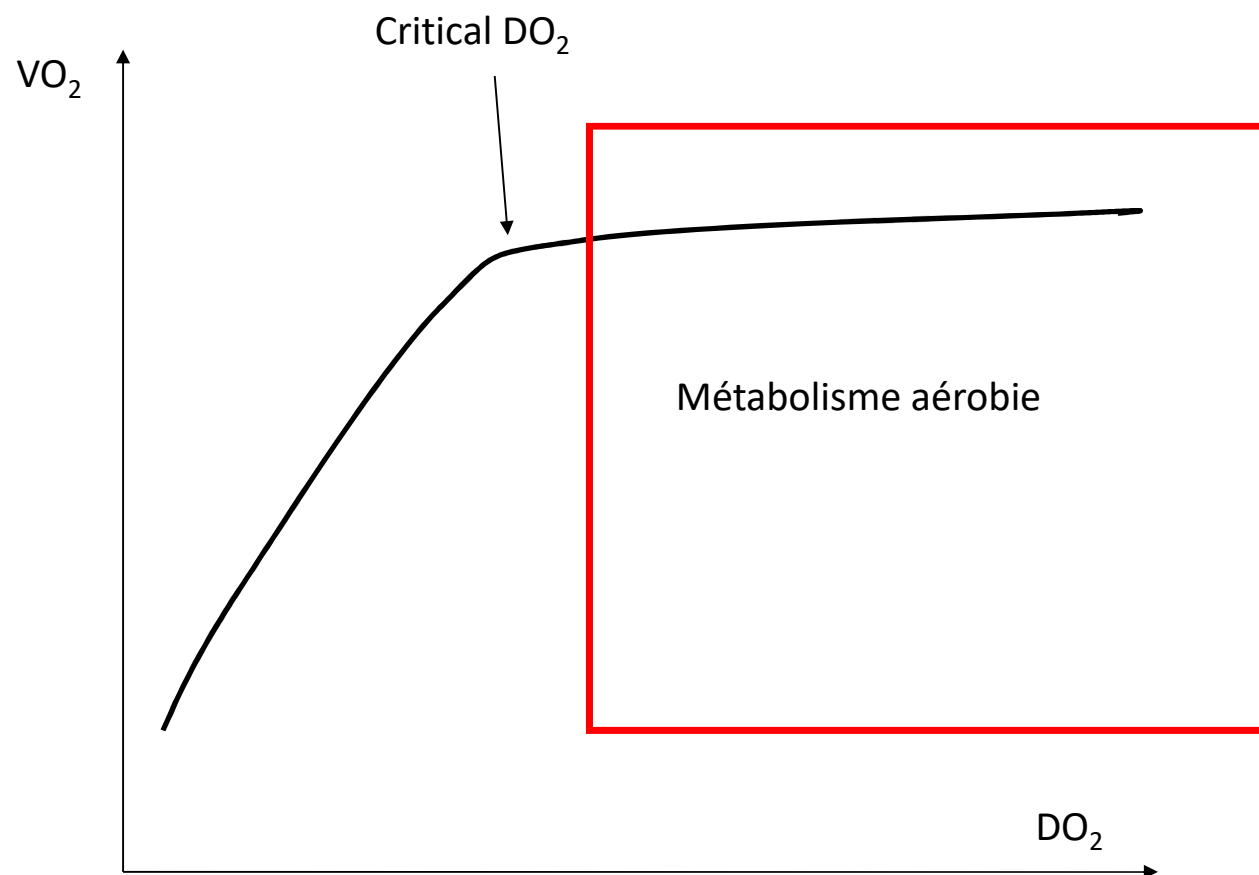
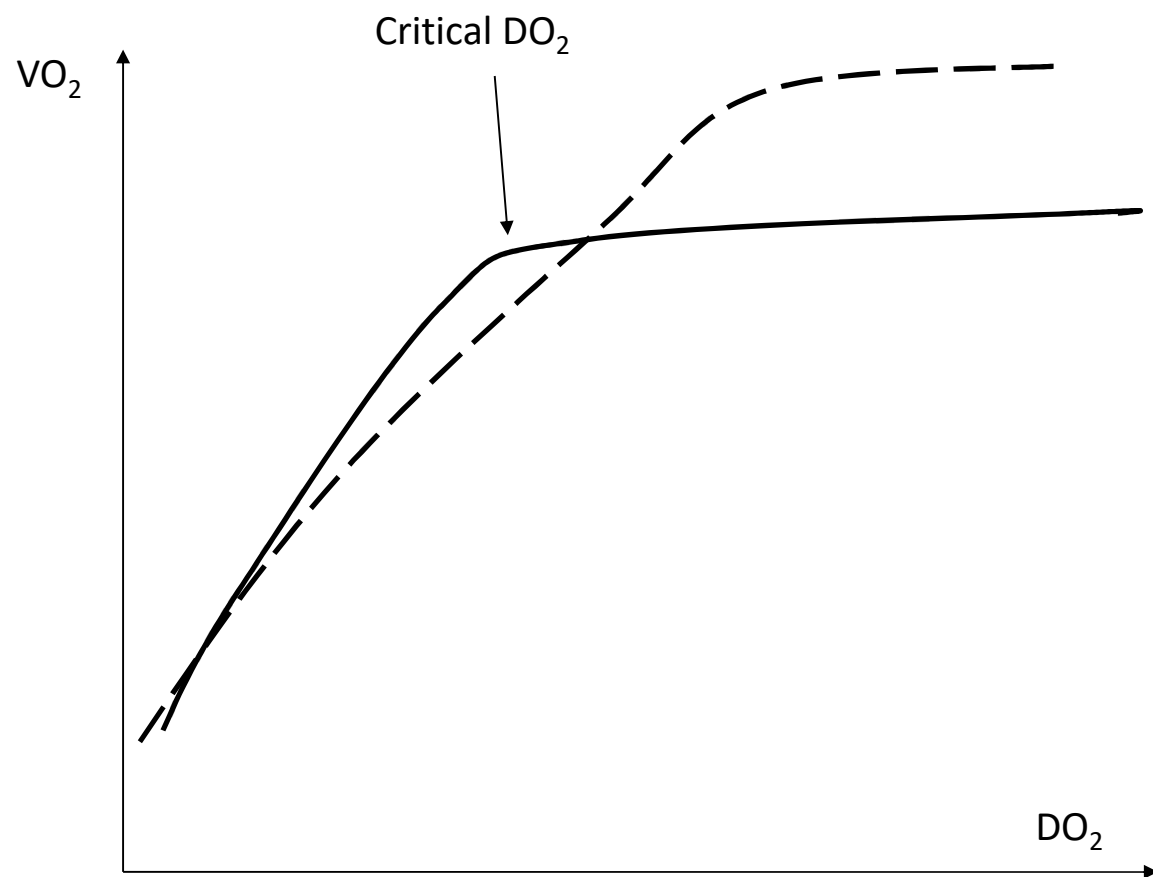
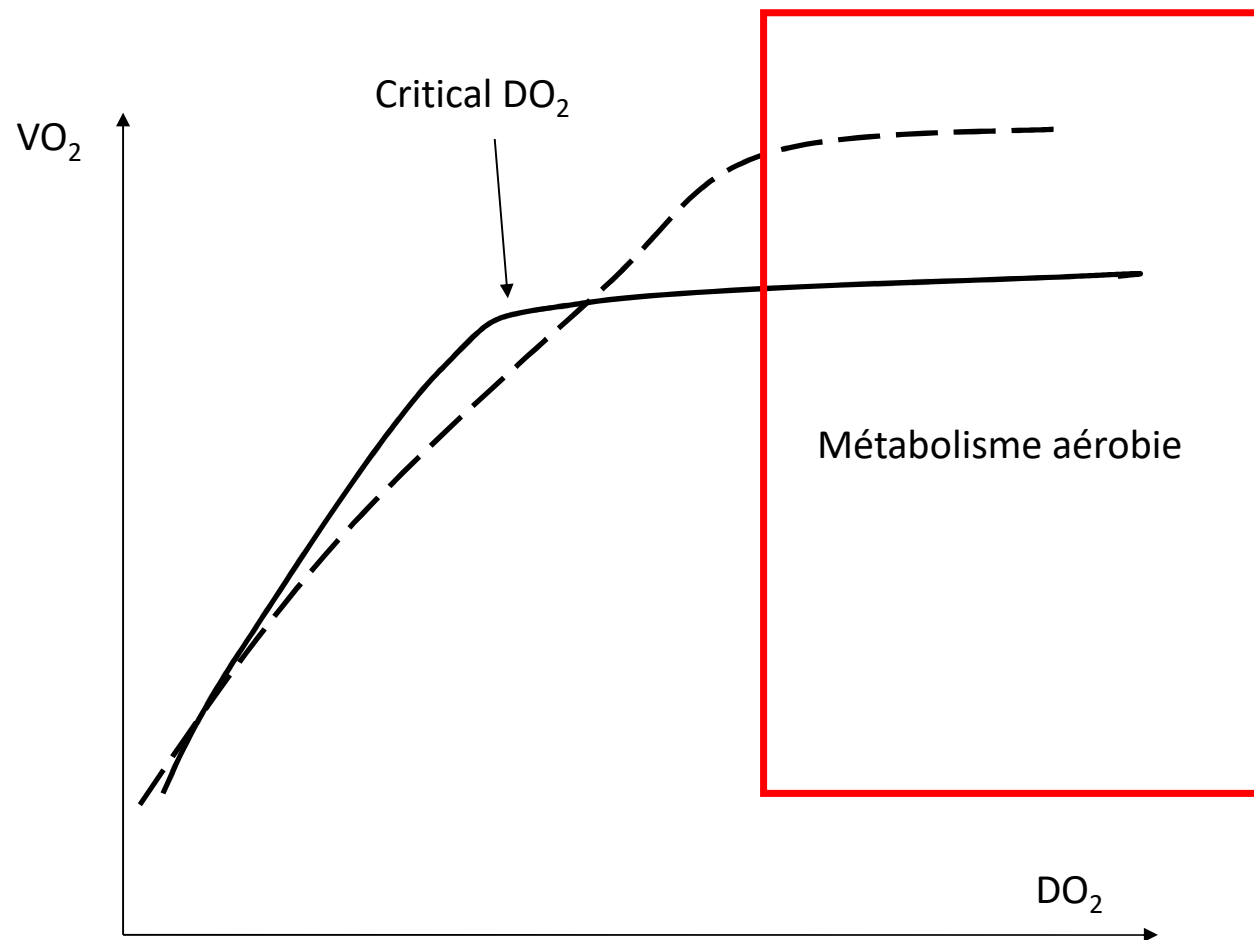


La CEC pédiatrique / néonatale

Mirela Bojan
Anesthésie Réanimation
Necker Enfants Malades







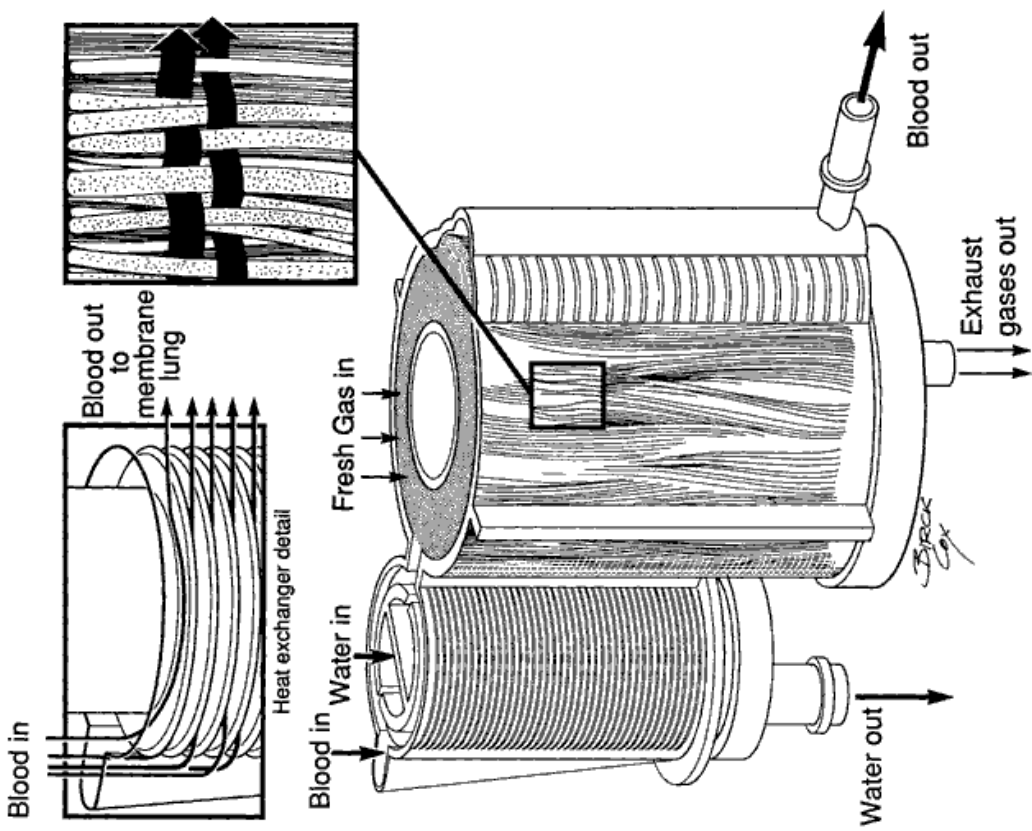
$$DO_2 \text{ (mL min}^{-1} \text{ m}^{-2}) = 10 * \text{pump flow indexed (L min}^{-1} \text{ m}^{-2}) \times \text{arterial O}_2 \text{ content}$$

$$\text{Arterial O}_2 \text{ content (mL 100 mL}^{-1}) = \text{Haemoglobin (g dL}^{-1}) * 1.34 \text{ (mL O}_2 \text{ g}^{-1} \text{ of Haemoglobin)} * \text{SaO}_2 \text{ (\%)} + \\ 0.003 * PO_2 \text{ (mmHg)}$$

I. Le circuit de CEC

1. Le réservoir veineux
2. Un oxygénateur $\pm$ avec filtre artériel intégré et échangeur thermique
3. Les canules
4. Les tubulures
5. Une pompe
6. Le circuit de cardioplégie
7. Monitoring et alarmes
8. $\pm$ Un hémofiltre

Nécessité de miniaturisation des circuits néonataux afin de réduire l'hémodilution per-CEC





Kids pédiatrique
87 ml prime, 0.61 m²
Q max = 2.5 L/min

Ajout filtre artériel = 28 ml

Kids néonatal
31 ml prime, 0.22 m²
Qmax = 0.7 L/min

Ajout filtre artériel = 16 ml



Quadrox neonatal
Filtre intégré
38 ml prime, 0.38 m²
Qmax = 1.5 L/min



Affinity Pixie
48 ml prime, 0.48 m²
Q max = 2 L/min

Le tubing

Diamètre tubulure (in.)	Diamètre tubulure (mm)	Volume par mètre de longueur
1/2	12.7	126
3/8	9.53	71
1/4	6.35	33
3/16	4.76	18

Poids patient	Canulation artérielle	Canulation veineuse
< 10 kg	3/16	1/4
10-20 kg	1/4	3/8
20-30 kg	3/8	3/8

Le drainage veineux est passif (déclive 30 cm) ou assisté (max -30 cmH₂O)

Pompes de CEC

Occlusive (à galets)

