

كلية الطب والصيدلة وطب الأسنان
FACULTÉ DE MÉDECINE, DE PHARMACIE ET DE MÉDECINE DENTAIRE



جامعة سيدي محمد بن عبد الله - فاس
UNIVERSITÉ SIDI MOHAMED BEN ABDELLAH DE FES

**INTERET DU DOPPLER TRANSCRANIEN DANS LA PRISE EN
CHARGE DES TRAUMATISES CRANIENS EN REANIMATION
(à propos de 92 cas).**

Mémoire présenté par

Dr. OUSSAMA EL AMMARI

POUR L'OBTENTION DU DIPLOME DE SPECIALITE EN MEDECINE

OPTION : ANESTHESIE- REANIMATION

Sous la direction de: Professeur Abdelkarim SHIMI

CHU Hassan II - FES
Service d'Anesthésie et Réanimation
Prof. Abdelkarim SHIMI
Dr. SHIMI Abdelkarim

Session Juin 2023

Dr. KHATOUF Mohammed
Service d'Anesthésie et Réanimation
Le Médecin AI
CHU Hassan II - FES

SOMMAIRE

LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	6
INTRODUCTION.....	7
MATERIELS ET METHODES	10
A. MATERIELS :	11
I. Type d'étude :	11
II. Les critères d'inclusion :	11
III. Les critères d'exclusion :	11
B. METHODES :	12
RÉSULTATS.....	13
A. ETUDE DESCRIPTIVE.....	14
I. Données épidémiologiques.....	14
1. Age	14
2. Sexe	14
3. Comorbidités.....	15
II. Données cliniques	15
1. Mécanisme lésionnel.....	15
2. GCS initial	16
3. État des pupilles	17
III. Données radiologiques.....	18
1. TDM cérébrale.....	18
2. DTC initial.....	19
B. Données DTC au cours de la surveillance des traumatisés crâniens.....	20
C. Attitude thérapeutique après DTC.....	20
D. Durée d'hospitalisation	21
E. Évolution.....	21

DISCUSSION	22
❖ RAPPELS	24
▪ RAPPEL ANATOMIQUE	24
▪ RAPPEL PHYSIOLOGIQUE	30
❖ LE DOPPLER TRANSCRANIEN : GENERALITES	38
A. Historique.....	38
B. Principe	38
C. Matériel	40
D. Technique.....	42
E. Fenêtres acoustiques	42
I. La fenêtre temporale	43
II. La fenêtre orbitaire	46
III. La fenêtre sous occipitale.....	46
F. Paramètres évalués par le DTC et interprétation	48
G. Limites de la technique	54
❖ APPLICATIONS CLINIQUES ET INTERET DU DTC	55
A. Prise en charge initiale du traumatisé crânien	55
B. Suivi thérapeutique et identification des patients à risque d'aggravation secondaire	56
C. Autorégulation cérébrale.....	57
D. Diagnostic du vasospasme	58
E. Diagnostic d'une mort cérébrale.....	59
❖ Analyse de nos résultats par rapport à la littérature	61
A. Données épidémiologiques	61
I. Clinique	61
1. Age	61

2. Sexe	61
3. Circonstances de survenue	62
4. Évaluation clinique initiale	63
II. Paraclinique	64
1. TDM cérébrale	64
2. DTC	66
B. Impact du monitoring par le DTC dans la prise en charge des traumatisés crâniens en réanimation	71
CONCLUSION.....	72
RÉSUMÉS.....	74
ANNEXES.....	79
BIBLIOGRAPHIE.....	81

ABRÉVIATIONS :

ACM	: Artère cérébrale moyenne.
AVP	: Accident de la voie publique.
CMRglucose	: Consommation cérébrale en glucose.
CMRO2	: Extraction cérébrale moyenne en oxygène.
DSC	: Débit sanguin cérébral.
DTC	: Doppler transcrânien.
GCS	: Glasgow Coma Scale.
HTIC	: Hypertension intracrânienne.
IP	: Indice de pulsatilité ou indice de Gosling.
IR	: Indice de résistance ou indice de Pourcelot.
IRM	: Imagerie par résonance magnétique.
LCR	: Liquide céphalo-rachidien.
PaCo2	: Pression partielle en CO2.
PAM	: Pression artérielle moyenne.
PIC	: Pression intracrânienne.
PPC	: Pression de perfusion cérébrale.
SvjO2	: saturation veineuse jugulaire en oxygène
TCG	: Traumatisme crânien grave.
TDM	: Tomodensitométrie.
V	: Vitesse.
VM	: Vitesse moyenne.
VSM	: Vitesse systolique maximale.
VTD	: Vitesse télédiastolique.

INTRODUCTION

La surveillance multimodale est d'une importance capitale chez les traumatisés crâniens en raison des conséquences catastrophiques d'une évolution rapide, imprévisible et péjorative de leur état. L'examen neurologique seul est assez insensible à la progression des lésions ou pour détecter une éventuelle détérioration clinique ultérieure. Cela implique que le clinicien se tourne vers d'autres techniques de surveillance en association avec l'examen clinique (1).

Le monitoring peut faire appel à des techniques invasives exposant à des complications d'ordre hématologique ou infectieuses. Cependant, des méthodes non invasives ont vu le jour, telles que le Doppler transcrânien(DTC), qui est d'un intérêt particulier pour compléter le neuromonitoring. Les progrès technologiques ont amélioré la facilité, l'efficacité et la disponibilité du Doppler transcrânien, ainsi que l'étendue de ses applications. Malgré que les détails anatomiques soient inférieurs à la TDM ou à l'IRM, le Doppler transcrânien est suffisant pour répondre aux besoins du clinicien en milieu de réanimation en raison de son innocuité, de sa disponibilité au chevet du patient, de sa rapidité et de sa facilité d'utilisation.

Bien que le Doppler transcrânien ne puisse être utilisé comme substitut du monitoring invasif, il peut être utile pour prédire grossièrement plusieurs paramètres clés tels que la pression intracrânienne, la pression de perfusion cérébrale, le débit sanguin cérébral, la capacité d'autorégulation du cerveau entre autres (2).

Les applications cliniques du DTC sont multiples : surveillance des traumatisés crâniens, gestion de l'hypertension intra-crânienne (HTIC) dans la phase précoce, identification des patients à risque d'aggravation secondaire, surveillance de vasospasme, aide au diagnostic d'un état de mort encéphalique.

Notre étude a pour objectif d'apprécier l'intérêt et la place du DTC dans la prise en charge des traumatisés crâniens en réanimation, ainsi que d'évaluer l'impact de cette technique sur les pratiques de réanimation visant à optimiser la circulation cérébrale.

MATERIELS ET METHODES

A. Matériels:

I. Type d'étude :

Durant la période allant du 1er janvier 2022 au 31 décembre 2022, une étude rétrospective descriptive et analytique a été menée sur tous les patients ayant été admis au service de réanimation polyvalente A1 du CHU Hassan II de Fès pour un Traumatisme crânien. Au total, 92 patients ont été inclus dans cette étude. Les données ont été collectées à partir des dossiers médicaux des patients, ainsi que du dossier médical informatisé, dans le but d'obtenir un maximum d'informations.

II. Les critères d'inclusion :

On a inclu dans notre étude tous les patients hospitalisés au service de réanimation A1 pour traumatisme crânien grave ou modéré avec ou sans associations lésionnelles extra-crâniennes, Dont le dossier médical était exploitable sur les différents aspects cliniques, paracliniques , thérapeutiques et évolutifs.

III. Les critères d'exclusion :

On a exclu de notre étude :

- Les patients de neurochirurgie hospitalisés au service de réanimation dont les suites postopératoires étaient simples.
- Les patients décédés 48h suivant l'admission.
- Les dossiers inexploitable ou incomplets.

B. METHODES :

Afin d'évaluer la place et l'importance du DTC ainsi que son impact sur la prise en charge des traumatisés crâniens, nous avons collecté et répertorié différents paramètres dans une fiche d'exploitation (voir annexe 1). Tous les patients ayant un trouble de conscience et/ou des signes cliniques d'hypertension intracrânienne ont subi un scanner cérébral pour établir un diagnostic initial des lésions. Une fois que le patient a été admis au service de réanimation chirurgicale et que ses paramètres hémodynamiques et respiratoires ont été stabilisés, un DTC a été effectué. Par la suite, un doppler de contrôle était effectué de façon biquotidienne et/ou après correction de l'anomalie en cas de DTC pathologique ou d'aggravation. L'appareil utilisé est un échographe GE Vivid S5.

Les deux artères cérébrales moyennes ont été examinées chez tous les sujets à une profondeur de 45 à 60mm en utilisant la fenêtre temporale. Les données collectées comprenaient les vitesses systoliques (Vs), les vitesses diastoliques (Vd), l'indice de pulsatilité (IP) et l'indice de résistance (IR). Pour localiser l'ACM en échodoppler, une sonde de 2 à 4 Mhz a été utilisée, tandis que les méninges de la vallée sylvienne du côté contre latéral et les péduncules cérébraux étaient identifiés initialement en mode 2D. Le polygone de Willis et le segment M1 de l'ACM ont été identifiés en doppler-couleur. Si nécessaire, une correction de l'angle d'insonation a été appliquée pour mesurer les vitesses à l'aide du programme inclus dans la machine.

Les données DTC ont été sauvegardées sur un support informatique et tous les examens ont été réalisés par des médecins formés à l'utilisation de l'appareil de DTC et d'écho-doppler, avec une pratique régulière de cet examen au sein du service de réanimation A1 du CHU Hassan II de Fès.

RESULTATS

A. ETUDE DESCRIPTIVE

Au terme de cette période, 92 patients ont été hospitalisés au service de réanimation polyvalente A1 pour traumatisme crânien, dont la surveillance était biquotidienne par doppler transcrânien.

I- Données épidémiologiques:

1. Age :

La population étudiée présente une fourchette d'âge allant de 16 à 83 ans, avec une moyenne d'âge de 42 ans.

2. Sexe :

Dans notre série on observe une nette prédominance masculine parmi nos patients, avec 80 cas, ce qui correspond à un taux de 86,95%. En revanche, le nombre de femmes est beaucoup plus faible, avec seulement 12 cas, soit 13.05% de l'échantillon étudié. Avec un sexe ratio de 6,66..

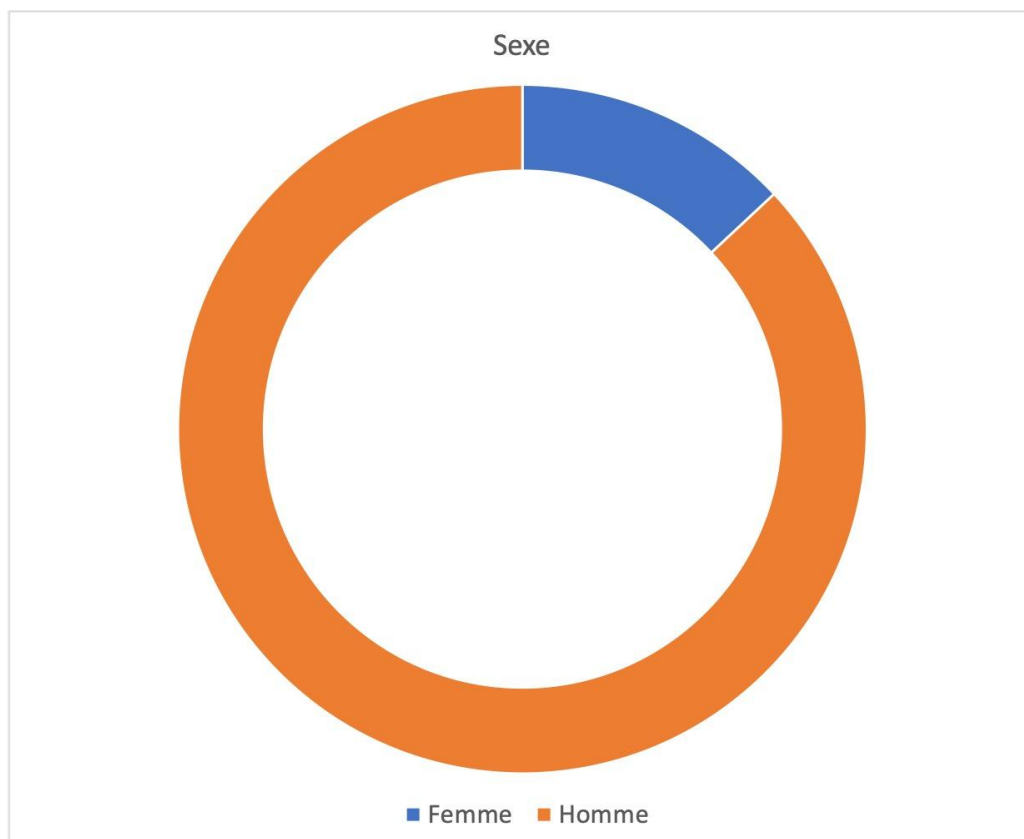


Figure 1: Répartition des patients selon le sexe

3. Comorbidités :

Nous avons relevé les comorbidités suivantes :

Tableau 1: répartition des patients selon le type de comorbidité.

comorbidités	Nombre de patients	pourcentage
HTA	16	17.39%
Diabète	12	13.04%
Autres	9	9,78%

II- Données cliniques :

1. Mécanisme lésionnel

Les mécanismes en cause des traumatismes crâniens chez nos patients étaient dominés par les AVP dans 76 des cas, les agressions chez 10 patients et les chutes chez 4 patients, le mécanisme n'était pas connu chez 2 patients.

