

## Echo-Doppler transcrânien Aspects techniques



Pr Thomas GEERAERTS  
Pôle Anesthésie Réanimation  
CHU de Toulouse

## Conflits d'intérêt

- Aucun

## Echography and Doppler of the Brain

Chiara Robba  
Giuseppe Citerio  
Editors

## Brain ultrasonography: methodology, basic and advanced principles and clinical applications. A narrative review

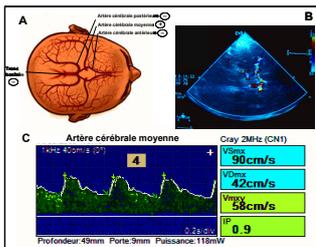
Chiara Robba<sup>1</sup>, Alberto Goffi<sup>2</sup>, Thomas Geeraerts<sup>3</sup>, Danilo Cardim<sup>4</sup>, Gabriele Via<sup>5</sup>, Marek Czosnyka<sup>6</sup>, Soojin Park<sup>7</sup>, Aarti Sarwal<sup>8</sup>, Llewellyn Padayachy<sup>9</sup>, Frank Rasulo<sup>10</sup> and Giuseppe Citerio<sup>11</sup>

### Take-home message

Brain ultrasonography enables assessment of the main structures of the brain, including the parenchyma and major cerebral vessels. Brain ultrasonography can be performed using commonly used ultrasound systems, through four main acoustic windows (transtemporal, occipital, submandibular and transorbital). Brain ultrasonography can be used for rapid bedside assessment of pathological changes in neurocritically ill patients, allowing, for example, evaluation of intracerebral haematomas, estimation of raised intracranial pressure, and detection of midline shift and intracranial masses. Brain ultrasonography is not used exclusively in neurocritical care; clinical applications have been described in different settings, including general intensive care and the emergency department.

Intensive Care Med  
<https://doi.org/10.1007/s00134-019-05610-4>

## Doppler transcrânien



### Short communication

### Christian Johann Doppler: the man behind the effect

A ROGUIN, MD

Cardiology Department, Rambam Medical Center, Haifa 31096, Israel

La lumière colorée des étoiles et autres corps célestes vire au bleu lorsque l'étoile se rapproche de la terre et vire au rouge lorsqu'elle s'en éloigne

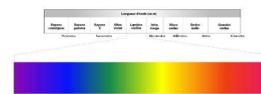


Figure 1. Christian Johann Doppler (1803-1853).

## Doppler pulsé



## Effet Doppler

Modifications de la fréquence et de la longueur d'onde des ondes réfléchies

$$\Delta f = 2 \cdot f_0 \cdot V/C \cdot \cos\theta$$

$\Delta f$  : variation de fréquence de l'onde

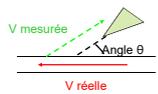
$f_0$  : fréquence de l'onde émise

V : vitesse du flux sanguin

C : vitesse du son dans le tissu

$\cos\theta$  : angle sonde et vaisseau

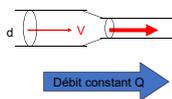
## Angle d'insonation



• La vitesse mesurée dépend du cosinus de l'angle d'insonation

$$V \text{ mesurée} = \cos \theta \times V \text{ réelle}$$

• On sous-estime donc forcément les vitesses...



• A débit constant, la vitesse circulatoire augmente proportionnellement avec la diminution du diamètre du vaisseau

$$V = \text{const.} \times Q / d^2$$

## Vitesse n'est pas débit La Garonne

Toulouse



Débit moyen  
200 m<sup>3</sup>/sec

Bordeaux



Débit moyen  
700 m<sup>3</sup>/sec

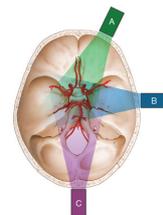
$$Q = V \times \text{section}$$

## Chez l'adulte, il y a un os...

- Les fontanelles sont fermées
- Le faisceau d'ultrasons est absorbé en grande partie par l'os
- Pour obtenir un signal acceptable
  - Sonde 2 MHz
  - Sonde 1.8 – 3.6 MHz pour Doppler Couleur
  - Puissance entre 10 and 150 mW/cm<sup>2</sup>

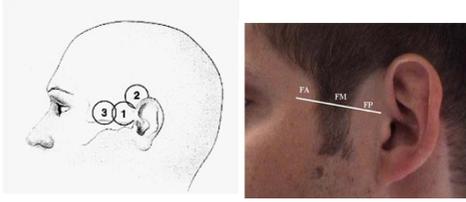
## Les fenêtres osseuses

- Transtemporal
- Transorbital
- Sousoccipital
  - Transforamenal
- Sousmandibulaire



## Les fenêtres

Temporale



## Noninvasive transcranial Doppler ultrasound recording of flow velocity in basal cerebral arteries

RUNE AASLID, PILD., THOMAS-MARC MARKWALDER, M.D., AND HELGE NORNES, M.D.

