La Circulation Extra-Corporelle en chirurgie cardiaque pédiatrique chez le nouveau né, le nourrisson et l'enfant

DU Réanimation des Cardiopathies Congénitale

Ph Pouard, Hôpital Necker, Paris

Introduction

3700 enfants opérées /an sous CEC , stable

Réparation complète avant l'âge d'1 an si possible

1. Pour éviter les :

- Complications des palliatives (déformations, htap)
- Complications de la cardiopathie (cyanose, htap, hypertrophie)

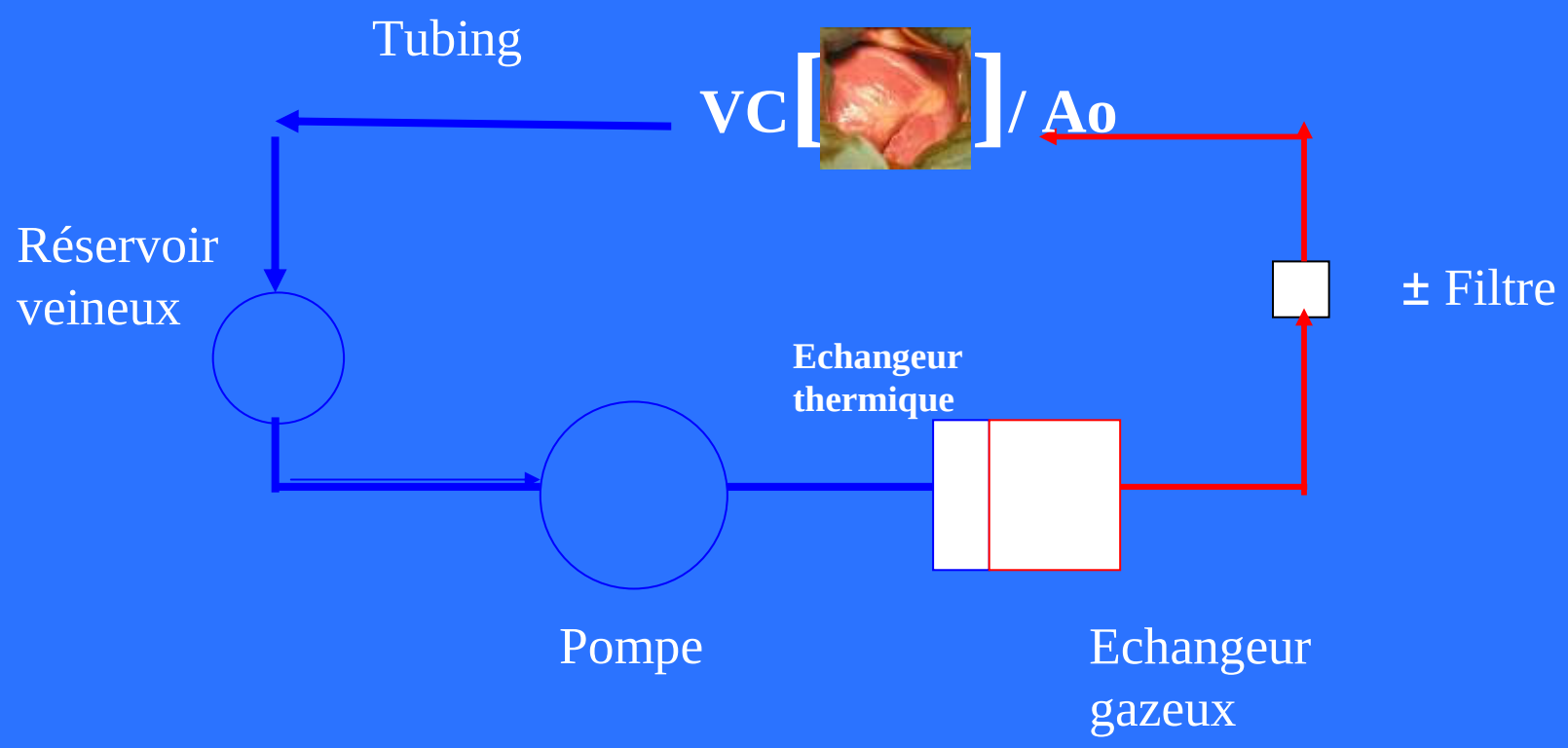
2. Pour permettre la croissance

70%< 2ans et 25%< 1mois

- Consultation cardiologie et chirurgie => indication opératoire
- Consultation d'anesthésie => meilleur moment opératoire et stratégie technique
- Induction de l'anesthésie =>maintien de l'équilibre hémodynam
- CEC = > nécessaire, mais induction potentielle de complicatio
- Sevrage de la CEC => restauration de l'équilibre hémodynamic

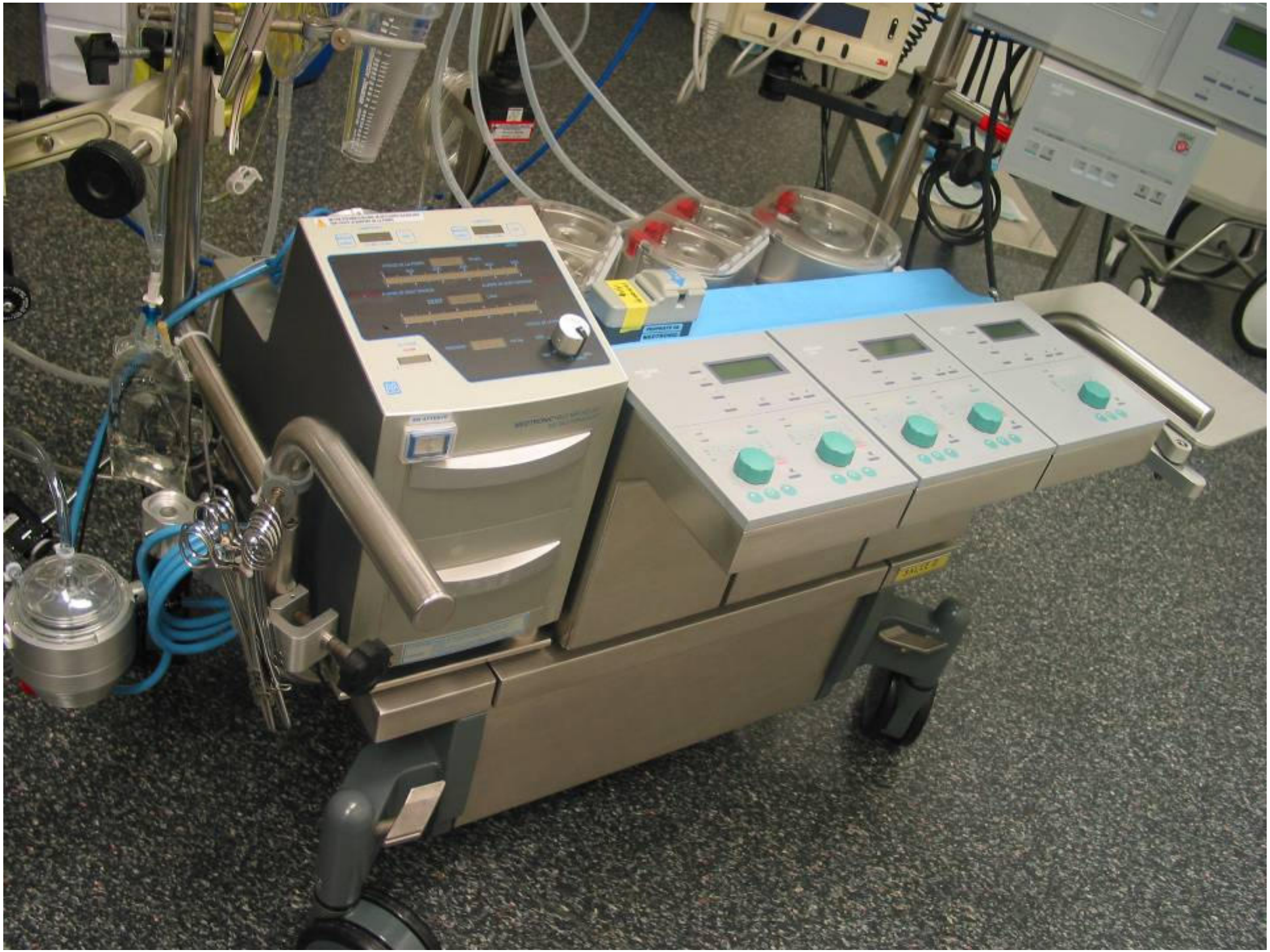
Période post opératoire

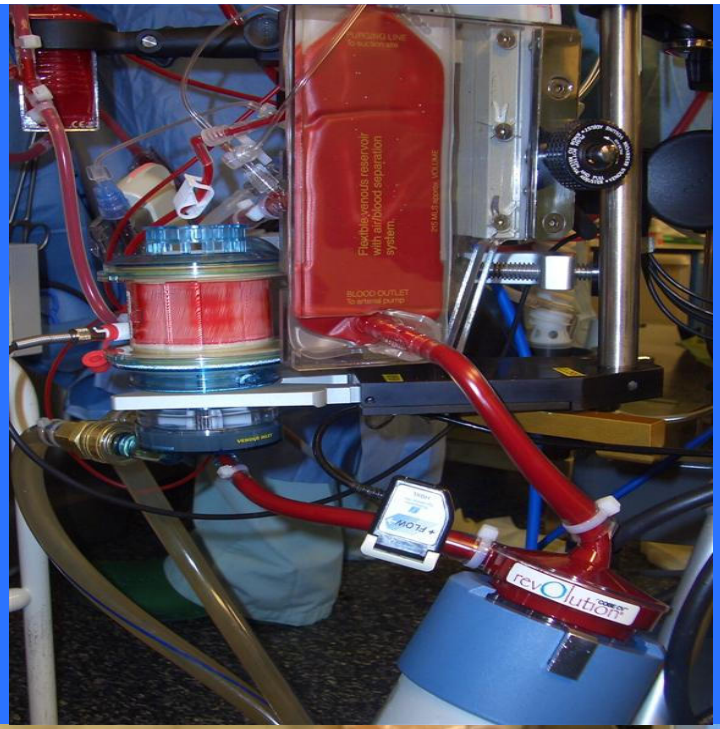
Principes de la CEC



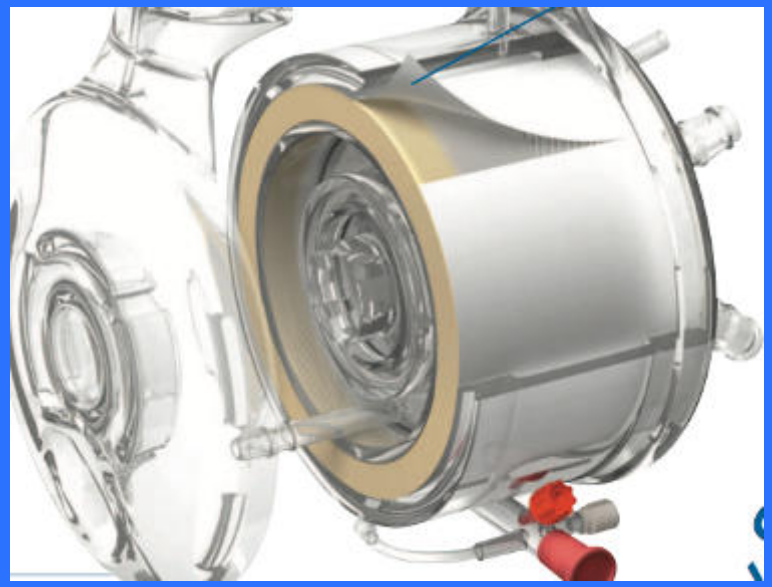
Apporter l'0_2, éliminer le $C0_2$, assurer **la perfusion adéquate des organes**

Eviter toutes **lésions définitives des organes**

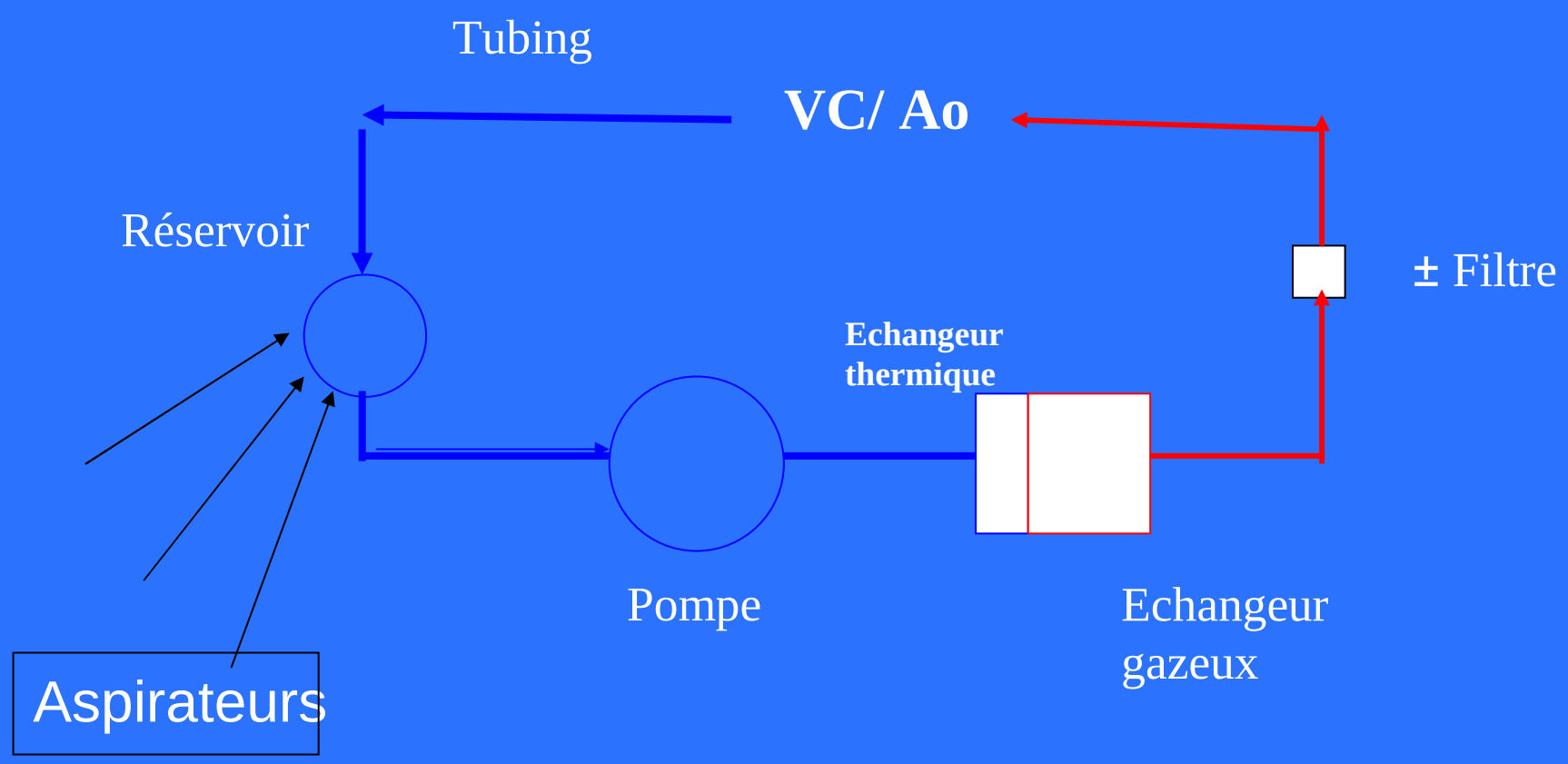


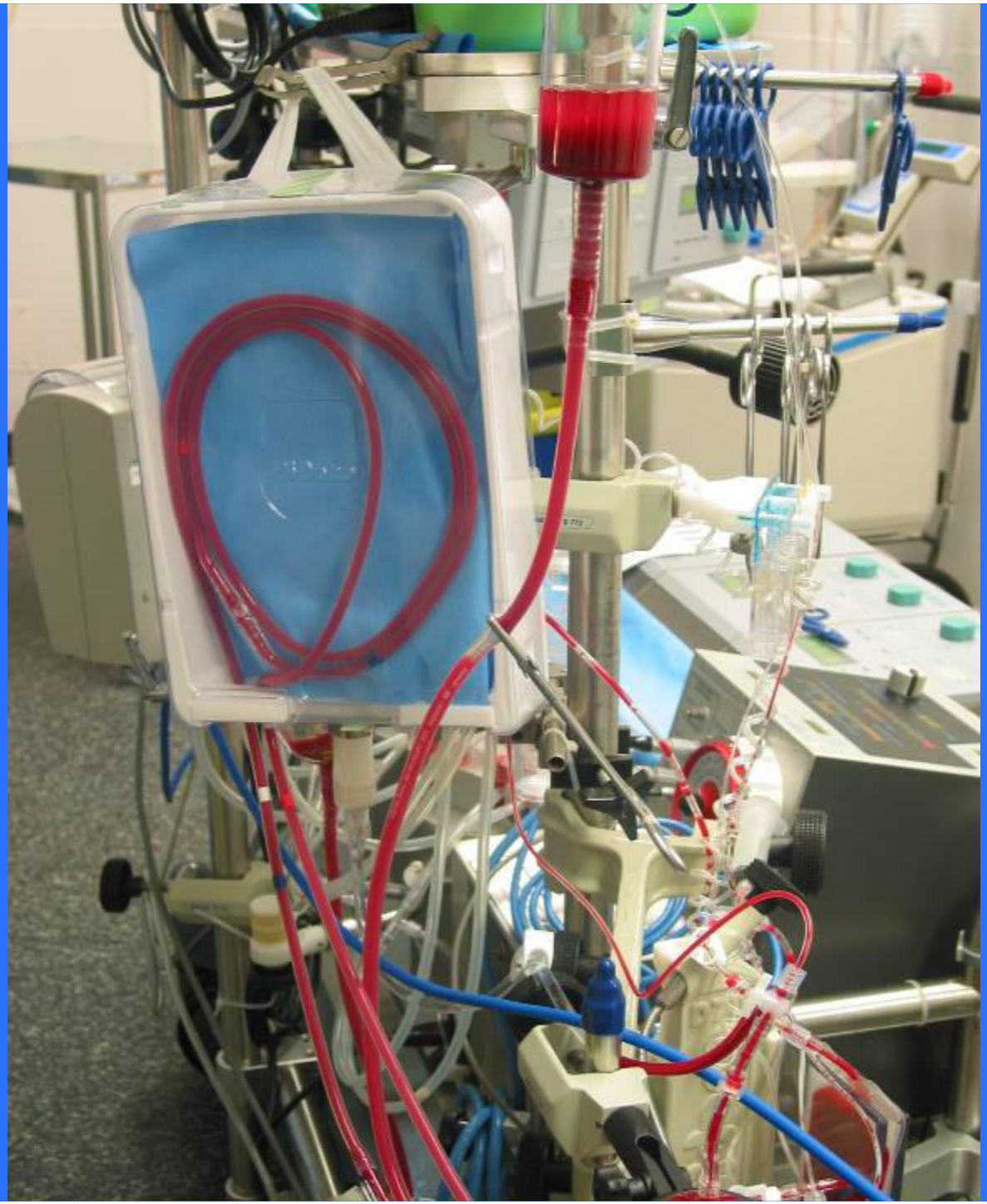

Flexible venous reservoir with airblood separation system.
BLOOD OUTLET
To arterial pump
revolution
FLOW

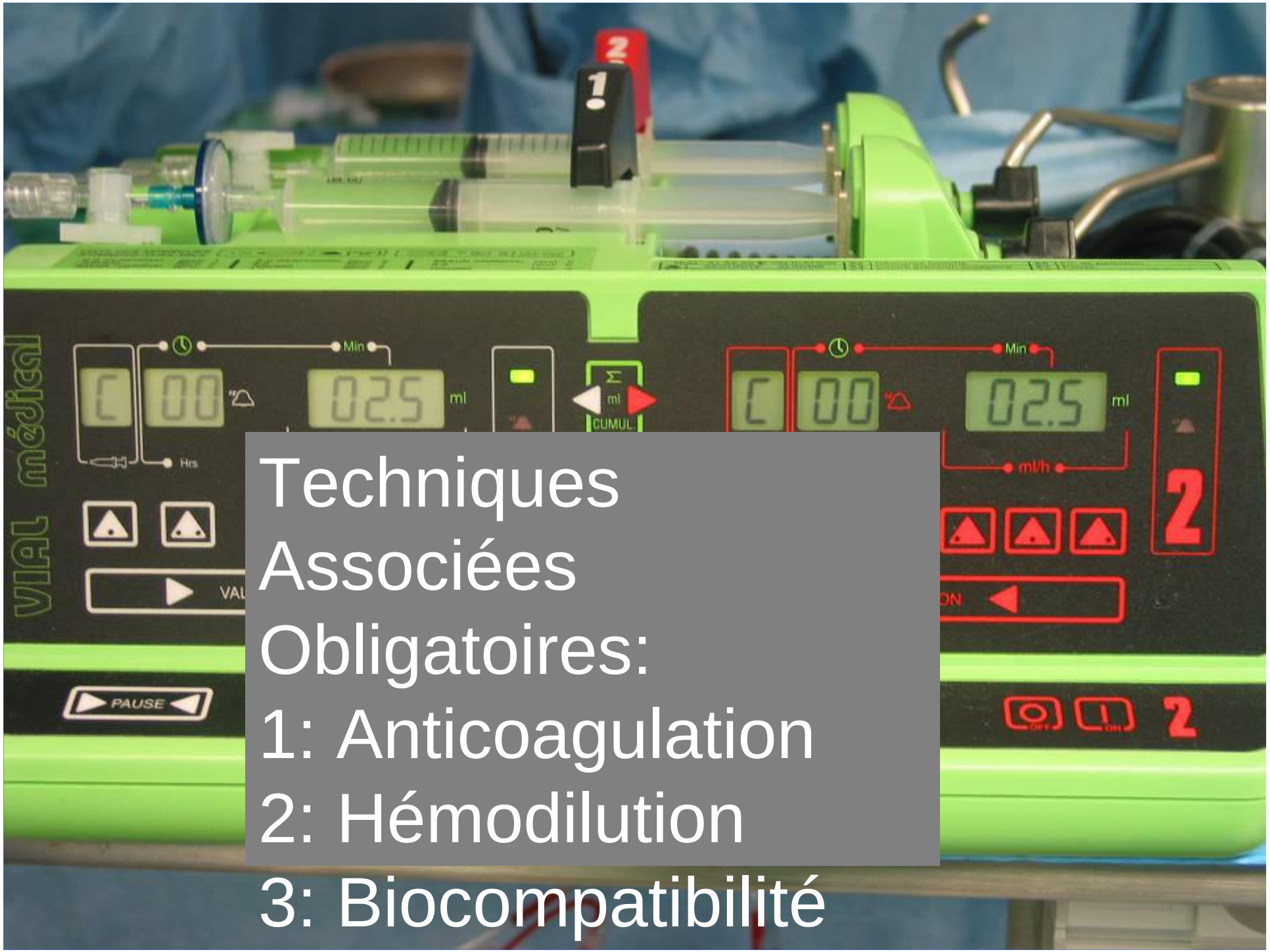
FLOW



Principes de la CEC







Techniques Associées Obligatoires:

1: Anticoagulation

2: Hémodilution

3: Biocompatibilité

ACT II
999
999
Canal 1
Moyenne
Canal 2
Différence
Marche
Incubation
Temp °C
36.9
Arrêter
Affichage
Medtronic HemoTec

Effet du volume d'amorçage de la CEC sur l'Hte

Hct CEC = volume patient * Hct patient / volume pt + priming vol

Chez un Nné de 3kg:

		pre CPB hematocrit(%)		
		44	40	35
priming Volume (ml)	400	18	17	15
	300	22	20	17,5
	200	26	24	21
	150	29	26	23
	100	33	30	26

Hct pdt CEC

The influence of hemodilution on outcome after hypothermic cardiopulmonary bypass: results of a randomized trial in infants Jonas RA, Wypij D, Roth SJ, Bellinger DC, Visconti KJ, du Plessis AJ, Goodkin H, Laussen PC, Farrell DM, Bartlett J, McGrath E, Rappaport LJ, Bacha EA, Forbess JM, del Nido PJ, Mayer JE Jr, Newburger JW.J Thorac Cardiovasc Surg. 2003 Dec;126(6):1765-74

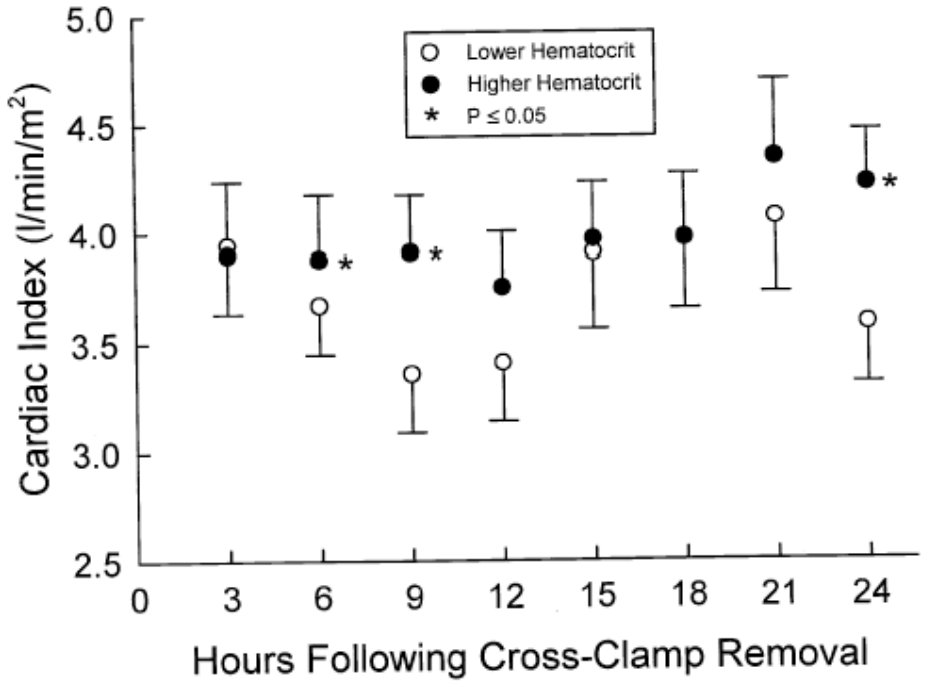
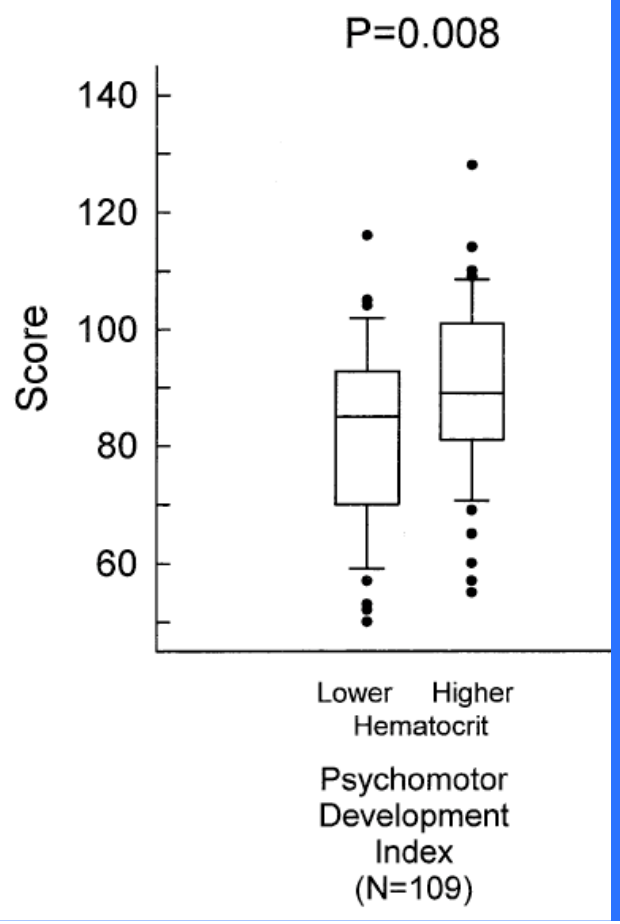


Figure 2. Plot of serial measurements of cardiac index, as determined by using the thermodilution technique. Values are depicted as the mean • 1 SD. Not all patients had measurements in all time periods; however, only those with measurements in at least 4 time periods were included in analyses. After adjustment for diagnostic group, statistically significant differences were found at 6, 9, and 24 hours after removal of the aortic crossclamp.

The influence of hemodilution on outcome after hypothermic cardiopulmonary bypass: results of a randomized trial in infants. Jonas RA, Wypij D, Roth SJ, Bellinger DC, Visconti KJ, du Plessis AJ, Goodkin H, Laussen PC, Farrell DM, Bartlett J, McGrath E, Rappaport LJ, Bacha EA, Forbess JM, del Nido PJ, Mayer JE Jr, Newburger JW.J Thorac Cardiovasc Surg. 2003 Dec;126(6):1765-74



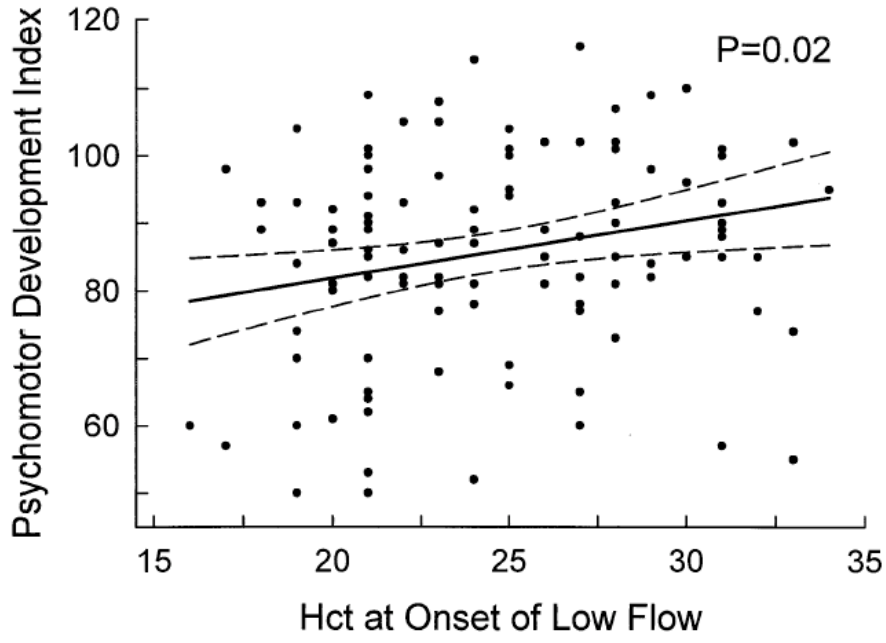
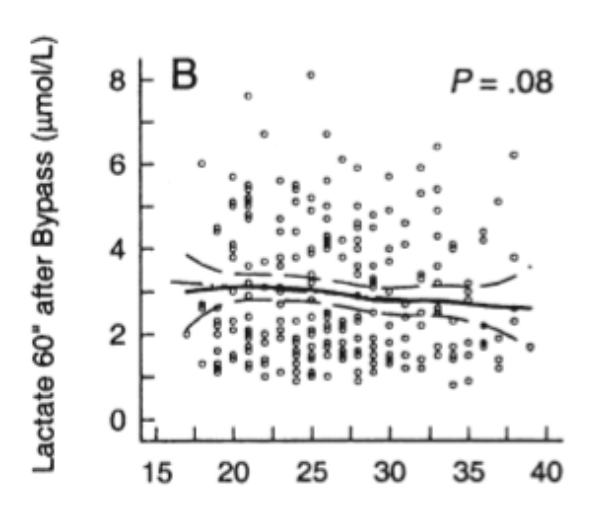
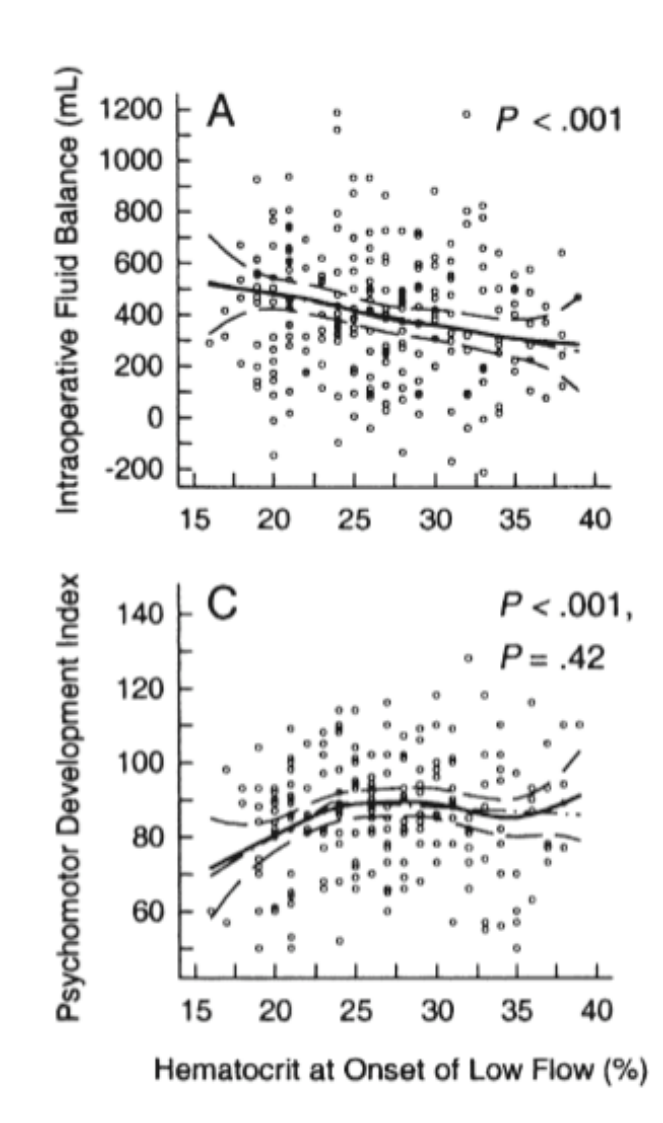


Figure 4. Scatterplot of PDI scores at age 1 year as a function of hematocrit level at the onset of low-flow bypass. The solid line was derived by means of linear regression of the data, and the dashed lines delimit the 95% confidence interval. Diagnosis was not predictive of this outcome. The linear regression P value shown is for the effect of hematocrit at the onset of low-flow bypass on outcome, with adjustment for diagnostic group.

