

## PROTECTION CÉRÉBRALE ET MÉDULLAIRE EN CHIRURGIE CARDIAQUE

DU CIRCULATION EXTRA CORPORELLE ET ASSISTANCE CIRCULATOIRE 2024

Julien Imbault, julien.imbault@chu-bordeaux.fr

PH Anesthésie-Réanimation cardiopathies acquises, Hôpital Haut Lévy, CHU Bordeaux



université  
de BORDEAUX



## PROTECTION CÉRÉBRALE

### PLAN

- Généralités sur la chirurgie cardiaque et la protection cérébrale
- Spécificités liées à la chirurgie de la crosse

### PROTECTION CÉRÉBRALE

- Post opératoire de chirurgie cardiaque : 2% AVC
- Fréquence en fonction du type de chirurgie (Triple valve, crosse 10%)

### TYPE DE COMPLICATIONS NEUROLOGIQUES

- **Complications de type 1 < 10%**
  - AIT
  - AVC : emboliques ou jonctionnels
  - Coma
- **Complications du type 2 > 50%**
  - Perturbations neuropsychologiques sans signes de localisations : troubles cognitifs
  - Crises comitiales
  - Confusion

### FACTEURS DE RISQUE DE COMPLICATIONS NEUROLOGIQUES LIÉS AU TERRAIN

- Age
- HTA : courbe auto-régulation cérébrale déplacée vers la droite
- Athérome ou calcification de la l'aorte ascendante
- Diabète : dysrégulation liée à la micro-angiopathie
- Hyperleucocytose et état inflammatoire

## FACTEURS DE RISQUE LIÉS À LA « PROCÉDURE »

- Température normo versus hypothermie
- Débit continu versus débit pulsatif
- Débit de pompe et pression de perfusion cérébrale
- Hyperglycémie per op : majoration des lésions ischémiques lors de la reperfusion
- Hématocrite
- On pump vs off pompe

## DIFFÉRENTS ASPECTS DE LA PROTECTION CÉRÉBRALE

- Limiter le risque embolique
- Assurer une perfusion cérébrale et un transport en O<sub>2</sub> satisfaisants
- Diminution la demande en O<sub>2</sub>
- Maintien de l'homéostasie
- Protection pharmacologique du cerveau

## MÉCANISMES ISCHÉMIQUES

- Emboliques
  - Gazeux (cavités cardiaque, circuit de CEC)
  - Plaques d'athérome
  - Calcifications (valve ou aorte)
- Hémodynamique
  - Ischémie des territoires jonctionnels
  - Canulations sélectives

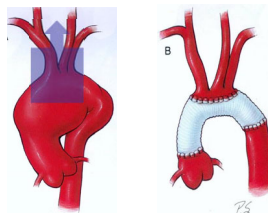
## EMBOLIES GAZEUSES : PRÉVENTION

- Débullage soigneux des circuits de CEC
- Utilisation très restrictive des aspirations de cardiectomie
- Réduction des manipulations de la CEC
- CO<sub>2</sub> dans le champ opératoire<sup>1</sup>(GRADE I)
- Réchauffement lent pour éviter le passage des gaz dissous en phase gazeuse
- Débullage des cavités cardiaques soigneux avant la remise en charge ++
- Position de Trendelenbourg

1. 2019 EA/ECTA/EBCP guidelines on cardiopulmonary bypass in adult cardiac surgery

## SPÉCIFICITÉS DES CHIRURGIES DE LA CROISSE

- Modification de la perfusion cérébrale
- Ischémie cérébrale
  - 3 à 5% pour la chirurgie programmée<sup>1</sup>
  - 9 à 13% pour la chirurgie en urgence
- Séquelles neuropsychologiques : 20%
- Mortalité :
  - Anévrisme : 6%
  - Dissection 10 à 25%<sup>2,3</sup>



<sup>1</sup> Williams JB, et al. Contemporary results for proximal aortic replacement in North America. J Am Coll Cardiol 2012; 60:1156-62.  
<sup>2</sup> Horvath LG, et al. 2015 Guidelines for the diagnosis and management of patients with thoracic aortic disease. European society of cardiology. Circulation 2010;121:1544-79.  
<sup>3</sup> Padoa-Schioppa C, et al. Anesthesia for the surgical management of thoracic aortic disease. Textbook of cardiothoracic anesthesiology. New York, McGraw-Hill Co, 2001, MB-710

## PHYSIOPATHOLOGIE DE L'ISCHÉMIE NEURONALE

### En normothermie :

- Déplétion des stocks en ATP et phospho-créatine en 3-4 min
- Perte activité pompes membranaires NA-K-ATPase
- Accumulation Na<sup>+</sup> intracellulaire – œdème cellulaire → mort cellulaire
- Accumulation de Ca<sup>++</sup> intracellulaire et relargage de neurotransmetteurs excitateurs

### Orientation du métabolisme aérobie vers glycolyse anaérobie:

- Perte de rendement énergétique
- Production d'acide lactique
- Acidose cellulaire : aggravation lésions cellulaires et lésions neuronales irréversibles

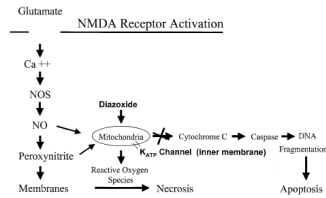
## MÉCANISMES DES LÉSIONS NEURONALES ISCHÉMIQUES

### Mécanismes Excitateurs

- Relargage neurotransmetteurs par ischémie et hypoxie
- Déplétion du stock ATP
- Dépolarisation membranaire
- Libération glutamate
- Entrée intracellulaire de  $\text{Ca}^{2+}$

### Reperfusion

Libération de radicaux libres



## FACTEURS DE RISQUES

- Age du patient
- Anamnèse d'AVC
- Durée de l'arrêt circulatoire
- Pression artérielle et flux sanguin cérébral
- Température cérébrale
- Vitesse de refroidissement et de réchauffement
- Activité cérébrale électrique au moment de l'arrêt
- Homéostasie biochimique