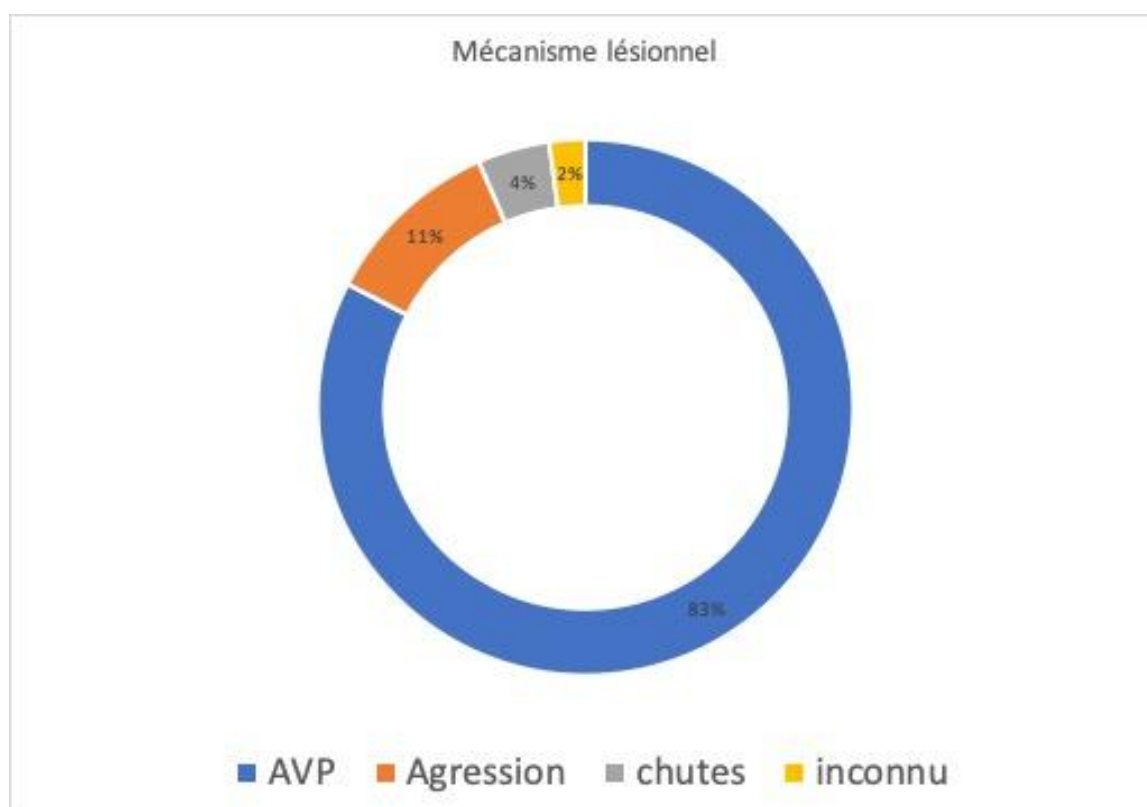


Figure 2 Répartition des patients selon le mécanisme du traumatisme crânien

2. GCS initial :

Tous les patients de notre série présentaient des troubles de conscience, avec 33 Patients (soit 35,86%) ayant un score inférieur à 8 et 59 patients (soit 64,13%) ayant un score supérieur à 8.



Figure 3: répartition des patients selon le GCS.

3. État des pupilles :

13 patients (soit 14,13% des cas) présentaient une anisocorie, tandis que 8 cas (soit 8,69%) avaient une mydriase bilatérale. Pour les autres patients, les pupilles étaient égales et réactives.



Figure 4: répartition des patients selon l'état des pupilles.

III– Données radiologiques :

1– TDM cérébrale :

À l'arrivée aux urgences, tous les patients avaient bénéficié d'une tomodensitométrie cérébrale, et les lésions scanographiques ont été enregistrées sur une fiche d'exploitation radiologique (voir Annexe 2). Les résultats de cette analyse ont été résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau 2: répartition des patients selon les lésions scanographiques.

Anomalies radiologiques	Nombre	Fréquence
• Lésions osseuses		
Fractures	14	15.21%
Embarrures	9	9.78%
• Lésions neuronales		
Contusions cérébrales	63	68.47%
• Lésions hémorragiques		
HED	18	19.56%
HSD	22	23.91%
Hématome intra-parenchymateux	12	13.04%
Hémorragie intra ventriculaire	6	6.52%
Hémorragie méningée	15	16.30%
HTIC, Oedème cérébral	37	40.21%
Engagement	24	26.08%

2- DTC initial :

Dès leur admission au service de réanimation A1, les patients étaient mis en condition avec optimisation de leur état hémodynamique avant de bénéficier d'un doppler transcrânien. Après correction des anomalies, une surveillance par DTC était effectuée, ou par DTC biquotidien si l'examen initial était optimal. Nous avons observé une DTC optimale chez 64 patients, soit 69.56 % de l'ensemble des cas, tandis que des anomalies du DTC ont été relevées chez 28 patients de notre série, soit 30.43%.

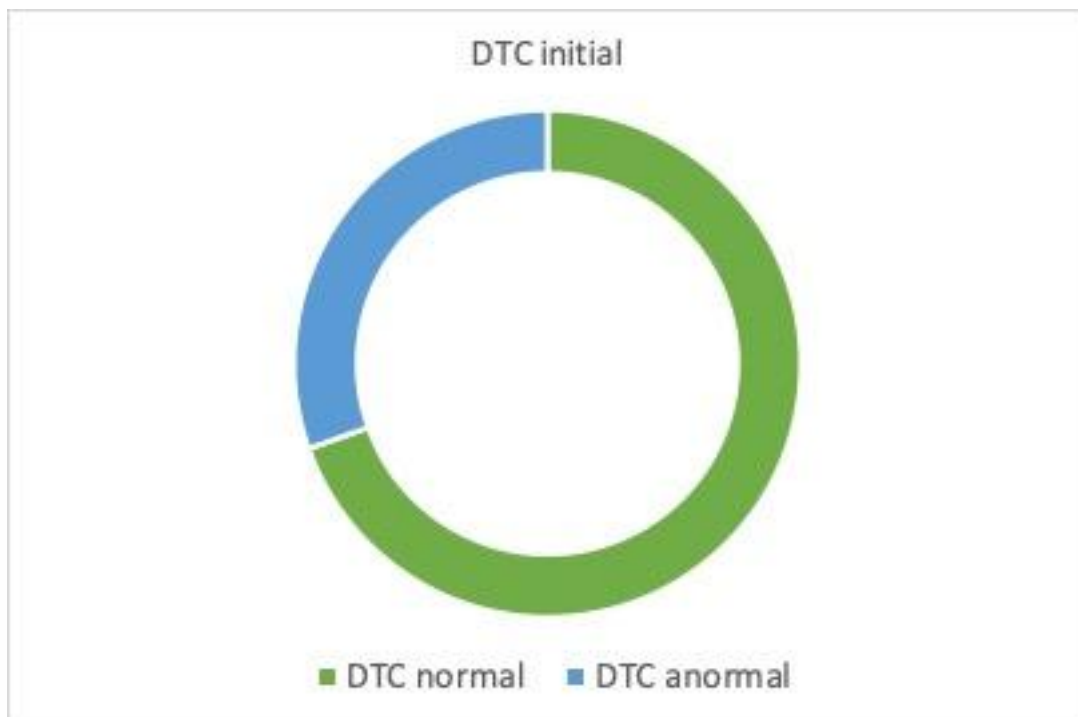


Figure 5: répartition des patients selon les données du DTC initial.

B. Données DTC au cours de la surveillance des traumatisés crâniens :

Anomalies doppler au cours de la surveillance des TCG :

Tableau 3: répartition des patients selon le type d'anomalie au DTC

Anomalie du DTC	Nombre	Fréquence
IP> 1,4	28	30.43%
VS< 70	20	21.73%
VD<35	25	27.17%
Reverse flow	2	2.17%

C. Attitude thérapeutique après DTC :

Chez nos patients, une décision de reconduire la sédation a été prise chez 28 d'entre eux, après que le DTC ait mis en évidence des signes d'hypoperfusion cérébrale. Dans 21 cas, une administration de vasopresseurs a été mise en place pour optimiser la pression de perfusion cérébrale, tandis que chez 18 patients, l'osmothérapie a été proposée. Finalement, la décision de recourir à une craniotomie décompressive a été prise pour 6 patients atteints de traumatisme crânien grave.

Tableau 4: aspects thérapeutiques sur la base de surveillance des TCG par DTC.

Attitude thérapeutique	Nombre	fréquence
Approfondissement de l'anesthésie	28	30.43%
Imagerie de contrôle	26	28.26%
Introduction des vasopresseurs	21	22.82%
Osmothérapie	18	19.56%
Craniotomie décompressive	06	6.52%

D. Durée d'hospitalisation :

Le séjour moyen en réanimation était de 27,65 jours, avec une durée minimale de 4 jours et maximale de 74 jours.

E. Evolution :

Dans notre série, l'évolution a été caractérisée par le décès de 29 patients, correspondant à un taux de mortalité de 29,5%. 63 patients soit 66,66% des cas ont été transférés dans un autre service après une bonne évolution.

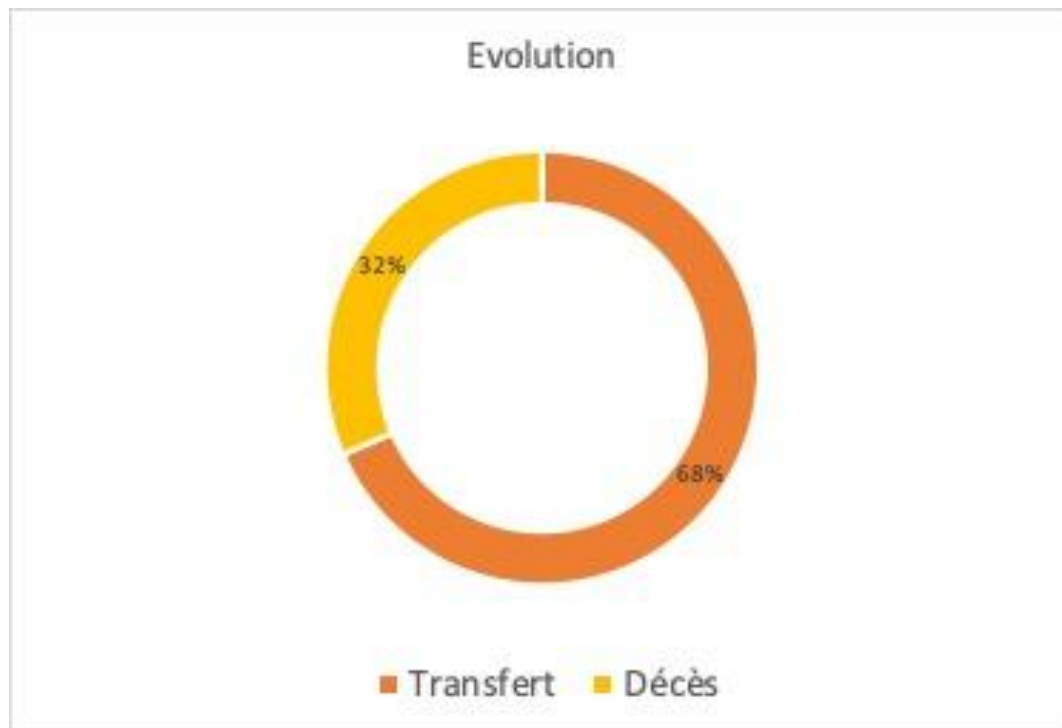


Figure 6: taux de mortalité dans notre série.

DISCUSSION

Les traumatisés crâniens constituent une population importante en raison de leur vulnérabilité et de leur taux d'occupation élevé des lits dans les services d'urgence et de réanimation. Dans les soins d'urgence et de réanimation, qu'ils soient hospitaliers ou pré-hospitaliers, la prise en charge précoce et l'évaluation de la gravité sont des priorités quotidiennes. Une surveillance multimodale est souvent nécessaire dès l'admission afin de détecter les complications et de réagir rapidement pour prévenir toute évolution fatale.

Le Doppler transcrânien est en train de devenir la pierre angulaire de cette surveillance multimodale. En effet, il s'agit d'un outil non irradiant, non invasif, non encombrant, abordable, transportable et reproductible. Son utilisation actuelle est en plein essor, tant aux urgences qu'en réanimation. Certaines équipes le considèrent comme le nouveau « stéthoscope » cérébral en raison de son spectre d'utilisation en pleine expansion ces dernières années. Il est désormais utilisé dans la prise en charge des patients cérébrolésés pour le diagnostic, l'évaluation de la gravité, l'hierarchisation des priorités de soins, le monitoring et le traitement d'éventuelles complications.

Rappels :

Rappel anatomique :(3) (4)

Les artères du cerveau sont issues de quatre troncs artériels :

- Les deux artères vertébrales.
- Les deux artères carotides internes.

Qui s'anastomosent dans la cavité crânienne pour former le cercle artériel (de Willis).

A. SOURCES ARTÉRIELLES :

I. Artères vertébrales :

Les artères vertébrales pénètrent dans le crâne par le foramen magnum, montent obliquement dans l'espace sous arachnoïdien puis elles contournent la face latérale du bulbe avant de s'unir sur ligne médiane pour former l'artère basilaire. Celle-ci chemine en direction ventrale à la face antérieure du pont, il se divise au niveau du sillon pontopédonculaire en deux artères cérébrales postérieures.

II. Artères carotides internes :

Branches terminales des carotides communes (figure 1). Elles se dirigent en haut vers la base du crâne où elles entrent dans le canal carotidien. Elle se divise en artère cérébrale antérieure et artère cérébrale moyenne. Elle donne les collatérales suivantes:

- l'artère ophtalmique
- l'artère hypophysaire supérieure
- l'artère communicante postérieure
- l'artère choroïdienne antérieure

- un rameau méningé
- Cercle artériel :

Le cercle artériel cérébral (de Willis) est formé à la base du cerveau par les anastomoses entre les deux systèmes artériels : vertébrobasilaire et carotidien interne. Situé dans l'espace sous-arachnoïdien, il est constitué:

- en avant : par les deux artères cérébrales antérieures réunies par l'artère communicante antérieure.
- en arrière: par les deux artères cérébrales postérieures.
- latéralement : par les deux artères communicantes postérieures qui unissent les artères cérébrales postérieures et les carotides internes.

B. ARTÈRES DU CERVEAU :

I. L'artère cérébrale antérieure :

Il s'agit de la plus petite branche terminale de l'artère carotide interne, qui suit un parcours en avant et médialement en passant au-dessus du nerf optique, puis se dirige vers l'artère opposée avant de remonter dans la fissure longitudinale du cerveau. Elle suit ensuite la face médiale des hémisphères cérébraux en s'enroulant autour du corps calleux. Les deux artères cérébrales antérieures sont reliées par l'intermédiaire de l'artère communicante antérieure.

II. L'artère cérébrale postérieure :

L'artère cérébrale postérieure est la branche terminale, paire et volumineuse du tronc basilaire. Elle se dirige transversalement au-dessus des nerfs oculomoteurs et trochléaires, qui la séparent de l'artère cérébelleuse supérieure. Ensuite, elle contourne le pédoncule cérébral pour atteindre la tente du cervelet, puis la fosse médiale du lobe temporal. Elle se divise en deux branches, à savoir l'artère occipitale latérale et l'artère occipitale médiale. Tout au long de son trajet, elle s'anastomose avec l'artère communicante postérieure.

III. L'artère cérébrale moyenne :

La branche terminale la plus volumineuse de l'artère carotide interne est caractérisée par sa direction latérale et se divise en quatre segments distincts : la partie sphénoïdale (segment M1), la partie insulaire (segment M2), la partie operculaire (segment M3) et la partie corticale (segment M4).

- Le segment M1 passe à proximité de l'os sphénoïde, entre le lobe frontal et le pôle temporal de l'hémisphère.

- Le segment M2 situé devant l'insula. Il donne deux ou trois branches qui se terminent dans le cortex.
- Le segment M3 situé entre l'insula et le cortex. Il est parfois regroupé avec le segment M2 sous le nom de segment sylvien.
- Le segment M4 ou cortical va de la partie externe du sillon latéral au cortex. Ce segment terminal irrigue le cortex. Le flux de l'ACM est estimé à 70 % de la circulation hémisphérique homolatérale.

IV. L'artère communicante postérieure

Elle naît de l'artère carotide interne près de sa terminaison, ensuite elle se dirige en arrière, croise la face inférieure de la bandelette optique et s'anastomose avec l'artère cérébrale postérieure.