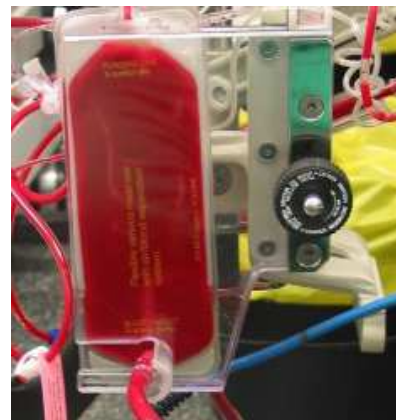


Centrifuge



Occlusive	Centrifuge
Précision du débit (délivré même en présence d'une résistance au flux)	Le débit dépend de la postcharge -> nécessite un système de monitoring du débit
Risque de générer des fortes pressions (positives ou négatives) - risque accru d'hémolyse	Risque de retro-flow
Risque plus élevé d'embolie gazeuse	Moindre risque d'embolie gazeuse
Circuit (réservoir) ouvert – contact sang/air	Circuit fermé (réservoir souple)
Faible coût	Coût élevé

le réservoir :



II. Priming et transfusion

Volume du priming néonatal

Oxygénateur	31
Filtre artériel	16
Réservoir	≥ 30
Ligne artérielle 3/16	27 - 36
Ligne veineuse 1/4	50 - 66
Filtre à UF	20
Circuit de cardioplégie	10
Total	184 - 210 ml

Volémie d'un nouveau-né = $0.85 * \text{poids}$ ($0.9 * \text{poids}$ si prématuré)

Volume du priming néonatal

Oxygénateur	31
Filtre artériel	16
Réservoir	≥ 30
Ligne artérielle 3/16	27 - 36
Ligne veineuse 1/4	50 - 66
Filtre à UF	20
Circuit de cardioplégie	10
Total	184 - 210 ml

Composition du priming néonatal

Variation Ht si priming cristalloïde:

$$\Delta \text{Ht} = (\text{Ht patient} * \text{volémie}) / (\text{volémie} + \text{volume priming})$$

Volume CGR à inclure dans le priming :

$$\text{CGR} = \text{Ht désiré} * (\text{volémie} + \text{volume priming}) - (\text{volémie} * \text{Ht patient}) / 0.6$$

Volémie d'un nouveau-né = $0.85 * \text{poids}$ ($0.9 * \text{poids}$ si prématuré)

Volémie estimée = 275 ml

Composition priming :

Albumine 5%

Bicarbonate

Ca

PFC

CGR

Volume priming = 228 ml

Volume ajouté = 974 ml
CGR, PFC, bicarbonate

[illegible]

Hématocrite idéal en CEC néonatale

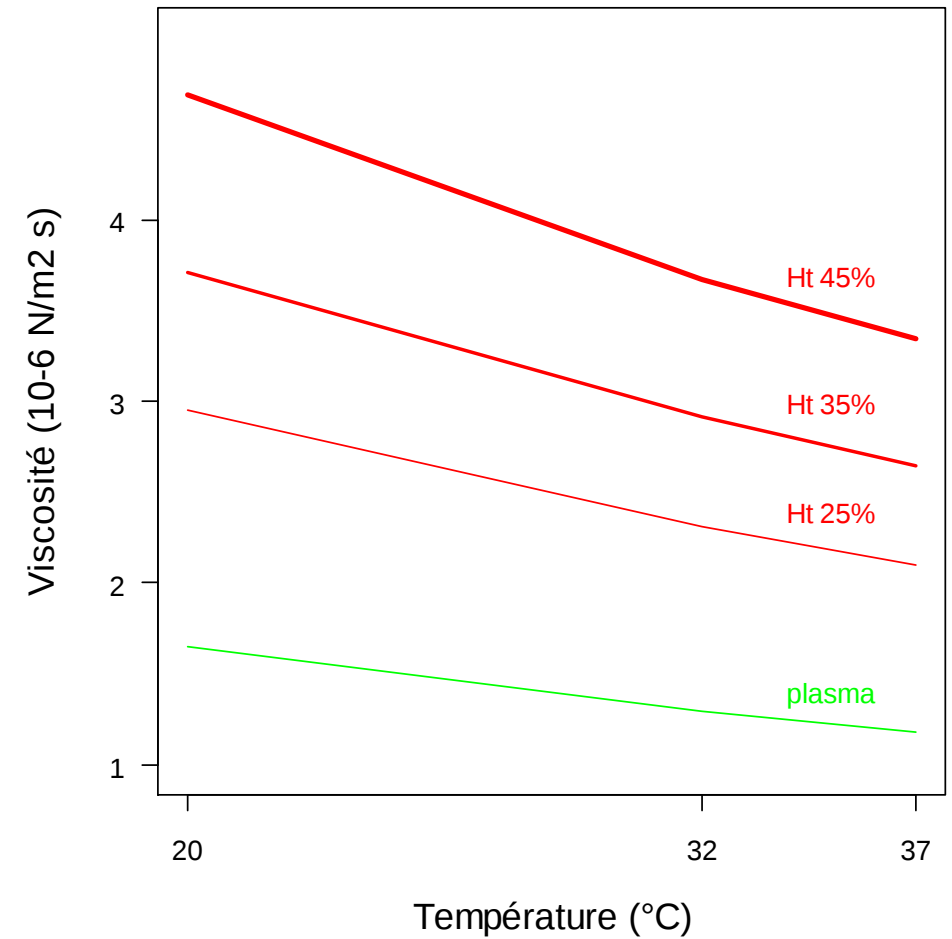
Ht, température et viscosité

Viscosité plasma

$$\mu_{\text{plasma}} = \exp \left[-5.64 + \frac{1800}{(T^{\circ}\text{C} + 273)} \right] / 100$$

Viscosité sang

$$\mu_{\text{sang}} = \mu_{\text{plasma}} * \exp (2.31 * \text{Ht})$$



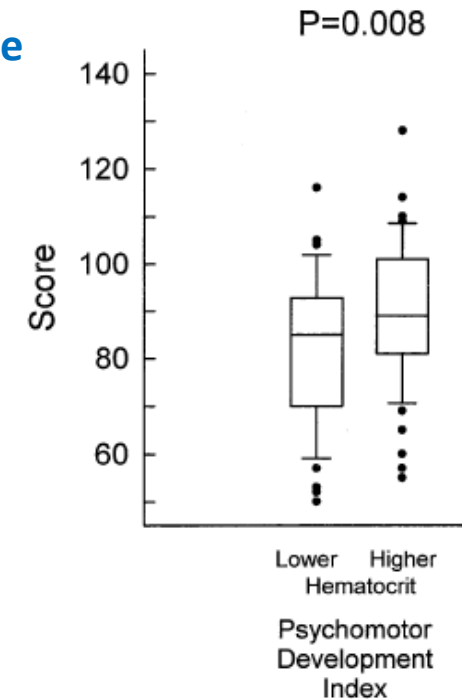
Hématocrite idéal en CEC néonatale

147 nourrissons, 74 Ht=20%, 73 Ht=30%

Low-flow, 18°C, pH-stat

Tests psychométriques à 1 an

(Jonas, JTCVS 2003)



124 nourrissons, 56 Ht=25%, 68 Ht=35%

Low-flow, pH-stat

Tests psychométriques et IRM à 1 an

-> aucune différence

(Newburger, JTCVS 2008)

Ne pas descendre en-dessous de 30-35%, même en hypothermie

November 15, 2016

Clinical Practice Guidelines From the AABB : Red Blood Cell Transfusion Thresholds and Storage

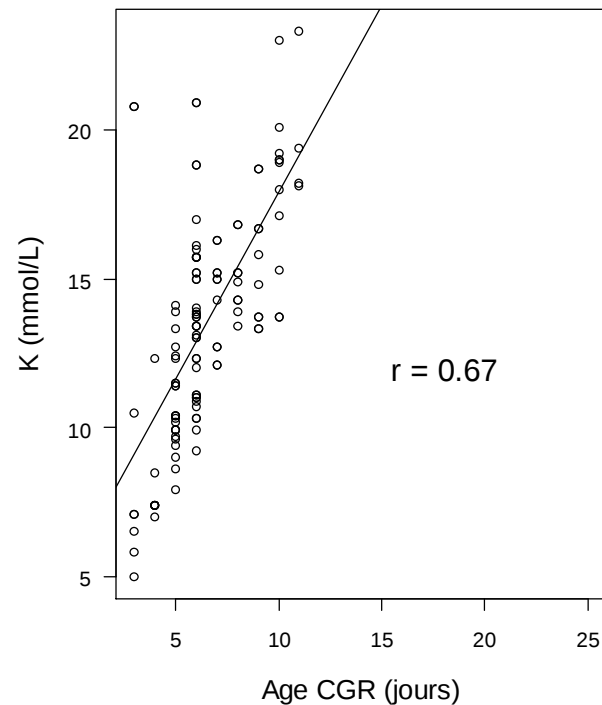
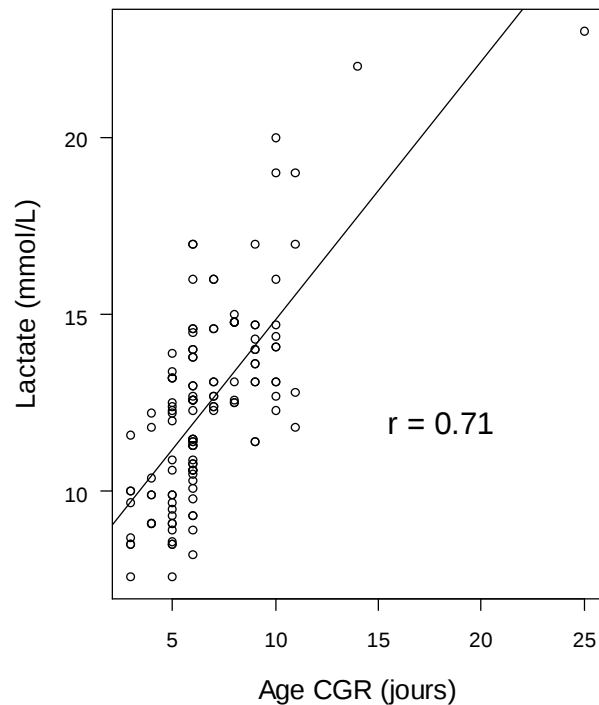
Jeffrey L. Carson, MD¹; Gordon Guyatt, MD²; Nancy M. Heddle, MSc³; [et al](#)

» Author Affiliations

JAMA. 2016;316(19):2025-2035. doi:10.1001/jama.2016.9185

Findings It is good practice to consider the hemoglobin level, the overall clinical context, patient preferences, and alternative therapies when making transfusion decisions regarding an individual patient. Recommendation 1: a restrictive RBC transfusion threshold in which the transfusion is not indicated until the hemoglobin level is 7 g/dL is recommended for hospitalized adult patients who are hemodynamically stable, including critically ill patients, rather than when the hemoglobin level is 10 g/dL (strong recommendation, moderate quality evidence). A restrictive RBC transfusion threshold of 8 g/dL is recommended for patients undergoing orthopedic surgery, cardiac surgery, and those with preexisting cardiovascular disease (strong recommendation, moderate quality evidence). The restrictive transfusion threshold of 7 g/dL is likely comparable with 8 g/dL, but RCT evidence is not available for all patient categories. These recommendations do not apply to patients with acute coronary syndrome, severe thrombocytopenia (patients treated for hematological or oncological reasons who are at risk of bleeding), and chronic transfusion-dependent anemia (not recommended due to insufficient evidence). Recommendation 2: patients, including neonates, should receive RBC units selected at any point within their licensed dating period (standard issue) rather than limiting patients to transfusion of only fresh (storage length: <10 days) RBC units (strong recommendation, moderate quality evidence).

Concentration en lactate et potassium des concentrés globulaires selon leur durée de conservation



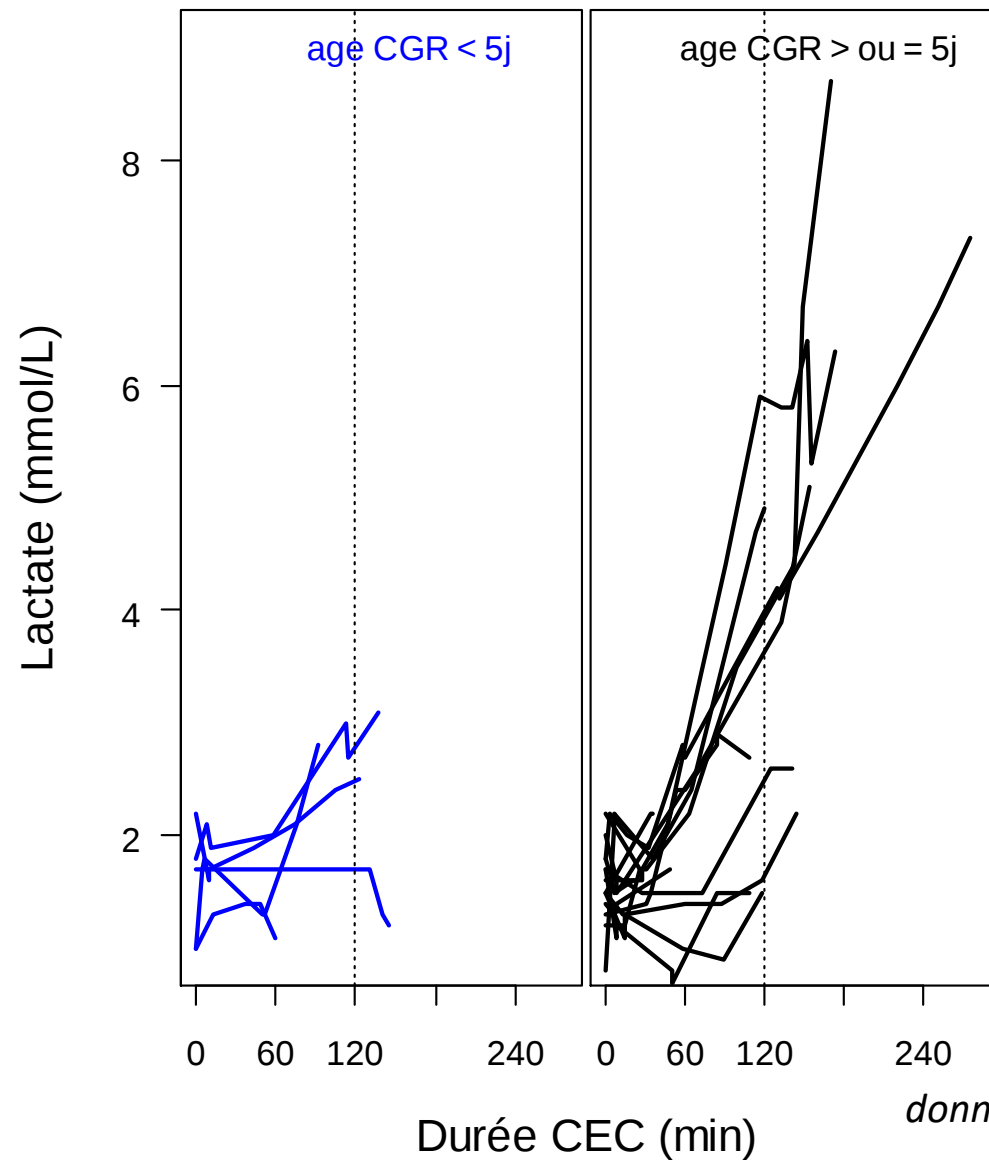
données de Necker

! Potassium plus élevé encore si utilisation de culots irradiés (patients atteints du syndrome DiGeorge)

Intérêt à monitorer le potassium dans le priming

**Concentration
peropératoire du lactate
chez 30 nouveau-nés selon
l'âge des culots reçus**

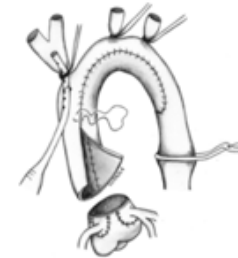
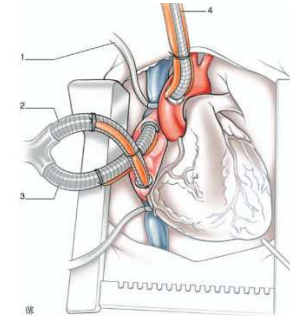
Malgré la recommandation,
l'indication de transfuser des
culots frais (<5j) durant la CEC
chez le nouveau-né est
consensuelle



données de Necker

III. Techniques de perfusion

1. Au débit théorique en normothermie
2. Low flow en hypothermie
3. Perfusion cérébrale sélective (regional low-flow) en hypothermie
4. Arrêt circulation en hypothermie profonde