## STRATÉGIES DE PROTECTION

- Limitation de la durée de l'arrêt circulatoire complet
- Hypothermie profonde
- Moyens chirurgicaux
- Position de Trendelenburg
- Protection cérébrale pharmacologique
- Autres moyens anesthésiques
- Baisse de la consommation d' $\text{O}_2$

## EFFETS CÉRÉBRAUX DE L'HYPOTHERMIE

- \ Métabolisme cérébral ( $\approx 7\%$  par degré  $^{\circ}\text{C}$ )
- \ Activité électrique (50 à 60% de la  $\text{CMRO}_2$ )
- \ Métabolisme basal (40 à 50% de la  $\text{CMRO}_2$ )

Calculated Safe Duration of Hypothermic Circulatory Arrest

| Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Cerebral Metabolic Rate (% of baseline) | Safe Duration of BCCA (min) |
|------------------------------------|-----------------------------------------|-----------------------------|
| 37                                 | 100                                     | 2                           |
| 30                                 | 56 (25-60)                              | 9 (8-10)                    |
| 25                                 | 37 (33-42)                              | 14 (13-15)                  |
| 20                                 | 24 (21-29)                              | 21 (17-24)                  |
| 15                                 | 16 (13-20)                              | 31 (25-38)                  |
| 10                                 | 11 (8-14)                               | 45 (36-62)                  |

Calculations based on assumption that there is a 5-min tolerance for circulatory arrest at  $37^{\circ}\text{C}$ . Values in parentheses are 95% confidence intervals. BCCA = hypothermic circulatory arrest.

## COUPLAGE FLUX SANGUIN CÉRÉBRAL ET MÉTABOLISME

- Augmentation relative du flux sanguin cérébral (FSC)

|                      | Normothermie | Hypothermie |
|----------------------|--------------|-------------|
| FSC/ $\text{CMRO}_2$ | 15/1         | 30/1        |

- Maintien autorégulation cérébrale (jusqu'à  $25^{\circ}\text{C}$ )

## EFFETS MOLÉCULAIRES CÉRÉBRAUX DE L'HYPOTHERMIE

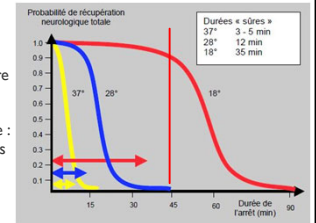
- \ Libérations cytokines pro inflammatoires post ischémiques et radicaux libres
- \ Neurotransmetteurs excitateurs (glutamate)
- Préservation de la barrière hémato-encéphalique
- \ Activation récepteurs NMDA
- \ Phénomènes apoptotiques

## EFFETS CÉRÉBRAUX DE L'HYPOTHERMIE

- Perte de conscience < 30°C
- Perte auto régulation, Mydriase fixée < 25°C
- EEG isoélectriques < 20°
- **Limite absolue 12°C**
  - Inhibition pompes  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  et  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$
  - Diffusion de ions selon gradient électrochimique
  - Œdème intracellulaire

## ARRÊT CIRCULATOIRE

- L'hypothermie « autorise » un arrêt circulatorio
- Probabilité de séquelles neurologiques
- Exposition aux complications de l'hypothermie : coagulopathie, réaction inflammatoire majeures



Kern RH, et al. The effect of altering pump flow rate on cerebral blood flow and cerebral metabolism in neonates, infants and children. Ann Thorac Surg 1993; 58:1366-72  
PéGallagher et al. ATLS 1999

## SOLUBILITÉ DES GAZ ET HYPOTHERMIE



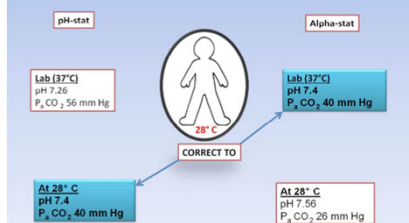
### α-Stat

- Contenu total en  $\text{CO}_2$  maintenu (comme en normothermie, lecture à 37°C)
- $\text{PaO}_2$  diminue mais rapport  $\text{H}^+/\text{OH}^-$  constant
- Maintien autorégulation cérébrale
- pH intracellulaire stable
- Fonctions enzymatiques conservées

### pH-Stat

- Maintien pH stable quelque soit la température : Ajout de  $\text{CO}_2$
- Augmentation du contenu total en  $\text{CO}_2$
- Acidose respiratoire (à 37°C)
- Vasodilatation cérébrale => perfusion cérébrale luxuriante
- Perte autorégulation cérébrale
- Risque œdème cérébrale
- Homogénéité lors du refroidissement

## pH Management



## ATTENTION !!!

### CDI (TERUMO)



## QUE CHOISIR ?

### α-Stat

- Meilleur résultats neurologiques : moins de troubles neuro cognitifs
- Diminution risque micro embolique

⇒ **A utiliser en hypothermie à l'état stable**

### pH-Stat

- Homogénéité refroidissement et réchauffement
- ⇒ **peut être utilisé en cours de refroidissement/réchauffement et Pédiatrie ?**

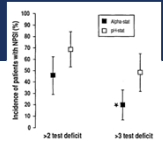


Fig. 5. Severity of neurophysiological impairment (NPI) in alpha-stat and pH-stat groups for both normo and three test deficits. Values are mean ± 95% CI. \*denotes, p < 0.05 when compared with the pH-stat value.

