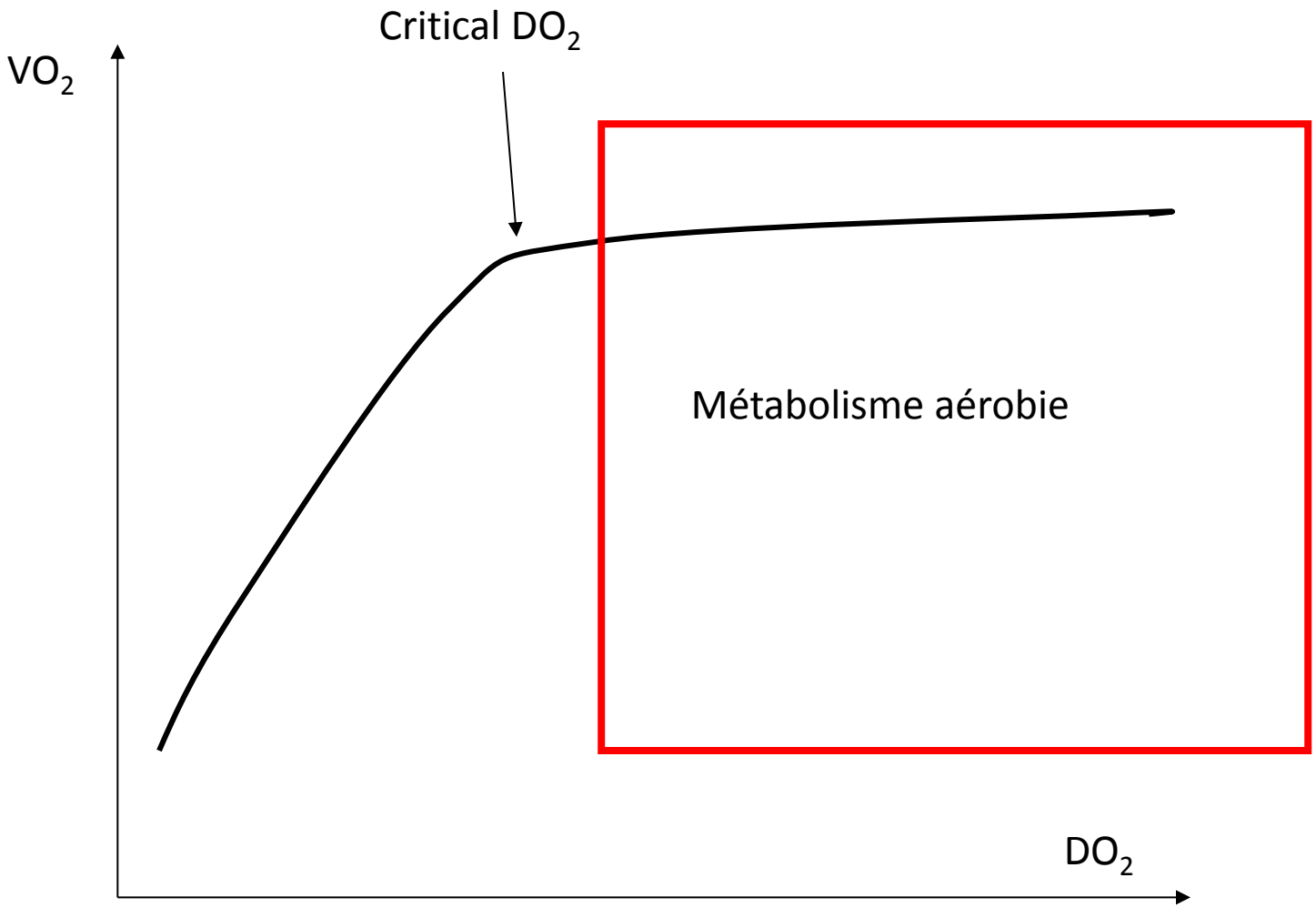
La CEC pédiatrique

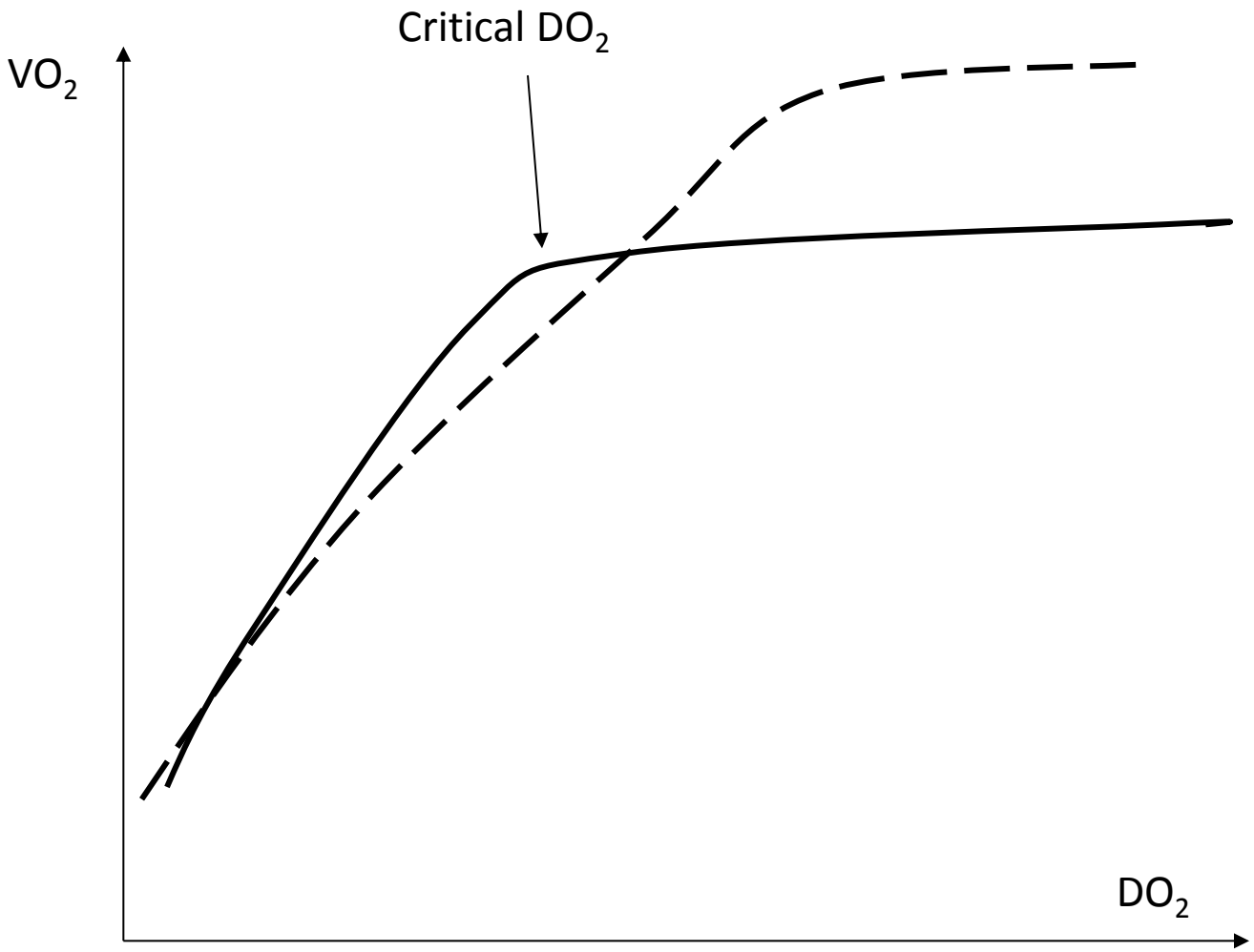
Mirela Bojan, MD. PhD.
Anesthésie et Réanimation
Pôle Cardiopathies Congénitales

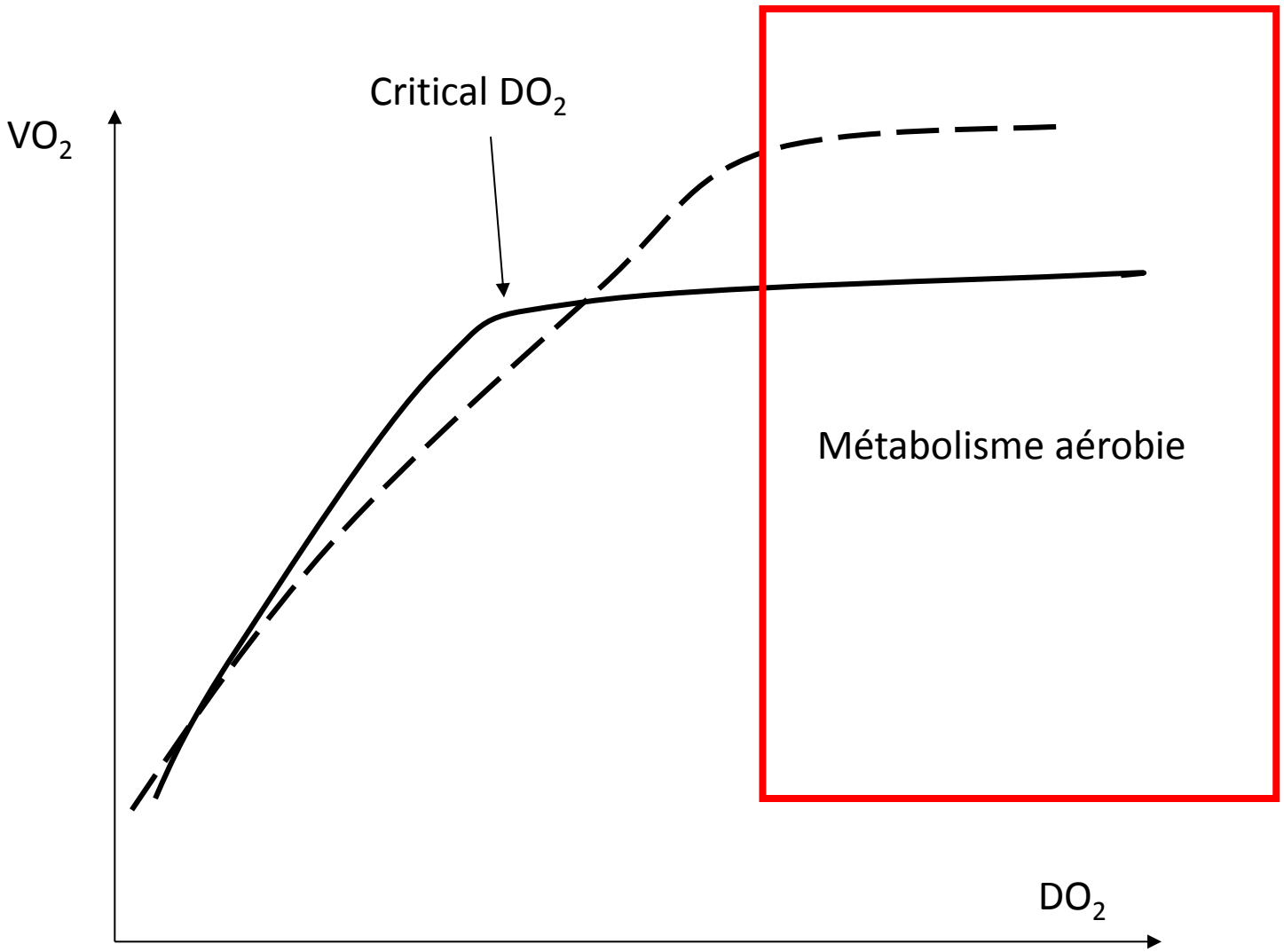
m.bojan@ccml.fr

Hôpital
Marie Lannelongue

UNIVERSITÉ
PARIS-SUD 11


Critical DO_2
VO_2
Métabolisme aérobie
DO_2


Critical DO_2
VO_2
DO_2

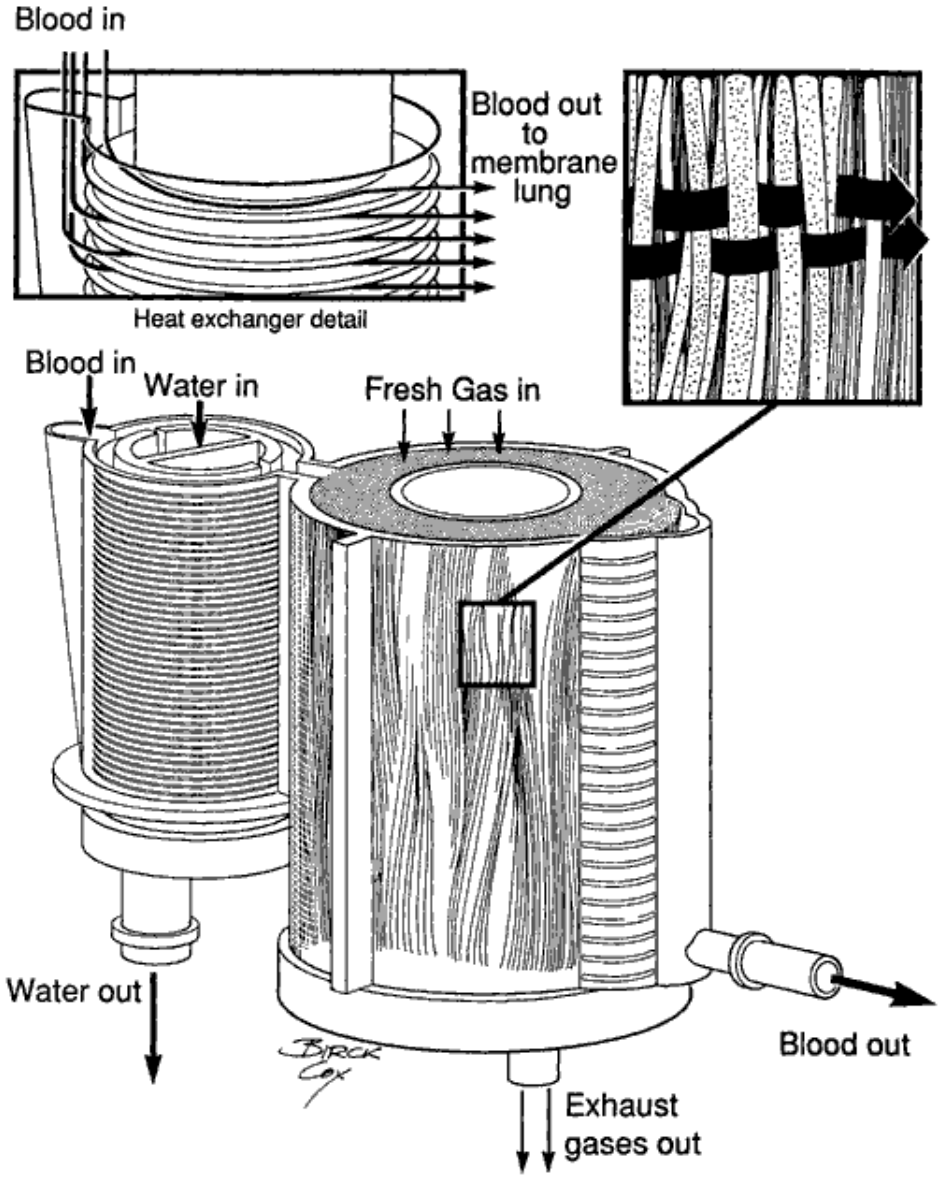

Critical DO_2
VO_2
Métabolisme aérobie
DO_2

DO_2 (mL min^{-1} m^{-2}) = 10*pump flow indexed (L min^{-1} m^{-2}) x arterial O_2 content

Arterial O_2 content (mL 100 mL^{-1}) = Haemoglobin (g dL^{-1})*1.34 (mL O_2 g^{-1} of Haemoglobin)*SaO_2 (%) + 0.003*PO_2 (mmHg)

I. Le circuit de CEC

1. Le réservoir veineux
2. Un oxygénateur ± 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. ± Un hémofiltre


Blood in
Blood out to membrane lung
Heat exchanger detail
Blood in
Water in
Fresh Gas in
Water out
Blood out
Exhaust gases out

Arrivée d'O2

MEMBRANE EN FONCTIONNEMENT

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

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

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

Name	Brand	Integrated ALF	Maximum Blood Flow	Priming Volume	Surface area	Minimum-level in the reservoir	Biocoating
Quadrox-i Neonatal	Maquet Getinge Group	yes	1.5 L min^{-1}	40 mL	0.38 m^2	15 mL	SOFTLINE (polymer coating) BIOLINE (heparin coating)
Capiox FX 0.5	Terumo	yes	1.5 L min^{-1}	43 mL	0.50 m^2	15 mL	Xcoating ™ (amphyphilic polymer)
KIDS D100	LivaNova	no	0.7 L min^{-1}	31 mL	0.22 m^2	10 mL	Phosphorylcholine coating
Affinity Pixie	Medtronic	no	2 L min^{-1}	48 mL	0.48 m^2	20 mL	CORTIVA ™ (heparin coating) BALANCE® (hydrophilic polymer)
HILITE 1000	Medos	no	1 L min^{-1}	57 mL	0.39 m^2	50 mL	Rheoparin® (heparin coating)

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 paient	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 cmH20)

Pompes de CEC

Occlusive (à galets)

Centrifuge (effet Vortex)

Occlusive	Centrifuge
Précision du débit (délivré même en présence d'une résistance au flux)	Le débit dépend de la postcharge -> nécessite un système de monitorage 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 * poids (0.9 * 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**

Volémie d'un nouveau-né = 0.85 * poids (0.9 * poids si prématuré)

Composition du priming néonatal

Variation Ht si priming cristalloïde:

Δ Ht = (Ht patient * volémie)/(volémie + volume priming)