The effect of hematocrit during hypothermic cardiopulmonary bypass in infant heart surgery: results from the combined Boston hematocrit trials.

Wypij D, Jonas RA, Bellinger DC, Del Nido PJ, Mayer JE Jr, Bacha EA, Forbess JM, Pigula F, Laussen PC, Newburger JW.J Thorac Cardiovasc Surg. 2008 Feb;135(2):355-60





• Albumin versus crystalloid priming for pediatric CPB, 2002 Dec;30(12):2649-54. Riegger LQ, Voepel-Lewis T, Kulik TJ, Malviya S, Tait AR, Mosca RS, Bove EL.Crit Care Med.

• High colloid oncotic pressure priming of CPB in neonates and infants : implications on weight gain and renal fonctionLoeffelbein F, Zirell U, Benk C, Schlensak C, Dittrich S.Eur J Cardiothorac Surg. 2008 Sep;34(3):648-52

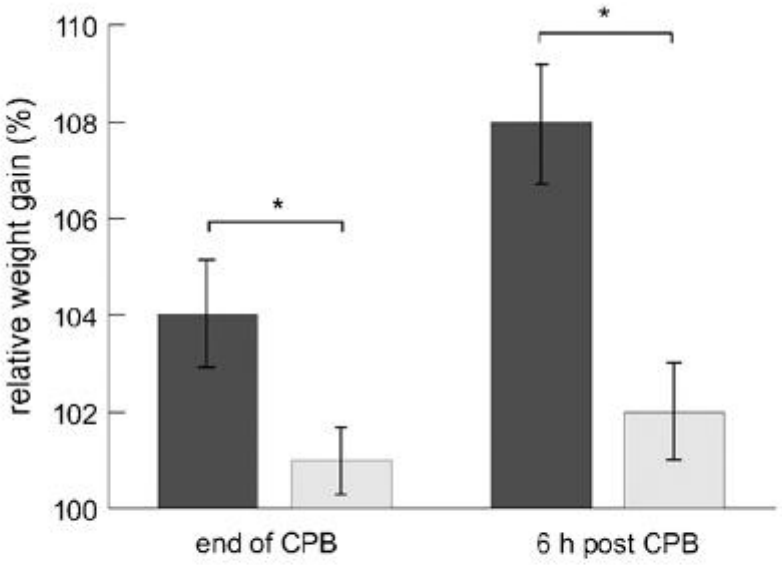


Fig. 3. Relative weight gain. FFP-group is shown in dark, HA-group in light grey. Error bars indicate standard errors of the mean. Weight gain is lower in the HA-group than in the FFP-group directly after and 6 h post CPB ($p = 0.015$).

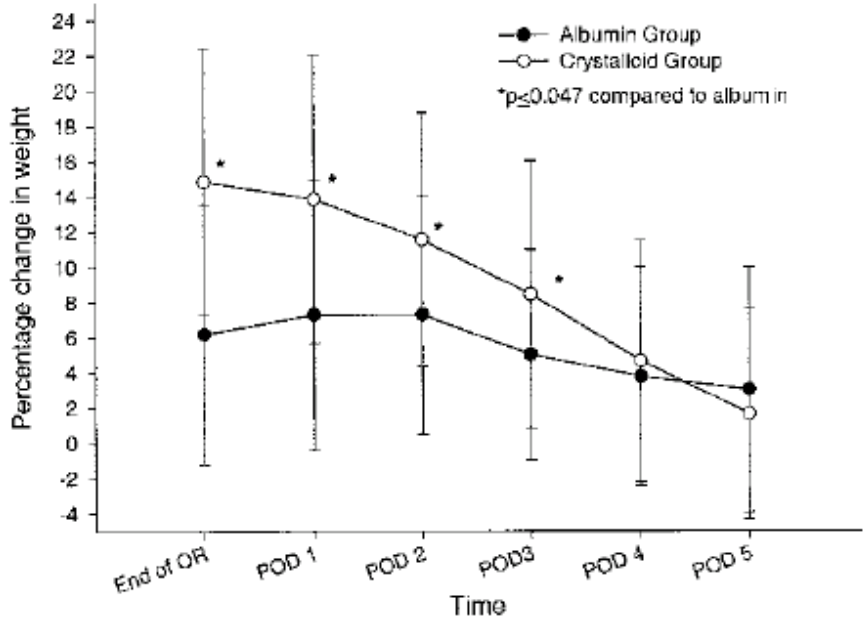


Figure 4. Percentage change in weight from baseline. *End of OR*, immediately before leaving the operating room; *POD*, postoperative day.

But des techniques de CEC pédiatrique

❖ S'adapter à l'enfant, à sa pathologie et à la technique chirurgicale

- **Préparer une réanimation simple et courte**
  - ❖ En palliant l'immaturité des organes
  - ❖ En prévenant et en traitant les réactions liées à la bio incompatibilité de la CEC qui peuvent être exacerbées en période néonatale

Le retentissement de la CEC est particulièrement important sur le poumon, le myocarde, le cerveau et s'accroît en cas de prématurité

Pourquoi la CEC est elle différente en pédiatrie?

- Age => Maturité incomplète des organes
- Le poids , la surface, la volémie sont réduits
  => le matériel, l'hémodilution (25 à 300%)
- Cardiopathies complexes avec réparations intracardiaques
  =>CEC & clampage aortique prolongés

Particularités du fait de l'âge

La notion de maturité varie selon les organes :

Le foie et le sang rapidement matures

Le cerveau au delà de l'enfance.

On distingue de façon arbitraire :

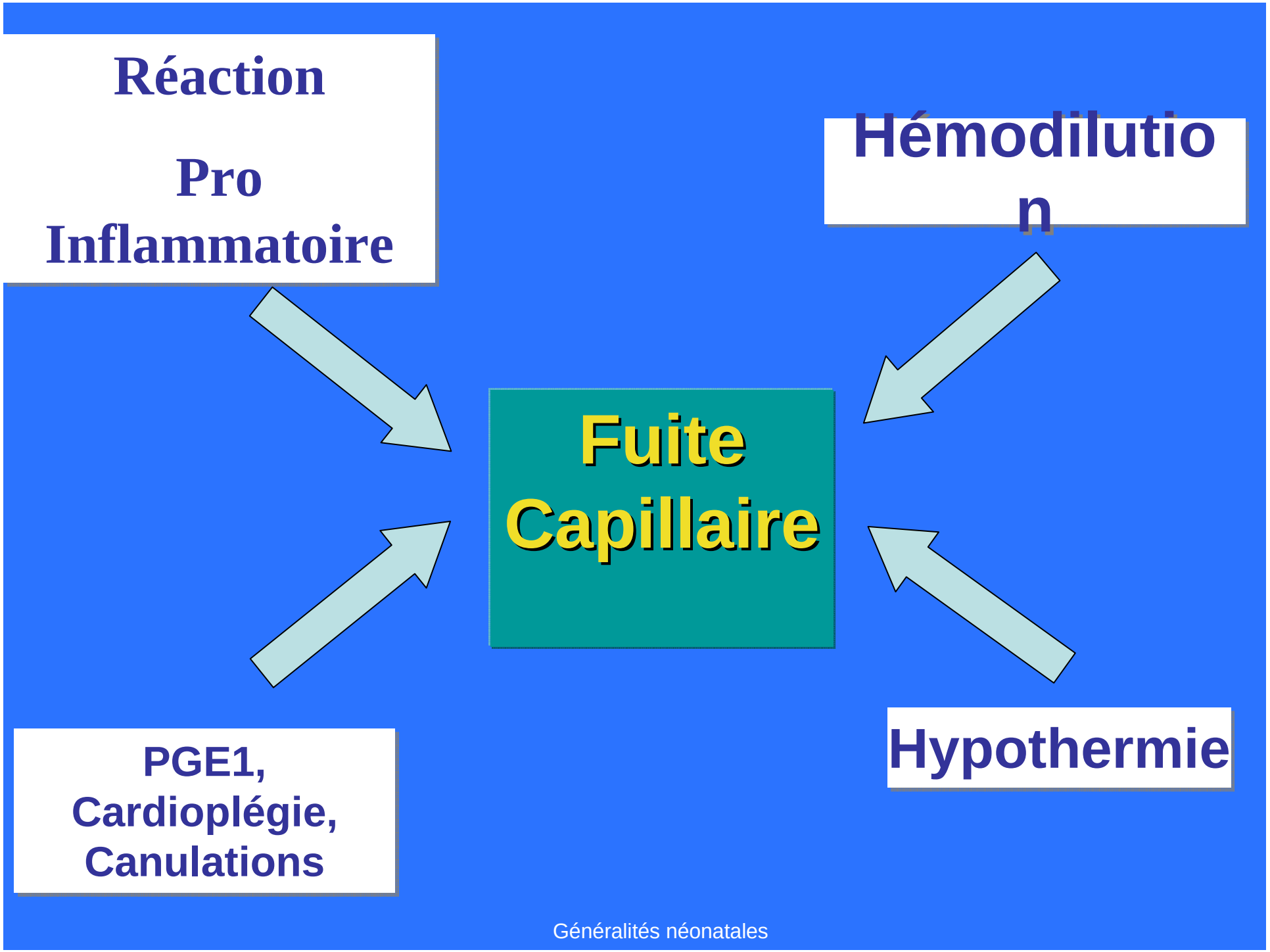
- Les Nouveaux nés avant 1 mois,
- Les Nourrissons entre 1 et 12 mois
- Les Enfants au delà de 12 mois.

Particularités du fait du poids : de 1,8 à 80 kg !!

- Le choix du matériel à utiliser
- Le volume d'amorçage de la CEC
- L'intensité de l'hémodilution
- Les stocks = le coût

Particularités du fait de la pathologie => choix d'une stratégie

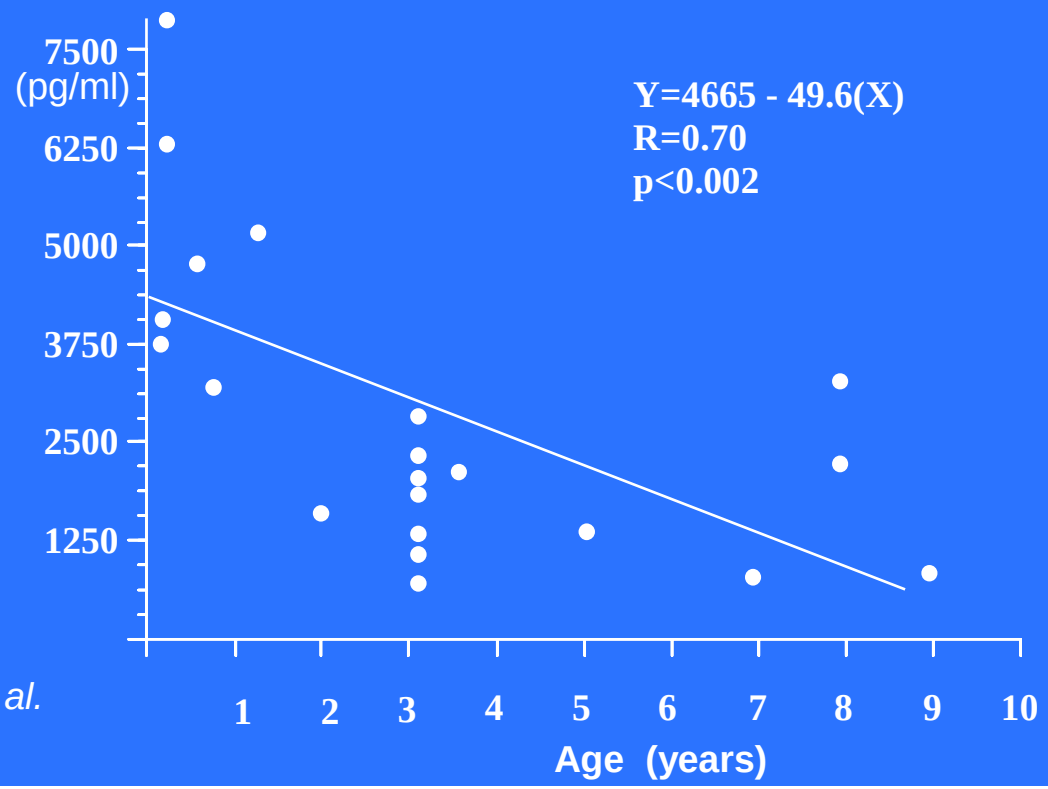
- Avec ou sans CEC !!!
- Hypothermie
- Technique d'arrêt circulatoire en hypothermie profonde (ACHP).
- Faible débit
- Perfusion cérébrale sélective (PCS)
- Normothermie
- Cardiopathies Cyanogènes ± vieillies


Réaction
Pro
Inflammatoire
Hémodilutio
n
Fuite
Capillaire
PGE1,
Cardioplégie,
Canulations
Hypothermie

Déséquilibre pro inflammatoire

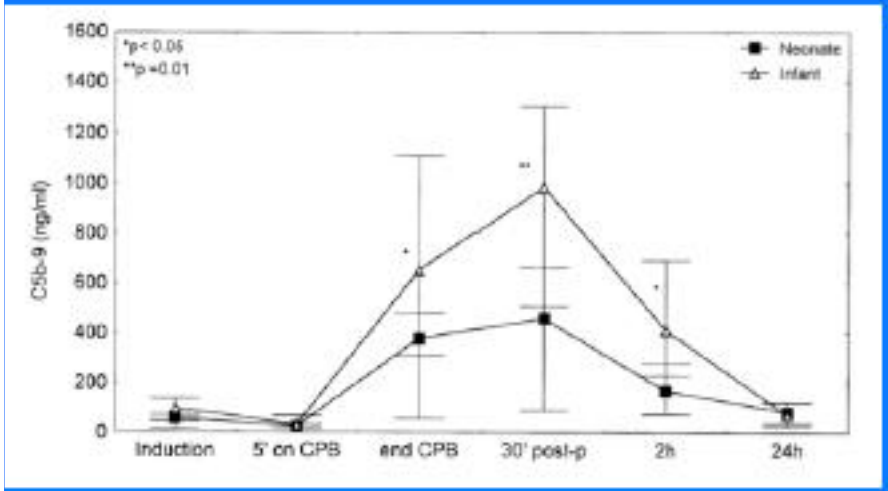
Rapport Volémie du nouveau né /la surface des matériaux non biologiques élevé => activation plus importante des cascades de la réaction inflammatoire et de la coagulation.

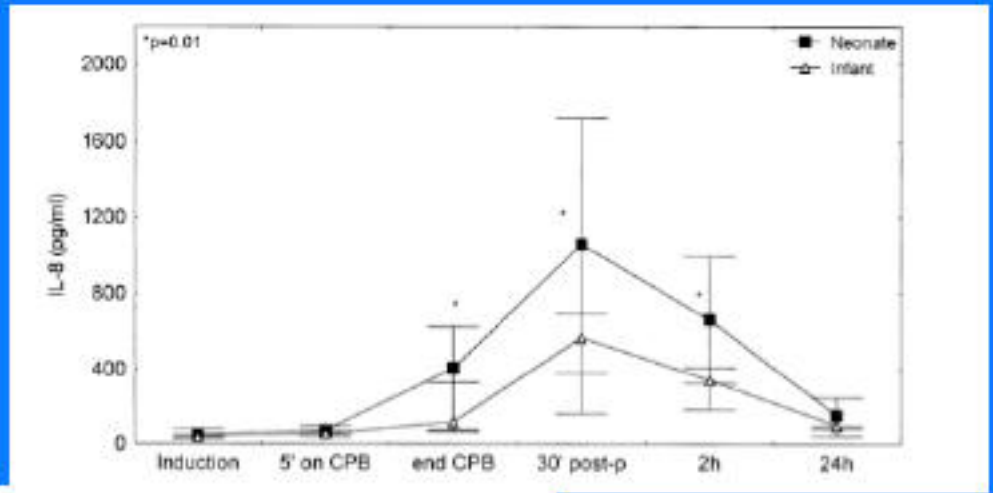
Thromboxane
Endothélines
Cathécholamine

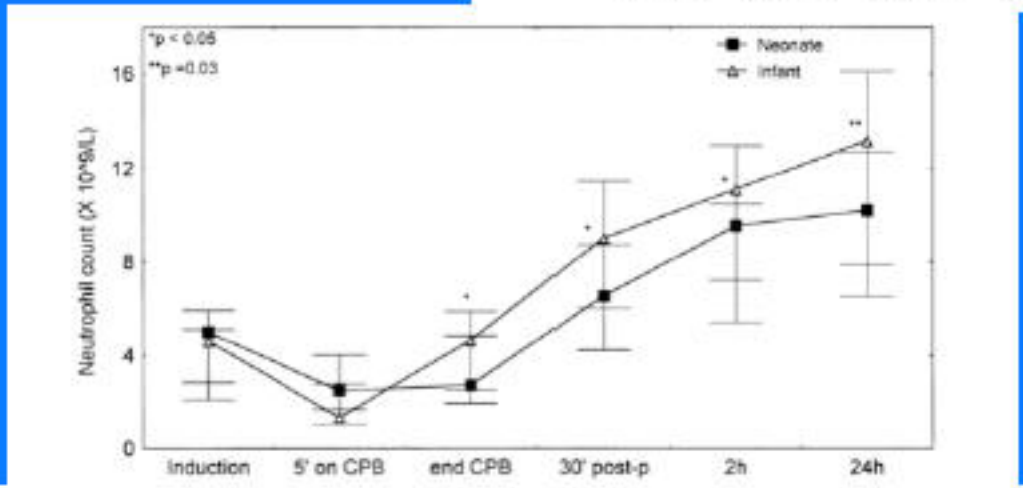


JW Greeley et al.
JTCS (1988)

IR more pronounced in younger patients although the balance between pro and anti inflammatory response is well preserved in children.

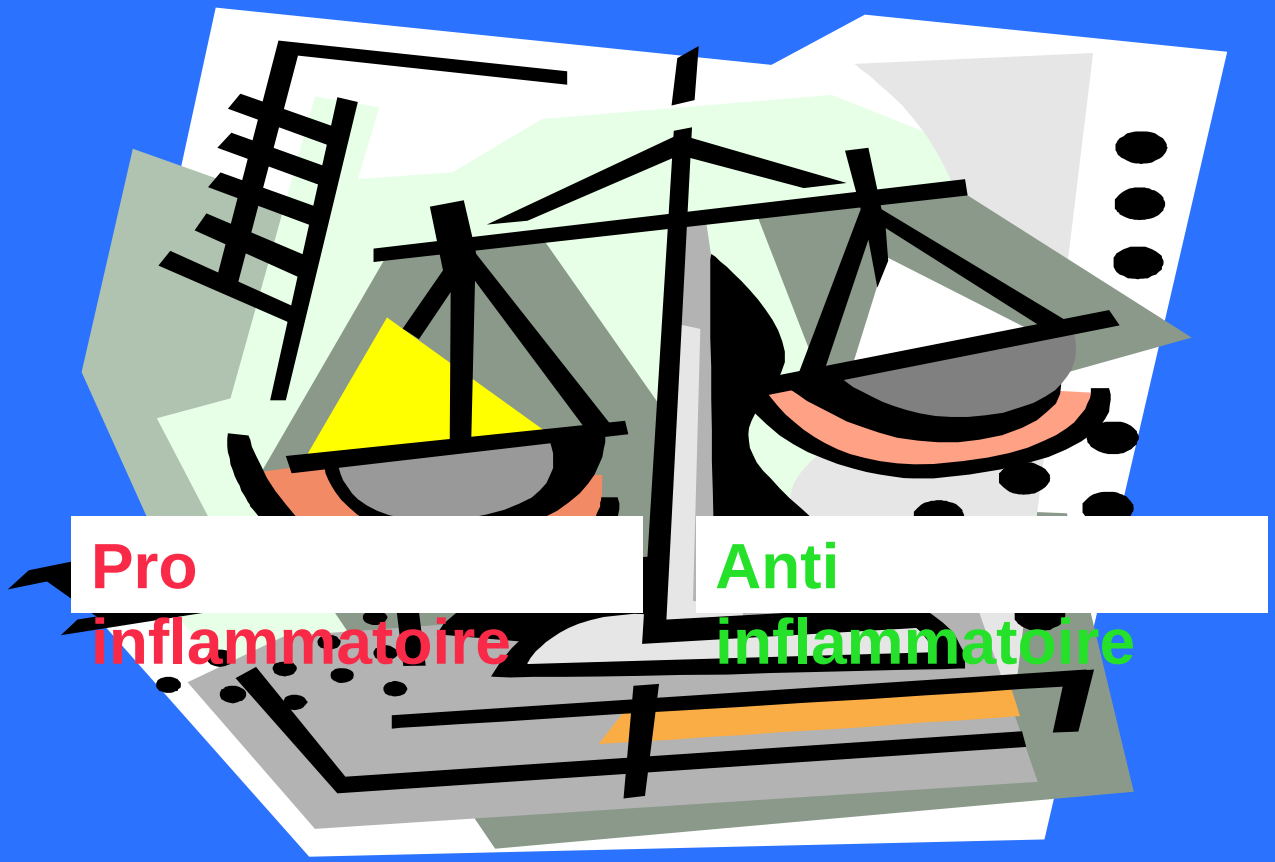






S.S. Ashraf et al. / European Journal of Cardio-thoracic Surgery 12 (1997) 862–868

Deux composantes équilibrées



La réponse naturelle chez les enfants

- Equilibre pro/anti inflammatoire en général préservé chez l'enfant moins chez le Nné
- Quand l' équilibre n'est pas conservé:
  - La composante anti inflammatoire est stable et régulière (étudiée par IL 10, IL1ra, TNFαsr)
  - La composante pro inflammatoire est beaucoup plus irrégulière et inconstante (étudiée par les fractions du complément, les IL 1ß, TNFα, IL6, IL8 , ICAM ….).

Déséquilibre de la réponse inflammatoire

- Emballement de la réponse pro inflammatoire

=> SIRS (systemic inflammatory response syndrome)

=> Complications viscérales: Poumons, cœur, rein, cerveau.

- Emballement de la réponse anti inflammatoire

=> Immuno déficience

=> **Infections, retard de cicatrisation.**

- Seulement un petit pourcentage d'enfants mais de nbx Nnés développent un SIRS post opératoire.
- Nous sommes incapables de les répérer en pré opératoire.
- Il est donc normal d'essayer toutes les techniques qui peuvent diminuer l'intensité de SIRS

CEC

Chirurgie

Incision

Ischemia reperfusion

temperature

Anesthésie

Ecomplexe Héparin protamin
Etirement alvéolaire
ponction vasculaire

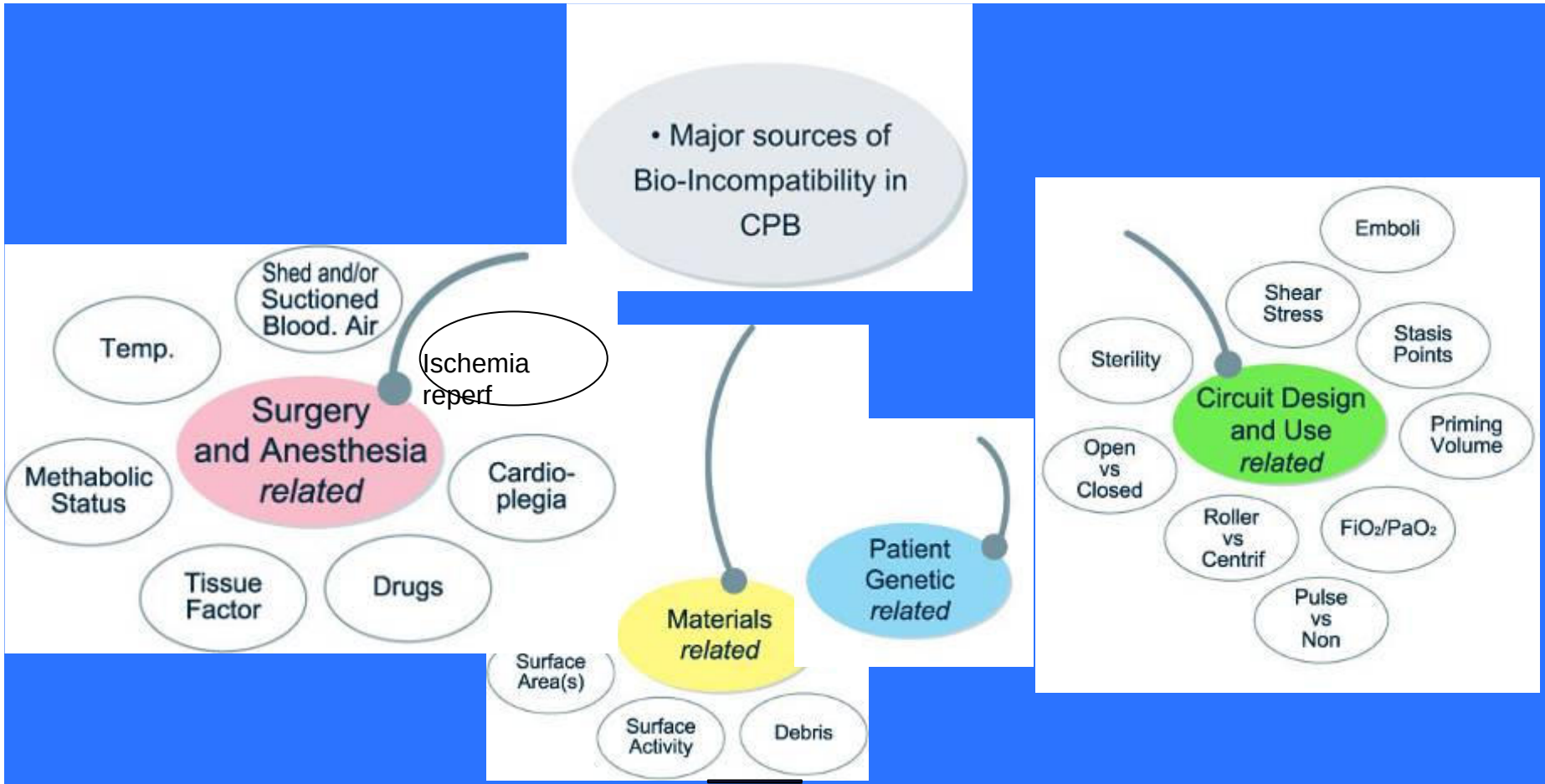
Facteurs
Pré opératoires

Causes Multifactorielles

- Facteurs Pré opératoires :
  - Période néonatale : organes immaturité des organes & métabolique demande métabolique plus élevée
  - Polymorphisme Génétique : phénotype OOBB du C4, 4G/5G of PAI, Ee4 allèle des apolipoprotéines
  - Malformations complexes: T21, cyanose
  - Inflammation, défaillance cardiaque
- Facteurs per opératoires :
  - CEC :Plus grande exposition aux surfaces artificielles et Durée de la CEC
  - Chirurgie, transfusion, lésions d'ischémie-reperfusion

- La part de la CEC dans la Réponse Inflammatoire en chirurgie cardiaque pédiatrique <u>est certaine mais variable</u>

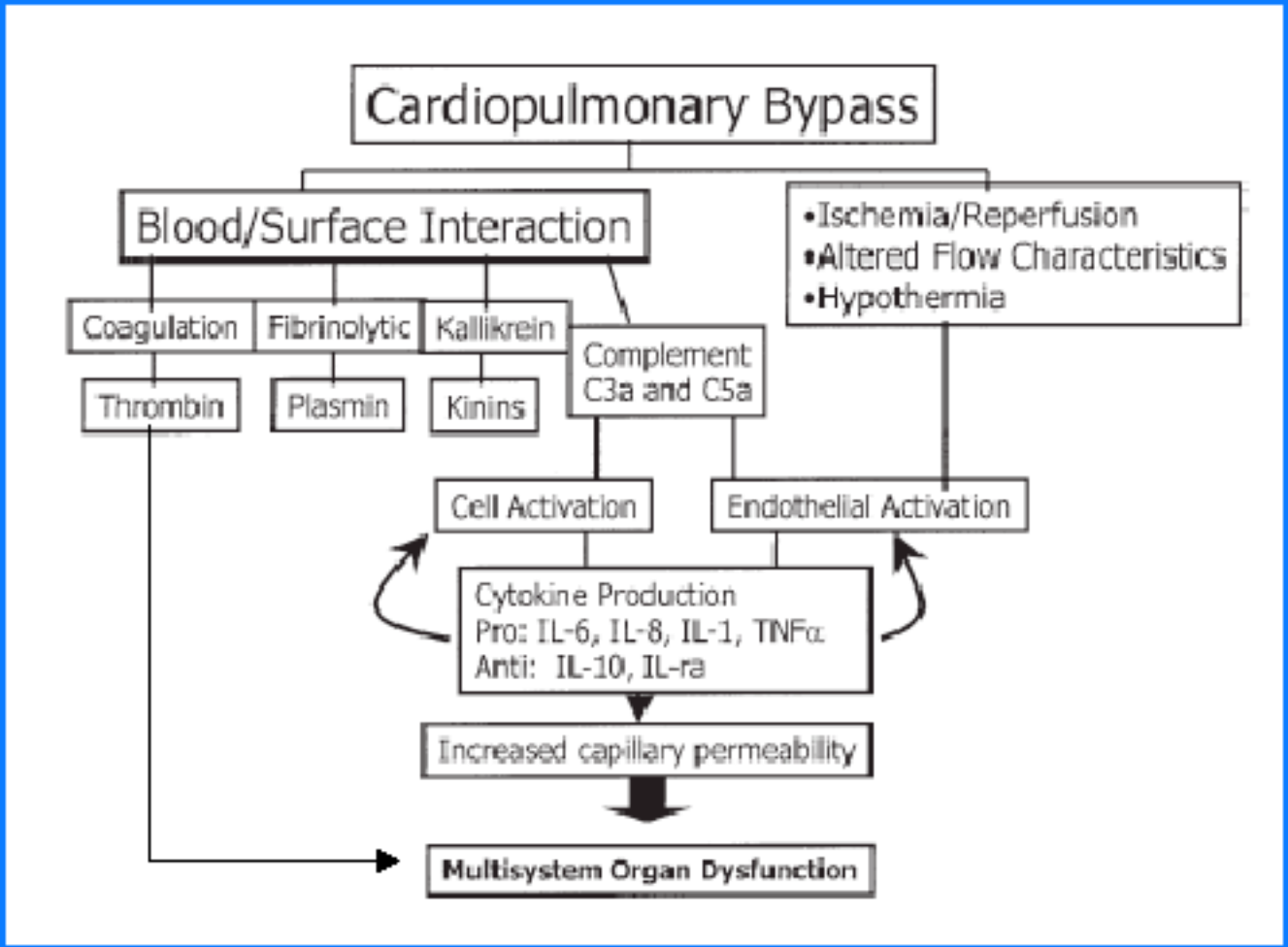
- La Réponse Inflammatoire intervient peu dans la mortalité, (< 0,2%), mais probablement bcp plus dans la morbidité, particulièrement pulmonaire, myocardique et rénale.



