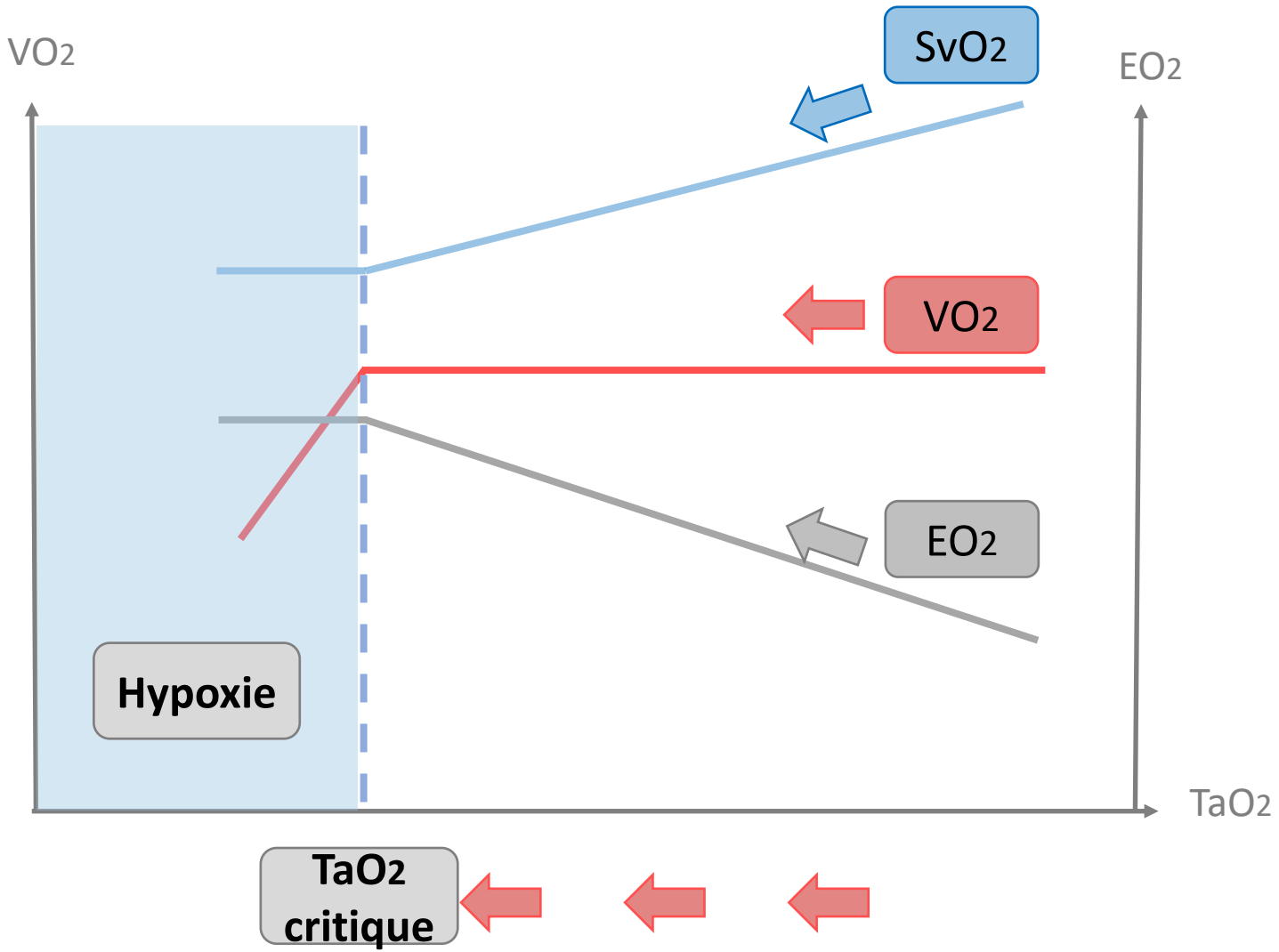


↗ surface d'échanges

↗ Extraction

Mécanismes adaptatifs

② ↗ EO_2



Mécanismes adaptatifs

ESICM guidelines on circulatory shock and hemodynamic monitoring 2025.

Monnet X, et al. Intensive Care Med. 2025. PMID: 41236566

NEW

WHAT MARKERS OF THE REGIONAL CIRCULATION AND TISSUE OXYGENATION IN SHOCK SHOULD BE USED?			
➞ Serial assessment of tissue perfusion should be performed to follow shock evolution and to help assess the underlying pattern and the adequacy of CO and vascular function.	👍	?	🤝
2014 *We recommend serial measurements of blood lactate to guide, monitor, and assess.* [LEVEL 1, QoE C]			
➞ Monitoring skin perfusion should be performed using the assessment of CRT and this could be complemented with the assessment of skin temperature and mottling.	👍	?	🤝
➞ In patients with a central venous catheter, serial measurements of (central) venous oxygen saturation ($S_{(c)v}O_2$) should be performed.	👍	?	🤝