Température de la CEC

Normothermie > 36°C

Hypothermie légère 30-36°C

Hypothermie modérée 22-30°C

Hypothermie profonde 17-22°C



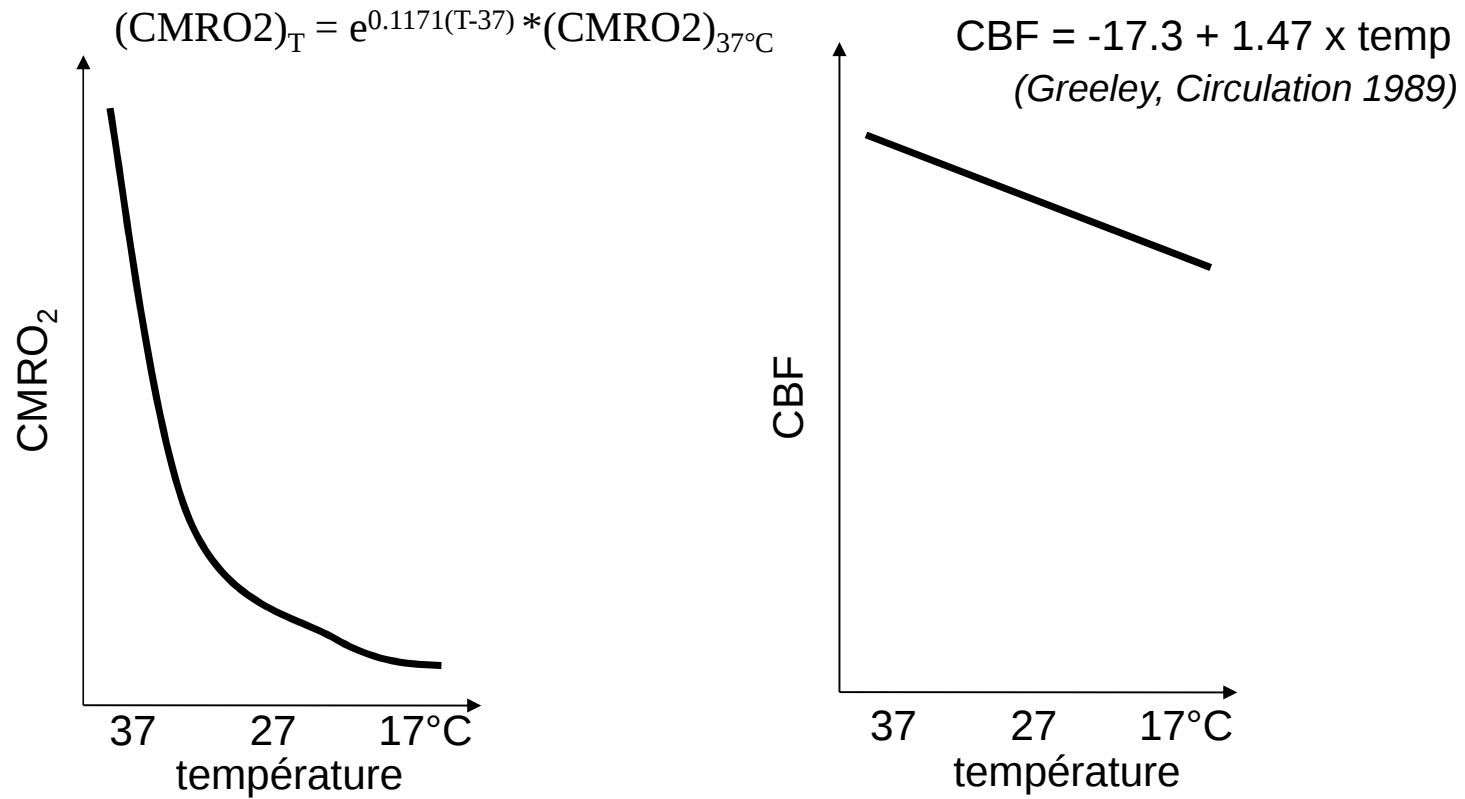
Le débit CEC varie avec la température (variation de la VO₂)



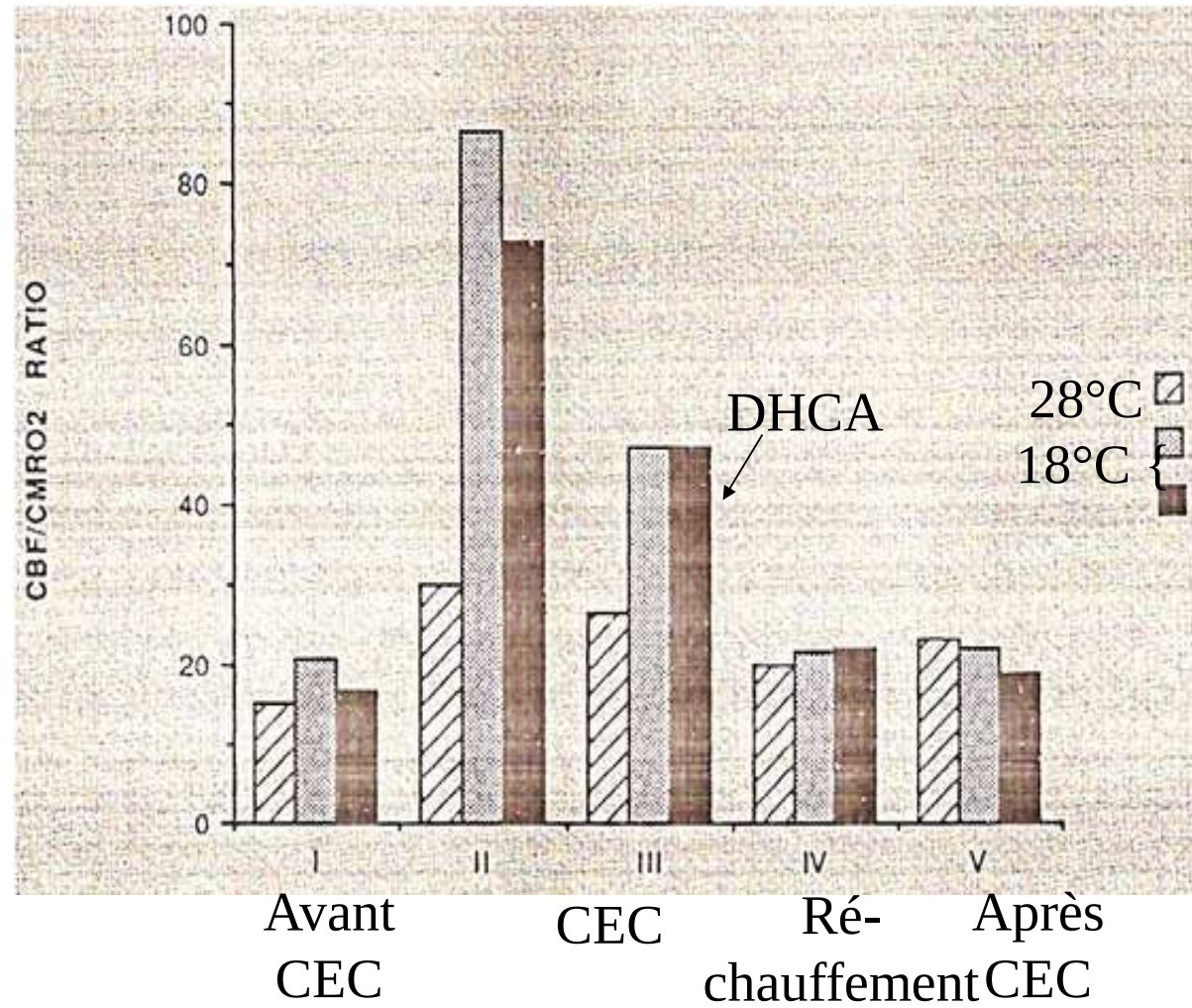
Maintien de l'équilibre acido-basique: α -stat vs pH-stat (voir cours complications neuro ...)

Protection cérébrale par l'hypothermie

Effet de l'hypothermie sur la CMRO₂ et CDO₂



Effet de l'hypothermie sur la CMRO2 et CDO2



Température et débit CEC

27 patients âgés 3j-13ans

Table 3. Calculated Cerebral Oxygen Consumption Reduction and Predicted Minimal Flow Rates^a

Temperature (°C)	CMRO ₂ (mL · 100 g ⁻¹ · min ⁻¹)	Predicted MPFR (mL · kg ⁻¹ · min ⁻¹)
37	1.48	100
32	0.823	56
30	0.654	44
28	0.513	34
25	0.362	24
20	0.201	14
18	0.159	11
15	0.112	8

(Kern, ATS 1993)

De manière consensuelle, le débit en CEC néonatale normothermique est 150 ml/kg/min, soit environ 2.6 l/min/m² voire plus si collatérales aorto-pulmonaires

J Thorac Cardiovasc Surg. 1991 May;101(5):783-94.

The effect of hypothermic cardiopulmonary bypass and total circulatory arrest on cerebral metabolism in neonates, infants, and children.

Greeley WJ¹, Kern FH, Ungerleider RM, Boyd JL 3rd, Quill T, Smith LR, Baldwin B, Reves JG.

Q_{10} (index thermique) = % de variation du paramètre lorsque la température varie de 10°C

$$Q_{10} = 3.65$$

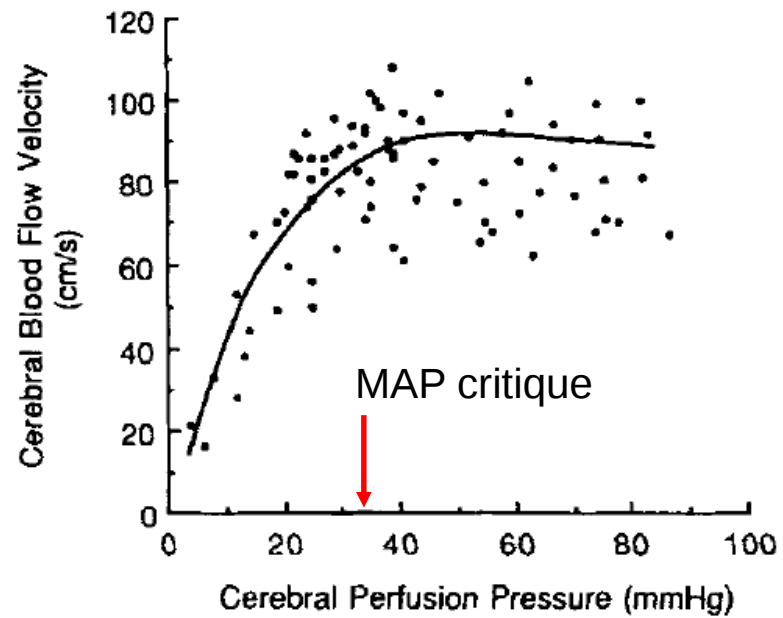
exponential relationship between temperature and cerebral metabolism and an average temperature coefficient of 3.65. There was no significant difference in the rate of metabolism reduction (temperature coefficient) in patients cooled to 28 degrees and 18 degrees C. From these data we were able to derive an equation that numerically expresses a hypothermic metabolic index, which quantitates duration of brain protection provided by reduction of cerebral metabolism owing to hypothermic bypass over any temperature range. Based on this index, patients cooled to 28 degrees C have a predicted ischemic tolerance of 11 to 19 minutes. The predicted duration that the brain can tolerate ischemia ("safe" period of deep hypothermic circulatory arrest) in patients cooled to 18 degrees C, based on our metabolic index, is 39 to 65 minutes, similar to the safe period of deep hypothermic circulatory arrest known to be tolerated

Effet de l'hypothermie sur la perfusion cérébrale

- Consommation en O₂ diminue jusqu'à 27°C au dépend de la diminution du métabolisme cellulaire, jusqu'à 18°C au dépend de la diminution de l'activité électrique (silence à 20°C).
- perte de l'autorégulation, DSC ~ PAM à 18-22°C
- ↑ viscosité et résistance vasculaire
- courbe de dissociation de l'Hb à gauche
- la perte de l'autorégulation persiste en postop, (H6-H20)

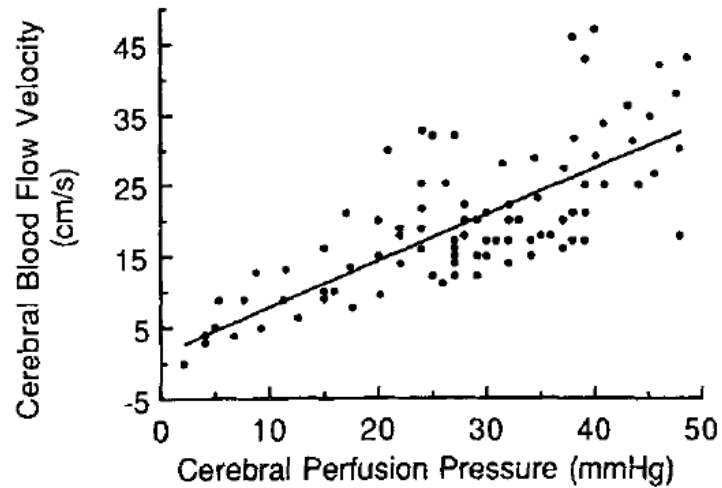
Bassan, Pediatr Res 2005

L'autorégulation du débit sanguin cérébral

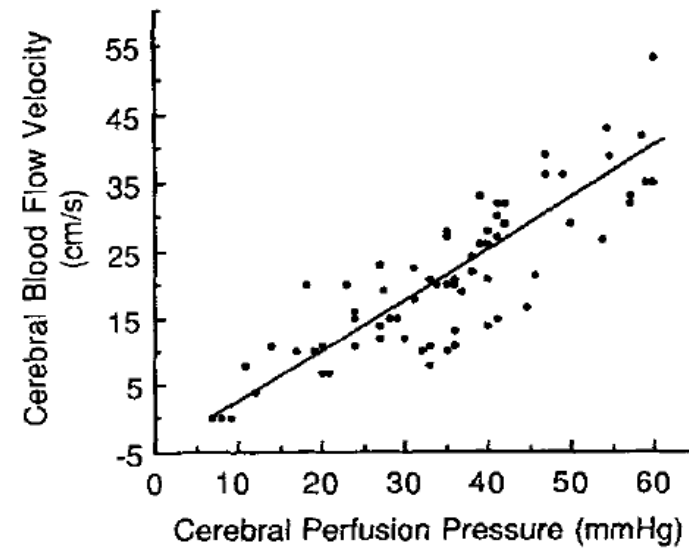


nouveau-né et nourrisson
36-37°C
(Taylor, Anesth Analg 1992)