Coagulation	Inflammation	endothelium

Peut conduire à fuite capillaire, saignement et bas débit,
Défaillance multiviscérale => morbidité post opératoire

Impacte de la CEC



- Bio incompatibilité liées aux matériels et au circuit:
  - Contact Sang-matériels
  - Architecture du circuit (shear stress)
  - Priming
  - Contact air-sang
- Bio incompatibilité indépendante du matériel:
  - Polymorphisme Génétique
  - Activation Tissulaire et aspiration
  - Complexes Héparine protamine
  - Ischemie reperfusion
  - Endotoxine et absence de pulsatilité

On peut diminuer l'impact de la CEC chez le nouveau né en :

1- Miniaturisant le circuit

2- éliminant les composants toxiques

3- Préparant les surfaces non biologiques

4- Diminuant les forces de contraintes

5- Réduisant le contact air-sang

6-Améliorant l'anticoagulation

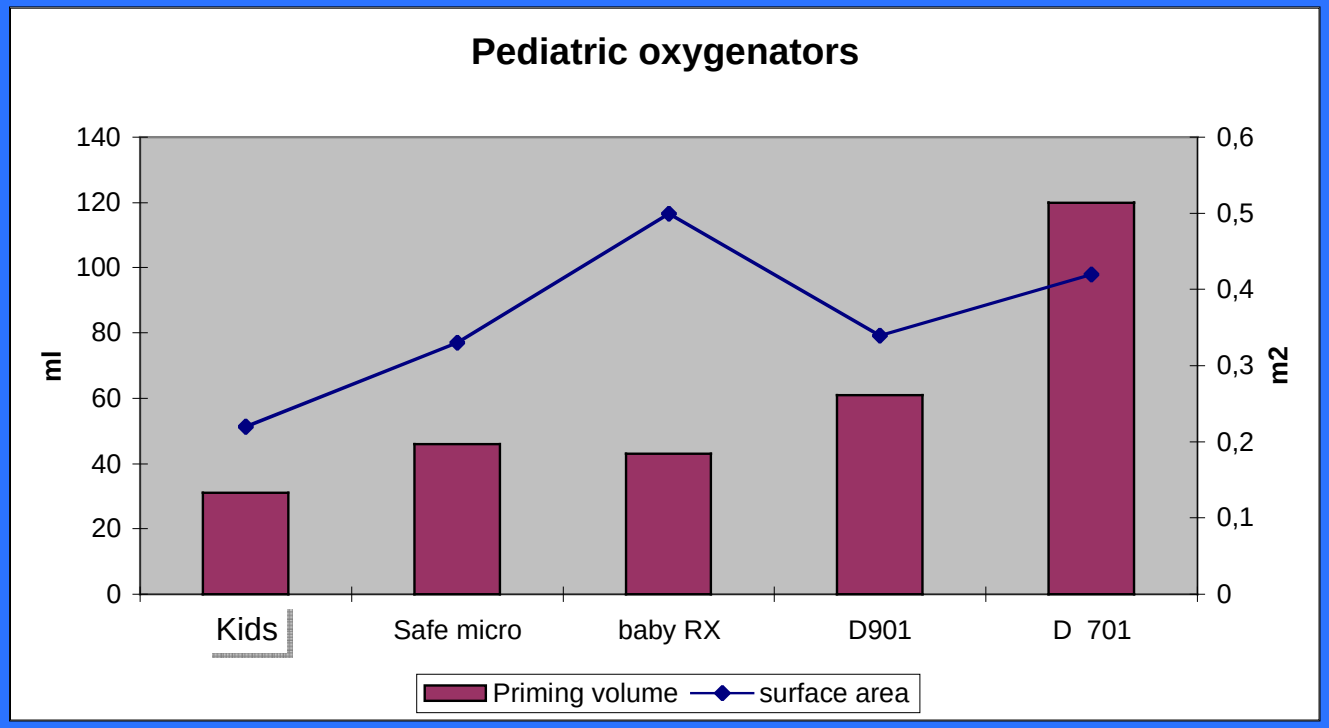
1/ Miniaturisation

- Pour réduire la surface de contact sang-matériel
- Pour diminuer le priming (volumed'amorçage)
- Pour réduire la transfusion sanguine
  - Blood transfusion-induced immunomodulation

    Landers Anesth Analg1998
  - Exacerbated by storage and DHCA

- Impact of blood transfusions on inflammatory mediator release in patients undergoing cardiac surgery. Fransen E et al, Chest,1999
- Lau CL et al, Perfusion 1999 => 107 ml
- Durandy Y, ASAIO J. 2007 => 140 ml
- Prepocessing stored Red Cells: kinines, IL, potassium, lactates
- Liu J ASAIO J 2007, Shimpo H Shock 2001:Ultrafiltration of the priming blood before cardiopulmonary bypass attenuates inflammatory response and improves postoperative clinical course in pediatric patients.

Miniaturisation 1988 - 2010



Membrane Surface Area -50%

Priming volume - 75%

ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS

Miniaturisation

- Circuits de faible priming
- Oxygénateur : 31 ml- 40 ml
- Filtre :14 ml- 15 ml,
- Réservoir de Cardiotomie < 20ml

=> volume total ≤ 150ml (voire 100 ml)

31 ml

14 ml

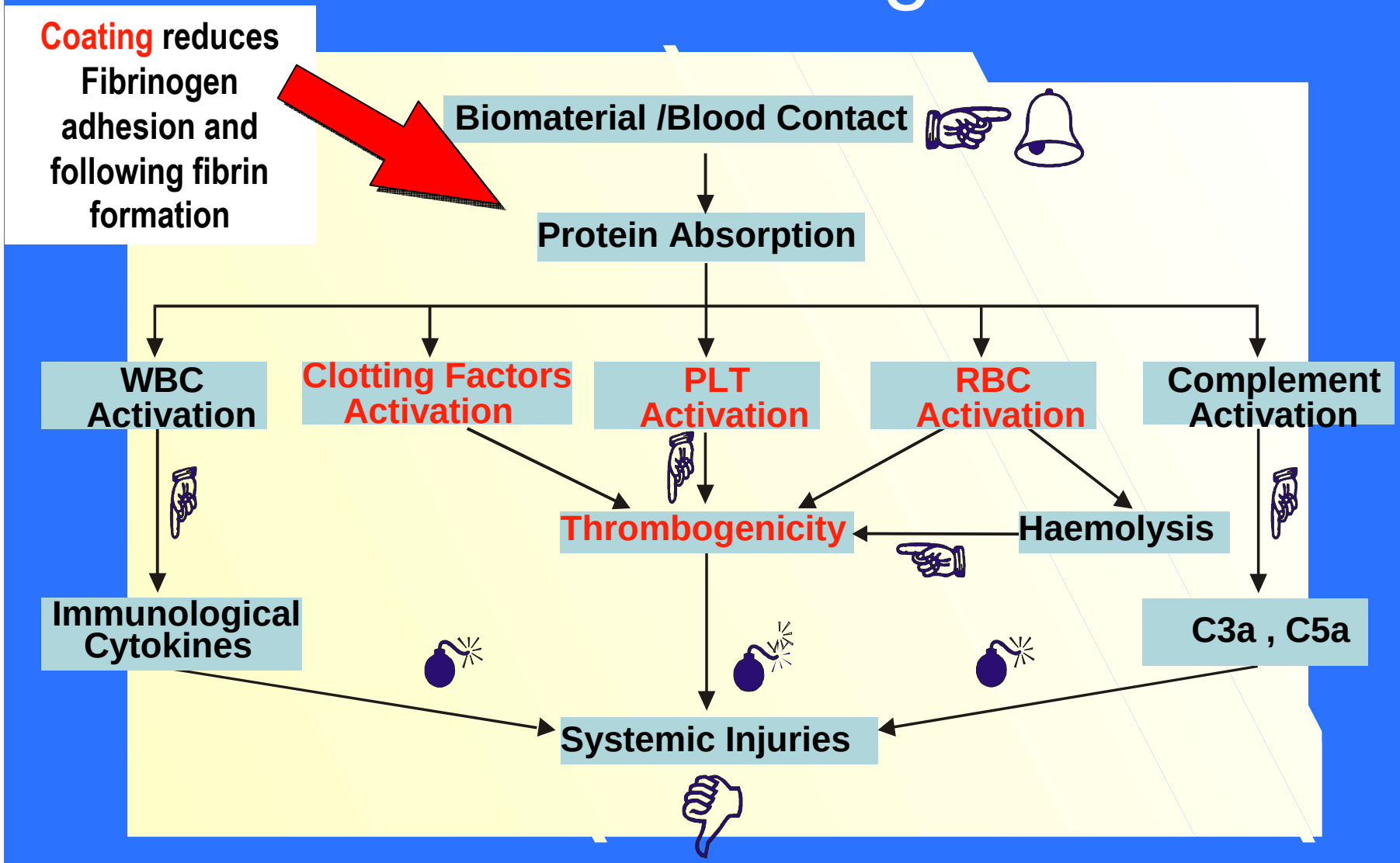
ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS

2/ éliminer les composants toxiques DEHP, Dioxine

- La migration du DEHP, (di-etilhesilphtalate) débute dés la purge du circuit :
  - **interaction avec le système Immunologique** (testicules et infertilité, foie et rein)
- **Polyolefin** est une solution possible
  - O PVC
  - absence de Phtalate – et de diffusion des plastifiants
  - résistance à la coudure(i.e. roller clamp resistant)
  - doux et flexible
  - faible absorption de drogues
  - facilement stérilisable

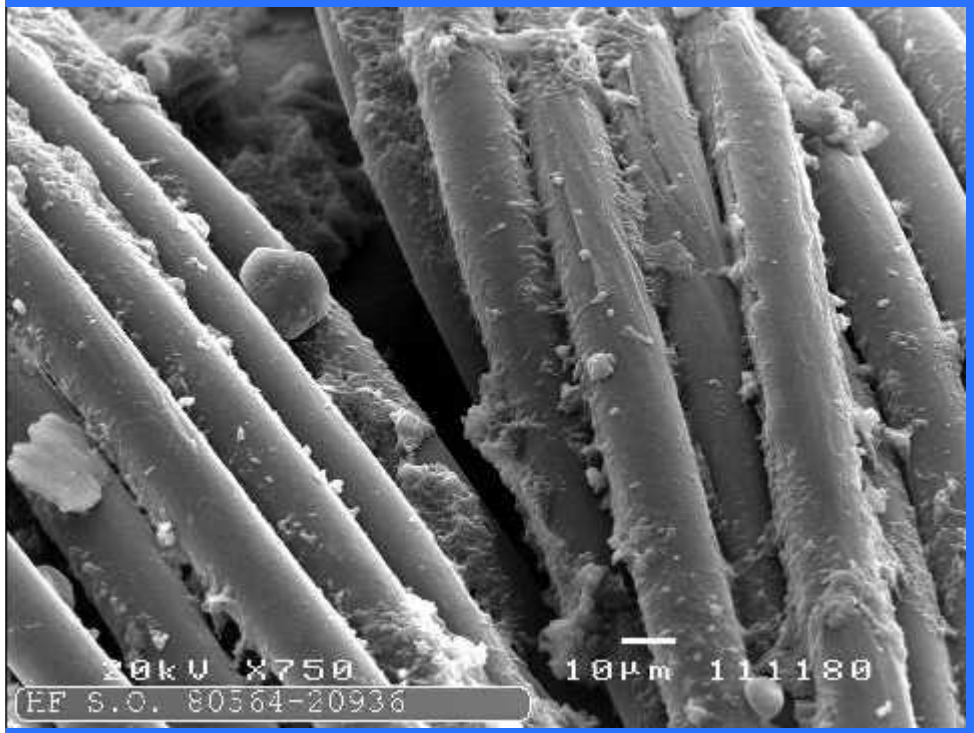
- premières évaluations cliniques

3/ Interactions sang- matériaux

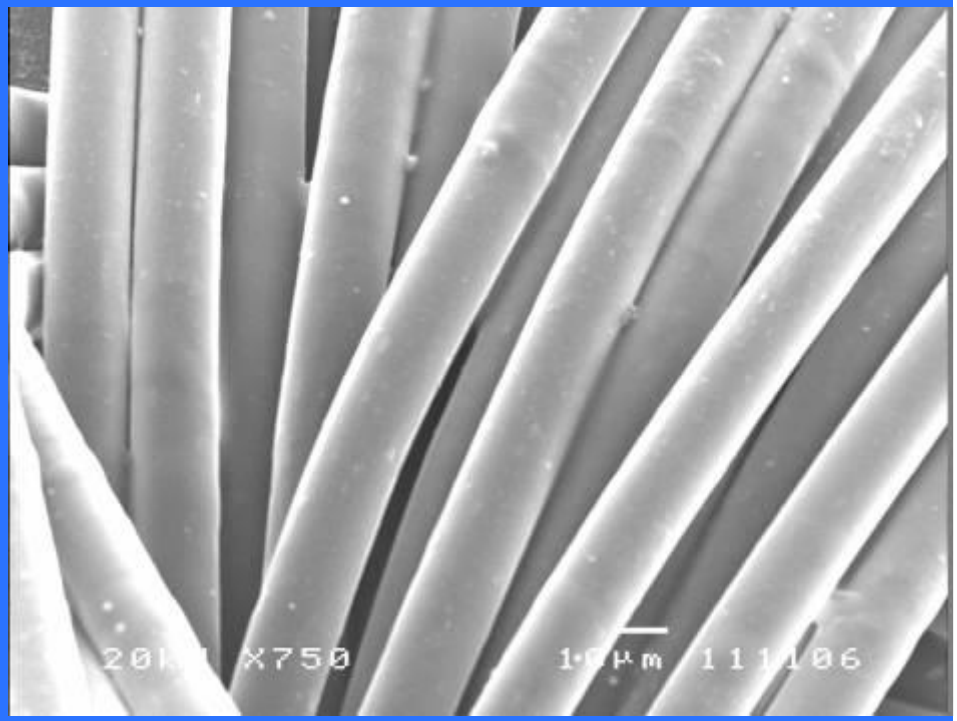


ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS

Standard Hollow Fiber

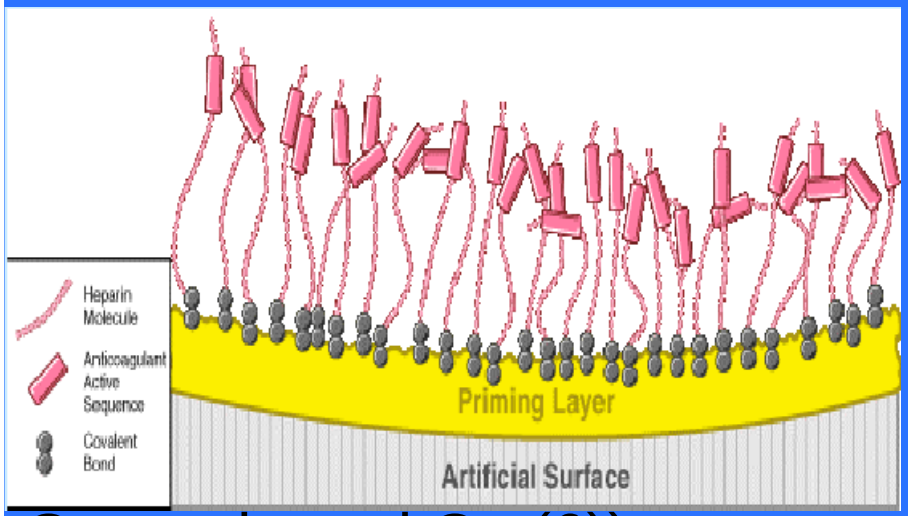


Coated Hollow Fiber

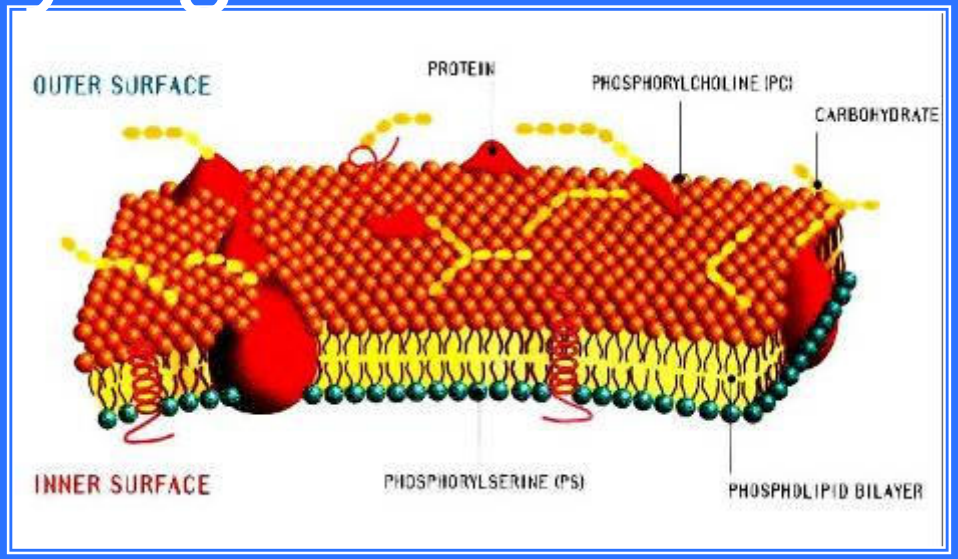


ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS

Surface modifying additives



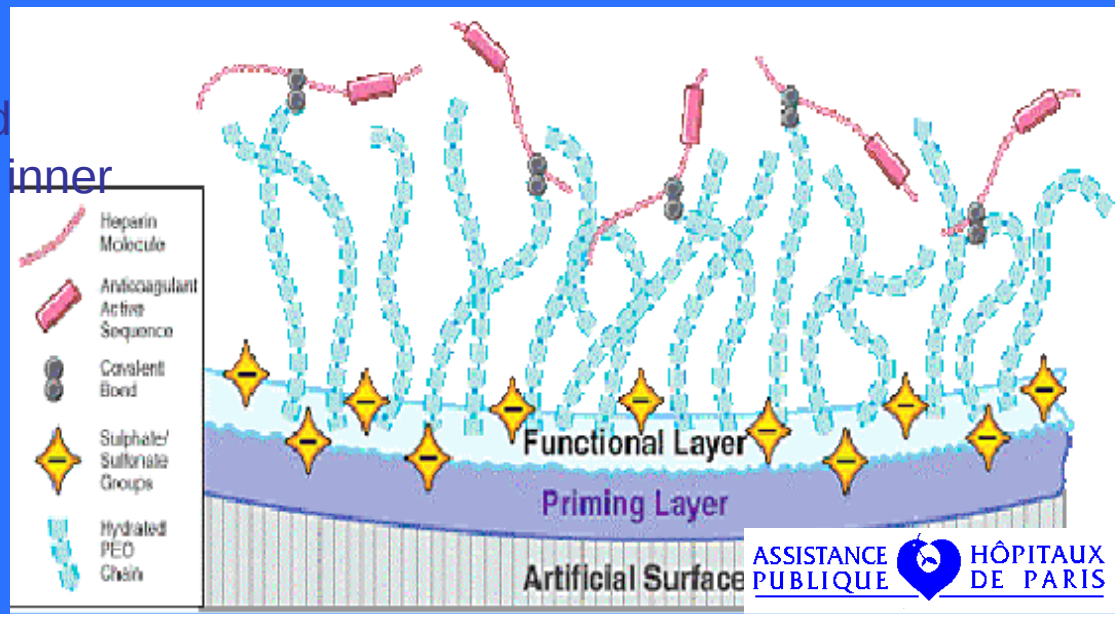
Carmeda and Co (6))



Phosphorylcholine

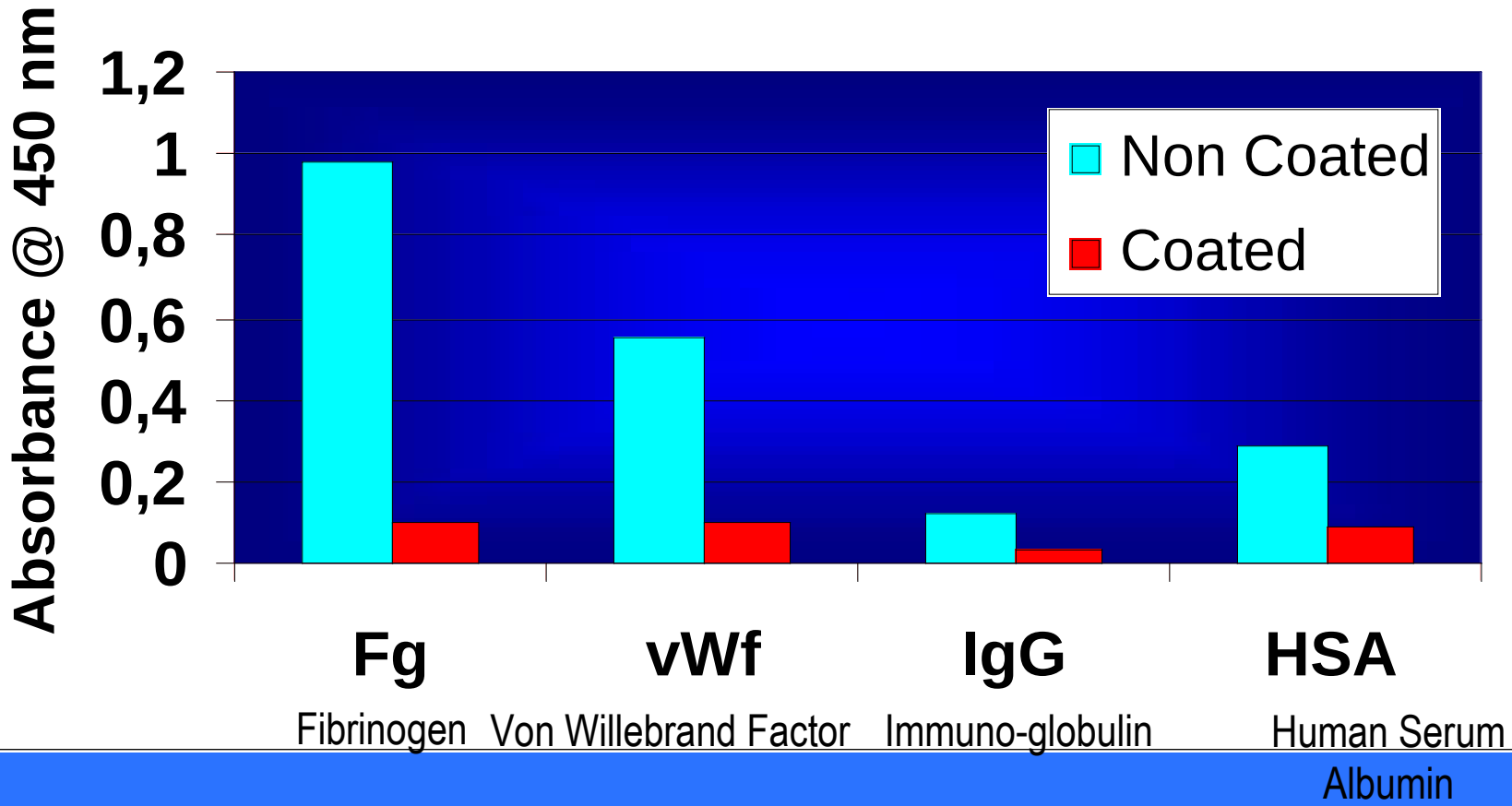
Trillium

- With or without heparin
- Hydrophilic part in contact with blood
- Hydrophobic part in contact with the inner side of the tube



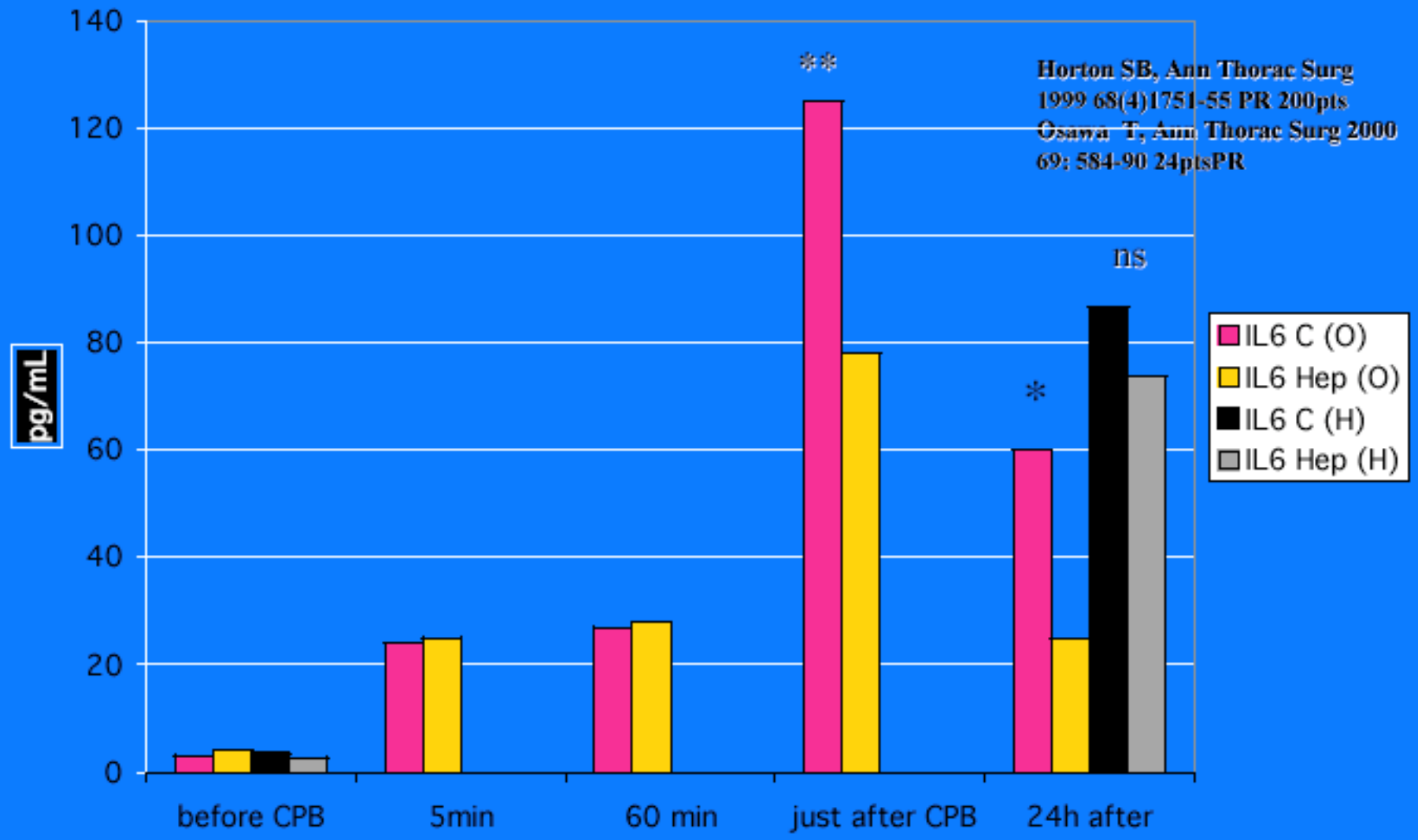
ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS

Protein Adhesion



ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS

Efficacité des coatings sur la libération d' IL6



Etudes Pédiatriques,in vivo, randomisées prospectives

	Year	nb	measurements
Schreurs et al	1998	19	Less plt activation,/ Compl similar
Jensen et al	2004	40	Fibrinolysis reduced/ inflam NA
Grossi et al	2000	23	Less C3aIL8/ IL6 C5a similar
Olsson et al	2000	19	Less C3a, C5b-9 and IL6
Ashraf et al	1997	21	Less C5b-9 and IL6/IL 8 simillar
Horton et al	1999	200	IL6, IL8 similar
Deptula et al	2006	32	Less plt tranfused/ Inflam NA
Harig et al	2006	28	Less plt and monocyte activation

Résultats des coatings en CCP

- Manque d'études en période néonatale mais :

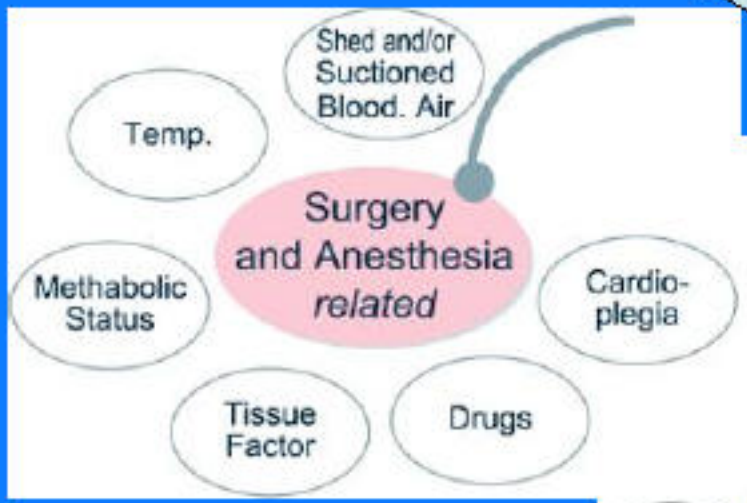
➢ Ces surfaces sont sûres

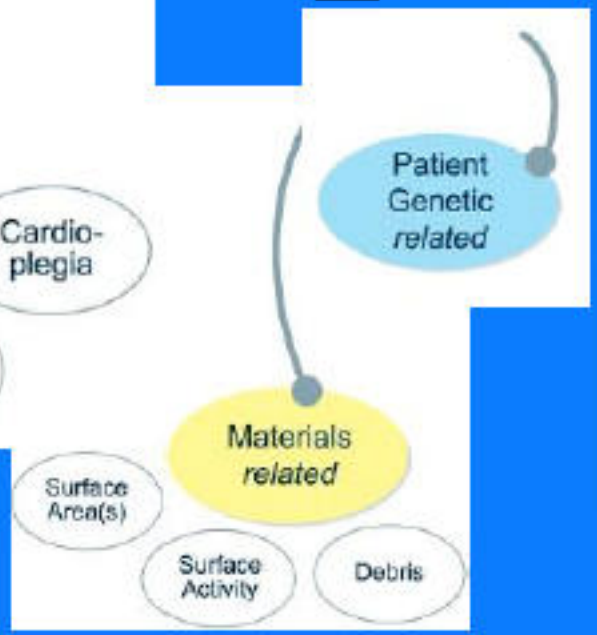
➢ Toutes les techniques sont semblables et moyennement efficaces

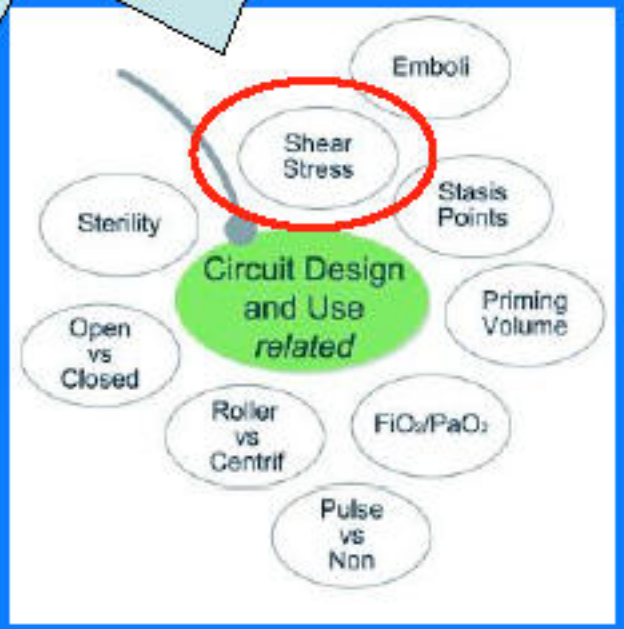
➢ Plus actives sur l'hémostase que sur l'inflammation

Sources majeures d'inflammation pendant la chirurgie cardiaque

Pédiatrique







4/ Les forces de contraintes induisent une activation cellulaire

$\tau > 75$ dynes/cm^2 :

Activation Leucocytaire : sublytic granule release, increased adhesion & aggregation, and decreased phagocytic ability

$\tau > 100$ dynes/cm^2 :

Activation Plaquettaire- granule release, GPIIb/IIIa expression, increased aggregation

$\tau > 2000$ dynes/cm^2 :