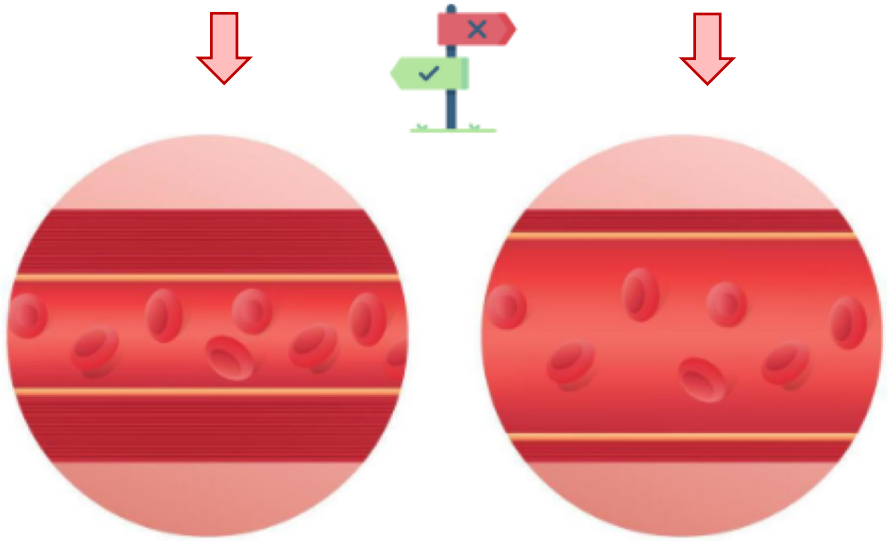
Monitorer la SvO_2

La SvO_2 → apprécier l'adaptation du DC aux besoins tissulaires en O_2

Mécanismes adaptatifs

1 Système Σ

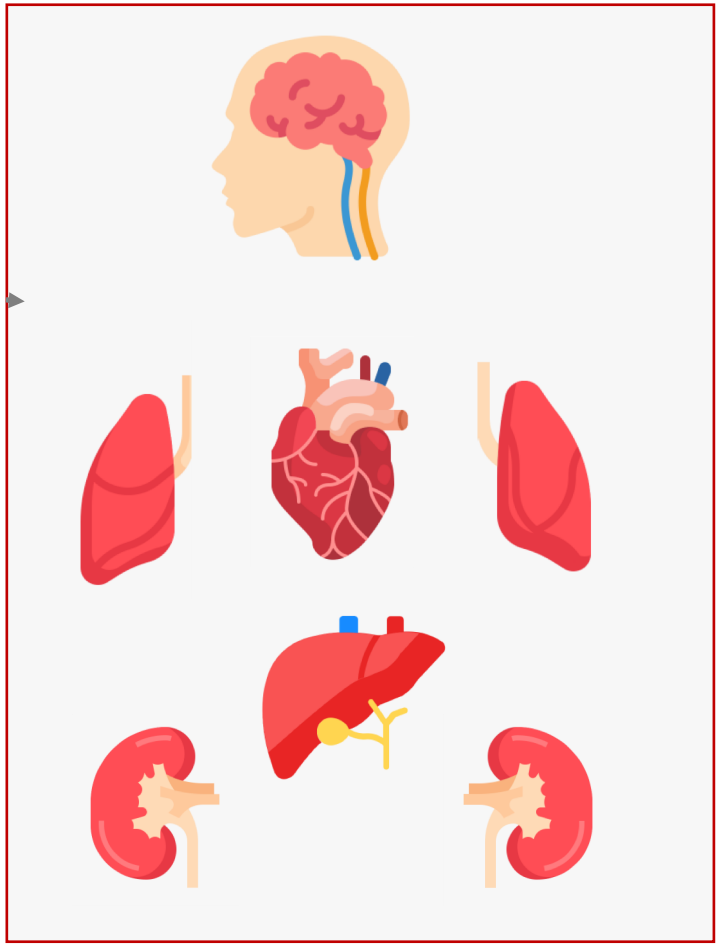
2 ↗ EO_2



Vasoconstriction Vasodilatation

Partition du débit cardiaque

Privilégie organes nobles

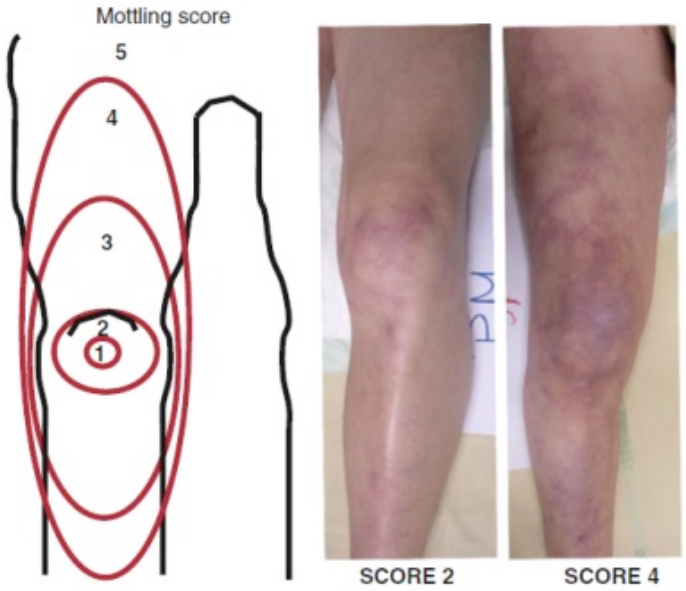


Effets variables de ces mécanismes adaptatifs selon les territoires

Mécanismes adaptatifs

Marbrures

Ce que l'on connait déjà



Signe d'insuffisance circulatoire aiguë

Marbrures

Les nouveautés 

1 **Intérêt pronostic**

Marbrures → associée à la mortalité dans différents types de choc

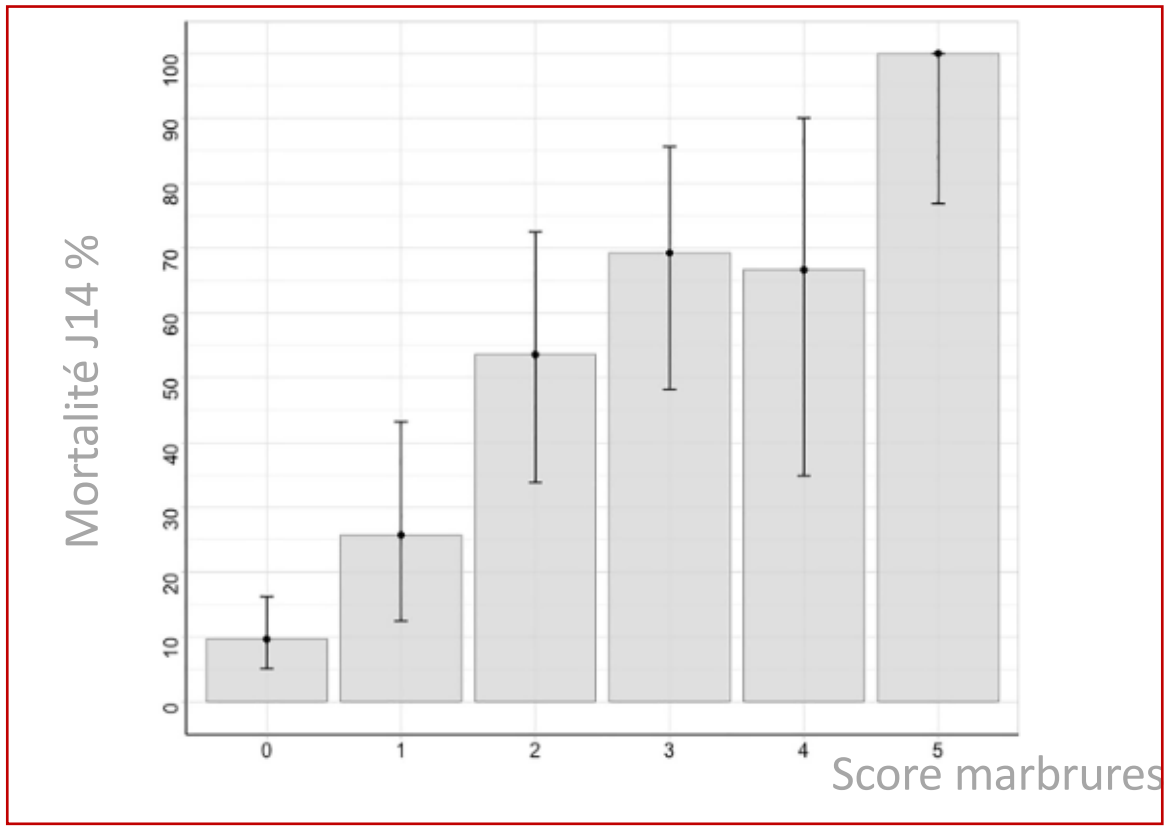
Mécanismes adaptatifs

Mottling score is a strong predictor of 14-day mortality in septic patients whatever vasopressor doses and other tissue perfusion parameters.

Dumas G, Lavillegrand JR, Joffre J, Bigé N, de-Moura EB, Baudel JL, Chevret S, Guidet B, Maury E, Amorim F, Ait-Oufella H.

Crit Care. 2019 Jun 10;23(1):211.

259 chocs septiques



Augmentation mortalité

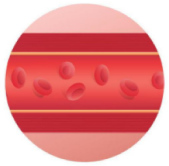
Mécanismes adaptatifs : le cas du choc septique

