



LE DOPPLER TRANSCRÂNIEN À L'ACCUEIL : INTÉRÊTS ET LIMITES EN 2007

Bernard Vigué (1), Karim Tazarourte (1,2), Nicolas Bruder (3)

(1) DAR, CHU de Bicêtre et (2) SAMU 77, (3) DAR, CHU de la Timone, Marseille

INTRODUCTION

Les progrès importants effectués dans la prise en charge des traumatisés crâniens graves (TC) depuis 25 ans sont liés à la compréhension de l'importance physiologique des lésions secondaires au traumatisme. En effet, comprendre qu'il existe des atteintes post-traumatiques qui déterminent le devenir des patients et que ces atteintes (hypotension artérielle, hypoxie ou hyperthermie) sont contrôlables et évitables a permis de mobiliser les équipes dans des protocoles de soins précis et efficaces [1] et d'édicter des recommandations [2]. Cependant, la période des premières heures post-traumatiques, de la prise en charge sur les lieux de l'accident à la mise en place des moyens de surveillance continue (pression artérielle moyenne -PAM-, pression intracrânienne -PIC- et pression de perfusion cérébrale -PPC=PAM-PIC-), est très faiblement contrôlée. La seule consigne claire est d'éviter l'hypotension (pression systolique inférieure à 90 mmHg [3]). Malheureusement, cette période regroupe le moment de fréquence maximale des accidents secondaires aggravants [4-5] et la sensibilité maximale du cerveau traumatisé à l'ischémie [6]. Il est donc nécessaire de porter nos efforts sur le dépistage permettant le traitement rapide et l'orientation de ces patients à fort risque d'ischémie cérébrale vers des centres adaptés [7].

1. DESCRIPTION DE LA SITUATION ACTUELLE

La situation est connue de tous : la gravité de ces patients souvent poly-traumatisés et la difficulté pour une équipe éloignée des centres de référence de faire le bon choix d'acheminement. Le temps perdu à l'accord téléphonique pour un premier lieu d'arrivée (moyenne de 100 minutes en Ile de France [8]) et au déplacement du patient vers ce centre désigné (moyenne de 200 minutes, soit plus de 3 heures, au total en Ile de France en 2001 [8]). Une fois arrivée à l'hôpital, dans les premières heures, moins de la moitié (40%) des patients sont évalués à risques d'ischémie cérébrale [3-4, 9-10]. Il est important de comprendre, qu'en dehors des hypotensions sévères (PAS < 90mmHg), le niveau de PAM de ces patients ne permet pas de distinguer les patients à risque [7, 10]. Par

ailleurs, un temps indispensable à l'équipe hospitalière receveuse est nécessaire pour évaluer le patient, pratiquer les examens complémentaires radiologiques (radiographies de débrouillage puis scanner) et biologiques (alcoolémie, hémotase) nécessaires à la pose des moyens de surveillance (PIC et/ou SvjO₂). Seuls, ces moyens permettent d'identifier les patients à haut risque ischémique (PPC basse < 60 mmHg ou SvjO₂ < 55 %), nécessitant des thérapeutiques plus agressives. Ce délai à l'évaluation plus précise de l'hémodynamique cérébrale est pour le DAR de Bicêtre, équipe volontaire, de 200 ± 20 minutes soit, là aussi, plus de 3 heures [10, 11]. Ce retard d'évaluation ne semble pas être lié au seul mode de fonctionnement français des secours puisqu'en Angleterre le délai moyen annoncé, dépendant aussi des transferts secondaires, peut aussi être de 7 heures [12].

La gravité de ces patients, l'absence de dépistage et de réponse thérapeutique rapide adaptée à leur situation ainsi que l'ensemble des difficultés de prise en charge font que l'on compte au cours de ces 6 à 7 heures de prise en charge initiale un nombre de décès impressionnant : 40% de l'ensemble des traumatisés crâniens graves pris en charge par les SAMU décèdent pendant cette période initiale [8, 13].

2. LE DOPPLER TRANSCRÂNIEN (DTC) : SES ARGUMENTS ET SES LIMITES

Il est donc impératif de s'organiser pour tenter de dépister ces patients à chaque étape de cette période critique. Le DTC est l'outil de choix pour cette tâche : c'est une méthode non invasive, facilement reproductible, d'apprentissage aisé [14-15]. Recommandé pour surveiller l'apparition de spasmes artériels à distance d'une hémorragie méningée, il s'avère plutôt décevant dans cette indication [16]. Par contre, il est efficace pour juger de l'état des résistances en aval du territoire de l'artère étudiée et donc de la qualité du flux cérébral et ce surtout dans les premières 48 heures avant toute possibilité de spasme. Le DTC est donc une arme d'évaluation du débit sanguin cérébral à l'arrivée du patient neurologique.