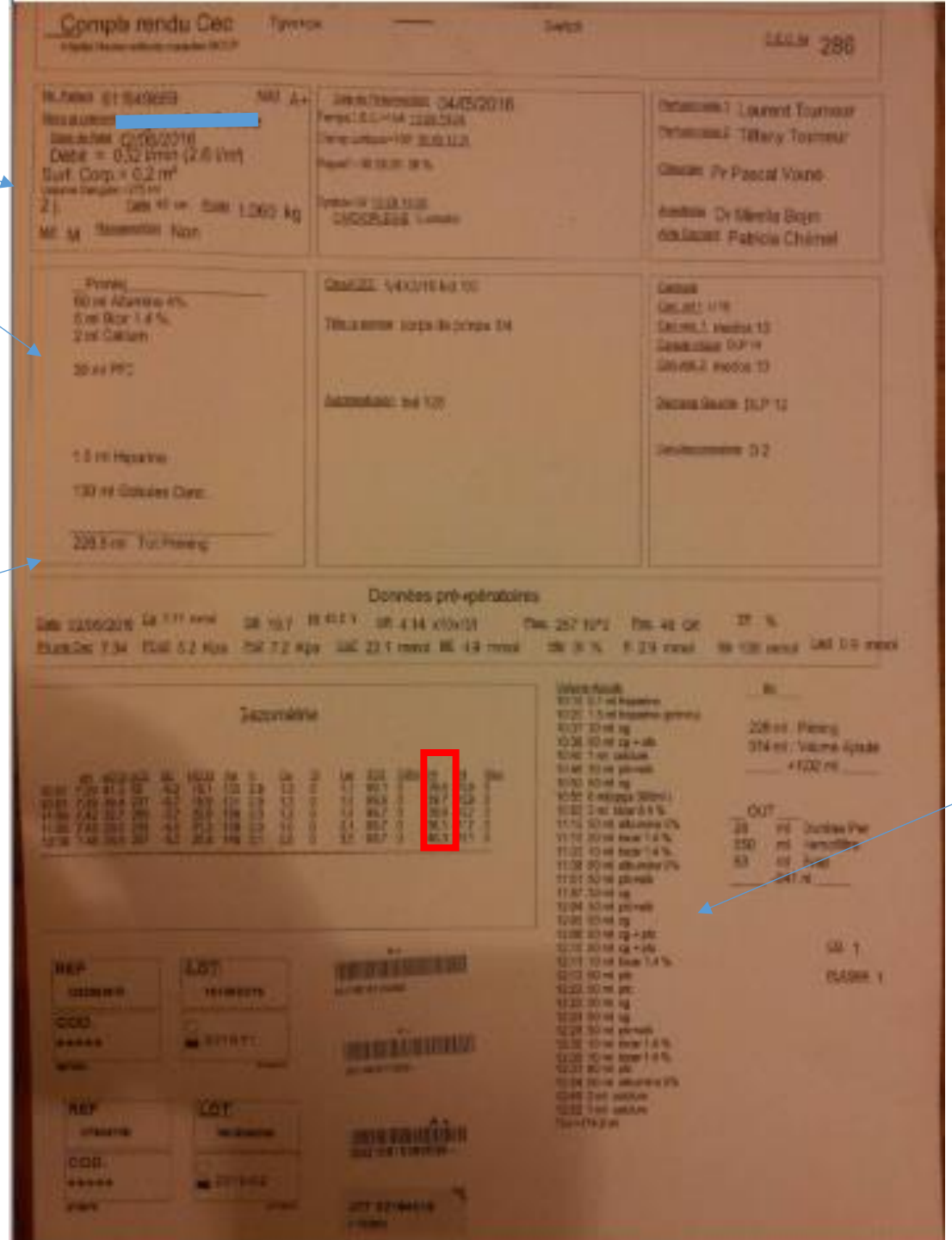
Volume CGR a inclure dans le priming :

CGR = Ht désiré *(volémie + volume priming) –
(volémie * Ht patient)/ 0.6

Volémie estimée = 275 ml

Composition priming :
Albumine 5%
Bicarbonate
Ca
PFC
CGR

Volume priming = 228 ml

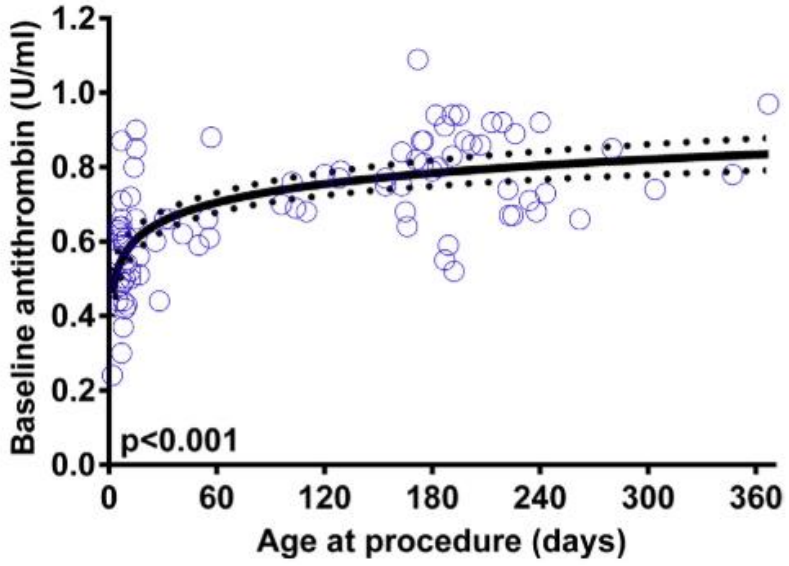


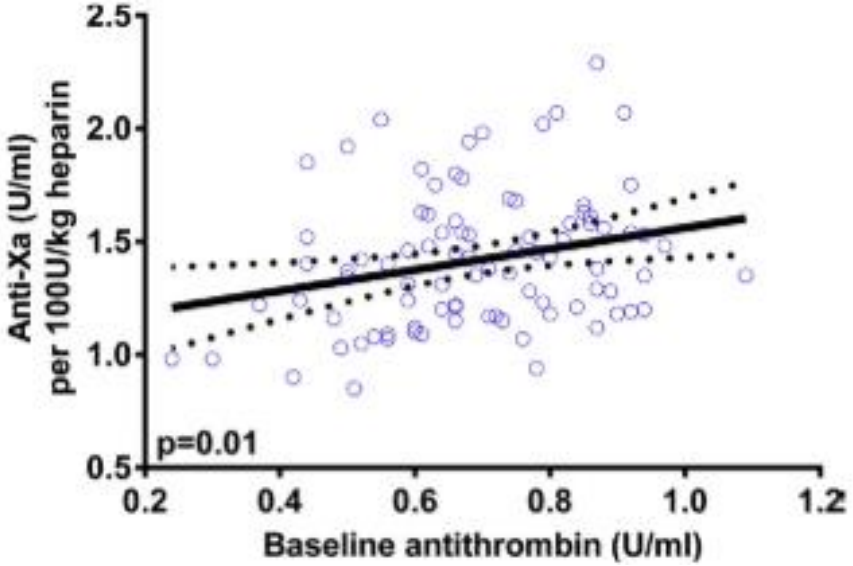
Volume ajouté = 974 ml
CGR, PFC, bicarbonate

Challenges with heparin-based anticoagulation during cardiopulmonary bypass in children: Impact of low antithrombin activity

JTCVS 2016

Cedric Manlhiot, PhD,[a] Colleen E. Gruenwald, MHSc, CCP, PhD,[a] Helen M. Holtby, MB, BS,[a] Leonardo R. Brandão, MSc, MD,[b] Anthony K. Chan, MD,[c] Glen S. Van Arsdell, MD,[a] and Brian W. McCrindle, MPH, MD[a]





Hématocrite idéal en CEC néonatale

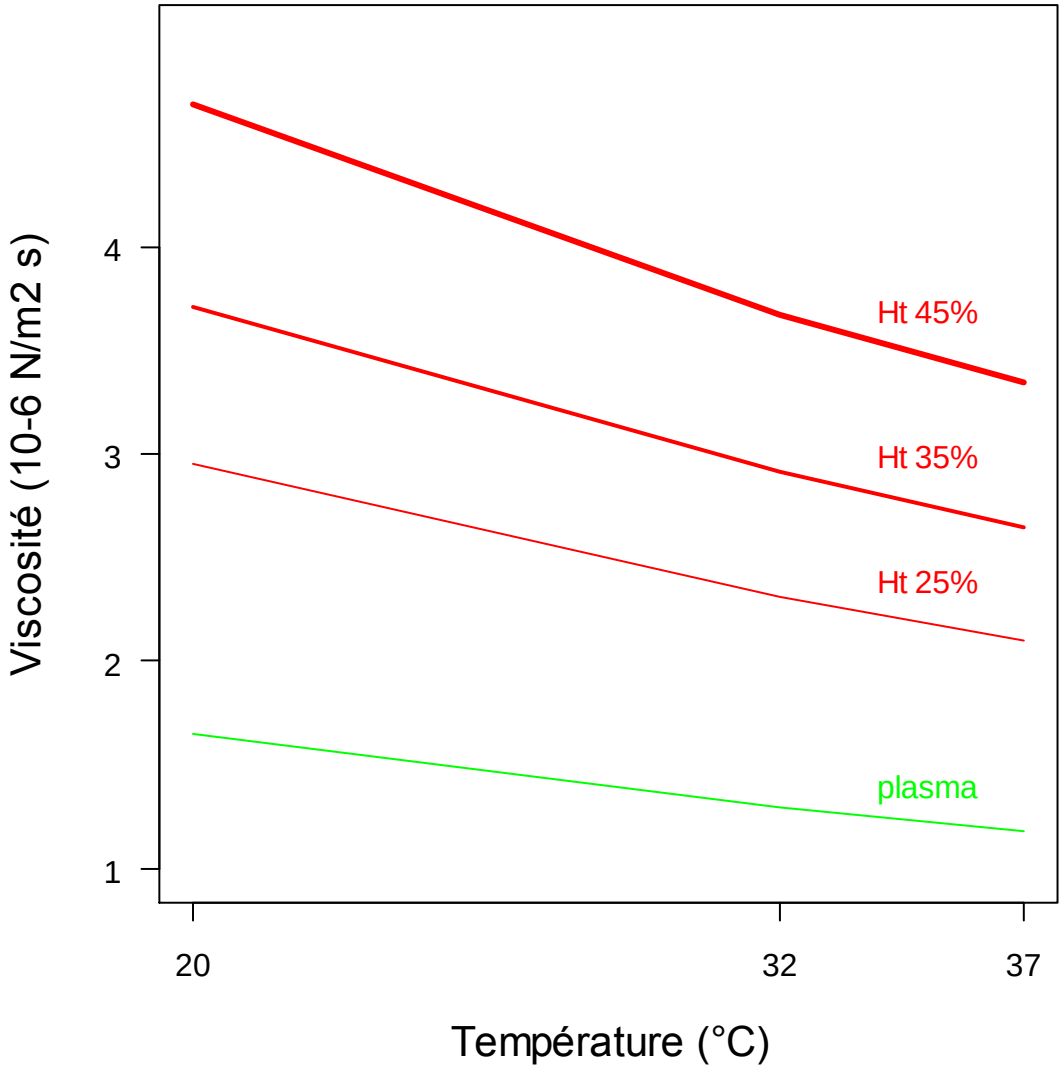
Ht, température et viscosité

Viscosité plasma

µ plasma = **exp** [-5.64 + 1800/(**T°C** + 273)]/100

Viscosité sang

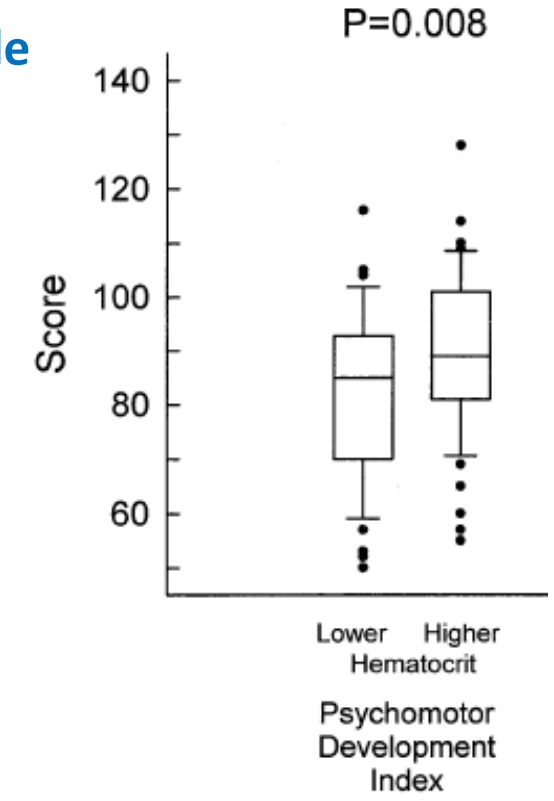
µ sang= µ plasma * **exp** (2.31*Ht)



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

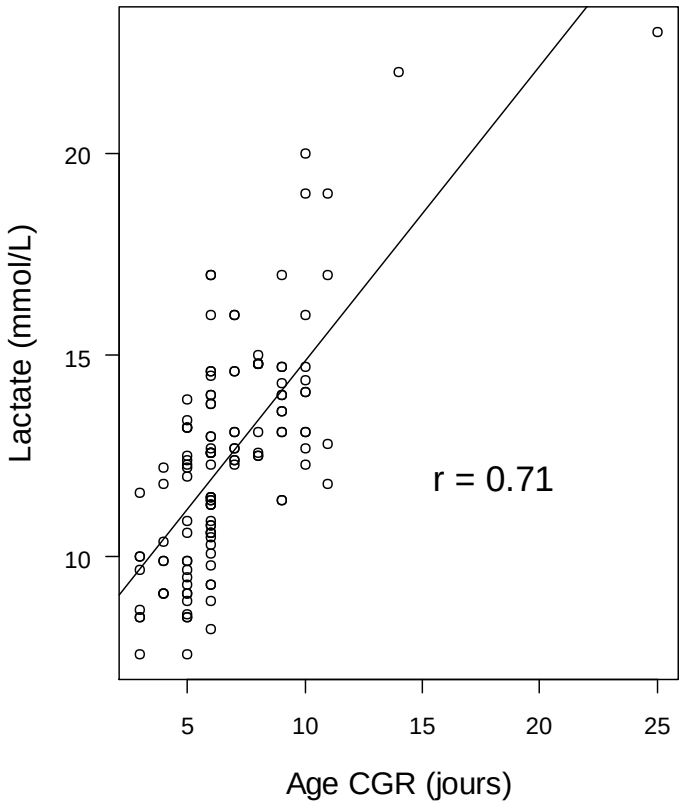
Jeffrey L. Carson, MD[1]; Gordon Guyatt, MD[2]; Nancy M. Heddle, MSc[3]; et al

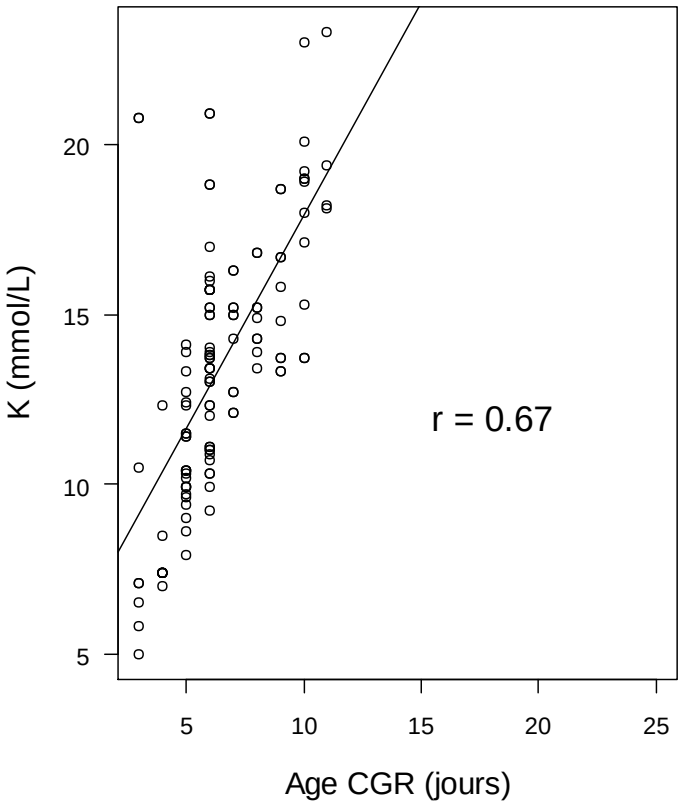
» Author Affiliations

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



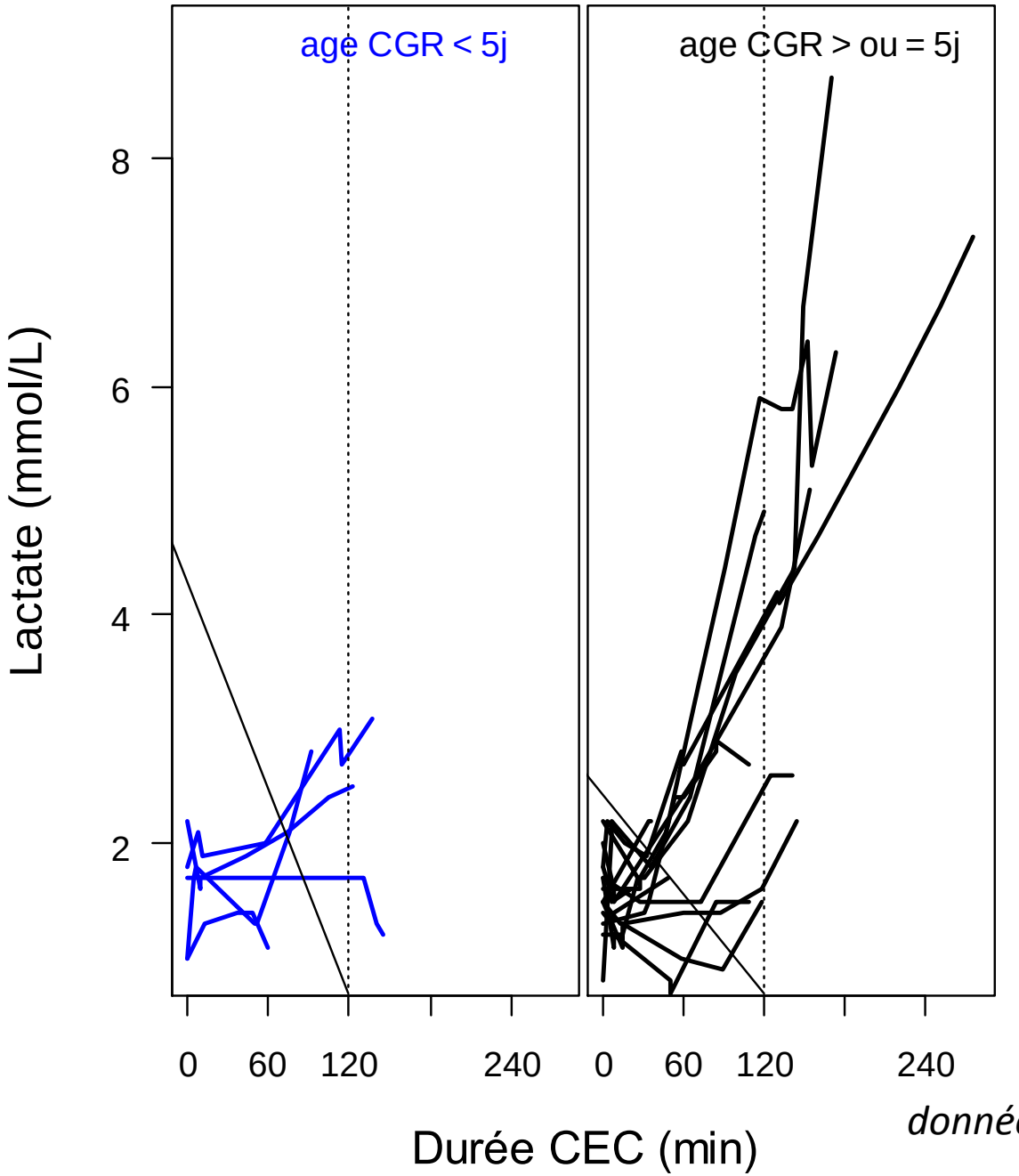


données de Necker

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

Intérêt à monitorer le potassium dans le priming

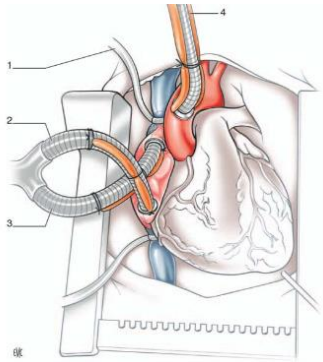
Concentration peropératoire du lactate chez 30 nouveau-nés selon l'âge des culots reçus



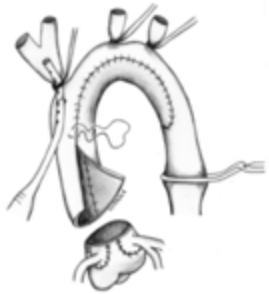
données de Necker

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

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 …)

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 WJ[1], Kern FH, Ungerleider RM, Boyd JL 3rd, Quill T, Smith LR, Baldwin B, Reves JG.

