

PROTECTION CÉRÉBRALE ET MÉDULLAIRE EN CHIRURGIE CARDIAQUE

DU CIRCULATION EXTRA CORPORELLE ET ASSISTANCE CIRCULATOIRE 2025

Stefano Mion, stefano.mion@chu-bordeaux.fr

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

Anesthésie-Réanimation cardiopathies acquises, Hôpital Haut Lévêque, 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
- Facteurs de risque
- Mesures préventives
- Hypothermie
- Alpha/pH Stat

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 pump

DIFFÉRENTS ASPECTS DE LA PROTECTION CÉRÉBRALE

- Limiter le risque embolique
- Assurer une perfusion cérébrale et un transport en O₂ satisfaisants
- Diminution la demande en O₂
- 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

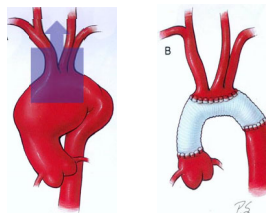
EMBOLIES GAZEUSES : PRÉVENTION

- Débullage soigneux des circuits de CEC
- Utilisation très restrictive des aspirations de cardiectomie
- Réduction des manipulations de la CEC
- CO₂ dans le champ opératoire¹(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 Trendelenburg

¹ 2019 EA/ECTA/EBCC 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 programmée¹
 - 9 à 13% pour la chirurgie en urgence
- Séquelles neuropsychologiques : 20%
- Mortalité :
 - Anévrisme : 6%
 - Dissection 10 à 25%^{2,3}



¹ Williams JB, et al. Contemporary results for proximal aortic replacement in North America. J Am Coll Cardiol 2012; 60:1156-62.
² Horvath LG, et al. 2015 Guidelines for the diagnosis and management of patients with thoracic aortic disease. European society of cardiology. Circulation 2016;133:1544-79.
³ Modesto DP, et al. Anesthesia for the surgical management of thoracic aortic disease. Textbook of cardiovascular anesthesiology. New York, McGraw-Hill Co, 2001, MB-710

PHYSIOPATHOLOGIE DE L'ISCHÉMIE NEURONALE

En normothermie :

- Déplétion des stocks en ATP et phospho-crétine en 3-4 min
- Perte activité pompes membranaires Na-K-ATPase
- Accumulation Na⁺ intracellulaire – œdème cellulaire → mort cellulaire
- Accumulation de Ca⁺⁺ 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

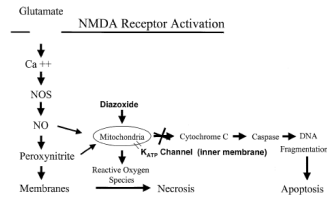
MÉCANISMES DES LÉSIONS NEURONALES ISCHÉMIQUES

Mécanismes Excitateurs

- Relargage neurotransmetteurs par ischémie et hypoxie
- Déplétion du stock ATP
- Dépolarisation membranaire
- Libération glutamate
- Entrée intracellulaire de 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'O₂

HYPOTHERMIE



EFFETS CÉRÉBRAUX DE L'HYPOTHERMIE

- \ Métabolisme cérébral ($\approx 7\%$ par degré C°)
- \ Activité électrique (50 à 60% de la CMRO₂)
- \ Métabolisme basal (40 à 50% de la CMRO₂)

Calculated Safe Duration of Hypothermia: Circulatory Arrest

Temperature (°C)	Cerebral Metabolic Rate (% of baseline)	Safe Duration of ECA (min)
37	100	5
30	56 (52-60)	9 (8-10)
25	37 (33-42)	14 (12-15)
20	24 (21-29)	21 (17-24)
15	16 (13-20)	31 (25-38)
10	11 (8-14)	43 (36-62)

Calculations based on assumption that there is a 5 min tolerance for circulatory arrest at 37°C. Values in parentheses are 95% confidence intervals. ECA = hypothermic circulatory arrest.