Il s'agit donc de déterminer les modifications des vitesses cérébrales dans les gros troncs cérébraux quand les résistances des artéioles se ferment progressivement. Ces résistances augmentent soit par écrasement extrinsèque liée à une hypertension intracrânienne soit par vasoconstriction directe comme en cas d'hypocapnie profonde. Il existe de nombreuses publications sur les résultats du DTC en cas d'absence de flux cérébral et d'état de mort encéphalique [17]. Ces études insistent sur un premier point très important qui est la disparition du flux diastolique comme premier signe avant l'arrêt complet du flux (figure 1). Le deuxième impératif est l'étude de l'index de pulsativité (IP = (Vs-Vd)/Vm) dont la normale est 1. En effet, cet index, à la différence des mesures de vitesses, est indépendant de l'angle d'insonation des ultrasons sur le vaisseau étudié appelé angle d'insonation. Pour conclure que la vitesse diastolique (Vd) est diminuée par augmentation des résistances artériolaires, il est donc impératif que l'IP soit augmenté.

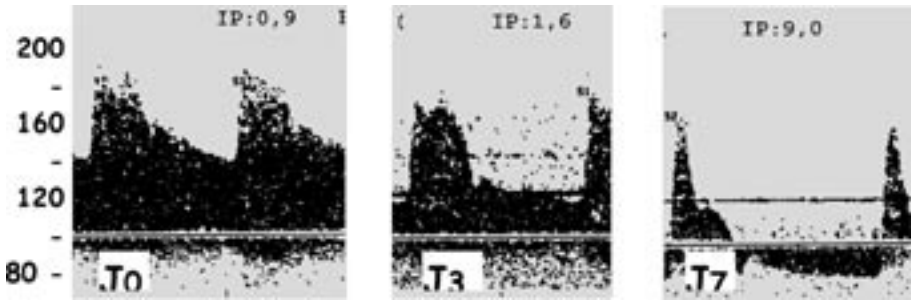


Figure 1 : Evolution des valeurs de vitesses mesurées dans l'artère cérébrale moyenne au Doppler transcrânien d'un patient présentant une HTIC progressive et irréductible entraînant une altération de plus en plus importante de la perfusion cérébrale. Cette illustration permet de rapporter les 3 situations possibles : valeurs normales (J0), inquiétante (J3, Vd normale et IP élevé et, enfin, situation urgente (J7, Vd basse < 20 cm/s- avec IP élevé) nécessitant un traitement immédiat pour tenter de rétablir la perfusion dans l'artère étudiée.

De nombreuses études sur le DTC ont aussi montré que l'on peut suivre l'évolution du flux pour étudier les capacités d'autorégulation ou les effets de différents traitements dont, par exemple, le mannitol (figure 2) [18]. Cet exemple permet d'analyser la reversion d'un flux inquiétant et proche de l'arrêt circulatoire (Vd bas avec IP élevé) vers la normalité (Vd normale avec $IP \leq 1$).

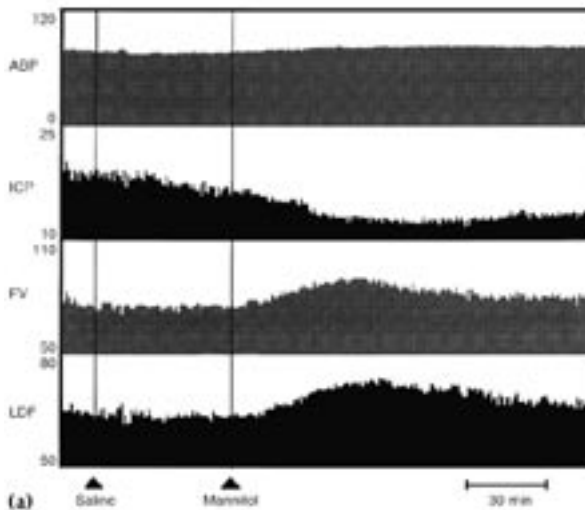


Figure 2 : Enregistrement des effets d'une perfusion de mannitol 20 % sur l'hémodynamique cérébrale d'après [18]. De haut en bas, maintien de la PAM, diminution de la PIC, augmentation de la vitesse sanguine (DTC) et de la microcirculation (laser-Doppler). On comprend que le DTC permet, non seulement de dépister une insuffisance de circulation cérébrale mais aussi de surveiller les conséquences sur cette circulation du traitement choisi.