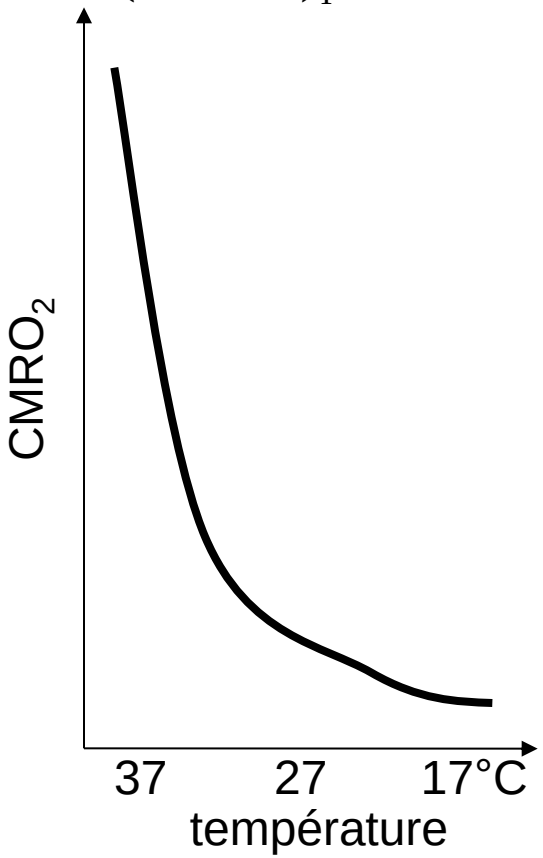
Q_{10} (index thermique) = % de variation du paramètre lorsque la température varie de 10°C

$Q_{10} = 3.65$

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

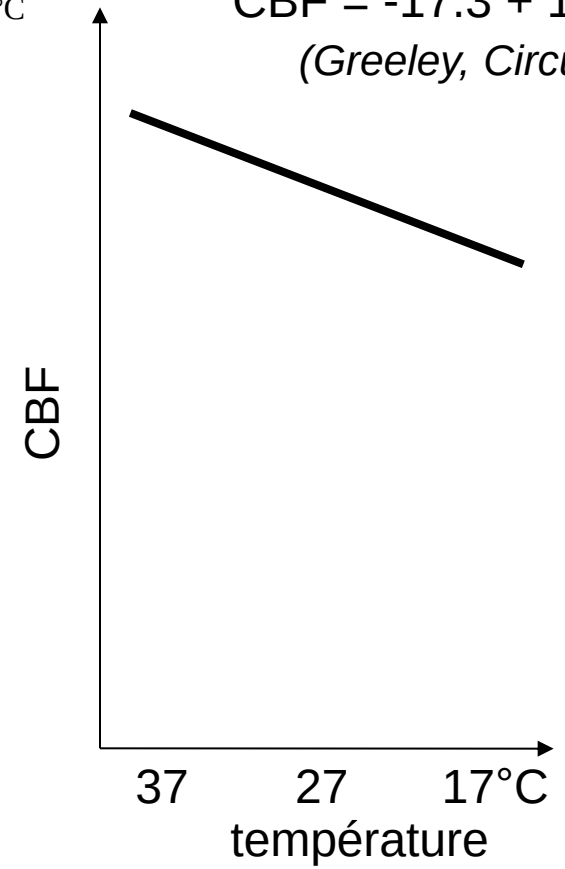
Protection cérébrale par l'hypothermie
Effet de l'hypothermie sur la $CMRO_2$ et CDO_2

$$(CMRO2)_T = e^{0.1171(T-37)} * (CMRO2)_{37°C}$$

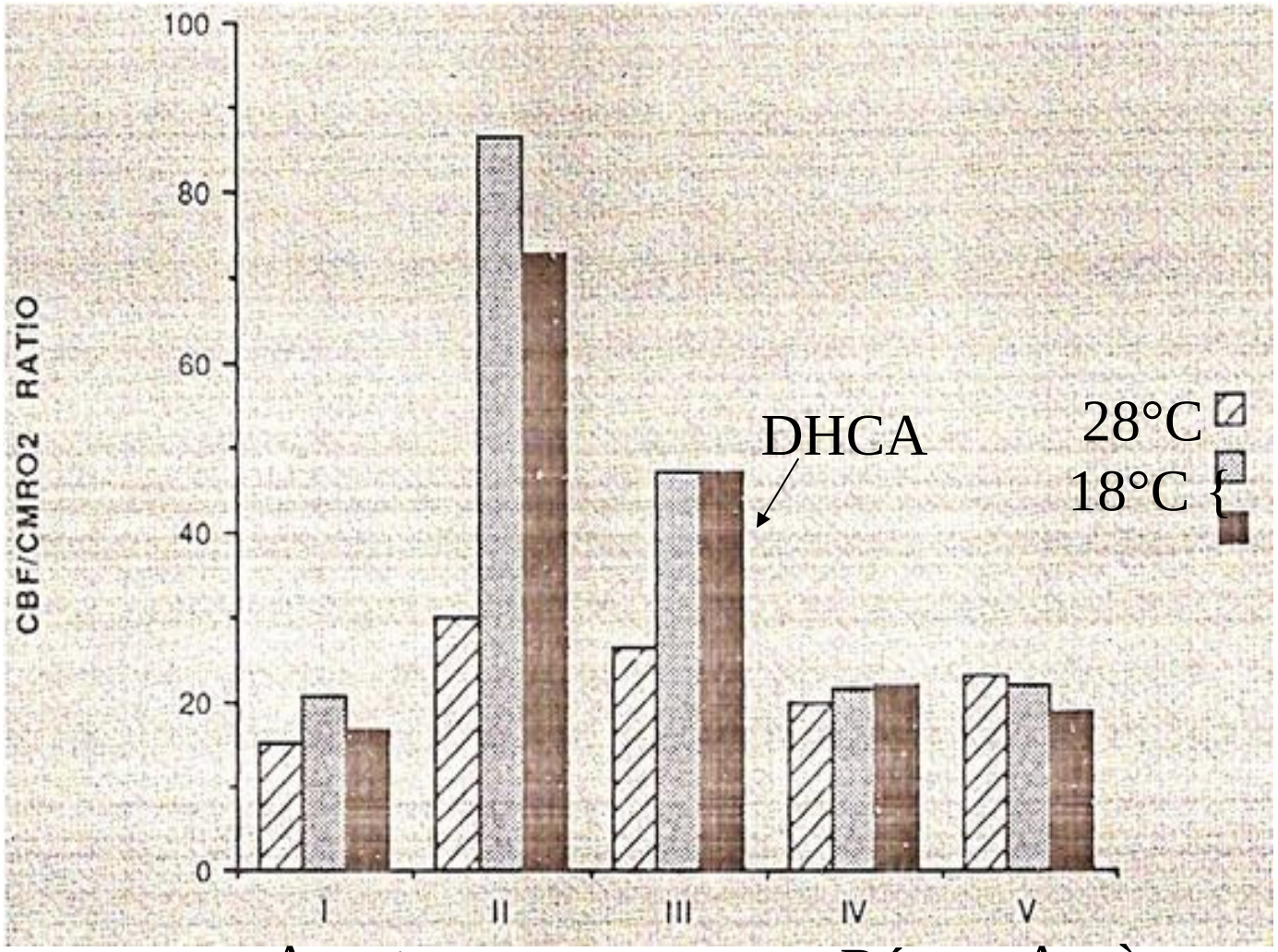


CBF = -17.3 + 1.47 x temp

(Greeley, Circulation 1989)



Effet de l'hypothermie sur la CMRO2 et CDO2



Avant CEC | CEC | Ré-chauffement | Après CEC

Température et débit CEC

27 patients âgés 3j-13ans

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

Temperature (°C)	$CMRO_2$ ($mL \cdot 100\ g^{-1} \cdot min^{-1}$)	Predicted MPFR ($mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{1}$)
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 ….

ATS 2015

The Society of Thoracic Surgeons, The Society of Cardiovascular Anesthesiologists, and The American Society of ExtraCorporeal Technology: Clinical Practice Guidelines for Cardiopulmonary Bypass—Temperature Management During Cardiopulmonary Bypass

Richard Engelman, MD, Robert A. Baker, PhD, CCP, Donald S. Likosky, PhD, Alina Grigore, MD, Timothy A. Dickinson, MS, Linda Shore-Lesserson, MD, and John W. Hammon, MD

Abstract

In order to improve our understanding of the evidence-based literature supporting temperature management during adult cardiopulmonary bypass, The Society of Thoracic Surgeons, the Society of Cardiovascular Anesthesiology and the American Society of ExtraCorporeal Technology tasked the authors to conduct a review of the peer-reviewed literature, including: 1) optimal site for temperature monitoring, 2) avoidance of hyperthermia, 3) peak cooling temperature gradient and cooling rate, and 4) peak warming temperature gradient and rewarming rate. Authors adopted the American College of Cardiology/American Heart Association method for development clinical practice guidelines, and arrived at the following recommendations:

For related article, see page 385

Class I Recommendations

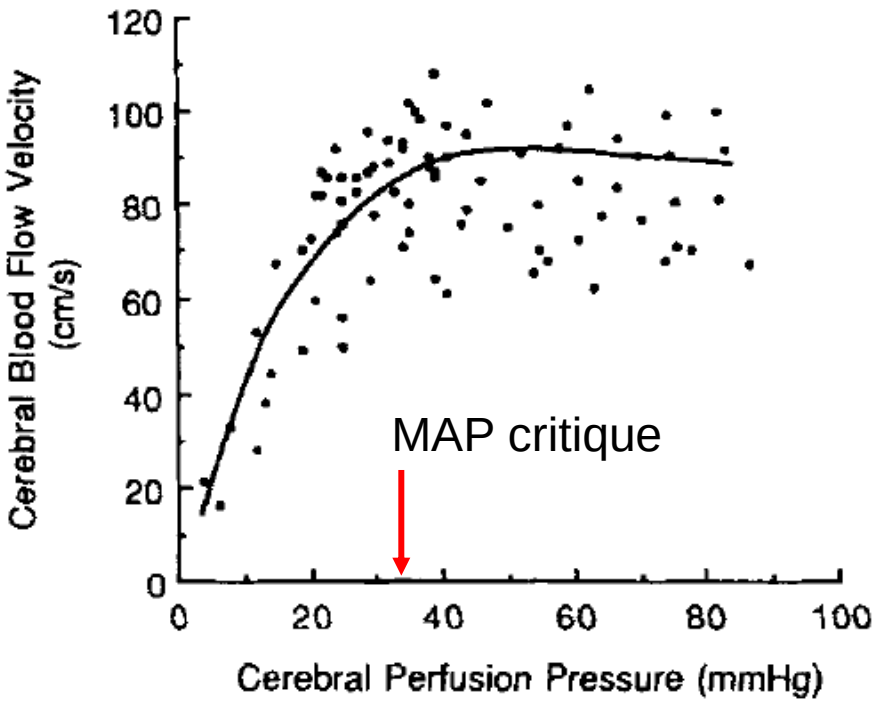
a) The oxygenator arterial outlet blood temperature is recommended to be utilized as a surrogate for cerebral temperature measurement during CPB. (Class I, Level C)
b) To monitor cerebral perfusate temperature during warming, it should be assumed that the oxygenator arterial outlet blood temperature under-estimates cerebral perfusate temperature. (Class I, Level C)
c) Surgical teams should limit arterial outlet blood temperature to <37°C to avoid cerebral hyperthermia. (Class 1, Level C)
d) Temperature gradients between the arterial outlet and venous inflow on the oxygenator during CPB cooling should not exceed 10°C to avoid generation of gaseous emboli. (Class 1, Level C)
e) Temperature gradients between the arterial outlet and venous inflow on the oxygenator during CPB rewarming should not exceed 10°C to avoid outgassing when blood is returned to the patient. (Class 1, Level C)

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
- ↑ 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

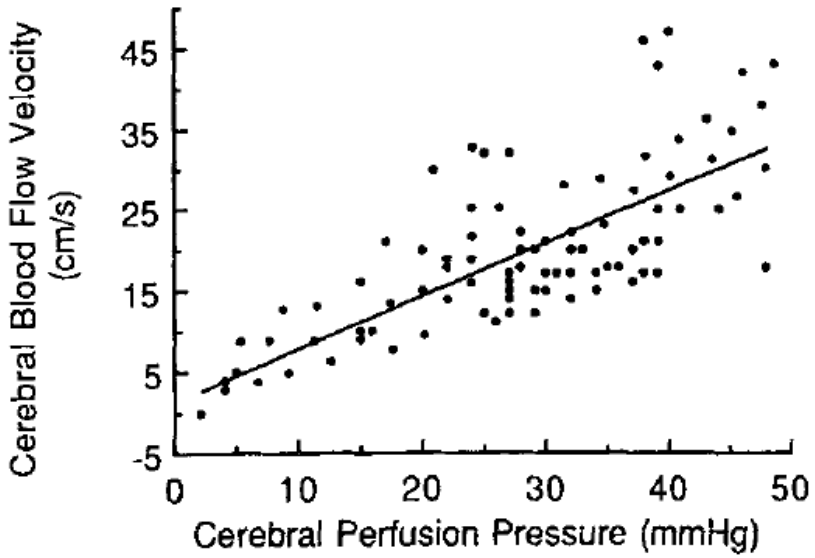


nouveau-né et nourrisson

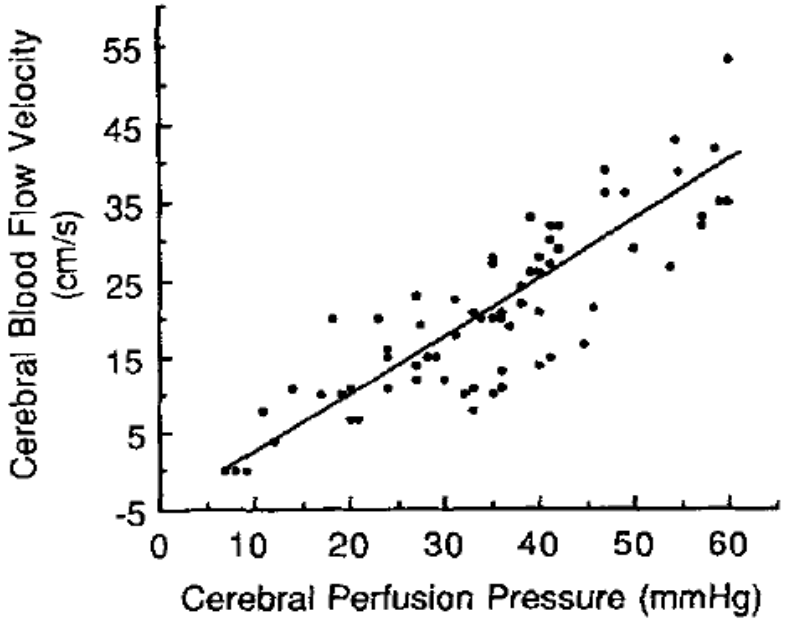
36-37°C

(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)

Accepted: 23 May 2017

DOI: 10.1111/pan.13194

RESEARCH REPORT

WILEY Pediatric Anesthesia

Does hypothermia impair cerebrovascular autoregulation in neonates during cardiopulmonary bypass?