Mécanismes adaptatifs : le cas du choc septique

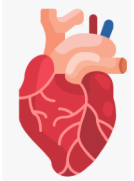
Etat de choc

- Hypovolémique
- Cardiogénique
- Distributif
- Obstructif

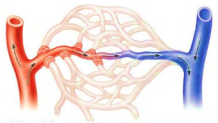
Vasodilatation



Dysfonction cardiaque



Atteinte de la µcirculation



Mécanismes compensateurs

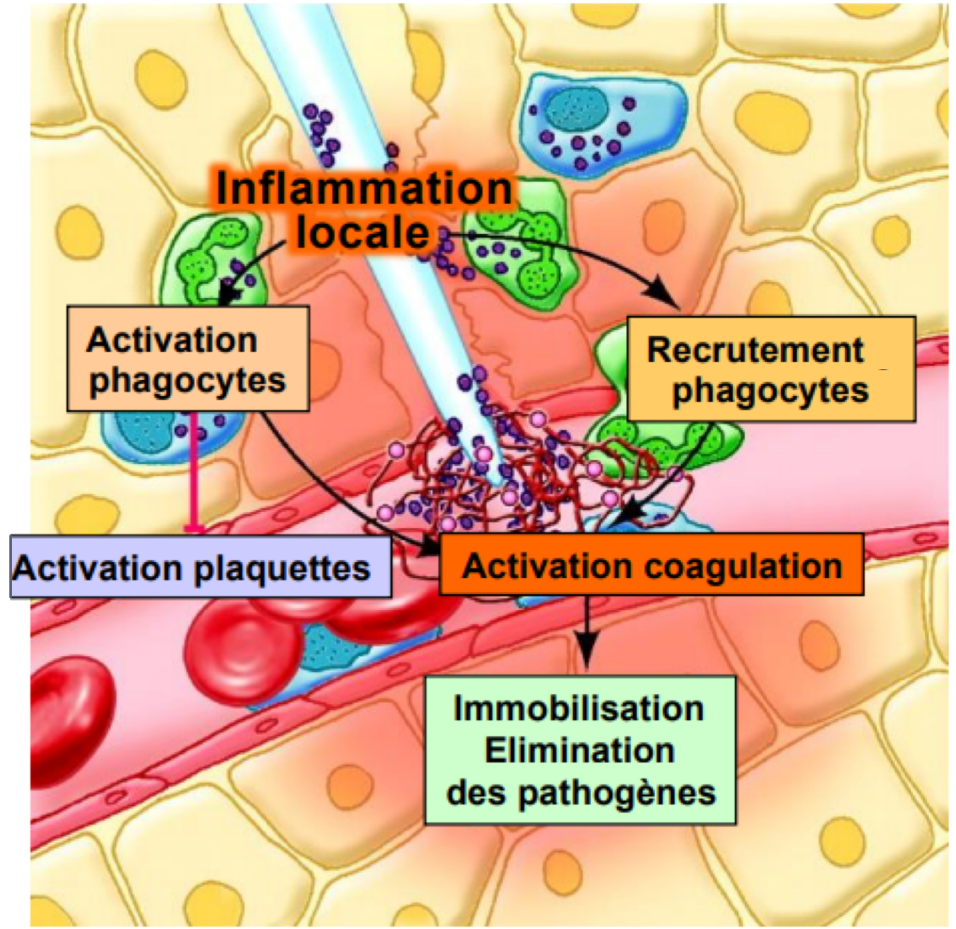
1. Système Σ
2. ↗ EO_2

Mécanismes adaptatifs : le cas du choc septique

Choc septique