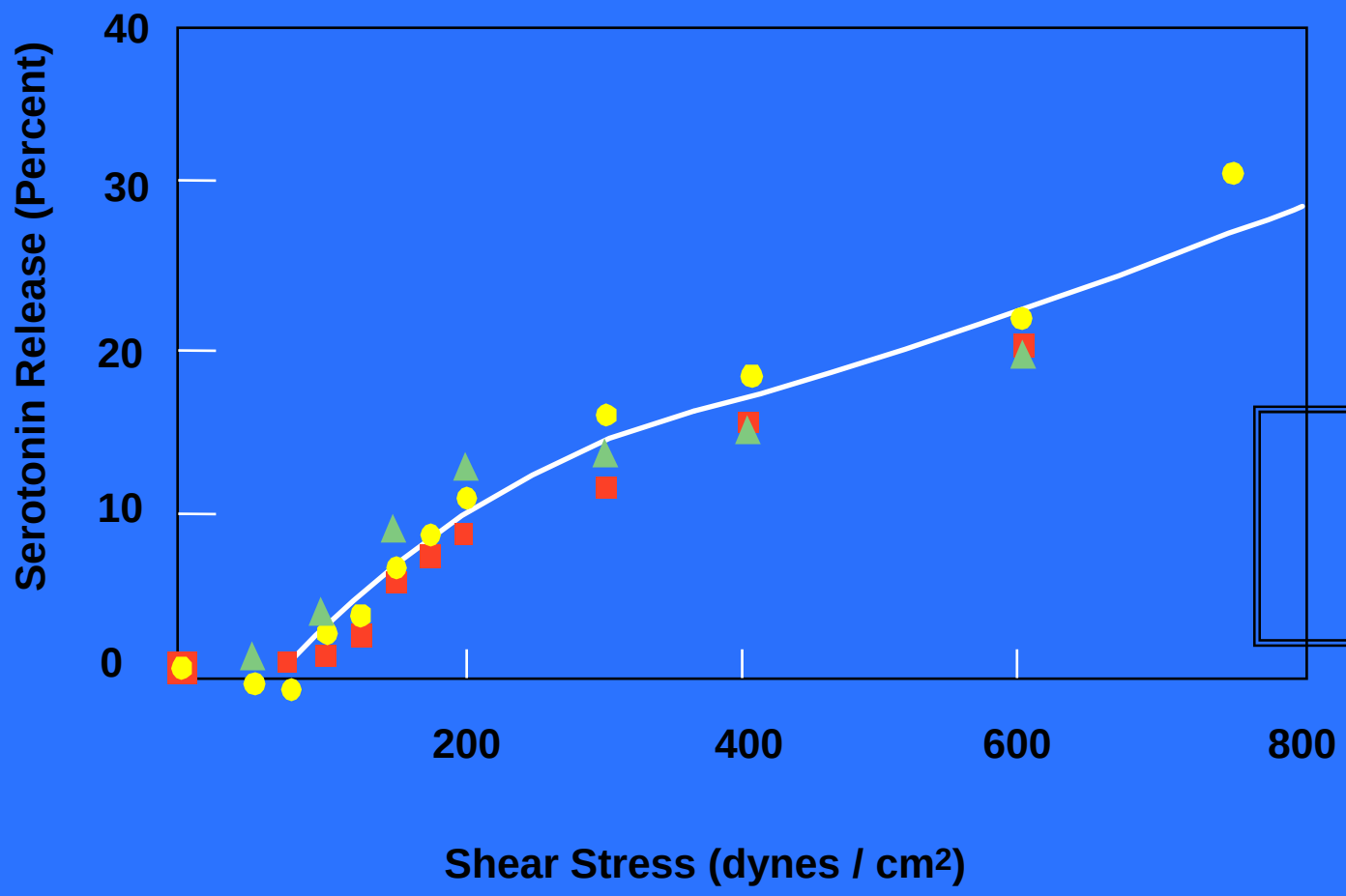
Rupture de la membrane érythrocytaire - **Hemolysis.**

Forces de contraintes **élevées** → **Activation plaquettaire**

Release of SEROTONIN by platelets as a function SHEAR STRESS

(in vitro: conditions: t=5 mn, 3 S/V values = ■ 141 cm-1, ● 87, ▲ 57)

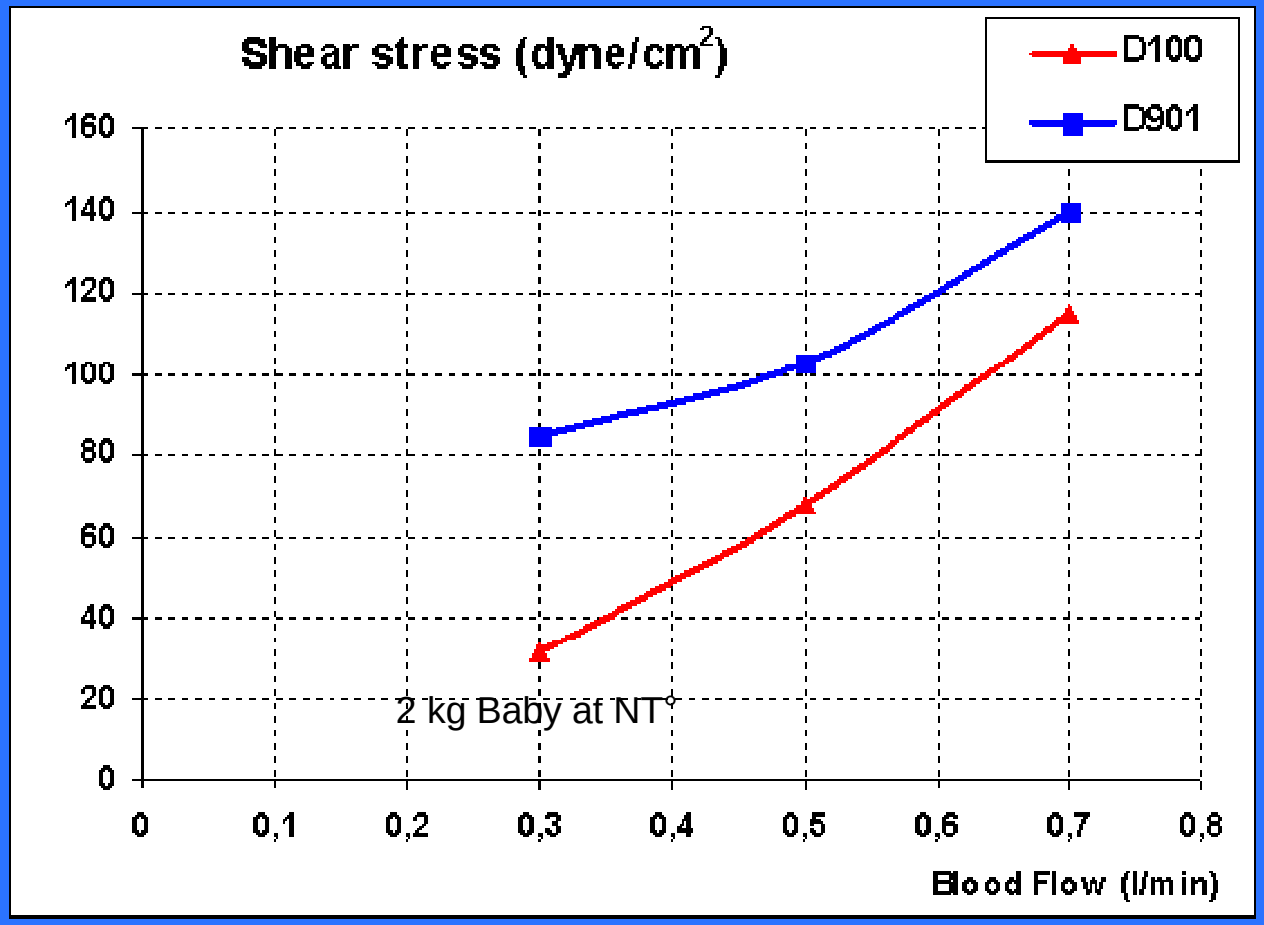
(Hellum & Allan Hardwick)



HIGH SHEAR STRESS = PLATELETS ACTIVATION

ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS

Neonatal Ox 2007 vs Ox 1986: SHEAR STRESS ESTIMATION

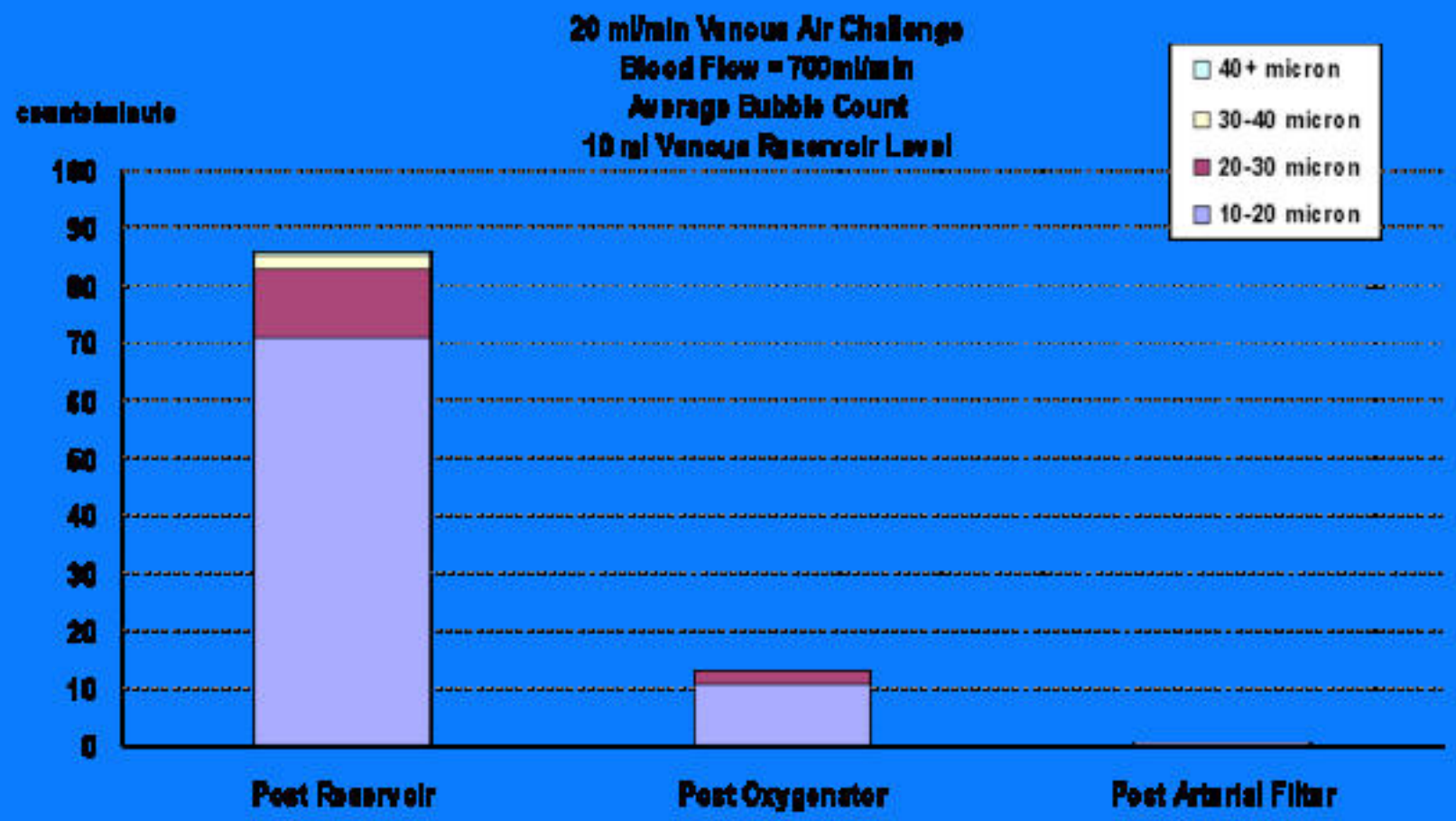


•1/ Improvement of the circuits

ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS

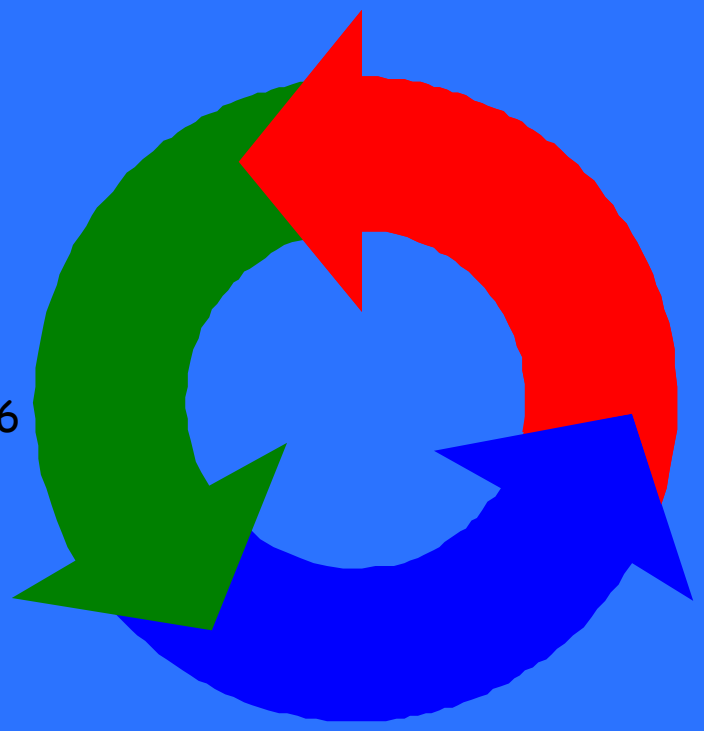
5/ Amélioration contact Air -Sang

Neonatal oxy



Amélioration contact air sang

2: Moins de contact air /sang
=> moins d'inflammation
Cong J J Clin Immunol 1996 Jul;16(4):222-9



1: Circuits Clos
=> contact air/ sang +faible

3 => morbidité& mortalité diminuée
Hauser GJIntensive care Med 1998
Wan S Ann Thorac Surg 1997

•1/ Improvement of the circuits

ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS

6/ Meilleure anticoagulation

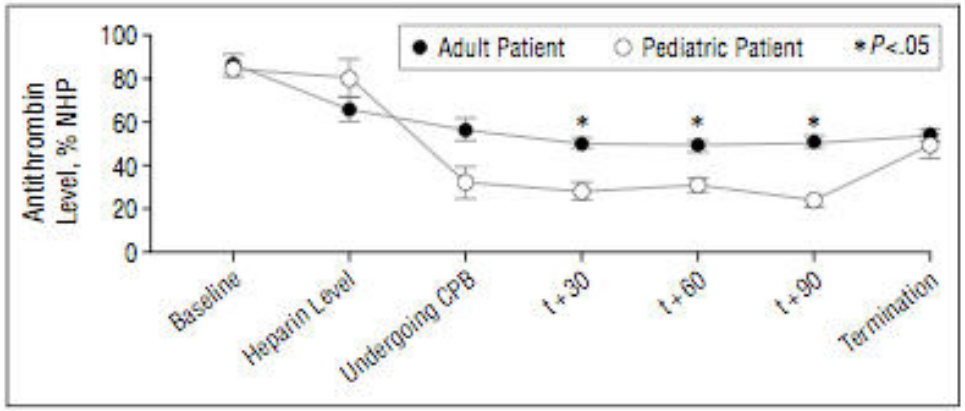


Figure 6. *Antithrombin level in children and adults undergoing cardiopulmonary bypass (CPB) sampled at 30-minute intervals. t+30 indicates test result at 30 minutes; t+60, test result at 60 minutes; and t+90, test result at 90 minutes. NHP indicates normal human plasma.*

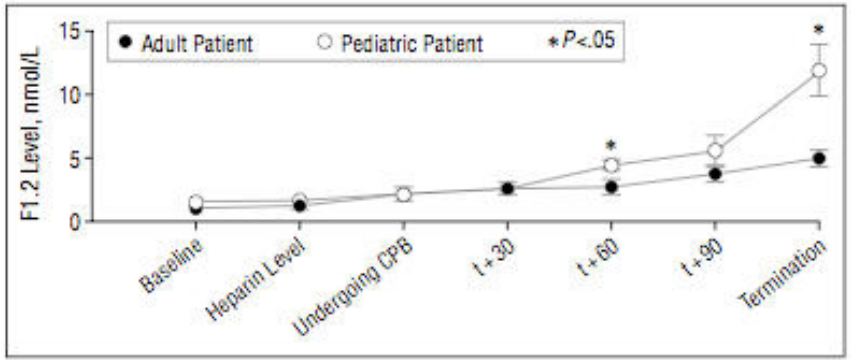


Figure 5. *Prothrombin fragment F1.2 levels in children and adults undergoing cardiopulmonary bypass (CPB) sampled at 30-minute intervals. t+30 indicates test result at 30 minutes; t+60, test result at 60 minutes; and*

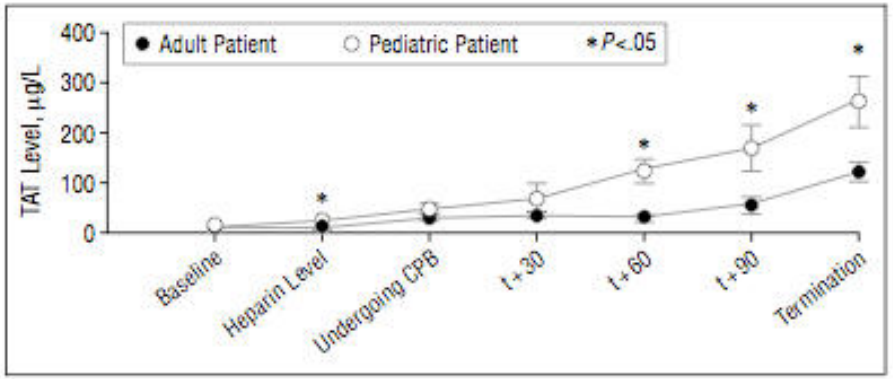


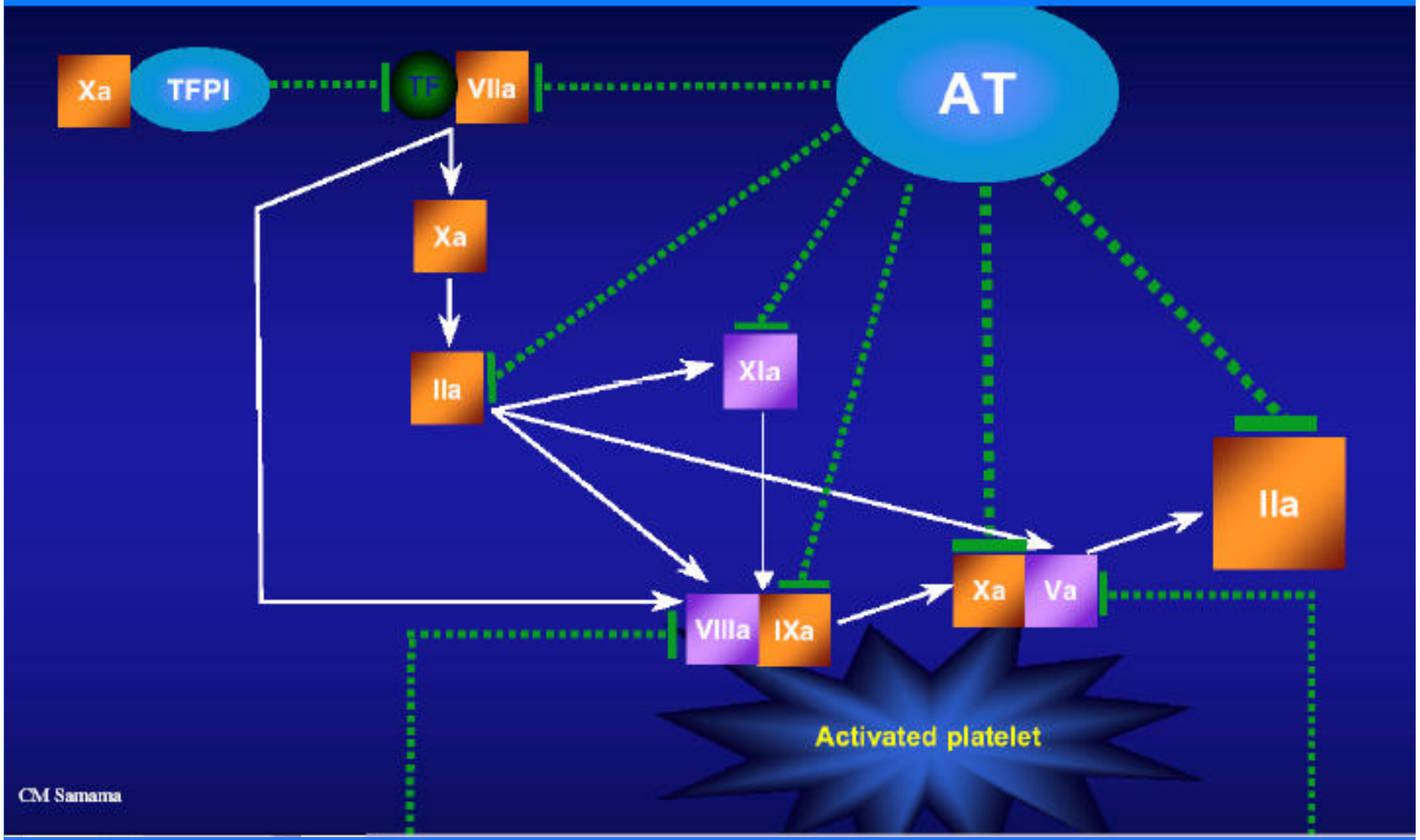
Figure 4. *Thrombin-antithrombin (TAT) complex levels in children and adults undergoing cardiopulmonary bypass (CPB) sampled at 30-minute intervals. t+30 indicates test result at 30 minutes; t+60, test result at 60 minutes; and t+90, test result at 90 minutes.*

- Anticoagulation plus difficile chez les Nouveaux nés
  Plus de thrombine produite
  => plus d'inflammation

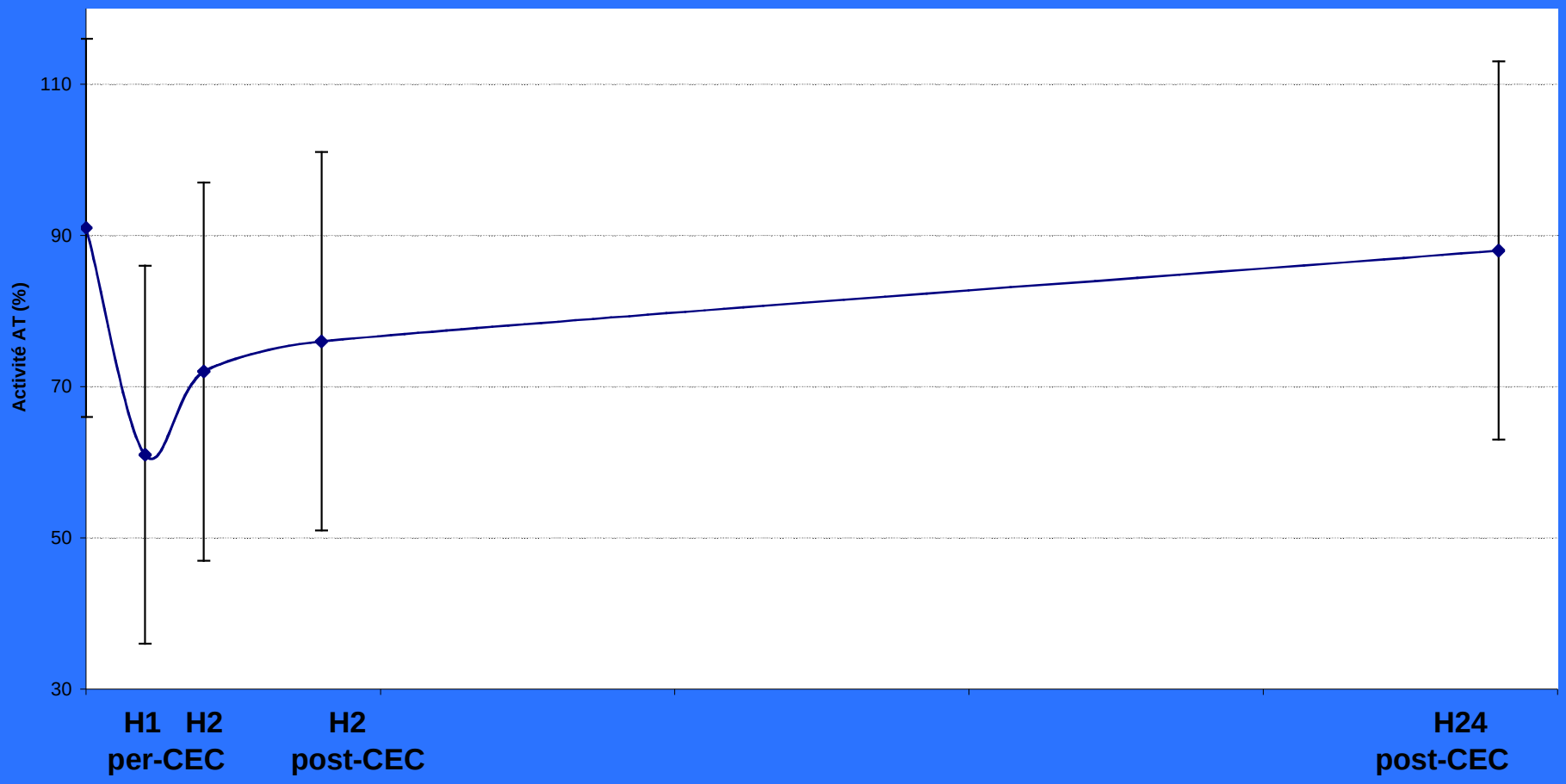
Monitoring + complexe

ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS

Le rôle de l' Antithrombine (AT)



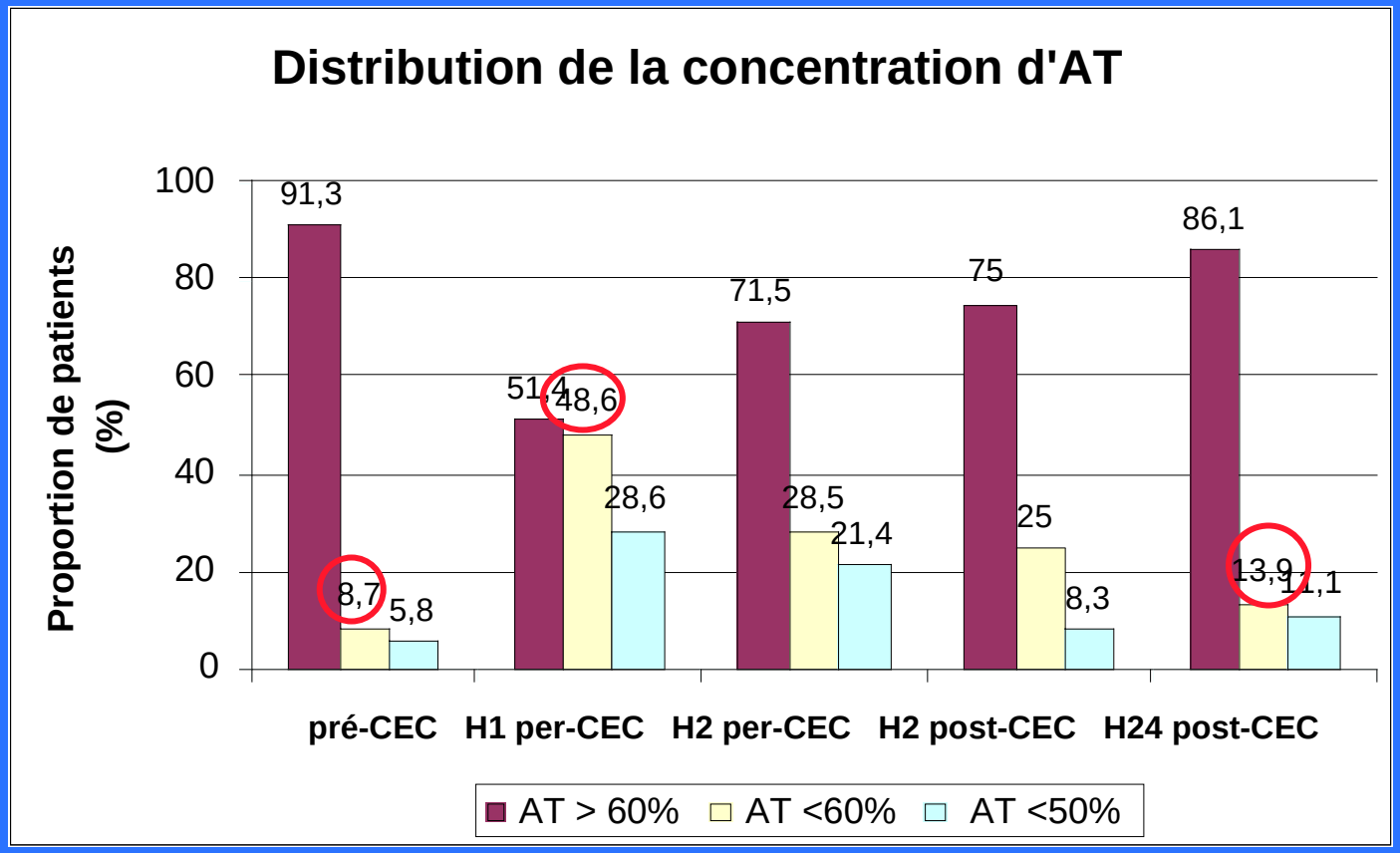
Anti coagulation & AT



Personnal data

ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS

Anti coagulation & AT



ASSISTANCE PUBLIQUE HÔPITAUX DE PARIS

Techniques indépendantes du matériel

- 1/ Forte dose d'aprotinine > stéroïdes
- 2/ Ultrafiltration
- 3/ Température
- 4/ Périodes Ischemia-reperfusion
- 5 / Management pulmonaire

1/ Corticoïdes

- Méthyl prednisolone 2 à 30 mg /kg
  Dexaméthasone 1 mg /kg, Hydrocortisone.
- Pendant la CEC, et surtout avant la CEC
- Diminuent la libération d'endotoxine, TNFα, IL6 et 8, l'activation du complément, atténue l'activation leucocytaire
- Renforce la réponse anti inflammatoire en augmentant la libération d'IL1ra, et d'IL10.

Corticoïdes

❖ Il existe une diminution de la cortisolémie entre 24 et 48 h après le déclampage par diminution de la sécrétion d'ACTH hypophysaire même si supplémentation per opératoire

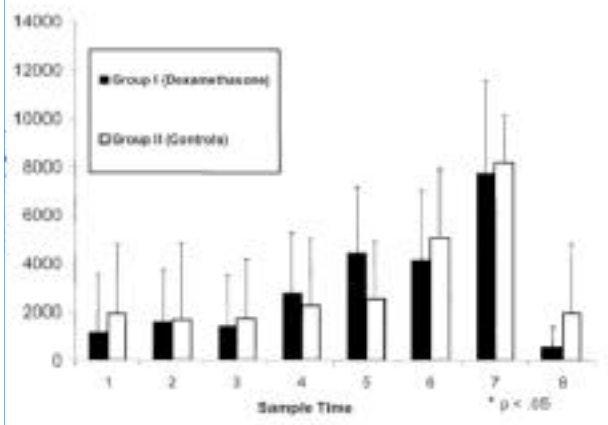
❖ Mais variable selon des patients

⇒Dosage chez le nouveau né et supplémentation si nécessaire

TWG Murphy Pediatric Anesthesia 2006 (16) 1297-1302

Stéroides

- Bronicki et al Thorac Surg. 2000 May;69(5):1490-5.



1. Mean levels of complement component C3a (± standard de-ition) for each sample time. Normal C3a levels are less than 400 /mL. There were no sample times that were significantly different ween the two groups.

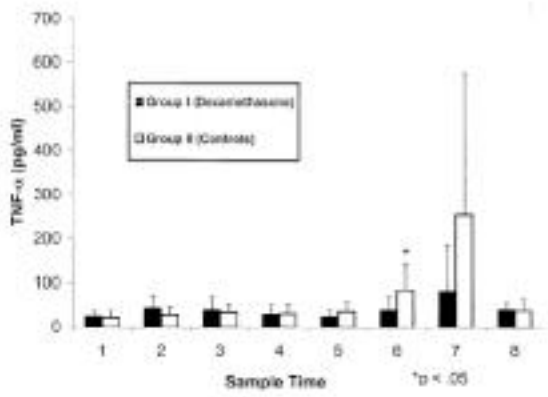


Fig 2. Mean tumor necrosis factor-α (TNF-α) levels (± standard deviation) for each sample time. Normal TNF-α levels are lower than 16 pg/mL. For sample 6 (2 minutes after cardiopulmonary bypass and prior to modified ultrafiltration), group I had a significantly lower level than group II (p = 0.03). At sample time 7, although the group II level was more than three times higher than that of group I, this did not reach significance because of the large standard deviation.

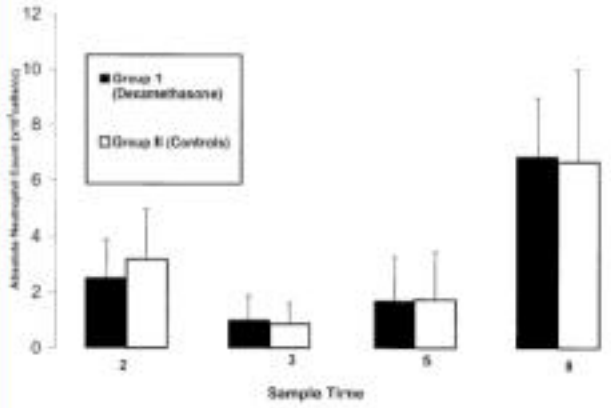


Fig 4. Mean absolute neutrophil count (× 10^3 cells/mL) (± standard deviation) for samples 2, 3, 5, and 8. There were no sample times that were significantly different between the two groups.