TABLE II. Incidence of neurological sequelae

| Management                                            | pH-stat (n = 35) | α-stat (n = 36) |
|-------------------------------------------------------|------------------|-----------------|
| Cerebellar symptoms (ataxia, dysdiadochokinesis etc.) | 5                | 1               |
| Disorientation, confusion                             | 1                | 1               |
| Right homonymous hemianopia                           | 1                | —               |
| IIIrd and Vth nerve paresis                           | 2                | —               |
| SLIN sensory paresis                                  | 1                | —               |

Marlin JM. Cerebral autoregulation and flow/vascular coupling during cardiopulmonary bypass: the influence of PCO<sub>2</sub>. *Anaesth Analg* 1987; 66:825-32  
 Paul RL, et al. Alpha-stat acid-base regulation during cardiopulmonary bypass improves neurophysiological outcomes in patients undergoing coronary artery bypass grafting. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1996; 111:1267-79

## Recommendations for acid-base balance and electrolyte management

| Recommendations                                                                                                                                                             | Class <sup>a</sup> | Level <sup>b</sup> | Ref <sup>c</sup> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|--------------------|------------------|
| Alpha-stat acid-base management should be applied in adult cardiac surgery with moderate to mild hypothermia because neurological and neurocognitive outcomes are improved. | IIa                | B                  | 179–181          |

2019 EACTS/EACTA/EBCC guidelines on cardiopulmonary bypass in adult cardiac surgery

## RÉCHAUFFEMENT

- Induit une hyperthermie cérébrale (38/39°C)
- ↗ production de radicaux libres et neuro transmetteurs excitateurs
- Découplage entre apport et demande en O<sub>2</sub>
- Aggrave susceptibilité des neurones à l'ischémie
- Complications proportionnelles à la vitesse de réchauffement
- Surveillance de la température cérébrale ++ (tympanique ou nasopharynx mais **sous estimation 2°C**)

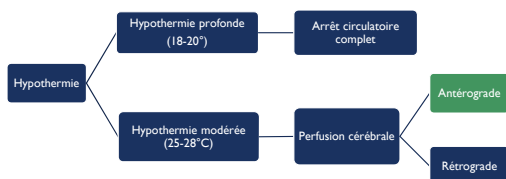
Signore AM, et al. A score review of temperature regulation and neuroprotection during cardiopulmonary bypass: does rearming matter? *Anaesth Analg* 2008; 108:1741-51  
 Signore AM, et al. The rearming rate and increased peak temperature alter neurocognitive outcomes after cardiac surgery. *Anaesth Analg* 2005; 104:14-20  
 Gorman RW, et al. Postoperative hyperthermia is associated with cognitive dysfunction after coronary artery bypass surgery. *Stroke* 2005; 36:1557-61  
 Poonen PJ. Hypothermia during cardiopulmonary bypass – time for a more temperate approach. *Curr Opin Anaesth* 1996; 10:424-8  
 Siegfried S, et al. Role of perfusion pressure and flow in major organ dysfunction after cardiopulmonary bypass. *Ann Thorac Surg* 1990; 50:911-8

## BIEN CONDUIRE LE RÉCHAUFFEMENT

- 2 sites de mesures : tympanique ou nasopharynx et rectale ou vésicale
- 1°C par 5 à 10 min
- Gradient T° réinjection (artérielle) et T° cérébrale < 3°C
- Gradient T° rectale et cérébrale < 10°C
- Gradient T° sang veineux et échangeur thermique < 10°C

## PERFUSION CÉRÉBRALE ?

- Mise en place de l'hypothermie par la CEC
- Mesures adjuvantes : Baisse de la T° de salle, refroidissement local cérébral



## DISEASES OF THE AORTA

### ORIGINAL ARTICLE

## Contemporary management and outcomes of acute type A aortic dissection: An analysis of the STS adult cardiac surgery database

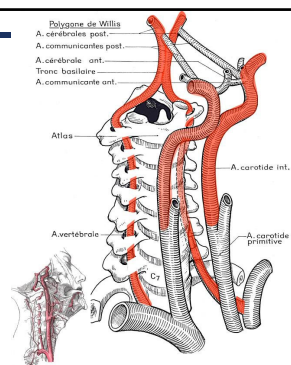
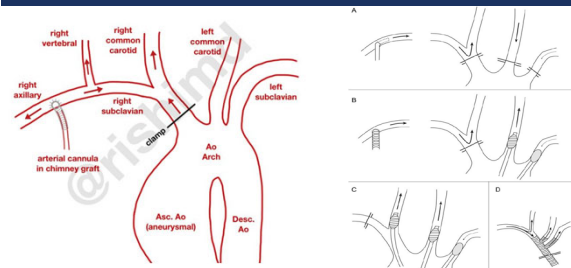
2982 DA entre 2011 et 2012  
Amérique du nord

| CPB details             | n    | %    |
|-------------------------|------|------|
| Perfusion time (min)    | 2929 | 98.2 |
| Lowest temperature (°C) | 2817 | 94.5 |
| Lowest hematocrit       | 2780 | 93.2 |
| Arterial cannulation    |      |      |
| Aortic                  | 858  | 29.1 |
| Femoral                 | 1354 | 45.9 |
| Axillary                | 914  | 31.0 |
| Other                   | 194  | 6.6  |

Lee TC, Kim Z, Chandra PH, et al. Contemporary management and outcomes of acute type A aortic dissection: An analysis of the STS adult cardiac surgery database. *Curr Surg* 2018;337-48.

**Contemporary management and outcomes of acute type A aortic dissection: An analysis of the STS adult cardiac surgery database**2982 DA entre 2011 et 2012  
Amérique du nord

| Circulatory arrest details         | n   | %    |
|------------------------------------|-----|------|
| Circulatory arrest                 |     |      |
| No circulatory arrest              | 636 | 21.3 |
| Circ. arrest/no cerebral perfusion | 935 | 31.3 |
| Cerebral perfusion:                |     |      |
| Antegrade                          | 709 | 23.8 |
| Retrograde                         | 586 | 19.7 |
| Both                               | 88  | 3.0  |
| Unknown                            | 18  | 0.6  |
| Missing                            | 10  | 0.3  |

Lee TC, Kim Z, Cheema PM, et al. Contemporary management and outcomes of acute type A aortic dissection: An analysis of the STS adult cardiac surgery database. *Curr Surg*. 2018;337-18.**PERFUSION CÉRÉBRALE SÉLECTIVE ANTÉROGRADE****CANULATION CÉRÉBRALE SÉLECTIVE**

- Débit antérograde hypothermique entre 10 et 15 ml/kg/min
- Pression de perfusion 60mmHg
- Perfusion de 3 TSA sur 4 ??

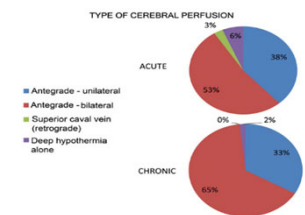


Figure 3: Preferred mode of brain perfusion.