Dysfonction de la µcirculation

- Microthrombis
- Shunt AV
- Inflammation



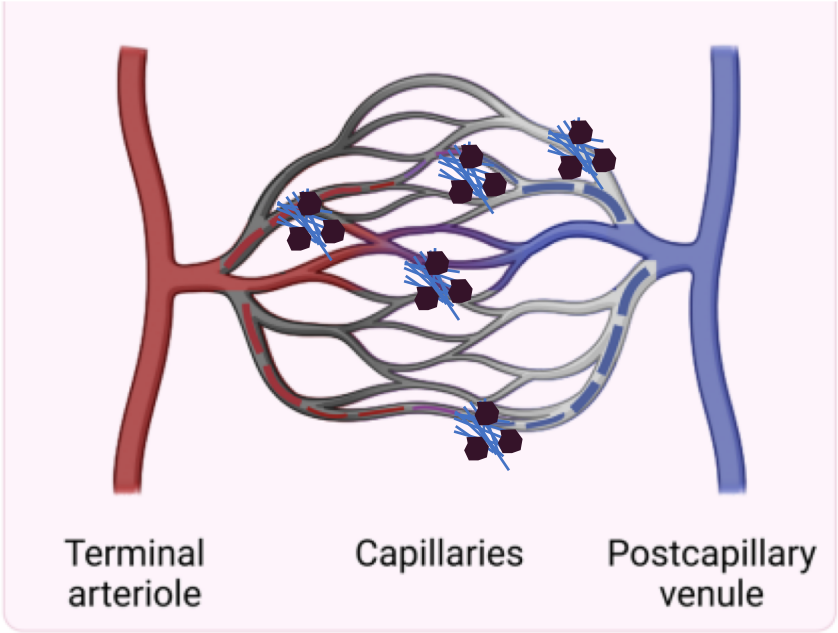
Sun Y, Physiology 2006

Mécanismes adaptatifs : le cas du choc septique

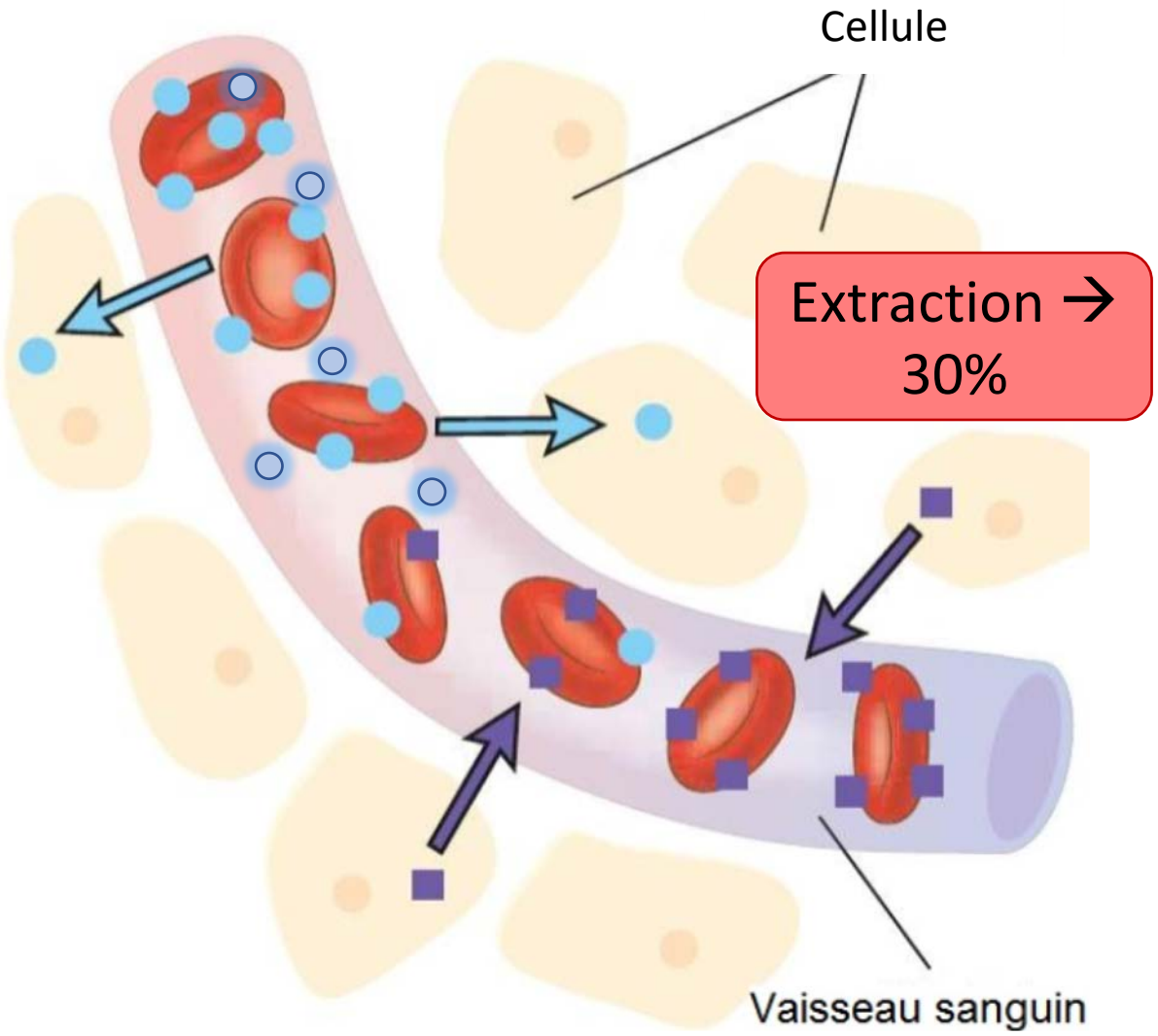
Vasodilatation

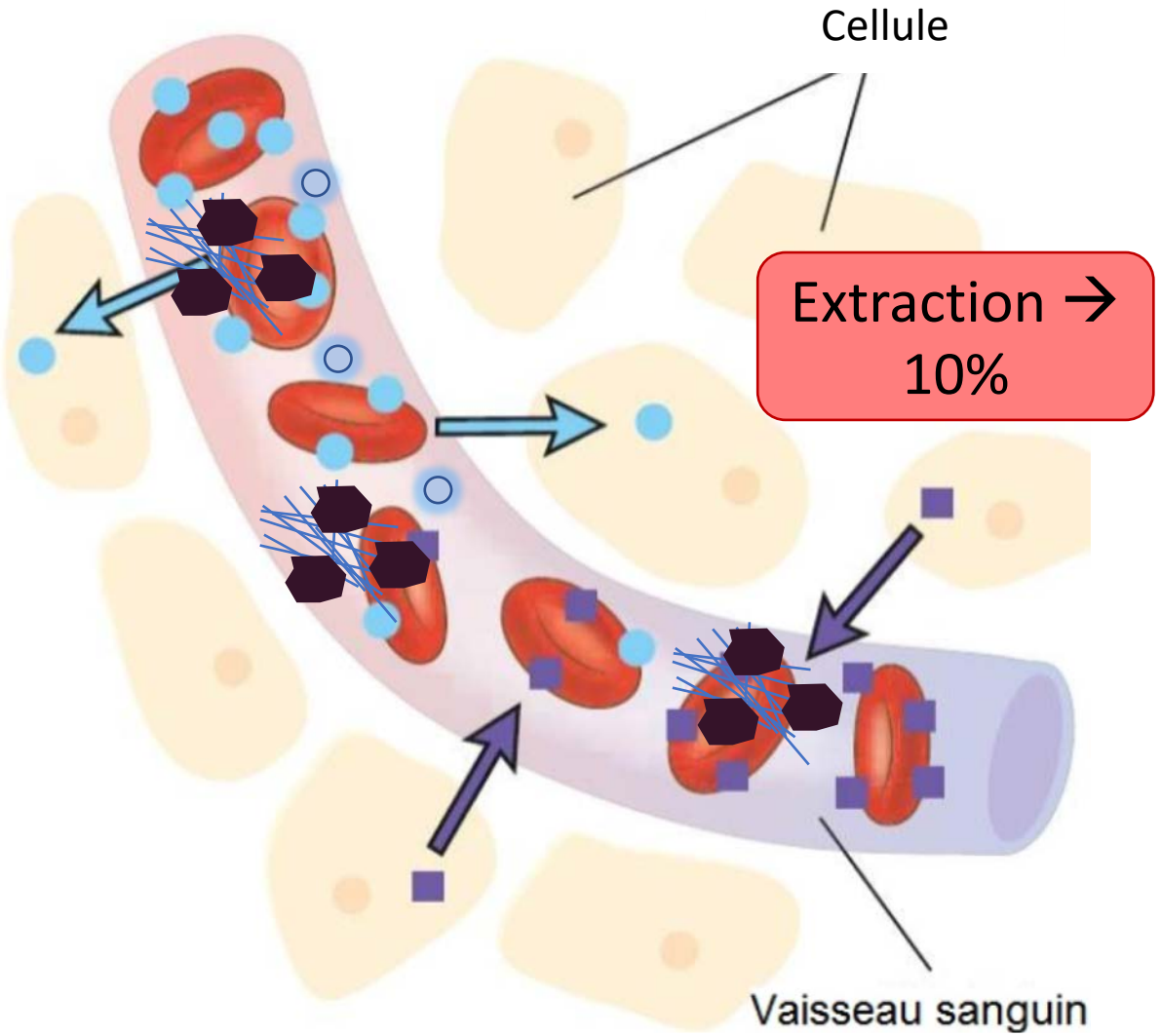
Recrutement capillaires fermés

↗ extraction en O_2

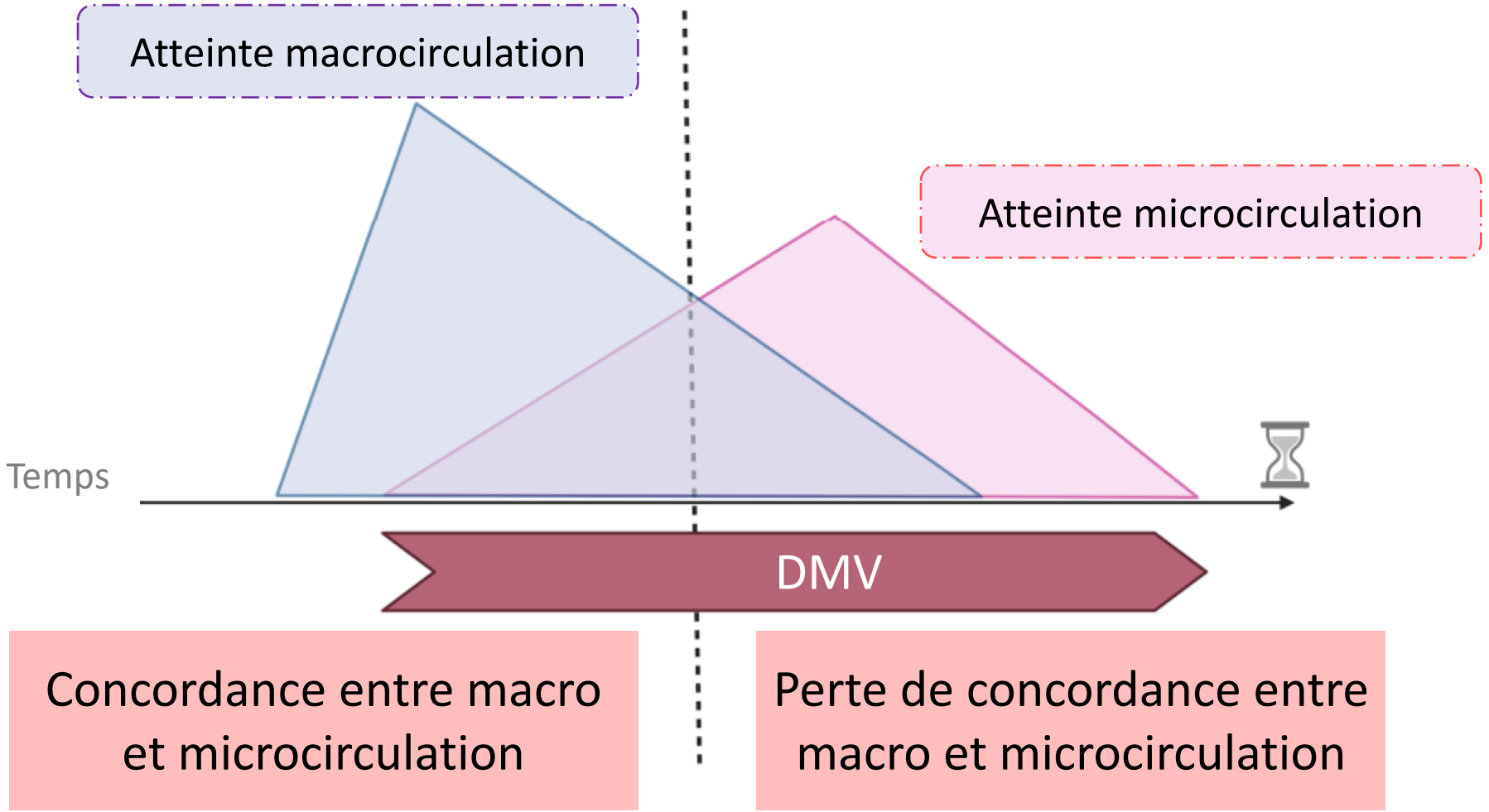


Mécanismes adaptatifs : le cas du choc septique





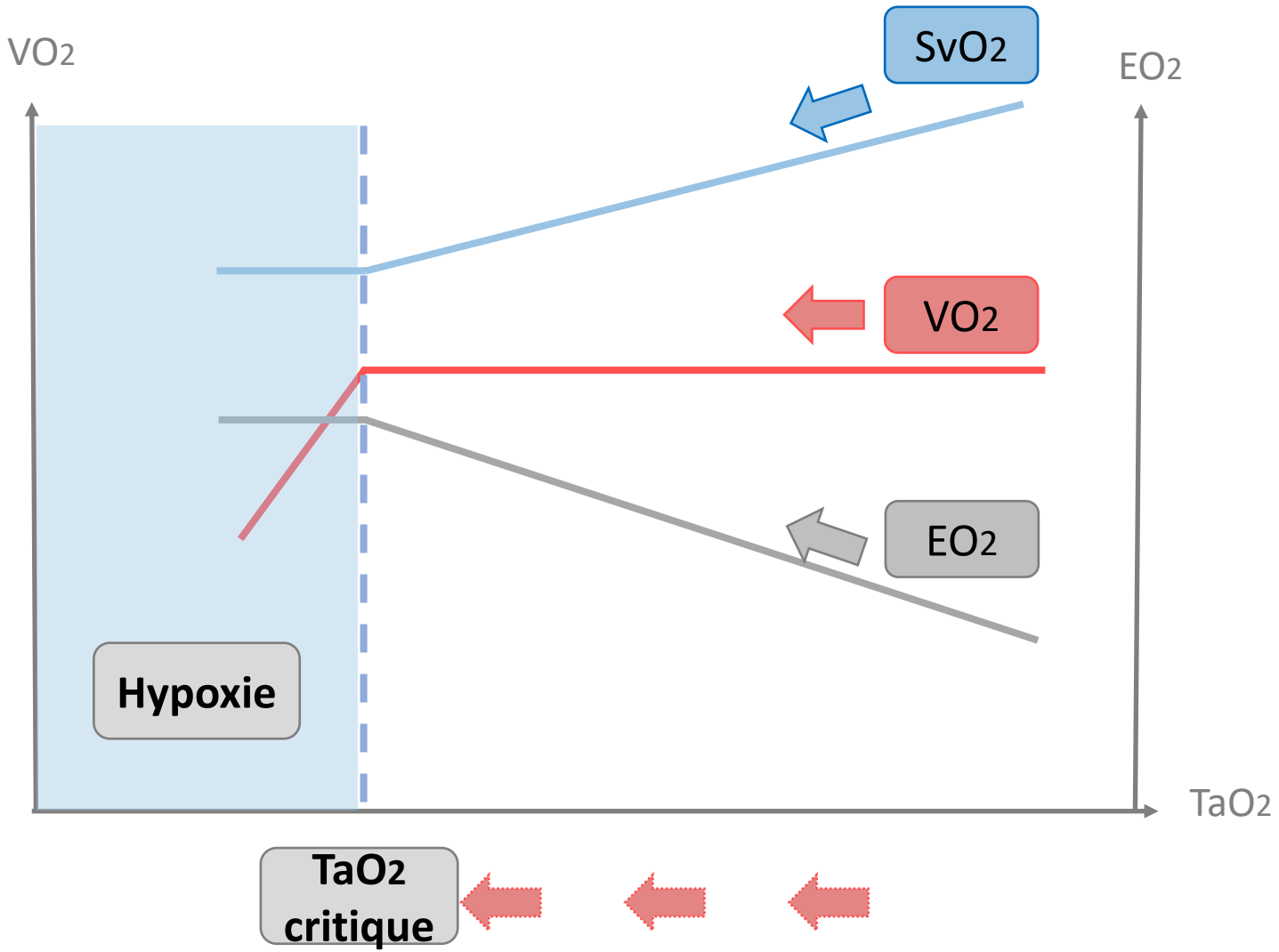