V. L'artère choroïdienne antérieure

Cette branche grêle de l'artère carotide interne peut naître de l'artère communicante postérieure ou de l'artère cérébrale moyenne. Elle chemine le long de la bandelette optique jusqu'au plexus choroïde du ventricule latéral. Ses collatérales vascularisent la bandelette optique, la partie temporale des radiations optiques, l'hippocampe, la queue du noyau caudé et le noyau amygdalien.

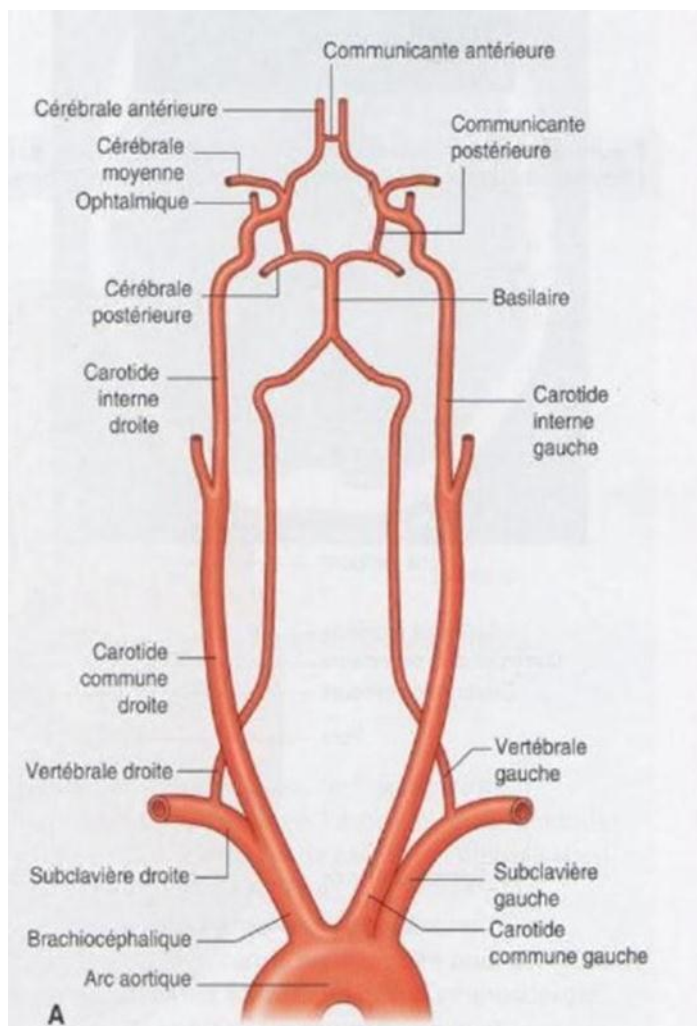


Figure 7 : vascularisation artérielle du cerveau.

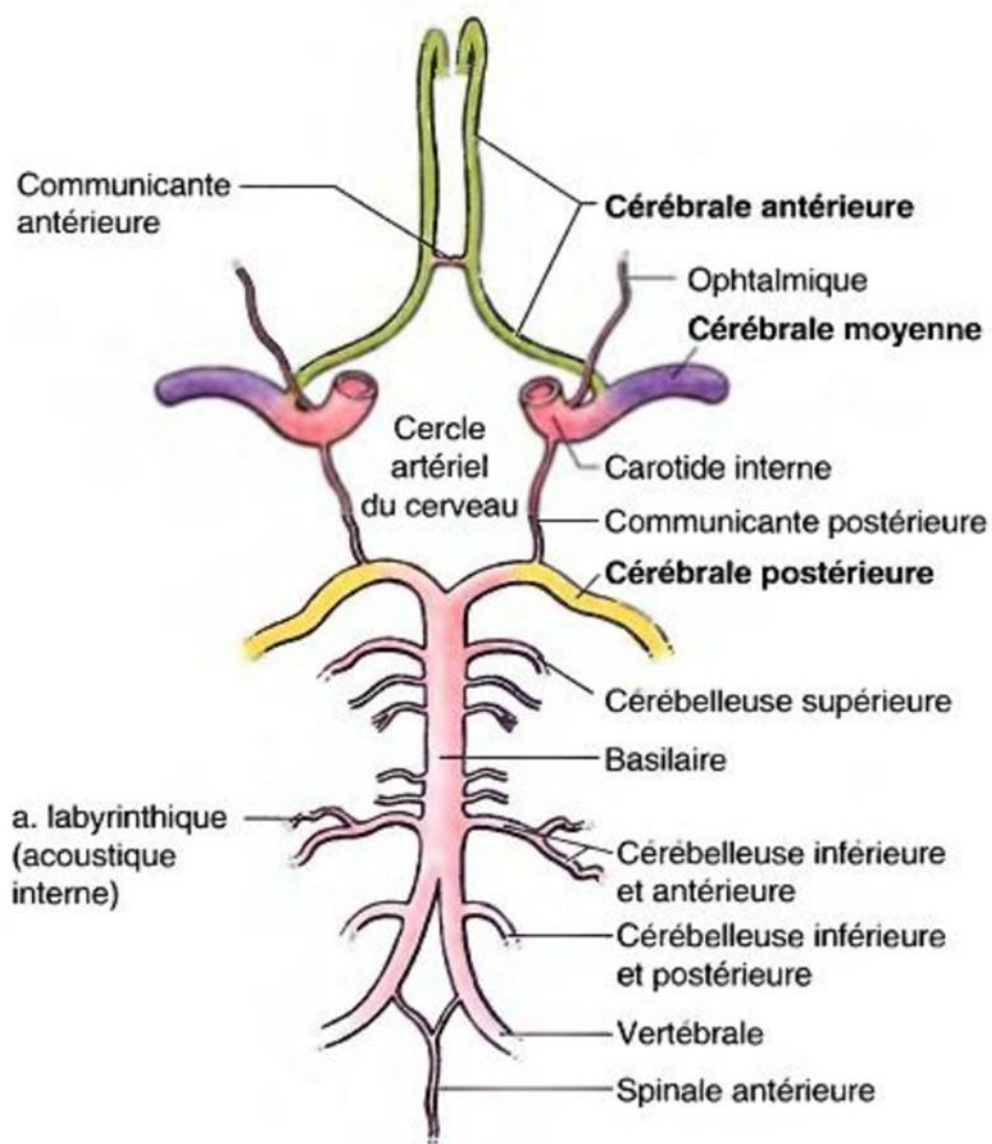


Figure 8 : Schématisation des artères vascularisant le cerveau

Rappel physiologique: (5) (6)

A. Métabolisme cérébral :

Le cerveau d'un adulte pèse entre 1400 et 1600 grammes, ce qui représente environ 2% du poids corporel total. Malgré cela, le cerveau consomme 20% de l'oxygène utilisé par l'organisme, soit environ 3 à 5 millilitres d'oxygène par 100 grammes de cerveau par minute (CMRO₂ 3à5ml/100g/min). Le glucose est la seule source d'énergie utilisée par le cerveau en l'absence de jeûne prolongé, nécessitant un débit sanguin d'environ 750 millilitres par minute, qui représente 15% du débit cardiaque total.

Bien que l'extraction cérébrale moyenne en oxygène soit faible, comprise entre 25 et 30%, cette extraction est plus importante dans le cortex. En dépit de cela, le cerveau n'a que très peu de réserves énergétiques.

B. Débit sanguin cérébral :

I. Débit sanguin cérébral normal :

Le débit sanguin cérébral (DSC) normal est d'environ 50ml / 100g/min (tableau 1). Chaque carotide contribue par 40% du DSC et le tronc basilaire par 20%.

II. Variation physiologique du DSC, autorégulation du débit sanguin :

1– Age :

Le débit sanguin cérébral (DSC) diminue d'environ 3ml/min/an à partir de l'âge de 60 ans. Cependant, si l'on rapporte le DSC au poids du cerveau, on constate qu'il reste constant, ce qui suggère que le débit sanguin est adapté au métabolisme cellulaire. Chez les personnes âgées, le DSC peut varier considérablement en fonction de la présence ou non d'une pathologie affectant les vaisseaux cérébraux.

En revanche, chez les enfants, le DSC atteint sa valeur maximale vers l'âge de 10 ans.

Le doppler transcrânien (DTC) a révélé une augmentation rapide du DSC entre la naissance et la troisième semaine de vie, suivie d'une augmentation beaucoup plus lente, puis d'une diminution à partir de l'adolescence.

2– Pression artérielle moyenne :

Le débit sanguin cérébral normal reste stable à environ 50 ml/100 g/min, même lorsqu'il y a une large variation de la pression de perfusion cérébrale (PPC). Ce phénomène est appelé "autorégulation". La stabilité du débit sanguin est une caractéristique commune à de nombreuses circulations régionales, telles que la circulation rénale, coronaire, splanchnique, rétinienne et musculocutanée. Cette caractéristique est l'un des aspects les plus connus du débit sanguin cérébral.

Le débit sanguin cérébral (DSC) est considéré comme constant lorsque la pression artérielle moyenne (PAM) est comprise entre 50 et 150 mmHg, ce qui est connu sous le nom de plateau d'autorégulation (figure 3). Toutefois, cela ne prend pas en compte la pression intracrânienne, qui doit être prise en compte pour déterminer la pression de perfusion cérébrale (PPC). En dessous du seuil inférieur d'autorégulation, le DSC diminue de manière linéaire avec la PPC, tandis qu'au-dessus du seuil supérieur d'autorégulation (hypertension artérielle maligne), il y a une vasodilatation cérébrale passive qui augmente le DSC. La capacité à maintenir un DSC constant lors de variations de pression artérielle dépend de la vasomotricité des artéioles cérébrales, qui est liée au tonus artériolaire basal. Par conséquent, tous les facteurs qui influencent la vasomotricité cérébrale affectent également la capacité d'autorégulation

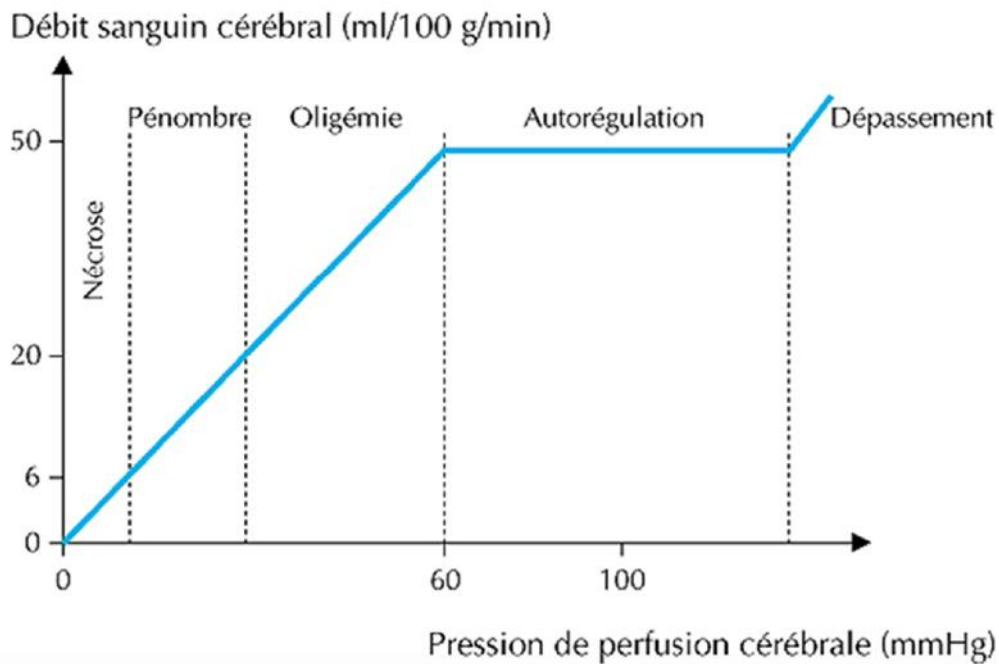


Figure 9 : variations du débit sanguin cérébral en fonction de la pression de perfusion Cérébrale.

En cas d'hypercapnie sévère, les artéioles subissent une vasodilatation maximale, ce qui entraîne une perte de capacité d'adaptation aux variations de la pression artérielle moyenne (PAM) et une abolition complète de l'autorégulation. À l'inverse, en cas d'hypocapnie, on observe une vasoconstriction cérébrale qui améliore la capacité d'adaptation à l'hypotension et élargit le plateau d'autorégulation. Il convient donc d'interpréter l'autorégulation en fonction des conditions circulatoires et métaboliques cérébrales, car ce phénomène n'est pas immédiat.

En cas de chute brutale de la PAM, le débit sanguin cérébral (DSC) diminue rapidement mais revient à sa valeur antérieure en environ vingt secondes. La rapidité avec laquelle le DSC retrouve sa valeur antérieure est évaluée dans les tests d'autorégulation dynamique. En pratique clinique, la méthode la plus simple pour évaluer l'autorégulation statique, c'est-à-dire entre deux états d'équilibre de la pression artérielle, consiste à utiliser le doppler transcrânien. Cette technique permet de mesurer la vitesse du flux sanguin dans les artères cérébrales, qui est proportionnelle au DSC et inversement proportionnelle au diamètre artériel.

3– L'hématocrite :

La diminution de l'hématocrite entraîne une augmentation d'environ 2% du débit sanguin cérébral (DSC), et cette augmentation est de 1% entre 40% et 30% d'hématocrite. Cette adaptation vise à maintenir un transport en oxygène cérébral constant et résulte de deux facteurs : la diminution de la viscosité sanguine et la diminution du contenu artériel en oxygène.

La vasodilatation artériolaire qui accompagne l'hémodilution dépend de plusieurs facteurs, notamment la valeur de l'hématocrite, la viscosité sanguine, le contenu artériel en oxygène, la taille du vaisseau et le métabolisme énergétique local. En dessous de 20% d'hématocrite, les capacités d'adaptation du DSC à la diminution du contenu artériel en oxygène sont dépassées. Le DSC varie alors dans le même sens que la viscosité sanguine.

4– Température :

Lorsque la température diminue, à la fois le métabolisme énergétique et le DSC diminuent également. Une diminution de 1°C de la température cérébrale entraîne une diminution d'environ 7% de la CMRO₂. En hypothermie, la façon dont la pression partielle en CO₂ (PaCO₂) est calculée (corrigée ou non) a un impact important sur le DSC. Comme le CO₂ est plus soluble dans le sang lors d'une hypothermie, la PaCO₂ diminue avec la température. Cependant, les gaz sanguins sont toujours mesurés à 37°C, il est donc nécessaire de corriger la valeur de PaCO₂ pour obtenir la valeur réelle correspondant à la température du patient.

5– l'hypoxie:

Le contenu en oxygène dans les artères n'a pas d'influence sur le DSC dans la limite physiologique (figure 4). Cependant, l'hypoxémie peut entraîner une importante vasodilatation artériolaire cérébrale. En cas d'hypoxie, l'augmentation du DSC vise à rétablir une quantité suffisante d'oxygène dans les tissus cérébraux. Si la PaO₂ descend à 30 mmHg, le débit sanguin cérébral est doublé.