Perte de l'autorégulation en hypothermie



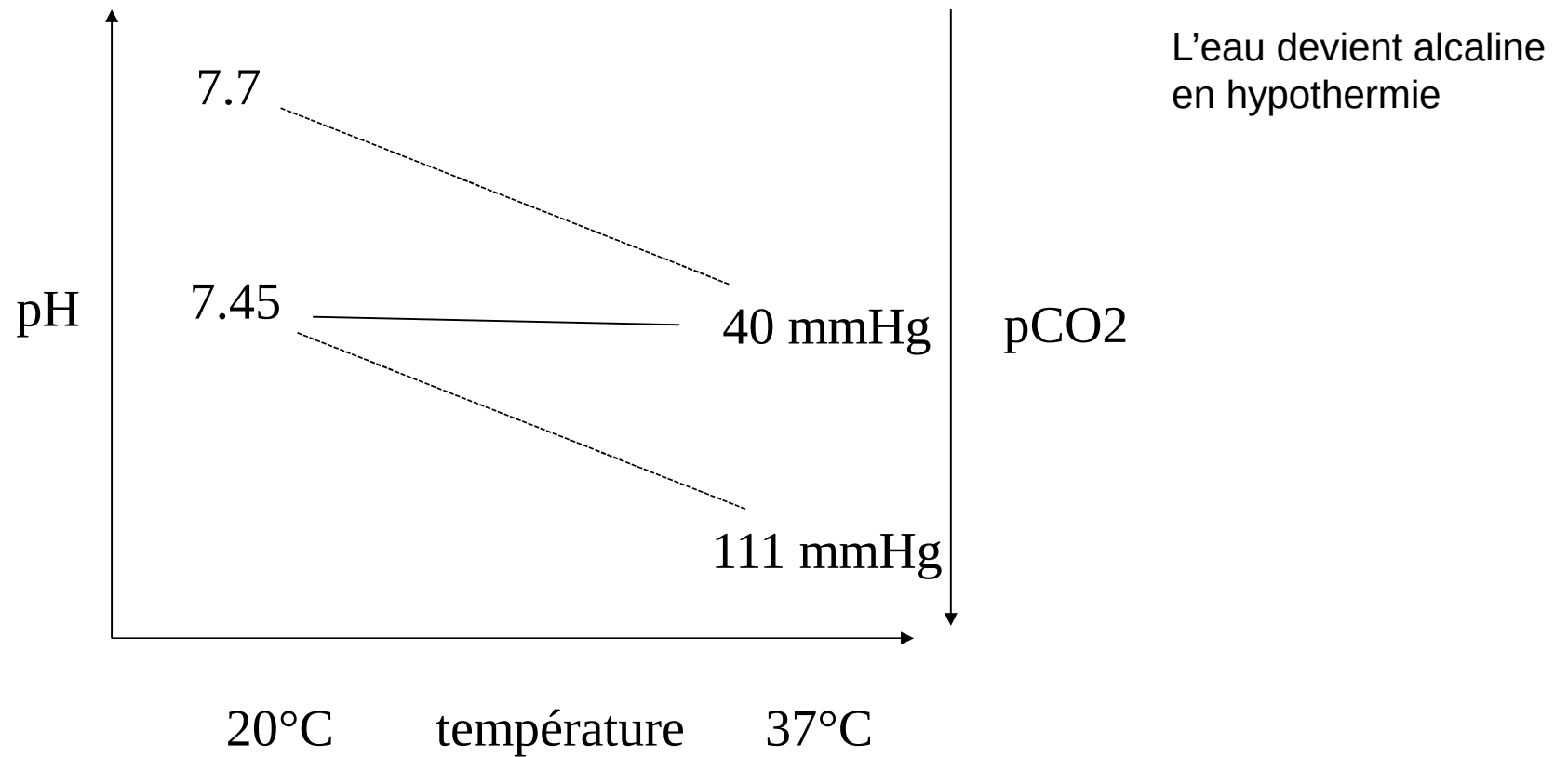
nouveau-né et nourrisson
23-25°C
(Taylor, Anesth Analg 1992)



nouveau-né et nourrisson
14-20°C
(Taylor, Anesth Analg 1992)

pH-stat ou α -stat ?

Solubilité des gaz et constante de dissociation de l'eau diminuent en hypothermie



Solubilité des gaz et constante de dissociation diminuent en hypothermie

α -stat:

pCO₂ = const

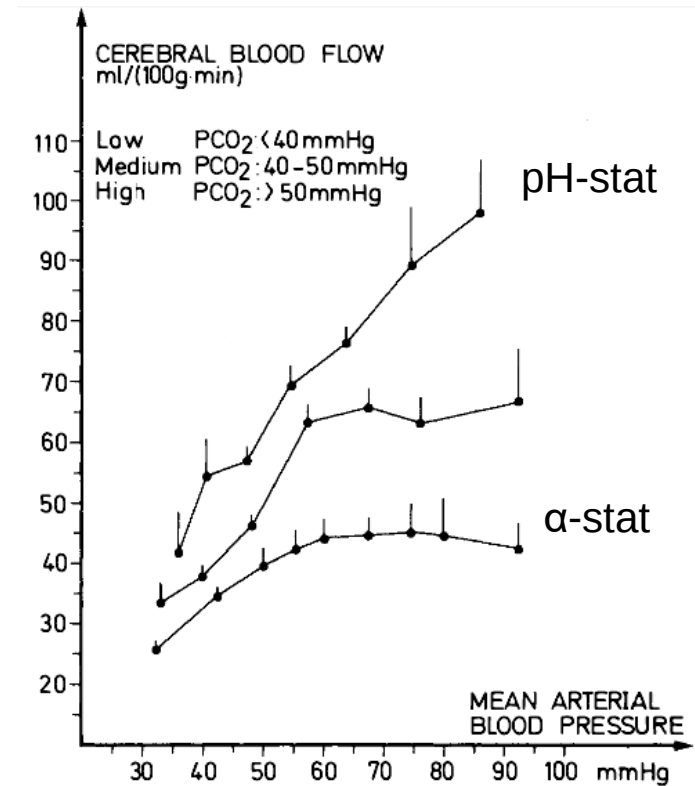
pH = var

pH-stat:

pCO₂ = var

pH = const

- > vasodilatation cérébrale
- > perte de l'autorégulation CBF ?



adultes, 22-28°C
(Henriksen, J Cereb Blood Flow
Metab, 1986)

Does hypothermia impair cerebrovascular autoregulation in neonates during cardiopulmonary bypass?

Brendan Smith¹ | Eric Vu² | Kathleen Kibler² | Craig Rusin¹ | Ronald B. Easley² |
Dean Andropoulos² | Jeffrey Heinle³ | Marek Czosnyka⁴ | Daniel Licht⁵ |
Jennifer Lynch⁶ | Ken Brady¹ 

Conclusions: Arterial blood pressure, temperature, and cerebral autoregulation were collinear in this cohort. The conclusion that hypothermia causes impaired autoregulation is thus confounded. The effect of temperature on autoregulation should be

Static cerebrovascular pressure autoregulation remains intact during deep hypothermia

Dheeraj Goswami¹ | Katherine McLeod² | Samantha Leonard² | Kathleen Kibler² |
Ronald Blaine Easley² | Charles D. Fraser III³ | Dean Andropoulos² | Ken Brady² 

Conclusion: Intact steady-state cerebrovascular pressure autoregulation is demonstrated in a swine model of profound hypothermia. Lower limit of autoregulation and static rate of autoregulation were similar in hypothermic and normothermic subjects.

Cerebral autoregulation and anesthesia

Armagan Dagal and Arthur M. Lam

Harborview Medical Center, University Washington,
Seattle, USA

Correspondence to Arthur M. Lam, MD, FRCP, C,
Department of Anesthesiology, Box 359724,
Harborview Medical Center, 325 Ninth Avenue,
Seattle, WA 98104-2499, USA
Tel: +1 206 744 2881; fax: +1 206 744 8090;
e-mail: arllam@u.washington.edu

Current Opinion in Anaesthesiology 2009,
22:547–552

Purpose of review

This review will examine the recent literature on anesthesia and monitoring techniques in relation to cerebral autoregulation. We will discuss the effect of physiologic and pharmacological factors on cerebral autoregulation alongside its clinical relevance with the help of new evidence.

Recent findings

Intravenous anesthesia, such as combination of propofol and remifentanyl, provides best preservation of autoregulation. Among inhaled agents sevoflurane appears to preserve autoregulation at all doses, whereas with other agents autoregulation is impaired in a dose-related manner.

Summary

Intraoperative cerebral autoregulation monitoring is an important consideration for the patients with neurologic disease. Transcranial Doppler based static autoregulation measurements appears to be the most robust bedside method for this purpose.

Keywords

anesthetics, cerebral autoregulation, cerebral blood flow, cerebral blood flow velocity, cerebral perfusion pressure, transcranial Doppler

Techniques de perfusion : Low-flow

Boston Circulatory Arrest Study 1988-1992

(Newburger NEJM 1993, Bellinger, NEJM 1995, Bellinger, Circulation 1999, Bellinger, JTCVS 2003)

171 nouveau-nés avec TGV, 87 DHCA + 84 low-flow, 18°C, α -stat, Ht>20%

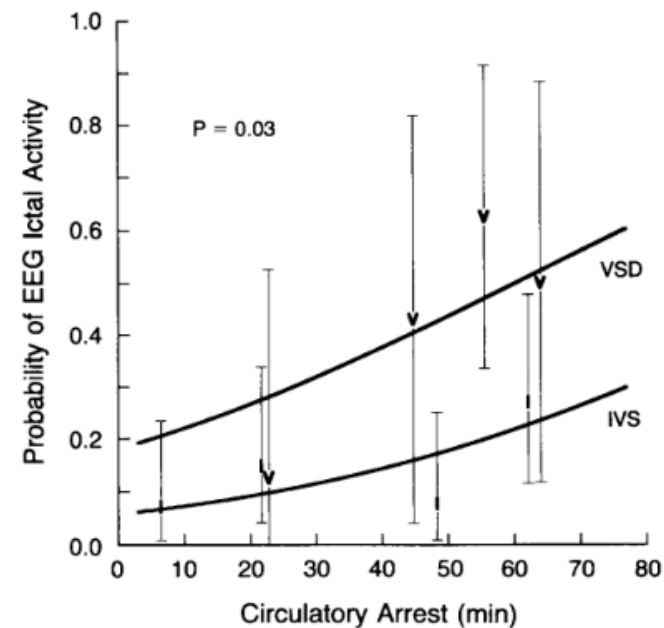
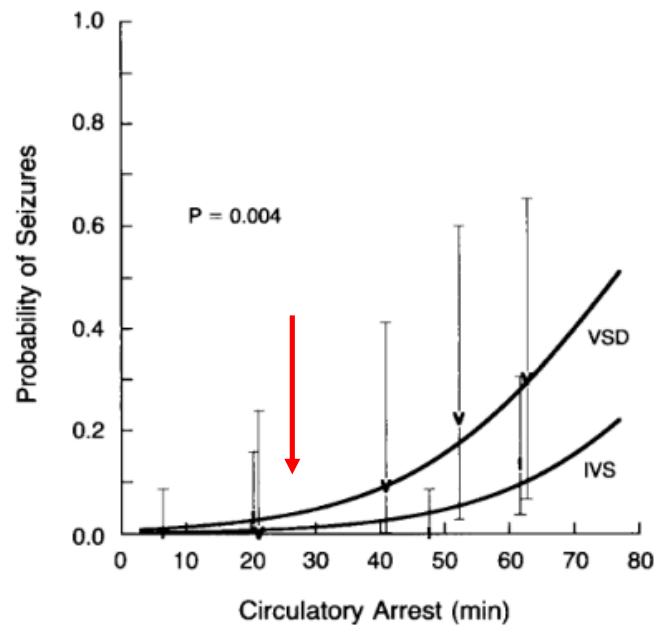
- > convulsions < 48h: OR=11.4 pour DHCA
- > activité électrique critique < 48h: OR=2.5 pour DHCA
- > index de développement psychomoteur à 1 an plus bas dans le groupe DHCA (différence 6.5 points)
- > plus d'apraxie motrice à 4 ans dans le groupe DHCA
- > plus d'apraxie motrice et idéatoire à 8 ans dans le groupe DHCA

CONCLUSIONS: Use of total circulatory arrest to support vital organs during heart surgery in infancy is generally associated with greater functional deficits than is use of low-flow cardiopulmonary bypass, although both strategies are associated with increased risk of neurodevelopmental vulnerabilities.

Techniques de perfusion: Arrêt circulatoire en hypothermie profonde

Boston Circulatory Arrest Study

87 nouveau-nés avec TGV, DHCA, 18°C, α -stat, Ht>20%
survenue de convulsions < 48h



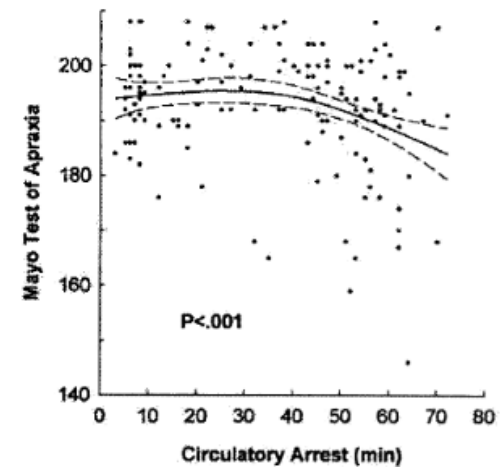
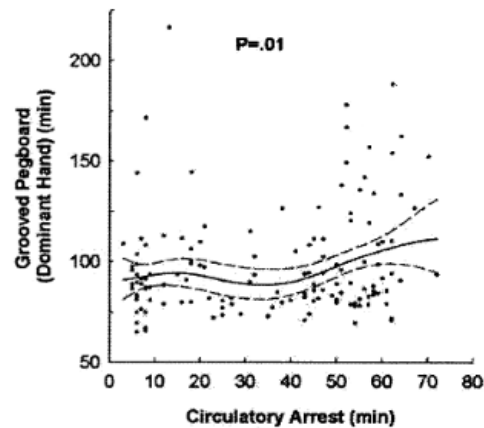
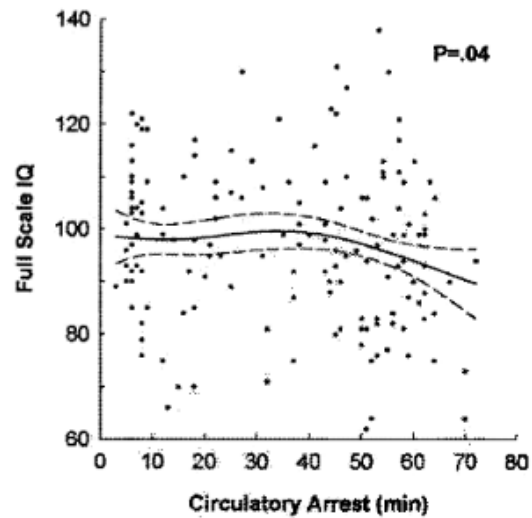
(Newburger, NEJM 1993)