Mécanismes adaptatifs : le cas du choc septique



Merdji H et al. Annals of Intensive Care 2023

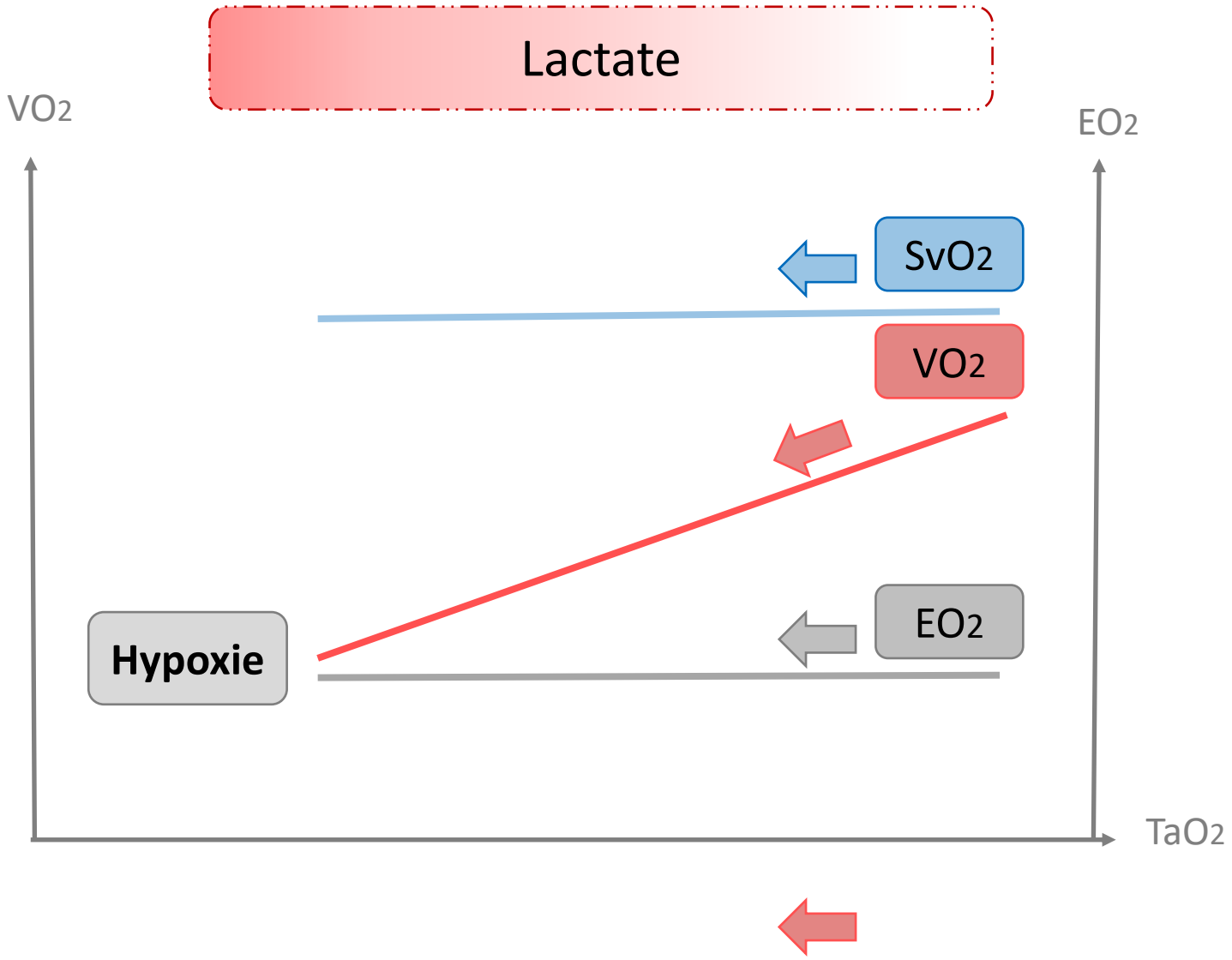
Mécanismes adaptatifs : le cas du choc septique

② ↗ EO_2



Mécanismes adaptatifs : le cas du choc septique

② ↗ EO_2



Take home message

1. Etat de choc → inadéquation entre apports et besoins en O_2
2. 4 grands types de choc caractérisés par une ↘ du TaO_2 (DC) et/ou ↘ de PA
3.
4.