2. LES PREMIÈRES ÉTUDES

Peu d'études analysent précisément les flux sanguins des patients à l'arrivée et leur évolution. Ces études discutent soit de l'intérêt pronostique de la baisse

de la Vm au dessous de 28 cm/s [19], soit de la nécessité de tenir compte avec une Vm basse d'un IP élevé [20]. Van Santbrink et al montrent que les valeurs de Vm les plus basses sont retrouvées dans les 8 heures après l'arrivée à l'hôpital avec une corrélation entre Vm et les valeurs de $Pt\text{I}\text{O}_2$ [21]. L'analyse des seuils des vitesses retrouve comme facteur de mauvais pronostic chez 36 enfants TC soit une Vd < 25 cm/s soit un IP > 1,3 [22]. Enfin, tous les patients traumatisés crâniens modérés, GCS entre 8 et 14, examinés aux urgences du CHU de Grenoble, qui s'aggravent dans les heures suivantes avaient un IP > 1,4 à l'arrivée aux urgences [23].

3. STRATÉGIE AVANT LE SCANNER : DÉPISTER ET TRAITER À PARTIR DU DTC D'ARRIVÉE [11]

Les seuils de gravité retenus pour cette étude sont l'association d'une Vd < 20 cm/s avec un IP > 1,4. Vingt-quatre patients TC successifs sont étudiés à leur arrivée à Bicêtre. L'étude du DTC réalisé dans les 20 minutes après leur arrivée en salle de déchocage montre que 46 % de ces patients TC (11 sur 24) répondent à ces critères de gravité. Il est important de noter que la PAM moyenne n'est pas différente dans le groupe dépisté à haut risque ischémique par le DTC et dans le groupe aux DTC normaux. Le traitement immédiat (mannitol, augmentation de la PAM à la noradrénaline) a permis de corriger rapidement la baisse dangereuse de flux de ce groupe. Ce traitement immédiat permet le gain du temps nécessaire à l'organisation d'examen complémentaires dans des conditions de sécurité. Le scanner est alors, dans ce groupe, programmé le plus rapidement possible, permettant d'analyser le type de lésions cérébrales et d'organiser un traitement plus durable comme le bloc opératoire ou l'hypothermie. Le DTC a donc permis de dépister rapidement ce groupe à haut risque et d'individualiser le traitement. Le niveau de PAM est modifié individuellement pour corriger le DTC, en conséquence, nous retrouvons une augmentation significative de PAM dans ce groupe (Tableau I).

Par contre, la PAM ne varie pas dans le groupe aux DTC normaux. Dans ce groupe le scanner est moins urgent. Rappelons que les lésions cérébrales ne sont stables qu'après quelques heures d'évolution [24]. Le DTC est donc aussi intéressant pour avoir dépisté les patients qui sont à faible risque ischémique (54 % des patients). En effet, l'absence de problème aigu d'hémodynamique cérébrale permet d'être rassuré et de se concentrer sur les autres atteintes potentielles de ces patients souvent polytraumatisés. Dans notre étude, aucun des patients de ce groupe aux DTC normaux ne développera par la suite de problème hémodynamique, cependant ceci n'est, bien sûr, pas constant et le contrôle du DTC est nécessaire car l'expansion d'une lésion ou l'apparition secondaire d'un œdème cérébral est toujours possible. Par ailleurs, l'étude de la $S\text{v}\text{I}\text{O}_2$ des patients montre que le DTC ne détermine pas 100 % des sujets à risque. En effet, dans chaque groupe, après prise en charge et traitements, alors que les DTC sont normalisés, il existe un patient dont la $S\text{v}\text{I}\text{O}_2$ est inférieure au seuil minimal de 55 % [4] (Tableau I). Ces 2 patients sont anémiques (7 et 6 g.dl⁻¹) montrant ainsi la limite du DTC qui peut être normal alors que les apports en oxygène sont insuffisants si la concentration d'hémoglobine est basse.