COUPLAGE FLUX SANGUIN CÉRÉBRAL ET MÉTABOLISME

- Augmentation relative du flux sanguin cérébral (FSC)

	Normothermie	Hypothermie
FSC/CMRO ₂	15/1	30/1

- Maintien autorégulation cérébrale (jusqu'à 25°C)

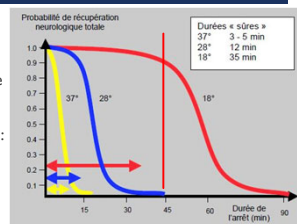
- \ Libérations cytokines pro inflammatoires post ischémiques et radicaux libres
- \ Neurotransmetteurs excitateurs (glutamate)
- Préservation de la barrière hémato-encéphalique
- \ Activation récepteurs NMDA
- \ Phénomènes apoptotiques

- Perte de conscience $< 30^{\circ}\text{C}$
- Perte auto régulation, Mydriase fixée $< 25^{\circ}\text{C}$
- EEG isoélectriques $< 20^{\circ}$

■ **Limite absolue 12°C**

- Inhibition pompes Na^+/K^+ et $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$
- Diffusion de ions selon gradient électrochimique
- Œdème intracellulaire

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



Kern FH, et al. The effect of altering pump flow rate on cerebral blood flow and cerebral metabolites in neonates, infants and children. *Ann Thorac Surg* 1993; 58:1366-72

- Pas de bénéfice à l'hypothermie profonde ($< 20^{\circ}\text{C}$)
 - Mortalité et AVC plus fréquents

• Asian Cardiovasc Thorac Ann. 2022 Jan 11;30(5):635-644. doi: [10.1177/02218622211050106](https://doi.org/10.1177/02218622211050106)

Neuroprotective strategies with circulatory arrest in open aortic surgery – A meta-analysis

Ioannis Manolis¹, Mohsin Usman², Dimos Karapoulis^{3,4*}, Manoj Kulkarni⁴, Efthymios Georgakarakos⁵, Cansel

► [Author information](#) ► [Article notes](#) ► [Copyright and License information](#)

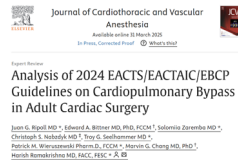
- ERC
- 282 patients
- 3 groupes < 20 °C, 20-24°C, 24-28°C
- CJP : évolution de scores d'évaluation cognitifs
- Bénéfice anecdotique de l'hypothermie profonde

Cognitive Effects of Body Temperature During Hypothermic Circulatory Arrest Trial (GOT ICE): A Randomized Clinical Trial Comparing Outcomes After Aortic Arch Surgery

- Plus de délirium post opératoire en hypothermie profonde
- Pas d'influence de la stratégie de perfusion sélective
- Jason Zhensheng Qu, Christian S. Guay, et al., (2025). Hypothermic Circulatory Arrest Is Associated with Increased Risk of Postoperative Delirium: A Retrospective Cohort Study. *International Journal of Anesthesiology and Practice*. 4(1); DOI: 10.58489/2994-2624/009

QUELLE TEMPÉRATURE EN 2025

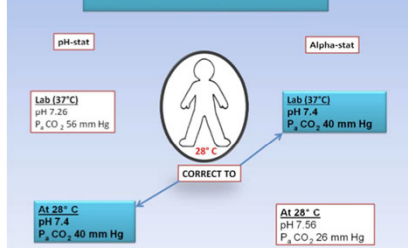
- Éviter l'hypothermie profonde
- Température de consigne 24 °C
- Association à la perfusion cérébrale sélective
- Neuroprotection multimodale



SOLUBILITÉ DES GAZ ET HYPOTHERMIE



pH Management



α-Stat Lire le GdS à 37°C

- Contenu total en CO₂ maintenu (comme en normothermie, lecture à 37°C)
- PaO₂ diminue mais rapport H+/OH- constant
- Maintien autorégulation cérébrale
- pH intracellulaire stable
- Fonctions enzymatiques conservées

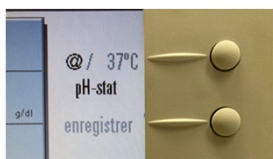
pH-Stat

Lire le GdS à la température du patient

- AJOUT DE CO₂ pour Maintien pH stable quelque soit la température
- Augmentation du contenu total en CO₂
- Acidose respiratoire (à 37°C)
- Vasodilatation cérébrale => perfusion cérébrale luxuriante
- Perte autorégulation cérébrale
- Risque œdème cérébral
- Homogénéité lors du refroidissement

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 ?