Take home message

1. Etat de choc → inadéquation entre apports et besoins en O_2
2. 4 grands types de choc caractérisés par une ↘ du TaO_2 (DC) et/ou ↘ de PA
3. ↗ EO_2 et l'activation système sympathique → mécanismes compensateurs
4.

Impact des états de choc

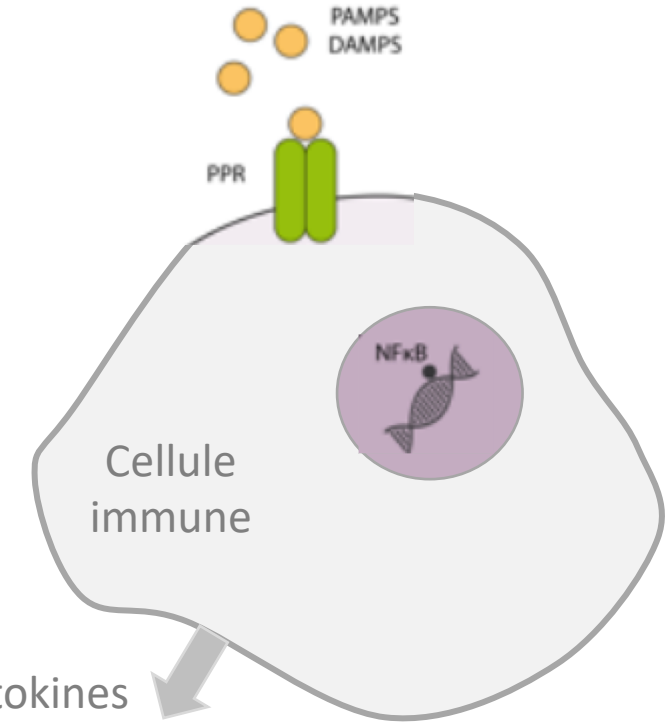
Impact des états de choc

Quel est l'impact de l'état de choc ?

- ❑ ↑ production cellules pro-inflammatoires
- ❑ ↑ production lactate
- ❑ Cascade de dysfonction d'organes
- ❑ Œdème tissulaire