6– PaCO₂ :

La PaCO₂ est le facteur physiologique le plus important qui influe sur le DSC. Entre 20 et 80 mmHg, une relation linéaire existe entre la PaCO₂ et le DSC (figure 4). En moyenne, une augmentation de 5% du DSC par mmHg de PaCO₂ est considérée comme la réactivité physiologique typique au CO₂. La diminution de la PaCO₂ de 80 à 40 mmHg réduit le DSC de moitié. La réponse à l'hypocapnie dépend de l'état vasculaire de base et est amplifiée lorsque la vasodilatation artériolaire est présente. Les variations de la PaCO₂ dans les limites physiologiques n'ont pas d'impact sur la CMRO₂. En cas d'hypocapnie, les changements de volume sanguin cérébral sont plus faibles que ceux du DSC et sont compris entre 0,3% et 0,5% par mmHg. C'est pourquoi l'hyperventilation pour traiter l'hypertension intracrânienne peut entraîner un risque élevé d'ischémie cérébrale

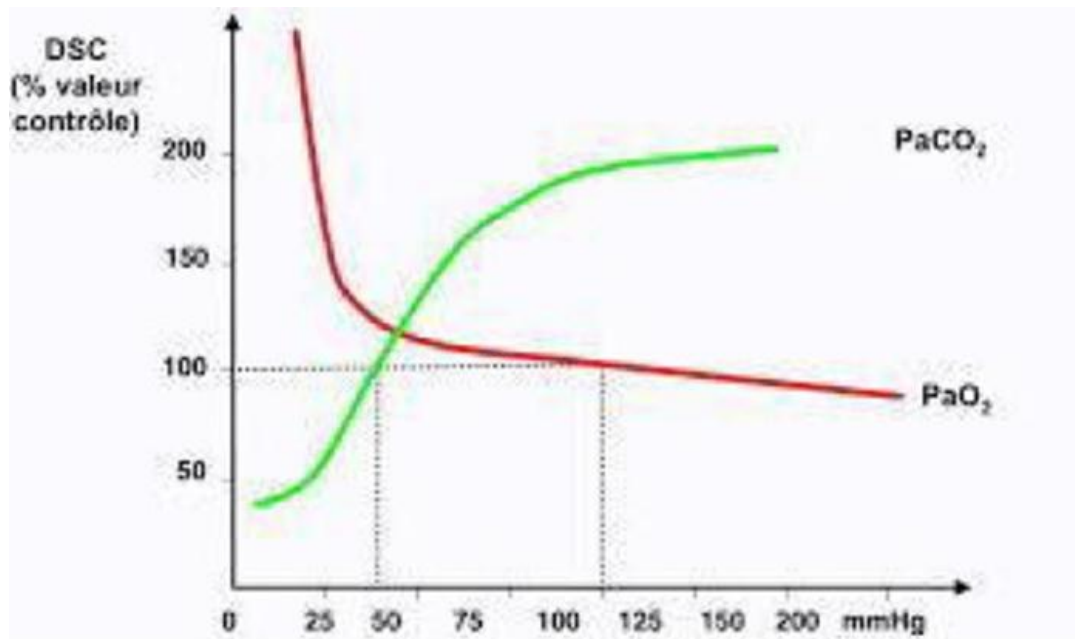


Figure 10: Variations du débit sanguin cérébral en fonction des pressions d'O₂ et de CO₂ dans le sang artériel

7- Débit cardiaque :

Pendant une insuffisance cardiaque sévère, on observe une légère baisse du DSC. En revanche, dans d'autres contextes cliniques tels que le réveil après une anesthésie ou chez les traumatisés crâniens, il n'y a pas de corrélation entre le DSC et le débit cardiaque, que l'autorégulation soit maintenue ou altérée.

III. Couplage débit-métabolisme :

En l'absence de débit sanguin, le cerveau dispose d'une réserve énergétique limitée de trois minutes. Ainsi, la circulation sanguine doit être ajustée avec précision au métabolisme cérébral pour garantir une extraction uniforme en oxygène dans les deux hémisphères cérébraux. Bien que l'extraction en oxygène soit généralement basse, il existe des variations considérables de débit et de métabolisme cérébral d'une zone à l'autre du cerveau.

Le débit sanguin s'adapte donc à la demande métabolique locale pour maintenir une extraction uniforme en oxygène dans l'ensemble du cerveau. Les variations locales du débit sanguin cérébral ne dépassent pas 5% pendant les tâches cognitives. Pour qu'une souffrance ischémique due à une insuffisance de débit sanguin cérébral se produise, le débit doit diminuer de plus de 40%, passant en dessous de 22 ml/100g/min.

En état basal, le cerveau présente un excès d'oxygène. Cet excès devient encore plus significatif lorsqu'une zone cérébrale est activée. Bien que l'utilisation du glucose semble être proportionnelle à l'augmentation du débit sanguin cérébral lors de l'activation cérébrale, la CMRO ne s'élève que très peu en comparaison avec le débit. Par conséquent, l'augmentation de l'apport en oxygène dans la zone d'activation cérébrale ne serait qu'une conséquence de l'augmentation du débit sanguin cérébral et non la cause.

Selon Zonta et al. (7), le glutamate joue un rôle clé dans le couplage entre le débit sanguin et le métabolisme cérébral. Lorsque l'activité synaptique est élevée, le glutamate est libéré dans la fente synaptique et se diffuse dans les membranes astrocytaires avoisinantes, où il active les récepteurs métabotropiques au glutamate. Cette activation entraîne la diffusion d'un signal calcique qui se propage jusqu'à l'extrémité de l'astrocyte en contact avec les artérioles. En réponse à l'augmentation du calcium intracellulaire, l'astrocyte libère une substance vasodilatatrice qui augmente le flux sanguin. Cette substance est susceptible d'être une prostaglandine.

En résumé, l'astrocyte joue un rôle clé dans le métabolisme cérébral en fournissant une source d'énergie rapide pour les neurones et en ajustant le débit sanguin en fonction de leur activité métabolique. Ce processus est régulé par le glutamate, qui active les récepteurs de l'astrocyte, déclenchant une cascade de signalisation qui conduit à la libération d'un agent vasodilatateur.

Tableau 5: valeurs normales des principaux paramètres physiologiques

Paramètre	Valeur normale
DSC	50ml/100g/min
CMRO ₂	3-5ml/100g/min
CMR glucose	31µmol/100g/min
Réactivité CO ₂	3-5%/mmHG
PIC	<15mmHG
Volume LCR	140ml

LE DOPPLER TRANSCRANIEN : GENERALITES

A. Historique:

L'effet découvert par le physicien autrichien Christian Doppler a été nommé d'après lui. Cette technique a été décrite en 1965 par Miyazaki et Kato, puis développée en pratique clinique par Rune Aaslid en 1982 pour explorer la circulation cérébrale à l'aide du Doppler transcrânien.(8)

Initialement utilisés en neurochirurgie pour traiter le vasospasme associé aux hémorragies méningées, le doppler transcrânien et l'écho-doppler transcrânien ont depuis vu leur gamme d'applications s'élargir considérablement. Ils permettent maintenant une adaptation thérapeutique dans de nombreuses situations cliniques et sont devenus un élément clé de la prise en charge et du suivi des pathologies cérébrales.

B. Principe :

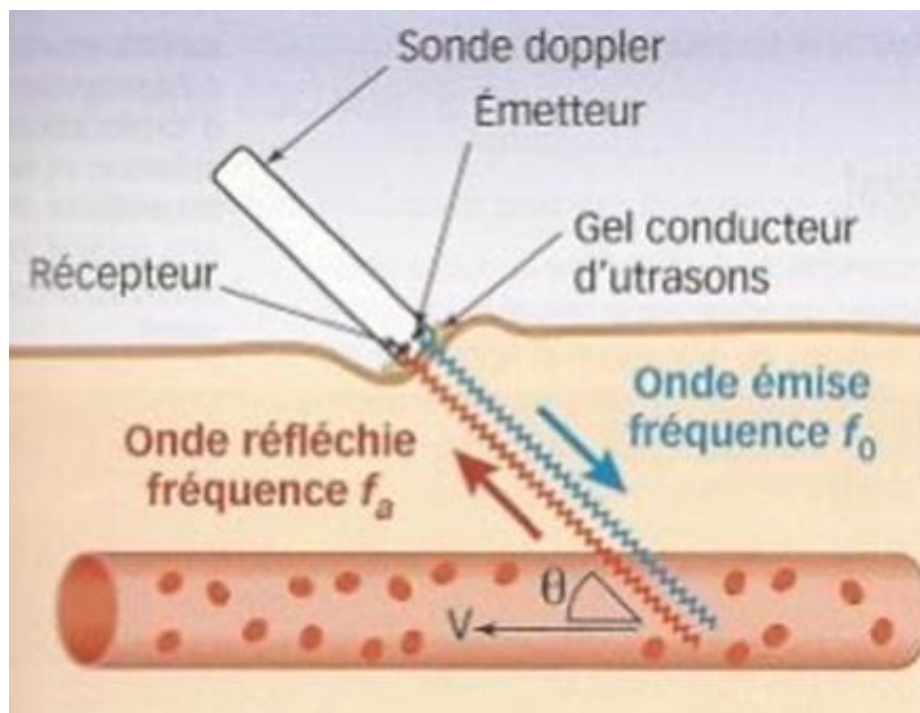


Figure 11 : le principe de l'effet doppler

Le DTC utilise le principe de l'effet Doppler pour mesurer la vitesse du flux sanguin dans les vaisseaux cérébraux. Lorsque des ondes ultrasonores sont émises par la sonde, elles sont réfléchies par les globules rouges en mouvement, entraînant un décalage de fréquence appelé effet Doppler.

La mesure de la vitesse des globules rouges est obtenue en utilisant la formule suivante:

$$V = (c \times fd) / (2 \times f_0 \times \cos\alpha)$$

Où c est la vitesse de l'onde émise, fd est la différence de fréquence entre l'onde émise et réfléchi, f_0 est la fréquence de l'onde émise, et α est l'angle d'insonation entre la sonde et le flux sanguin. La mesure de la vitesse dépend du cosinus de cet angle, donc plus l'angle se rapproche de 0 degrés, plus la mesure est précise. Un angle d'insonation de 30 degrés entraînera une sous-estimation de la vitesse réelle de 15%(9).

En outre, en utilisant l'analyse Doppler, il est possible de déterminer la direction et la vitesse d'un flux.

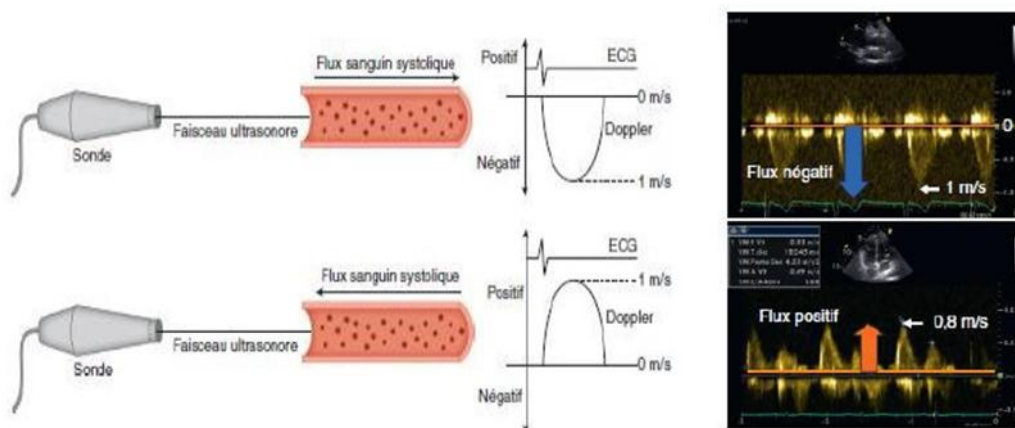


Figure 12 : Courbes vélocimétriques et sens de l'écoulement sanguin

Dans l'image, une ligne médiane horizontale représente la vitesse nulle. Les flux se déplaçant vers la sonde sont indiqués positivement au-dessus de la ligne de zéro, tandis que les flux sanguins s'éloignant de la sonde sont représentés négativement en dessous de la ligne de zéro. L'axe des x représente la dimension temporelle

C. Matériel :

Le DTC utilise la méthode de doppler pulsé. Afin de transmettre le signal à travers la barrière osseuse du crâne, il nécessite une fréquence basse (2 MHz) avec une forte puissance acoustique.

Dans notre étude, nous avons surveillé le DTC en utilisant un appareil échodoppler et un appareil doppler (figures 7 et 8). Bien que non utilisé dans notre série, un autre dispositif appelé casque-doppler peut également être utilisé pour surveiller la perfusion cérébrale (figure 9)

On site trois différentes techniques :

- DTC à l'aveugle: sonde type crayon 2MHz avec repérage sonographique.
- DTC couleur : sonde phased array cardiologique ou mieux une sonde doppler 2-4MHz avec repérage échographique. Le Doppler couleur est une technique de Doppler pulsé dite multiligne, multiporte. Les vitesses des flux sont analysées sur tous les points de l'image. Ils apparaissent en rouge si le flux se rapproche de la sonde, et en bleu si le flux s'éloigne de la sonde.
- DTC in situ : La sonde émet continuellement des signaux réfléchis. Cette méthode permet une analyse rapide des flux à haute vitesse, mais ne fournit pas d'informations sur la localisation précise de ce flux sanguin (10).



Figure 13 : appareil echo-doppler



Figure 14 : appareil doppler



Figure 15 : Casque Doppler

D. Technique :

Le patient est en décubitus dorsal, l'examen est facilité par l'immobilisation de la tête. L'opérateur a la possibilité de se placer à la tête, à droite ou à gauche du patient, et utilise sa main droite pour explorer le côté droit à l'aide de la sonde, et sa main gauche pour explorer le côté gauche.

E. Fenêtres acoustiques :

Trois fenêtres osseuses sont utilisées pour réaliser le DTC : temporale, sous-occipitale et orbitaire (11).



Figure 16: fenêtres osseuses pour la réalisation du DTC.

I. La fenêtre temporale :

La fenêtre temporale est souvent utilisée car elle permet une visualisation claire et facile de l'artère cérébrale moyenne (ACM), qui représente 60 à 70% du flux sanguin vers l'hémisphère cérébral correspondant

Elle est située au-dessus de l'apophyse zygomatique, en avant du tragus et correspondant à l'écaille temporale. Chez les sujets jeunes, cette fenêtre est large, tandis que chez les personnes âgées, seule la partie postérieure est perméable aux ultrasons. Dans certaines situations, les ultrasons ne peuvent pas pénétrer dans la boîte crânienne en raison d'une hyperostose temporale ou d'une ostéoporose avancée. En effet, les ultrasons ne se propagent pas dans l'os ostéoporotique, qui contient des cavités de résonance. Toutefois, après une intervention chirurgicale, la zone de craniectomie constitue généralement une bonne fenêtre acoustique.