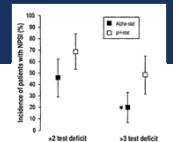


Fig. 5. Severity of neurologic sequelae (NPS) in alpha-stat and pH-stat groups for both hypothermic and normothermic patients. Values are mean ± SD (%). * p < 0.05 when compared with the pH-stat group.

TABLE II. Incidence of neurological sequelae

	pH-stat (n = 35)	alpha-stat (n = 30)
Cerebral symptoms (seizures, coma, dysrhythmias, etc.)	5	1
Disorientation, confusion	1	1
Right homonymous	1	1
Blind and VEP nerve palsy	2	2
Right nerve palsy	1	1

Murillo JM. Cerebral autoregulation and flow/pressure coupling during cardiopulmonary bypass: the influence of PaCO₂. Anesth Analg 1987; 66:825-32

Petit RL, et al. Alpha-stat acid-base regulation during cardiopulmonary bypass improves neurologic outcomes in patients undergoing coronary artery bypass grafting. J Thorac Cardiovasc Surg 1996; 111:1262-79

Recommendations for acid-base balance and electrolyte management

Recommendations	Class ^a	Level ^b	Ref ^c
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/EBCP 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 O₂
- 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)

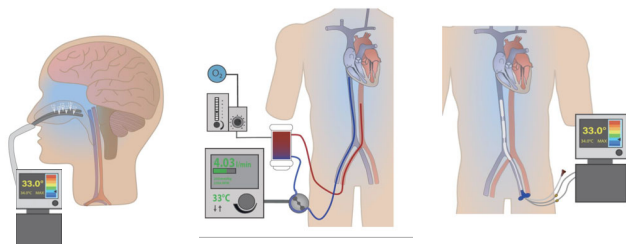
Griener AM, et al. A meta-analysis of temperature regulation and neuroprotection during cardiopulmonary bypass: does normothermia matter? J Anesth Analg 2009; 109:1741-51
Griener AM, et al. The normothermia rate and increased peak temperature after neurocognitive outcome after cardiac surgery. Anesth Analg 2002; 94:10
Griener AM, et al. Postoperative hyperthermia is associated with cognitive dysfunction after coronary artery bypass surgery. Stroke 2002; 33:23-31
Harkin PT. Hypothermia, cardiopulmonary bypass - time for a more temperature approach? Can J Anaesth 1995; 42:645-5
Nagel EL, et al. Role of perfusion pressure and flow in major organ dysfunction after cardiopulmonary bypass. Ann Thorac Surg 1990; 50(suppl):111-8

RÉCHAUFFEMENT

BIEN CONDUIRE LE RÉCHAUFFEMENT

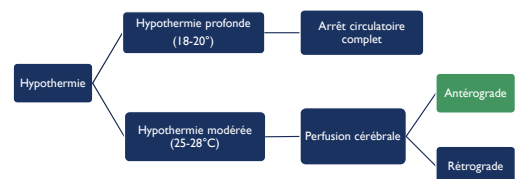
- 2 sites de mesures : tympanique ou nasopharynx et rectale ou vésicale
- 1°C par 5 à 10 min
- Gradient T° réinjection (artérielle) et T° cérébrale < 3°C
- Gradient T° rectale et cérébrale < 10°C
- Gradient T° sang veineux et échangeur thermique < 10°C

MONITORAGE TEMPERATURE



PERFUSION CÉRÉBRALE ?