Techniques de perfusion: Arrêt circulatoire en hypothermie profonde

Boston Circulatory Arrest Study

155 nouveau-nés avec TGV, 18°C, α -stat, Ht > 20%

tests psychomoteurs à 8 ans

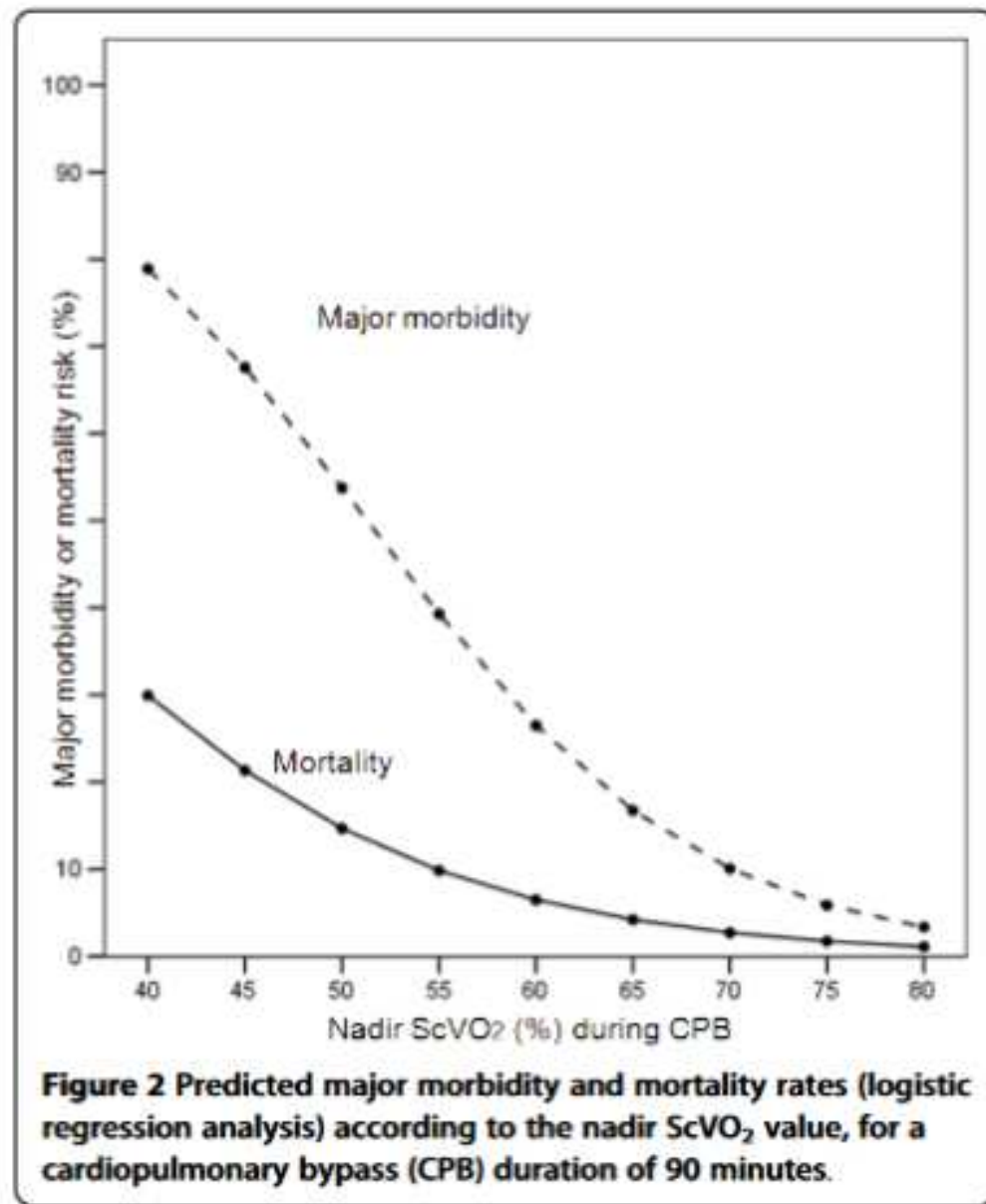


La limite de l'IC 95% était à 32min

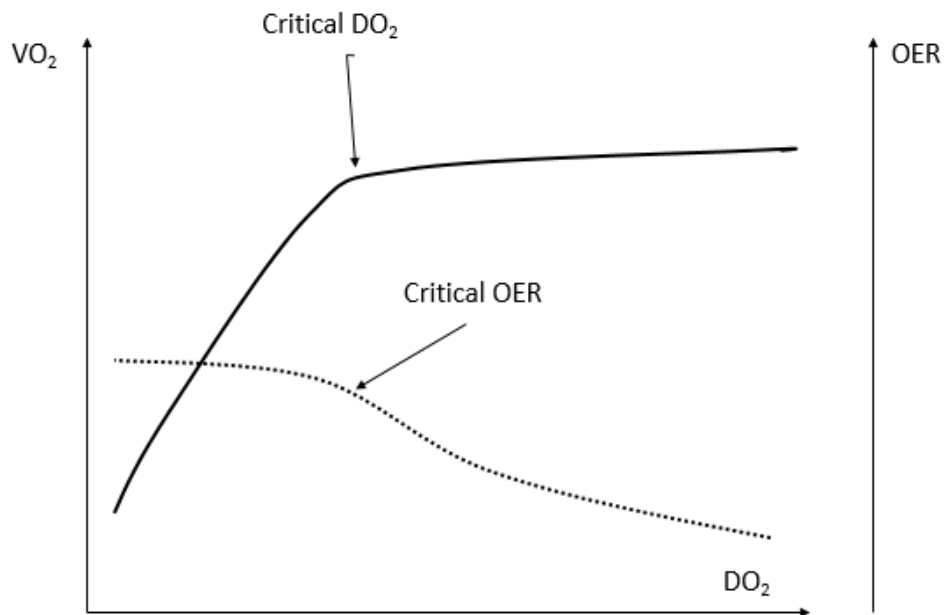
(Wypij, JTCVS 2003)

IV. Monitoring de la perfusion

1. SvO₂



Ranucci, Crit Care 2010: R149



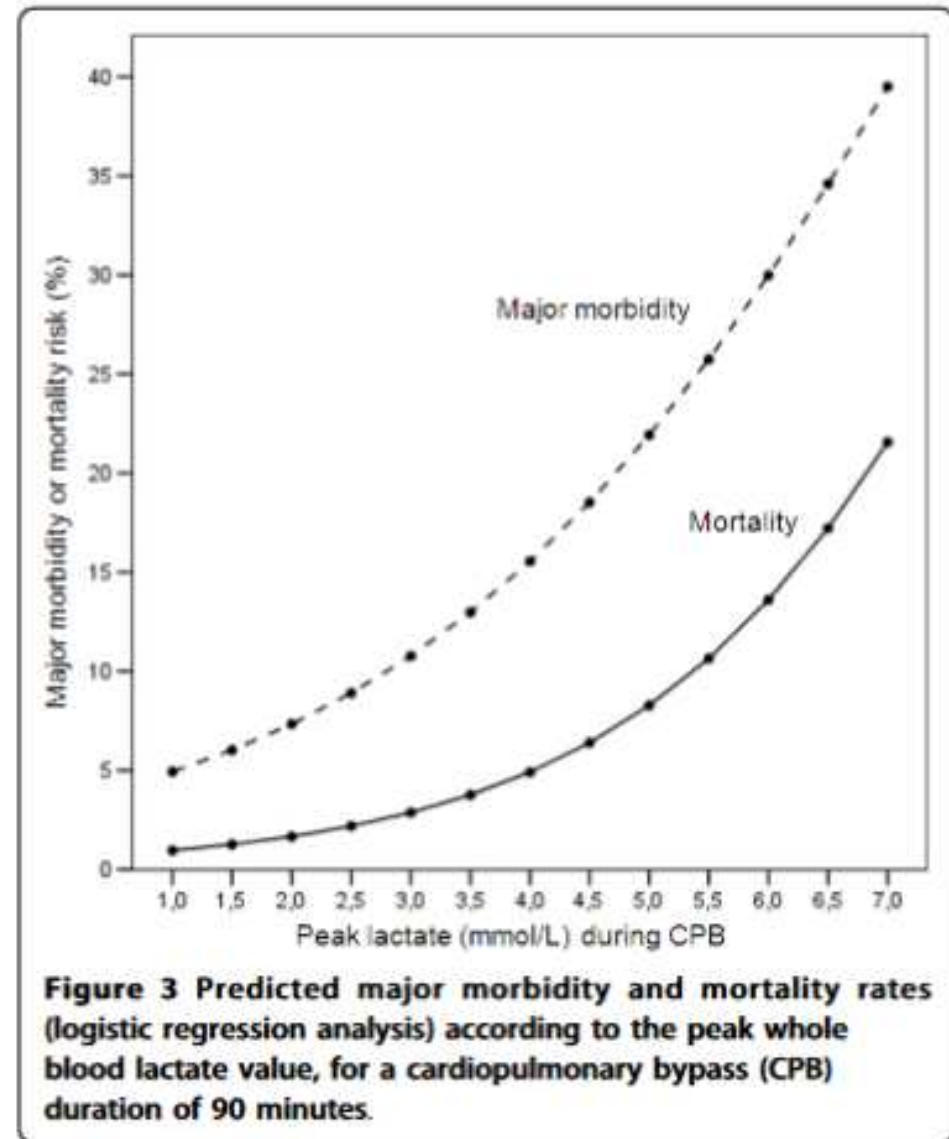
$$OER = (SaO_2 - SvO_2) / SaO_2$$

$$SvO_2 = (1 - OER) \times SaO_2 \quad (\text{mais } SaO_2 \text{ souvent } 100\%)$$

$$SvO_2 = 1 - OER$$

Maintien **OER < 30%** -> nécessité de maintenir **SvO2 > 70%**

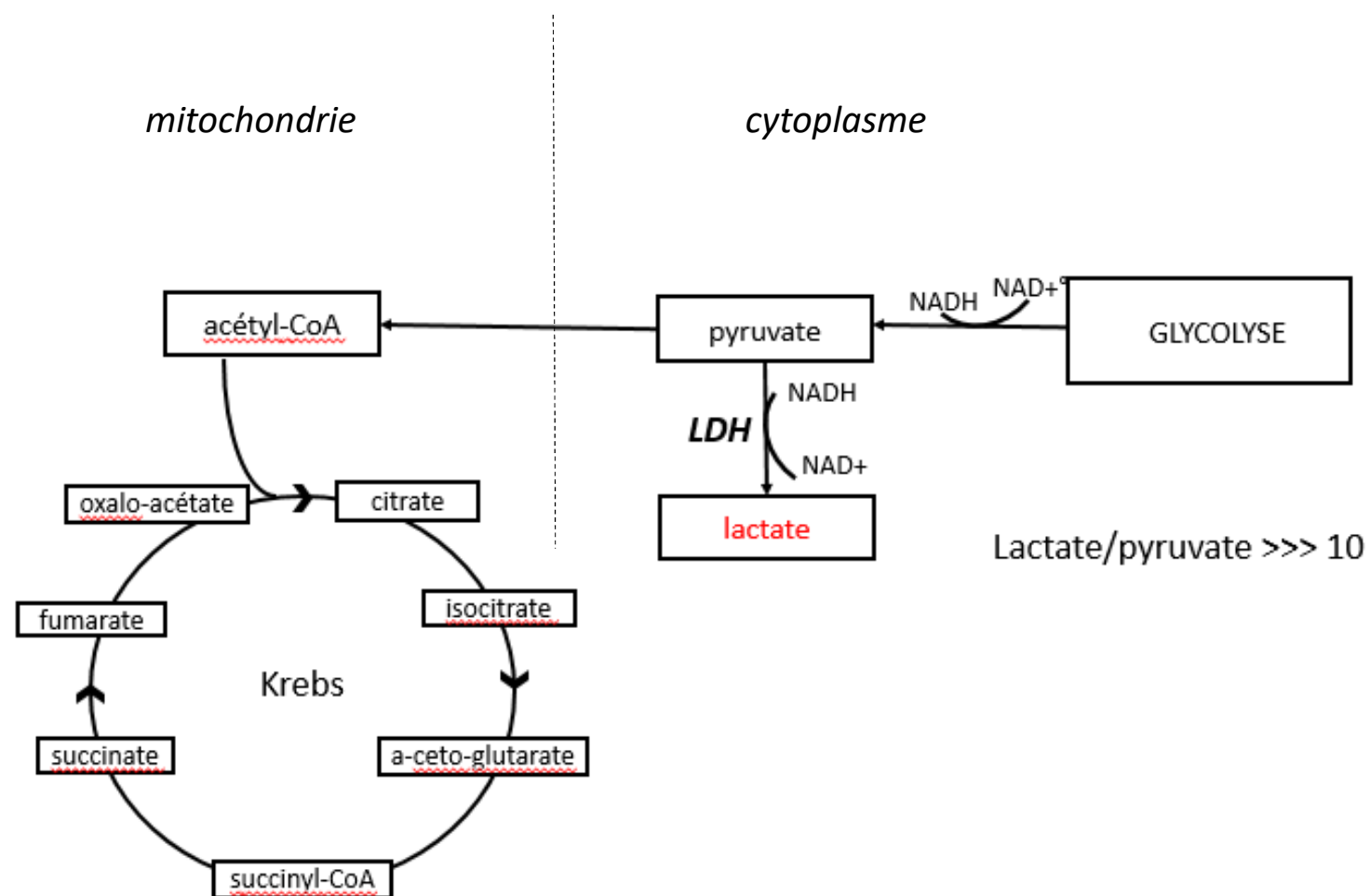
2. Lactate



Ranucci, Crit Care 2010: R149

Le lactate

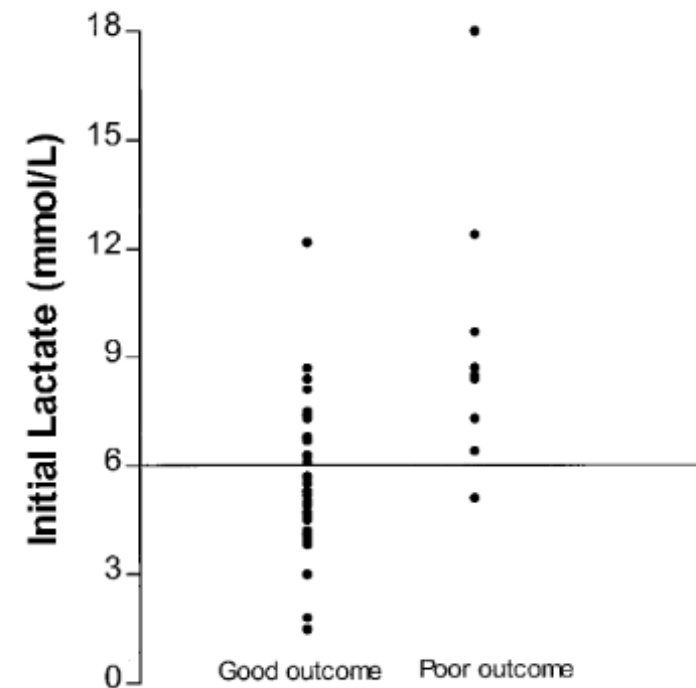
- Est un reflet de l'adéquation $DO_2 - VO_2$ en CEC
- Est un excellent prédicteur des complications postop (>3.5 mmol/L)



SERIAL BLOOD LACTATE MEASUREMENTS PREDICT EARLY OUTCOME AFTER NEONATAL REPAIR OR PALLIATION FOR COMPLEX CONGENITAL HEART DISEASE

Charpie, JTCVS 2000

L'augmentation de la lactatémie de
> 0.75 mmol/L est associée avec un mauvais
pronostic



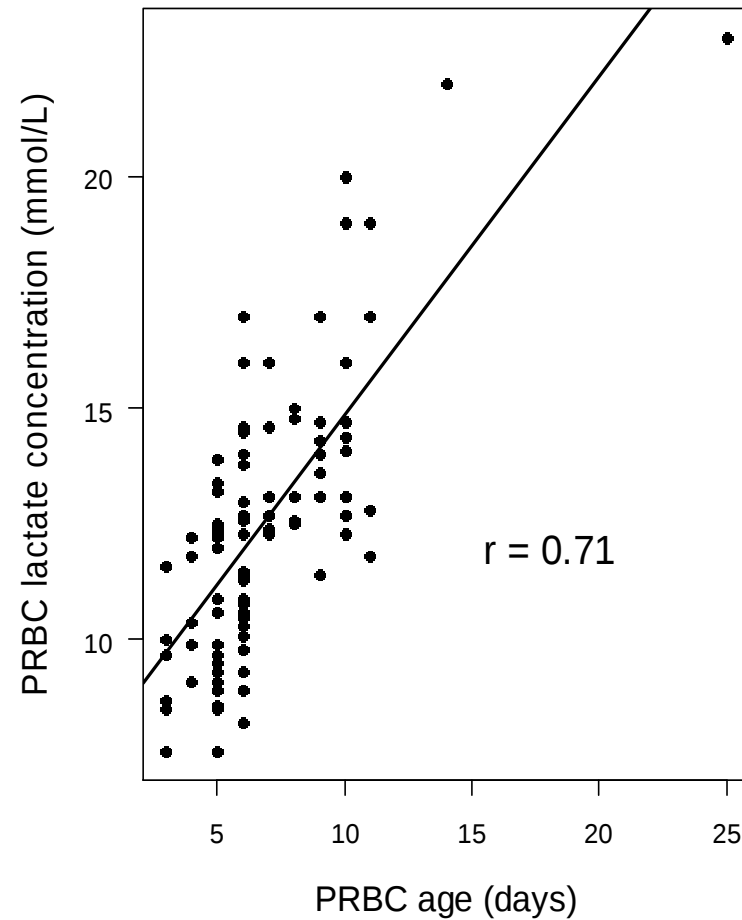
Limitations:

- 25% produit par les CGR
- Hyperglycémie
- Catécholamines

Priming : 200-230 mL

Volémie estimée : 270 – 300 mL

CGR reçu : 1-2 unités



Necker-Enfants Malades

4. Pression de perfusion / autorégulation des circulations cérébrale, rénale

Duration and magnitude of blood pressure below cerebral autoregulation threshold during cardiopulmonary bypass is associated with major morbidity and operative mortality

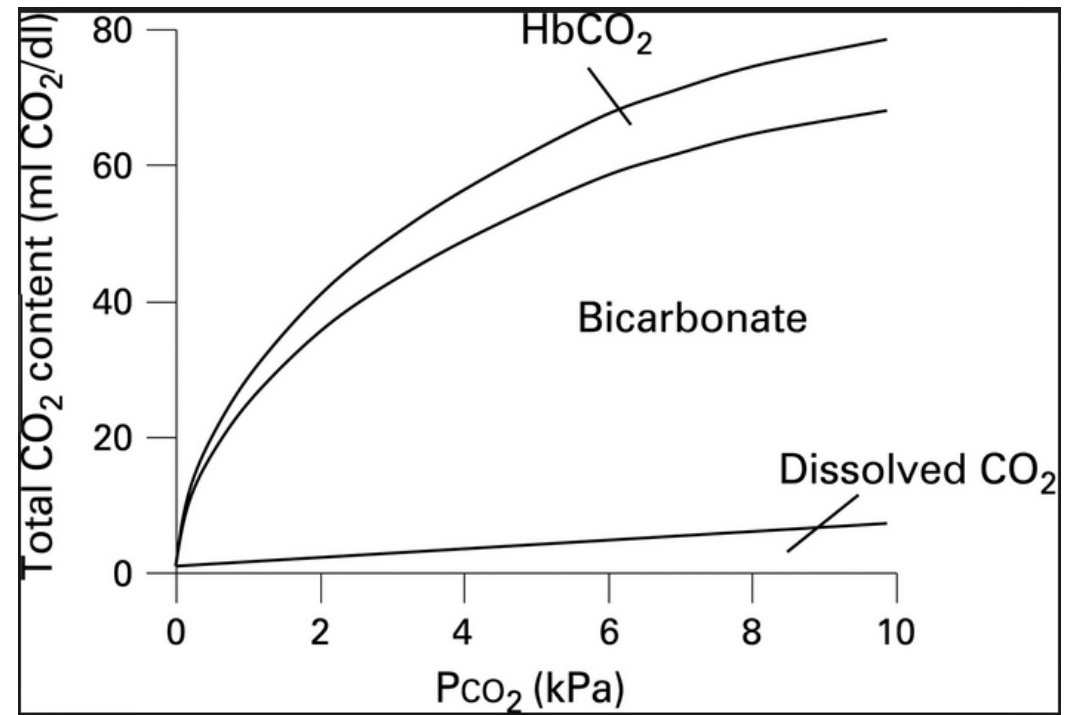
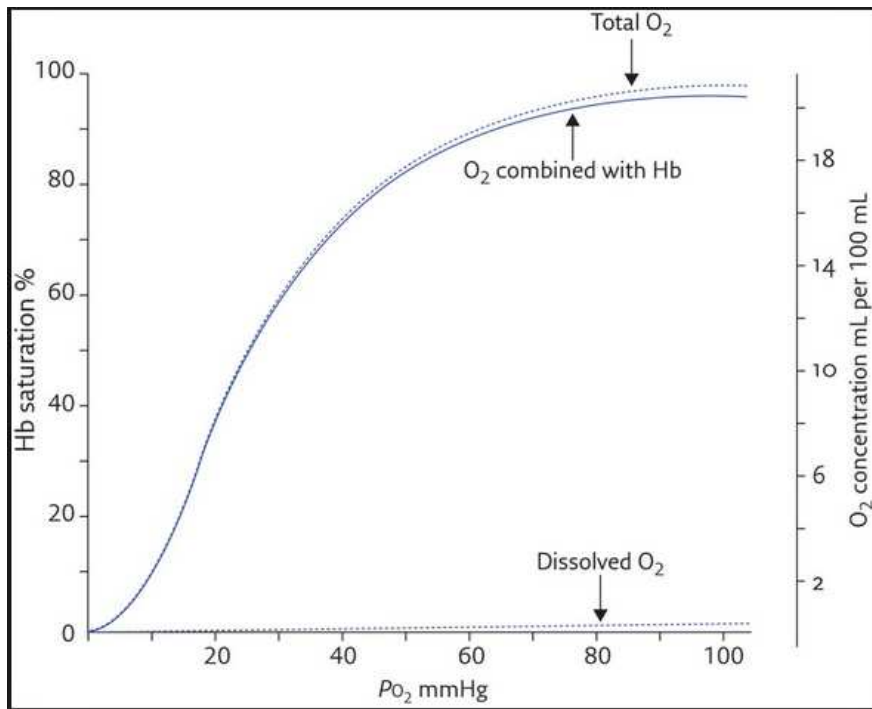
Masahiro Ono, MD, PhD,^a Kenneth Brady, MD,^b R. Blaine Easley, MD,^b Charles Brown, MD,^c Michael Kraut, MD, PhD,^d Rebecca F. Gottesman, MD, PhD,^e and Charles W. Hogue, Jr, MD^e

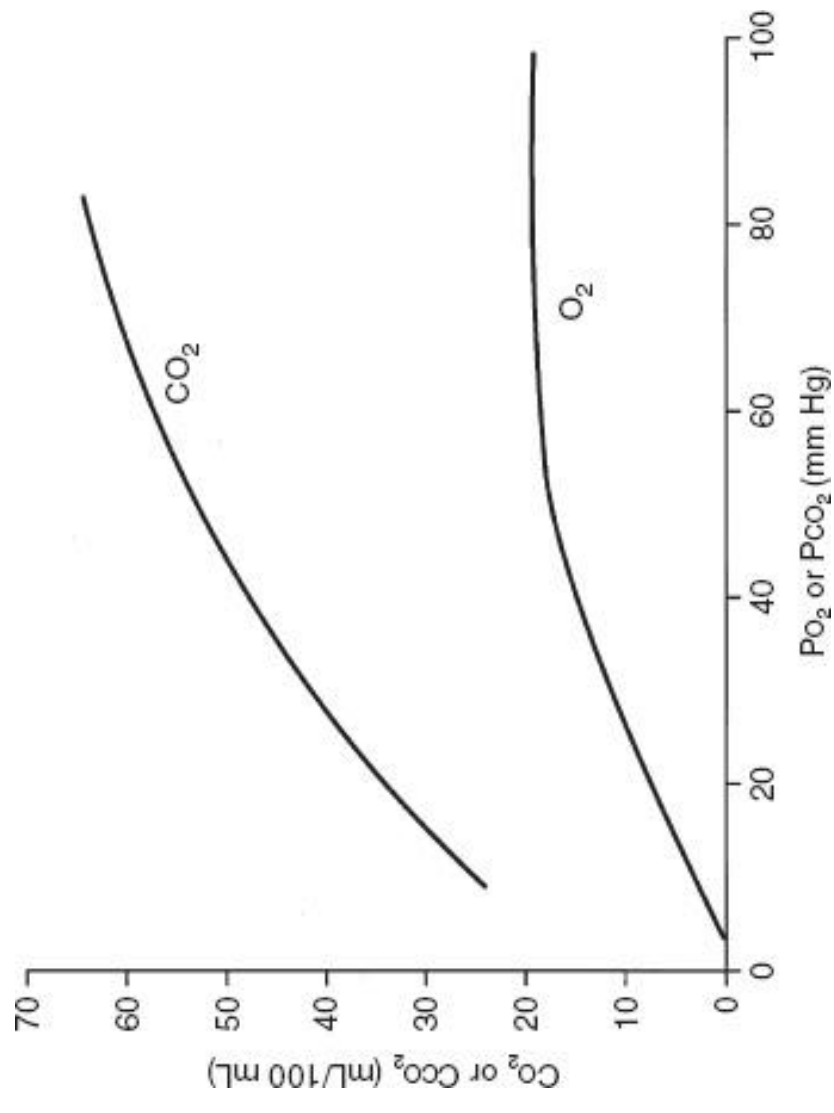
JTCVS 2014

Pression idéale de perfusion ?

Monitoring des circulations régionales

5. La production de CO₂





$VCO_2 = \text{production } CO_2 = Q \times (Cv-a \text{ } CO_2)$

$VO_2 = \text{consommation } O_2 = Q \times (Ca-v \text{ } O_2)$

Quotient respiratoire = $VCO_2/VO_2 = (Cv-a \text{ } CO_2)/(Ca-v \text{ } O_2)$
 $\sim (PvCO_2 - PaCO_2)/(Ca-v \text{ } O_2)$
 $\sim \Delta pCO_2 / (Ca-v \text{ } O_2)$

$CO_2 + H_2O \rightleftharpoons H_2CO_3 \rightleftharpoons H^+ + HCO_3^-$

Anaérobiose = augmentation rapport $\Delta pCO_2 / Ca-v \text{ } O_2$

6. IC et DO₂

De Somer, Crit Care 2011: O₂-derived parameters [...], « time for a goal-directed perfusion management »

Développement du logiciel CONNECT par Livanova pour le monitoring continu de la DO₂

DO₂ critique ?:

Adulte:

*Liebermann, Anesthesiology 2000, 8 volontaires conscients : 7.3 mL kg⁻¹ min⁻¹
≈ **300** mL min⁻¹ m⁻²*

*Ranucci ATS 2005, sous anesthésie en CEC : **260 - 270** mL min⁻¹ m⁻²*

Enfant :

Abraham JTCVS 2010, CIA, moyenne 4.5 ans, débit CEC « critique » = 100 ml kg⁻¹min⁻¹

Hb 9g/dL, BSA 0.76 m² → DO₂ critique **330** mL min⁻¹ m⁻²

7. Le rapport DO_2/VO_2 – nécessite une validation en pédiatrie

Indicateurs de la présence du métabolisme anaérobie:

- $VCO_2 > 60 \text{ ml/min/m}^2$
- $VCO_2/VO_2 > 0.9$
- $DO_2/VCO_2 < 5$

Ranucci, ATS 2006

Limitations :

- *mesure débit cardiaque*
- *DO_2 critique en pédiatrie*
- *relation température – DO_2 critique*
(relation exponentielle $CMRO_2$ et température, mais qu'en est-il du corps entier...?)

8. Circulations régionales / La NIRS

- Monitoring des circulations régionales ++
- Positionnement de la canule aortique ++
- (Voir le cours de Bordeaux à venir ...)

V. CEC et inflammation

Lésions d'ischémie-reperfusion

Activation de la coagulation
et du complément

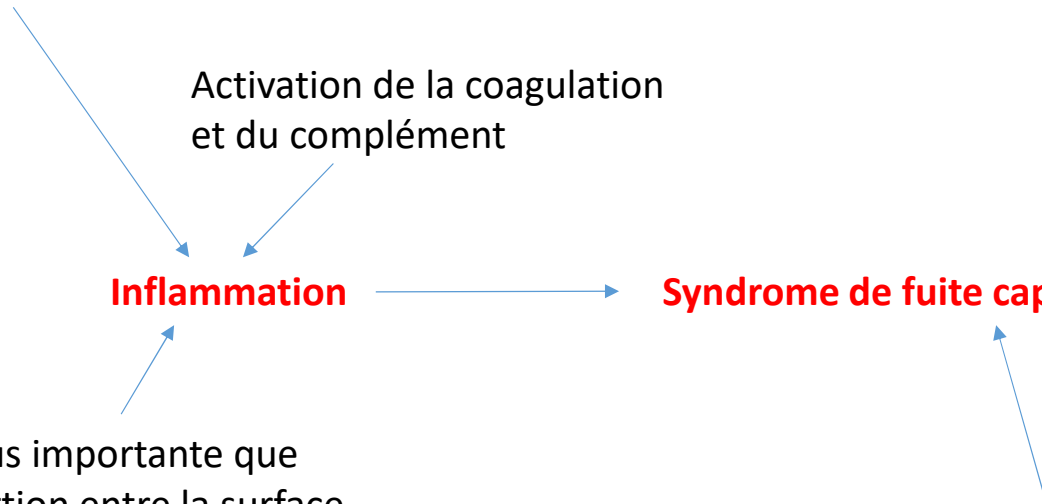
Inflammation

D'autant plus importante que
la disproportion entre la surface
du circuit et celle du patient croît

Syndrome de fuite capillaire

Absence de pulsatilité du flux de CEC

Koning, JCVA 2014



Traitements anti-inflammatoires : les corticoïdes

Méthylprédnisolone 30 mg/kg avant CEC et 30 mg/kg durant CEC

Effets bénéfiques : diminuent le ratio IL6 / IL 10,
augmentent la concentration plasmatique de nordarénaline (inhibition de la COMT)

Effets indésirables : hyperglycémie, recours à l'insuline
risque infectieux accru
durée de séjour plus longue

Pasquali, Circulation 2010 : aucun bénéfice postop

Traitements anti-inflammatoires : UF, MUF

Ultrafiltration conventionnelle	Ultrafiltration modifiée
Pendant la CEC, à tout moment ?, surtout après déclampage Oxygénateur -> hémofiltre -> réservoir Volémie constante, compensation du volume filtré par transfusion à partir du réservoir	A la fin de la CEC, avant l'ablation des canules, pendant 15-20 min Canule aortique -> hémofiltre -> oxygénateur -> canule veineuse Volémie constante, compensation par le sang du réservoir

Effets bénéfiques :

- Hémococoncentration isovolumique
- Diminution des médiateurs inflammatoires (IL-8, complément)
- Diminution de l'eau extravasculaire pulmonaire et de la RVP

Désavantages:

- MUF: délai de la protamination , impatience du chirurgien

Sevrage de la CEC
= début de la réanimation postopératoire

Décision collégiale entre le chirurgien, l'anesthésiste et le perfusionniste

Après retour à l'homéostasie thermique ($> 36^{\circ}\text{C}$), ionique, acido-basique

Après reprise d'une ventilation efficace

Hématocrite adapté à l'âge et à la pathologie

Inotropes en route

Produits de remplissage disponibles

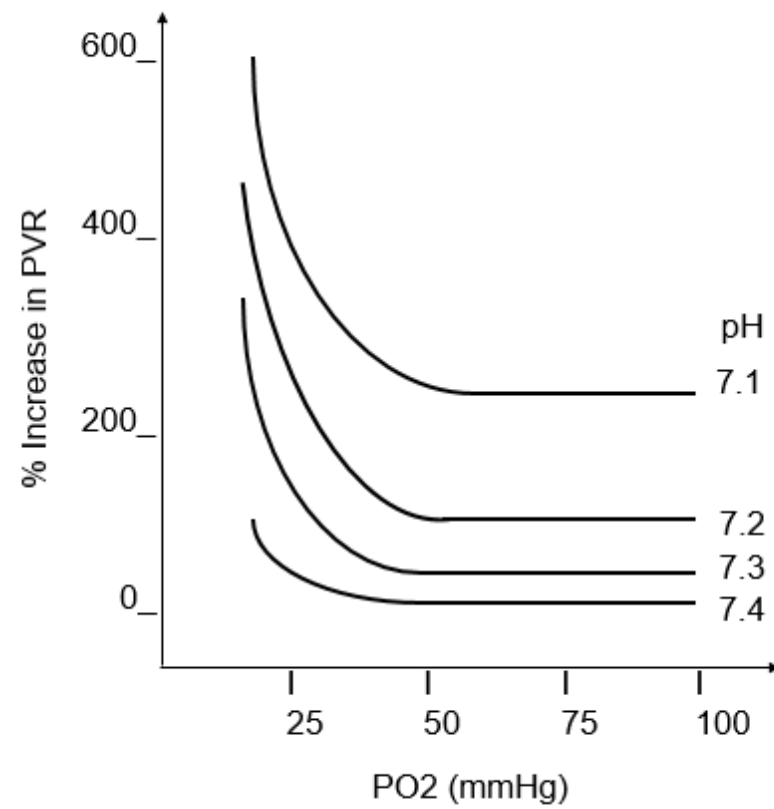
Homéostasie thermique

- Eviter l'effet de l'hypothermie sur l'hémostase
- Eviter l'effet de l'hypothermie sur les résistances vasculaires périphériques – surtout chez les nouveau-nés qui ont un tonus sympathique élevé (bas débit à RVS élevées)
- Le frisson postopératoire augmente la VO₂
- La fièvre postopératoire augmente la VO₂ aussi ... (11% pour chaque °C)

Homéostasie ionique

- Éviter l'hypocalcémie, surtout chez le nouveau-né, dont le myocarde présente un réticulum sarcoplasmique immature
- Risque d'hypocalcémie due au citrate contenu dans les produits transfusés
- L'augmentation excessive du Ca intracellulaire aggrave les lésions d'ischémie-reperfusion
Verma, Circulation 2002
- Éviter l'hyperkaliémie (les solutions de cardioplégie contiennent environ 13mmol K/L, les concentrés globulaires idem ...)
- Éviter l'hypokaliémie (troubles du rythme)
- Éviter l'hypomagnésémie (troubles du rythme, les solutions de cardioplégie contiennent un peu ..)