Dépister et prévenir l'ischémie sont les principaux objectifs de la réanimation des premières heures des TC. Au total, les seuils choisis (Vd < 20 cm/s

et $IP > 1,4$) ont permis de dépister très rapidement, un groupe à fort risque et un groupe à faible risque ischémique. Cela a permis d'orienter le traitement (agressif dans le groupe aux DTC anormaux, et attentiste dans le groupe DTC normaux) et d'organiser les examens complémentaires (très urgents pour DTC anormaux, moins urgents pour DTC normaux). Le DTC à l'arrivée, comme tous les examens de débrouillage à l'arrivée reconnus indispensables (échographie abdominale, radiographies du thorax et du bassin) doit faire partie du bilan initial du polytraumatisé. Nous avons vu à quel point cet examen a des conséquences importantes dans la prise en charge de tous les patients TC. Malheureusement le tri opéré par le DTC à l'arrivée à l'hôpital, après la prise en charge pré-hospitalière, et les traitements institués n'ont pas empêché le décès de 3 patients et le devenir péjoratif de 3 autres dans le groupe aux DTC anormaux alors qu'un seul patient aura un devenir à 3 mois péjoratif dans le groupe aux DTC normaux (Tableau I).

Tableau I

Valeurs moyennes (\pm SD) à l'admission (T_0) puis après mise en place des moyens de surveillance (PIC et SvO_2) (T_1) chez 24 patients traumatisés crâniens graves consécutifs

	DTC anormaux (n=11)		DTC normaux (n=13)	
	T₀	T₁	T₀	T₁
Délai d'admission (min)	16 \pm 8	219 \pm 96	20 \pm 12	262 \pm 123
DCT anormaux (nbre)	11	2	0	0
Vitesse moyenne (cm/s)	30 \pm 6	43 \pm 10*	49 \pm 13**	51 \pm 11
Vitesse diastolique (cm/s)	13 \pm 5	25 \pm 8*	34 \pm 11**	36 \pm 11**
Index de Pulsatilité	2,1 \pm 0,5	1,4 \pm 0,3*	1,2 \pm 0,6**	0,9 \pm 0,3**
PAM (mmHg)	89 \pm 15	105 \pm 17*	89 \pm 11	93 \pm 19
PIC (mmHg)		32 \pm 13		22 \pm 10**
PPC (mmHg)		73 \pm 15		71 \pm 14
SvO_2 (%)		67 \pm 2		72 \pm 9
pH	7,39 \pm 0,04	7,39 \pm 0,02	7,32 \pm 0,06**	7,36 \pm 0,07*
$PaCO_2$ (mmHg)	40 \pm 5	42 \pm 5	45 \pm 6**	41 \pm 6*
Hémoglobine (g/dl)	12 \pm 1	11 \pm 1	12 \pm 2	11 \pm 2
Noradrénaline (nbre)	1	9	2	4
Mannitol (nbre)	0	5	1	0
Neurochirurgie (nbre)	-	3	-	0

PAM : pression artérielle moyenne ; PIC : pression intracrânienne ; PPC : pression de perfusion cérébrale ; SvO_2 : saturation veineuse jugulaire en oxygène.

* $p < 0,05$ entre T0 et T1

** $p < 0,05$ entre les groupes

4. L'INTÉRÊT DU DTC EN PRÉ-HOSPITALIER

L'importance pratique du DTC dans la prise en charge pousse à son utilisation avant l'arrivée à l'hôpital, pendant la prise en charge pré-hospitalière. En effet, la médicalisation pré-hospitalière devrait permettre de développer des diagnostics plus précis pendant cette phase. Ceci ne doit pas seulement être vu comme un luxe mais comme un moyen de permettre un tri utile aidant aux décisions soit de rejoindre l'hôpital de proximité en sécurité soit de rechercher d'emblée un hôpital, plus loin, avec un accueil adapté aux risques encourus (accueil de neuro-réanimateurs et de neurochirurgiens). Trier efficacement les patients est un des grands problèmes indispensables à une gestion rationnelle (médicale et économique) des situations dans les grands centres urbains [7].