- Gessler et al Pediatr Cardiol 2005 Sep-Oct;26(5):595-600 Administration of steroids in pediatric cardiac surgery: impact on clinical outcome and systemic inflammatory response.

Improved Outcomes Associated With Intraoperative Steroid Use in High-Risk Pediatric Cardiac Surgery

Nadia A. Clarizia, BS, Cedric Manlhiot, BS, Steven M. Schwartz, MD, V. Ben Sivarajan, MD, Robert Maratta, BS, Helen M. Holtby, MB, Colleen E. Gruenwald, MHSc, Christopher A. Caldarone, MD, Glen S. Van Arsdell, MD, and Brian W. McCrindle, MD

The Labatt Family Heart Centre, Department of Pediatrics, The Hospital for Sick Children, University of Toronto, Toronto, Ontario, Canada

Conclusions. Intraoperative steroid use is associated with improved postoperative outcomes for children undergoing high-risk cardiac surgery, with further benefits associated with a preoperative dose.

(Ann Thorac Surg 2011;91:1222–7)

© 2011 by The Society of Thoracic Surgeons

Quel corticoïde ?
Quelle dose ?

Quel Timing ?

2/ Théorie de l'Ultra Filtration

Les effets sur l'inflammation sont complexes chez l'adulte et l'enfant

Améliorations fonctionnelles indiscutables sur:

Le myocarde +++

Le poumon transitoirement

Le rein potentiellement

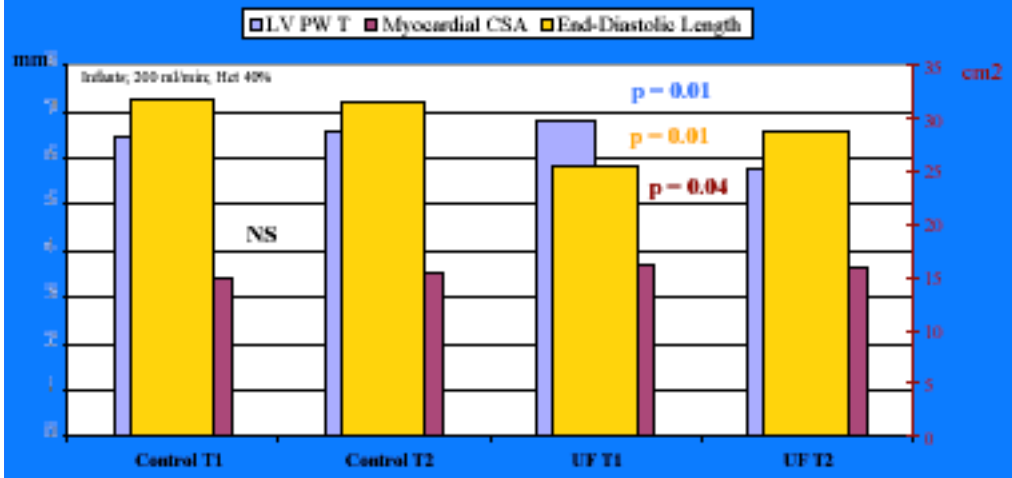
Liées à une diminution de l'œdème interstitiel par :

Transfert d'eau ?

Modulation du Sd inflammatoire?

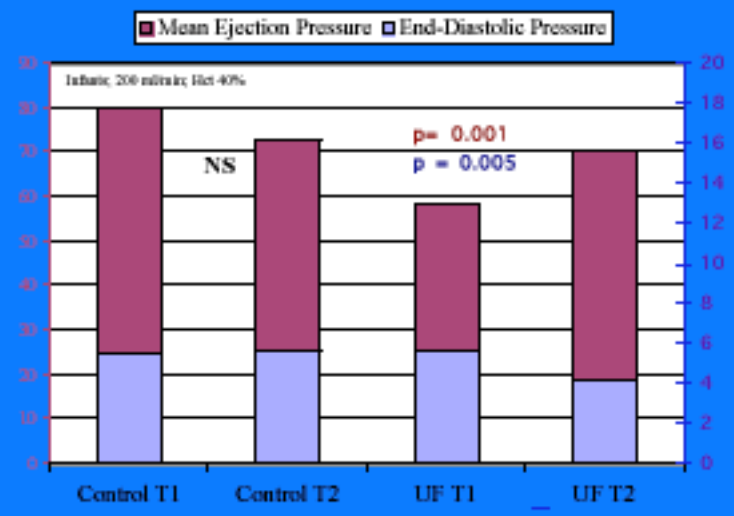
Épuration endotoxines ?

Ultrasonic Dimensions (mm & cm²)

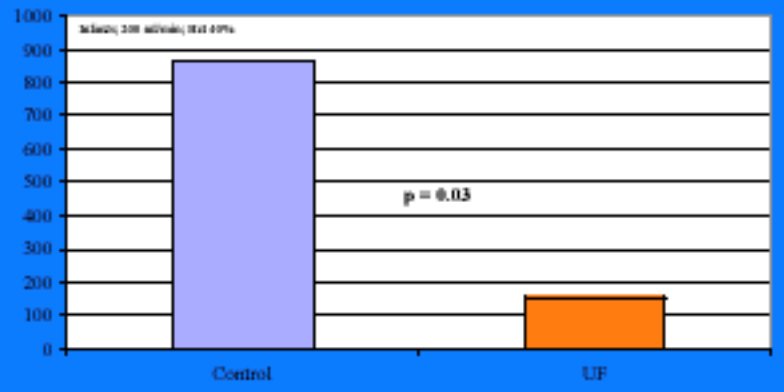


- Davies MJ. J Thorac Cardiovasc Surg 1998

LV Pressures (mmHg)

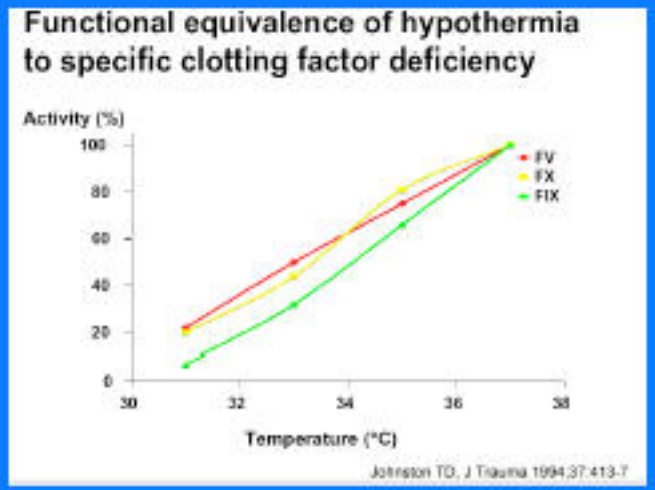


Inotropic Drug Support (mcg/kg/24h)



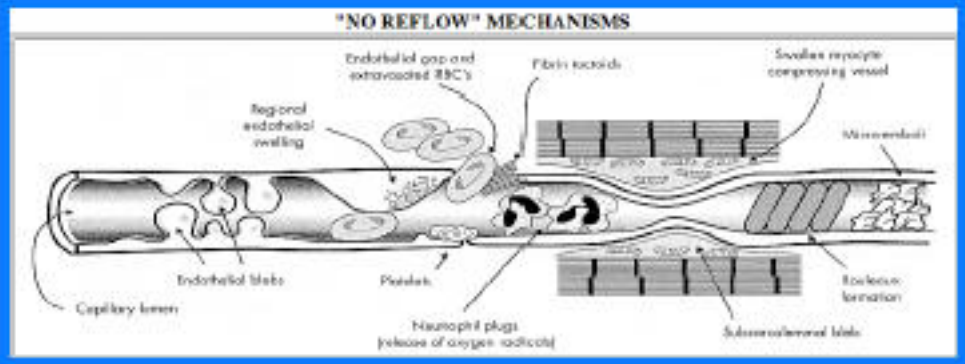
3/ Température en CPB et réaction inflammatoire

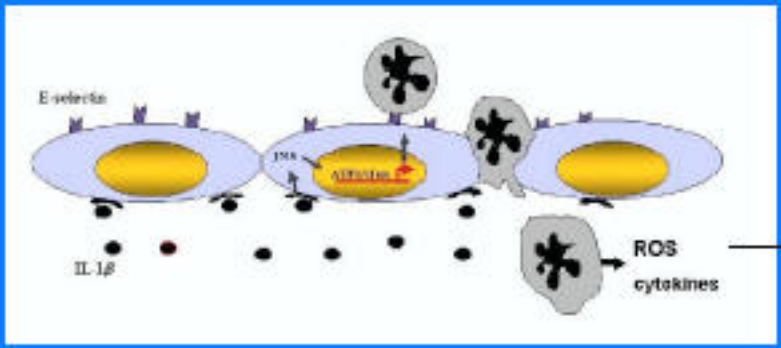
Action insignifiante ou absente
L'hypothermie diminue plutôt le SIRS
La normothermie plus efficace pour diminuer le SIRS



Le chirurgien a t il besoin d'une diminution du débit pour la réparation?
Oui => on diminue la température
Non => on reste proche de la normothermie.

4/ Périodes d'Ischémie-reperfusion





Inflammation

Limiter les périodes d'ischémie

Pour diminuer le SIRS

1- Miniaturiser le circuit

2- éliminer les composants toxiques

3- Préparer les surfaces non biologiques

4- Diminuer les forces de contraintes

5- Réduire le contact air-sang

6-Améliorer l'anticoagulation

7-Bonnes conditions préopératoires

8- Ultrafiltration

9- Management pulmonaire adapté

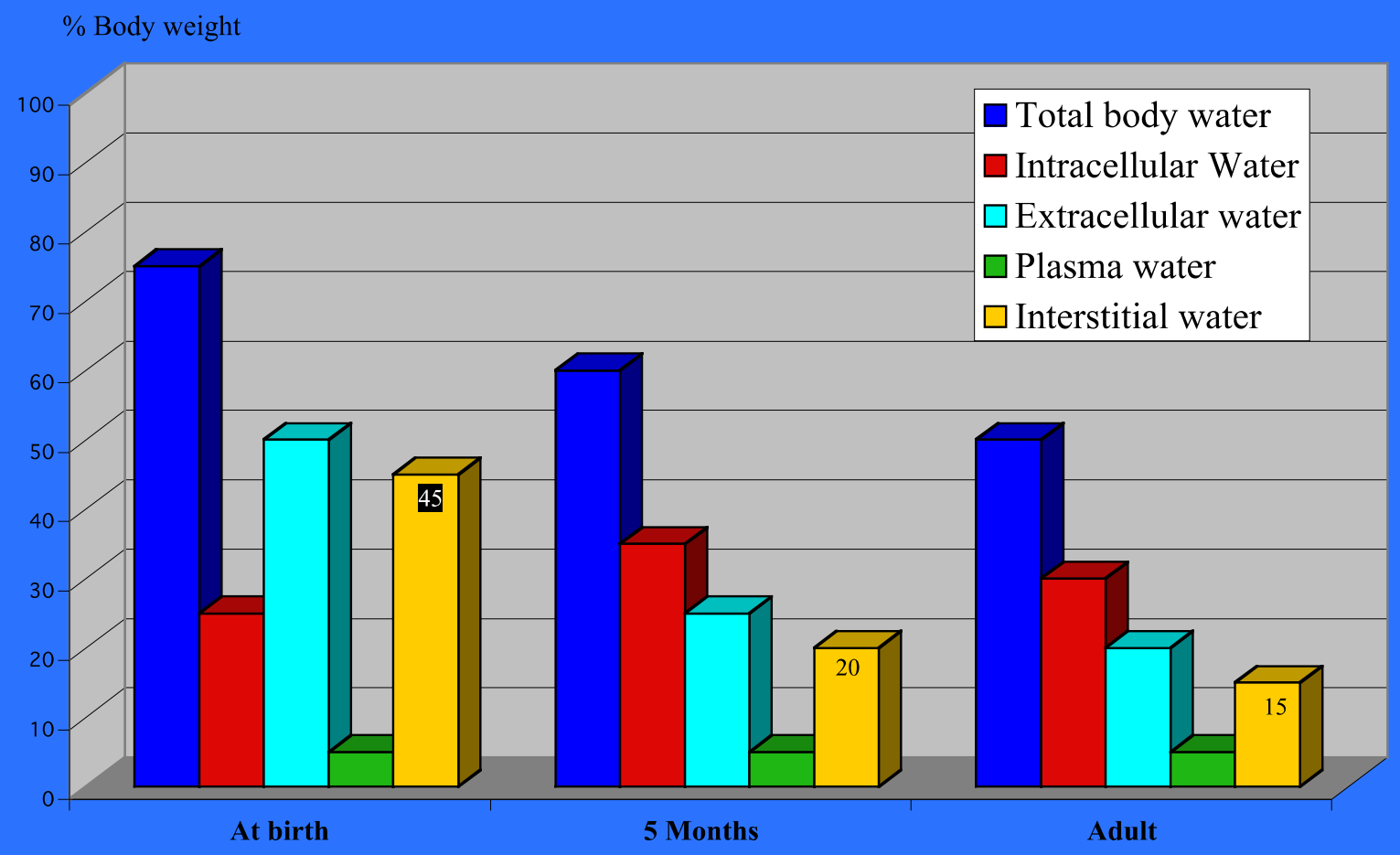
10- Périodes d' ischémie reperfusion courtes et peu nbses

11- CEC courte

12 Corticoïdes?

Retentissement de la CEC
&
organes immatures

Le Rein et l'équilibre hydro électrolytique



A la naissance :
L'eau interstitielle représente 45% du poids du corps contre 15% chez l'adulte

=> Hyper hydratation interstitielle

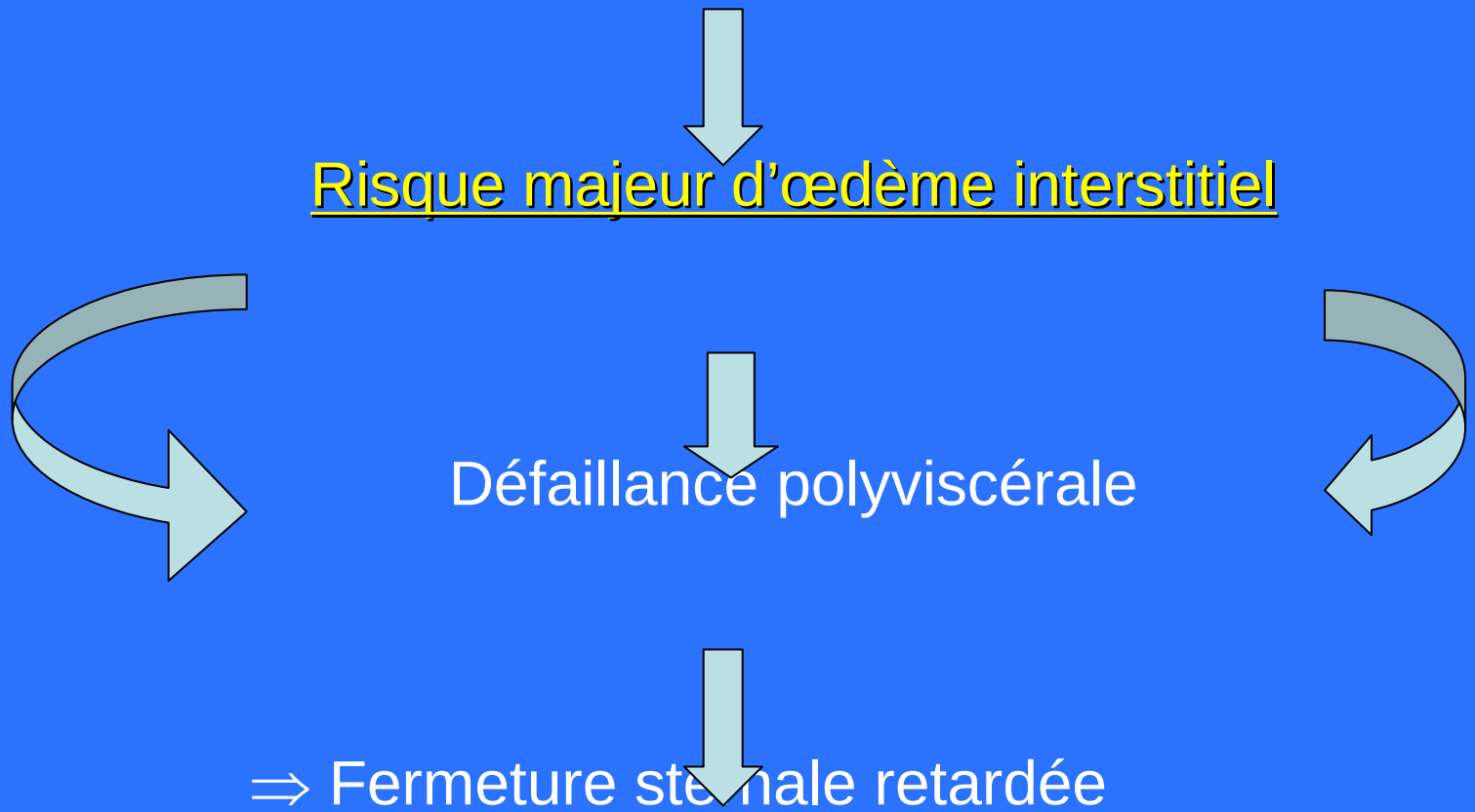
Le Rein et l'équilibre hydro électrolytique

- Filtration glomérulaire ⇩ 10 $ml.m^{-2}.min^{-1}$ à la naissance, 20 $ml.m^{-2}.min^{-1}$ à la 2ème semaine et 45 $ml.m^{-2}.min^{-1}$ au 2ème mois)
- Dilution et concentration incomplètes :
  Osmolarité urinaire 800 $mOsm.l^{-1}$ et 600 $mOsm.l^{-1}$ pour le prématuré au lieu de 1400 $mOsm.l^{-1}$ pour l'adulte.
- Réabsorption des bicarbonates et du Na limitée
- Homéostasie du calcium difficile => risque majeur

d'hypocalcémie post CEC et d'hypocontractilité myocardique (2j)

Le rein néonatal est incapable d'excréter rapidement une surcharge hydrique ou acide

Fuites capillaires + fonctions rénales incomplètes



⇒ Fermeture sternale retardée
⇒ Morbidité
⇒ Mortalité

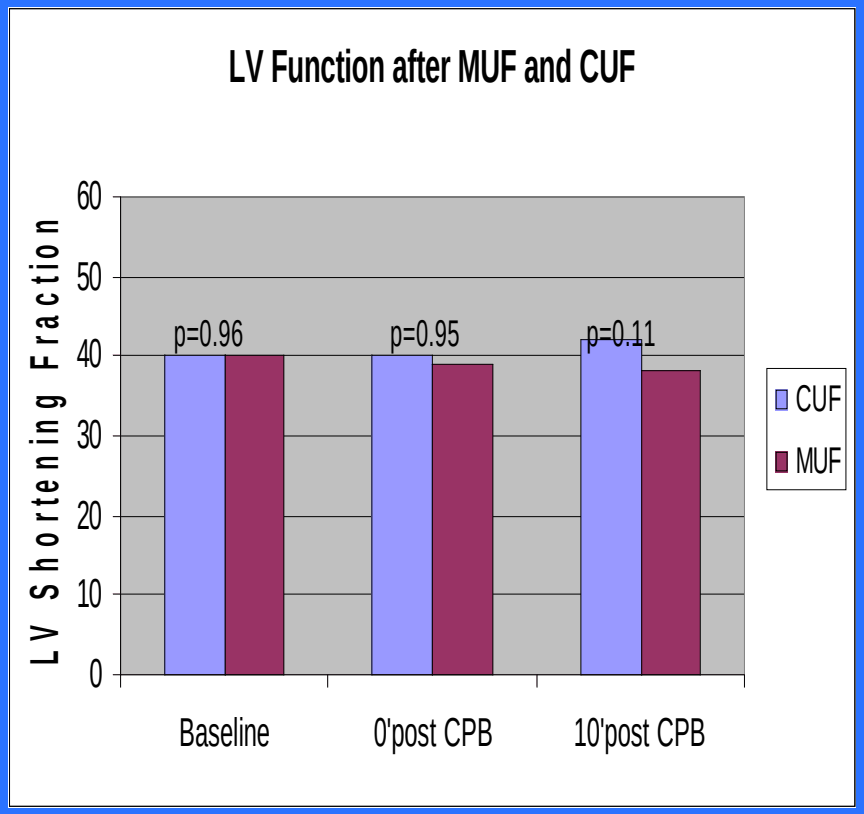
1. Contrôler les mouvements hydriques

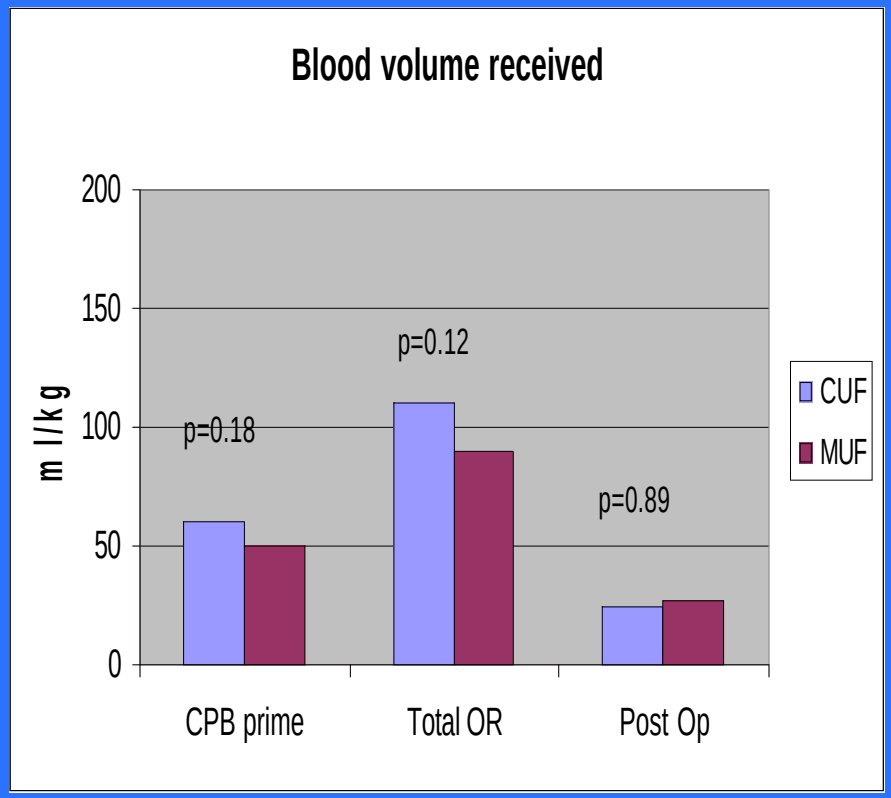
2 • Compléter la fonction rénale (diurétiques ou mieux hémofiltration)

3 • Diminuer du syndrome inflammatoire.

CEC : CUF ou MUF ?

Volume-standardized MUF and CUF.
LD Thompson et al. *J Thorac Cardiovasc Surg 2001 Aug;122(2):220-8*





※ Williams GD et al Modified and conventional UF during PCS / clinical outcome compared
JTCS 2006 Dec;132(6):1291-8

Hémodilution chez le nné

- Hématocrite physiologique

	préma	terme	3j	1mois	2-6mois	2ans
Hb g/dl	13-15	13-19	14-24	11-17	10-14	11-15
Hte (%)	41-47	**51**	**55**	**35-50**	30-40	**37**

- 147 ASO comparaison hématocrite 20 vs 30%,

Hte 20% significativement :
Index cardiaque plus bas
Plus d'inotropes
Lactates plus élevés
Eau extra vasculaire augmentée
Moins bon développement psychomoteur

Jonas RA, et al .The influence of hemodilution on outcome after hypothermiccardiopulmonary bypass: results of a randomized trial in infants.J Thorac Cardiovasc Surg. 2003 Dec;126(6):1765-74

- 30-36% Vs 14-17% Piglets

Meilleure Pam, Sv02, rSO2 (NIRS)
Meilleur score histologique neuro
Miura T JTCS Janv 2007

Pas d'hémodilution profonc

Le poumon et le transport de l'oxygène

- Maturation du surfactant incomplète :

  Synthèse de surfactant diminuée par la réaction inflammatoire, l'acidose, l'hypoxie et le bas débit => augmentation de l'eau extra vasculaire pulmonaire aggravant l'œdème interstitiel.

- Altération de l'endothélium vasculaire :

  par les fractions activées du complément, les polynucléaires activés, la libération de radicaux libres, d'enzymes lysosomiaux et d'endotoxine

=> Œdème interstitiel

Conséquences

- Troubles du rapport ventilation /perfusion

- Diminution du volume pulmonaire, de la CRF, de la compliance pulmonaire

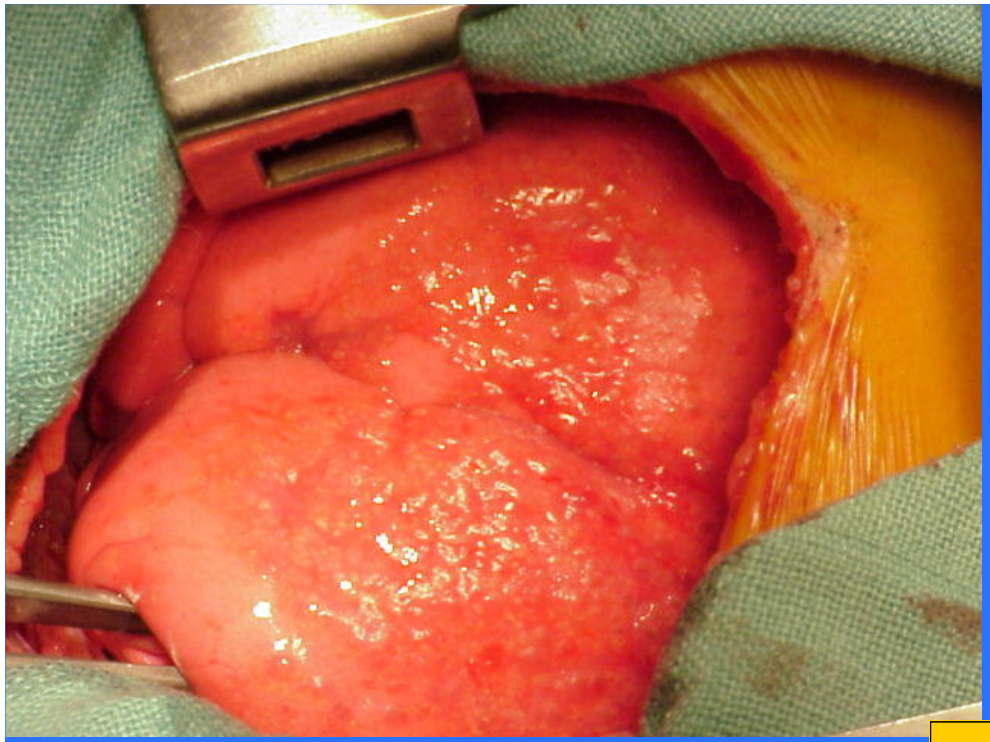
- Anesthésie

  Survenue d'atélectasies.

  Ventilation agressive

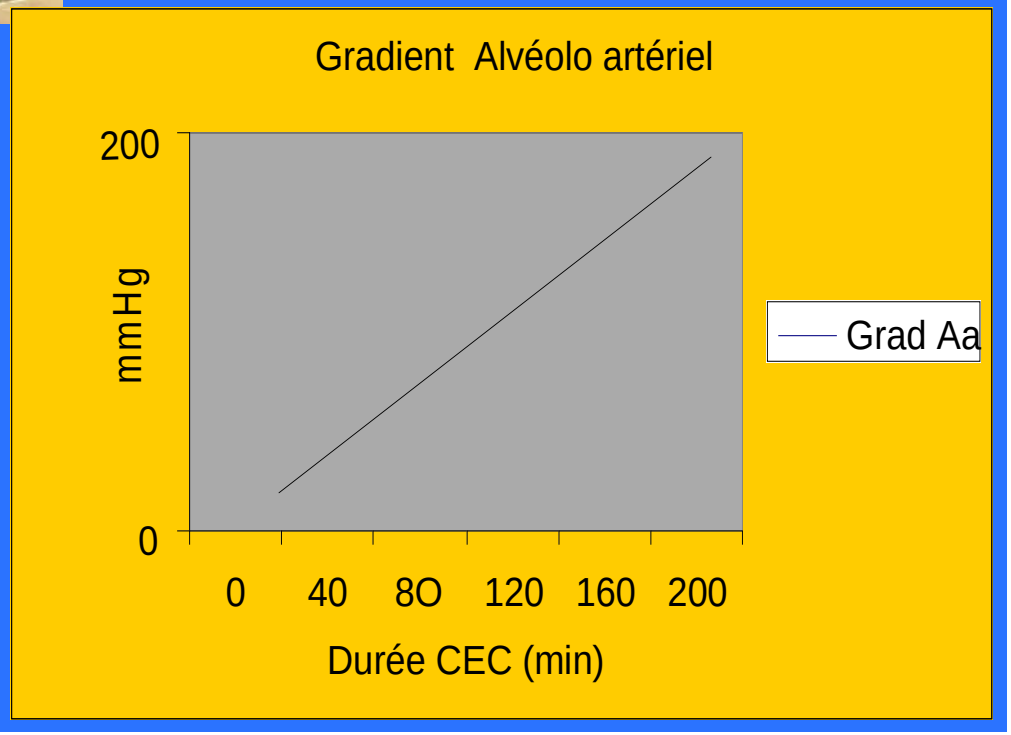
  (FiO2 et traumatismes)

- Hypoxémie post CEC
- Hypertension artérielle pulmonaire
- Augmentation du travail du ventricule droit.
- Impossibilité de fermer le sternum



Altération des échanges gaze chez l'adulte en fonction de l Durée de CEC

L'augmentation du gradient alvéolo artériel est directement proportionnel à la durée de CEC



Les complications pulmonaires sont fonctions

- de la durée de la CEC (>120-150 min)
- du contrôle de la réaction inflammatoire
- du contrôle de l'hémodilution
- de l'utilisation de filtres à sang

- Pas de preuves de l'efficacité de :
  - ✓ La ventilation pulmonaire pendant la CEC, (±PEP)
  - ✓ Le maintien de la pression colloïdo-osmotique dans les vaisseaux pulmonaires
  - ✓ La déleucocytation par filtre

Prévention

Gestion des apports en eau

Ultrafiltration

Ventilation protectrice ++++++

- FiO_2 la plus basse pour Sat 0_2 la plus haute
- Vt ≤6ml/kg
- P max (P + PEEP) < 20

Corticoïdes??

Durée de CEC!!

Le cœur et la protection myocardique

- Masse contractile plus faible (60% comparé à l'adulte) =

  Ventricules moins compliants.

  Interaction importante entre les deux ventricules

- Métabolisme du calcium très différent de chez l'adulte par l'immaturité du réticulum sarcoplasmique et du système tubulaire

- Récepteurs ß sont moins développés, moins sensibles, avec une down régulation plus rapide

Conséquences

❖ La contractilité du cœur néonatal est sous la dépendance du Ca ionisé extra cellulaire

❖ Faible réserve de contractilité.

❖Action des agents inotropes moins prévisible

⇒ Mesure du calcium ionisé avant la fin de la CEC.
⇒ Protection myocardique optimale (Cours spécial !!)

L'hémostase

- Maturation hépatique retardée en cas de cyanose sévère ou de diminution du débit sanguin hépatique.
- Taux de facteurs hépatiques bas en période néonatale chez plus de 50% des nouveaux nés.
- La concentration en antithrombine (AT) diminuée
- Les facteurs IX, XI & XII sont immatures à la naissance et jusqu'au 9ème mois mais le TCA est le plus souvent normal.