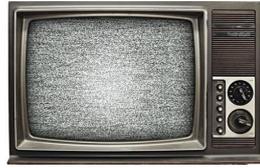
technique during surgery,<sup>2,8,9</sup> and in children with open fontanels.<sup>7</sup> In adults, however, the skull is a severe obstacle to the penetration of ultrasound. Bone strongly attenuates the ultrasonic wave, making it impossible to record noninvasively the blood flow velocity from intracranial arteries by conventional Doppler instruments operating in the range from 5 to 10 MHz. At lower frequencies, 1 to 2 MHz, the attenuation in bone and soft tissues is considerably less. The skull bones are of varying thickness, and because the base of the temporal

Doppler recordings of bilateral MCA blood flow velocities were obtained in all 50 subjects. However,

J Neurosurg 57:769-774, 1982

## Parfois la fenêtre reste fermée

- Jusqu'à 18% dans les études d'AVC
- Femme
- Age
- Ethnie « non-blanche »



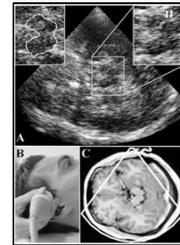
Großmund P. Transmission of ultrasound through the temporal bone.  
In: Aaslid R, ed. Transcranial Doppler sonography. Wien/New York: Springer Verlag, 1985:10-18.

## Transcranial sonography of the cerebral parenchyma: Update on clinically relevant applications

Uwe Walter\*

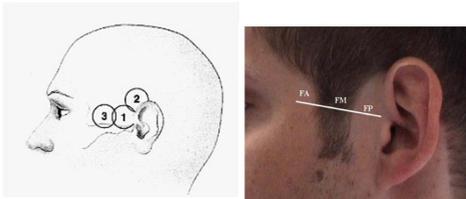
Table 1 Ultrasound system settings for transcranial sonography.

Parameter	Settings
Ultrasound system	
Penetration depth	Start with 14–16 cm, reduce if needed
Dynamic range	45–55 dB
Postprocessing function	Moderate suppression of low echo signals
Time gain compensation	Adjust manually as needed, or use the 'tissue optimization' function if available
Image brightness	Adjust manually, not too high, or use the 'tissue optimization' function if available
Ultrasound transducer	
Crystal/channel	As high as possible, ideally: 'matrix' probe
Insonation frequency (center frequency)	2.0–3.5 MHz, preferably 2.5 MHz