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

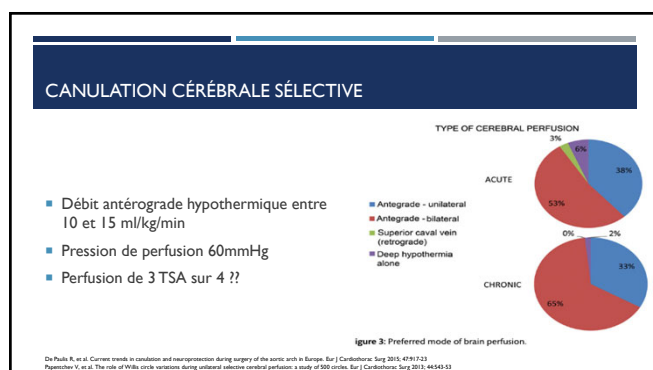
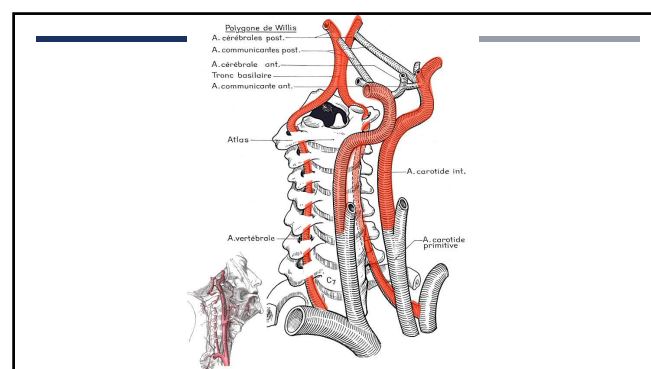
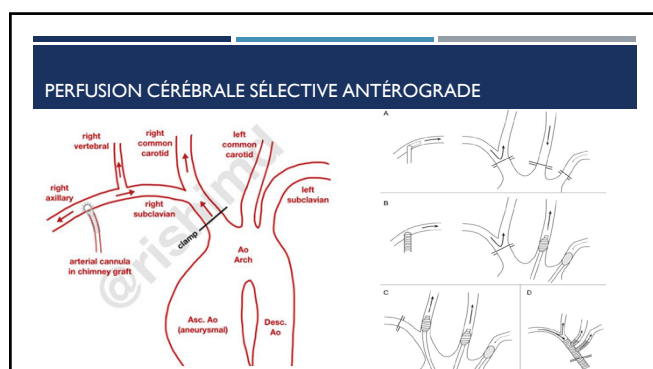


DISEASES OF THE AORTA ORIGINAL ARTICLE		
WILEY <i>Blackwell</i>		
Contemporary management and outcomes of acute type A aortic dissection: An analysis of the STS adult cardiac surgery database		
2982 DA entre 2011 et 2012 Amérique du nord		
CPB details	n	%
Perfusion time (min)	2929	98.2
Lowest temperature (°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, Cheema FH, et al. Contemporary management and outcomes of acute type A aortic dissection: An analysis of the STS adult cardiac surgery database. *Curr Surg*. 2018;33:7-18.

DISEASES OF THE AORTA ORIGINAL ARTICLE		
WILEY <i>Blackwell</i>		
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 FH, et al. Contemporary management and outcomes of acute type A aortic dissection: An analysis of the STS adult cardiac surgery database. *Curr Surg*. 2018;33:7-18.



Arret criculaire 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 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

DRUMMOND JD. Do barbiturates really protect the brain? *Anesthesiology* 1993; 78:611-3.
WESTERMAIER T, HUNGERLUBER E, ZAUSINGER S, et al. Neuroprotective efficacy of intra-arterial and intravenous magnesium sulfate in a rat model of transient focal cerebral ischemia. *Acta Neurochir* 2003; 145:293-8.