De Paula R, et al. Current trends in cannulation and neuroprotection during surgery of the aortic arch in Europe. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2015; 47:17-22.  
Rajasekhar V, et al. The use of Willis circle variations during unilateral antegrade cerebral perfusion: a study of 2000 cases. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2012; 44:543-52.

| Arret circulatorio hypothermique (ACH) | Perfusion sélective axillaire | Perfusion bi carotidienne                                        | Perfusion rétrograde (Veines jugulaires) |
|----------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Hypothermie profonde et complication   | Pas d'encombrement du champ   | Encombrement champ opératoire                                    | 200 à 500ml/min                          |
| Protection médullaire et périphérique  | Dépend du polygone de Willis  | Risques embolisation artérielle cérébrale<br>Ischémie médullaire | Pression max 25mmHg                      |
| T° 18°C                                | T° 22-28°C                    | T° 25-28°C                                                       | T° 20°C                                  |
| Durée 25 min                           | Durée < 40 min                | Durée > 40 min                                                   | Risques œdème cérébral                   |
|                                        |                               | Diminution mortalité 45% et séquelles neurologiques 20% vs ACH   | Lavage carotide rétrograde               |

+/- Canulation fémorale pour perfusion moelle et organes abdominaux

**MESURES PHARMACOLOGIQUES : PEU DE PREUVES...**

- Thiopental : Diminution de la CMRO<sub>2</sub> de 30%, 5 à 10mg/kg, assure un EEG iso électrique en absence de monitoring
- Corticoïdes : Effet stabilisateur sur les membranes, diminution œdème perilesionnel, faible innocuité, 45 min avant l'arrêt, aucune preuve...
- Mannitol : Diminution de l'œdème cérébral, pas de preuve...
- Inhibiteurs calciques : diminution du Ca<sup>2+</sup> intracellulaire, limitations vasoconstriction artériolaire, uniquement nimodipine, pas de preuve
- Magnésium : Activité anticalcique, amélioration récupération neurologique...

DUPONT J-D. Do barbiturates really protect the brain? *Anesthesiology*. 1993; 78:111-3.  
WESTERMARK K, HILGREN-BAKER E, ZACHARSEN L, et al. Neuroprotective efficacy of intravenous and intracerebral magnesium sulfate in a rat model of transient focal cerebral ischemia. *Acta Neurochir*. 2002; 145:393-9.

- Halogénés
- Lidocaïne : neuroprotection ??
- Ketamine
- Xenon : blocage des récepteurs NMDA
- NO...

#### Nitric Oxide in Selective Cerebral Perfusion Could Enhance Neuroprotection During Aortic Arch Surgery

Daniela Linardi<sup>1</sup>, Romel A. Barba Desimone<sup>2</sup>, Maddalena Giovanni B. Luciani<sup>3</sup>, Gius



1<sup>st</sup>, Loris Macchini<sup>4</sup>, Leonardo Gattini<sup>5</sup>, gattini<sup>6</sup>

**Conclusions:** Nitric oxide administration in the oxygenator during SCP and HCA improves neuroprotection by decreasing neuroinflammation, optimizing oxygen delivery by reducing oxidative stress and hypoxic areas, finally decreasing apoptosis.

Linardi D, Mori R, Monti A, Desimone R, Macchini L, Desimone M, Tassinari M, Marinazzi S, Gattini L, Luciani GB, Pagnan G and Rungtancher A (2022) Nitric Oxide in Selective Cerebral Perfusion Could Enhance Neuroprotection During Aortic Arch Surgery. Front. Cardiovasc.

#### AUTRES MESURES ANESTHÉSIQUES

- Contrôle glycémique 8 à 10 mmol/L
- Hématocrite ≈ 24%, attention à l'hyperviscosité
- Position de Trendelenbourg
- Curares en continu
- Refroidissement homogène : éviter la Noradrénaline

#### MONITORAGE HÉMODYNAMIQUE

- 2 KTA en fonction du type de canulation
- ETO :
  - Contrôle des valvulopathies associées
  - Suivi du flap
  - Contrôle des canulations
  - Purge des cavités cardiaque
- +/- Catéter de Swan Ganz

#### SATURATION JUGULAIRE EN O<sub>2</sub> (SJO<sub>2</sub>)

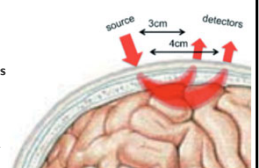
- Reflet extraction en O<sub>2</sub>
- Augmentation en cas d'hyperhémie, hypercapnie et hypothermie
- Diminution : désaturation systémiques, hypocapnie, anémie, hypotension artérielle, hypertension intracrânienne, hyperthermie, convulsions, vasospasmes
- < 40% souffrance cérébrale ischémiques et séquelles

#### MONITORAGE NEUROLOGIQUE

- EEG iso électrique si Débit 15-20ml/100g/min et si T°C < 20°C
- BIS : Monitoring global...
  - BIS < 40 et chute de PAM < 70mmHg augmentation de la mortalité à J30
  - Pas de données dans le cas d'une ischémie contrôlée...
- NIRS

#### NIRS

- Mesure de saturation de l'Hb cérébrale en oxygène (ScO<sub>2</sub>) par spectrométrie infrarouge
- Reflet très superficiel et local (lobes frontaux)
- Surveillance des variations et de l'asymétrie
- Contrôle au moment des canulations et clampages des TSA
- Adaptation perfusion cérébrale sélective (surtout si stratégie unilatérale)
- Surveillance au réchauffement car augmentation de la CMRO<sub>2</sub>
- Seuil ??? Mesures à entreprendre si variation > 20%



PISTES

- Baisse de 5-15 points : normal lors d'arrêt circulatoire;
- Baisse de < 20 points : faible probabilité de lésions neurologiques;
- Baisse de > 20 points : seuil d'alerte;
- ScO<sub>2</sub> = 40%: limite de récupération neurologique certaine;
- ScO<sub>2</sub> ≤ 30%: seuil de déficits neurologiques postopératoires.