1. Repères en mode B :

Le mode B en écho-doppler transcrânien est essentiel pour une localisation précise des structures cérébrales. Tout d'abord, une image initiale à profondeur maximale permet d'identifier la table interne de l'écaille temporale controlatérale et d'estimer la profondeur de la ligne médiane pour repérer le tronc cérébral. Une fenêtre temporale de qualité permettra ensuite de visualiser le mésencéphale, qui apparaît comme une image hypoéchogène centrale en forme de Pac-Man, ainsi que les méninges de la vallée sylvienne, qui sont linéaires et hyperéchogènes (figure 11). En utilisant la fenêtre couleur, les structures vasculaires peuvent être facilement repérées en raison des informations directes fournies sur la direction du flux sanguin. Le vaisseau recherché est celui qui présente une forme en "S" italique et dans lequel le sang se dirige vers la sonde.

2. Le système carotidien en fenêtré tempore :

La carotide interne se termine en artères cérébrales moyennes et antérieures. La portion finale du siphon carotidien suit un parcours oblique vers le haut et l'extérieur, en direction de la sonde. En inclinant la sonde vers le haut, on peut examiner les branches terminales cérébrales antérieure et moyenne, tandis qu'en l'inclinant vers le bas, le segment C2 et souvent le segment C3 du siphon carotidien peuvent être visualisés.

Les deux branches terminales de la carotide interne circulent dans des directions opposées : le flux de la cérébrale antérieure fuie donc la sonde, tandis que celui de la cérébrale moyenne se dirige vers elle.

Il est impossible de visualiser directement l'artère communicante antérieure en raison de sa taille trop petite. Toutefois, on peut en déduire sa présence par des manœuvres de compression.

3. Le système vertèbro-basilaire en fenêtré tempore :

Le mésencéphale est entouré d'un halo hyperéchogène qui sert de repère pour la fin du tronc basilaire et les artères cérébrales postérieures pré et post-communicantes. Les artères cérébrales postérieures ont deux portions qui circulent dans des directions opposées par rapport à la sonde. La portion qui fuit la sonde correspond toujours au segment post-communicant de l'artère cérébrale postérieure, tandis que la portion qui se dirige vers la sonde correspond à la partie proximale du segment P1 (pré-communicant) de l'artère et à la partie initiale de la portion distale du segment P2. La communicante postérieure peut parfois être visible, mais sa direction perpendiculaire au tir Doppler rend souvent sa visualisation difficile.

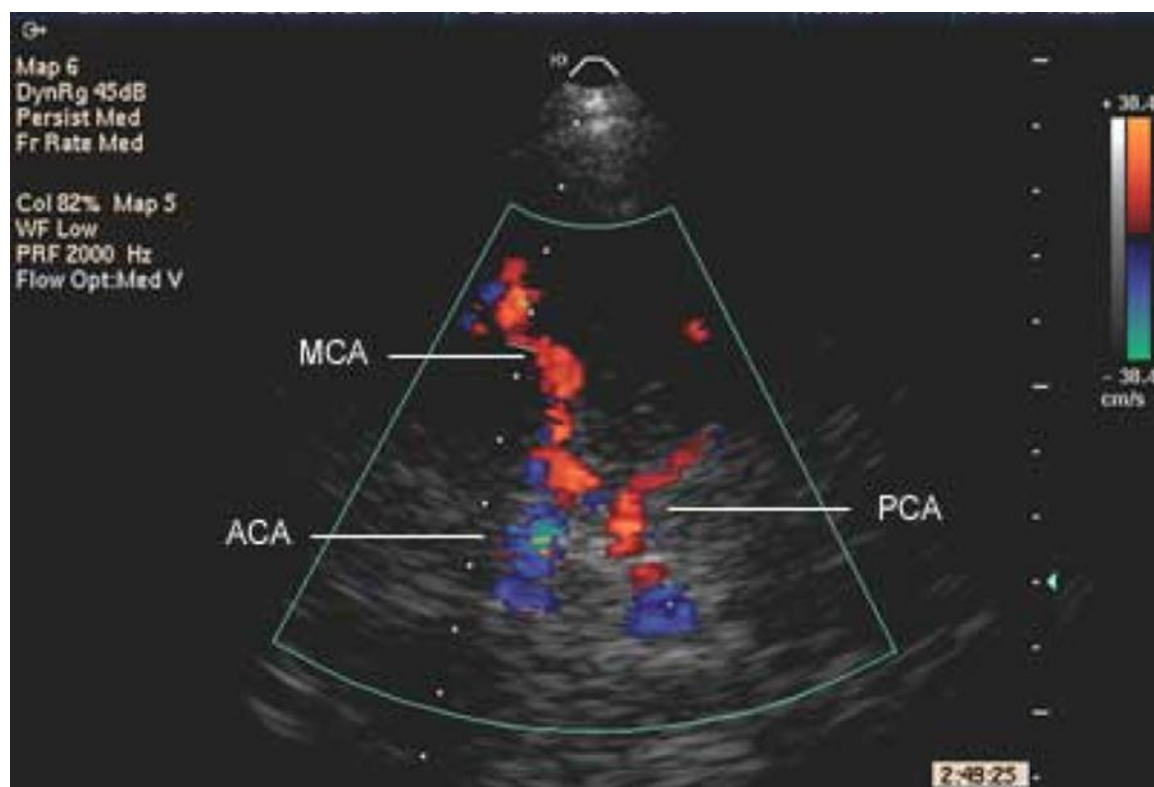


Figure 17 : Fenêtre temporelle en mode doppler-couleur visualisant les différentes structures cérébrales (12)

II. La fenêtre orbitaire :

Elle est constituée par le canal optique ou le toit de l'orbite. La sonde est placée sur la paupière fermée en se dirigeant vers l'apex orbitaire, en arrière et en dedans. Elle est souvent utilisée en doppler pulsé pour suivre l'artère ophtalmique en profondeur. Cette technique permet de détecter le passage d'un flux résistif à un flux à basse résistance dans le segment C3 du siphon, qui présente un flux dirigé vers la sonde, tandis que le segment C2 fuit la sonde.

III. La fenêtre sous occipitale :

Elle est constituée par le foramen magnum et/ou l'écaille occipital. Idéalement, la position assise est privilégiée quand cela est possible. Dans le cas contraire, le patient doit être placé en décubitus latéral, avec la tête en hyperflexion. Toutefois, cette fenêtre peut être difficile à réaliser chez les patients en ventilation assistée dont la mobilisation est délicate.

En utilisant le mode B, il peut être plus difficile de visualiser les repères que par la fenêtre temporale. La jonction bulbo-médullaire apparaît cylindrique et a un diamètre supérieur à celui de la moelle cervicale. En utilisant cette fenêtre, il est possible d'observer les deux artères vertébrales s'éloignant de chaque côté de la sonde. Les artères cérébelleuses postéro-inférieures dont le flux se dirige vers la sonde peuvent également être visualisées.

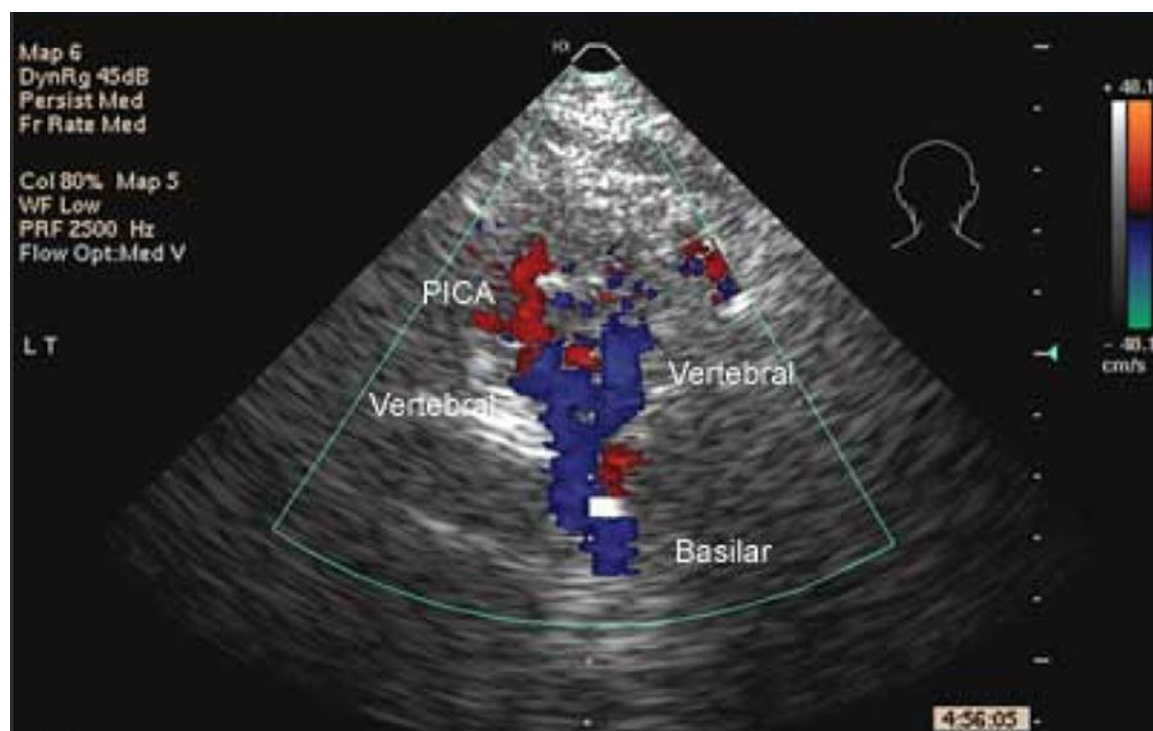


Figure 18 : Fenêtre sous occipitale en mode doppler-couleur(12)

F. Paramètres évalués par le DTC et interprétation :

L'analyse spectrale permet d'étudier quatre paramètres ; à savoir :

- IP : indice de pulsatilité ou indice de de Gosling ; $IP = (VSM - VTD) / VM$.
- IR : indice de résistance ou indice de Pourcelot ; $IR = (VSM - VTD) / VSM$.
- VTD : vélocité télédiastolique
- VSM : vélocité systolique maximale
- VM : vélocité moyenne

La VSM correspond à l'amplitude maximale du spectre durant la phase systolique, et est influencée par la pression artérielle systémique ainsi que par le débit cardiaque. D'autre part, la VTD désigne l'amplitude maximale du spectre en fin de diastole, et sa valeur est affectée par les résistances vasculaires d'aval qui dépendent de la PaCO₂ et de la pression de perfusion cérébrale (PPC).

La VM est la valeur moyenne de la vélocité d'enveloppe du spectre au cours du cycle cardiaque ; elle correspond à l'aire sous la courbe du spectre d'enveloppe. Il existe des fourchettes de valeurs pour VM, VSM, VTD, qui sont variables selon l'âge du patient

Les index IP et IR permettent de s'affranchir de l'angle d'insonation dans l'interprétation des mesures DTC. L'IP est défini par la formule : $(VSM - VTD) / VM$.

Tableau 6: valeurs normales des vélocités sanguines et de l'indice de pulsatilité dans l'artère cérébrale moyenne mesurées par doppler transcrânien chez l'adulte

	18-40ans	40-60 ans	>60 ans
VSM (cm/s)	85+/-10	85+/-15	80+/-20
VTD (cm/s)	40+/-10	40+/-10	35+/-10
VM (cm/s)	55+/-10	60+/-10	45+/-10
IP	1+/-0,4	1+/-0,4	1+/-0,4

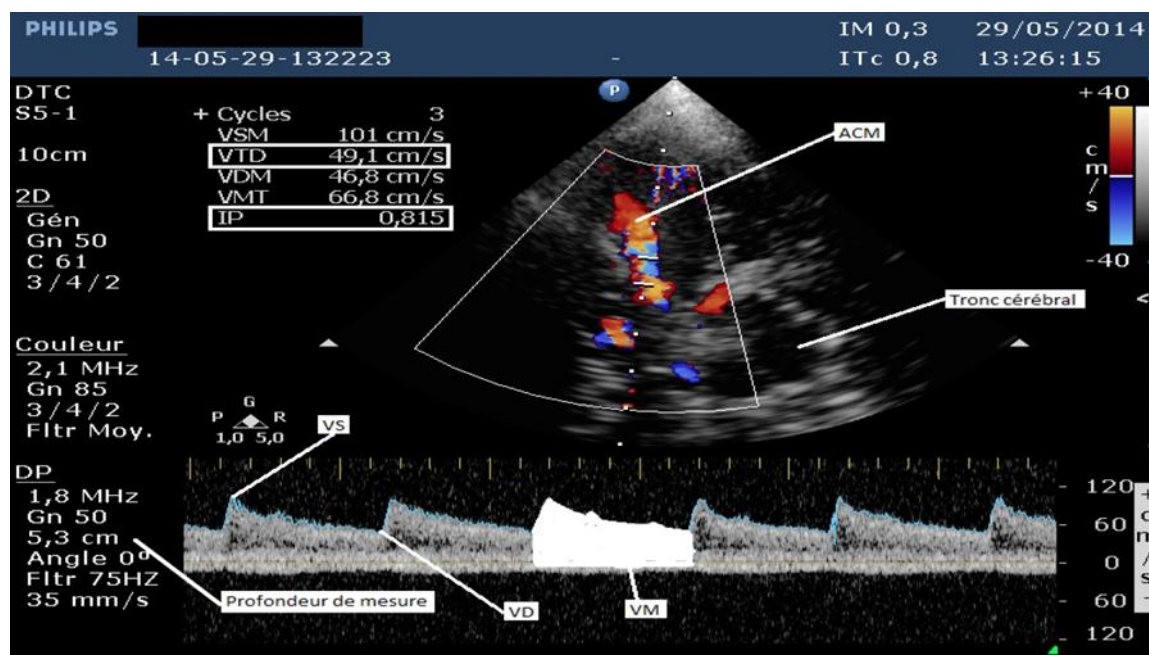


Figure 19: image obtenue lors de la réalisation d'un doppler transcrânien montrant les différents paramètres étudiés (13).

Le DTC se concentre sur l'étude de la vitesse des globules rouges dans les artères de gros calibre. L'un des principaux avantages de cette technique est de permettre l'évaluation de l'impact des variations de diamètre des artéριοles intracérébrales de petit calibre sur les résultats obtenus. En d'autres termes, le DTC permet d'analyser l'influence des changements de résistance artériolaire sur la vitesse des globules rouges.

La figure 14 illustre la comparaison des profils de vitesse des artères vascularisant le cerveau avec les profils de vitesse des artères à visée musculaire. Cette comparaison est cruciale pour comprendre les modifications pathologiques observées en clinique. En effet, la principale différence entre les deux types de flux artériel présentés dans la figure est la présence d'une grande composante diastolique du flux pour les artères cérébrales, alors que les artères musculaires ne présentent pas de flux diastolique. Cela signifie que le cerveau présente des résistances intracérébrales distales basses, ce qui entraîne la dilatation des artéριοles et permet le passage des globules rouges même lorsque la pression artérielle est basse, comme pendant la phase de diastole. En revanche, pour le muscle au repos, les résistances distales sont élevées, ce qui entraîne la constriction des artéριοles et empêche le passage des globules rouges pour la même pression diastolique. Par conséquent, il est important de comprendre que la valeur essentielle pour caractériser le flux sanguin après l'IP est la VTD obtenue.