- Thiopental : Diminution de la CMRO₂ de 30%, 5 à 10mg/kg, assure un EEG iso électrique en absence de monitoring, **résultats contradictoires, impact hémodynamique**
- **Corticoïdes** : Effet stabilisateur sur les membranes, diminution œdème perilesionnel, faible innocuité, 45 min avant l'arrêt, **aucune preuve sur la survie...**
- Mannitol : Diminution de l'œdème cérébral, **aucune preuve...**
- Inhibiteurs calciques : diminution du Ca²⁺ intracellulaire, limitations vasoconstriction artériolaire, uniquement nimodipine, **aucune preuve**
- **Magnésium** : Activité anticalcique, amélioration récupération neurologique..., **pas de bénéfice clair**

DRUMMOND JD. Do barbiturate really protect the brain? *Anesthesiology* 1993; 78:611-3
WESTERMAIER T, HUNGERHUBER E, ZAUSINGER S, et al. Neuroprotective efficacy of intra-arterial and intravenous magnesium sulfate in a rat model of transient focal cerebral ischemia. *Acta Neurochir* 2003; 145:393-9

- Meta analyse 2020 : pas de diminution de la mortalité
- Etude 2025 : Niveaux diminués des **enolases neuro spécifiques** (marqueur de dommage cellulaire)

Meta-Analysis > Eur J Cardiothorac Surg. 2020 Apr 1;57(4):620-627. doi: 10.1093/ejcts/ezz325

The efficacy and safety of prophylactic corticosteroids for the prevention of adverse outcomes in patients undergoing heart surgery using cardiopulmonary bypass: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials

Ka Ting Ng¹, Judith Van Paassen², Clare Langan³, Deep Pramod Sarode³, M Sessma Arbous^{2,4},
R Peter Alston⁵, Olaf M Dekkers⁴

Affiliations + expand
PMID: 31972000 DOI: 10.1093/ejcts/ezz325

* J Cardiovasc Dev Dis. 2025 Apr 8;12(4):143. doi: [10.3390/jcdd12040143](https://doi.org/10.3390/jcdd12040143) [Epub ahead of print].

Neuroprotective Strategies in Coronary Artery Disease Interventions

[Maulid Fatima](#)¹, [Abkar Bazarsoev](#)¹, [Asana Rana](#)¹, [Ruman Kharsid](#)¹, [Victory E. Wines](#)¹, [Yusuf Khalid Baliga](#)¹,
[Abheem Nazir](#)¹, [Katherine Candelario](#)¹, [Sair Ahmad Tabrizi](#)¹, [Samantha Colon](#)¹, [Chamsee Lee](#)¹, [Sedert Darsken](#)¹,
[Johas Harmond](#)^{1,2}

Editors: Tomasz Rakowski¹, Łukasz Rzesutko²

▪ Author information ▪ Article notes ▪ Copyright and License information

PMCID: PMC12027976 PMID: 60218202

- **Halogénés** : **aucune preuve humaine**
 - **Lidocaine** : **deux études faible effectif**
 - Ketamine : blocage des récepteurs NMDA, **aucune preuve humaine**
 - Xenon : blocage des récepteurs NMDA **aucune preuve humaine**
 - **NO...** **aucune preuve humaine**
- Conclusions**: Nitric oxide synthase inhibitors, intranasal anesthetics, and nitric oxide donors are not effective in the treatment of intracranial hypertension.

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

Daniele Linardi^{1*}, Romel Mari², Angela Murari¹, Sissi Dolci², Loris Mannino², Iaria Decimo², Maddalena Tessari¹, Sara Martinazzi¹, Leonardo Gotti³, Giovanni B. Luciani¹, Giuseppe Faggian¹ and Alessio Rungtischer¹

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 G, Mari R, Muri A, Dolo S, Mannino L, Decimo I, Tazzari M, Martinuzzi S, Gotin L, Luciani GB, Faggiani G and Rungettscher A (2022) Nitric Oxide in Selective Cerebral Perfusion Could Enhance Neuroprotection During Aortic Arch Surgery. *Front. Cardiovasc.*

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

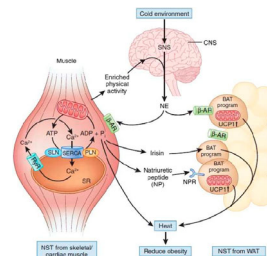
- Adaptation au BIS
- Hypothermie = augmentation des concentrations circulantes
- Baisser les posologies de sédation

VISER UN BIS NUL ?

■ Pas de preuve d'un bénéfice

- Retard de réveil,
- Effets indésirables hémodynamique ...