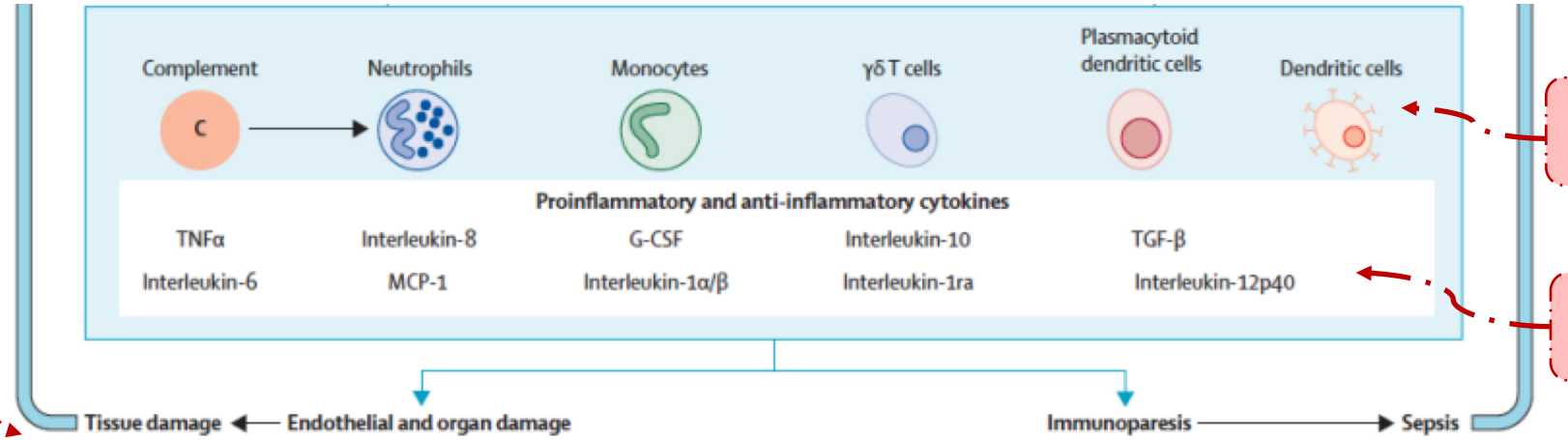
Impact des états de choc

Production cellules



Activation cytokines pro inflammatoires

Dommage tissulaire



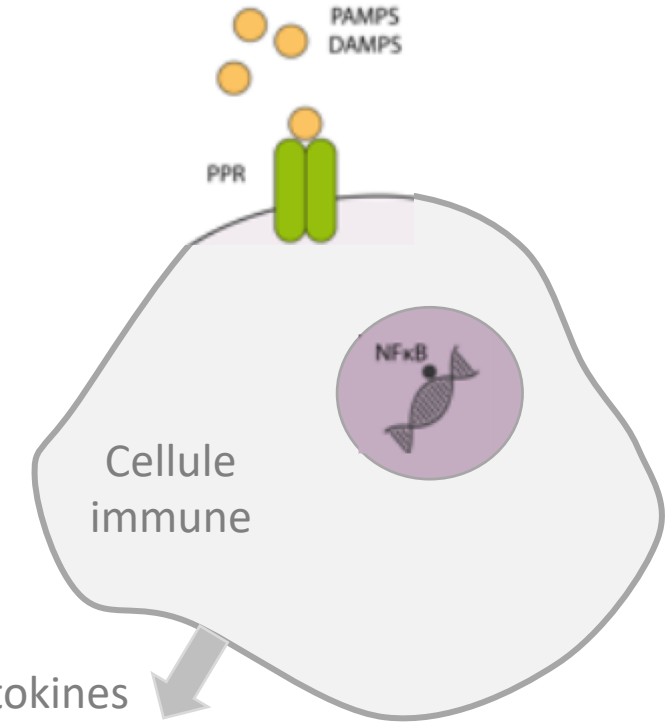
↗ Inflammation

Atteinte endothéliale

Lord, Lancet 2014

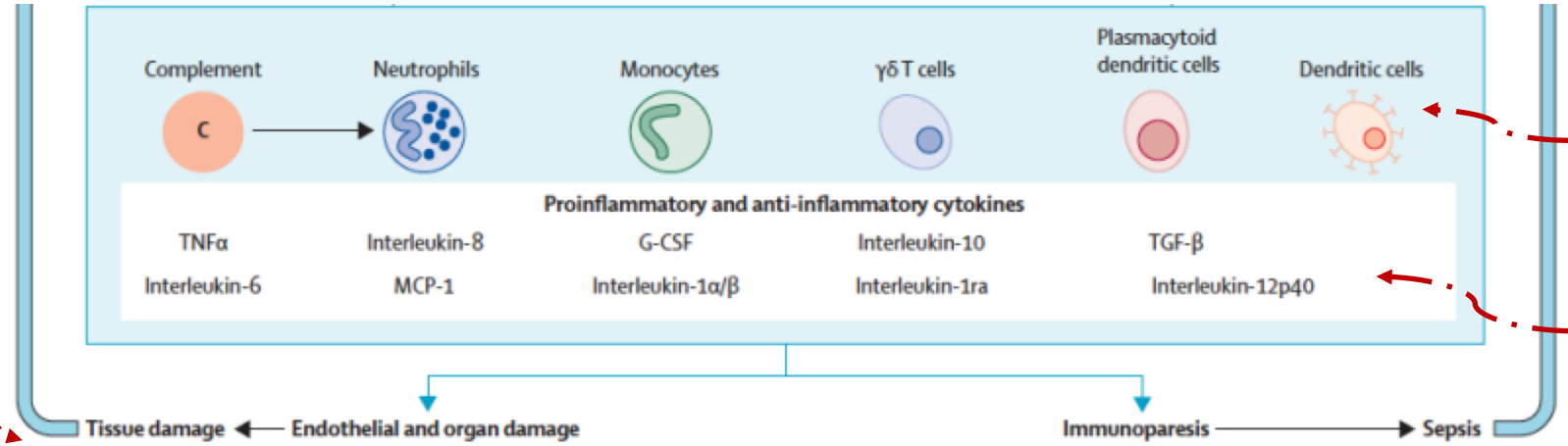
Impact des états de choc

Production cellules



Activation cytokines pro inflammatoires

Dommage tissulaire



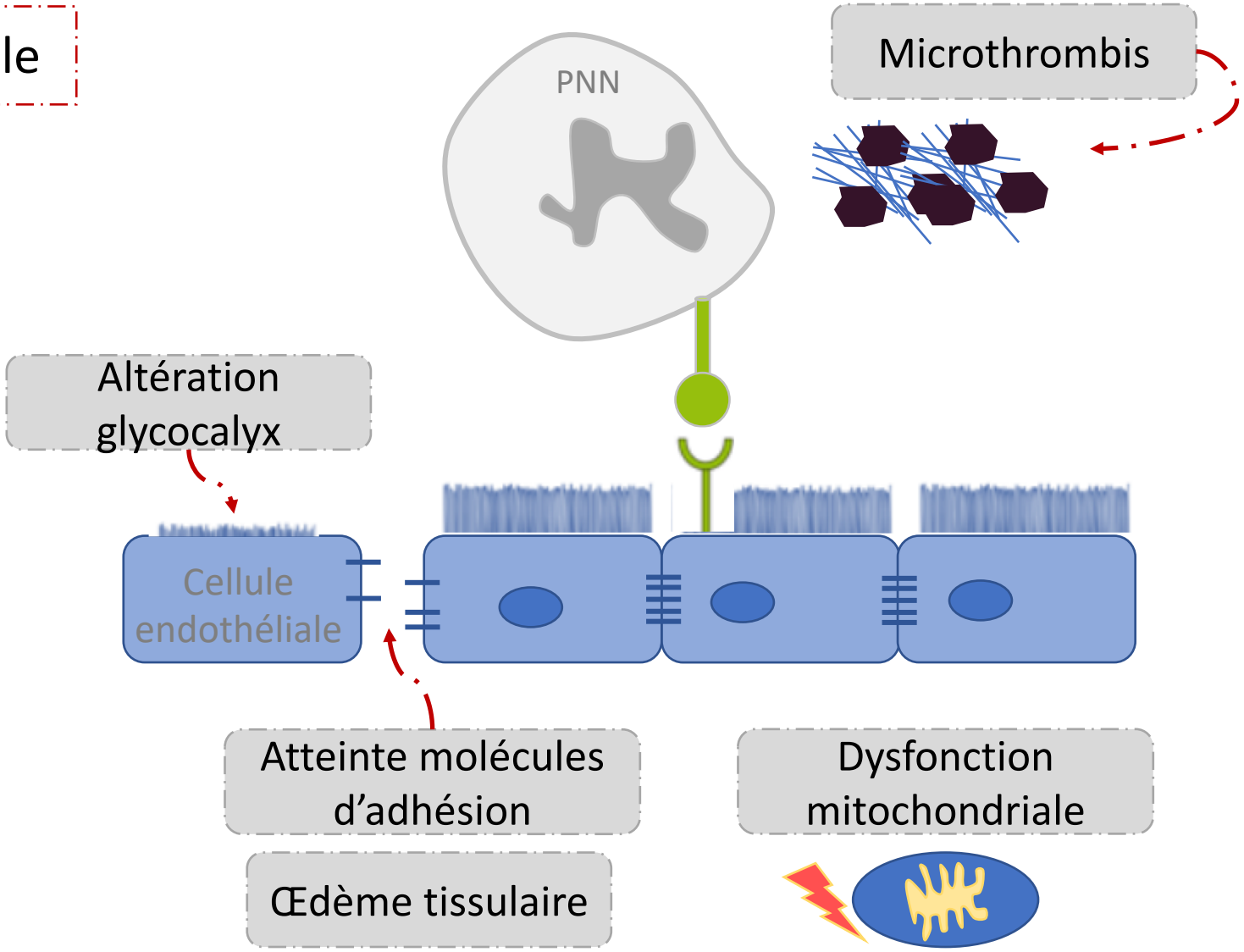
↗ Inflammation

Atteinte endothéliale

Lord, Lancet 2014

Impact des états de choc

Atteinte endothéliale

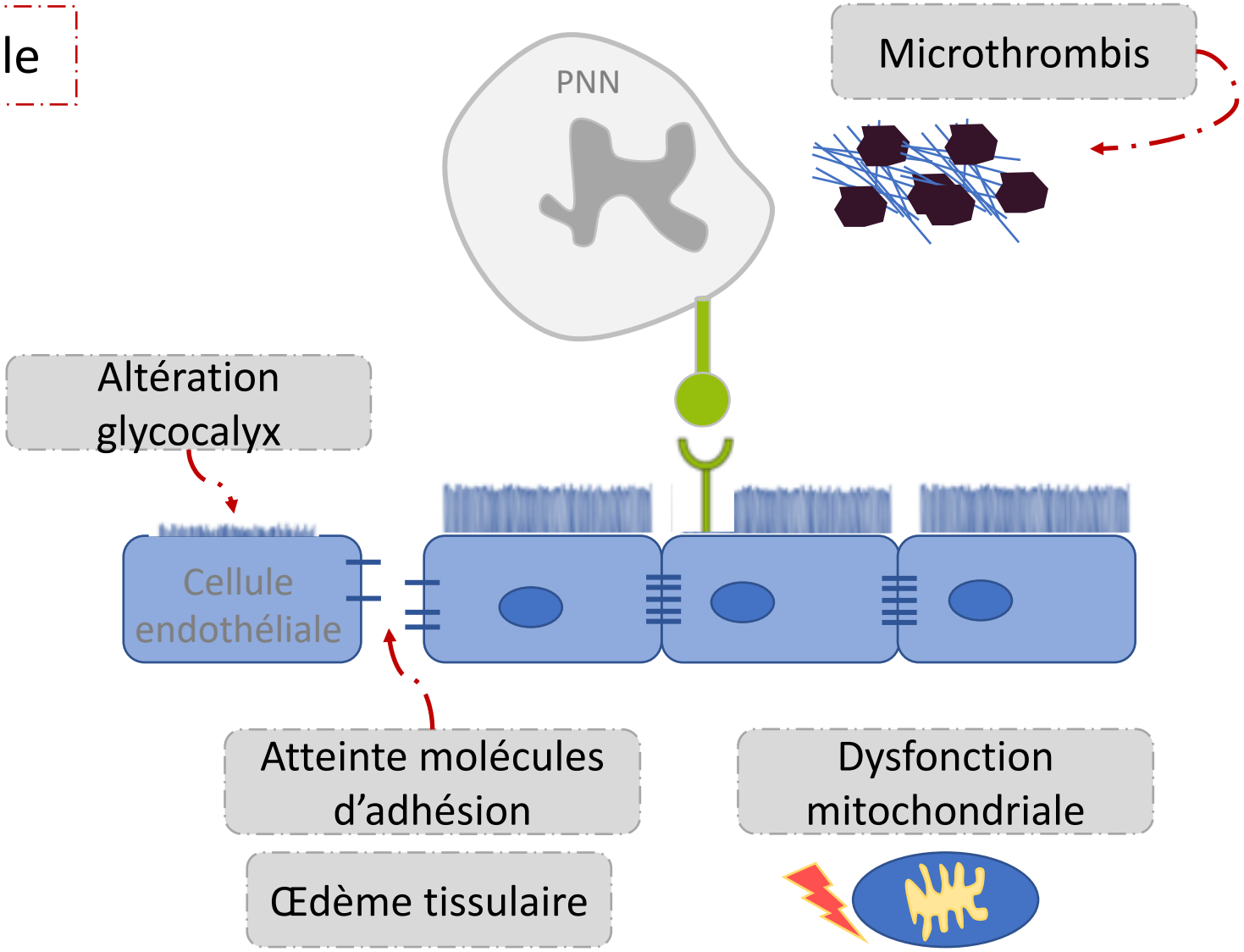


→ Hypoxie tissulaire

→ Dysfonction d'organes

Impact des états de choc

Atteinte endothéliale



→ Hypoxie tissulaire

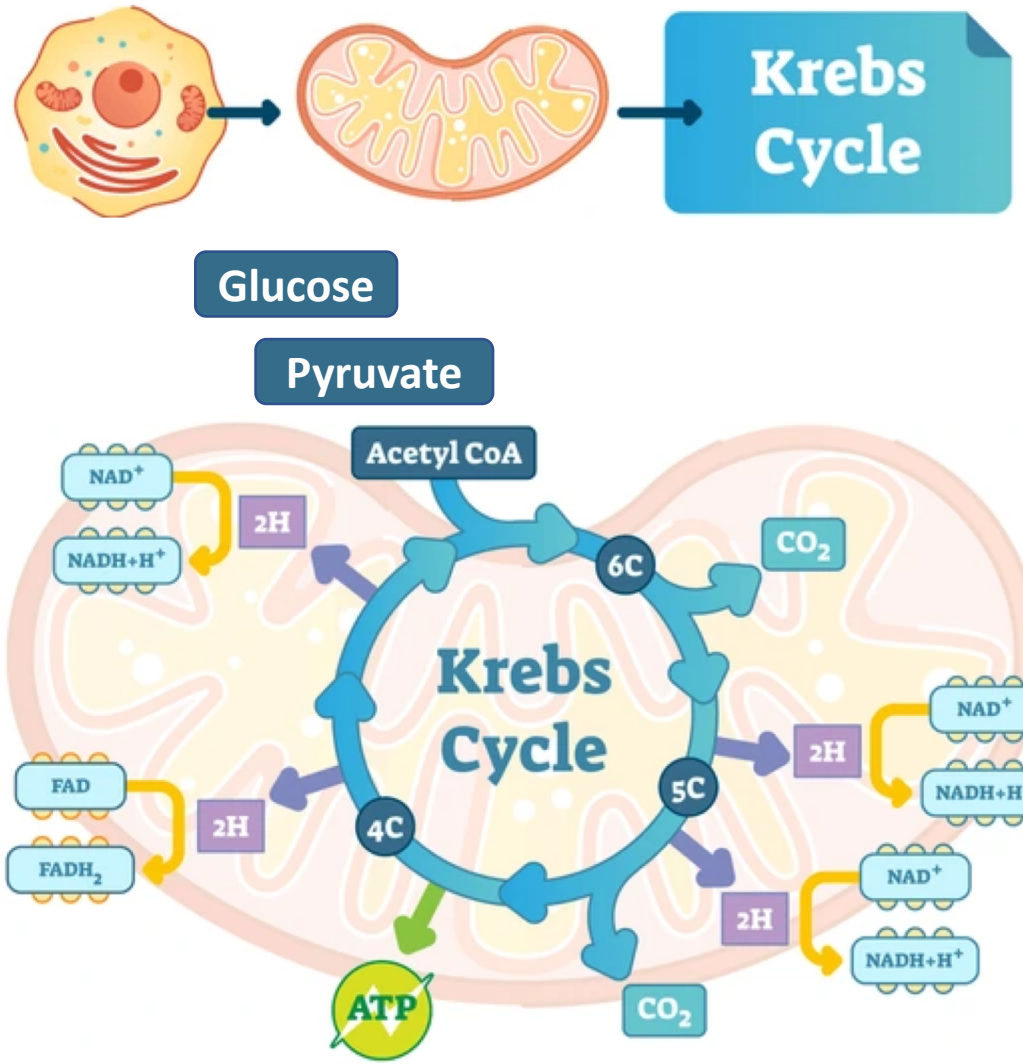
→ Dysfonction d'organes

Impact des états de choc

Hypoxie tissulaire

O_2

Métabolisme aérobie

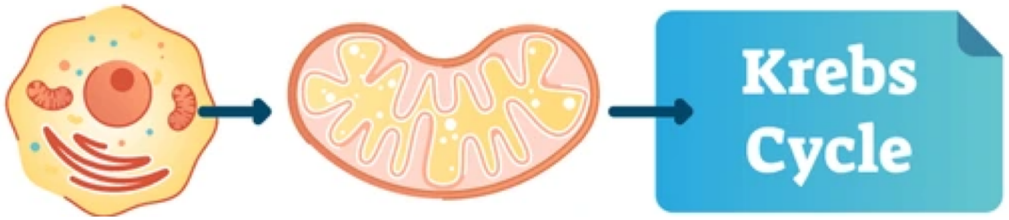


1 molécule de glucose
→ 38 molécules d'ATP

Impact des états de choc

Hypoxie tissulaire

Métabolisme anaérobie



Glucose

Pyruvate → Lactate +++

Indicateur de l'anaérobiose

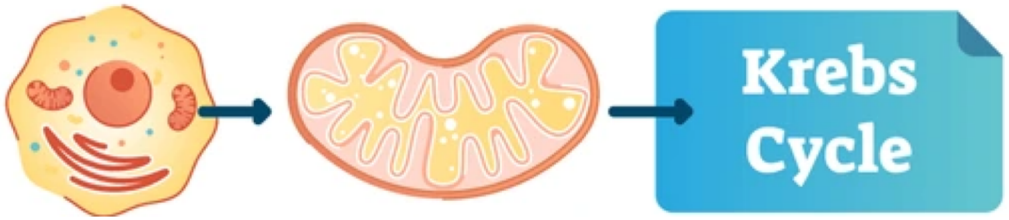
→ Hypoxie tissulaire

→ Dysfonction d'organes

Impact des états de choc

Hypoxie tissulaire

Métabolisme anaérobie



Glucose

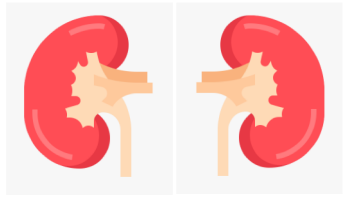
Pyruvate → Lactate +++