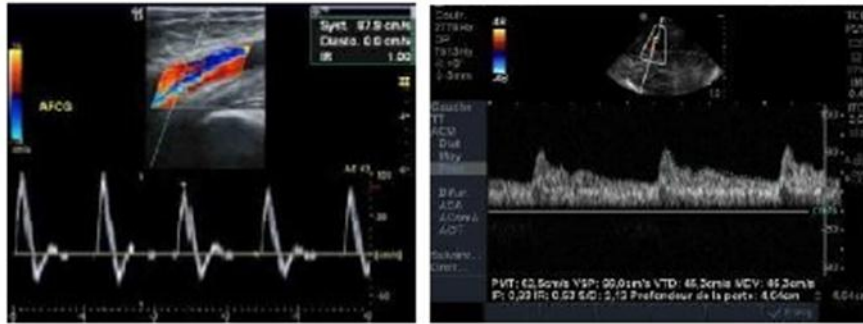


Figure 20: Aspect doppler normal au niveau d'une artère musculaire (à gauche) et de l'ACM (à droite).

Le cerveau, tout comme d'autres organes tels que le foie ou le rein, fonctionne avec des résistances distales basses. Si ces résistances augmentent, cela se traduit initialement par une diminution des vitesses diastoliques et donc une hausse de l'index de pulsatilité (IP).

Une élévation de la pression intracrânienne (PIC) due à une hyperpression intracrânienne ou à une diminution excessive de la pression artérielle aura comme première conséquence une modification du profil de vitesse des gros troncs artériels alimentant le cerveau en les rapprochant de ceux des artères qui irriguent les muscles au repos, c'est-à-dire un système à hautes résistances.

L'hypocapnie est une autre cause d'augmentation des résistances cérébrales distales. Elle provoque une vasoconstriction directe des artéioles en augmentant le pH extracellulaire des cellules musculaires lisses des vaisseaux. Cette condition entraîne également une diminution des vélocités diastoliques et une augmentation de l'IP, des variations identiques à celles observées lors d'une hypertension intracrânienne, qui est le mécanisme principal après un traumatisme crânien. Dans les deux cas, la diminution du flux sanguin peut entraîner une ischémie par baisse des apports sanguins.

En revanche, l'hypercapnie et l'anémie sont connues pour provoquer une vasodilatation artériolaire, ce qui entraîne une augmentation de la vélocité diastolique et une diminution de l'index de pulsatilité (IP). Il est donc important de prendre en compte le taux d'hémoglobine et le niveau de capnie lors de l'interprétation d'un signal de Doppler transcrânien (DTC).

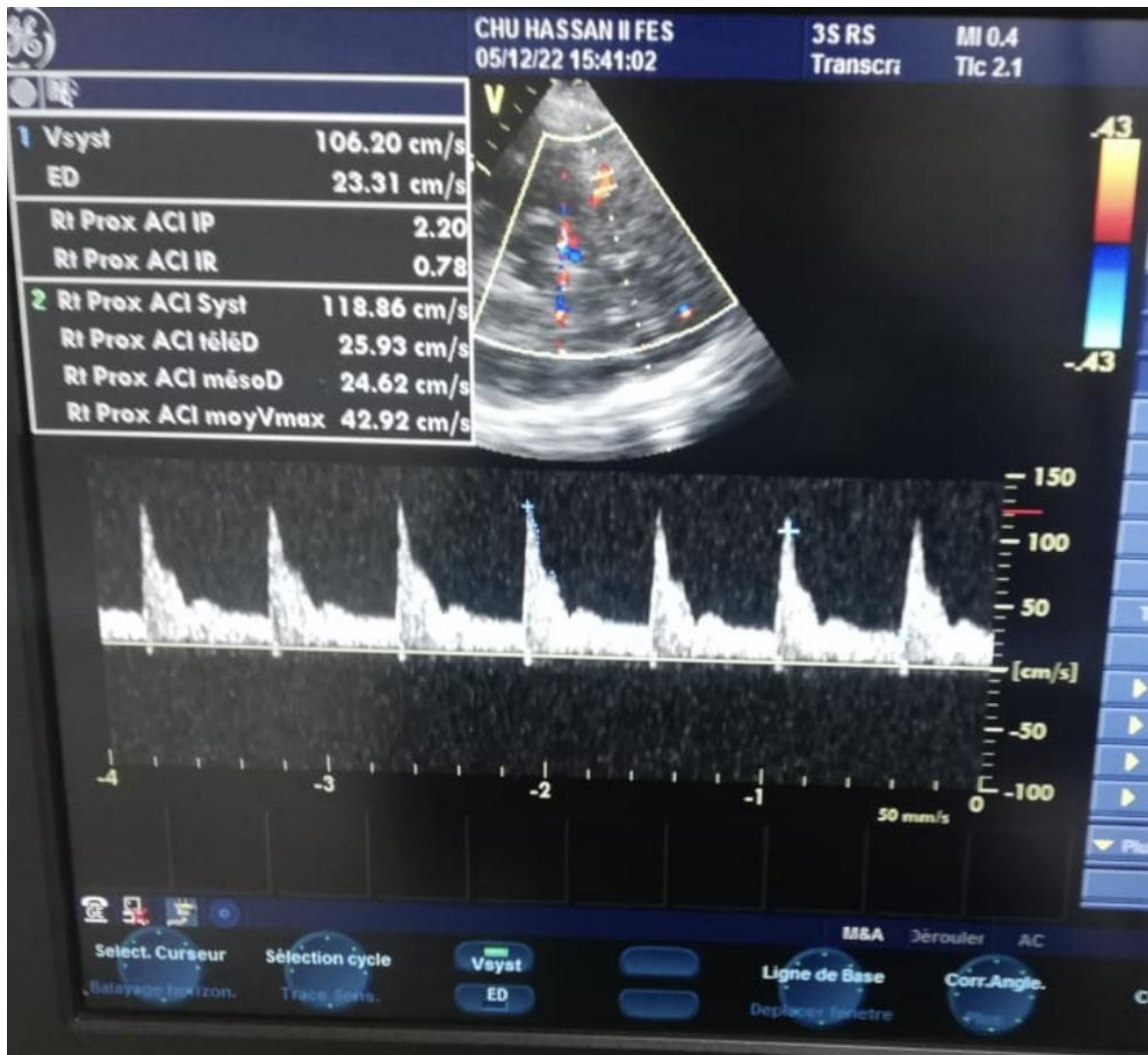


Figure 21: Image d'aspect d'oligémie avec des vélocités diastoliques basses et IP élevé

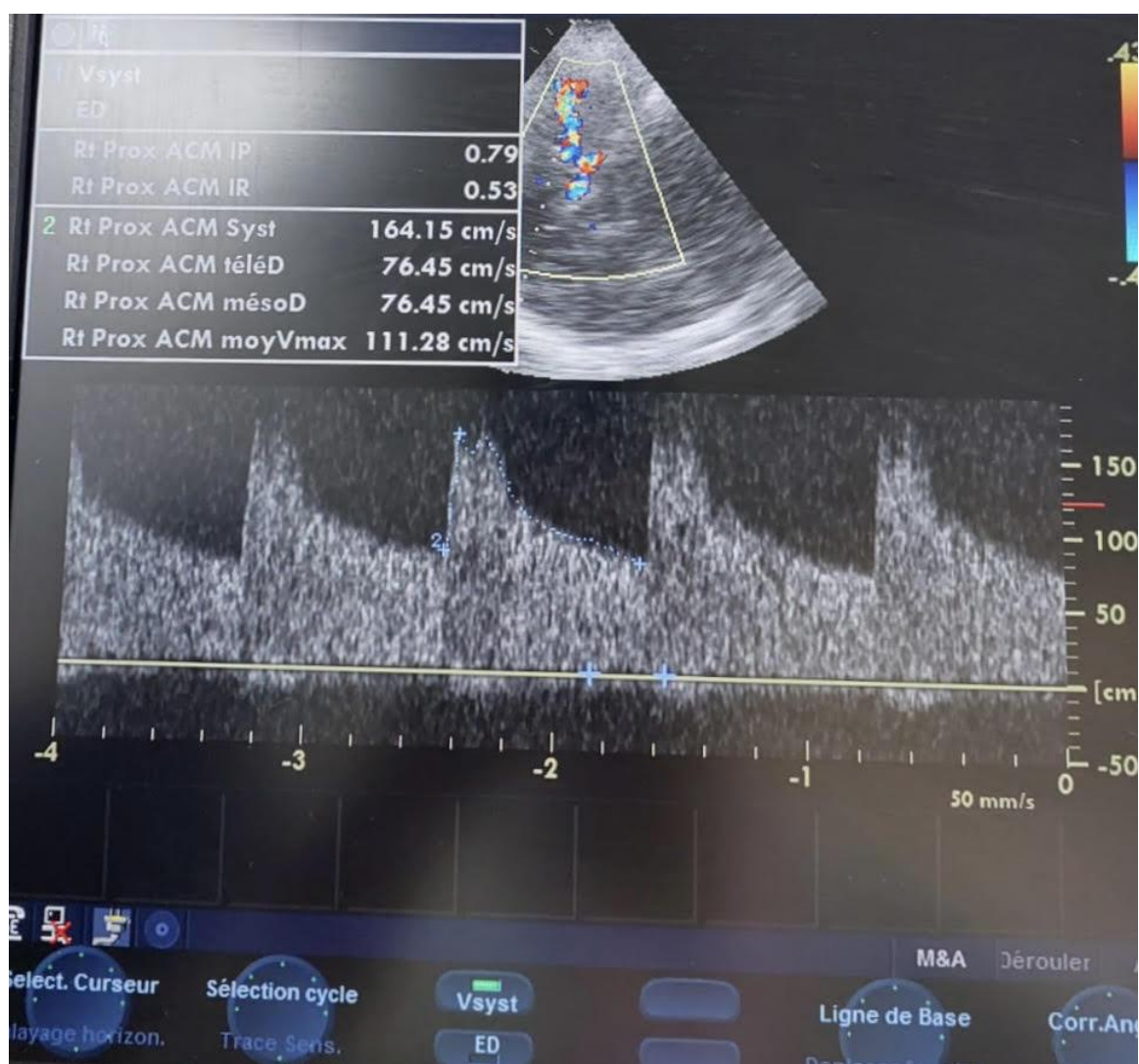


Figure 22: Aspect d'hyperhémie avec haute vélocité diastolique et bas IP.

Il est également important de prendre en compte le diamètre de l'artère de gros calibre directement étudiée dans le profil des vitesses. Il ne faut jamais oublier que la vitesse (V) est un indice indirect du débit (Q) et que des modifications locales du diamètre (Section: S) peuvent perturber l'interprétation des résultats ($Q = V * S$). Un exemple de cela est le vasospasme, qui est une constriction locale du gros tronc artériel étudié, provoquant des vitesses (V) très élevées en raison de la diminution de la section, pour un débit généralement diminué. Le vasospasme, décrit surtout dans le cadre des hémorragies méningées peut donc compromettre l'interprétation du Doppler transcrânien (DTC) en tant qu'indice du débit sanguin cérébral. Cependant, la présence de vasospasme n'est généralement observée qu'au moins 48 heures après un saignement méningé, ce qui permet en situation d'urgence d'interpréter les résultats du DTC comme un reflet du débit sanguin cérébral.

G. Limites de la technique :

Le DTC offre de nombreux avantages, tels que décrits précédemment, qui en font un outil pratique et couramment utilisé auprès des patients, que ce soit dans les services d'urgence ou dans les unités de soins intensifs. Toutefois, il convient de faire preuve de rigueur lors de l'interprétation des résultats, car plusieurs facteurs peuvent entraîner des erreurs d'interprétation, parmi ces facteurs :

- Facteurs environnementaux : appareils de réanimation et d'anesthésie, source de parasites (bistouri électrique, matelas chauffant, ...),
- Facteurs liés au patient : l'âge, la bradycardie sous-estime les vitesses, anémie surestime les valeurs.
- Facteurs liés à la technique elle-même : l'angle d'insonation doit être compris entre 0-15°, Dans la plupart des cas, cet angle est de 10 degrés, et l'erreur qui en découle correspond à environ 2%.

D'autre part, il est possible que la fenêtre temporale soit absente chez environ 5 à 20% des patients (plus fréquent chez les femmes après la ménopause). Ce pourcentage augmente à 10 et 20% pour les artères cérébrales antérieures et postérieures, respectivement. Bien que l'utilisation de produits de contraste pour l'échographie ait déjà prouvé son efficacité et son innocuité, ces avantages sont souvent accompagnés d'un coût élevé, ce qui limite leur utilisation. Le Sonovue est l'agent de contraste principal utilisé chez les patients cérébrolésés.(14)

Il convient de prendre en compte de nombreux aspects techniques et interprétatifs pour obtenir des résultats fiables lors d'un examen par DTC, ce qui rend cette technique imparfaite. Par conséquent, il est important de ne pas limiter l'examen à une seule fenêtre, telle que la fenêtre temporale, mais également d'examiner d'autres fenêtres telles que la sous-occipitale et la fenêtre orbitaire, qui jouent un rôle important dans les applications de base du DTC.(15)

APPLICATIONS CLINIQUES ET INTERET DU DTC :

A. Prise en charge initiale du traumatisé crânien :

Lors des premières heures d'un traumatisme crânien grave (TCG), une phase d'hypoperfusion cérébrale ou oligohémie se produit. Pendant cette période, les VM et VD diminuent et l'indice de pulsatilité (IP) augmente, en particulier au cours des huit premières heures du traumatisme. Après cette phase d'oligohémie, une phase d'hyperhémie se produit à une pression de perfusion cérébrale constante. Au cours de cette phase, les VM et VD augmentent et l'IP diminue. Les mesures Doppler peuvent être utilisées pour diagnostiquer rapidement le statut hémodynamique intracérébral du patient. De plus, le DTC peut être utilisé pour vérifier l'absence d'oligohémie systémique (VSM basse) qui devra être corrigée avant d'interpréter le statut hémodynamique intracrânien. Ainsi, dès l'admission du patient atteint d'un TCG, les

mesures de DTC peuvent être effectuées pour détecter une éventuelle hypoperfusion cérébrale, ce qui permettrait de prendre une décision thérapeutique immédiate. (16)

Cependant, les anomalies de la DTC ne devraient être analysées qu'après la recherche et le traitement des éléments confondants déjà cités, tels que l'hypocapnie, l'hypotension et l'anémie.

B. Suivi thérapeutique et identification des patients à risque d'aggravation secondaire :

La réalisation de DTC de contrôle peut être bénéfique pour surveiller les effets des différentes interventions thérapeutiques chez les patients, quel que soit le type d'intervention pratiquée (modification de la PAM, de la température, de la sédation, etc.). Par exemple, des études ont montré que l'osmothérapie aiguë (mannitol) peut augmenter la vélocité cérébrale en augmentant le débit sanguin cérébral (17). Il est également important de surveiller les effets des autres composantes du traitement, telles que la position de la tête du patient ou le niveau de capnie.