Brendan Smith[1] | Eric Vu[2] | Kathleen Kibler[2] | Craig Rusin[1] | Ronald B. Easley[2] | Dean Andropoulos[2] | Jeffrey Heinle[3] | Marek Czosnyka[4] | Daniel Licht[5] | Jennifer Lynch[6] | Ken Brady[1]

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

Accepted: 13 June 2017

DOI: 10.1111/pan.13205

RESEARCH REPORT

WILEY Pediatric Anesthesia

Static cerebrovascular pressure autoregulation remains intact during deep hypothermia

Dheeraj Goswami[1] | Katherine McLeod[2] | Samantha Leonard[2] | Kathleen Kibler[2] | Ronald Blaine Easley[2] | Charles D. Fraser III[3] | Dean Andropoulos[2] | Ken Brady[2]

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, FRCPC, 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: artlam@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 remifentanil, 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

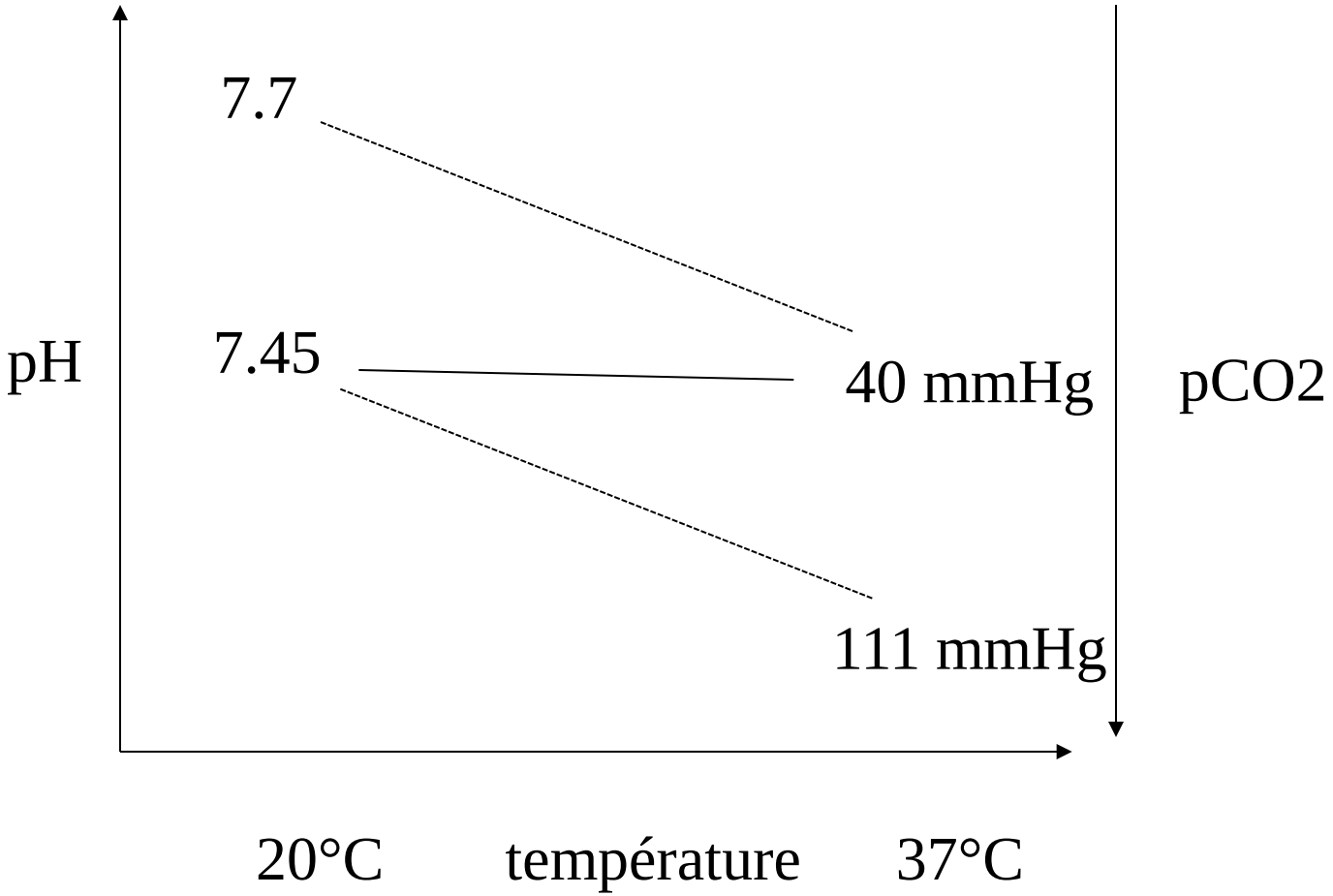
Intraoperative cerebral autoregulation monitoring is an important consideration for the patients with neurologic disease. Transcranial Doppler based static autoregulation measurements appears to be the most robust bedside method for this purpose.

Keywords

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

pH–stat ou α–stat ?

Solubilité des gaz augmente en hypothermie



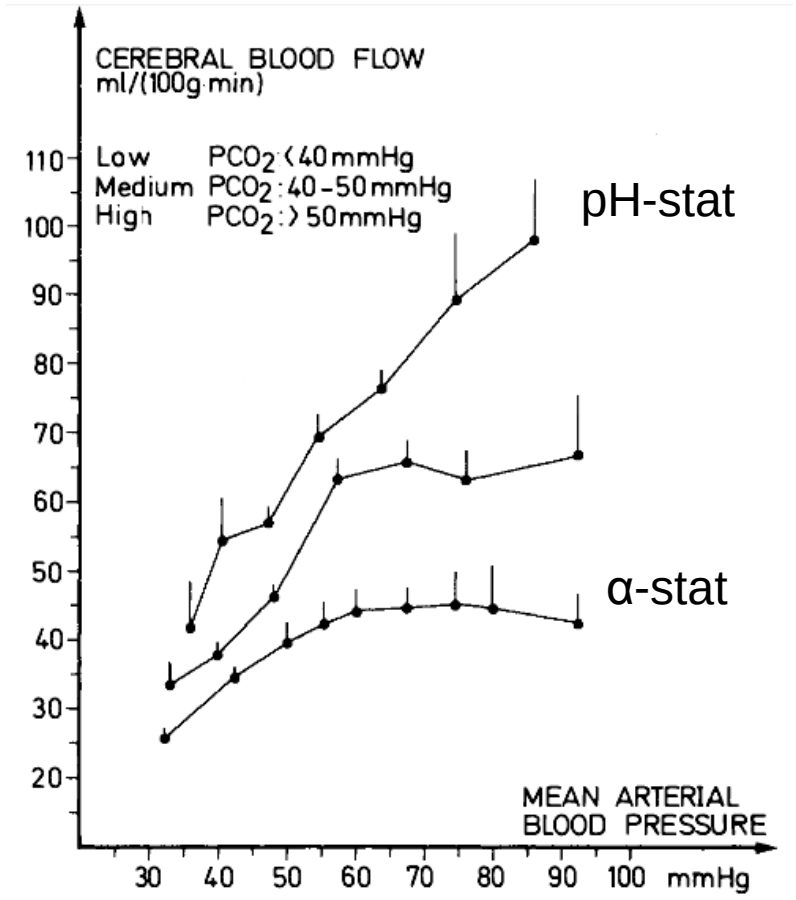
L'eau devient alcaline en hypothermie

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)

Techniques de perfusion : Low-flow

Boston Circulatory Arrest Study 1988-1992

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

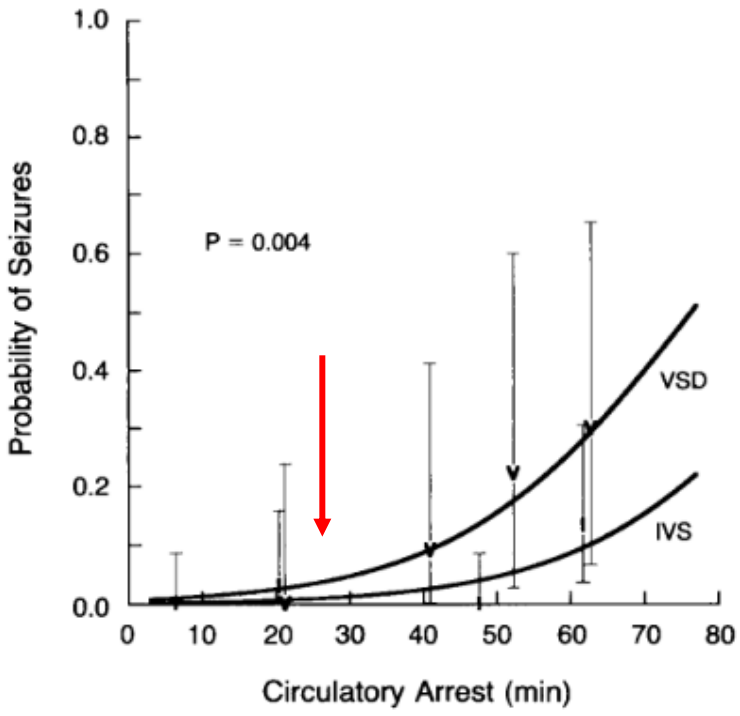
171 nouveau-nés avec TGV, 87 DHCA + 84 low-flow, 18°C, α-stat, Ht>20%

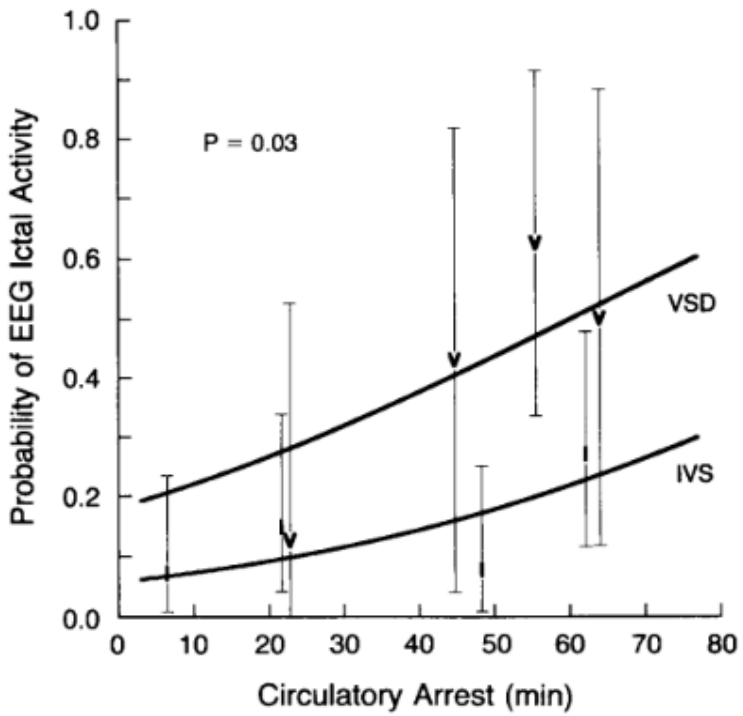
-> convulsions < 48h: OR=11.4 pour DHCA
-> activité électrique critique < 48h: OR=2.5 pour DHCA
-> index de développement psychomoteur à 1 an plus bas dans le groupe DHCA (différence 6.5 points)
-> plus d'apraxie motrice à 4 ans dans le groupe DHCA
-> plus d'apraxie motrice et idéatoire à 8 ans dans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





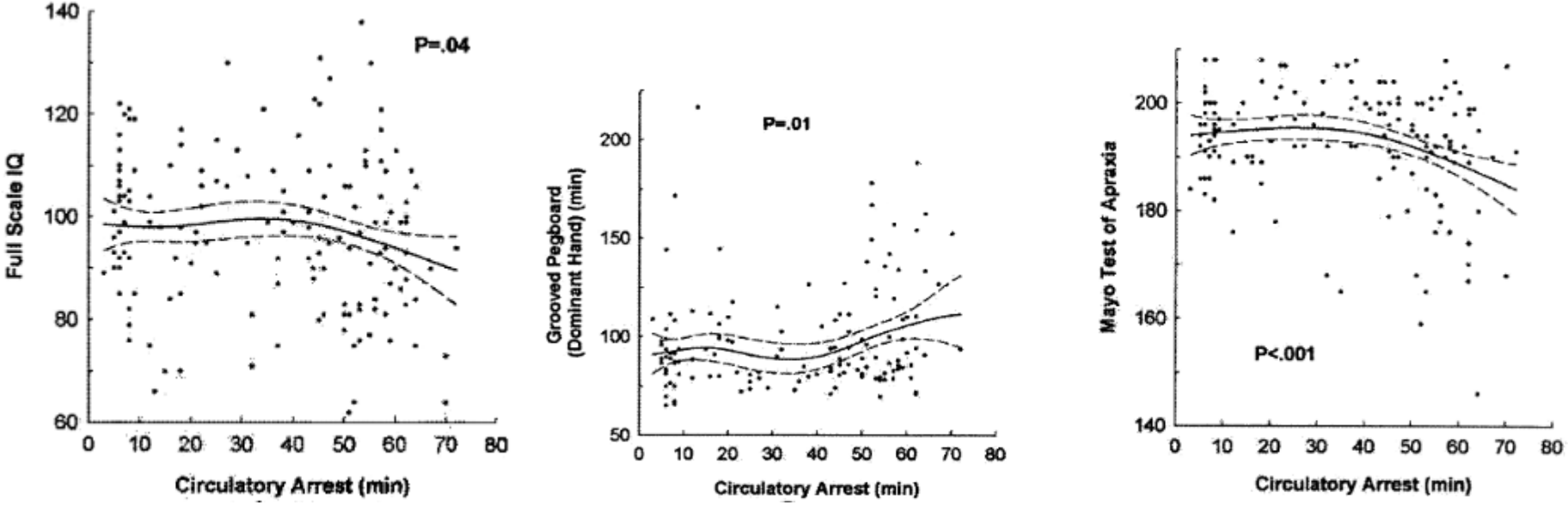
(Newburger, NEJM 1993)

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



(Wypij, JTCVS 2003)

La limite de l'IC 95% était à 32min

Selective Cerebral Perfusion Technique During Aortic Arch Repair in Neonates

ATS 1996

Toshihide Asou, MD, Hideaki Kado, MD, Yutaka Imoto, MD, Yuichi Shiokawa, MD, Ryuji Tominaga, MD, Yoshito Kawachi, MD, and Hisataka Yasui, MD

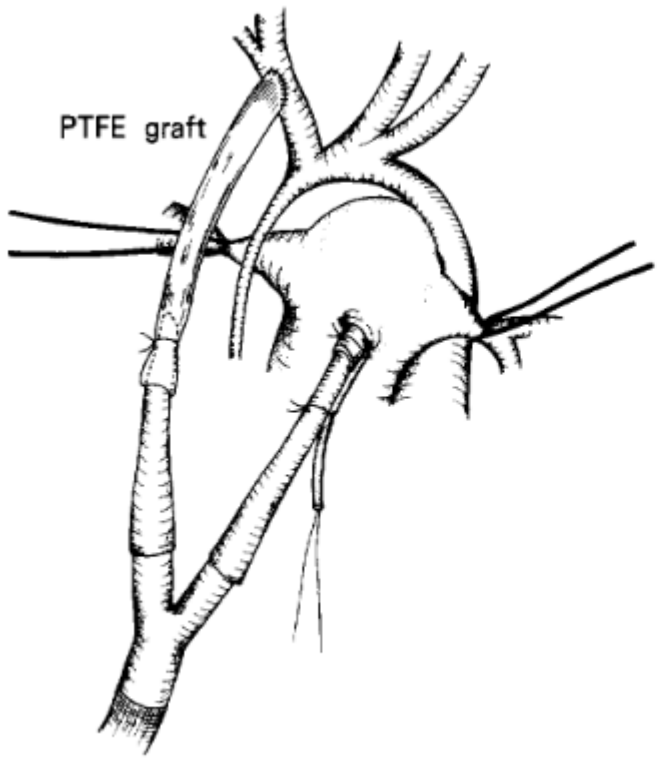


Fig 1. A polytetrafluoroethylene (PTFE) graft is anastomosed to the innominate artery and the brain is perfused through it.

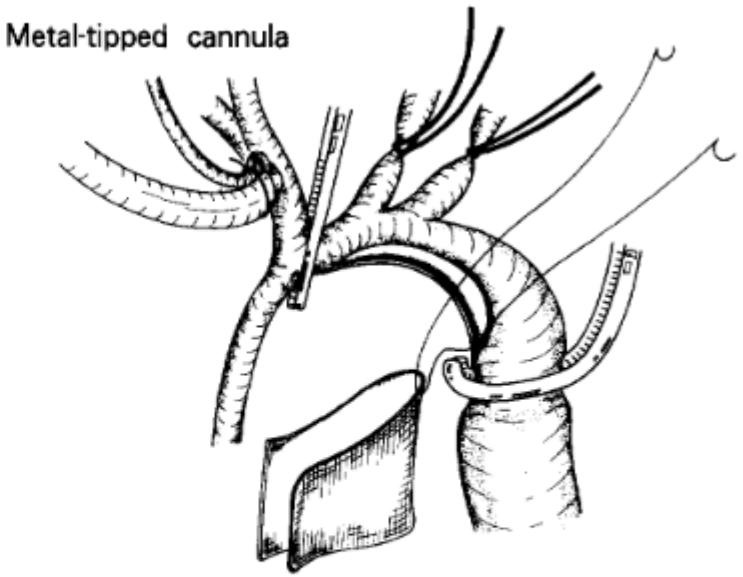


Fig 3. A thin-walled, metal-tipped arterial cannula is inserted into the innominate artery for cerebral perfusion. With a clamp placed on the aortic arch just distal to the innominate artery, both the brain and the myocardium are perfused during the reconstruction of the aortic arch.

La pression de perfusion
Le seuil d'autorégulation de la circulation cérébrale

Monitoring Cerebral Blood Flow Pressure Autoregulation in Pediatric Patients During Cardiac Surgery

Ken M. Brady, MD; Jennifer O. Mytar, BS; Jennifer K. Lee, MD; Duke E. Cameron, MD;
Luca A. Vricella, MD; W. Reid Thompson, MD; Charles W. Hogue, MD; R. Blaine Easley, MD

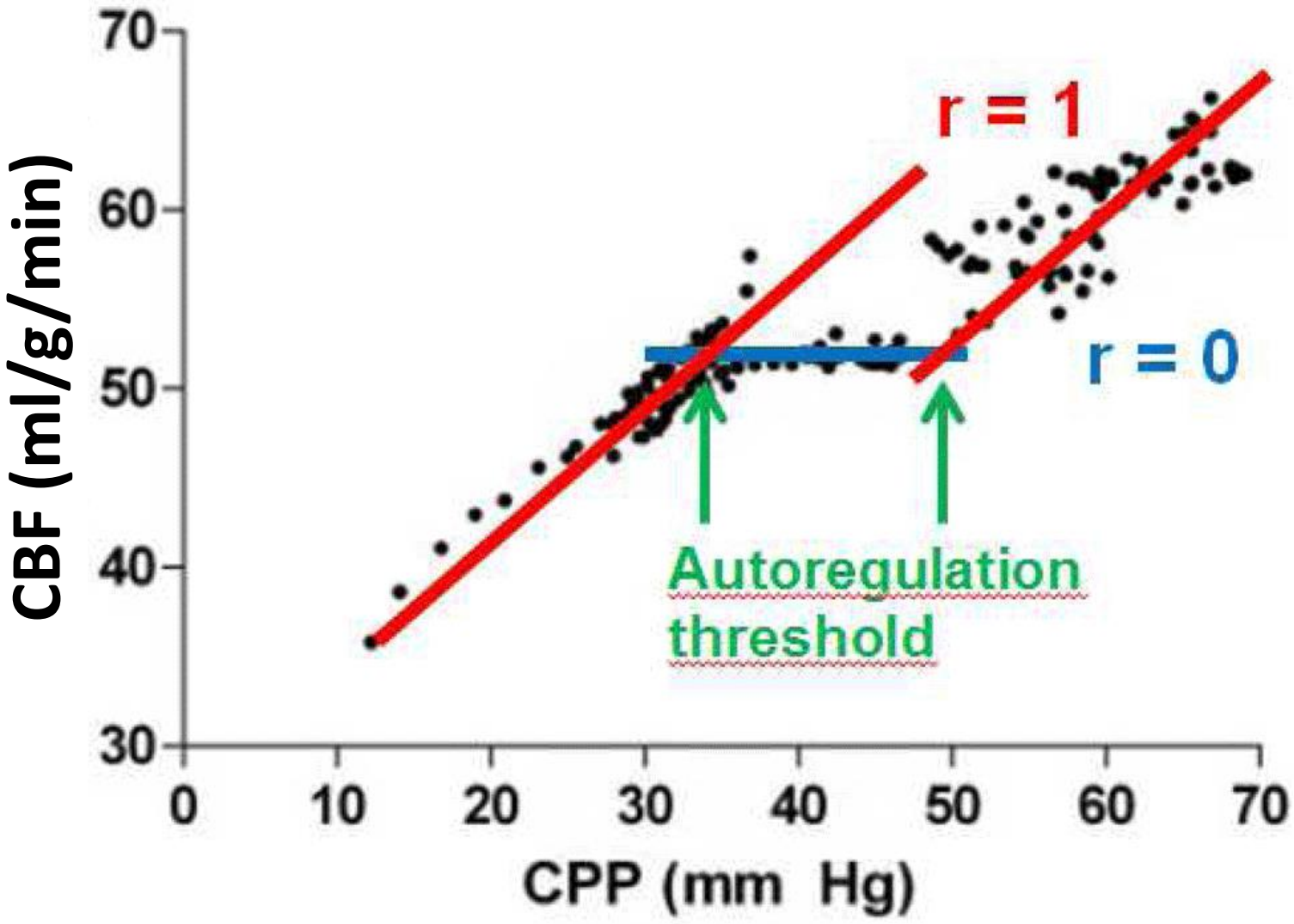
N = 54 (nouveau-nés, nourrissons et enfants)

Results—Hypotension was associated with increased values of COx ($P<0.0001$). For 77% of patients, an individual estimate of lower limits of pressure autoregulation could be determined using a threshold COx value of 0.4. The mean lower limits of pressure autoregulation for the cohort using this method was 42±7 mm Hg.