CURARISATION ET CONSOMATION CÉRÉBRALE EN O₂



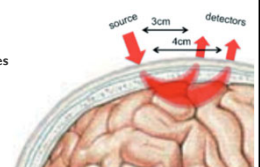
GLOBAL CARDIOLOGY
SCIENCE & PRACTICE
Temperature management in cardiac surgery
doi:10.1007/s12012-016-9200-0
© 2016 Springer Science+Business Media Dordrecht

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 (ScO₂) 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 CMRO₂
- Seuil ??? Mesures à entreprendre si variation > 20%



SATURATION CÉRÉBRALE EN O₂ (ScO₂)

- 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;
- ScO₂ = 40% : limite de récupération neurologique certaine;
- ScO₂ ≤ 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 PaCO₂ et FIO₂
- Transfusion

ScO₂ > 75%
=
perfusion excessive (hyperhémie de reperfusion)

SATURATION JUGULAIRE EN O₂ (SJO₂)

- Reflet extraction en O₂
- 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 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

ARRÊT CIRCULATOIRE IMPREVU 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 : Mg²⁺, thiopental, Xénon, Nimodipine

Review

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

Palesa Motshabi-Chakane ¹, Palesa Mogane ¹, Jacob Moutlana ¹, Gontse Leballo-Mothibi ¹, Sithandiwe Dingezweni ¹, Dineo Mpanya ² and Nqoba Tsabedze ^{2,*}

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

Review

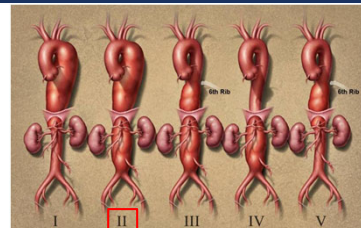
Cerebral Protection Strategies and Stroke in Surgery for Acute Type A Aortic Dissection

Leonard Pitts ^{1,2,*}, Markus Kofler ^{1,2,3}, Matteo Montagner ^{1,2}, Roland Heck ^{1,2}, Jasper Iske ^{1,2}, Semih Buz ^{1,2,3}, Stephan Dominik Kurz ^{1,2}, Christoph Starck ^{1,2,3}, Volkmar Falk ^{1,2,3,4} and Jörg Kempfert ^{1,2,3}

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

PROTECTION MÉDULLAIRE

CHIRURGIE DE L'AORTE THORACIQUE DESCENDANTE ET ABDOMINALE

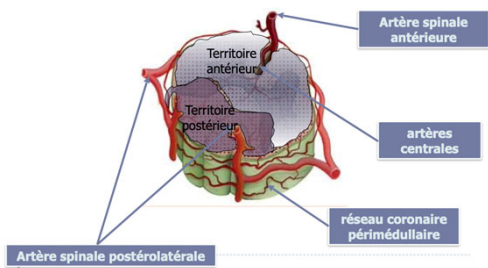
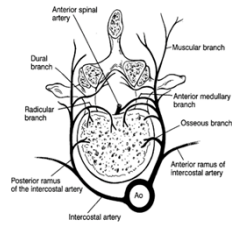
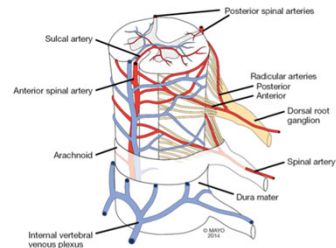
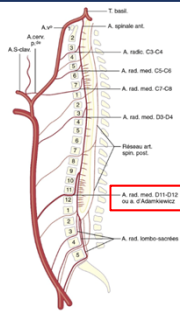
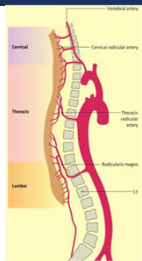


Classification de Crawford

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

Complications neurologiques

VASCULARISATION DE LA MOELLE ÉPINIÈRE



INCIDENCE

- 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

**Reveil rapide en post opératoire pour surveillance
Contrôle de la douleur+++**

ACHEN C, WYDAS PPF. Outcome in open repair of the thoracic and thoracoabdominal aorta. J Vasc Med Biol. 2010; 22:30-35.
ETZ CD, VERGAARD E, HARTBERT PL, 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; 47:145-157.