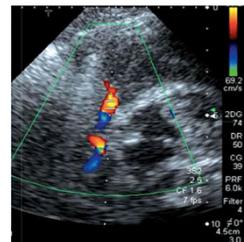


Perspectives in Medicine (2012) 1, 334–343

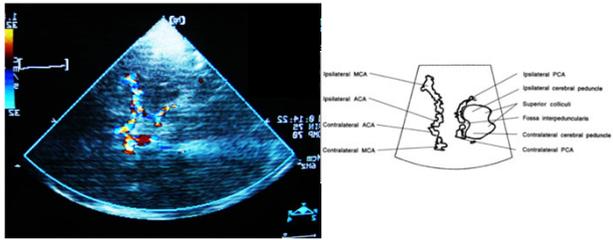
## La fenêtre temporelle



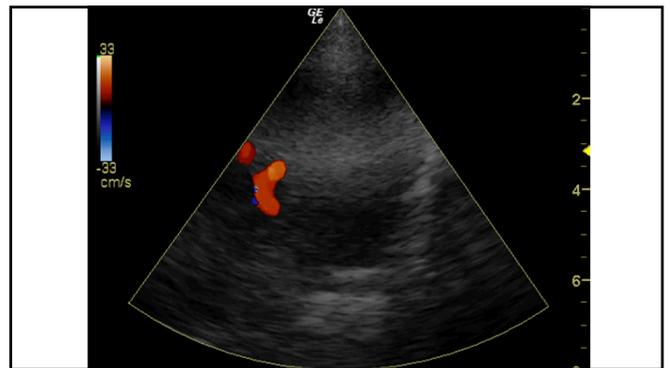
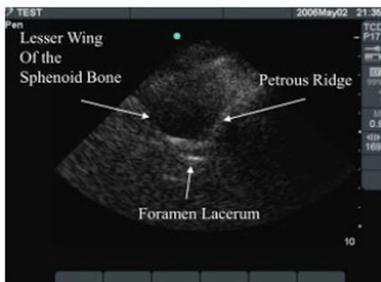
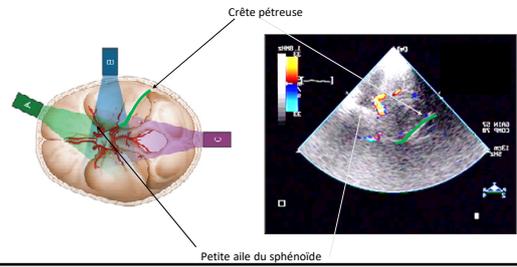
## Visualiser le mesencéphale



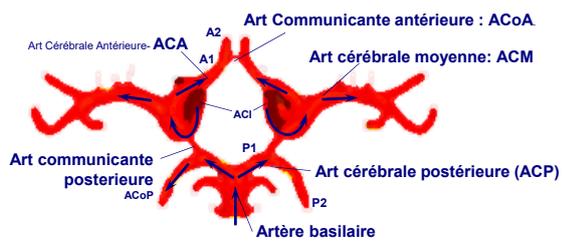
## Polygone de Willis



## Repères osseux



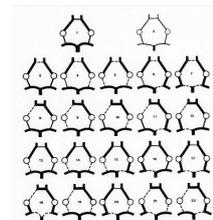
## Polygone de Willis



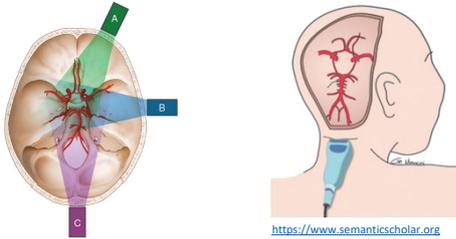
## Variantes anatomiques du polygone

- Environ 20% de la population possède un polygone parfait

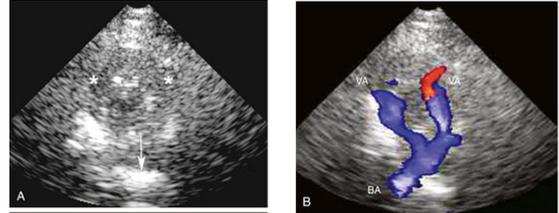
- 22 variantes



## La fenêtre sous-occipitale

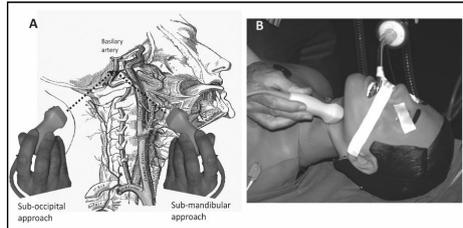


## La fenêtre sous-occipitale

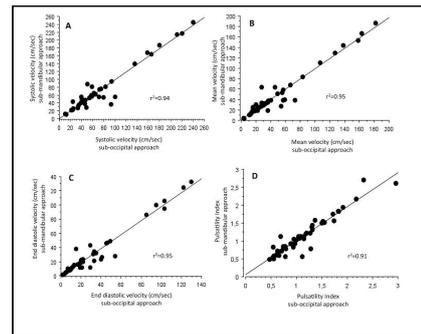


## An Alternative Ultrasonographic Approach to Assess Basilar Artery Flow

Thomas Geeraerts, MD, PhD  
 Wissam Thome, MD  
 Sébastien Tanaka, MD  
 Pierre Etienne Loblanc, MD  
 Jacques Duranteau, MD, PhD  
 Bernard Viguié, MD, PhD