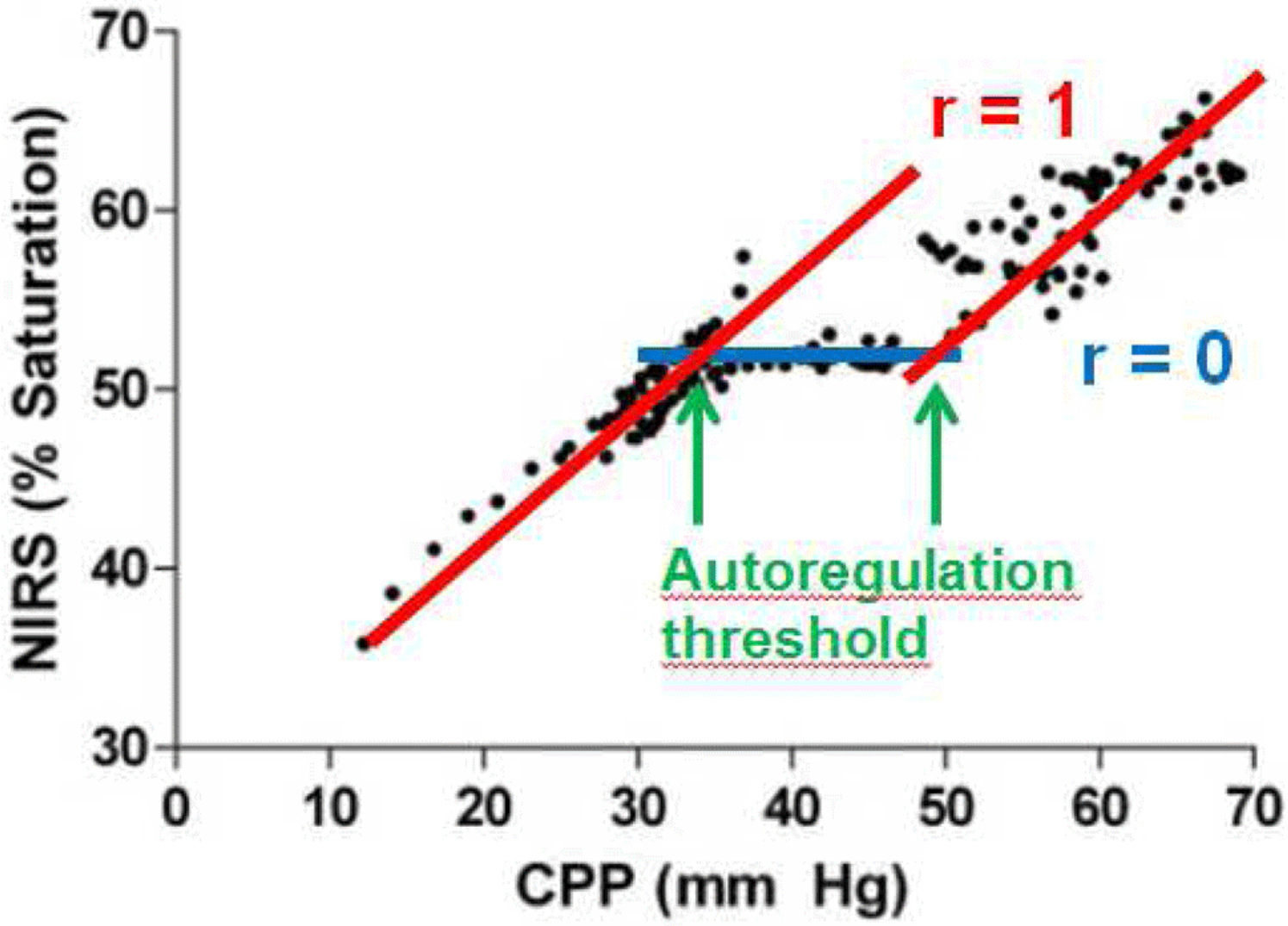
Conclusions—This pilot study of COx monitoring in pediatric patients demonstrates an association between hypotension during cardiopulmonary bypass and impairment of autoregulation. The COx may be useful to identify arterial blood pressure-dependent limits of cerebral autoregulation during cardiopulmonary bypass. Larger trials with neurological outcomes are indicated. **(*Stroke*. 2010;41:1957-1962.)**

(Cox: « index de corrélation mouvante » entre la NIRS et la PAM, normal < 0.4)

Cerebral blood flow autoregulation



Cerebral blood flow autoregulation

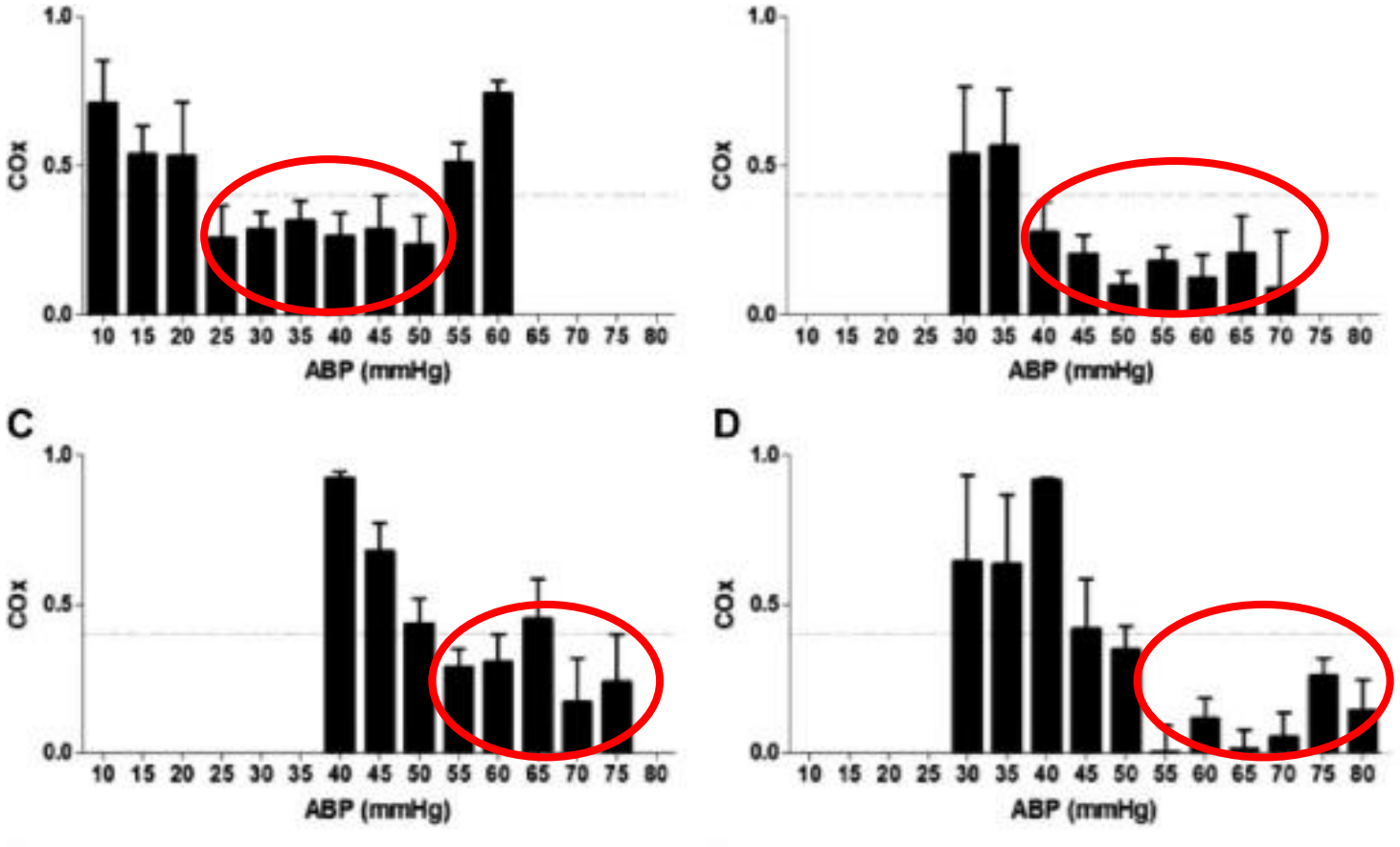


6 jours, interruption de l'arche aortique

7 mois, CIV

2 ans, CIV

7 ans, ALCAPA



Il existe un seuil de pression de perfusion, en dessous duquel il y a perte de l'autorégulation cérébrale en CEC

Pression de perfusion = MAP – PVC

- 30-40mmHg chez le nouveau-né
- 40-50mmHg < 2 ans
- 50 mmHg > 2 ans

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 ?

Monitorage des circulations régionales

Quel est le seuil d'autorégulation rénal durant la CEC ?

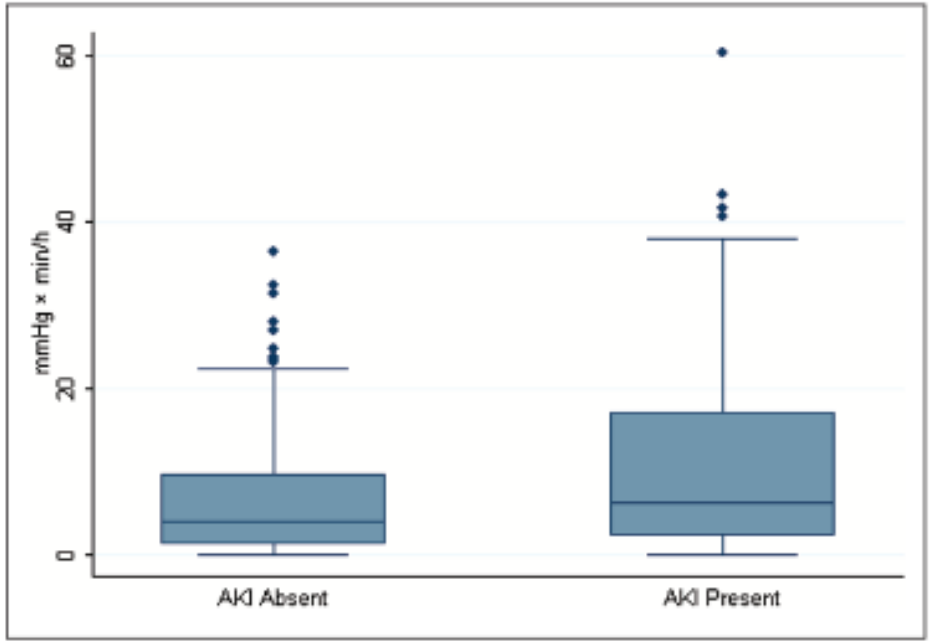


Figure 3. Whisker plot of duration and magnitude of blood pressure below the limit of cerebral autoregulation during cardiopulmonary bypass (mm Hg × min/hr) for patients with and without acute kidney injury (AKI) after surgery ($p = 0.014$ between groups). The *horizontal line* represents

Ono, Crit Care Med 2013

IV. Monitoring de la perfusion

1. SvO2

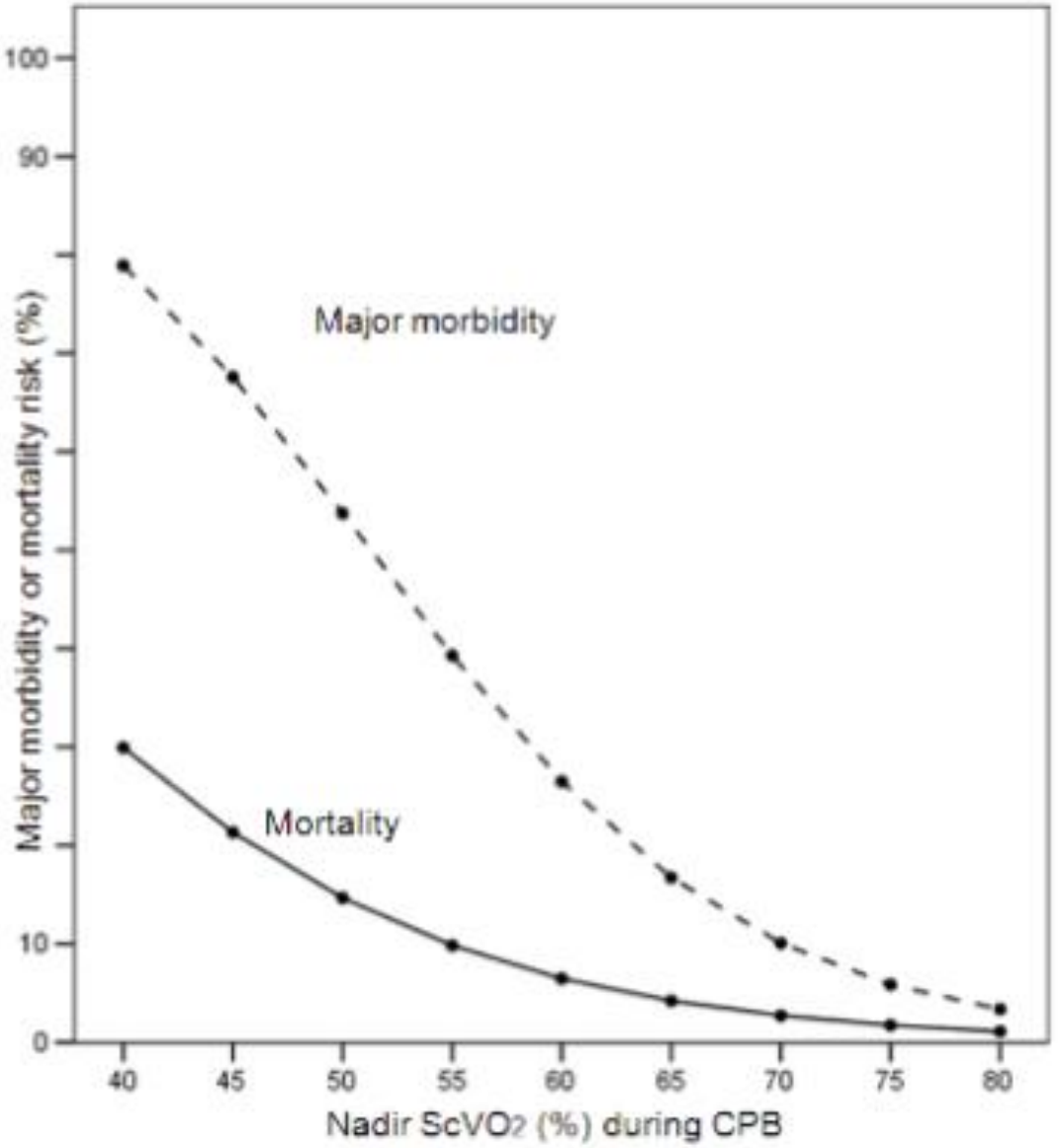
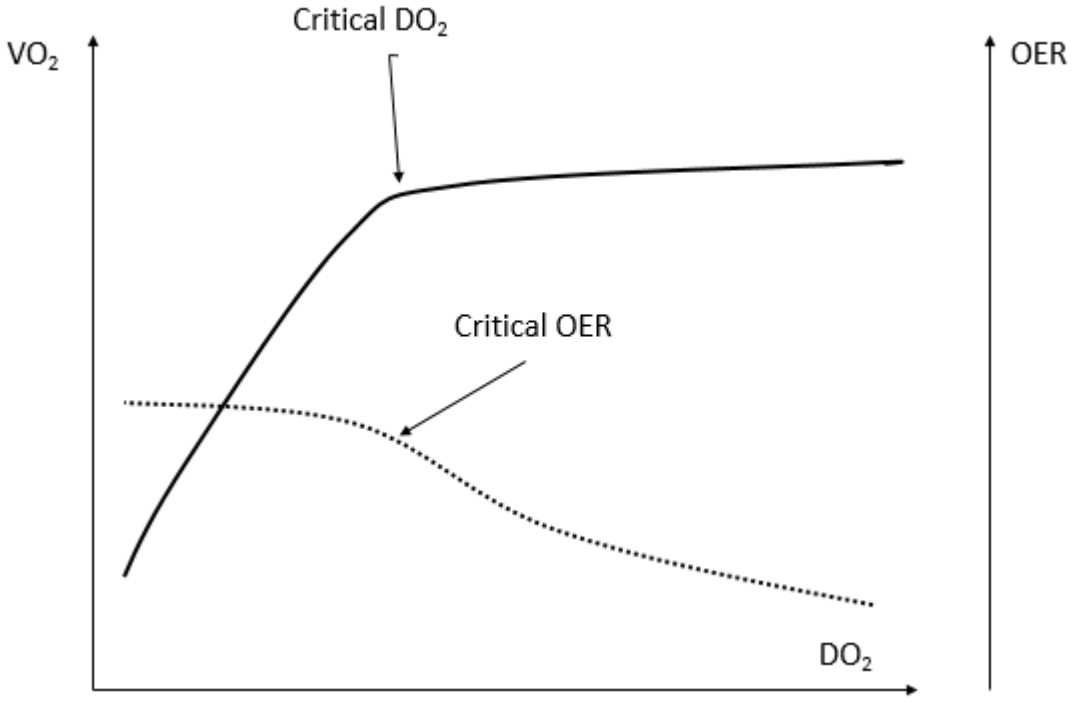


Figure 2 Predicted major morbidity and mortality rates (logistic regression analysis) according to the nadir $ScVO_2$ value, for a cardiopulmonary bypass (CPB) duration of 90 minutes.