PRESSION DE PERFUSION

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

$$P_{\text{art spinal}} \approx \text{PAM}_{\text{fémorale}} - \text{Perte de charge réseau collatéral}$$

Ischémie

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

Objectifs : PAM > 70mmHg

P_{LCR} ≈ 10-15mmHg et perte de charge

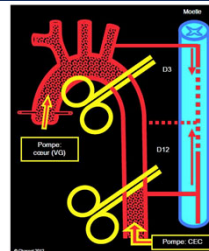
FACTEURS DE RISQUE NON MODIFIABLES

- 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

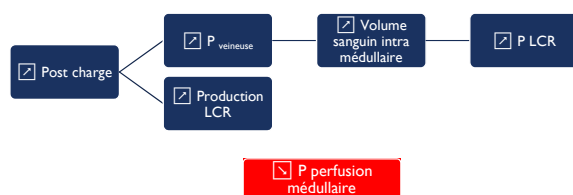
CLAMPAGE



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

Précs d'anesthésie cardiaque 5

MODIFICATIONS HÉMODYNAMIQUES LIÉES AU CLAMPAGE AORTIQUE



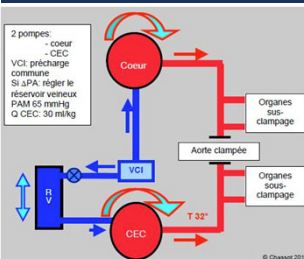
RISQUE ISCHÉMIQUE AU DECLAMPAGE

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

PROTECTION MÉDULLAIRE

- Perfusion distale continue : CEC partielle
- Technique chirurgicale (revascularisation SC G..., correction séquentielle)
- Maintien de la pression de perfusion médullaire (PAM > 80 mmHg) + PVC Basse
- Transport d'O₂ normal (PaO₂ > 100 mmHg, Hb > 100 g/L)
- Hypothermie modérée (32°C)
- Normoglycémie
- Monitoring de la perfusion médullaire (potentiels évoqués sensitifs et moteurs)
- Drainage du LCR
- Protection pharmacologique

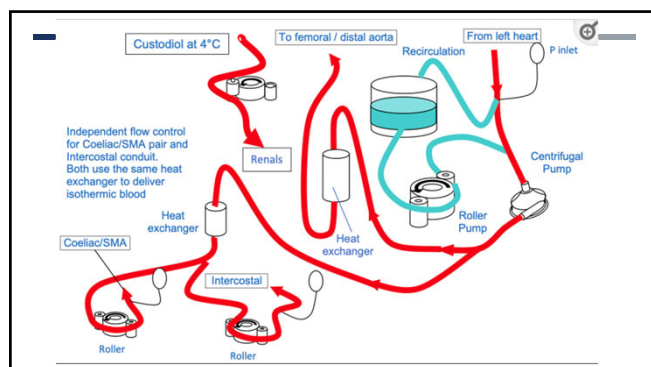
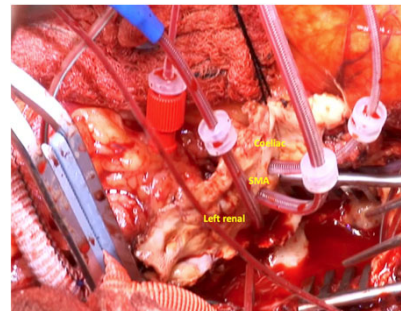
MAINTIEN DU FLUX DISTAL : CEC D'ASSISTANCE/CEC PARTIELLE



Equilibre délicat

[illegible]

Modifications prudentes +++



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		
Paraplegia	1 (1.3%)	1 (1.4%)	1.0		
Paraparesis	0	1 (1.4%)	.48		

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

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

13

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. Rong¹, M. K. Kamel¹, M. Rahouma², R. S. White¹, A. D. Lichtman¹, K. O. Pryor¹, L. N. Girardi¹ and M. Gaudino^{2,3,*}

Epidural/subdural haematoma	37	0.8	Drain fracture	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	Meningitis	6	0.1
Headache	183	3.9	Intervention required	1	16.7
Intervention required	66	36.2	Ventriculostomy	1	100
Blood patch	66	100	Puncture-site bleeding/bloody spinal fluid	99	2.1
CSF leak	44	0.9	Intervention required	0	0
Intervention required	40	90.9	Neurological deficit	29	0.6
Blood patch	30	75	Intervention required	2	6.9
Suture closure	10	25	External ventricular drain	2	100
ICH/subarachnoid haemorrhage	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			

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.