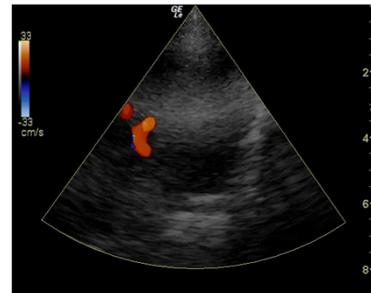


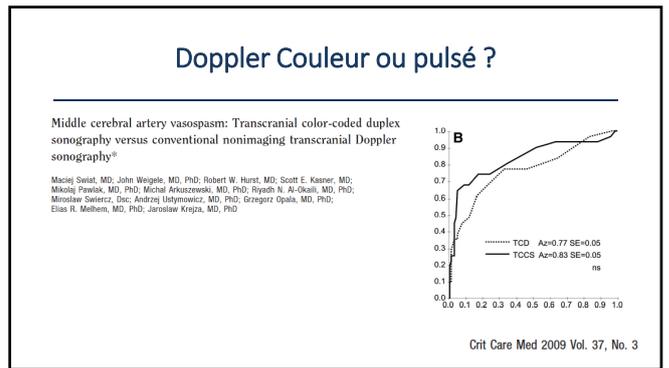
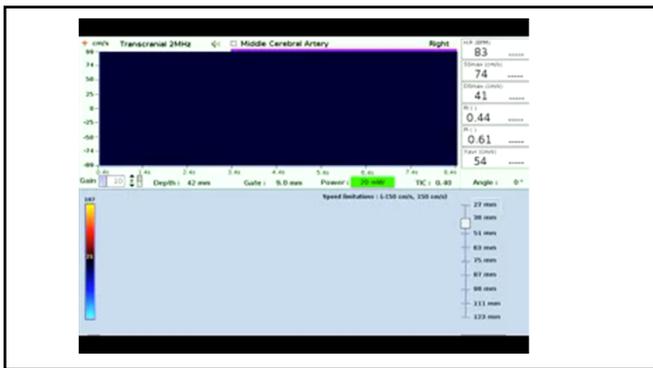
Neurosurgery 68(ONS Suppl 2):orn276-orn281, 2011



## Deux méthodes

- Doppler pulsé conventionnel
- Doppler couleur 2D
  - Duplex (couplage échographie-Doppler pulsé)
  - Triplex (couplage échographie, Doppler couleur, Doppler pulsé)





### Doppler avec contraste

- Agent de contraste : microsphères lipidiques
- Augmente la précision du DTC
- Efficacité démontrée pour diagnostic
  - Anévrismes
  - MAV, FAV
  - FOP
- Sensibilisation pour confirmation de mort encéphalique ?

### Intraoperative Contrast-Enhanced Ultrasound for Brain Tumor Surgery

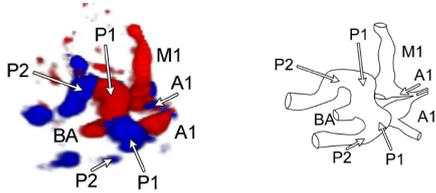
71 patients

Flavioce Probi, MD<sup>†</sup>  
Alexandre Piro, MD, PhD<sup>†</sup>  
Alberto Montagna, MD<sup>†</sup>  
Luca Anile, MD<sup>†</sup>  
Luigi Salsani, MD<sup>†</sup>  
Massimo Longoni, MD<sup>†</sup>  
Giovanni Cavaletto, MD<sup>†</sup>  
Paolino Longoni, MD<sup>†</sup>  
Luca Morini, MD<sup>†</sup>  
Andrea Scatena, MD<sup>†</sup>  
Marco Saini, MD<sup>†</sup>  
Francesco Di Stefano, MD<sup>†</sup>(1)

Neurosurgery 74:542-552, 2014

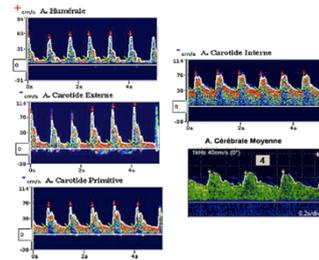
**Real-Time 3D Contrast-Enhanced Transcranial Ultrasound and Aberration Correction**

Nikolas M. Vancevich<sup>1</sup>, Gianmarco F. Pinton<sup>2</sup>, Heather A. Nicoletto<sup>3</sup>, Ellen Bennett<sup>4</sup>, Daniel T. Laskowitz<sup>1</sup>, and Stephen W. Smith<sup>1</sup>