Ranucci, Crit Care 2010: R149



$OER = (SaO_2 - SvO_2) / SaO_2$

$SvO_2 = (1 - OER) \times SaO_2$ (mais SaO2 souvent 100%)

$SvO_2 = 1 - OER$

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

2. Lactate

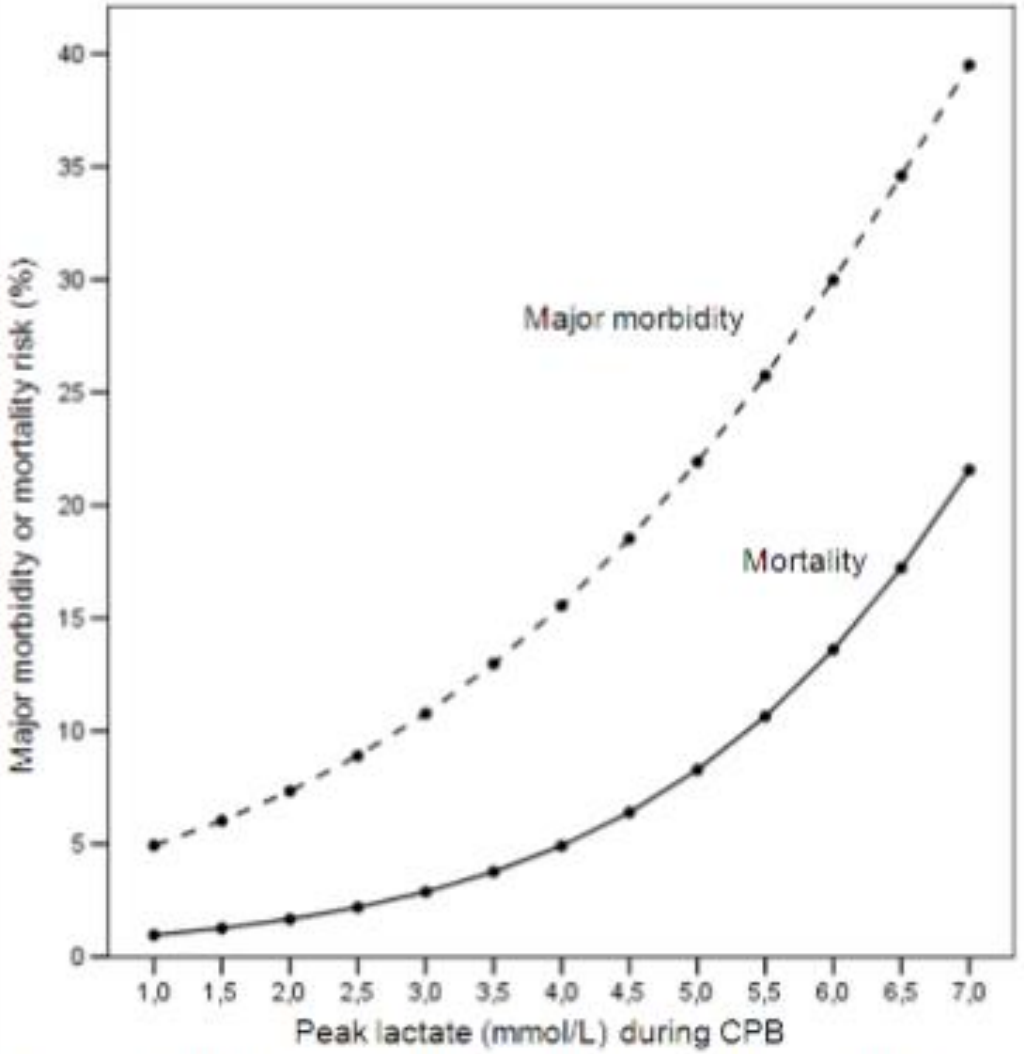
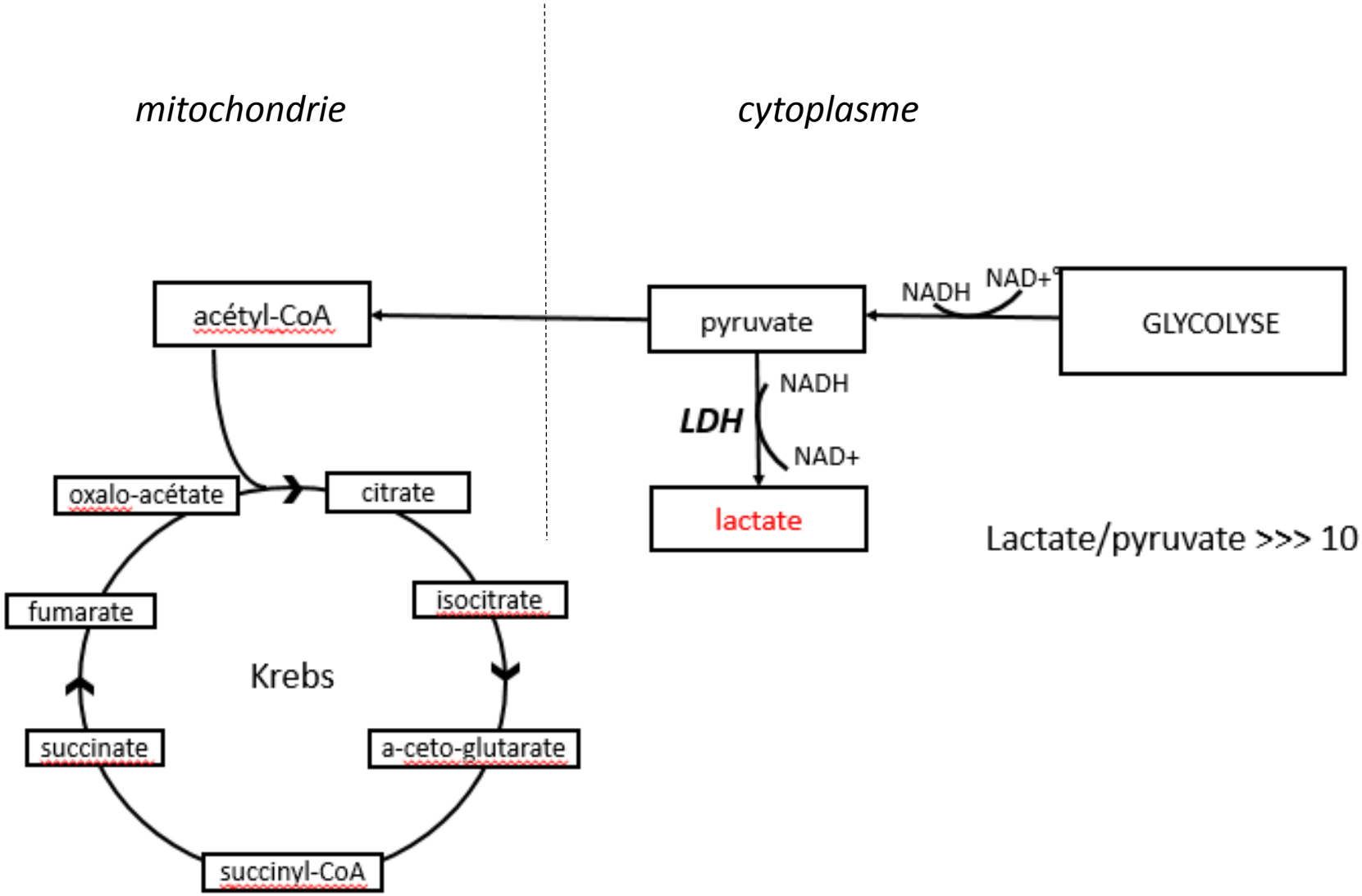


Figure 3 Predicted major morbidity and mortality rates (logistic regression analysis) according to the peak whole blood lactate value, for a cardiopulmonary bypass (CPB) duration of 90 minutes.

Ranucci, Crit Care 2010: R149

Le lactate

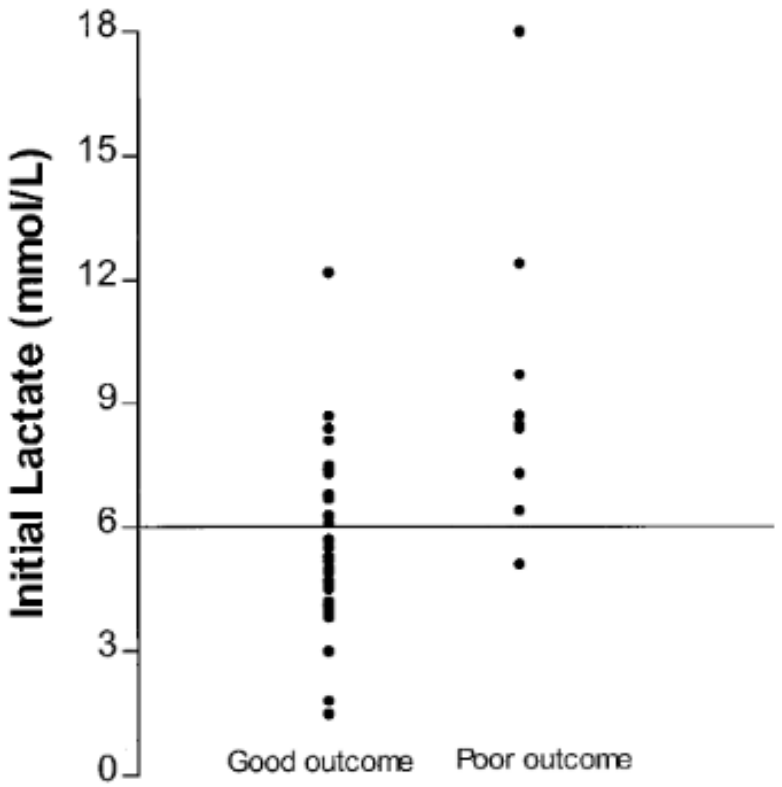
- Est un reflet de l'adéquation DO2 – VO2 en CEC
- Est une excellent prédicteur des complications postop (>3.5 mmol/L)