- Mesures en cas de désaturation cérébrale :
  - Canulation supplémentaire ?
  - Reprise d'une perfusion en cas d'ACH
  - Augmentation du débit cérébral
  - Normalisation PaCO<sub>2</sub> et FIO<sub>2</sub>
  - Transfusion

SCO<sub>2</sub> > 75%  
=  
perfusion excessive (hyperhémie de reperfusion)

ARRÊT CIRCULATOIRE EN COURS DE CEC ET MESURES DE PROTECTION CÉRÉBRALE

- Perfusion cérébrale sélective continue (10-15 mL/kg/min) +/- fémorale
- Hypothermie à 25-28°C, refroidissement et réchauffement homogènes et lents (1°/5 min) avec risque d'hyperthermie cérébrale au réchauffement
- Si arrêt circulatoire complet Hypothermie 18-20°C
- Position de Trendelenburg ;
- Normoglycémie, mannitol ou SSH (diminution de l'œdème cérébral)
- Curarisation
- Methylprednisolone
- Non-prouvés : Mg<sup>2+</sup>, thiopental, Xénon, Nimodipine

International Journal of Environmental Research and Public Health

MDPI

Review

Contemporary Neuroprotection Strategies during Cardiac Surgery: State of the Art Review

Palesa Motshabi-Chakane <sup>1</sup>, Palesa Mogane <sup>1</sup>, Jacob Moutlana <sup>1</sup>, Gontse Leballo-Mothibi <sup>1</sup>, Sithandiwe Dingezweni <sup>1</sup>, Dineo Mpanya <sup>2</sup> and Nqoba Tsabedze <sup>2,\*</sup>

Motshabi-Chakane, P et al. Contemporary Neuroprotection Strategies during Cardiac Surgery: State of the Art Review. Int. J. Environ. Res. Public Health 2021, 18, 12747

Journal of Clinical Medicine

MDPI

Review

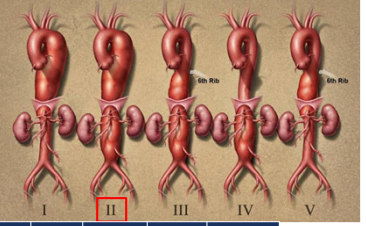
Cerebral Protection Strategies and Stroke in Surgery for Acute Type A Aortic Dissection

Leonard Pitts <sup>1,2,\*</sup>, Markus Kofler <sup>1,2,3</sup>, Matteo Montagner <sup>1,2</sup>, Roland Heck <sup>1,2</sup>, Jasper Iske <sup>1,2</sup>, Semih Buz <sup>1,2,3</sup>, Stephan Dominik Kurz <sup>1,2</sup>, Christoph Starck <sup>1,2,3</sup>, Volkmar Falk <sup>1,2,3,4</sup> and Jörg Kempfert <sup>1,2,3</sup>

J. Clin. Med. 2023, 12, 2271. <https://doi.org/10.3390/jcm12062271>

PROTECTION MÉDULLAIRE

CHIRURGIE DE L'AORTE THORACIQUE DESCENDANTE ET ABDOMINALE



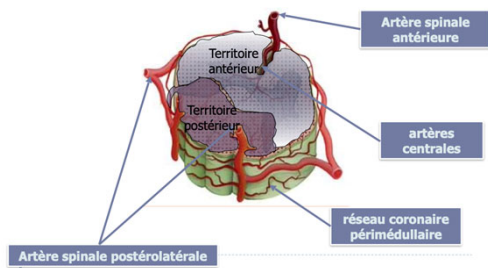
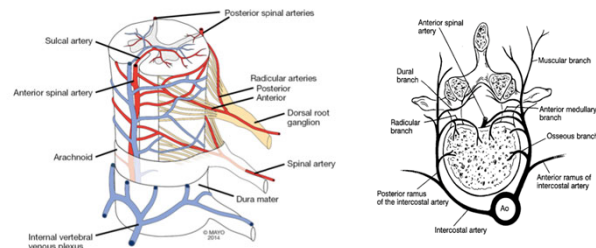
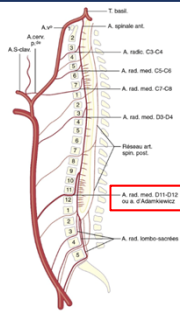
Classification de Crawford

| TEVAR     | 5% | 10% | 3% | 2% |
|-----------|----|-----|----|----|
| CHIRURGIE | 3% | 7%  | 2% | 1% |

Complications neurologiques



Diagram illustrating the arterial system, showing the descending aorta and its branches. The diagram is divided into three horizontal regions: Cervical (top, purple), Thoracic (middle, pink), and Lumbar (bottom, yellow). The descending aorta is shown as a large red vessel. Branches include the Cervical subclavian artery, Cervical vertebral artery, Thoracic subclavian artery, and the Radicular margin. The S1 vertebra is marked at the bottom.



- Lésions irréversibles si ischémie > 5min en normothermie
- Paraplégie entre 1 et 15%
- Paraparésie jusqu'à 30%

- Apparition immédiate : hypoperfusion, hypoxie médullaire
- Apparition retardée (21j) : lésions de reperfusion, œdème = SSCIs

ANCHER C, WYNN MM. Outcomes in open repair of the thoracic and thoracoabdominal aorta. *J Vasc Surg* 2010; 52:35-95

ETZ CD, WISGANG E, HARTERT M, et al. Contemporary spinal cord protection during thoracic and thoracoabdominal aortic surgery and endovascular repair: a position paper of the vascular domain of the European Association for Cardio-Thoracic Surgery. *Eur J Cardiothorac Surg* 2014; 47:943-57

$$P_{\text{Perfusion médullaire}} = P_{\text{art spinal}} - P_{\text{LCR}} > 50\text{mmHg}$$

-  PAM (hypotension, clamping, vol vasculaire)
-  Pression LCR

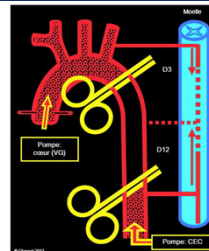
$P_{ICR} \approx 10-15 \text{ mmHg}$  et perte de charge