L'utilisation de vasopresseurs pour augmenter la pression artérielle moyenne (PAM) et/ou diminuer la pression intracrânienne (PIC) entraîne une diminution significative de l'indice de pulsatilité (IP) et une augmentation significative des vélocités moyennes et diastoliques (17,18). Ainsi, le niveau de PAM nécessaire, mais également suffisant peut être estimé par le DTC. Il convient de noter que le DTC permet non seulement de guider les traitements, mais également de décider de s'abstenir d'une intervention thérapeutique inutile et potentiellement préjudiciable chez un patient présentant des vélocités symétriques et normales. Toutefois, la situation peut évoluer et une surveillance régulière est toujours justifiée.

Certains tests permettent d'affiner l'évaluation des patients (8–10) en termes de compliance cérébrale. Un test d'hypercapnie peut être utilisé. En effet, l'hypercapnie, qui entraîne une vasodilatation et une augmentation du volume sanguin cérébral ($1 \text{ mmHg} = 0,8 \text{ ml de sang}$), constitue une épreuve volumique permettant d'évaluer la réponse en pression (PIC) et/ou l'altération des paramètres Doppler (IP et Vd) pour obtenir des informations sur les capacités de compliance du cerveau. Ces tests permettent de déterminer si la compliance cérébrale d'un patient s'est améliorée, ce qui pourrait autoriser, par exemple, une tentative de réveil tout en limitant les risques d'aggravation.

C. Autorégulation cérébrale :

Autorégulation cérébrale vise à maintenir un débit sanguin cérébral (DSC) stable malgré les fluctuations physiologiques de la pression de perfusion cérébrale ($\text{PPC} = \text{PAM} - \text{PIC}$). Lorsqu'elle est altérée ou abolie suite à un traumatisme, le cerveau devient plus vulnérable à l'hypotension artérielle. Cependant, dans au moins 60 % des cas de traumatismes crâniens graves, cette régulation est préservée. Dans ce cas, pour maintenir un DSC stable malgré les variations de PPC, il faut que les résistances cérébrales varient. Cette augmentation des résistances (vasoconstriction) qui intervient dans la régulation automatique entraîne une diminution du volume cérébral. Chez les patients ayant une faible compliance cérébrale, ce qui signifie qu'ils souffrent d'une hypertension intracrânienne importante, une baisse de volume entraîne une baisse de la pression intracrânienne (PIC). Ainsi, une augmentation de la pression artérielle moyenne (PAM) peut entraîner une diminution de la PIC. L'utilisation de l'autorégulation est donc recommandée non seulement pour améliorer la perfusion cérébrale, mais également pour réduire la PIC. Il est donc essentiel d'évaluer la présence d'une autorégulation cérébrale et ses limites afin de déterminer le niveau de

PAM nécessaire pour maintenir l'équilibre hémodynamique chez les patients. Cette évaluation doit être effectuée de manière répétée, au chevet du patient, en utilisant des moyens de surveillance cérébrale tels que le DTC ou la saturation veineuse jugulaire en oxygène (SvjO₂). En situation d'urgence, augmenter la PAM peut également réduire la PIC (19). En raison des connexions entre les valeurs du DTC et la régulation de la vasomotricité cérébrale, cette méthode non invasive s'avère extrêmement attrayante pour effectuer une variété de tests statiques et dynamiques visant à évaluer l'autorégulation cérébrale (20). Parmi les épreuves couramment proposées, on peut citer:

- Tests statiques : lorsque l'autorégulation cérébrale est conservée, les vitesses diminuent quand la PAM diminue puis reviennent rapidement à des valeurs normales.
- Test de réactivité au CO₂.

D. Diagnostic du vasospasme :

Le vasospasme est une complication fréquente lors d'une hémorragie méningée. Ce rétrécissement progressif des vaisseaux cérébraux peut entraîner une diminution du débit sanguin, conduisant à une ischémie cellulaire et un infarctus. Le vasospasme peut être localisé ou généralisé, unilatéral ou bilatéral, et survient généralement entre le 3ème et le 6ème jour.

Lorsqu'une artère se rétrécit, la vitesse du sang qui y circule augmente, même si le débit sanguin global reste constant. C'est pourquoi il est important de distinguer le vasospasme d'une augmentation globale du débit sanguin cérébral, qui peut être due à diverses causes. Pour ce faire, les médecins mesurent l'indice d'Aaslid, qui compare la vitesse du sang dans l'artère sylvienne et dans l'artère carotide interne cervicale du même côté. Un indice d'Aaslid supérieur à 3 indique un vasospasme

modéré, tandis qu'un indice supérieur à 6 indique un vasospasme sévère. Toutefois, même en cas de valeurs normales de l'indice d'Aaslid, la présence de vasospasme ne peut être exclue si la pression intracrânienne est élevée. En effet, lors de cette situation clinique fréquente, l'élévation de la pression intracrânienne (PIC) peut entraîner une diminution de la pression de perfusion et donc des vitesses circulatoires abaissées. Cela peut conduire à un faux négatif. En présence d'une augmentation de la PIC, les vitesses diastoliques diminuent et l'indice de résistance de Pourcelot augmente. Lorsque l'indice de résistance est inférieur à 0,5, les variations des vitesses reflètent de manière satisfaisante celles du vasospasme.

E. Diagnostic d'une mort cérébrale :

Le doppler transcrânien est un outil utile pour détecter les arrêts circulatoires cérébraux. Lorsque la pression intracrânienne (PIC) est très élevée, les vitesses circulatoires télédiastoliques peuvent diminuer jusqu'à l'arrêt circulatoire. À mesure que la PIC augmente, des changements caractéristiques sont observés dans l'analyse spectrale. Lorsque la PIC atteint une valeur proche de la pression artérielle diastolique, la diastole diminue, puis s'annule en fin de cycle. Lorsque la pression intracrânienne augmente encore, un flux diastolique négatif peut être observé. Au stade ultime, lorsque la PIC est voisine de la pression artérielle systolique, le flux systolique diminue et il devient impossible d'enregistrer un flux sur les artères de la base. Les étapes avec reflux diastolique correspondent au diagnostic d'arrêt circulatoire en artériographie.

Bien que l'examen par doppler transcrânien puisse être utile dans le diagnostic de mort cérébrale, ce dernier reste avant tout un diagnostic électroencéphalographique et artériographique. (21)



Figure 23: Aspect de reverse flow (DTC avec alternance onde positive onde négative)

La découverte d'un tracé de doppler transcrânien indiquant un arrêt du flux cérébral nécessite une intervention immédiate pour rétablir la circulation cérébrale interrompue, tout comme la présence d'une mydriase. L'arrêt du flux cérébral équivaut à un arrêt circulatoire et doit être traité en conséquence. Cependant, il convient de noter que la persistance d'un tel tracé malgré le traitement peut indiquer le passage à un état de mort encéphalique. Bien que le doppler transcrânien ne soit pas considéré comme ayant une valeur légale pour confirmer un état de mort encéphalique, car il explore difficilement l'ensemble des artères intracrâniennes, de nombreux faux positifs ont été rapportés lors de poussées transitoires d'hypertension intracrânienne, qui peuvent être réversibles après traitement.

L'artériographie demeure l'examen de référence pour confirmer rapidement l'absence totale de flux cérébral. Toutefois, le doppler transcrânien peut être utile comme un outil de diagnostic complémentaire. En présence de signes de coma dépassé et d'instabilité hémodynamique, lorsque l'artériographie est utilisée pour accélérer le diagnostic, le moment approprié pour effectuer l'artériographie peut être choisi en fonction des résultats du doppler transcrânien. Il peut être inutile de procéder à une artériographie si un flux est détecté lors du doppler transcrânien, tandis que la présence d'un flux pendulaire symétrique indiquera la nécessité de l'examen.

Analyse de nos résultats par rapport à la littérature :

A. Données épidémiologiques :

I. Clinique :

1. Age :

Nos résultats montrent que l'âge moyen des patients est de 42 ans, avec une fourchette allant de 16 à 83 ans, ce qui est comparable aux études menées sur des patients cérébrolésés en réanimation. La tranche d'âge de 25 à 55 ans était la plus touchée.

- Une ancienne étude menée au sein de notre service par A.Boumediane révèle un âge moyen de 49 ans, avec des extrêmes allant de 16 à 82 ans.(22)
- Bernard et al révèlent que l'âge moyen est de 35ans avec des extrêmes allant de 14 à 78ans. (23)
- M.Helm a constaté que la moyenne d'âge est de 37ans, des extrêmes de 8 à 89ans. (24)
- Une étude menée par G. Bouhours et al révèle que l'âge moyen est de 37 +/- 20ans.(25)
- Une étude faite par Miroslaw Zabek montre que l'âge des patients est compris entre 16et 55ans dont 79% est en âge productif. (26)
- une étude menée par Elouardighi K. au CHU Ibn-sina de Rabat,a constaté que la moyenne d'âge était de 34,6ans avec des extrêmes de 16 à 75 ans. (27)

2. Sexe :

La prédominance masculine est la caractéristique commune des différentes études menées, avec un taux de 86,95% dans notre série. Le sexe ratio était à 6,66.

Les informations présentées dans le tableau ci-dessous synthétisent les données de la littérature.

Tableau 7 : Sexe ratio selon les données de la littérature

Auteurs	Nombre de cas	hommes	femmes	Sex-ratio
Boumediane A.(22)	90	77	13	5,92
Bernard et al.(23)	113	79	34	2,3
M HELM et al.(24)	122	93	29	3,2
Mirosław Z. et al.(25)	144	92	52	1,77
Elouardighi K.(27)	40	34	6	5,6
Notre série	92	80	12	6,66

Il est probable que la forte prédominance masculine qui se dégage de diverses études, y compris la nôtre, soit le résultat d'une participation plus élevée des hommes à des activités à haut risque de traumatisme.

3. Circonstances de survenue :

Dans notre série, le traumatisme crânien était isolé chez 18 patients (19,56% des cas), et inscrit dans le cadre de polytraumatisme chez 74 patients (80,43%).

Les sujets jeunes sont les plus susceptibles de subir des traumatismes crâniens, principalement causés par des accidents de la voie publique (AVP), représentant 82,60% des cas. Toutefois, les agressions et les chutes de hauteur élevée dans le cadre de tentatives de suicide sont également des causes importantes, respectivement à hauteur de 10,86% et 4,34%. Les traumatismes crâniens étaient origine inconnue dans 2,17% des cas. La morbidité et la mortalité causées par ces traumatismes sont en constante augmentation, tant au niveau national qu'international, au sein de la population civile. Ceci est constaté par plusieurs auteurs. Dans l'étude de ELOUARDIGHI K. de CHU de Rabat (27) : les AVP représentent 77,5%, les agressions 10%, et les chutes 5%, dans 5% des cas, le mécanisme est resté inconnu.

4. Evaluation clinique initiale :

Avant de procéder à des examens d'imagerie pour diagnostiquer les lésions intracérébrales, il est essentiel de réaliser une évaluation clinique initiale chez les patients, qui fait suite à l'évaluation pré-hospitalière. Cette évaluation comprend plusieurs éléments tels que l'évaluation de la conscience, du tonus musculaire, de la réactivité des pupilles et la recherche de signes neurologiques focaux. Cependant, ces éléments cliniques pris individuellement ont une faible valeur de dépistage pour identifier les patients à haut risque d'évolution défavorable, sauf le Glasgow Coma Scale (28).

Le Glasgow Coma Scale est un outil simple et rapide, largement utilisé, qui est étroitement lié au pronostic et qui permet une prise en charge rapide et efficace.

Dans la série de A. Boumediane, (22) 76 patients avaient un GCS initial < 8 , et 14 cas avec GCS initial > 8 . Tous les patients ayant eu un GCS initial < 4 sont décédés. Dans l'étude faite par SEMICYUC et SOCMIC (29) le Glasgow Coma Score (GCS) d'admission se distribue de la façon suivante : < 8 chez 32 patients (50%); entre 9 et 12 chez 6 patients (9%), et > 12 chez 26 patients (41%). Par contre le GCS peut être altéré lors de prise de drogues, alcool, médicaments, ou maladies préexistantes telle que la démence. (30)

La présence de lésions intracérébrales peut également être déduite de l'état des pupilles, signalant une détérioration neurologique. Selon l'étude menée par Boumediane A. (22), 13,33% des patients présentaient une anisocorie, 11,11% avaient une mydriase bilatérale, tandis que le reste avait des pupilles égales et réactives. Une autre étude menée par Van Haverbeke L. et al. (31) portant sur 215 cas a montré qu'un pourcentage de 38% des patients avaient une anomalie pupillaire, avec une présence de déficit moteur chez 21% des patients.

Cependant, il existe un réel risque d'aggravation neurologique secondaire chez les patients atteints de lésions cérébrales, avec une prévalence estimée entre 1% et 30% (32). La lésion cérébrale secondaire résulte d'un processus complexe qui survient après la lésion cérébrale primaire, dans les heures et les jours qui suivent. De nombreuses agressions cérébrales secondaires, qu'elles soient intracrâniennes, extracrâniennes ou systémiques, peuvent compliquer la lésion cérébrale initiale et entraîner davantage une détérioration neurologique. Les lésions cérébrales intracrâniennes secondaires peuvent inclure l'oedème cérébral, les hématomes, l'hydrocéphalie, l'hypertension intracrânienne, le vasospasme, les déséquilibres métaboliques, les infections, la libération de substances vasoactives induite par le traumatisme (comme le calcium, les catécholamines, les prostaglandines ou les neuropeptides qui peuvent provoquer une vasoconstriction), ainsi que les crises d'épilepsie (30).

II. Paraclinique :

1. TDM cérébrale:

L'évaluation des patients atteints de lésions cérébrales utilise souvent la tomодensitométrie cérébrale comme référence. Cependant, il convient de noter qu'un examen réalisé trop tôt peut ne pas détecter toutes les lésions, qui pourraient être révélées plus tard. En comparaison, l'imagerie par résonance magnétique (IRM) est plus précise pour la détection des lésions intracrâniennes, avec une sensibilité plus élevée que la tomодensitométrie (33).

Lors de la prise en charge des traumatisés crâniens, la première priorité de l'imagerie précoce est d'exclure une urgence neurochirurgicale. L'équipe médicale et chirurgicale doit évaluer l'état de conscience et clinique du patient ainsi que les

circonstances de l'incident en corrélation avec les données de l'imagerie. Au stade aigu, les urgences neurochirurgicales traumatiques les plus fréquentes sont les hématomes extra- et sous-duraux et les contusions cérébrales. La tomodensitométrie cérébrale est généralement effectuée en premier sans injection de produit de contraste. Bien que l'analyse précoce de la tomodensitométrie puisse parfois prédire la présence d'un déficit ultérieur, elle ne peut pas répondre à la question cruciale du retour à la conscience (34). La tomodensitométrie cérébrale avec injection de produit de contraste ne doit être réalisée qu'après un premier examen sans injection de produit de contraste et après avoir éliminé les contre-indications, telles que le contexte traumatique, la lésion spontanément hémorragique, l'hypertension intracrânienne menaçante ou l'insuffisance rénale. Cette injection de produit de contraste peut aider à révéler ou préciser certaines lésions qui ne sont pas visibles spontanément.