Ultrasound Med Biol. 2008 September ; 34(9): 1387-1395

**Résistance artérielle**



Geeraerts T, Neurochirurgie, 2008

40 % R



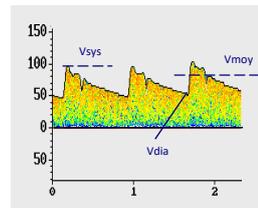
Gros tronc artériel

60 % R



Artérioles

**Indices**



Index de pulsatilité (Gosling)

$$IP = \frac{V_{sys} - V_{dia}}{V_{moy}}$$

Index de résistivité (Pourcelot)

$$IR = \frac{V_{sys} - V_{dia}}{V_{sys}}$$

**Valeurs normales**

Tableau 1 – Vitesses circulatoires et index de pulsatilité : valeurs normales chez l'adulte.

Artère	Profondeur (mm)	Moyenne	Diastolique	Systolique	IR	IP
ACM	40-55	62 ± 12	45 ± 10	90 ± 16	0,4-0,7	0,90 ± 0,24
ACA	60-75	50 ± 13	35 ± 10	71 ± 18		0,83 ± 0,17
ACP	55-80	37 ± 10	26 ± 7	53 ± 11		0,88 ± 0,20
TB	85-100	39 ± 9	31 ± 9	52 ± 9		

ACM : artère cérébrale moyenne ; ACA : artère cérébrale antérieure ; ACP : artère cérébrale postérieure ; TB : Tronc basilaire ; IR : index de résistance ; IP : index de pulsatilité

Extra-crânien

- Pressions systémiques
- Volémie
- Tachycardie (↓IP car ↓relaxation diastolique)
- Modification de section dans les artères extra-crâniennes



- Modification de diamètre
- vasospasme
- sténose, occlusion

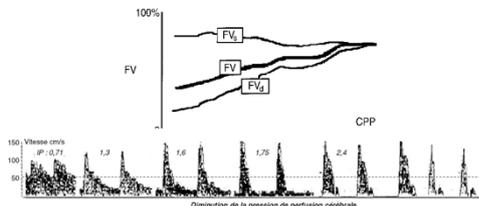
**Résistances artérielles**

- Hypertension intracrânienne
- Variations de capnie
- Anémie



⇒ Vélocités diastoliques, IP

## Diminution de la PPC

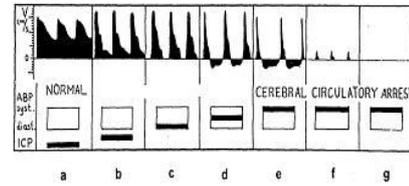


• Indépendant de l'angle d'insonation

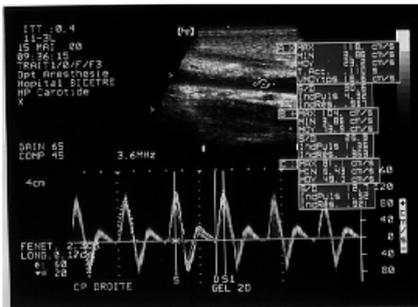
Kirpatrick P, *Head Trauma*, 2000

Bruder N, *EMC*, 2006

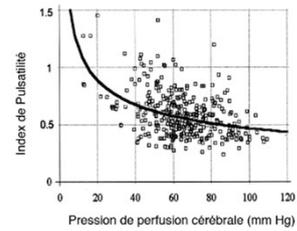
## Hypertension intracrânienne



Augmentation des résistances  
↓ Vélocité diastolique ↑ IP



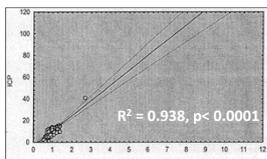
## Pression de perfusion cérébrale ?