- Type d'anévrisme (Type II+++)
- Anatomie de la perfusion médullaire
- Age du patient (> 70 ans), AOMI, Insuffisance rénale
- Situation d'urgence (rupture, dissection...)
- Chirurgie aortique préalable proximale ou distale à la lésion actuelle

## FACTEURS DE RISQUE MODIFIABLES

- Durée et niveau du clampage +++
- Technique anesthésique (pré conditionnement, drainage lombaire)
- Hypoperfusion peropératoire et/ou postopératoire (hypotension, anémie, hypoxie, bas débit)
- Technique chirurgicale (CEC distale, hypothermie, réimplantation artérielle, revascularisation sous clavière G)
- Pour les endoprothèses (TEVAR):
  - Couverture de paroi aortique de **> 20 cm**
  - Couverture de la sous-clavière gauche sans revascularisation
  - Obstruction iliaque interne par l'introducteur, obstruction de la mésentérique inférieure

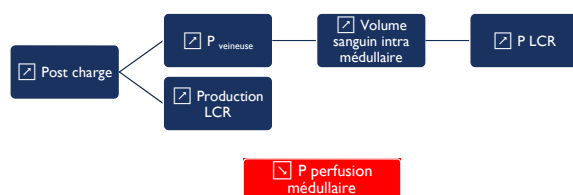
## CLAMPAGE



**Risques ischémie**  
Niveau de clampage  
Etendue du clampage  
Durée d'ischémie

Précis d'anesthésie cardiaque 5

## MODIFICATIONS HÉMODYNAMIQUES LIÉES AU CLAMPAGE AORTIQUE



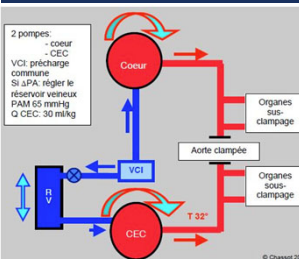
## RISQUE ISCHÉMIQUE AU DECLAMPAGE

- Hypotension artérielle
- Hypercapnie
- Acidose métabolique
- Œdème médullaire lié aux lésions de reperfusion

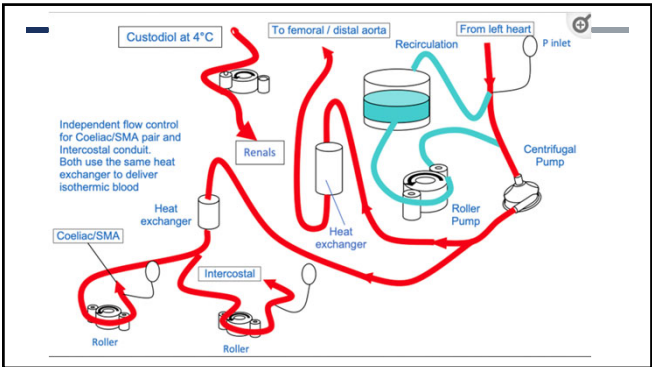
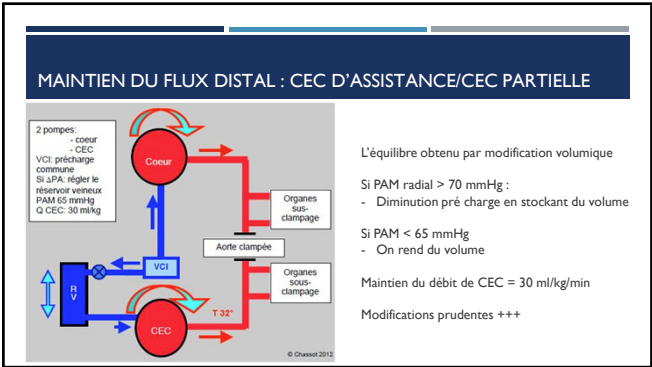
## PROTECTION MÉDULLAIRE

- Maintien de la pression de perfusion médullaire (PAM > 80 mmHg) + PVC Basse
- Normoglycémie
- Transport d'O<sub>2</sub> normal (PaO<sub>2</sub> > 100 mmHg, Hb > 100 g/L)
- Perfusion distale continue : CEC partielle
- Drainage du LCR
- Technique chirurgicale (revascularisation SC G..., correction séquentielle)
- Hypothermie modérée (32°C)
- Protection pharmacologique
- Monitoring de la perfusion médullaire (potentiels évoqués sensitifs et moteurs)

## MAINTIEN DU FLUX DISTAL : CEC D'ASSISTANCE/CEC PARTIELLE



Equilibre délicat



### DRAINAGE DU LCR

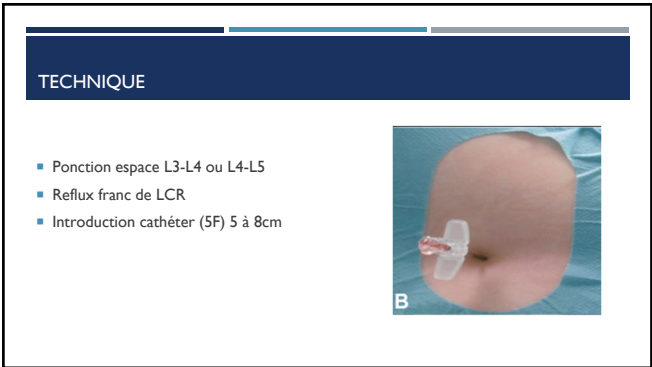
■  $P_{\text{perfusion médullaire}} = P_{\text{art spinal}} - P_{\text{LCR}} > 50 \text{ mmHg}$

| Neurologic injury                       | CSFD (n = 76) | Control (n = 69) | P value | Risk reduction |          |
|-----------------------------------------|---------------|------------------|---------|----------------|----------|
|                                         |               |                  |         | Absolute       | Relative |
| All lower extremity neurologic deficits | 2 (2.6%)      | 9 (13.0%)        | .03     | 10.4%          | 80%      |
| Immediate neurologic deficits           | 1 (1.3%)      | 7 (10.1%)        | .03     | 8.8%           | 87.1%    |
| Paraplegia                              | 0             | 6 (8.7%)         | .01     | 8.7%           | 100%     |
| Paraparesis                             | 1 (1.3%)      | 1 (1.4%)         | 1.0     |                |          |
| Delayed neurologic deficits             | 1 (1.3%)      | 2 (2.9%)         | .60     |                |          |
| Paraparesis                             | 1 (1.3%)      | 1 (1.4%)         | 1.0     |                |          |
| Paraplegia                              | 0             | 1 (1.4%)         | .48     |                |          |

CSFD, Cerebrospinal fluid drainage.