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

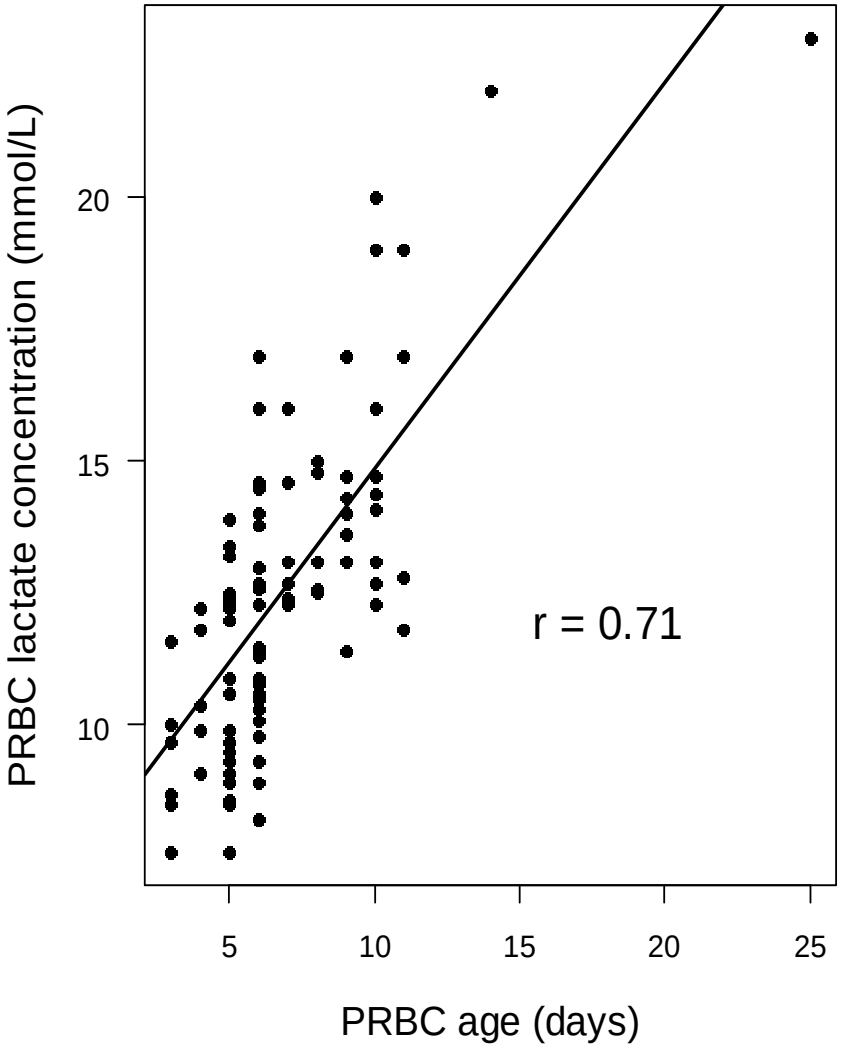
- Hyperglycémie

- Catécholamines

Priming : 200-230 mL

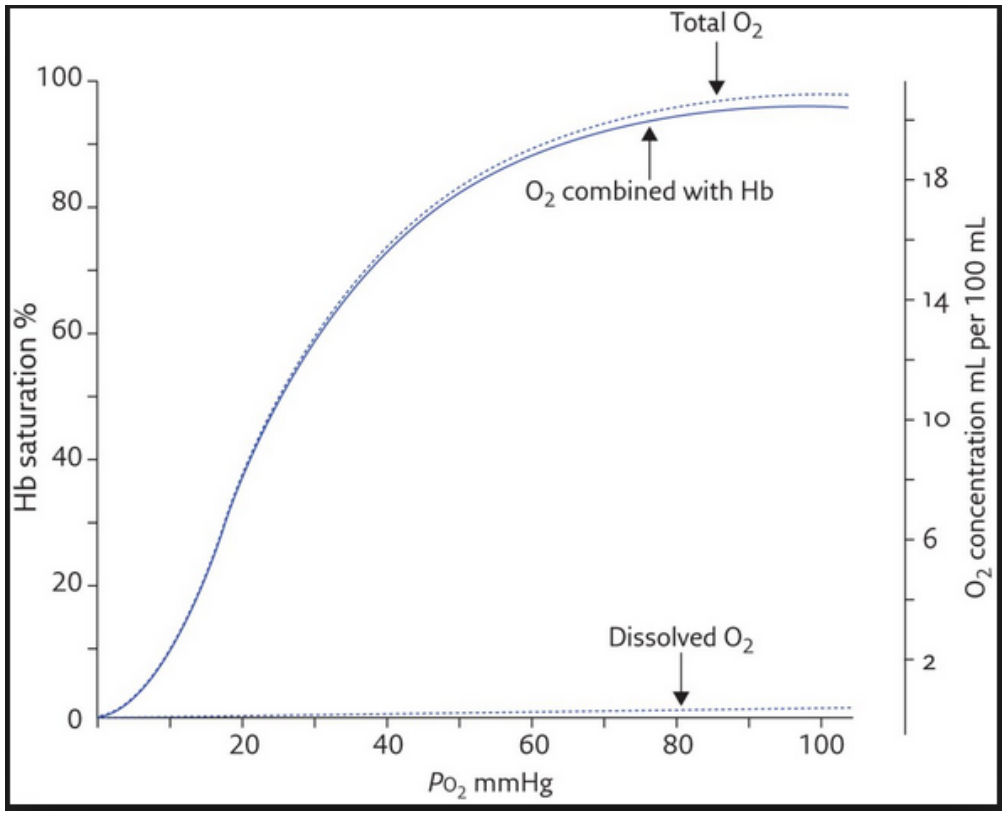
Volémie estimée : 270 – 300 mL

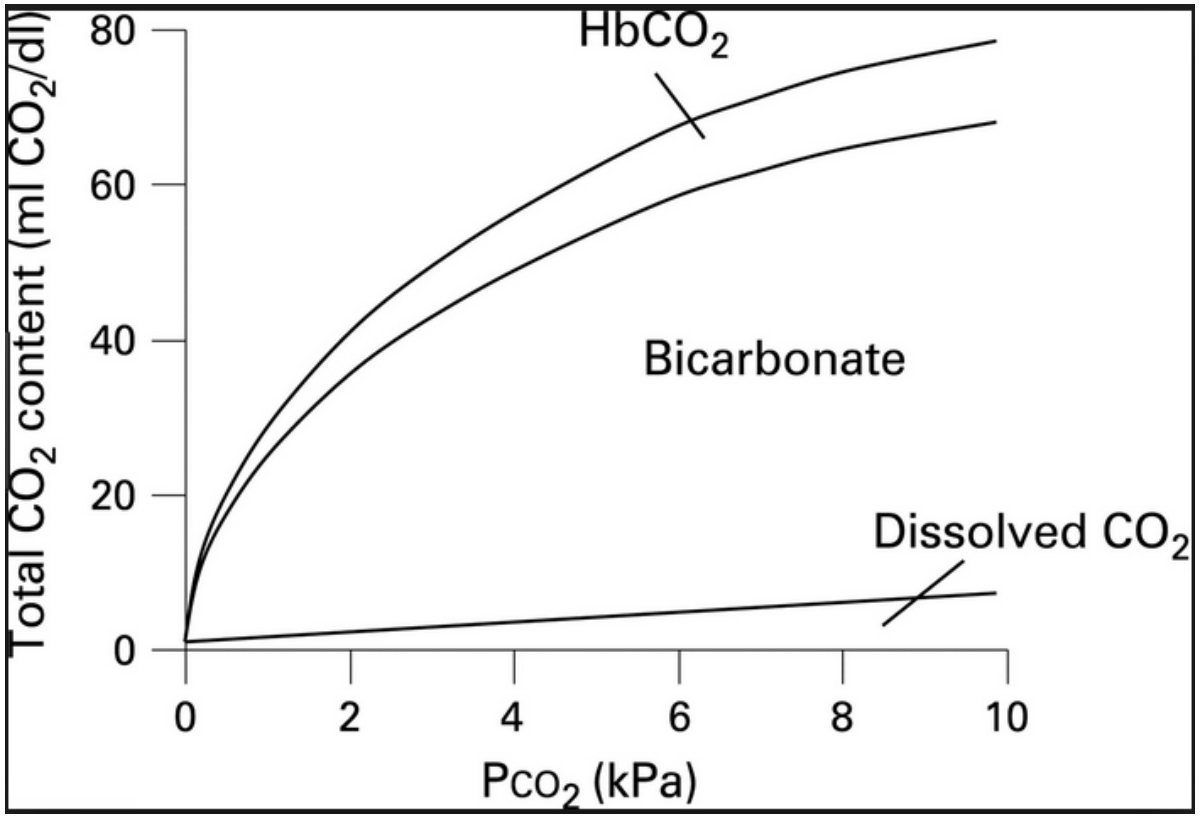
CGR reçu : 1-2 unités



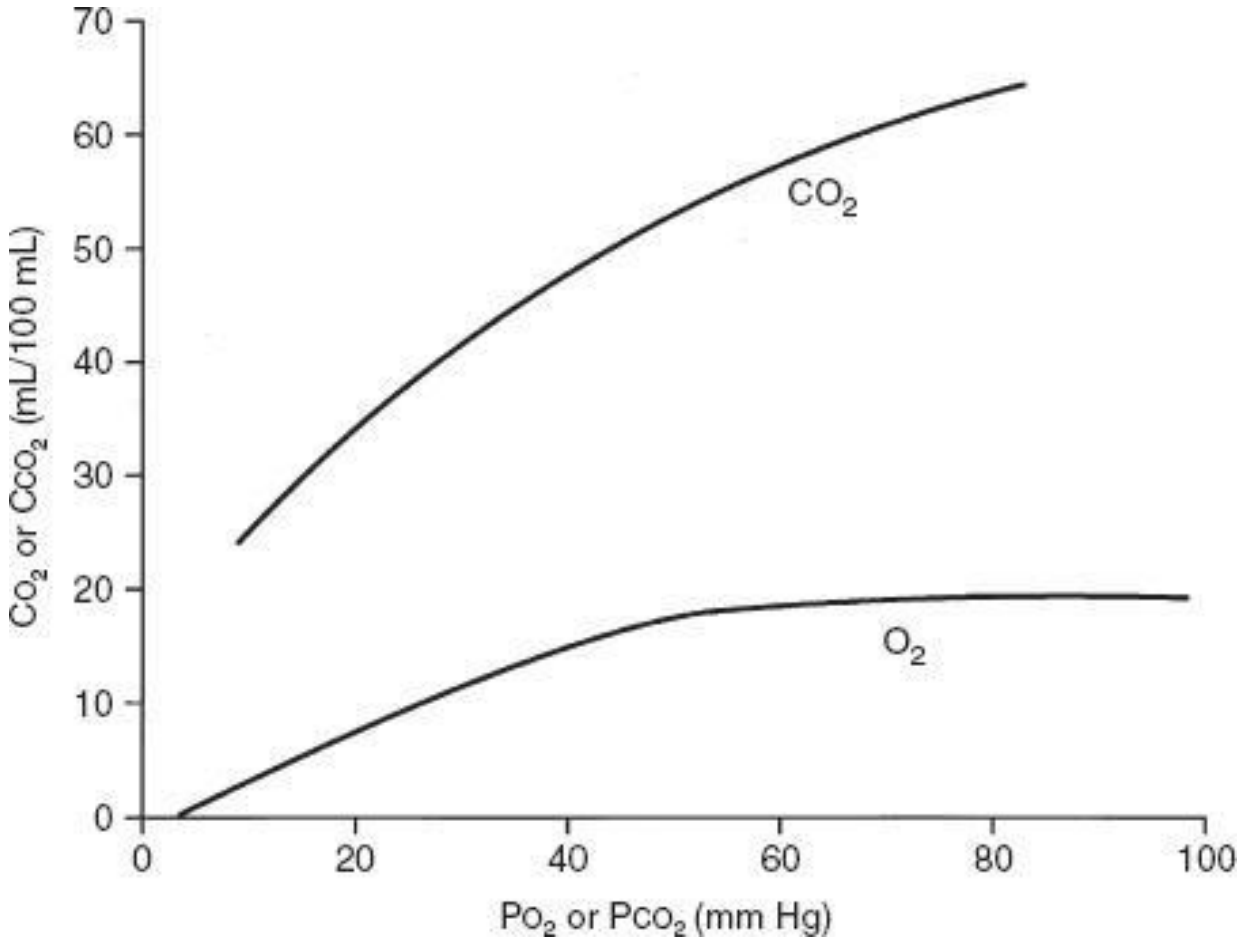
Necker-Enfants Malades

5. La production de CO2





CO2 + H2O <-> H2CO3 <-> H+ + HCO3-


70
60
50
40
30
20
10
0
Co_2 or Cco_2 (mL/100 mL)
CO_2
O_2
0
20
40
60
80
100
Po_2 or Pco_2 (mm Hg)

VCO2 = production CO2 = Q x (Cv-a CO2)
VO2 = consommation O2 = Q x (Ca-v O2)

Quotient respiratoire = VCO2/VO2 = (Cv-a CO2)/(Ca-v O2)
~ (PvCO2-PaCO2)/(Ca-v O2)
~ ΔpCO2 / (Ca-v O2)

CO2 + H2O <-> H2CO3 <-> H+ + HCO3-

Anaérobiose = augmentation rapport ΔpCO2 / Ca-v O2

Intensive Care Med (2002) 28:272–277
DOI 10.1007/s00134-002-1215-8

ORIGINAL

Armand Mekontso-Dessap
Vincent Castelain
Nadia Anguel
Mabrouk Bahloul
Franck Schauvliege
Christian Richard
Jean-Louis Teboul

Combination of venoarterial PCO_2 difference with arteriovenous O_2 content difference to detect anaerobic metabolism in patients

ΔpCO2 / (Ca-v O2) > 1.4
prédit lactate >2 mmol/L

6. IC et DO2

De Somer, Crit Care 2011: O_2-derived parameters […], « time for a goal-directed perfusion management »

Développement du logiciel CONNECT par Livanova pour le monitorage 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 $kg^{-1}min^{-1}$
Hb 9g/dL, BSA 0.76 m2 → DO_2 critique **330** mL min^{-1} m^{-2}

7. Le rapport DO2/VO2 – nécessite une validation en pédiatrie

Indicateurs de la présence du métabolisme anaérobie:

- VCO2 > 60 ml/min/m2
- VCO2/VO2 > 0.9
- DO2/VCO2 < 5

Ranucci, ATS 2006

Limitations :

- *mesure débit cardiaque*
- *DO2 critique en pédiatrie*
- *relation température – DO2 critique*

  (relation exponentielle CMRO2 et température, mais qu'en est-il du corps entier…?)

8. Circulations régionales / La NIRS

Relationship of Intraoperative Cerebral Oxygen Saturation to Neurodevelopmental Outcome and Brain Magnetic Resonance Imaging at 1 Year of Age in Infants Undergoing Biventricular Repair

Kussman, Circulation 2010

Pro: Near-Infrared Spectroscopy Should Be Used for All Cardiopulmonary Bypass

George M. Hoffman, MD

JTCVS 2006

8. Circulations régionales / La NIRS

- Positionnement des canules

- Monitoring des circulations régionales

  OER cérébrtal = 35%, OER somatique (rénal) = 10-15%

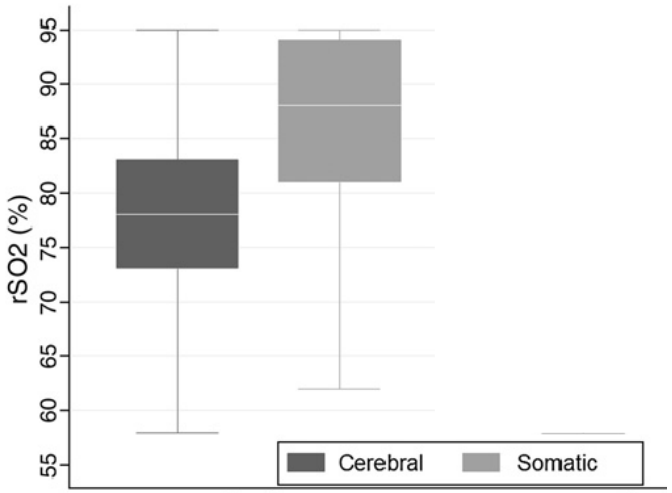
  → ***le gradient rSO_2 somatique-cérébral est normalement 10-15%***

  La circulation cérébrale est sous le contrôle de l'autorégulation du DSC
  La circulation somatique (rénale) est sous contrôle adrénergique

  → ***le gradient rSO_2 somatique-cérébral se réduit lors de la stimulation sympatique (état de choc)***

Bernal, J Pediatr Surg 2010

Cerebral and somatic near-infrared spectroscopy in normal newborns



V. CEC et inflammation

Lésions d'ischémie-reperfusion

Activation de la coagulation
et du complément

Inflammation → **Syndrome de fuite capillaire**

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

Absence de pulsatilité du flux de CEC ?

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 :

- Hémoconcentration 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 perfusioniste

Après retour à l'homéostasie thermique (> 36°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

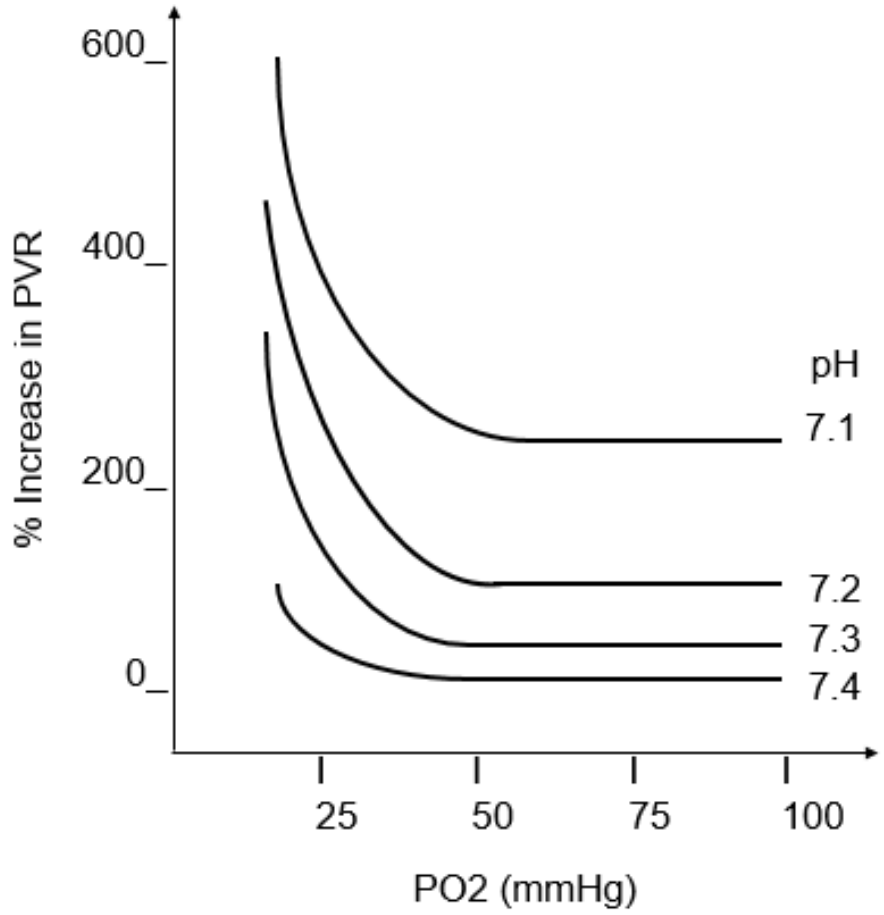
Homéostasie thermique

- 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 porésente a 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 paO2 à environ 120 mmHg
4. Normocapnie paCO2 35-45 mmHg
5. Vasodilatateurs pulmonaires inhalés ou IV

Altérations pulmonaires « obligatoires » à la fin de la CEC

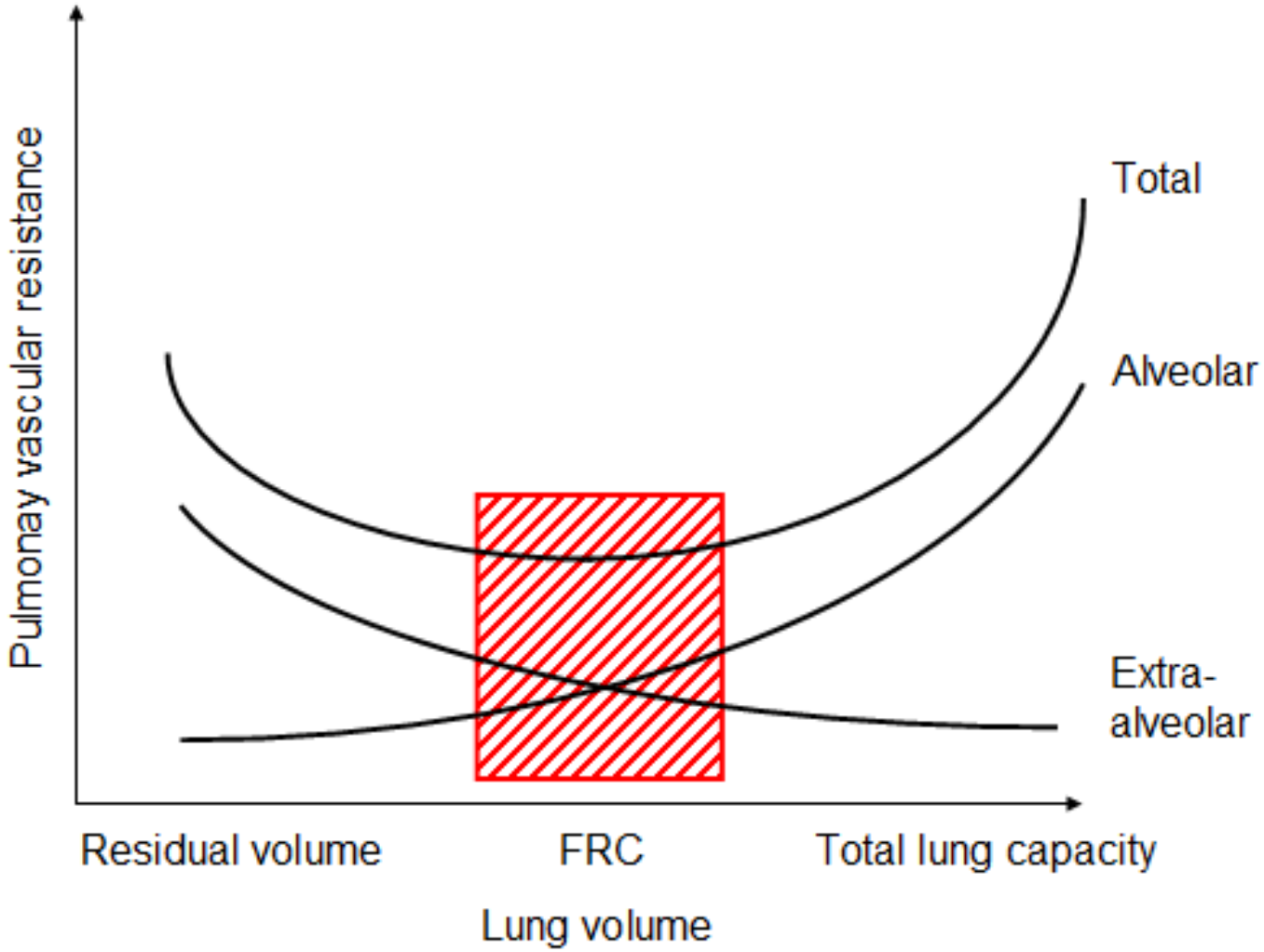
Lésions d'ischémie-reperfusion
Transfusion massive
Augmentation de l'eau extra-vasculaire pulmonaire (syndrome inflammatoire, capilary leak syndrome)

- diminution de la compliance pulmonaire
- augmentation des résistances vasculaires pulmonaires
- risque accru d'interactions cardio-pulmonaires à la fermeture sternale

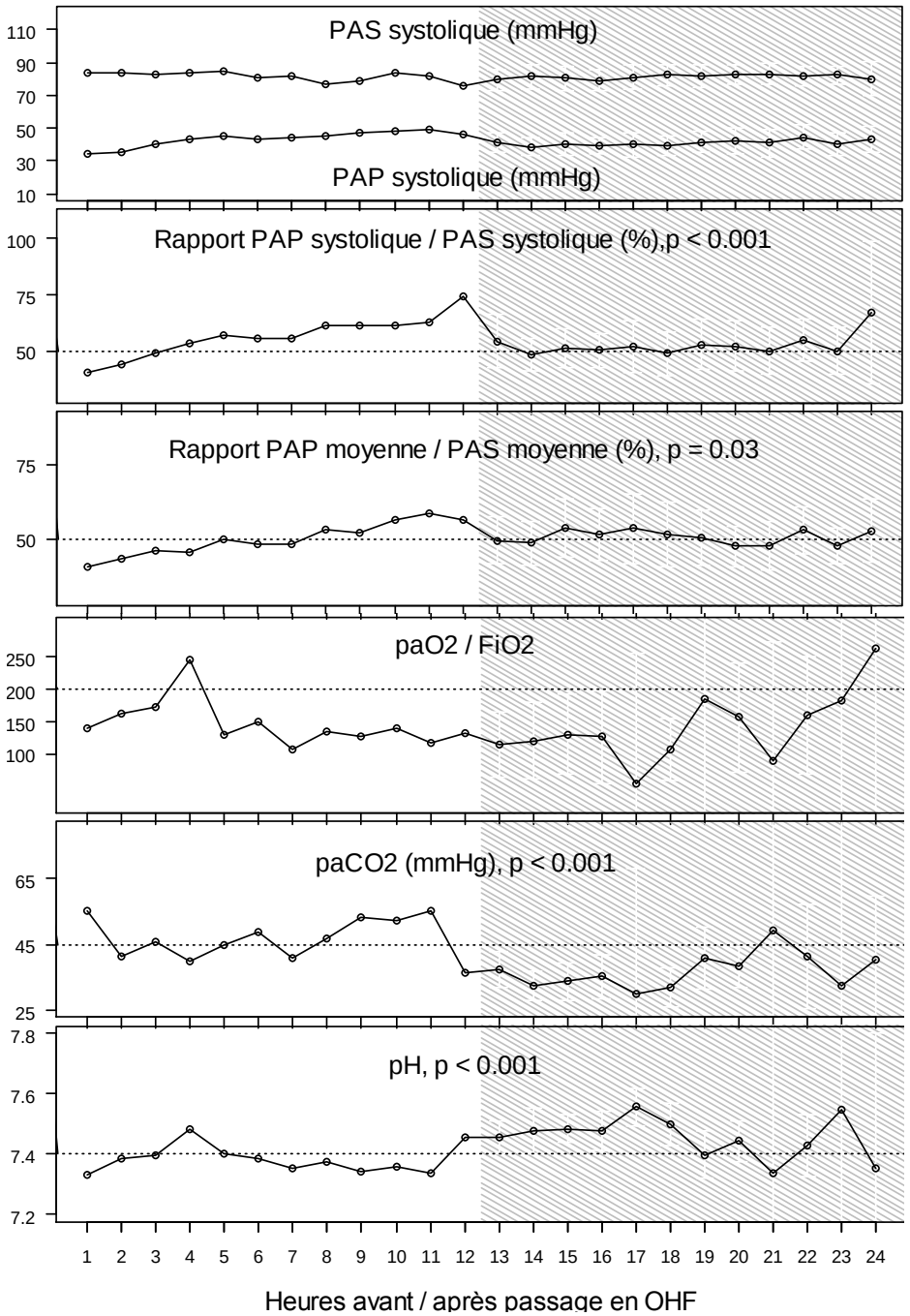
1. maintenir le volume pulmonaire au niveau de la CRF