Hémostase suite

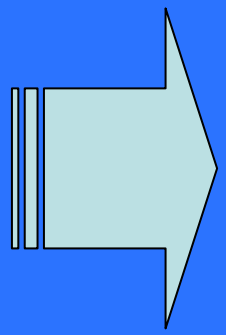
TEG : Initiation et développement des caillots plus rapides >1an
Diminution AT
Augmentation TAT
Augmentation Plasmine- Anti plasmine
Augmentation facteurs Prothrombotiques: F1+2, TxB2, MCP1
Diminution facteur anti trombotique : TFIP
Risque augmenté chez DCPP et T

Heying R Crit care 2006 Nov
Sakamoto T Kyobu Geka 2006 Dec
Miller BE Anesth Analg 1997

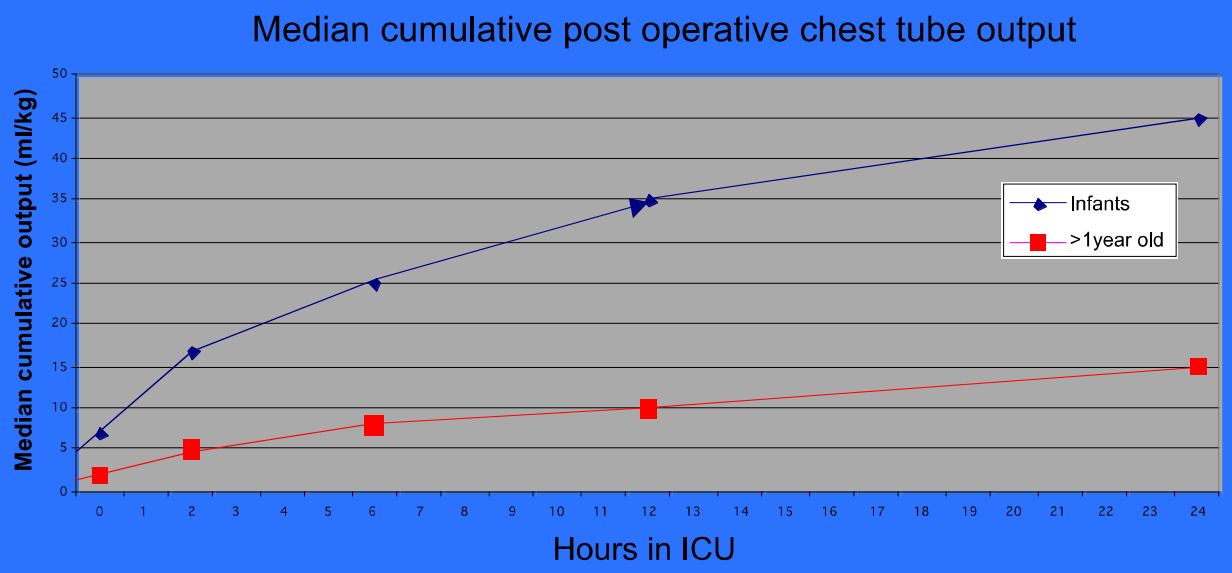
❖Tendance thrombotique post opératoire => J

Peut on prédire le saignement?

- Tests de coagulation per CEC non prédictifs
- Poids
- Durée CEC
- Intensité de l'hypothermie



influencent le saignement

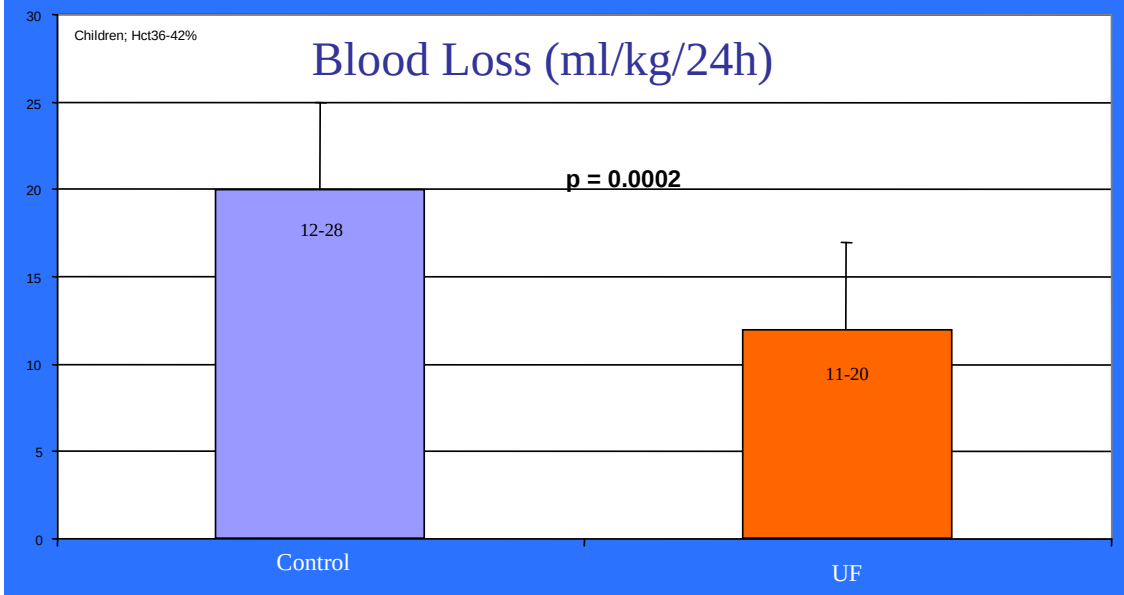


Contrôle du saignement

- Anesthésie: peu vasodilatatrice
- Chirurgie: hémostase et rapidité (CEC< 2h)
- CEC:
  - ✓ Faible priming (hémodilution)
  - ✓ Aspirateurs réglés (consommation)
  - ✓ Monitoring hématocrite et héparine
  - ✓ Héparine (priming, 3 à 5 mg/kg, ACT non corrélé)
  - ✓ Normothermie
  - ✓ UF ? Circuits héparinés ? Anti fibrinolytiques ?

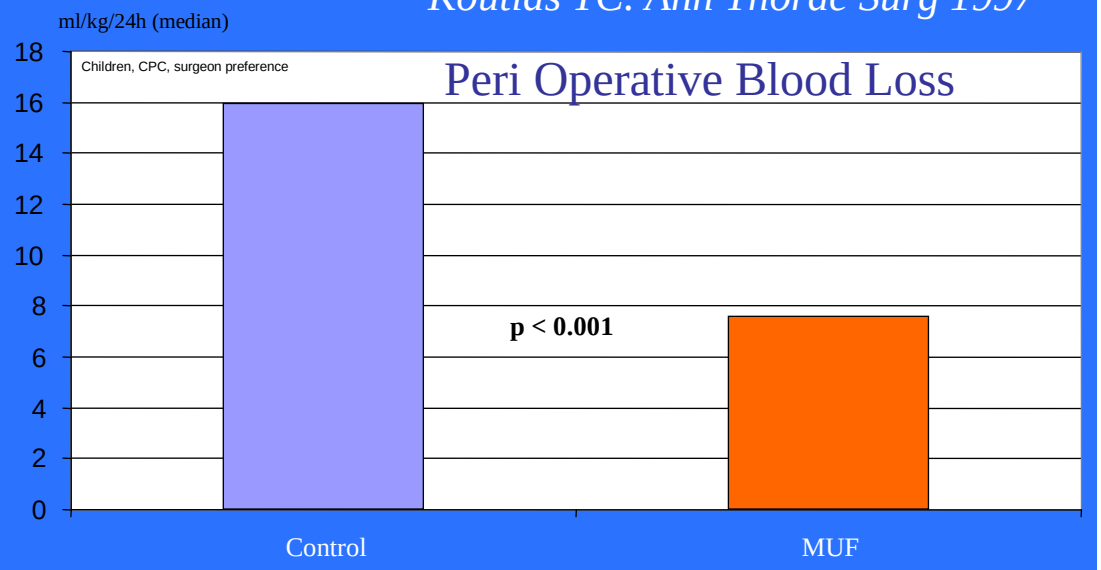
Meilleure technique diagnostique post op: TEG modifié (celite, h héparinase)

Ultrafiltration & Saignement



Naik S and Elliott M. Perfusion 1993

Koutlas TC. Ann Thorac Surg 1997



Le foie et le métabolisme

- L'ictère physiologique est aggravé par:
  La cyanose
  Un bas débit pré, per ou post CEC .
  Une hémolyse
  => Photothérapie
  ± une exsanguino-transfusion .

- Le risque hypoglycémique est aggravé par:
  La diminution de la perfusion systémique (coarctation critique syndrome d'hypoplasie du cœur gauche ou sténose aortique critique)
  Les inotropes (adrénaline), l' IVD.
  L'hypothermie & l'hypocapnie

  => contrôle de la glycémie

Les particularités liées au poids

- Le matériel doit être adapté au poids de chaque patient

  3/16" artère et veine jusqu'à 600 ml/min
  3/16"- 1/4" jusqu'à 700 ml/min
  1/4"-1/4 "jusqu'à 1000 ml/min
  1/4 "- 3/8" jusqu'à 1500 ml/min

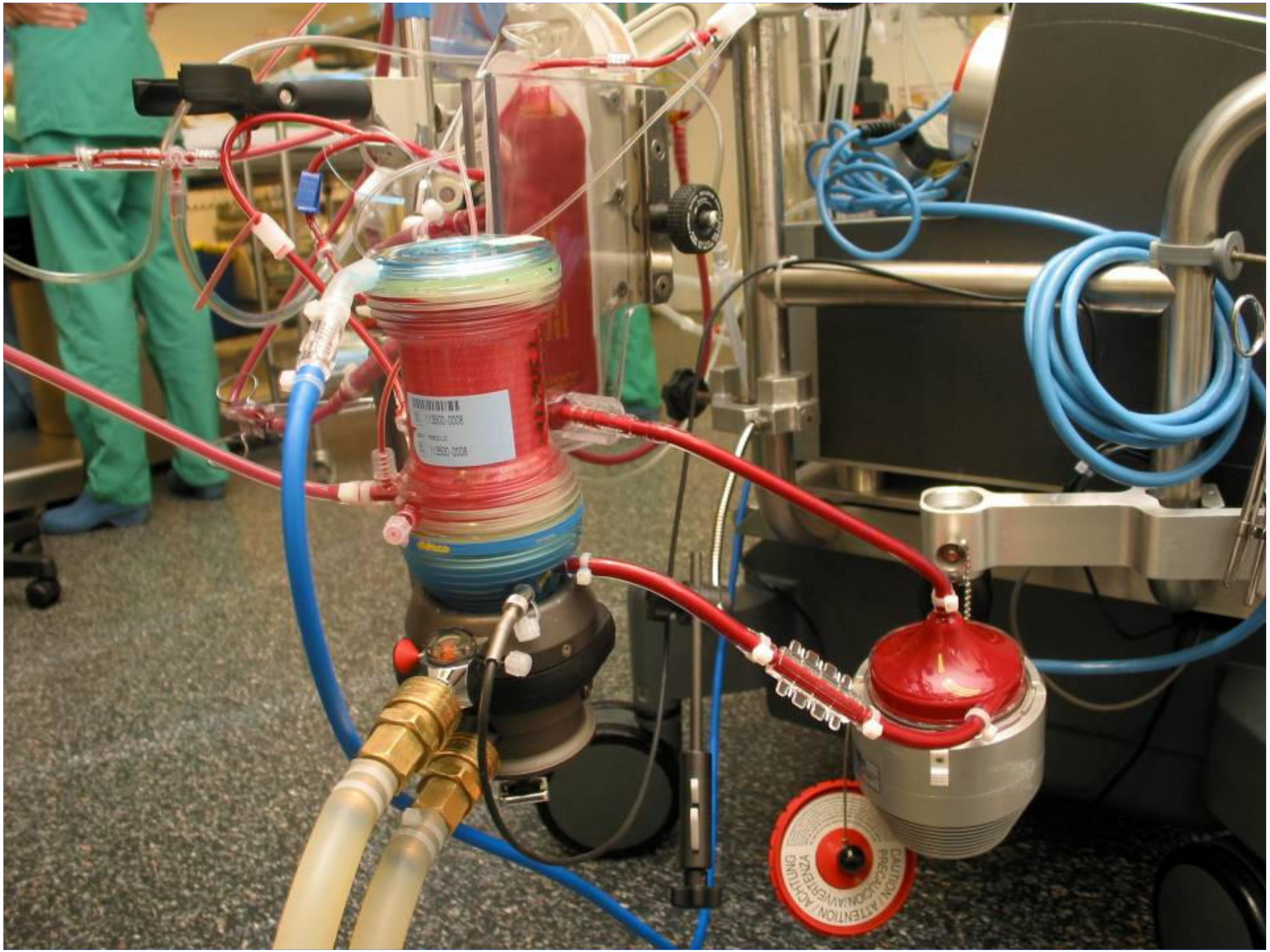
- Silicone ou PVC.

- 3 ou 4 aspirateurs dont une décharge gauche (VG ou OG).

- Le type de circuit (ouvert ou fermé) dépend plus des habitudes de travail et les 2 types de circuit sont compatibles avec la CEC pédiatrique.

Circuits clos / circuits ouverts

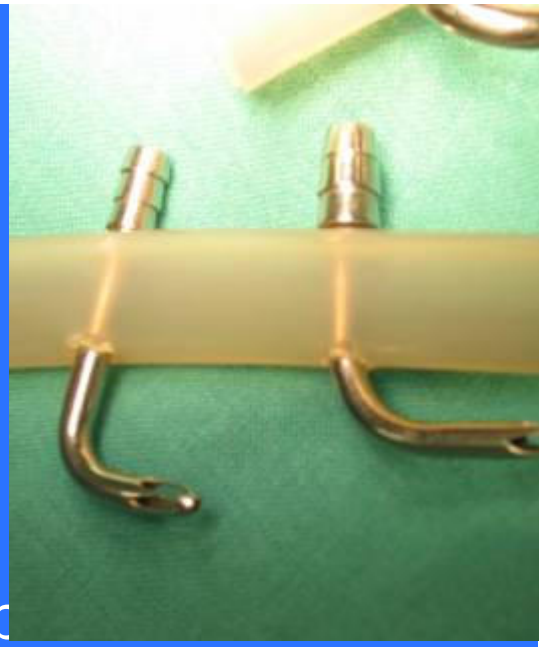
	Clos	Ouvert
Montage	+ compliqué (à peine!)	+ simple
Priming	augmenté	moindre (quoique!!)
Contact air	intermittant	permanent
Sécurité	collabage	alarme niveau
Microbulles	probable	Certain
Coût	plus cher	moins cher


CAUTION / ATTENTION / ACHTUNG
PRECAUCION/AVVERTENZA

Types et tailles des canules fonction :

- de la taille du nourrisson
- du débit à assurer
- de la technique chirurgicale

Canulation veineuse

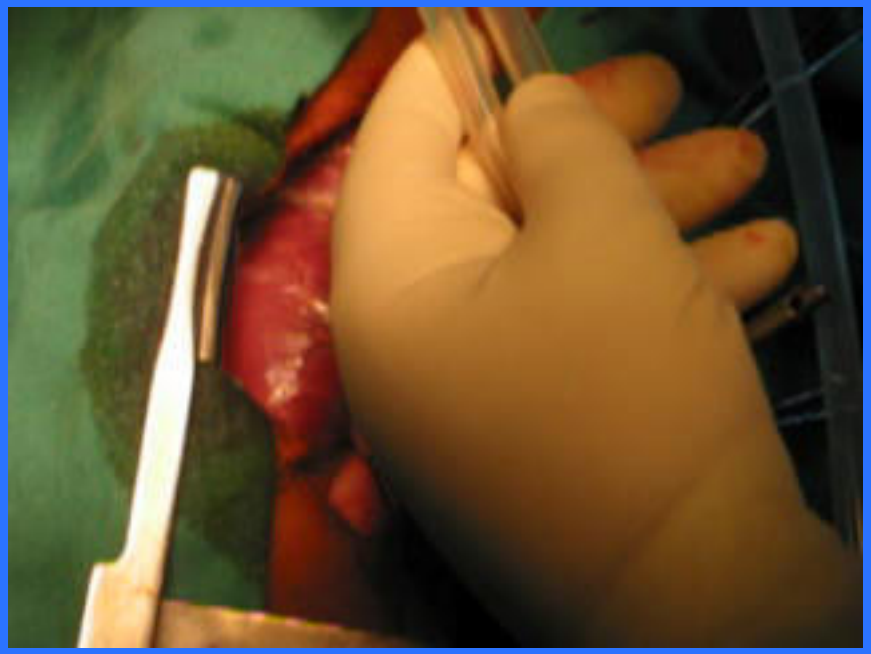


❖Unique, double voire triple

❖Canules souples, flexibles et maniables mais p
encombrantes, atraumatiques et de mise en place facile.
ne pas pouvoir se couder

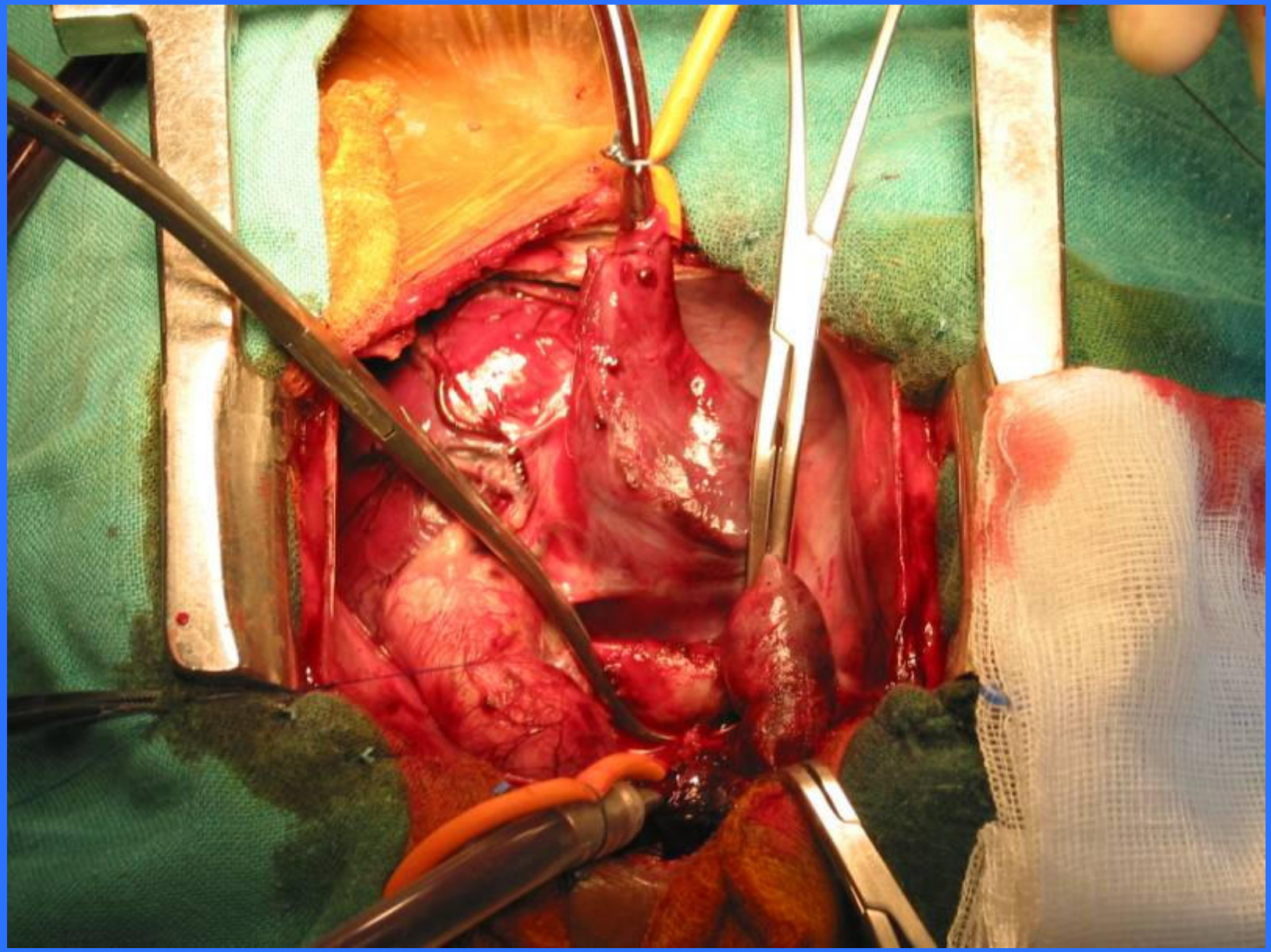
❖ Présenter une perte de charge minimum avec un rapport diamètre interne/ diamètre externe voisinant 1.

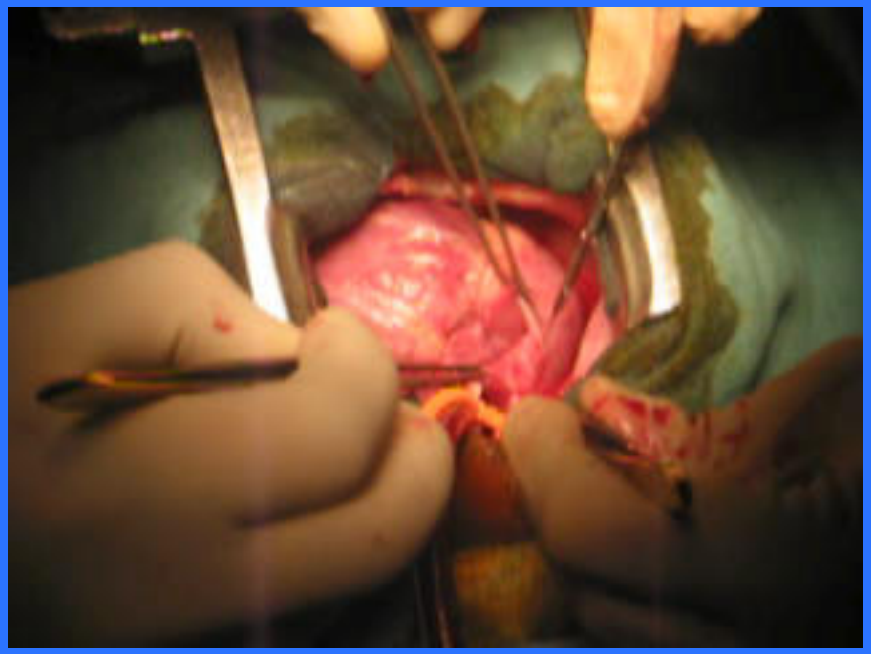
❖ En place elles ne doivent pas entraîner de distorsion des vaisseaux.



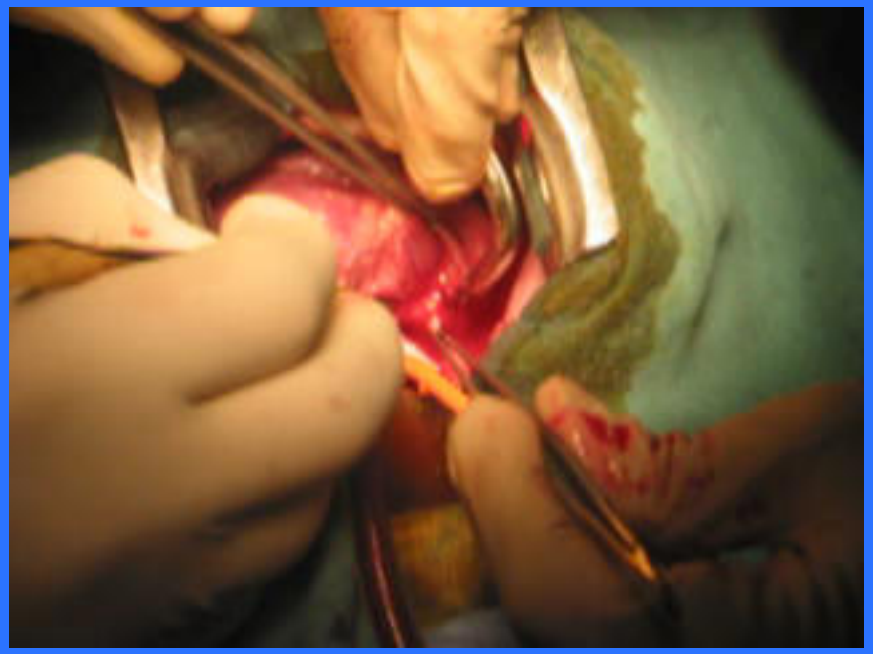
Sites de Canulation Veineuse

- Débit cave supérieur plus important L'écoulement vers le réservoir veineux se fait par gravité
  - hauteur entre la table d'opération et le réservoir
  - taille des canules.
  - Les canules peuvent être droites ou coudées, en PVC ou métalliques, armées ou non
- Chez les nouveau nés canuler la VCI sous CEC.
- Sur le TVI dans le Senning et certaines dérivations cavopulmonaires
- Pfs canulations fémorales





Canulation Veine cave inférieure

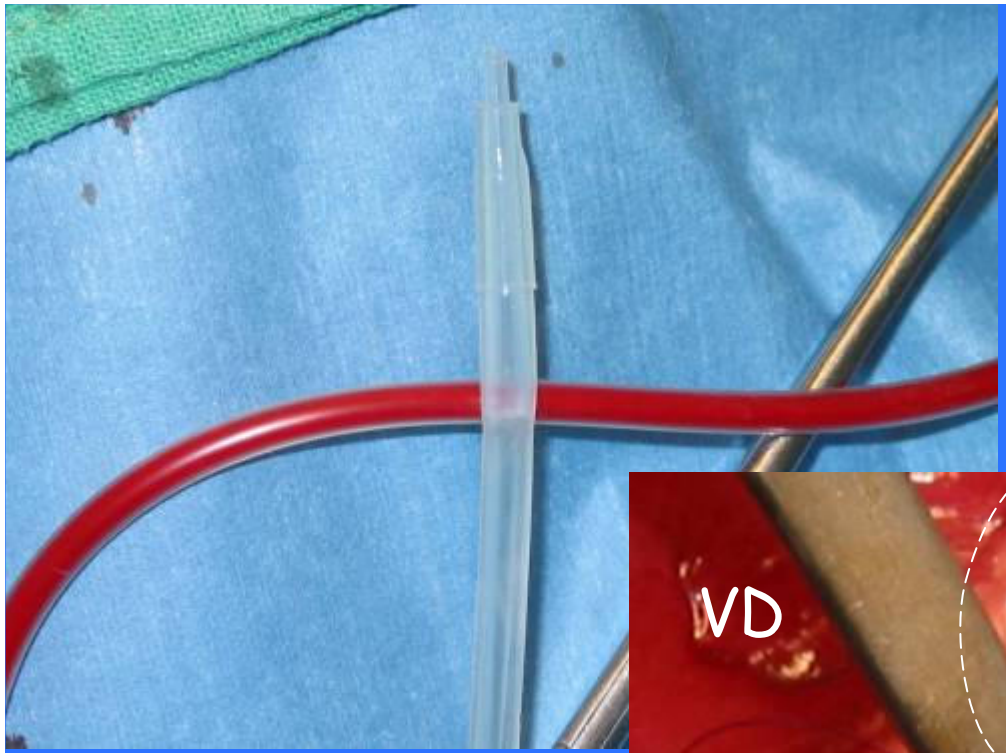


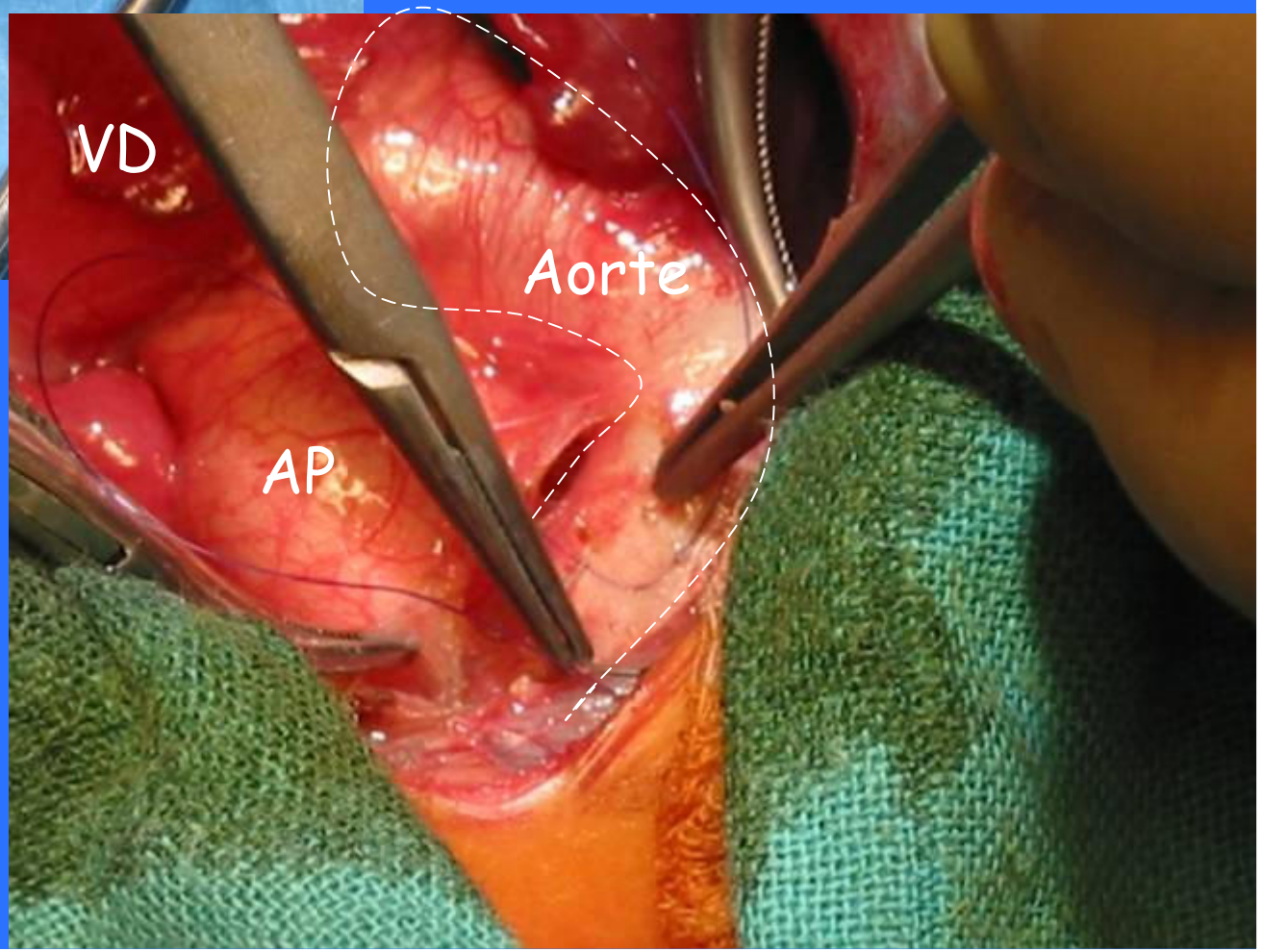
Canulation artérielle

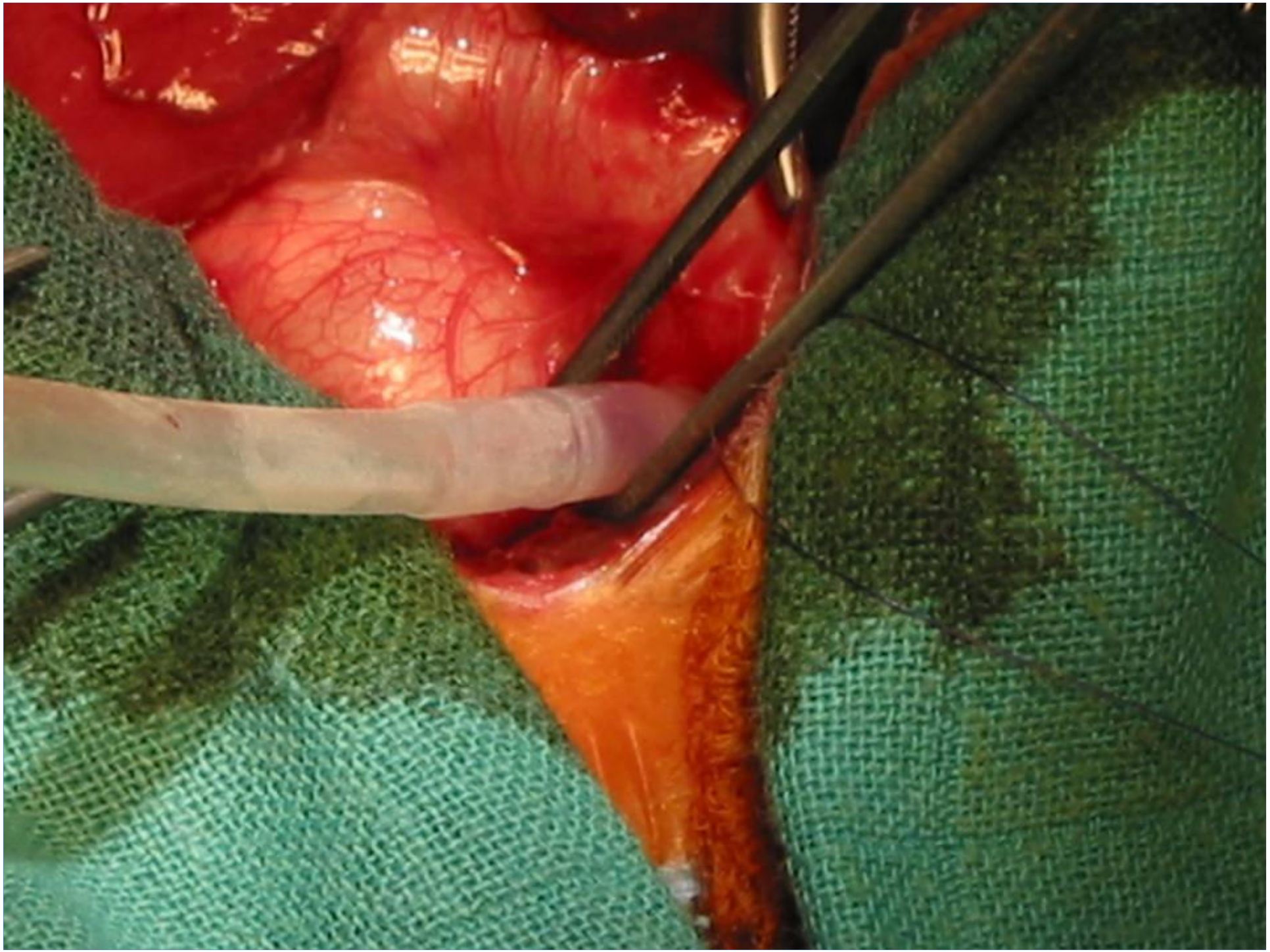
- Au pied du tronc artériel brachiocéphalique (TABC), permet une bonne perfusion cérébrale, cardiaque et viscérale sans gêner les gestes chirurgicaux
- Solidarisée à la tirette serrant la bourse pour empêcher tout déplacement de la canule
- Risques : Perfusion préférentielle du bras droit avec hypo perfusion cérébrale ou au contraire un hyper débit cérébral avec risque d'œdème cérébral
- Plusieurs techniques de canulation avec ou sans clamp sont possibles