**Déficit neurologique 13,0 vs 2,6% : réduction de 80%**

Coselli JS et al. / J Vasc Surg. 2002;35:631-9



### INDICATIONS PRÉVENTIVES : REMIS EN CAUSE

**Table 4.** Listing of major risk factors for spinal cord ischemia (adapted from Nantes university hospital protocol [64]).

|                                                                                             |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Total aortic coverage > 200 mm                                                              |
| Coverage of the area Th9–Th12                                                               |
| Supra-celiac coverage > 40 mm                                                               |
| LSA or hypogastric coverage without immediate revascularization strategy                    |
| Prior aortic repair (abdominal and/or thoracic descending—endovascular and/or open surgery) |
| Prior spinal cord injury episode during TEVAR procedure or recent AAS (<15 days)            |
| Procedure in the first 15 days following AAS                                                |

AAS, acute aortic syndrome; LSA, left subclavian artery.

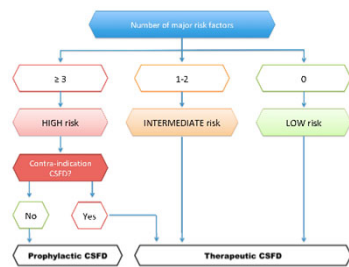


Figure 4. Decisional algorithm for CSFD strategy.

## DRAINAGE DU LCR

- Thérapeutique
  - Apparition d'une paraplégie ou parésie en post opératoire
  - Drainage continu pour  $P_{LCR} < 10\text{mmHg}$
  - Surveillance du déficit neurologique

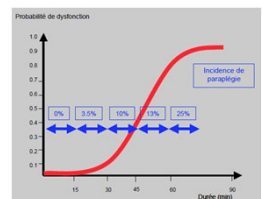
## Cerebrospinal-fluid drain-related complications in patients undergoing open and endovascular repairs of thoracic and thoraco-abdominal aortic pathologies: a systematic review and meta-analysis

L. Q. Rong<sup>1</sup>, M. K. Kamel<sup>1</sup>, M. Rahouma<sup>2</sup>, R. S. White<sup>3</sup>, A. D. Lichtman<sup>4</sup>, K. O. Pryor<sup>1</sup>, L. N. Girardi<sup>5</sup> and M. Gaudino<sup>1,6\*</sup>

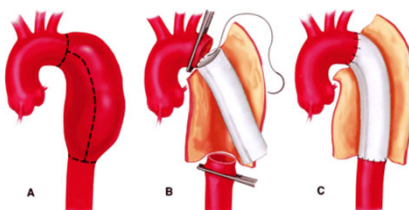
|                                     |     |      |                                                   |    |      |
|-------------------------------------|-----|------|---------------------------------------------------|----|------|
| <b>Epidural/subdural haematoma</b>  | 37  | 0.8  | <b>Drain fracture</b>                             | 7  | 0.1  |
| Intervention required               | 8   | 21.6 | Intervention required                             | 3  | 42.9 |
| Surgical evacuation                 | 5   | 62.5 | Surgical removal                                  | 3  | 100  |
| De-compressive laminectomy          | 3   | 37.5 | <b>Meningitis</b>                                 | 6  | 0.1  |
| <b>Headache</b>                     | 183 | 3.9  | Intervention required                             | 1  | 16.7 |
| Intervention required               | 66  | 36.2 | Ventriculostomy                                   | 1  | 100  |
| Blood patch                         | 66  | 100  | <b>Puncture-site bleeding/bloody spinal fluid</b> | 99 | 2.1  |
| <b>CSF leak</b>                     | 44  | 0.9  | Intervention required                             | 0  | 0    |
| Intervention required               | 40  | 90.9 | <b>Neurological deficit</b>                       | 29 | 0.6  |
| Blood patch                         | 30  | 75   | Intervention required                             | 2  | 6.9  |
| Suture closure                      | 10  | 25   | External ventricular drain                        | 2  | 100  |
| <b>ICH/subarachnoid haemorrhage</b> | 73  | 1.5  | Others                                            | 59 | 1.3  |
| Intervention required               | 5   | 6.8  | Intervention required                             | 0  | 0    |
| Craniotomy                          | 3   | 60   | Death                                             | 15 | 0.3  |
| Ventriculostomy                     | 2   | 40   |                                                   |    |      |

## TECHNIQUE CHIRURGICALE

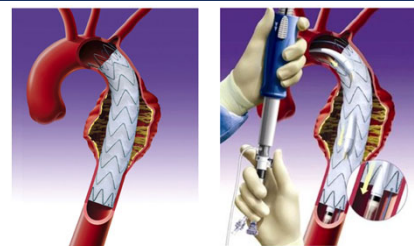
- Opérateur expérimenté et rapide
- Réimplantation artère inter costale (palette)
- Réimplantation artère Adamkiewicz...
- TEVAR vs OPEN chirurgie
- Chirurgie en 2 temps
- Clampage étagée



## CHIRURGIE OUVERTE : MISE À PLAT-GREFFE



## TEVAR



Open vs Endovascular repair of descending thoracic aortic aneurysm disease: a systematic review and meta-analysis

Amer Harky, Jeffrey Shi Kai Chan, Chris Ho Ming Wong, Rafal Al Nasiri, Mohamad Bashir

|                         | Open (10672) | Endovascular (3908) | P Value |
|-------------------------|--------------|---------------------|---------|
| Age                     | 65           | 70                  | < 0,001 |
| IRC pré op              | 5,24         | 12,98               | < 0,001 |
| Emergency               | 16,5         | 18,9                |         |
| Post op                 |              |                     |         |
| Paraplegia              | 5,52         | 3,34                | 0,007   |
| All neuro complications | 15,5         | 9,0                 | 0,19    |
| IRA post op             | 8,29         | 6,2                 | 0,01    |
| 1yr Mortality           | 24,0         | 22,2                | 0,59    |
| Hospital stay           | 9,5          | 5,7                 | <0,001  |



## HYPOTHERMIE SYSTÉMIQUE MODÉRÉE

- CMRO<sub>2</sub> diminue de 7% / °C
- 25% besoin à 32°C
- réactions inflammatoires, stabilisation membranes.. Cf supra

Attention au risque de fibrillation ventriculaire !!!