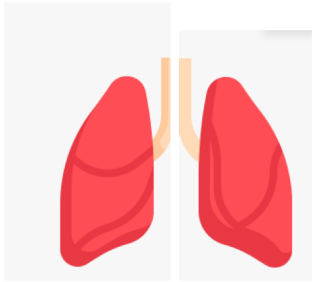
Indicateur de l'anaérobiose

→ Hypoxie tissulaire → Dysfonction d'organes

Impact des états de choc

Dysfonction d'organes





Insuffisance rénale aiguë

SDRA

Encéphalopathie

CIVD

Foie de choc

→ Défaillance multiviscérale

Take home message

1. Etat de choc → inadéquation entre apports et besoins en O_2
2. 4 grands types de choc caractérisés par une ↘ du TaO_2 (DC) et/ou ↘ de PA
3. ↗ EO_2 et l'activation système sympathique → mécanismes compensateurs
4.

Take home message

1. Etat de choc → inadéquation entre apports et besoins en O_2
2. 4 grands types de choc caractérisés par une ↘ du TaO_2 (DC) et/ou ↘ de PA
3. ↗ EO_2 et l'activation système sympathique → mécanismes compensateurs
4. Etat de choc → dysfonction endothéliale, hypoxie tissulaire et DMV

Conclusions

Conclusions

Physiopathologie

- TaO_2
- ↓ Contractilité
- Pression artérielle

Mécanismes

- Système sympathique
- ↗ EO_2
- **Vasoconstriction**
- **Vasodilatation µcirculation**

Choc septique

1. Dysfonction µcirculation
2. Inflammation
3. Microthrombis
4. Ø Mécanismes compensateurs
5. Ø d'augmentation EO_2
6. SvO_2 anormalement normale

Impact

- Production c. inflammatoires
- Dysfonction endothéliale
- Hypoxie tissulaire
- Dysfonction d'organes

Merci pour votre attention