L'équipe du SAMU 77 a ainsi testé chez 19 patients consécutifs la faisabilité du DTC et l'adaptation du traitement aux résultats retrouvés [25]. Les seuils choisis étaient une $V_d < 20$ cm/s avec $IP > 1,4$. Les DTC sont effectués une fois la mise en condition du patient (intubation, ventilation, circulation) et refaits à l'arrivée à l'hôpital. En pré-hospitalier, après la mise en condition, 46 % des patients sont découverts à risque (9 sur 19). La perfusion immédiate de mannitol et le contrôle de la PAM dans ce groupe permet d'amener à l'hôpital en sortant de la zone dangereuse 5 des 9 patients pathologiques (figure 3). Par ailleurs aucun des 10 patients aux DTC normaux après la mise en condition ne se dégrade pendant le transport (figure 3). L'évaluation avec le DTC des patients en pré-hospitalier a permis d'abord de gagner 2 à 3 heures sur le traitement de l'ischémie cérébrale puis a autorisé l'orientation utile et documentée du patient vers des centres adaptés. On peut donc estimer que l'utilisation du DTC permet de limiter l'aggravation des lésions cérébrales à la phase précoce. Cependant, l'amélioration du pronostic à long terme liée à un traitement utilisant le Doppler à la phase précoce reste à déterminer.

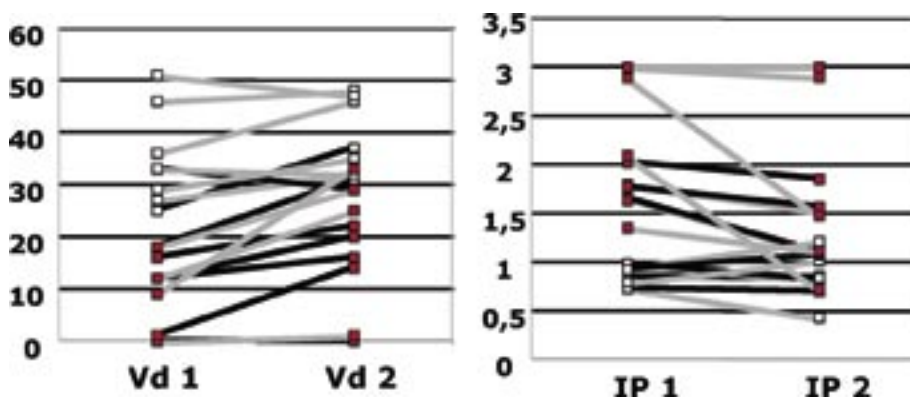


Figure 3 : Variations des vitesses diastoliques (cm/s) et de l'IP, avant (V_{d1} et IP_1) et après (V_{d2} et IP_2) la prise en charge pré-hospitalière chez 19 patients traumatisés crâniens graves consécutifs [25]. Un traitement adapté (mannitol 20 %, 250 ml) a été institué chez les 9 patients aux DTC pathologiques (carrés foncés) puis ré-évalué après traitement (V_{d2} et IP_2).

5. ETUDE DE 150 PATIENTS À L'ARRIVÉE : DÉFINITION DESTROIS SITUATIONS POSSIBLES

Cette étude concerne les DTC à l'arrivée de 150 patients TC successifs pris en charge à Bicêtre (n = 105) et à Marseille (n = 45). Les patients en mydriase bilatérale et GCS<4 à l'arrivée ont été exclus. Hors transports secondaires, le délai entre la prise en charge sur les lieux de l'accident et l'hôpital est comparable dans les deux centres (147' ± 46' pour Bicêtre et 184' ± 105' pour Marseille). Le délai d'obtention du DTC à l'arrivée des patients est de 18' ± 10' pour Bicêtre et de 15' ± 10' pour Marseille (ns). Nous n'avons pas trouvé de différence entre les deux centres hormis la plus grande fréquence de polytraumatisés à Bicêtre. La mortalité -18% vs 18 %- comme le nombre de DTC sous les seuils de gravité -28 % vs 27 %- sont similaires. La gravité du traumatisme crânien ainsi que les résultats des DTC d'arrivée montrent que les deux centres sont comparables.