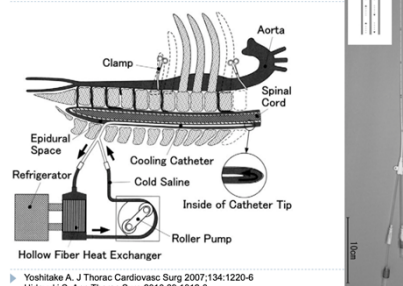
## PERFUSION PÉRIDURALE DE CRISTALLOÏDES À 25°C

4 à 5 ml/min de cristalloïdes  
25°C  
Avant clamping  
Augmentation de la P<sub>LCR</sub>

| Variable                              | Mean             | Range |
|---------------------------------------|------------------|-------|
| No. of patients                       | 102              |       |
| Age (years), range and median         | 22-81(63)        |       |
| Extent                                |                  |       |
| Most or all of the DTA                | 4                |       |
| Crawford type I                       | 53               |       |
| Crawford type II                      | 25               |       |
| Crawford type III                     | 13               |       |
| Crawford type IV                      | 7                |       |
| Temperature (°C), range and mean      | 28.0-33.6 (31.5) |       |
| Duration of ECC (min), range and mean | 97-597 (270)     |       |
| Spinal cord injury (%)                | 3.9              |       |
| Hospital mortality (%)                | 5.9              |       |

Takiguchi M, et al. Protection from post-ischemic spinal cord injury by perfusion cooling of the epidural space during most or all of a descending thoracic or thoracoabdominal aneurysm repair. Gen Thorac Cardiovasc Surg 2010

## Refroidissement épidural en circuit fermé



## PROTECTION PHARMACOLOGIQUE : AUCUNE PREUVE

Corticoïdes

Dexmédétomidine

EPO

Mannitol

Gabapentine

Mg<sup>2+</sup>

Naloxone

Nimédipine

Kétamine

Xenon

European Journal of Cardio-Thoracic Surgery 47 (2015) 943–957  
doi:10.1093/ejcts/evz142

## POSITION STATEMENT

Cite this article as: Etz CD, Weigang E, Hartert M, Lonn L, Mestres CA, Di Bartolomeo R et al. Contemporary spinal cord protection during thoracic and thoracoabdominal aortic surgery and endovascular aortic repair: a position paper of the vascular domain of the European Association for Cardio-Thoracic Surgery. Eur J Cardiothorac Surg 2015;47:943–57.

## Contemporary spinal cord protection during thoracic and thoracoabdominal aortic surgery and endovascular aortic repair: a position paper of the vascular domain of the European Association for Cardio-Thoracic Surgery

Christian D. Etz<sup>a,\*</sup>, Ernst Weigang<sup>a</sup>, Marc Hartert<sup>a</sup>, Lars Lonn<sup>a</sup>, Carlos A. Mestres<sup>a,f</sup>, Roberto Di Bartolomeo<sup>a</sup>, Jean E. Bachet<sup>a</sup>, Thierry P. Carrel<sup>a</sup>, Martin Grabenwöger<sup>a</sup>, Marc A.A.M. Schepens<sup>a</sup> and Martin Czerny<sup>a,g,h</sup>

## CONCLUSION

### Recommendations for prevention

- (i) CSF drainage should be considered in patients undergoing TEVAR at high risk for SCI. IIaC (this panel of experts)
- (ii) CSF drainage is recommended in patients undergoing open thoracic or thoracoabdominal repair. IB [5]
- (iii) Primary subclavian artery revascularization should be considered in patients undergoing TEVAR. IIaC [84, 85]
- (iv) CSF drainage should be continued for at least 48 h after TEVAR or open thoracic/thoracoabdominal repair. IIaC (this panel of experts)
- (v) In case of feasibility, staging of segmental artery occlusion may be considered (secondary distal extension after frozen elephant trunk repair, MISACE). IIbC (this panel of experts)

### Recommendations for diagnosis

- (i) MEP/SSEP may be considered as an intraoperative tool for detecting spinal cord ischaemia in patients undergoing open thoracic or thoracoabdominal repair. IIbC [90, 98]
- (ii) MEP/SSEP may be considered as an intraoperative diagnostic tool for detecting spinal cord ischaemia in patients undergoing TEVAR at high risk for SCI. IIbC [89]

### Recommendations for treatment

- (i) In patients sustaining SCI after TEVAR or open thoracic/thoracoabdominal repair, blood pressure elevation—ideally above the individual preoperative mean arterial blood pressure—to at least 80 mmHg should be aimed for. IIaC (this panel of experts)
- (ii) CSF drainage (if not already present), aiming for adequate haemoglobin levels ( $>10$  mg/dl) as well as aiming for haemodynamic stability (correction of postoperative atrial fibrillation), should be considered in patients with SCI. IIaC (this panel of experts)
- (iii) Administration of glucocorticoids to reduce spinal cord oedema may be considered as an adjunctive therapy in patients with SCI. IIbC (this panel of experts)

### Review

## Risk Factors for Spinal Cord Injury during Endovascular Repair of Thoracoabdominal Aneurysm: Review of the Literature and Proposal of a Prognostic Score

Laurent Brisard <sup>1</sup>, Salma El Batti <sup>2</sup>, Ottavia Borghese <sup>3</sup> and Blandine Maurel <sup>3,4,\*</sup>

J. Clin. Med. 2023, 12, 7520. <https://doi.org/10.3390/jcm12247520>