Czosnyka M, *J Neurosurg*, 1998

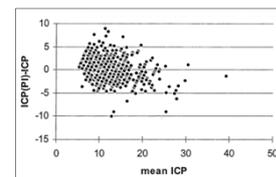
### 1- Diagnostic de ischémie cérébrale

- Prospective
- n=80 dont 60% HSA et ¼ TC, [2-79 ans]
- Détermination corrélation IP et PIC
  - => équation de droite de régression linéaire :  $PIC_{prédite}$
  - Comparaison  $PIC_{mesurée}$  et  $PIC_{prédite}$



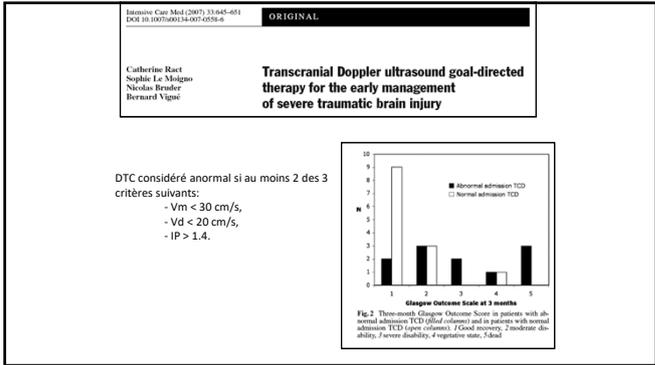
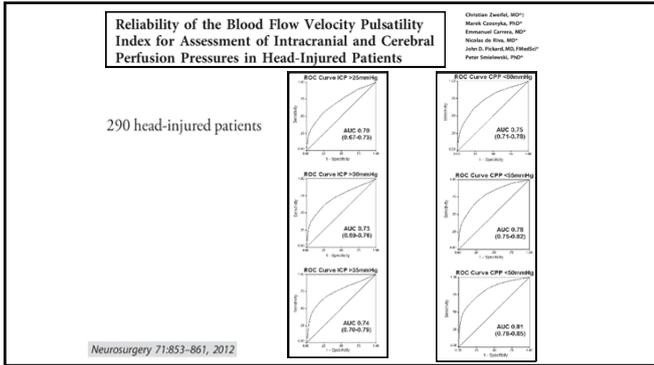
Bellner J, *Surg Neurol* 2004, 62

### 1- Diagnostic de ischémie cérébrale



$PIC_{prédite} = PIC_{mesurée} \pm 4.2 \text{ mmHg}$   
Dans 95% des cas (précision)

Bellner J, *Surg Neurol* 2004, 62

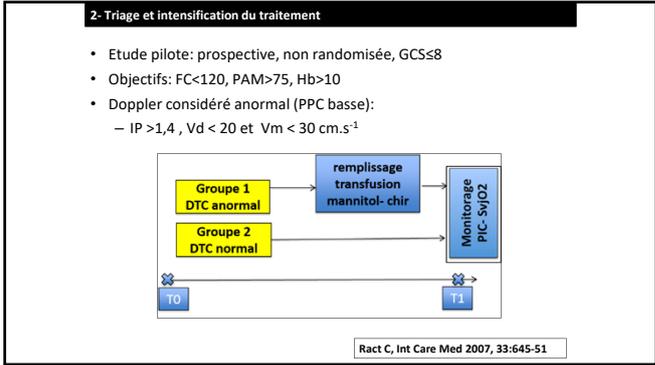


### 2- Triage et intensification du traitement

	Abnormal TCD (n = 9)		Normal TCD (n = 9)	
	In the field	At the trauma centre	In the field	At the trauma centre
Time from trauma (min)	68 ± 25	143 ± 50	61 ± 14	146 ± 57
Abnormal TCD (%)	9	4	0	0
Systolic velocity (cm/s)	67 ± 21	76 ± 23	79 ± 25	81 ± 17
Mean velocity (cm/s)	28 ± 10 <sup>†</sup>	37 ± 12 <sup>†</sup>	48 ± 14 <sup>†</sup>	53 ± 9 <sup>†</sup>
Diastolic velocity (cm/s)	9 ± 7 <sup>†</sup>	18 ± 11 <sup>†</sup>	33 ± 10 <sup>†</sup>	38 ± 10 <sup>†</sup>
Pulsatility index	2.2 ± 0.6 <sup>†</sup>	1.7 ± 0.8 <sup>†</sup>	0.9 ± 0.3 <sup>†</sup>	0.8 ± 0.3 <sup>†</sup>
MAP (mmHg)	93 ± 25	101 ± 32	72 ± 22	83 ± 19
Haemoglobin (g/dl)	14 ± 1	12	12	12
Anisocoria mydriasis	4	2	0	0
Norepinephrine (ng)	-	2	-	3
Mannitol (g)	-	7	-	0
Emergency neurosurgery (n)	-	3	-	0
48 h mortality (%)	-	67	-	11