Homéostasie acido-basique et résistances vasculaires pulmonaires



Rudolph, J Clin Invest 1966

L'hématocrite idéal pour terminer la CEC chez le nouveau-né

- Respect de l'hématocrite physiologique du nouveau-né : 42 – 45%
- Ventricules peu compliants, difficultés pour réaliser une transfusion importante après arrêt de la CEC
- Anticiper une hémodilution obligatoire au moment de la transfusion plaquettaire (50 ml ...)

Déroulement du sevrage

Clampage partiel du retour veineux, diminution du débit artériel, et **ajustement du niveau de remplissage** (POG ou « à l'œil ») – éviter les lésions d'ischémie sous-endocardique

Appréciation de la fonction myocardique (ETO, pressions de remplissage, « à l'œil »)

Ajustement de la fréquence cardiaque selon âge et pathologie

Ablation canules veineuses

Neutralisation de l'héparine

Ablation canule artérielle

GDS 5min plus tard

Les 3 principales raisons du sevrage difficile

1. **Lésion résiduelle** (ETO, saturations étagées si suspicion de shunt résiduel)
2. HTAP
3. Défaillance myocardique

Les 3 principales raisons du sevrage difficile

1. Lésion résiduelle
- 2. HTAP**
3. Défaillance myocardique

Prévenir / traiter une HTAP post-CEC

1. Maintenir le volume pulmonaire au niveau de la CRF
2. Maintenir le pH > 7.4
3. Maintenir la paO_2 à environ 120 mmHg
4. Normocapnie $paCO_2$ 35-45 mmHg
5. Vasodilatateurs pulmonaires inhalés ou IV

Altérations pulmonaires « obligatoires » à la fin de la CEC

Lésions d'ischémie-reperfusion

Transfusion massive

Augmentation de l'eau extra-vasculaire pulmonaire (syndrome inflammatoire, capillary leak syndrome)



diminution de la compliance pulmonaire



augmentation des résistances vasculaires pulmonaires

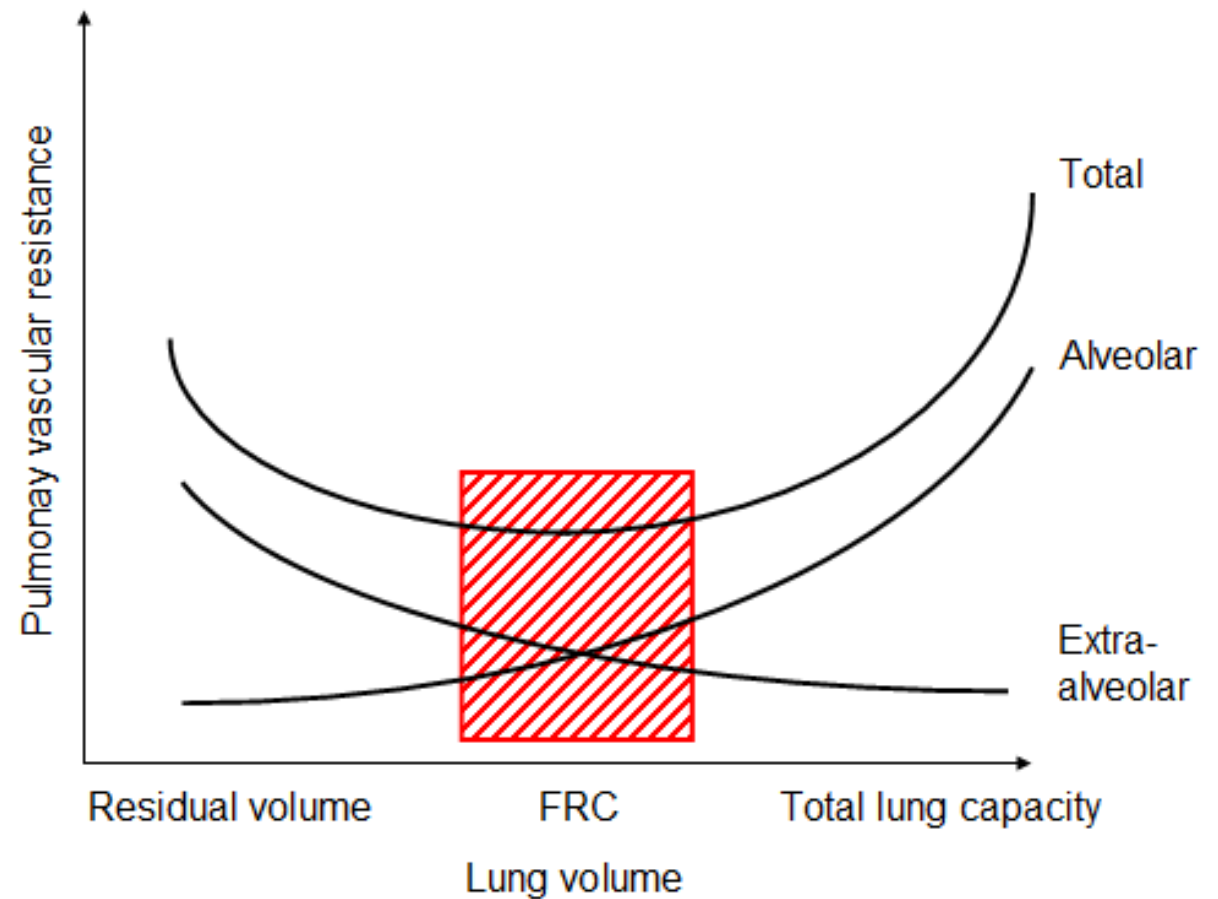


risque accru d'interactions cardio-pulmonaires à la fermeture sternale

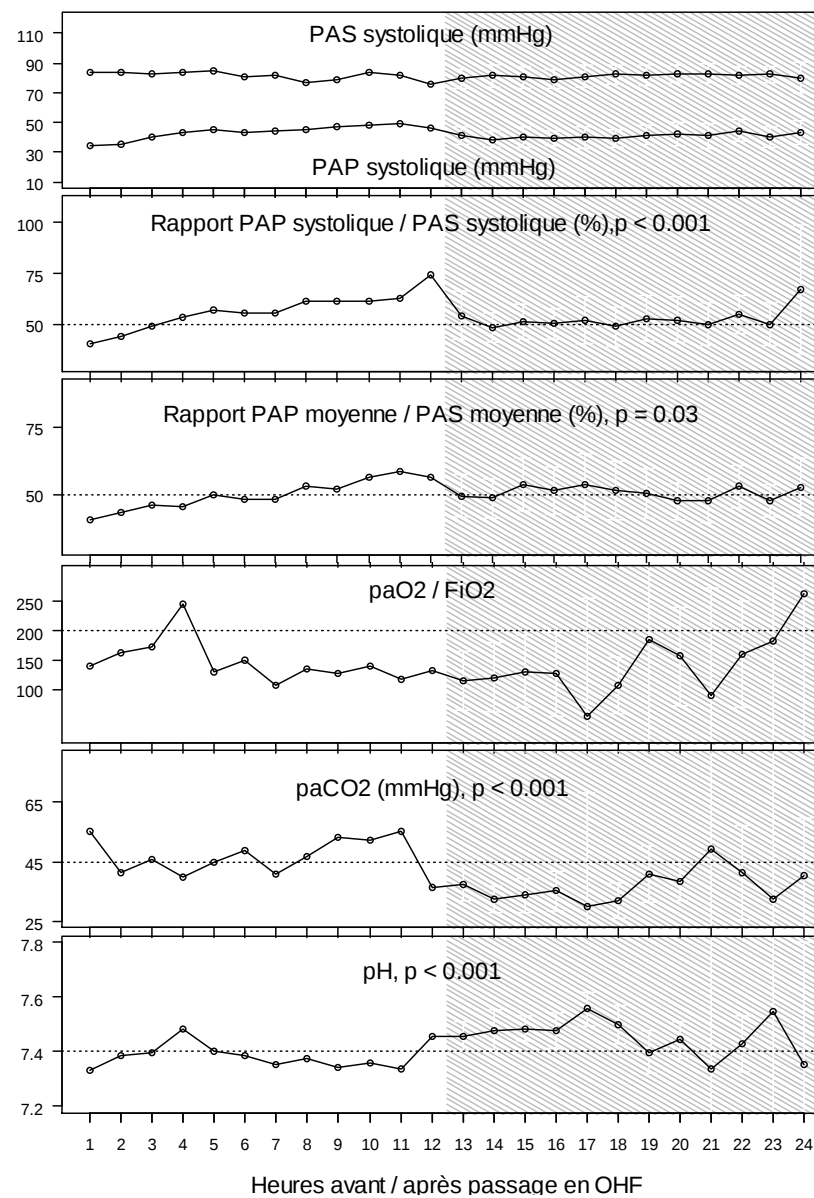
1. maintenir le volume pulmonaire au niveau de la CRF

As lung volume increases from residual volume to total lung capacity, the alveolar vessels become increasingly compressed by the distending alveoli, and their resistance increases, whereas the resistance of the extra-alveolar vessels (which become less tortuous as lung volume increases) falls. The combined effect of increasing lung volume on the pulmonary vasculature produces the typical “U shaped” curve, with its nadir at around normal functional residual capacity (FRC).

Shekerdemian, Arch Dis Child 1999

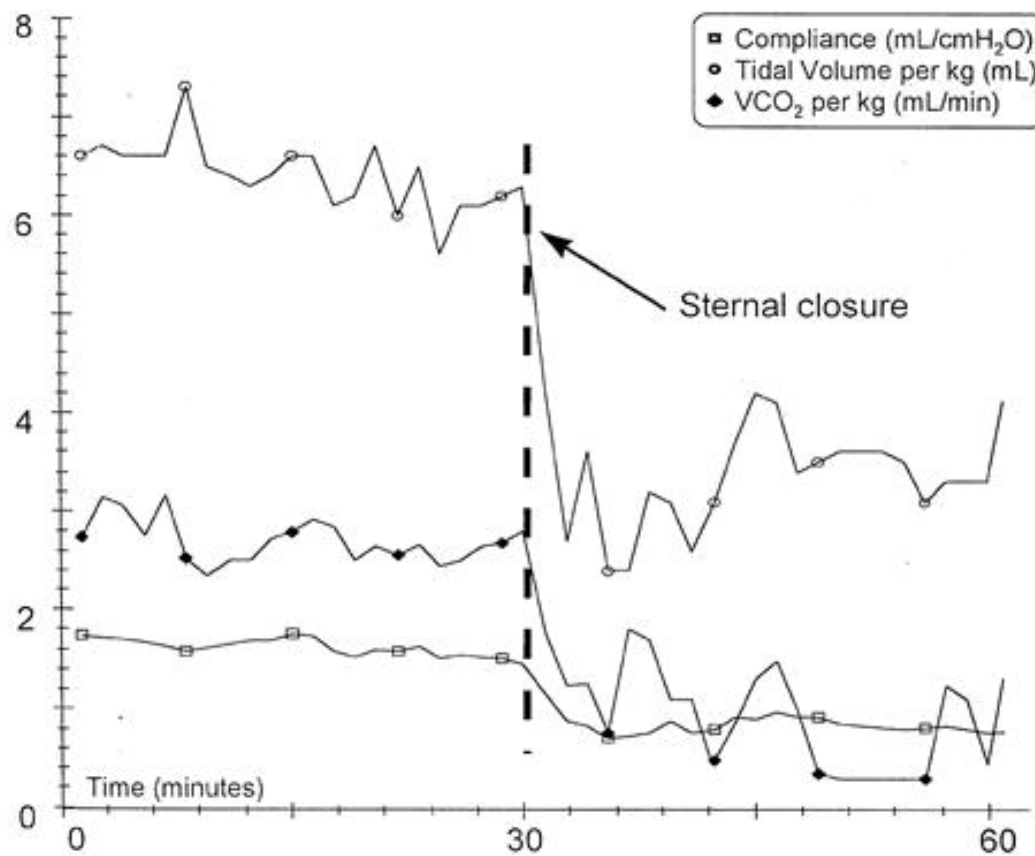


1. maintenir le volume pulmonaire
au niveau de la CRF: oscillation à
haute fréquence ?