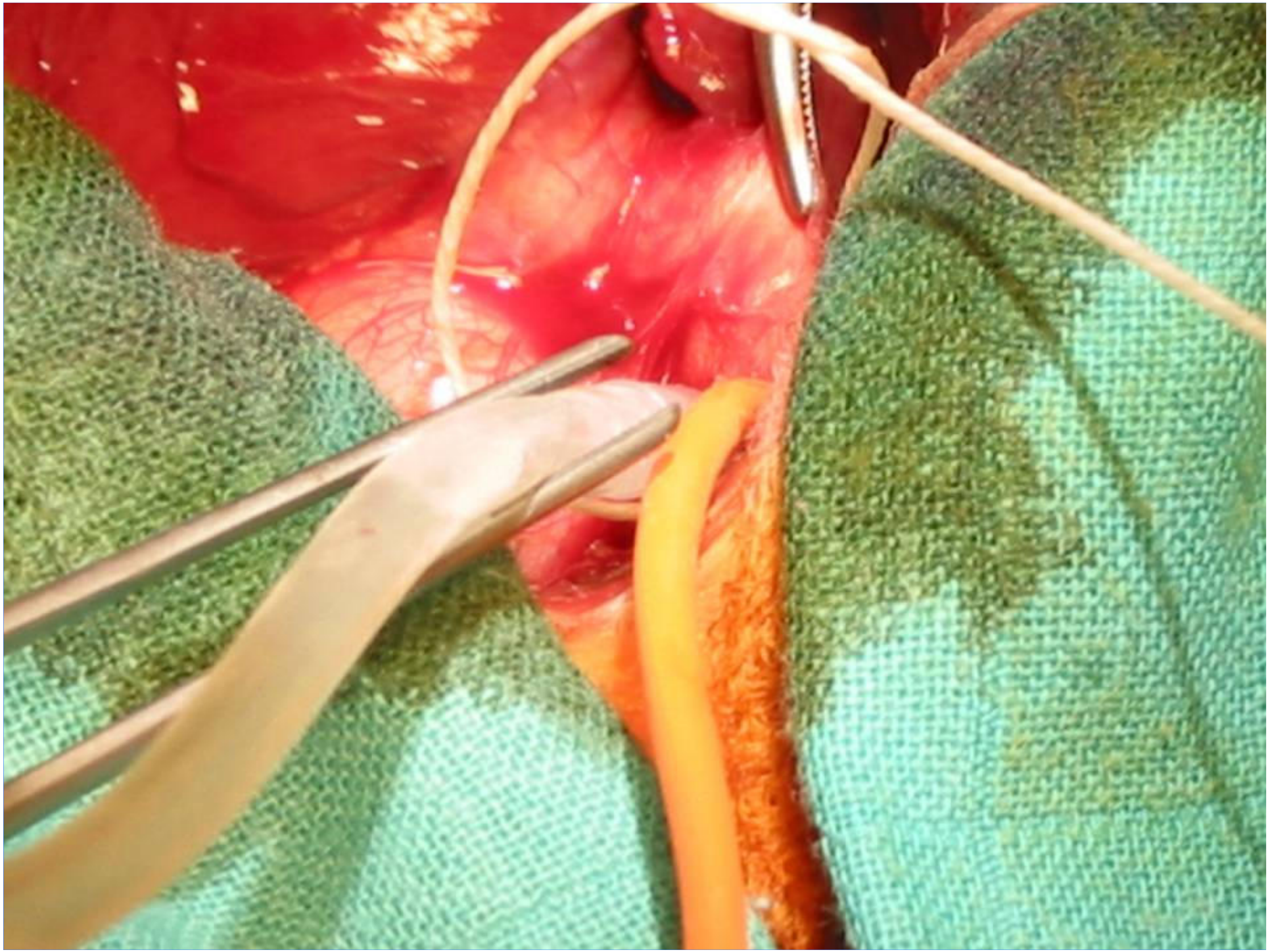
douceur, rapidité et hémostase parfaite.

Canule Usifroid 18

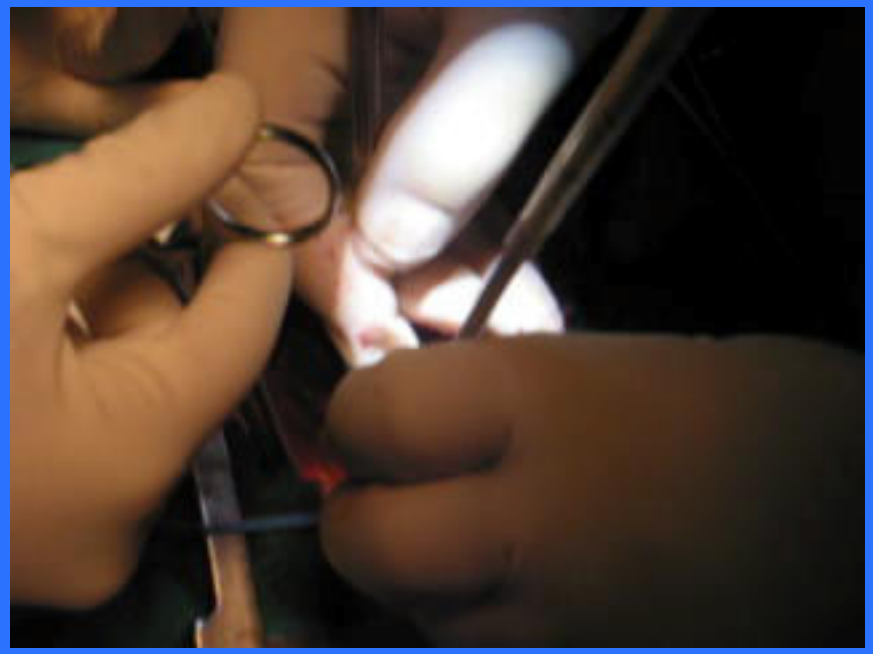








Traction sur l’aorte



Aspiration et drainage des cavités gauches

❖ Le Réseau artériel collatéral pulmonaire et bronchique peut atteindre 30% du débit de CEC.

❖ Cardiopathies cyanogènes vieillies => retour veineux gauche important

Choix de canules
Risque embolie gazeuse
Qualité du geste chirurgical

Aspiration efficace d'emblée mais pas trop forte, mise à la pression atmosphérique

Nature et volume du liquide d'amorçage de la CEC (priming)

❖ Association PFC viro-inactivé ou sécurisé et de culot globulaire en période néonatale

❖ La quantité de globules dans le priming est fonction :
- ➢ du poids et de la volémie
- ➢ du volume du circuit
- ➢ de l'hématocrite de départ

But à atteindre = 15 à 20 % d'hématocrite en CEC au maximum de l'hypothermie ; varie selon l'age, la réparation, la pathologie et la température (30% à 37°C).

❖ Prévision de l'hématocrite (Hte) au cours de la CEC :

Volémie Patient = VP ; Hte Patient = Hte P ; Volume priming = VPr

VP x Hte P / VP + VPr = Hte de CEC

Ex : 300 ml x 45% / 300ml + 400ml = 19%

❖ Quantité de culot globulaire à ajouter pour avoir l'hématocrite voulue :

(VP+ VPr) x Hte voulue- (VP x Hte P)

Ex : 300 ml + 400 ml x 25% - (300ml x 45%) =

700ml x 25 % - 135 ml = 40 ml

Bonne gestion des produits sanguins

- Rôle de l'hémoglobinémie pré opératoire
- Faible volémie du circuit
- Retour rapide des aspirateurs vers la CEC
- Donneur unique
- Hémostase chirurgicale minutieuse
- Surveillance de l’Hb en continu ++++

Monitoring

- SvO_2 en continu
- Hématocrite en continu
- Gaz du sang en continu
- Lactates

En pédiatrie :

NIRS : Oxygénation cérébrale, position canule artérielle

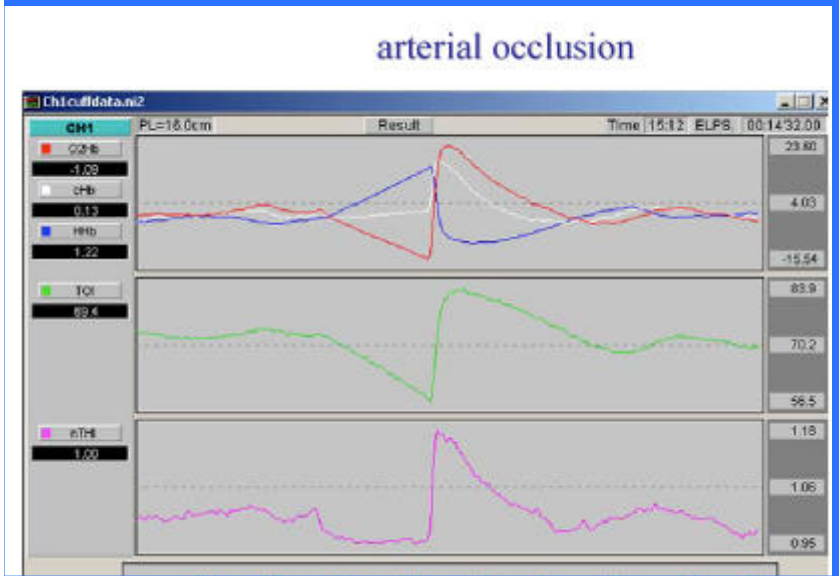
Ca, glycémie, protidémie

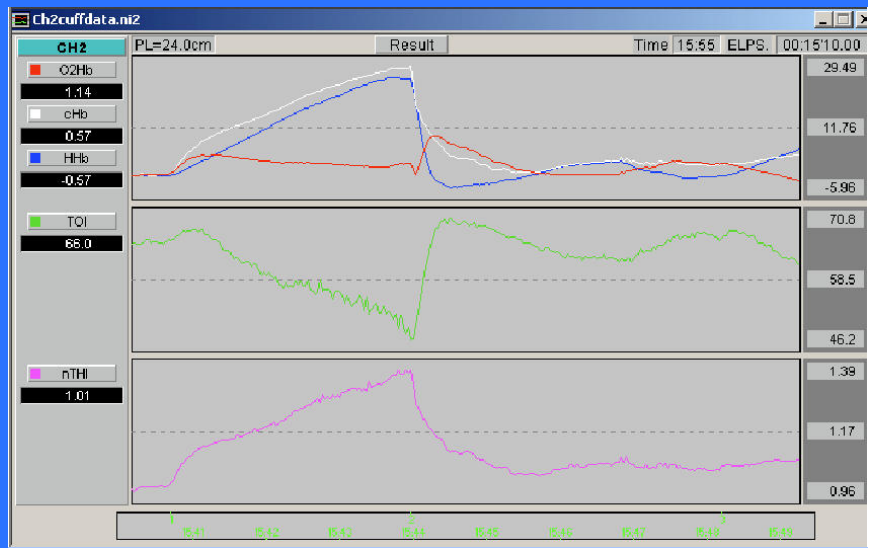
Hémostase plus fréquente et plus précise

Neuromonitoring Multimodal: NIRS + DTC ± EE

La position des canules doit être précise et vérifiée avant et durant la CEC=

NIRS comme alarme





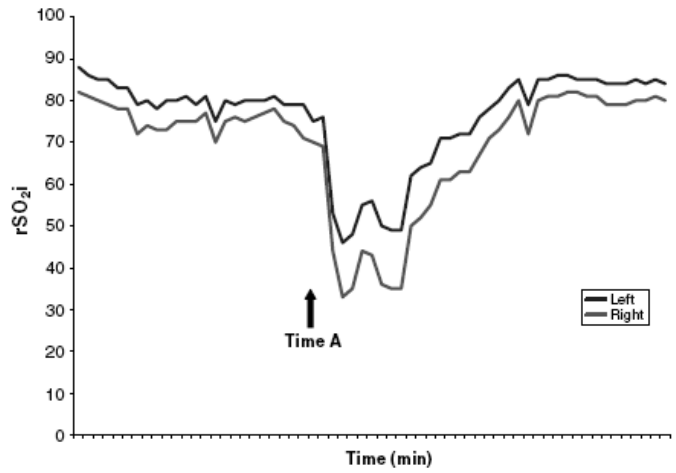
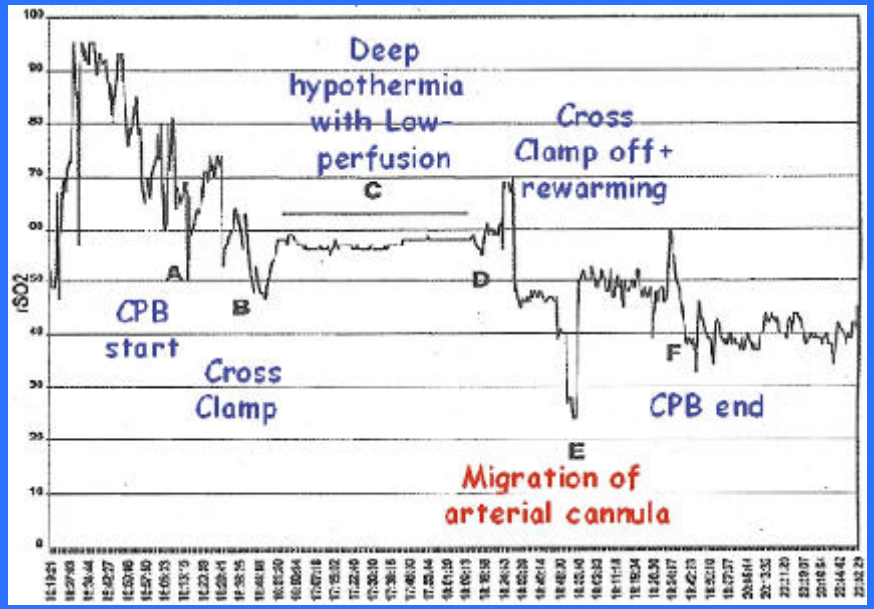
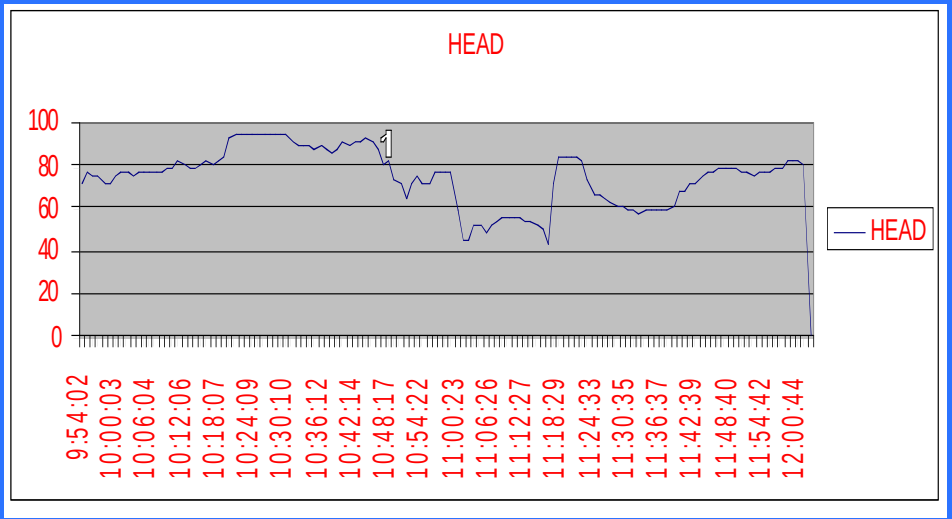
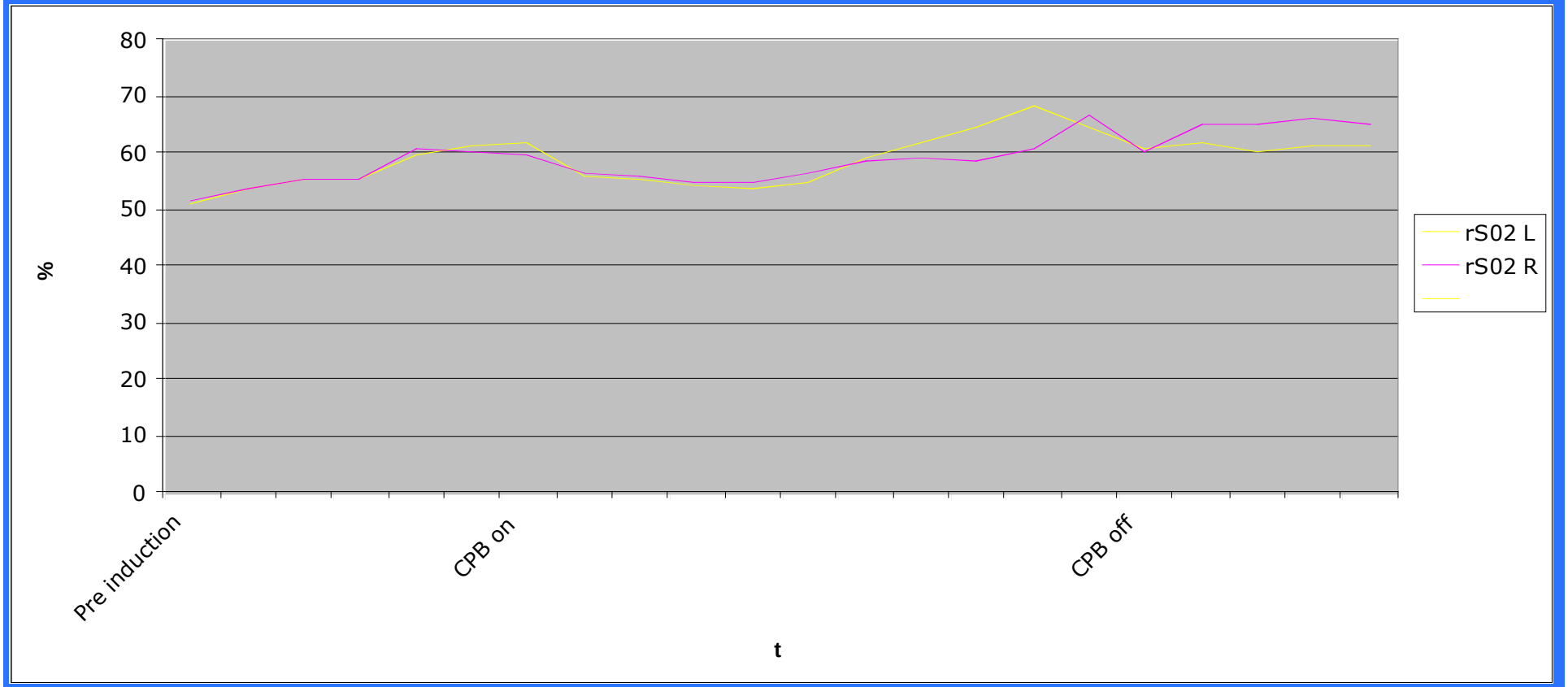


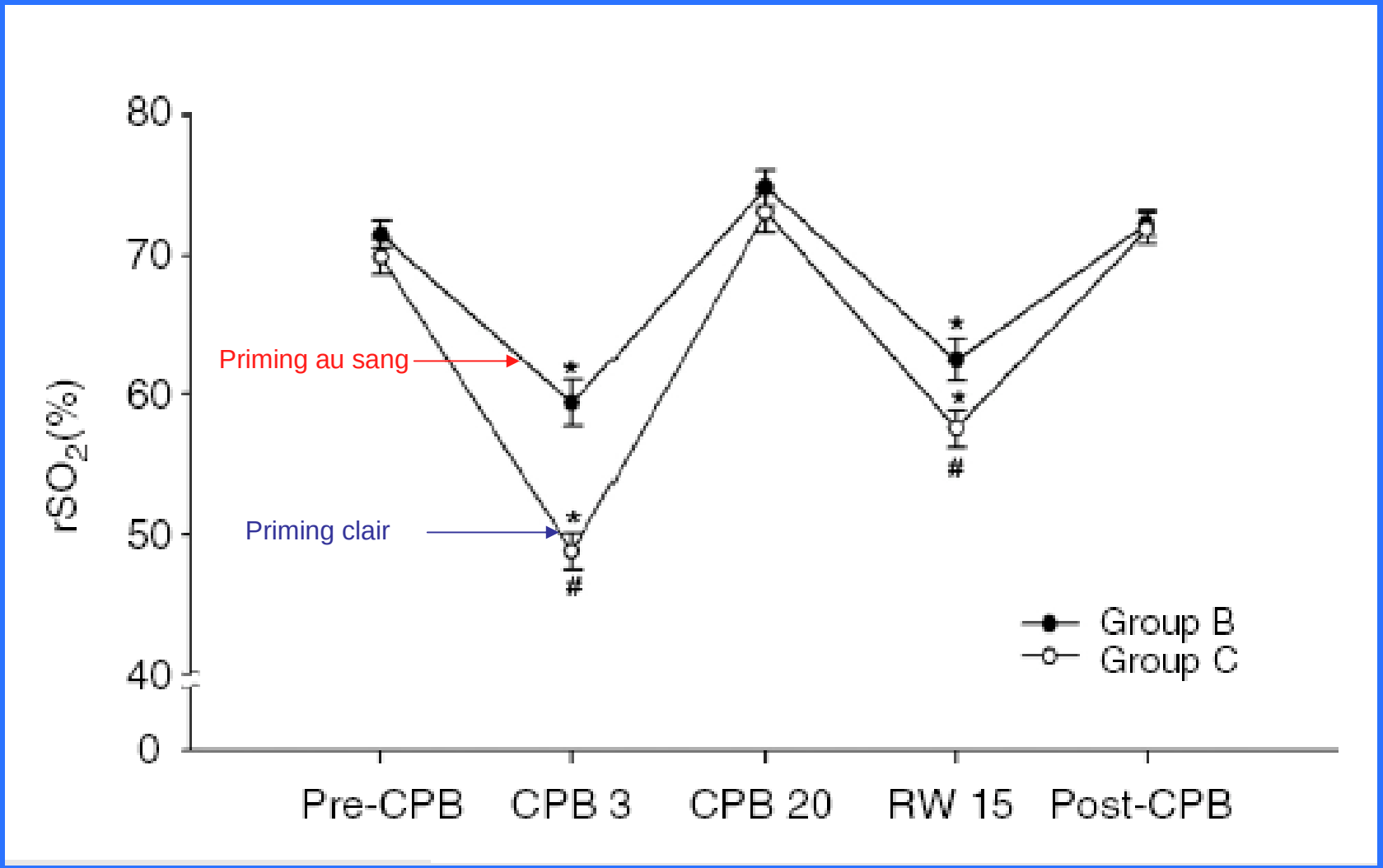
Figure 1
Cerebral oxygen saturation. An abrupt decrease in regional cerebral saturation index (rSO_2i) occurred at the onset of CPB (Time A). After repositioning of the aortic cannula, rSO_2i recovered to baseline levels.





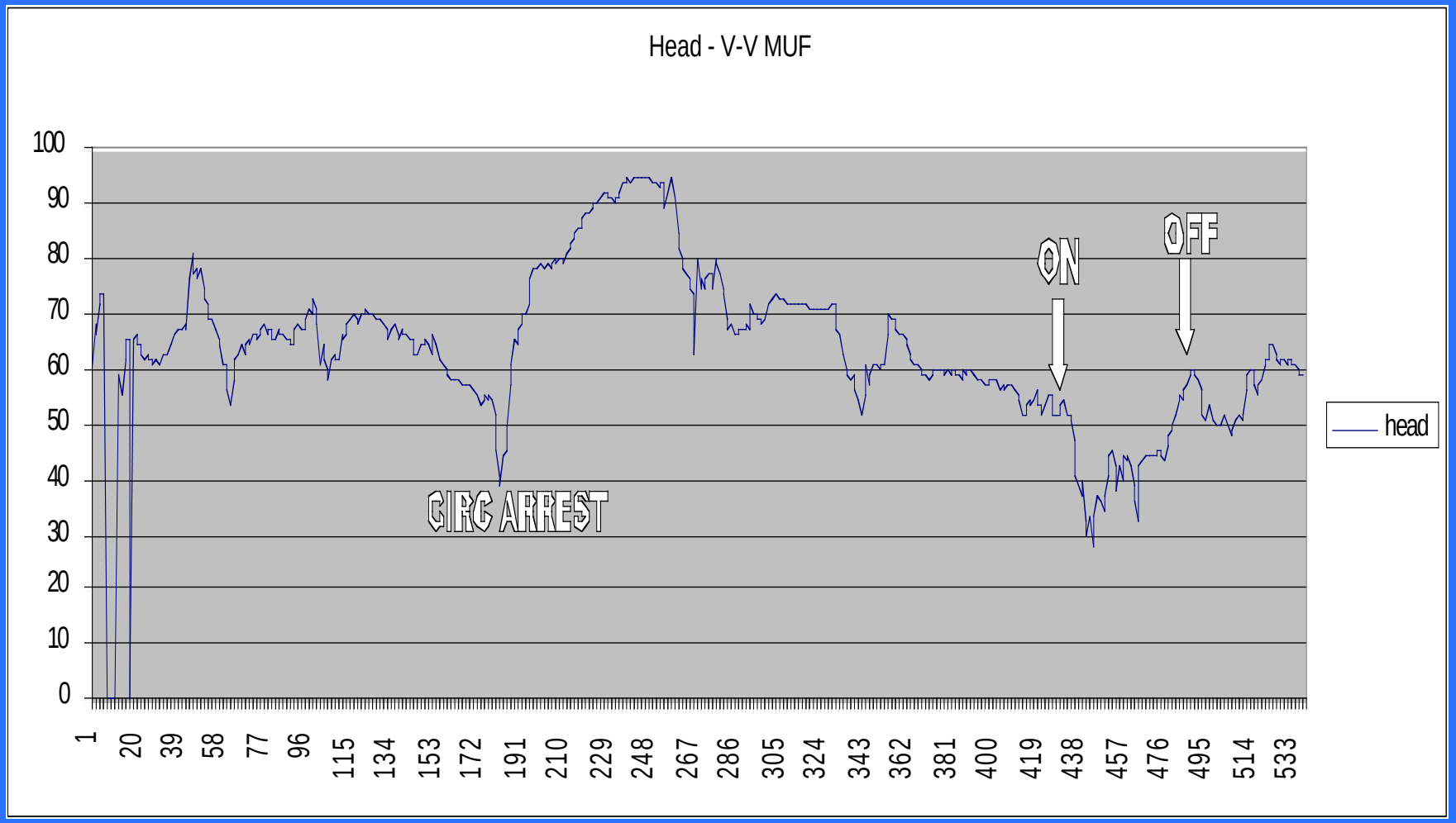


5 Switch artériels pour TGVx en normothermie



Priming clair vs Priming au sang

A-V MUF

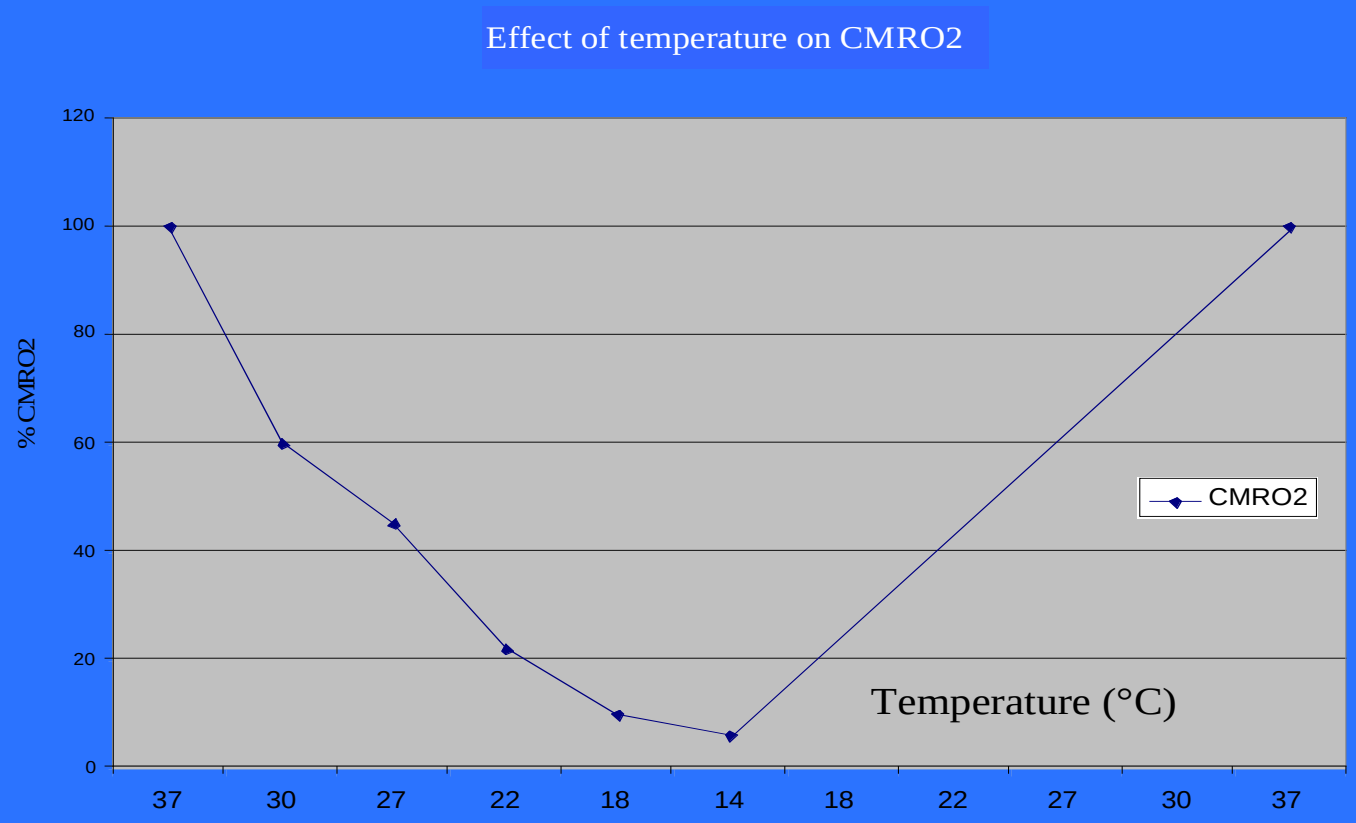

Head - V-V MUF
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
1
20
39
58
77
96
115
134
153
172
191
210
229
248
267
286
305
324
343
362
381
400
419
438
457
476
495
514
533
CIRC ARREST
ON
OFF
head

Particularités liées à l'âge, à la pathologie et au poids = Stratégies

- Hypothermie
- Normothermie
- ACHP & Faible débit
- Perfusion Cérébrale Sélective
- Départs en CEC

Hypothermie

Diminue la consommation cérébrale d'oxygène



Adapted from Michenfelder JD,Anesthesiology 1991,75

L’hypothermie permet l’ACHP

- Avantages:

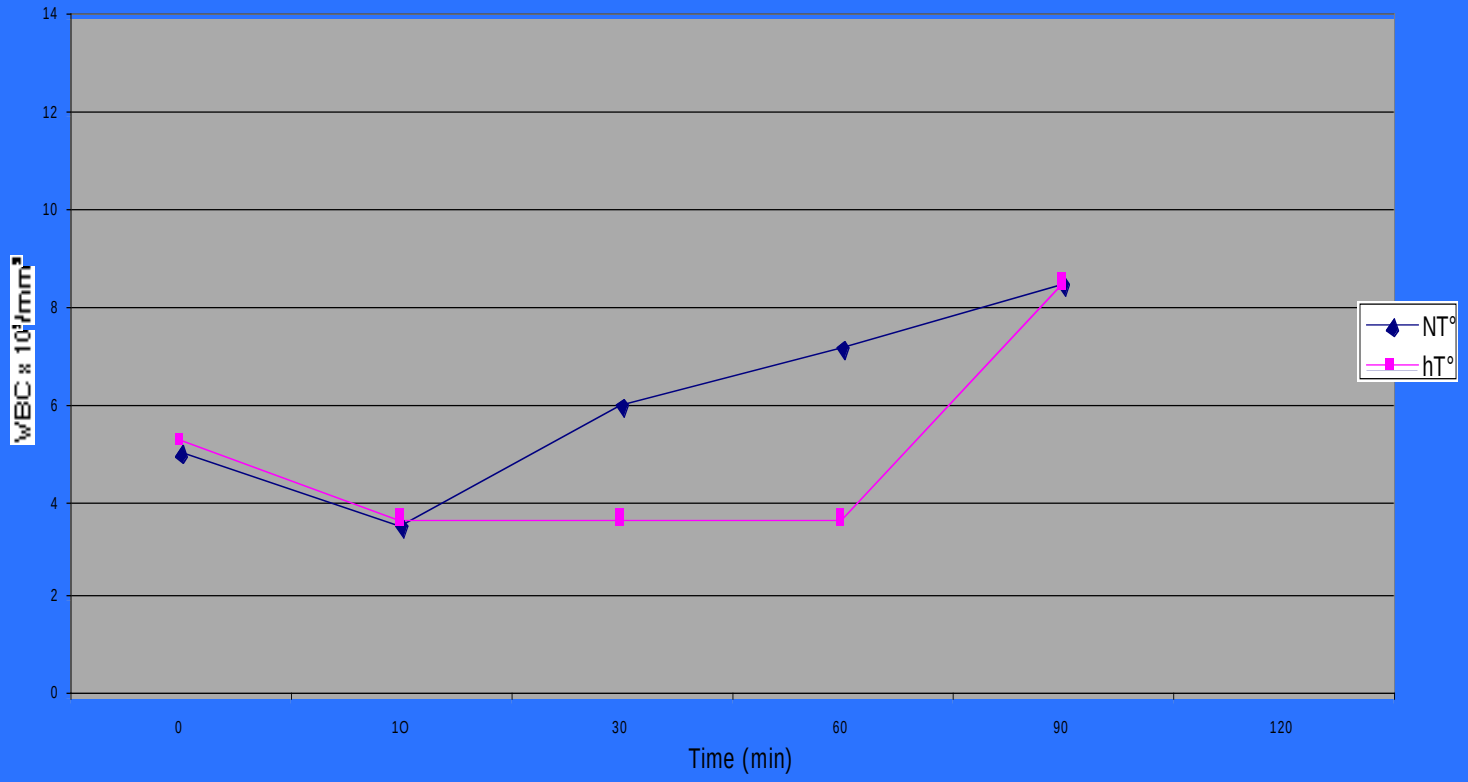
  - Absence des canules de perfusion dans le champs opératoire,
  - Obtention d'un champ opératoire non sanguin
  - Moindre exposition aux complications liées à la CEC

- Mais:
  - La durée de l'ACHP sans risque
  - La meilleure température
  - Le contrôle des gaz du sang en hypothermie : alpha ou pH stat

Restent controversés

The effect of temperature on leukocyte kinetics during CPB

Quiroga MM et al J Torac Cardiovasc Surg 19985,90



Indications de l'ACHP

Quand le faible débit est insuffisant pour permettre le geste chirurgical

Ex: chirurgie de l'Aorte ascendante et de la crosse aortique

Sinon:

Un faible débit de 20-30 ml.kg-1.min-1 suffit à préserver l'ATP et la PC à 18°C et peut être diminuer à 7 ml. kg-1 .min-1 à 15°C.