- Normalisation par traitement intensif (faisabilité)
- Association doppler ↔ gravité/pronostic
  - Pas de normalisation: 100% décès, différence entre 2 groupes
  - Doppler initial normal: 0% neurochirurgie

Tazarourte K, Acta Anesth Scand 2011



### Triage

Transcranial Doppler to detect admission patients at risk for neurological deterioration following mild and moderate brain trauma

	Group 1	Group 2	p
TCD measurements (cm/s)			
FVm	43 (22-75)	36 (23-51)	0.37
FVs	75 (46-130)	77 (53-112)	0.93
FVd	27 (12-57)	26 (16-37)	0.30
Pulsatility index	1.28 (0.78-2.31)	1.64 (0.96-2.05)	0.05

Boutzat P, Neurosurgery 2011,68

### 2- Triage et intensification du traitement

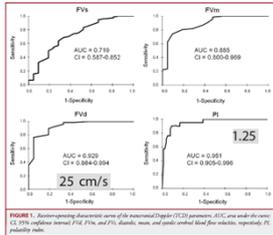
- Prospective, monocentrique, n=98 Trauma GCS [9-15]
  - Marshall 1 et 2
  - doppler « patients stables » vs « dégradation neuro J7 »
  - dégradation: 21/98 (21.4%), 3 décès.

	Status on Posttrauma Day 7: Patients With and Without Secondary Neurological Deterioration		P
	No SND (n = 77)	SND (n = 21)	
FVm, cm/s	49 (31-80)	31 (18-60)	<.01
FVs, cm/s	84 (47-128)	69 (38-119)	<.01
FVd, cm/s	34 (18-64)	18 (11-36)	<.01
Pulsatility index	1.02 (0.66-1.83)	1.47 (1.07-2.33)	<.01
Injury-to-TCD time, min	215 (42-700)	300 (90-690)	.03

Prédiction: Se: 90% / Sp: 91%

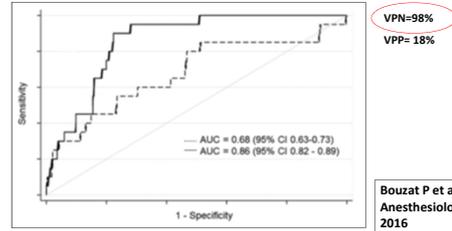
## Transcranial Doppler to Screen on Admission Patients With Mild to Moderate Traumatic Brain Injury

Pierre Bouzat, MD\*  
 Gilles Francoux, MD\*  
 Philippe Declercq, MD\*  
 Céline Genty, MSc  
 Arif Kadhim, MD\*  
 Pierre Brasso, MD\*  
 Julien Brini, MD\*  
 Claude Jacquot, MD\*  
 Stéphan Chabardès, MD, PhD\*  
 Jean-Luc Bouzat, MD, PhD\*  
 Jean-François Puyen, MD, PhD\*



## 2- Triage et intensification du traitement

- Prospective, multicentrique, n=356 MMTBI = GCS 9 à 15
  - Marshall 2
  - Objectifs: validation seuils IP 1.25 et Vd 25
  - dégradation neuro <I7: 20 (6%), 4 décès.



## 2- Triage et intensification du traitement



R1.4 - Il faut probablement évaluer la gravité initiale des traumatisés crâniens à l'aide du Doppler transcrânien.

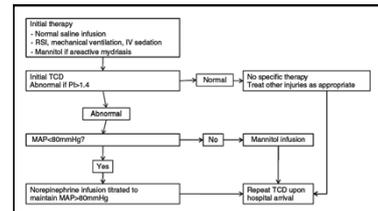
(GRADE 2+) Accord FORT

Argumentaire :

Chez les traumatisés crâniens, l'indice le plus sensible au Doppler transcrânien (TCD) pour détecter la baisse de Pression de Perfusion Cérébrale (PPC) est l'index de pulsatilité (IP). Tant que l'on ne dispose pas d'un montage