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

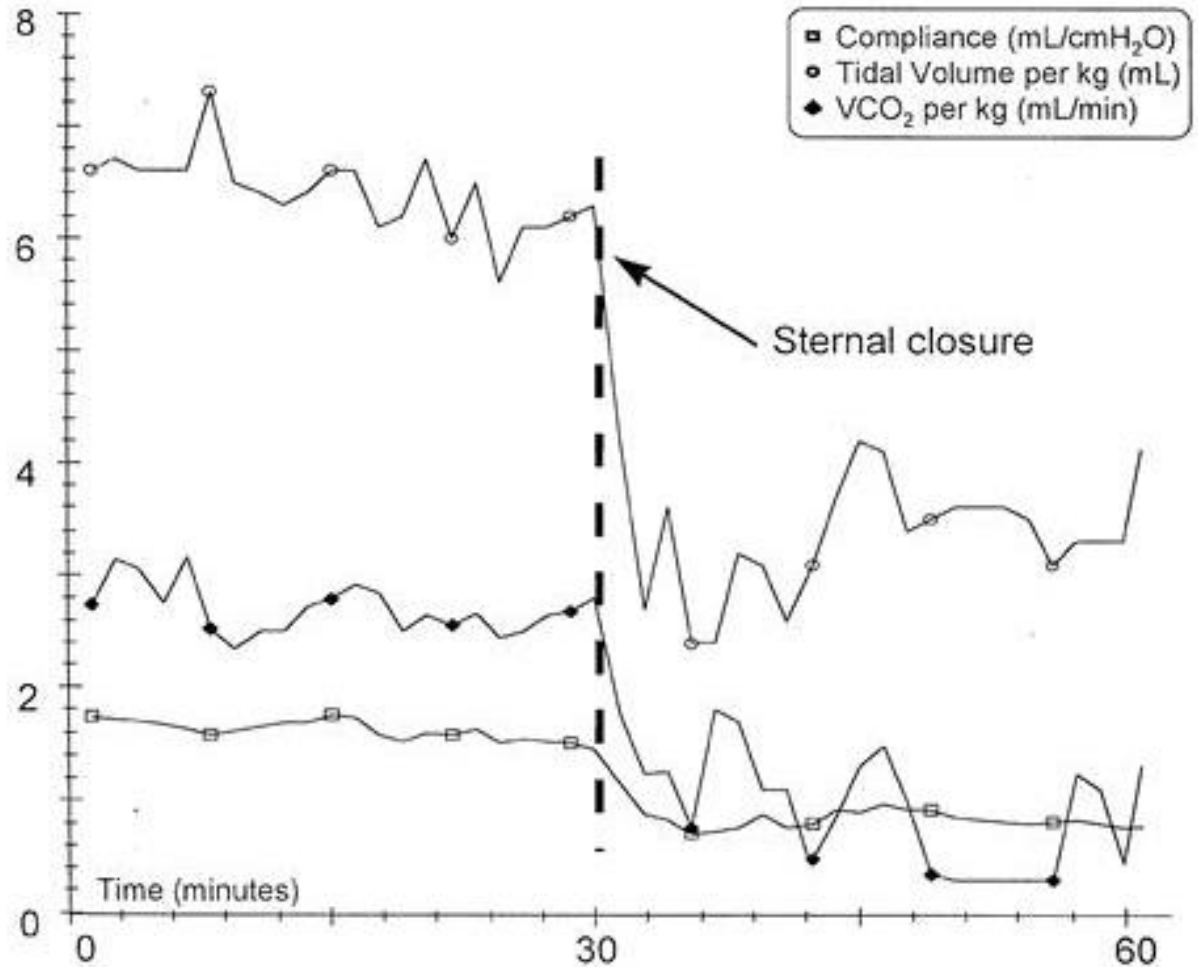


1. maintenir le volume pulmonaire au niveau de la CRF: oscillation à haute fréquence ?



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

A la fermeture sternale, la compliance thoracique diminue

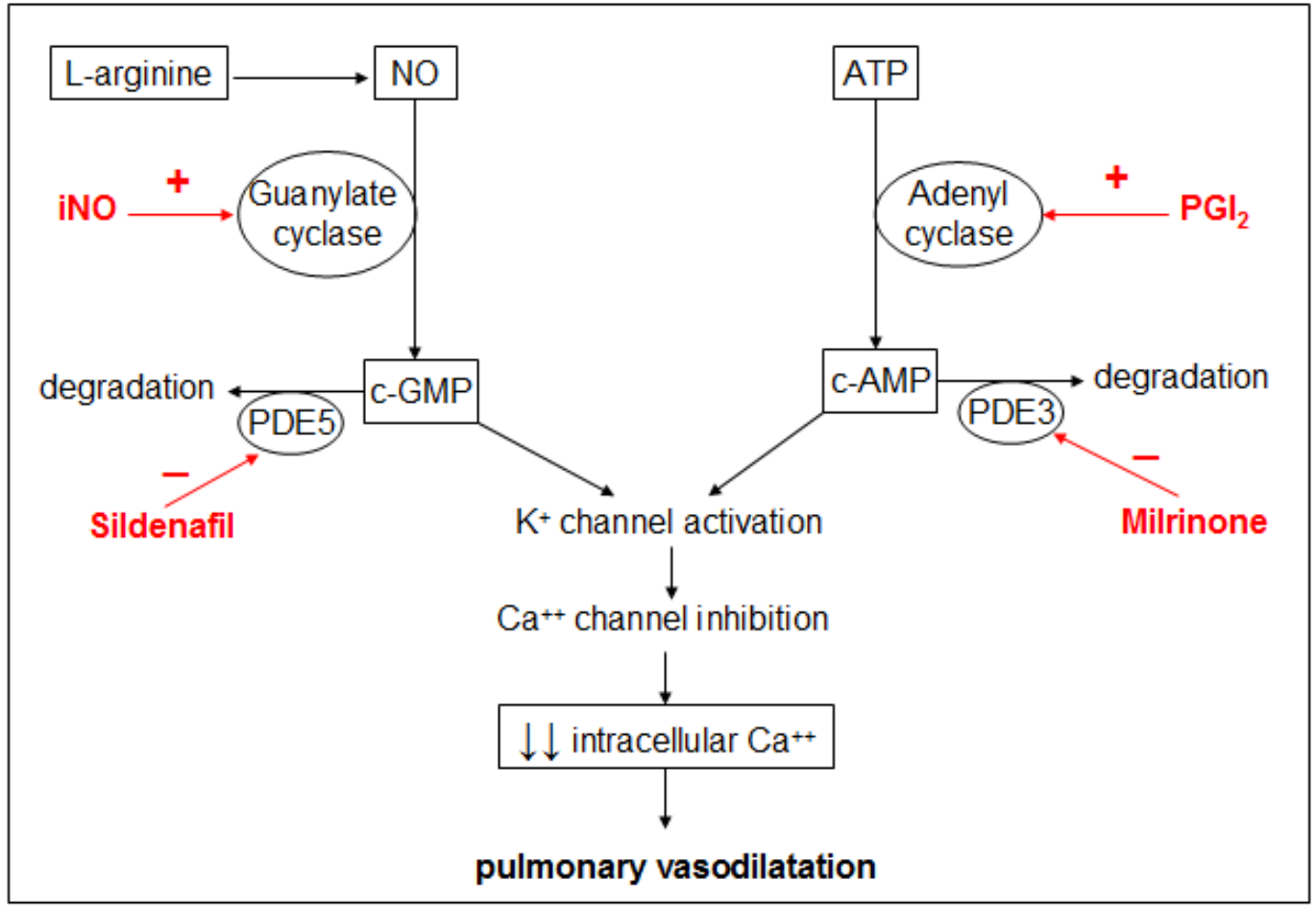


Main, CCM 2001

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

Endothélium vasculaire



Ghofrani, JACC 2004

Les 3 principales raisons du sevrage difficile

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

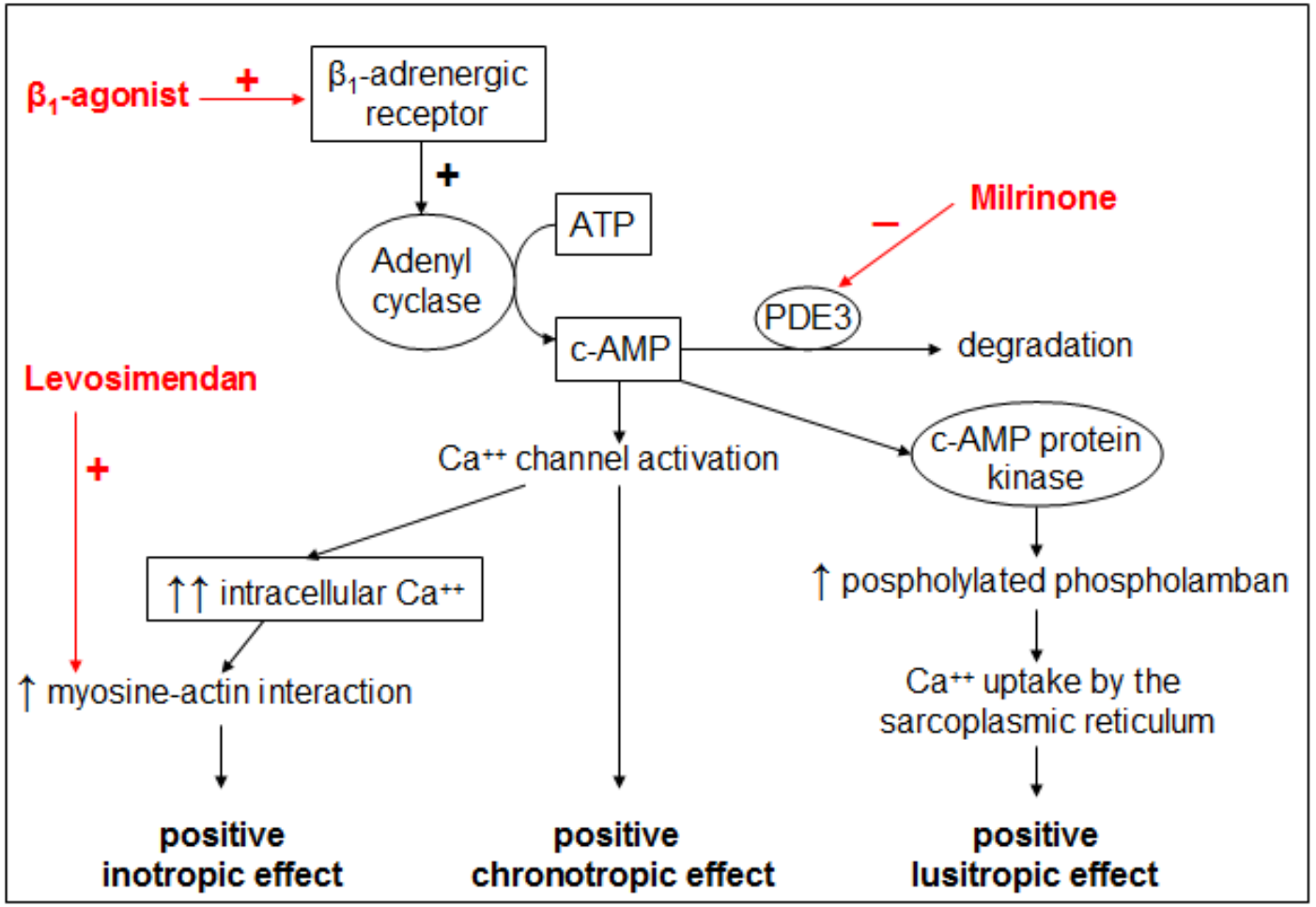
Prévention / traitement d’une défaillance ventriculaire post-CEC

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 β1 augmentent le Ca intracellulaire et la VO2 myocardique
- Immaturité des récepteurs β1 chez le nouveau-né
- Tous les les agonistes β1 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

Myocarde



Gillies, Crit Care 2005

Milrinone

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

L'étude PRIMACORP

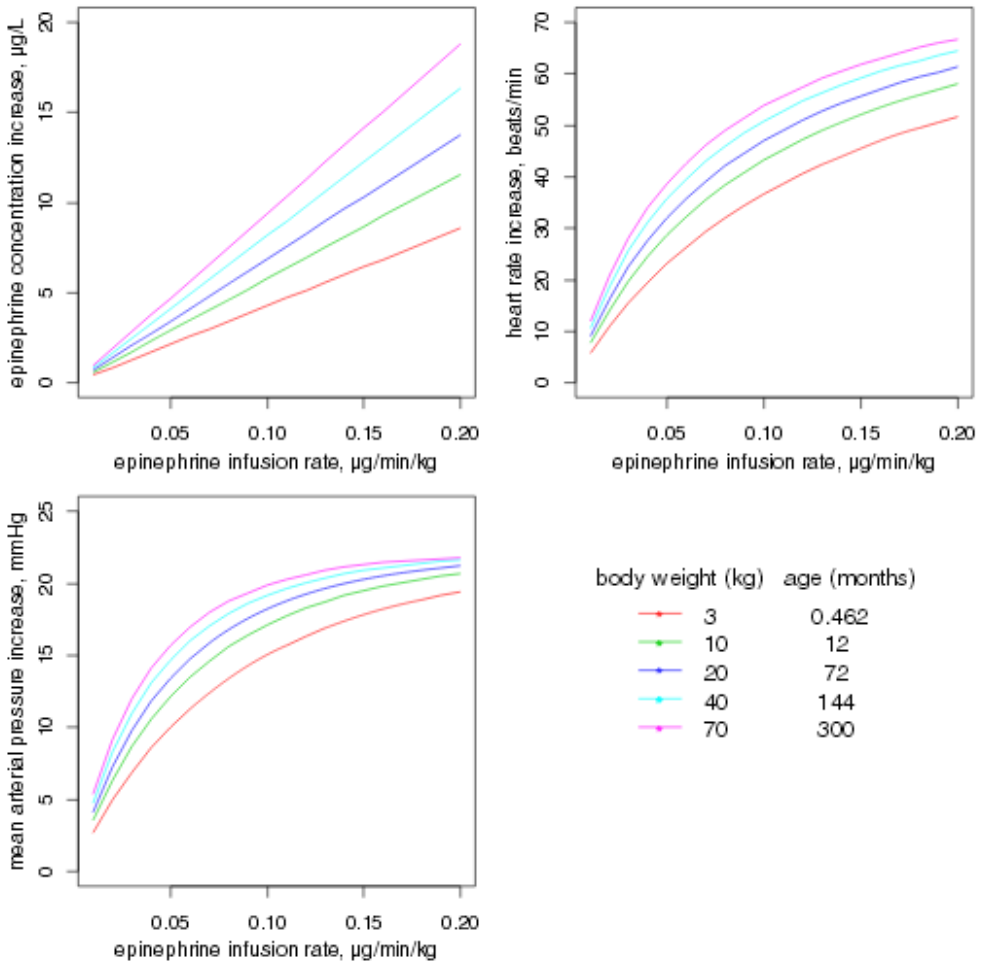
Circulation. 2003 Feb 25;107(7):996-1002.

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

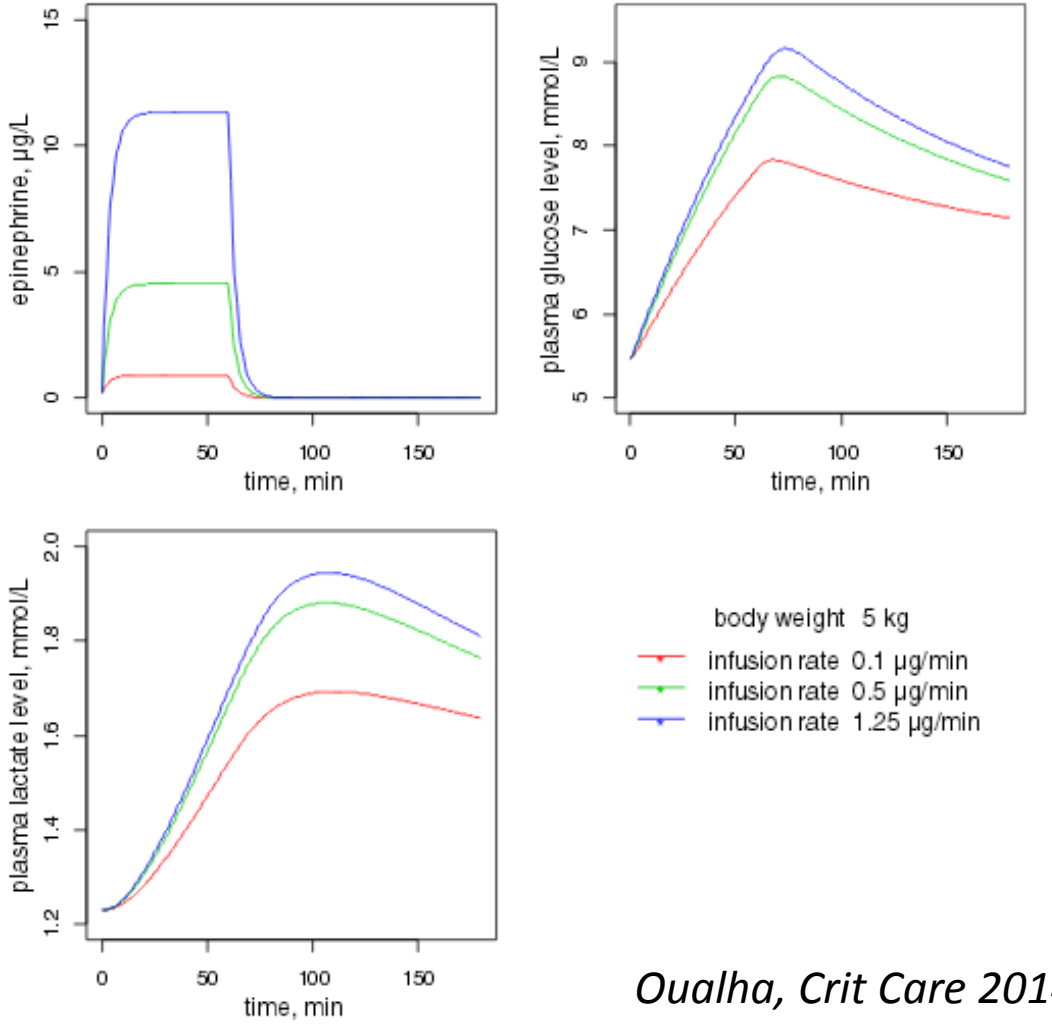
Hoffman TM[1], Wernovsky G, Atz AM, Kulik TJ, Nelson DP, Chang AC, Bailey JM, Akbary A, Kocsis JF, Kaczmarek R, Spray TL, Wessel DL.

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, Brézil

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: EuLoCOS-Paed[a] (2011)	Guidelines: 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 (adrénalien > 0.2 µg/kg/min)
- Compliance pulmonaire effondrée
- Ischémie myocardique (troponine)
- Failbe poids (<3 kg)
- CEC longue (> 2 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