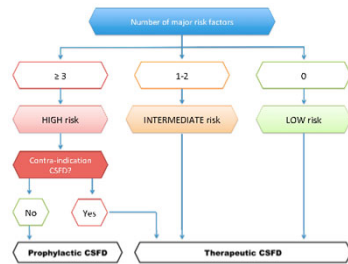
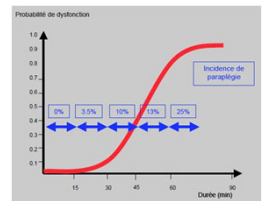


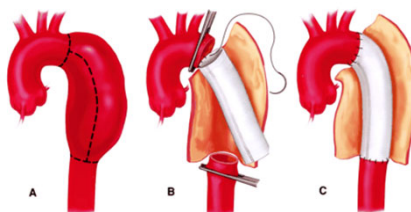
Figure 4. Decisional algorithm for CSFD strategy.

TECHNIQUE CHIRURGICALE

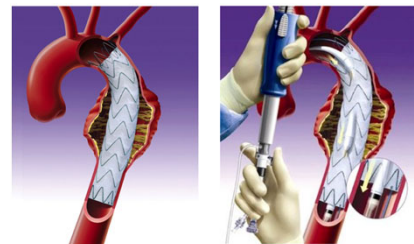
- Opérateur expérimenté et rapide
- Réimplantation artère inter costale (palette)
- Réimplantation artère Adamkiewicz...
- TEVAR vs OPEN chirurgie
- Chirurgie en 2 temps
- Clampage étagée



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

- CMRO₂ 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

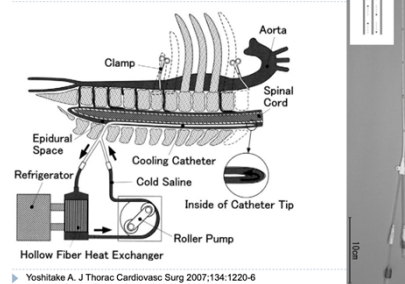
4 à 5 ml/min de cristalloïdes
25°C
Avant clamping
Augmentation de la P_{LCR}

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

Variable	Mean	Range
Infusion volume of saline (ml)	1663	260-4360
Lowest CSF temperature (°C)	23.3	17.7-29.2
Temperature (°C) difference (nasopharyngeal - CSF)	8.4	1.2-19.4
Highest CSF pressure (mmHg)	36.8	10-70

Takiguchi M, et al. Perfusion 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



Yoshitake A. J Thorac Cardiovasc Surg 2007;134:1220-6
Hideyuki S. Ann Thorac Surg 2010;89:1312-3

PROTECTION PHARMACOLOGIQUE : AUCUNE PREUVE

Corticoïdes

Dexmédétomidine

EPO

Mannitol

Gabapentine

Mg²⁺

Naloxone

Nimédipine

Kétamine

Xenon

European Journal of Cardio-Thoracic Surgery 47 (2015) 943–957
doi:10.1093/ejcts/ezv142

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^{a,c}, Ernst Weigang^{a,c}, Marc Hartert^a, Lars Lonn^a, Carlos A. Mestres^{a,f}, Roberto Di Bartolomeo^a, Jean E. Bachet^a, Thierry P. Carrel^a, Martin Grabenwöger^a, Marc A.A.M. Schepens^a and Martin Czerny^{a,g,h}

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 ¹, Salma El Batti ², Ottavia Borghese ³ and Blandine Maurel ^{3,4,*}

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