## Pre-hospital transcranial Doppler in severe traumatic brain injury: a pilot study

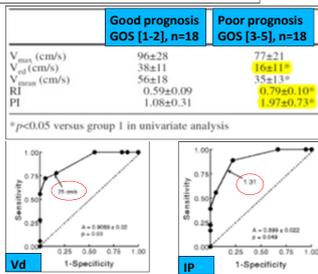
R. Tazawa<sup>1,2</sup>, A. Antonopoulos<sup>2</sup>, J.-P. Terrien<sup>2</sup>, J.-S. Dault<sup>2</sup>, C. Bacc<sup>2</sup>, E. Savary<sup>1</sup>, M. Moncrief<sup>1</sup> and B. Victor<sup>1</sup>  
 Service d'Anesthésie et Réanimation (SAR) et Pôle Urgence, Hôpital Henri Lacaze, Montpellier, France; <sup>1</sup>SAR-UR, Département d'Anesthésie, Réanimation, Université Paris Sud, Hôpital de Bicêtre, Le Kremlin-Bicêtre, France and <sup>2</sup>Department of Anesthesiology, NYU Medical Center, New York, NY



Acta Anaesthesiol Scand 2011; 55: 422-428

## 2- Triage et intensification du traitement

- Prospective monocentrique, n=36 enfants
  - Traumatisme crânien sévère/modéré
- Trabold F, Int Care Med 2004; 30



## 3- Dissection carotidienne

Critères de Denver	Critères de Memphis
-Fractures du rachis cervical	-Fractures du rachis cervical
-Déficit neurologique inexpliqué	-Déficit neurologique inexpliqué par l'imagerie cérébrale
-Fr base au niveau du canal carotidien	-Fr base au niveau du canal carotidien
-Fr Lefort II et III	-Fr Lefort II et III
-Hématome cervical	-Hématome cervical
-Souffle cervical < 50 ans	-Syndrome de CBH
-AVC ischémique	-Lésions des parties molles cervicales
-TCG avec score de GCS < 6	
-pendaison	

Cothren CC, Clinics 2005

### 3- Dissection carotidienne

- **Rétrospective**, dissection vs. contrôles appariés 1:4
- Profil doppler cas avec dissection confirmée/CTA

	TICAD	Controls 1	Controls 2	p
FNs (cm/s)	51 (23-92)	91 (57-123) <sup>a</sup>	80 (46-115) <sup>a</sup>	<0.01
FNm (cm/s)	36 (18-64)	53 (31-73) <sup>a</sup>	35 (25-44) <sup>a</sup>	<0.01
FNd (cm/s)	29 (15-53)	40 (18-55) <sup>a</sup>	25 (15-41) <sup>a</sup>	<0.01
PI	0.70 (0.18-1.45)	0.98 (0.60-1.75) <sup>a</sup>	1.36 (0.88-2.09) <sup>a, b</sup>	<0.01
PI = 0.80 (n)	10	4	0	<0.01
FNs asymmetry (%)	24 (7-50)	12 (0-25) <sup>a</sup>	12 (0-41) <sup>a</sup>	<0.01
FNm asymmetry (%)	37 (4-81)	12 (0-29) <sup>a</sup>	15 (0-36) <sup>a</sup>	<0.01
FNd asymmetry (%)	39 (0-80)	14 (0-28)	16 (0-52)	0.18
PI asymmetry (%)	46 (16-85)	9 (1-39) <sup>a</sup>	13 (0-53) <sup>a</sup>	<0.01
FNs asymmetry >25% (n)	8	0	5	<0.01
PI ≤ 0.80 and FNs asymmetry >25% (n)	0	0	0	<0.01

- ↘ **vélocités et IP homolatérale à la dissection**
- ↑ **assymétrie des vélocités si dissection**

Bouzat P, Int. Care Med. 2010

### 3- Dissection carotidienne



#### Recommandations Formalisées d'Experts 2016

**R3.2 - Il faut probablement faire précocement une exploration des troncs supra-aortiques et des vaisseaux intracrâniens par angiotomodensitométrie chez les patients présentant des facteurs de risque.**

(GRADE 2+) Accord FORT

## Conclusion

- Progrès techniques certains
- Taux de succès augmente
- Anatomie cérébrale et Doppler transcrânien
- Développement futur pour l'anesthésie réanimation
  - Contraste
  - 3D
- Attention à la toxicité des ultrasons

**Je vous remercie de votre attention**

geeraerts.t@chu-toulouse.fr