Le faible débit doit être conseillé à chaque fois que cela est techniquement possible

Technique de l'ACHP

- Refroidissement homogène 20 -30 min(durée, pCO_2, T° priming, hémodilution)
- Température cérébrale rigoureuse < 17°C
- Surveillance oxygénation cérébrale
- Durée limitée <45min
- Purges minutieuses
- Re circulation froide 5 min
- Réchauffement lent <1°C/min
- Surveillance Neurologique post opératoire (EEG, clinique)

Au cours de l'ACHP, le cerveau est « protégé » mais:

- Altération du métabolisme du glycogène et du glutamate
- Diminution du transport de l'O2 et du glucose
- Altération de la microcirculation cérébrale et des débits locaux
- Difficulté d'éliminer une hyperthermie lors du réchauffement

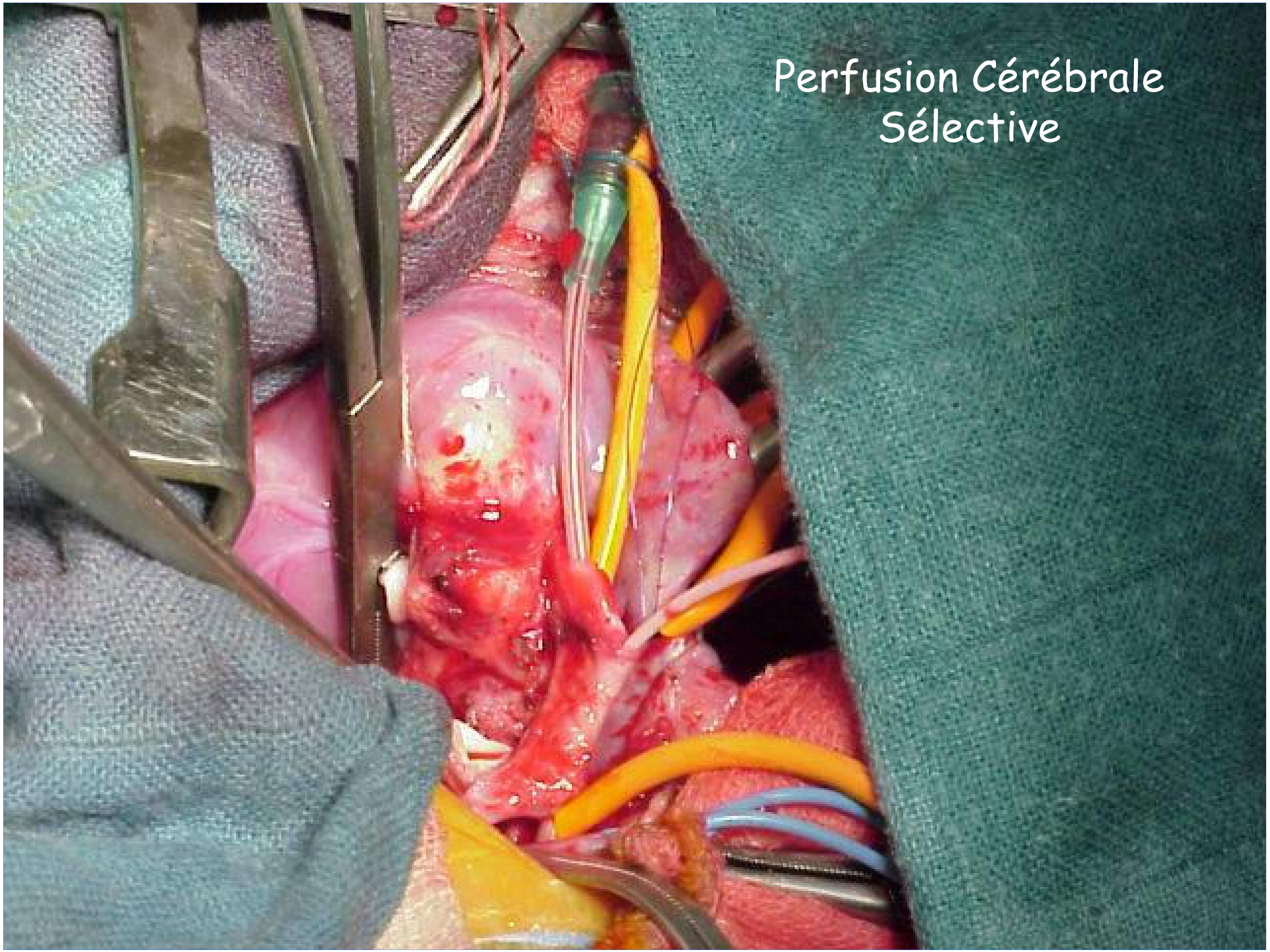
↓

Retard de développement intellectuel et de la coordination motrice

Stratégie opératoire : ACHP ou Low Flow ou Normothermie

ACHP = Développement neurologique altéré

- **Bellinger DC.** Cognitive development of children following early repair of transposition of the great arteries using deep hypothermic circulatory arrest. *Pediatrics.* ***1991*** *May;87(5):701-7*.
- **Bellinger DC**. Developmental and neurologic status of children after heart surgery with hypothermic circulatory arrest or low-flow cardiopulmonary bypass. *N Engl J Med.* ***1995*** *Mar 2;332(9):549-55.*
- **Hovels-Gurich HH.** Cognitive and motor development in preschool and school-aged children after neonatal arterial switch operation. *J Thorac Cardiovasc Surg.****1997*** *Oct;114(4):578-85.*
- **Bellinger DC.** Developmental and neurological status of children at 4 years of age after heart surgery with hypothermic circulatory arrest or low-flow cardiopulmonary bypass. *Circulation.* ***1999*** *Aug 3;100(5):526-32.*
- **Hovels-Gurich HH.** Neurodevelopmental outcome related to cerebral risk factors in children after neonatal arterial switch operation. *Ann Thorac Surg.* ***2001*** *Mar;71(3):881-8.*
- **Hovels-Gurich HH.** Long-term neurodevelopmental outcomes in school-aged children after neonatal arterial switch operation. *J Thorac Cardiovasc Surg.* ***2002*** *Sep;124(3):448-58.*


Perfusion Cérébrale
Sélective

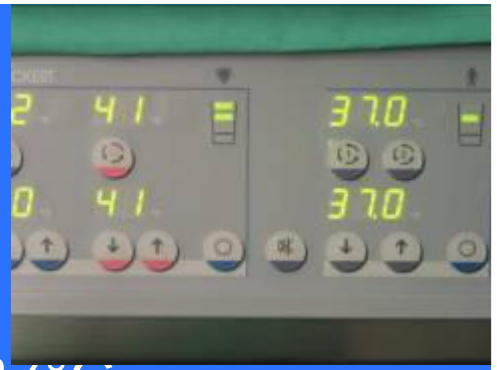
Technique de PCS

- PA radiale droite entre 30 et 45 mmHg
- PCO_2 > 4,5 kPa (35 mmHg)
- Débit entre 15 et 20 ml/kg/min
- FiO_2 21%

Mais l'hypothermie……

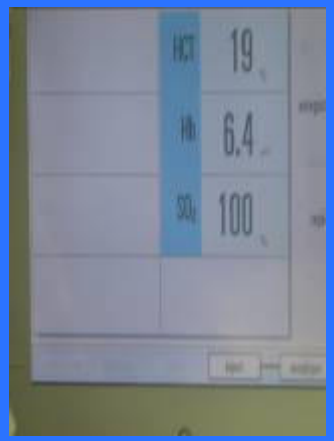
- Altère l'hémostase et augmente le saignement
- Impose l'hémodilution = augmente la fuite extra vasculaire et diminue la délivrance d'Oxygène
- Altère la fonction rénale
- Modifie le rapport apport/consommation d'O_2 splanchnique
- Libère plus d'endotoxines
- Décale la réaction inflammatoire dans le temps

Normothermie



❖ Monitoring

- ➢ Température sur la ligne artérielle □ 37°C
- ➢ Température centrale 35 – 36°C
- ➢ Hémoglobine en continu >30%
- ➢ SvO_2 en continu >70%



❖ BIS profondeur de l' Anesthésie

❖ Débit 2.6 l/min/m^2

❖ Ultrafiltration

CEC normothermique en pédiatrie

- Associée à un,e cardioplégie normothermique
- 4300 Pts dont 350 TGVx (Necker + Massy)
- Avantages démontrés:
  - Diminution troponine et restauration RS
  - Diminution de l'hémodilution
  - Diminution durée intubation et réa
- Avantages suspectés :
  - Réduction du saignement
  - Meilleure perfusion cérébrale
  - Diminution de l'HTAP
  - Meilleure tolérance des CEC longue durée complexe (DCPT 5 reprise, Konno Ross)

CEC normothermique en pédiatrie

- « Inconvénients »:
  - Rigueur maniaque
  - Travail d'équipe: chirurgie- anesthésie- perfusion
  - Perfusion pulmonaire ???
  - Neuro à long terme

- Pouard P, et al Normothermic cardiopulmonary bypass and myocardial cardioplegic protection for neonatal arterial switch operation.Eur J Cardiothorac Surg. 2006 Nov;30(5):695-9
- Durandy YD Normothermic bypass in pediatric surgery: technical aspect and clinical experience with 1400 cases.ASAIO J. 2006 Sep-Oct;52(5):539-42.
- Durandy YD [Discontinuous warm cardioplegia in pediatric cardiac surgery: preliminary results]Arch Mal Coeur Vaiss. 2006 Feb;99(2):103-7
- C Giorni, et al , La circulation extra-corporelle et la protection myocardique normothermique permettent l'extubation précoce des enfants opérés en chirurgie cardiaque 47 ème Congrès National de la Société Française Anesthésie et Réanimation 21-24 septembre 2005 PARIS
- Ph Pouard , et al Warm Bypass and Intermittent Warm Blood Cardioplegia for Arterial Switch Operation 24 Annual Meeting of the Society of Cardiovascular Anestesiologists 20 April 2002 New York USA

Particularités des cardiopathies cyanogènes vieillies

retentissement psychologique

SNC

arythmies

hémostase

Cardiopathies
Congénitales
Cyanogènes

squelette

polyglobulie

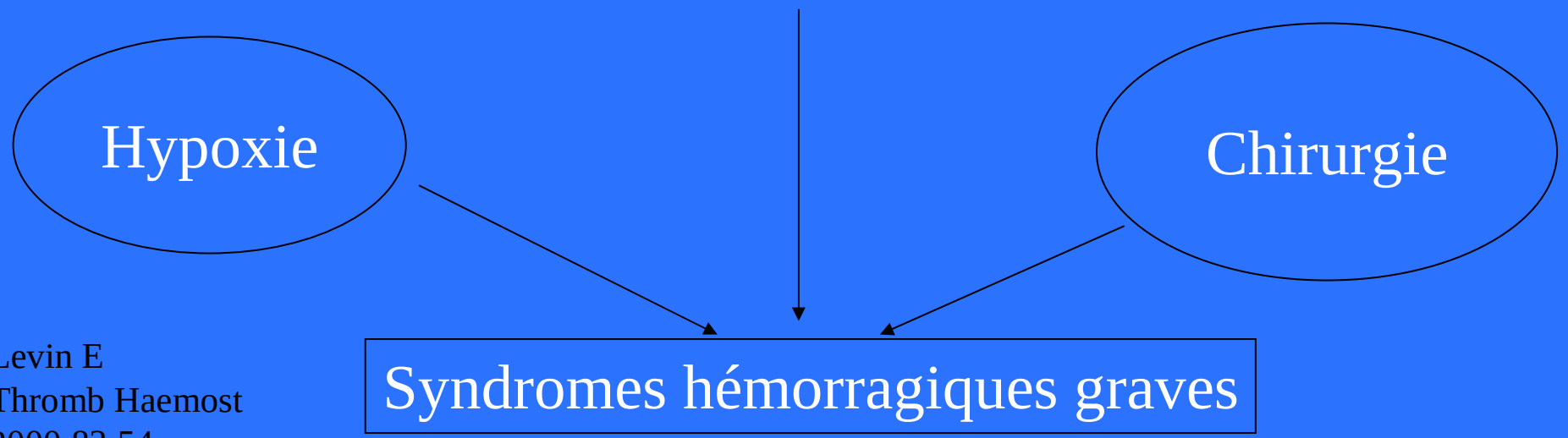
métabolisme

myocarde & coronaires

poumons

rein

	CCC	CEC
Plaquettes	⇓	⇓⇓
Facteurs de coagulation	⇓	⇓⇓
Von Willebrand	⇓	0
DDimères	⇑	⇑
Activation leucocytaire	⇑	⇑⇑⇑⇑

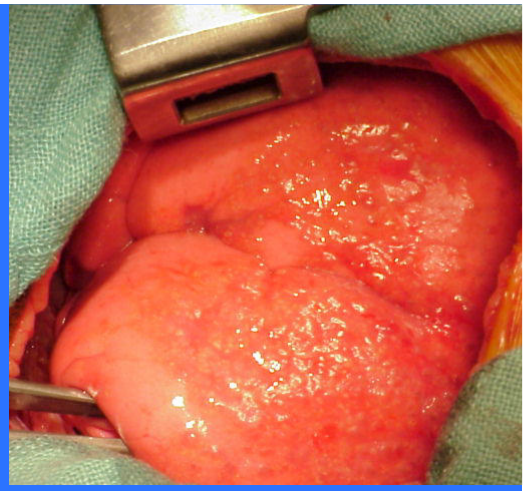


Levin E
Thromb Haemost
2000;83:54

Cardiopathies cyanogènes

- Plus âgés, polyglobuliques
- Bilan pré opératoire ++++
  - Première fois ou n reprise
  - Prévoir canulation fémoro fémorale
  - Retentissement sur l'hémostase : saignement ++++
- Aprotinine et UF (Koutlas 97, D'Errico 96)

Cardiopathies cyanogènes



- Poumon
  - Fistules AV = hémorragie
  - HTAP pré op = HTAP post CEC + IVD
  - Collatérales Ao P (MAPCA)= retour gauche +++

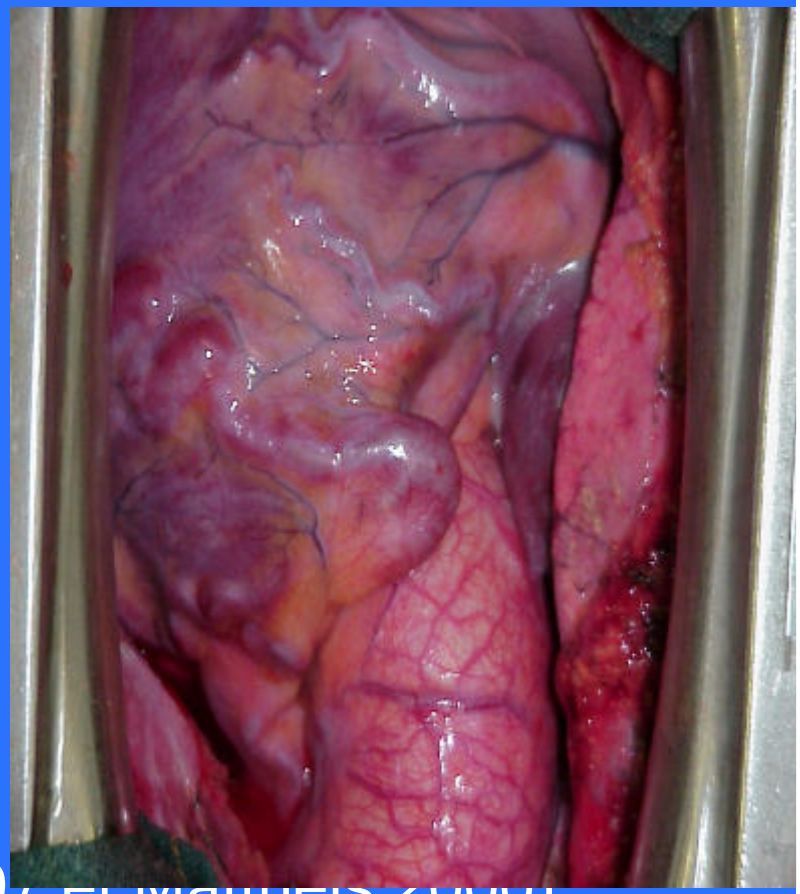
⇒ Hypodébit systémique en CEC

⇒ Réchauffement du myocarde

⇒ Lavage de la sol de cardioplégie, IVG post CEC

Risque d'Hypoxie grave
& de mauvaise protection myocardique

Cardiopathies cyanogènes



❖ Cœur

Anatomie, collatérales, hypertrophie, physiopath (ATP, Anti Ox) => Protection myocardique plus difficile => éviter de clamper et sinon, cardioplégie rigoureuse.

❖ Réaction CEC - Organisme cyanosé

Lésions d'ischémie reperfusion (Allen 97 et Matheis 2000)

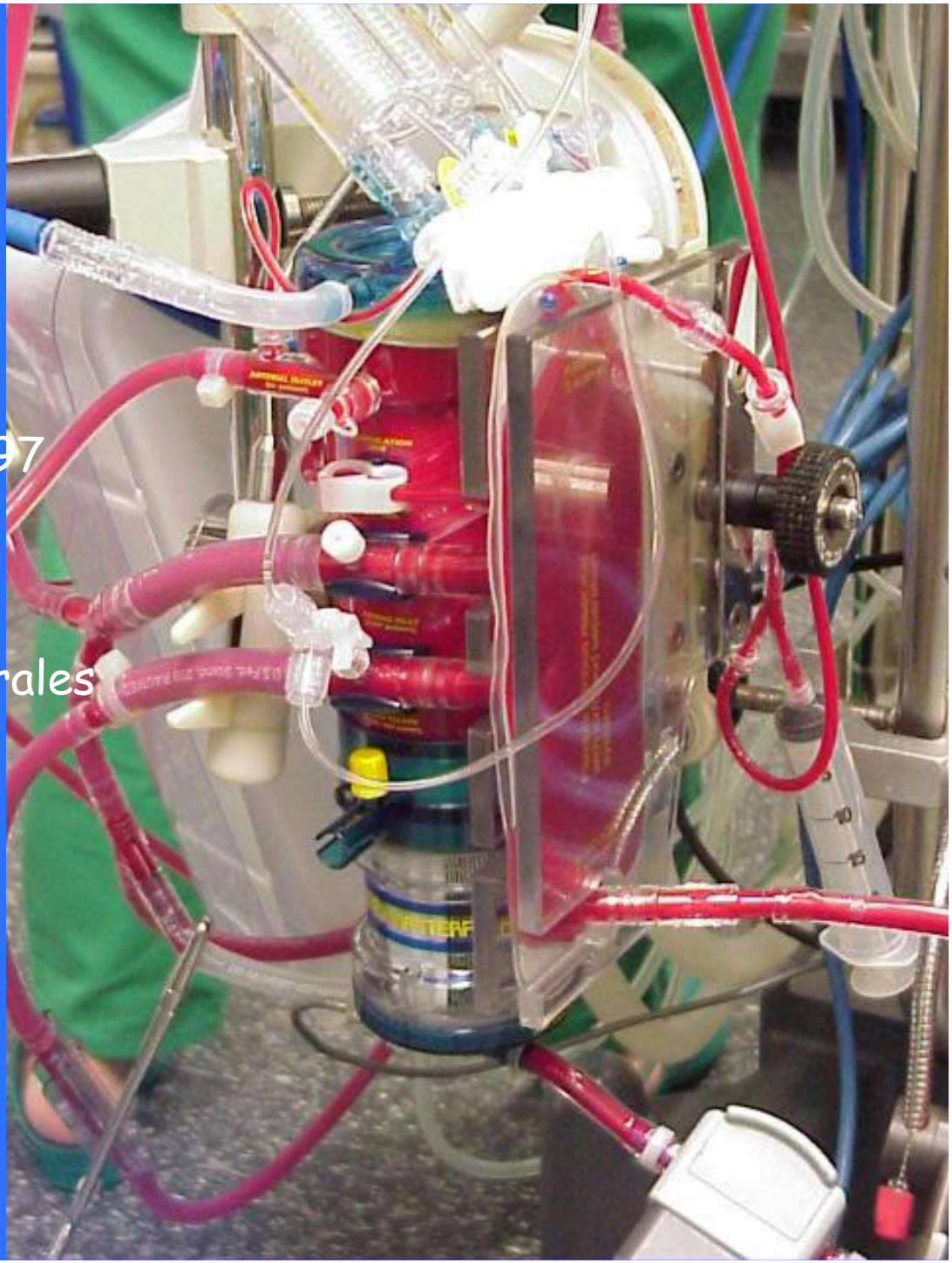
=> Départ en FiO2= 0,21 et traquer l'hyperoxie.

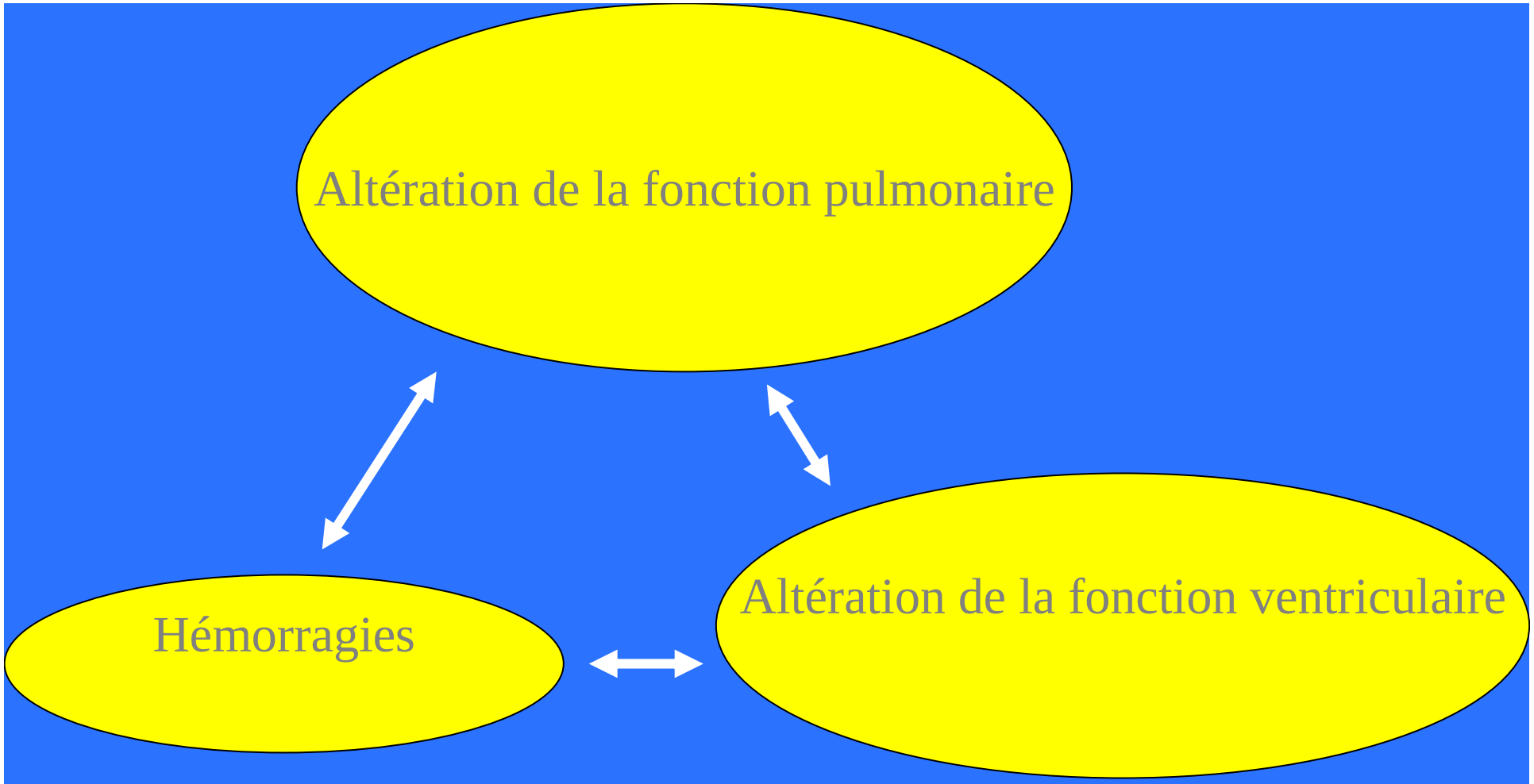
=> Filtre à déleucocyter ? (Zhang 98)

Lésions de reperfusion

- Allen BS Ann Thorac Surg 1997
  Radicaux Libres
- Matheis G TCVS 2000
  Protéine S100 = lésions cérébrales
- Zhang 1998, Filtres

FiO2 : 0,21
NORMOXIE
Filtre à déleucocyter





Facteur aggravant : La Cyanose

Dore A & col Am J Cardiol 1997 Oct 1;80:906-13

Techniques de la CEC en pédiatrie

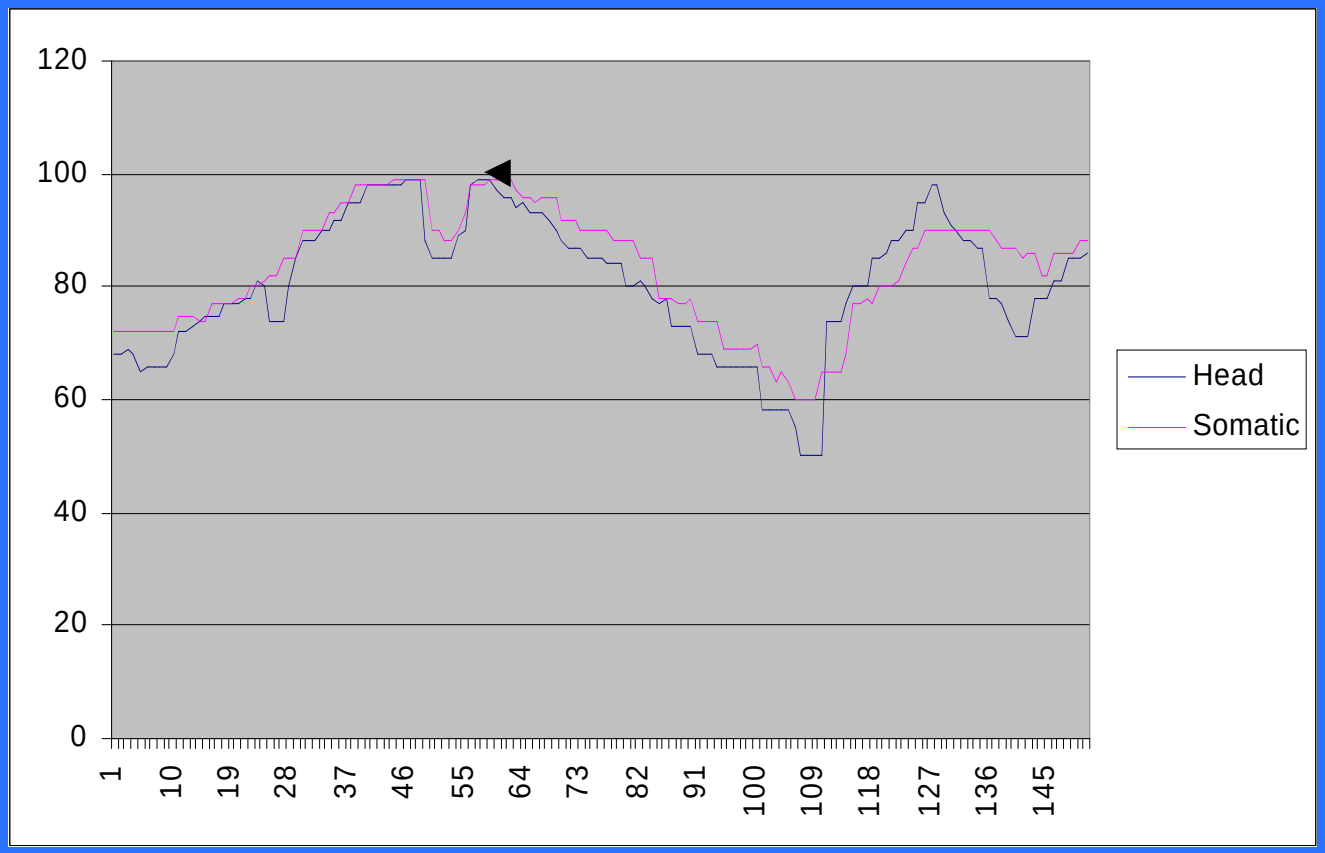
- Faible volume d'amorçage (□ 350 ml en néonatal)
- Qualité du Priming : dérivés sanguins
- La nécessité d'un monitoring adapté
- Canulation VCS puis VCI
- Ultrafiltration (conventionnelle et /ou modifiée)
- Anti-inflammatoires : Aprotinine ou corticoïdes
- Stratégies: normothermie, hypothermie modérée

  AC en hypothermie profonde ± PCS

La CEC Pédiatrique se caractérise par:

- sa Diversité
- sa Précision et sa Rigueur
- son Retentissement post opératoire

ACHP


120
100
80
60
40
20
0
1
10
19
28
37
46
55
64
73
82
91
100
109
118
127
136
145
Head
Somatic