Les seuils permettent de distinguer 3 types de patients. Le premier répond aux critères de gravité extrême (Vd < 20 cm/s et IP > 1,4). Il concerne 42 patients soit 28 % de la population étudiée dont la moitié (n = 21) décèdera dans les suites. Ces décès représentent 78 % des 27 décès de l'étude. Dans cette population, l'hémodynamique cérébrale est gravement compromise et nécessite l'intensification immédiate du traitement à visée cérébrale (augmentation de la PAM voire manitol). Quarante-vingts patients (53 % de la population) ont au contraire un DTC rassurant à l'arrivée permettant d'envisager la poursuite de la recherche étiologique des lésions en toute sécurité, 4 seulement de ces patients décéderont dans les suites et aucun d'hypertension intracrânienne. Enfin, il est souhaitable d'isoler un troisième groupe de patients dont les Vd sont normales (> 20 cm/s) mais dont l'IP reste élevé (> 1,4) indiquant ainsi une forte résistance à l'écoulement. Vingt-sept patients (18 %) sont dans cette situation (2 décès futurs). L'augmentation isolée de l'IP s'interprète, en l'absence d'hypotension artérielle, comme une hypertension intracrânienne contrôlée. L'équilibre de l'hémodynamique cérébrale permet à la perfusion de se faire, mais elle est à haut risque de déséquilibre et l'ajustement du traitement ainsi qu'une surveillance accrue sont indispensables. Là encore, dans cette étude, les 3 groupes définis ne peuvent se différencier par la valeur de leur PAM moyenne respective (88±21, 83±15 et 84±15 mmHg, ns). Le DTC apporte donc une information rapide et déterminante avant toute mise en place des moyens de surveillance continue.

Il faut souligner que la différence entre les groupes n'est significative que dans les 6 premières heures post-traumatiques. Par la suite, l'effet des traitements et la réponse hyperhémique cérébrale liée au traumatisme expliquent que les vitesses Doppler deviennent comparables chez les patients qui ont une atteinte cérébrale grave ou modérée. A cette période, le DTC est toujours utile pour déterminer l'état de l'autorégulation cérébrale et ajuster les traitements. Mais on entre alors dans le domaine de la réanimation spécialisée.

CONCLUSION

L'ensemble de ces études nous montrent à quel point le DTC à l'arrivée est utile pour trier les patients et orienter la thérapeutique des premières heures. Le DTC permet de juger rapidement de l'état de l'hémodynamique cérébrale. Celle-ci ne peut évidemment se juger qu'après contrôle de la PAM, de la SaO₂ et de l'EtCO₂. Les patients peuvent se partager en trois groupes différents (figure

1) : les urgences thérapeutiques absolues (Vd < 20 cm/s avec IP > 1,4), les patients rassurants (Vd > 20 cm/s avec IP < 1,4) et enfin les patients à haut risque de déséquilibre (Vd > 20 avec IP < 1,4). Le DTC ne représente qu'une image à un temps précis mais cette technique permet la répétition facile des examens et donc d'ajuster les traitements à tout moment dans cette période cruciale et délicate qu'est la prise en charge des premières heures post-traumatiques.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Bulger EM, Nathens AB, Rivara FP, Moore M, MacKenzie EJ, Jurkovich GJ. Brain Trauma Foundation Management of severe head injury: institutional variations in care and effect on outcome. *Crit Care Med.* 2002 Aug;30(8):1870-6.
- [2] ANAES. Agence nationale d'accréditation et d'évaluation en santé. Prise en charge des traumatisés crâniens graves à la phase précoce. Recommandations pour la pratique clinique. *Ann Fr Anesth Reanim* 1999;18:1-172.
- [3] Chesnut RM, Marshall LF, Klauber MR, Blunt BA, Baldwin N, Eisenberg HM, Jane JA, Marmarou A, Foulkes MA. The role of secondary brain injury in determining outcome from severe head injury. *J Trauma* 1993;34:216-222
- [4] Gopinath SP, Robertson CS, Relating CF, Hague C, Feldman Z, Narayan RK, Grossman RG. Jugular venous desaturation and outcome after head injury. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1994; 54:717-23
- [5] Jones PA, Andrews PJD, Midgley S, Anderson SI, Piper IR, Tocher JL, Housley AM, Corrie JA, Slattery J, Dearden NM, Miller JD. Measuring the burden of secondary insults in head-injured patients during intensive care. *J Neurosurg Anesthesiol* 1994;6:4-14
- [6] DeWitt DS, Jenkins LW, Prough DS. Enhanced vulnerability to secondary ischemic insults after experimental traumatic brain injury. *New Horiz* 1995;3:376-383
- [7] Hukkelhoven CW, Steyerberg EW, Habbema JD, Maas AI. Admission of patients with severe and moderate traumatic brain injury to specialized ICU facilities: a search for triage criteria. *Int Care Med* 2005 Jun;31:799-806.
- [8] Weiss JJ, Trutt B, Van haverbeke L. La prise en charge des traumatismes crâniens graves de l'adulte à la phase précoce en Ile de France , a propos de 215 cas. *Mission d'expertise en santé publique -établissements de santé- Juin 2003.*
- [9] Bouma GJ, Muizelaar JP, Stringer WA, Choi SC, Fatouros P, Young HF. Ultra-early evaluation of regional cerebral blood flow in severely head-injured patients using xenon-enhanced computerized tomography. *J Neurosurg* 1992;77:360-368
- [10] Vigué B, Ract C, Benayed M, Zlotine N, Leblanc PE, Samii K, Bissonnette B. Early SvjO₂ in patients with severe brain trauma. *Int. Care Med.* 1999;25:445-451.
- [11] Ract C, Le Moigno S, Bruder N, Vigué B. Early Transcranial Doppler in patients with severe brain trauma. *Int. Care Med.* 2007;33:645-651
- [12] Price SJ, Suttner N, Aspoas AR. Have ATLS and national transfer guidelines improved the quality of resuscitation and transfer of head-injured patients? A prospective survey from a Regional Neurosurgical Unit. *Injury* 2003;34:834-838
- [13] Rouxel JM, Tazarourte K, Le Moigno S, Ract C, Vigué B. Prise en charge pré-hospitalière des traumatisés crâniens. *Ann Fr Anesth Reanim* 2004;23:6-14.
- [14] Engrand N, Abderraïm N, Démolis P, Leblanc PE, Cheisson G, Martin L, Vigué B. Doppler transcrânien en réanimation : étude Juniors contre Seniors. *SFAR* 2000;R378:227s
- [15] Démolis P, Chalon S, Giudicelli JF. Repeatability of transcranial Doppler measurements of arterial blood flow velocities in healthy subjects. *Clinical Science* 1993;84:599-604.
- [16] Lysakowski C, Walder B, Costanza M, Tramer MR. Transcranial Doppler versus angiography in patients with vasospasm due to a ruptured cerebral aneurysm, a systematic review. *Stroke*, 2001;32:2292-2298
- [17] Ducrocq X, Hassler W, Moritake K, Newell DW, von Reutern GM, Shiogai T, Smith RR. Consensus opinion on diagnosis of cerebral circulatory arrest using Doppler-sonography: Task Force Group on cerebral death of the Neurosonology Research Group of the World Federation of Neurology. *J Neurol Sci* 1998;159:145-150