*Expérience de Necker avec 21 nouveau-nés
ventilés en OHF en postopératoire*

A la fermeture sternale, la compliance thoracique diminue

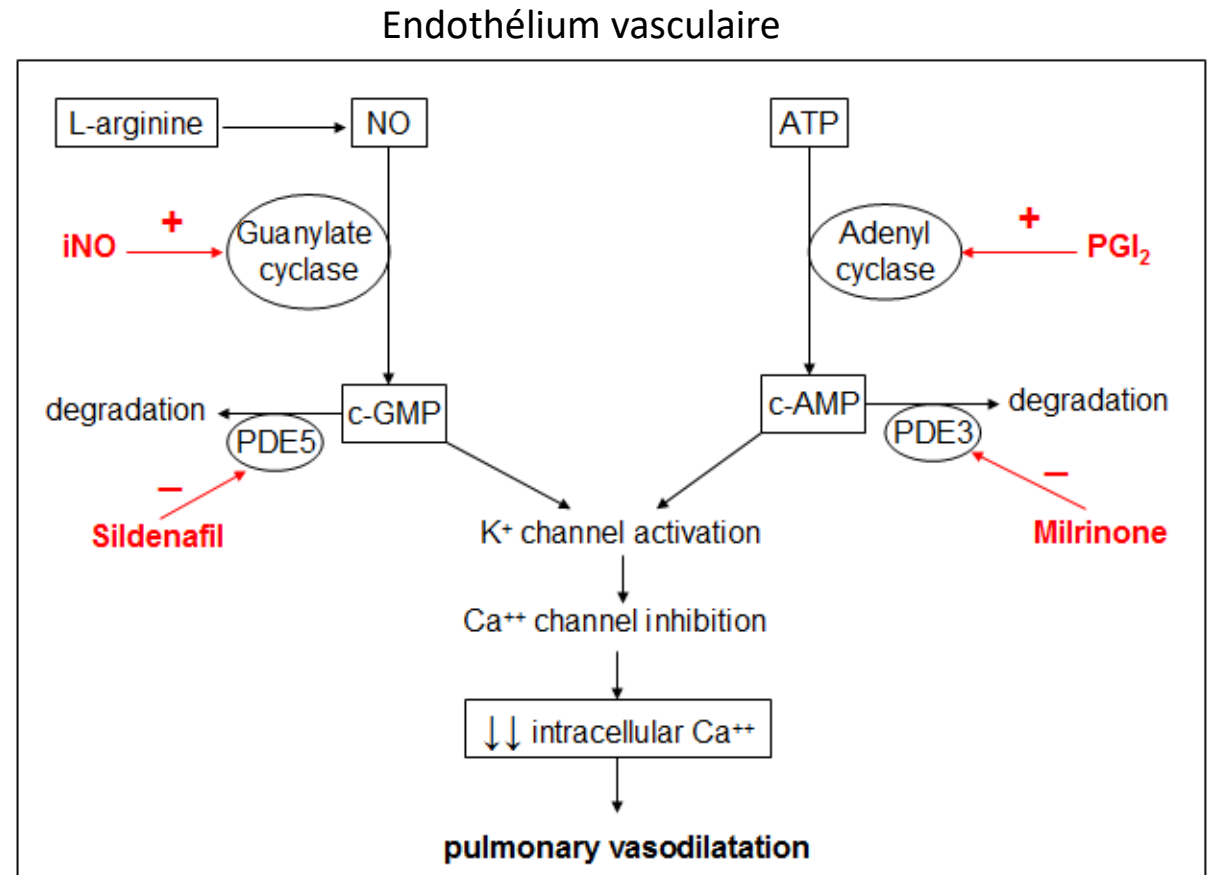


Main, CCM 2001



Les vasodilatateurs pulmonaires

- Dans l'endothélium pulmonaire PDE5 > PDE3
- NOi est un vasodilatateur pulmonaire sélectif ++
- Sildenafil : risque d'effet shunt en cas d'atélectasie
- Epoprostenol IV : effet vasodilatateur pulmonaire et systémique
- Iloprost inhalé est un vasodilatateur pulmonaire sélectif ++, bonne alternative pour le NOi



Ghofrani, JACC 2004

Les 3 principales raisons du sevrage difficile

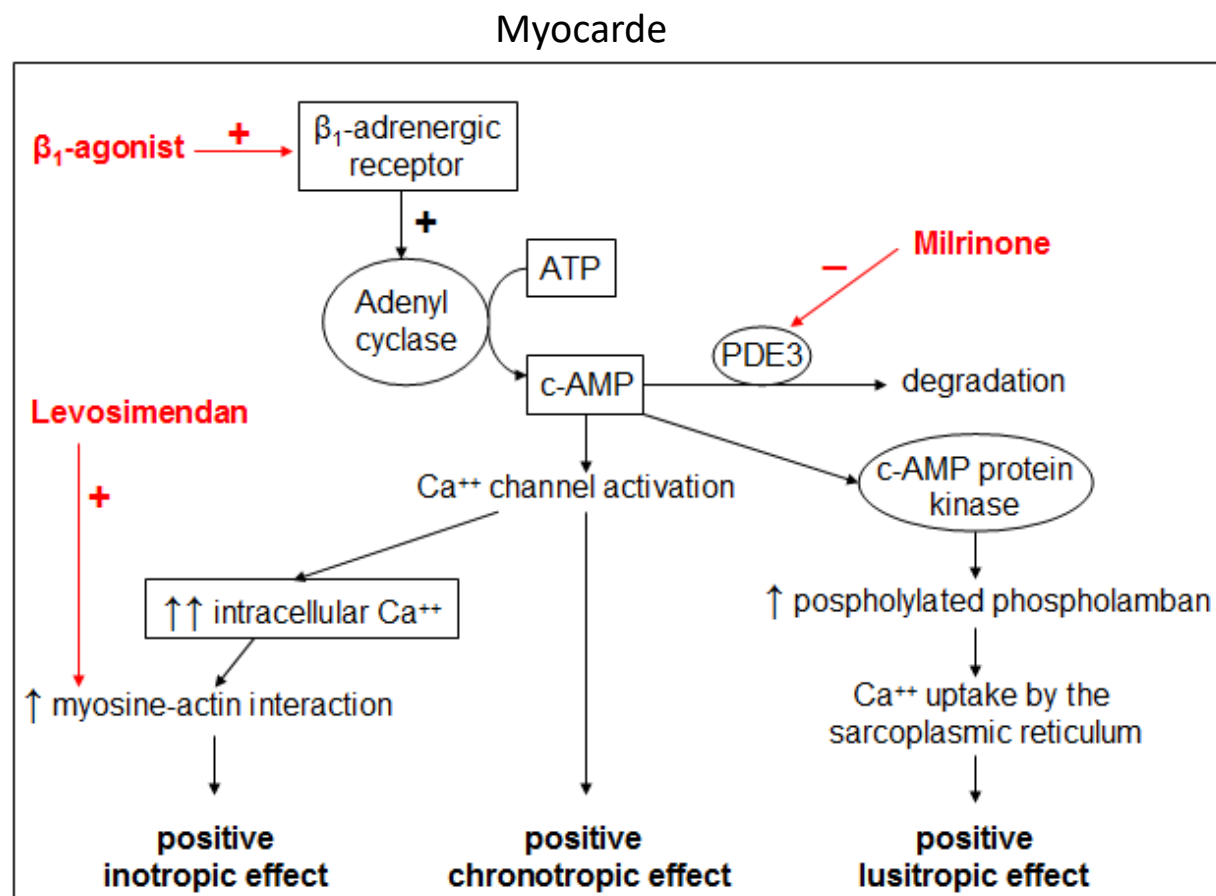
1. Lésion résiduelle
2. HTAP
3. Défaillance myocardique

Prévention / traitement d'une défaillance ventriculaire post-CEC

1. Bonne protection myocardique
2. Diminution de la postcharge (vasodilatateurs systémiques, pulmonaires, éviter les interactions cardio-pulmonaires, fermeture sternale retardée)
3. Augmentation de l'inotropisme
4. L'assistance circulatoire

Vasodilatateurs systémiques et inotropes

- Tous les agonistes β_1 augmentent le Ca intracellulaire et la VO2 myocardique
- Immaturité des récepteurs β_1 chez le nouveau-né
- Tous les les agonistes β_1 augmentent la VO2 globale du fait de leurs effets systémiques (thermogénèse dans la graisse brune, stimulation de la glycolyse)
- Le levosimendan et la milrinone n'augmentent pas la VO2 myocardique



Gillies, Crit Care 2005

Milrinone

- inotrope, augmente peu la VO2 myocardique
- vasodilatateur systémique ++
- vasodilatateur pulmonaire
- effet lusitrope

L'étude PRIMACORP

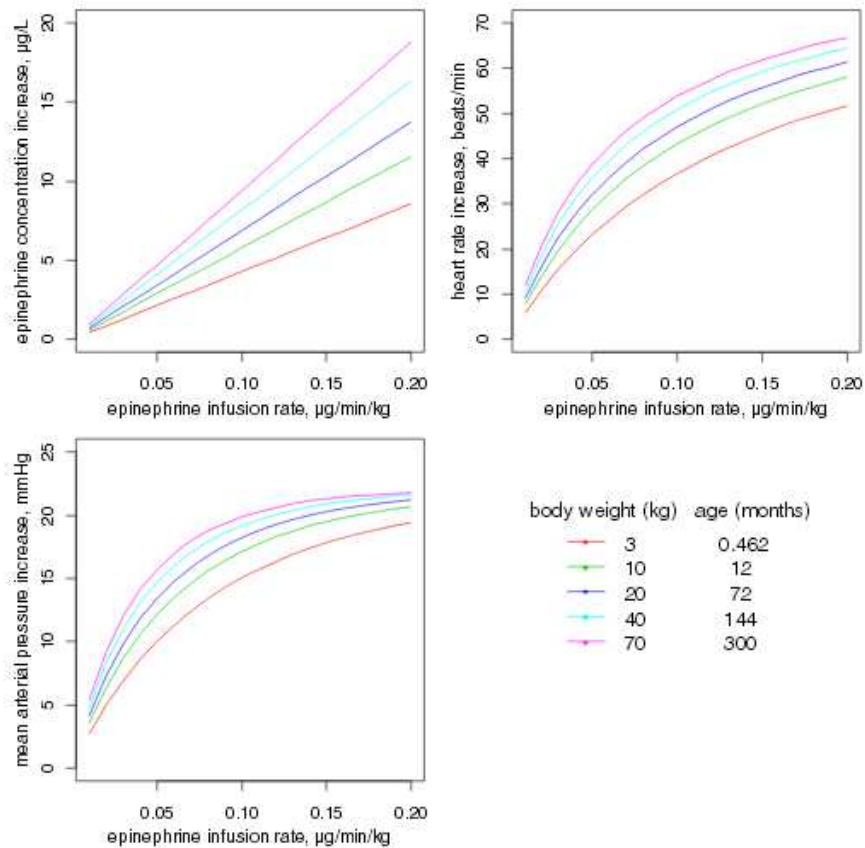
Circulation. 2003 Feb 25;107(7):996-1002.

Efficacy and safety of milrinone in preventing low cardiac output syndrome in infants and children after corrective surgery for congenital heart disease.

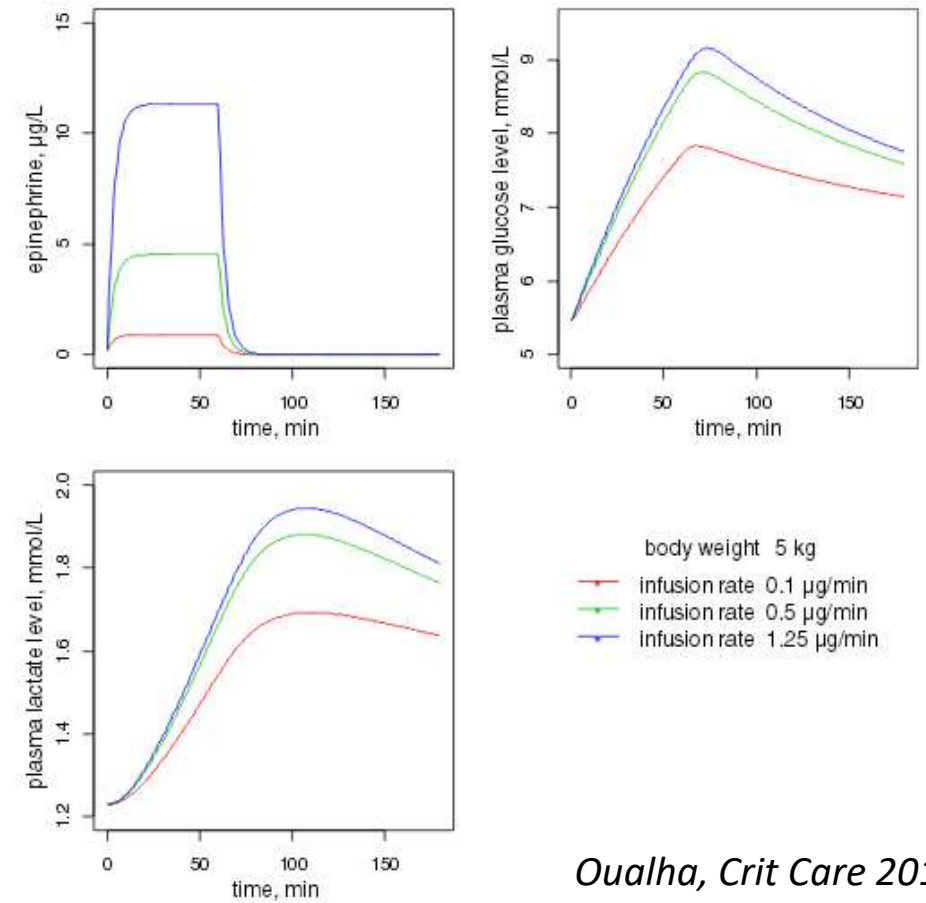
Hoffman TM¹, Wernovsky G, Atz AM, Kulik TJ, Nelson DP, Chang AC, Bailey JM, Akbary A, Kocsis JF, Kaczmarek R, Spray TL, Wessel DL.

Du fait d'un tonus sympathique accru, 25% des nouveau-nés présentent un bas débit à RVS élevées en post-CEC. L'administration de la milrinone (bolus 75µg/kg, puis 75 µg/kg/min) réduit l'incidence du bas débit à 11.7%

Adrénaline: relation dose-effet selon l'âge



Effets extra-cardiaques de doses croissantes d'adrénaline chez un nourrisson de 5 kg



Oualha, Crit Care 2014

Levosimendan

- inotrope (prolonge l'interaction actine – myosine initié par le Ca)
- vasodilatateur systémique, pulmonaire et coronaire (ouverture canaux K dans le muscle lisse)
- réduit la vasodilatation induite par l'endotéline
- effet lusitrope

REVIVE et SURVIVE: pas d'effet sur la mortalité, améliore la symptomatologie

14 études pédiatriques, 654 patients

Aucune recommandation

Essai randomisé vs placebo: 1000 patients, critère de jugement = mortalité J30

Participants: Italie, Russie, Brésil

Levosimendan in High Risk Patients Undergoing Cardiac Surgery (CHEETAH)

This study has been completed.

Sponsor:

Università Vita-Salute San Raffaele

Information provided by (Responsible Party):

Giovanni Landoni, Università Vita-Salute San Raffaele

ClinicalTrials.gov Identifier:

NCT00994825

First received: October 7, 2009

Last updated: July 21, 2016

Last verified: July 2016

[History of Changes](#)

À suivre

Guidelines pédiatriques = le désert

Indication	Step	Survey	Guidelines
		EuLoCOS-Paed ^a (2011)	Congenital heart disease ^{b17} (2000)
LCOS with elevated SVR ^a , LV dysfunction ^b , cold shock with poor LV function ^c	1	Milrinone	Dobutamine or dopamine
	2	Epinephrine	Epinephrine*
	3	Epinephrine or levosimendan	Milrinone, amrinone or nitroprusside
	4		
LCOS with low SVR ^a	1	Dopamine	
	2	Epinephrine	
	3	Norepinephrine	
	4		
LCOS with elevated PVR ^a , PHN ^b , cold shock with RV dysfunction and PHN ^c	1	Milrinone	Inhaled nitric oxide
	2	Inhaled nitric oxide	Milrinone or amrinone
	3	Prostacyclin derivatives	Prostacyclin derivatives
	4		

*EuLoCOS-Paed survey
Vogt, Arch Dis Child 2011*

36 pays Europe, 125 centres chir car

Reco de la Soc Espagnole de Cardiopédiatrie
Rev Esp Cardiol, 2000

Fermeture sternale retardée



Diminue les interactions cardio-pulmonaires en cas de :

- Défaillance biventriculaire refractaire (adrénalin $> 0.2 \mu\text{g/kg/min}$)
- Compliance pulmonaire effondrée
- Ischémie myocardique (troponine)
- Faible poids ($< 3 \text{ kg}$)
- CEC longue ($> 2 \text{ h}$)
- HTAP préopératoire

Fermeture en chambre

Antibioprophylaxie par C2G

Pas plus d'infections du site opératoire

Assistance de courte durée

- De type ECMO
- Inotropes maintenues à la dose minimale qui assure une contraction du myocarde et l'ouverture de la valve aortique
- 50 – 80% du débit théorique

En attente de récupération / de ventricule pneumatique / de transplanttaion

En conclusion

CEC néonatale =

10 techniques de CEC et de cardioplégie

3 causes principales pour expliquer des difficultés de sevrage

3 inotropes majeurs

25 raisons de laisser le thorax ouvert