-
- [18] Kirkpatrick PJ, Chan KH. Transcranial Doppler. In: Reilly P and Bullock MR (ed) Head Injury. Chapman & Hall, London, 1997;pp243-259
- [19] Chan KH, Miller JD, Dearden NM. Intracranial blood flow velocity after head injury: relationship to severity of injury, time, neurological status and outcome. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1992;55:787-791
- [20] McQuire JC, Sutcliffe JC, Coats TJ. Early changes in middle cerebral artery blood flow velocity after head injury. *J Neurosurg* 1998;89:526-532
- [21] Van Santbrink H, Schouten JW, Steyerberg EW, Avezaat CJ, Maas AI. Serial transcranial Doppler measurements in traumatic brain injury with special focus on the early posttraumatic period. *Acta Neurochir (Wien)* 2002;144:1141-1149
- [22] Trabold F, Meyer PG, Blanot S, Carli PA, Orliaguet GA. The pronostic value of transcranial Doppler studies in children with moderate and severe head injury. *Int Care Med* 2004;30:108-112
- [23] Jaffres P, Brun J, Declety P, Bosson JL, Fauvage B, Scheiermacher A, Kaddour A, Anglade D, Jacquot C, Payen JF. Transcranial Doppler to detect on admission patients at risk for neurological deterioration following mild and moderate brain trauma. *Int Care Med* 2005;31:785-790
- [24] Servadei F, Murray GD, Penny K, Teasdale GM, Dearden M, Iannotti F, Lapierre F, Maas AJ, Karimi A, Ohman J, Persson L, Stocchetti N, Trojanowski T, Unterberg A. The value of the «worst» computed tomographic scan in clinical studies of moderate and severe head injury. *European Brain Injury Consortium. Neurosurgery.* 2000 Jan;46(1):70-5.
- [25] Tazarourte K, Imbernon C, Bertozzi N, Patot C, Fontaine D, Felden JM, Goix L, Vigué B. Doppler transcrâniens préhospitalier. *Ann Fr Anesth Réanim, Résumé,* 2002; R253