Dans notre étude, tous les patients ont été soumis à une tomodensitométrie cérébrale à leur admission aux urgences.

- Selon l'étude menée au CHU de Sfax, une tomodensitométrie cérébrale a été réalisée chez 98,1% des patients (35).
- Dans l'étude menée par G. Bouhours et al, la tomodensitométrie initiale a été réalisée chez 89% des patients, avec un délai moyen de 58 minutes après l'admission (25).

Dans le contexte de traumatisme crânien, il est généralement admis que la réalisation précoce d'une tomodensitométrie cérébrale, c'est-à-dire dans les deux heures suivant le traumatisme, peut ne pas révéler certaines lésions qui pourraient s'avérer significatives ultérieurement (36). Une deuxième tomodensitométrie est souvent plus utile pour prédire l'évolution neurologique que celle réalisée à l'admission du patient (37). En cas de persistance d'une lésion hémorragique

intracrânienne lors de la tomodensitométrie de contrôle, aucun changement thérapeutique n'est nécessaire tant que l'état clinique du patient reste stable.

En 2003, Ziad C. Sifri et al (38) et En 2004, SB. Dharap et al (39), ont démontré que sauf aggravation neurologique le scanner cérébral de contrôle ne modifie pas la stratégie thérapeutique. Le même constat a été fait par Eloudghiri.K(27) dans son étude.

Les patients atteints de traumatisme crânien grave posent un défi en termes d'évaluation clinique, car ils sont intubés et ventilés tout en étant sous sédation-analgésie thérapeutique pour réduire la consommation d'oxygène cérébral et maximiser la protection contre les poussées d'œdème cérébral. La forte action des morphiniques perturbe également l'examen des pupilles. Par conséquent, il est impératif de trouver un moyen d'évaluer la fonction neurologique de ces patients afin de codifier les indications de scanner de contrôle, qui sont souvent excessives et peuvent exposer les patients de réanimation, souvent sous drogues vasoactives, au risque d'aggravation.

Le DTC réalisé à l'admission et répété d'une façon biquotidienne présente le meilleur compromis permettant d'améliorer le dépistage d'une éventuelle aggravation neurologique.

2. DTC :

Le doppler transcrânien est une technique largement utilisée en réanimation pour étudier l'hémodynamique cérébrale de manière non invasive. Cette méthode mesure la vitesse sanguine dans les principales artères cérébrales, notamment l'artère cérébrale moyenne, qui représente 70% du flux sanguin cérébral. En analysant deux valeurs de spectre, l'index de pulsatilité ($IP=1,0\pm0,2$) et la vitesse diastolique ($Vd=40\pm10\text{cm/s}$), on peut évaluer l'état des résistances artériolaires en aval du gros

tronc étudié. Si l'IP est élevé avec une Vd basse, cela indique que les artérioles sont constrictées ou soumises à une hypertension intracrânienne (HTIC). Cette diminution du diamètre entraîne une baisse de la pression de perfusion. Un IP supérieur à 1,4 associé à une Vd inférieure à 20cm/s est une urgence hémodynamique cérébrale qui nécessite un traitement immédiat et la réalisation d'une TDM cérébrale pour éliminer une urgence neurochirurgicale causant l'HTIC.

Le Doppler transcrânien présente un avantage considérable par rapport à la TDM dans l'évaluation des résultats thérapeutiques, car il permet de renouveler l'examen de manière rapide et facile. Ce qui en fait un outil précieux pour l'évaluation des patients atteints de lésions cérébrales. Dans notre série, les médecins du service de réanimation ont acquis une solide expérience dans la réalisation de cet examen en utilisant régulièrement l'appareil DTC et l'échodoppler. Les examens DTC étaient effectués après la stabilisation hémodynamique et respiratoire, afin de gérer les complications liées à l'ACSOS. Ensuite, les examens étaient effectués de manière systématique à un rythme biquotidien ou lors d'un contrôle après correction d'une anomalie. Dans notre étude, nous avons établi les seuils suivants comme référence :

Tableau 8 : Seuils des valeurs DTC dans notre étude

Paramètres	Valeur de référence
IP	< 1,4
Vs	> 70
Vd	> 40

Le Doppler transcrânien était optimal chez 59 patients, soit 64,13% des cas dans notre série. Nous avons constaté des anomalies du Doppler transcrânien chez seulement 35.87% des patients.

Toutefois, il existe peu d'études évaluant l'intérêt du Doppler transcrânien dès l'admission aux urgences ou en unité de soins intensifs. La plupart de ces études se sont concentrées sur des patients atteints de traumatismes crâniens graves (40,41). Dans l'une de ces études, les informations fournies par le Doppler transcrânien ont permis de prendre rapidement des mesures thérapeutiques telles que la correction de l'hémodynamique et l'administration d'osmothérapie. De plus, l'association de l'index de pulsatilité et de la vélocité diastolique a permis de prédire le risque d'aggravation neurologique secondaire en cas de tomodensitométrie initiale normale ou peu pathologique dans une étude de cohorte monocentrique incluant 98 patients (42).

Dans une étude menée à l'Hôpital de Bicêtre, S. Le Moigno et al.(43) ont souligné l'importance de l'utilisation de l'écho-doppler pour l'estimation des flux sanguins intracrâniens chez les patients cérébrolésés. Le Doppler transcrânien offre des performances remarquables en termes de rapidité, de non-invasivité et de reproductibilité, ce qui en fait une technique très attrayante pour les urgences neurologiques, en particulier en neurotraumatologie, où la rapidité de prise en charge est cruciale pour prévenir les lésions ischémiques secondaires et améliorer le pronostic.

L'étude de Jaffres et al. (44) a mis en évidence que le paramètre le plus prédictif de l'aggravation neurologique précoce des traumatismes crâniens mineurs et modérés est l'Indice de Pulsatilité (IP) mesuré par DTC.

En 2007, Ract et al. (40) ont utilisé le DTC pour détecter une hypoperfusion cérébrale chez les patients atteints de traumatismes crâniens graves dès leur admission aux urgences. La correction de cette hypoperfusion guidée par le DTC a permis d'améliorer les valeurs de saturation veineuse jugulaire en oxygène (Svjo2) et de pression de perfusion cérébrale (PPC) une heure après l'admission.

Bouzat et al. (42) ont confirmé que la combinaison de la Vitesse diastolique de l'artère cérébrale moyenne (Vd) et de l'IP permettait de prédire l'aggravation neurologique. Les variations de ces deux paramètres reflètent le degré de vasoconstriction du lit vasculaire d'aval des artères cérébrales moyennes. Ainsi, une augmentation des résistances vasculaires d'aval, pouvant être liée à une pression intracrânienne élevée ou à une vasoconstriction cérébrale hypocapnique, se traduit par une diminution de la Vd et une augmentation de l'IP. Les seuils utilisés pour l'IP et la Vd varient selon les études. En 2011, Bouzat et al. (42) ont fixé les seuils à 1,25 pour l'IP et 25 cm/s pour la Vd, tandis qu'en 2007, Ract et al. (40) ont utilisé des seuils différents pour la prise en charge des TC graves (IP à 1,4 et Vd à 20 cm/s). Une étude menée au CHU de Rabat (27) a également utilisé des seuils différents (IP à 1,4 et Vd à 25 cm/s pour réaliser une imagerie de contrôle). Cette étude a révélé que parmi les 11 scanners réalisés en réponse à des DTC pathologiques, 6 ont montré une aggravation des lésions initiales ou l'apparition de nouvelles lésions, dont 2 ont nécessité la réalisation d'un volet décompressif. En outre, chez 30 patients, la correction de l'hypoperfusion cérébrale a été guidée par le DTC en introduisant des vasopresseurs, et l'osmothérapie a été recommandée pour un seul patient.

L'étude de B. Vigué et al. (19) a affirmé que le Doppler transcrânien (DTC) est un outil essentiel dans la prise en charge des patients cérébrolésés en réanimation. La diminution du débit sanguin cérébral, qui est souvent détectée tardivement par la présence d'une mydriase, peut être mieux évaluée, contrôlée et prévenue grâce à la surveillance des vitesses intracrâniennes. Le DTC permet un suivi précoce de l'hémodynamique cérébrale, qui est crucial pour améliorer le pronostic des patients.

On peut supposer que des corrélations entre l'IP et la pression intracrânienne ont été établies dans différentes pathologies cérébrales (45). Par ailleurs, plusieurs études cliniques (46,47) et expérimentales (48) ont montré que la décroissance de la

Vd est plus rapide que celle de la VM et de la VSM, avec une forte corrélation observée entre la PPC et l'IP. Les vélocités mesurées par DTC reflètent la vitesse réelle des globules rouges du vaisseau étudié en fonction du cosinus de l'angle d'incidence. L'IP, en revanche, est indépendant de cet angle car il est calculé en utilisant un rapport de vélocités. Ainsi, la combinaison de la Vd et de l'IP est le meilleur moyen de dépister une altération de la perfusion cérébrale.

Les résultats de notre série ont été très significatifs, avec des modifications et des adaptations thérapeutiques guidées par une surveillance régulière des patients atteints de traumatisme crânien grave par DTC. Ces résultats sont résumés dans le tableau ci-dessous, en comparant les décisions prises aux données de la littérature :

Tableau 9 : Aspects thérapeutiques sur la base de surveillance des TCG par DTC en comparaison avec les données de la littérature

ATTITUDE THERAPEUTIQUE	Notre série	Étude Boumediane Fès (22)	Étude Elouadghiri Rabat (27)	Étude El harrak Rabat (49)
Approfondissement de l'anesthésie	28	43	---	56
Introduction des vasopresseurs	21	34	30	29
Osmothérapie	18	35	01	30
Craniotomie décompressive	06	26	05	16

Le DTC joue un rôle crucial dans l'évaluation de l'équilibre de l'hémodynamique cérébrale. En cas d'anomalies détectées lors du DTC initial, un traitement approprié tel que l'osmothérapie, la vérification de la capnie et/ou l'augmentation de la PAM doit être administré. Dans ce cas, une tomодensitométrie d'urgence est nécessaire pour détecter toute lésion chirurgicale éventuelle. Toutefois, si le DTC est normal, il peut être judicieux de différer la tomодensitométrie, car les lésions définitives ne se manifestent souvent qu'après les premières heures post-traumatiques.

B. Impact du monitoring par le DTC dans la prise en charge des traumatisés crâniens en réanimation :

Le scanner cérébral est actuellement la seule méthode permettant d'exclure une urgence chirurgicale chez les traumatisés crâniens. Cependant, comme le montre cette étude, l'indication d'un scanner cérébral de contrôle doit être basée sur les résultats du DTC. En cas de DTC normal, un scanner cérébral de contrôle n'est pas nécessaire. En revanche, si le DTC révèle une pathologie en dehors de la marge préétablie, réalisé dans des conditions hémodynamiques et respiratoires normales, une TDM cérébrale de contrôle peut être envisagée. L'échographie est couramment considérée comme une méthode sûre, à ce jour, aucun cas de nocivité du DTC ciblant l'artère sylvienne n'a été signalé. En revanche, la TDM est associée à une irradiation importante et au transport du patient, qui sont deux inconvénients majeurs de cet examen.

L'utilisation du DTC peut contribuer à réduire le coût global. En effet, en évitant les TDM inutiles, le DTC peut optimiser le bien-être cérébral et réduire la durée de séjour à l'hôpital, ainsi que les séquelles, ce qui se traduit par un ratio coût/bénéfice largement favorable au DTC.

CONCLUSION

Le Doppler transcrânien est un outil précieux pour la pratique professionnelle en médecine d'urgence et en réanimation, entre autres. Il est abordable, polyvalent, efficace, sûr, non invasif et rapide, ce qui facilite le monitoring au chevet du malade. Il fournit des informations dynamiques en temps réel sur des variables étroitement liées à l'hémodynamique cérébrale, qui peuvent avoir une incidence sur l'issue finale des patients. Il complète ainsi l'évaluation clinique et les moyens d'imagerie classiques.

Dans un avenir proche, ces applications devraient se développer considérablement, en permettant de mieux comprendre les processus physiopathologiques spécifiques qui affectent la prise de décision chez les traumatisés crâniens.

Dans notre étude, l'impact du DTC sur la prise en charge des patients cérébrolésés en réanimation est évident, avec une modification thérapeutique chez 45% des patients. Cependant, des études supplémentaires sont nécessaires pour rendre l'utilisation pratique de cet outil encore plus pertinente par rapport à d'autres outils de diagnostic, en tenant compte de ses limites.

Résumé :

Introduction :

Le doppler trans-crânien (DTC) est un outil d'intérêt important en réanimation vu ses applications cliniques multiples : monitoring multimodal des traumatisés crâniens, gestion de l'hypertension intra-crânienne (HTIC) dans la phase précoce, identification de patients à risque d'aggravation secondaire, surveillance de vasospasme et le diagnostic d'un état de mort encéphalique.

Objectif :

Le but de notre travail est d'apprécier l'intérêt du DTC dans la prise en charge des traumatisés crâniens en réanimation.

Matériel et méthodes :

C'est une étude rétrospective réalisée sur une période de 12 mois allant de janvier 2022 à Janvier 2023. On a inclu tous les patients hospitalisés au service de réanimation A1 du CHU Hassan II de Fès pour traumatisme crânien grave. Un DTC biquotidien a été réalisé pour chaque patient, puis un doppler de contrôle après correction de l'anomalie en cas de DTC pathologique. On a exclu les patients de neurochirurgie dont les suites postopératoires étaient simples.

Résultats :

Durant cette période, nous avons colligé 92 patients qui ont bénéficié d'une surveillance biquotidienne par doppler transcrânien. L'âge moyen de nos patients était de 42 ans, avec des extrêmes allant de 16 à 83 ans, avec prédominance masculine.

La symptomatologie clinique est caractérisée par troubles de conscience chez tous nos patients avec un GCS de 3 à 13. L'anisocorie chez 13 patients soit 14.13% des cas, avec comme comorbidité : les antécédents de l'HTA dans 17.39% des cas, de diabète dans 13.04% des cas

Sur le plan radiologique tous nos patients ont bénéficié d'un scanner cérébral à l'admission aux urgences et de doppler transcrânien (DTC) dès l'admission au service, puis biquotidiennement dans le cadre de monitoring multimodal, Le DTC : était optimale chez 64 patients soit 69.56% des cas. Les principales mesures entreprises après DTC sont : approfondissement de la sédation, Introduction des vasopresseurs, Osmothérapie et la craniotomie décompressive. L'évolution a été bonne avec transfert dans un autre service chez 63 patients soit 68,47% tandis que 29 patients sont décédés soit 31.52%.

Conclusion :

Le doppler transcrânien joue un rôle important dans la prise en charge des traumatisés crâniens : simple, non invasif et peu coûteux avec plusieurs applications en réanimation, mais il faut tenir compte des limites d'utilisation car il reste un examen opérateur dépendant.

Abstract:

Introduction:

Transcranial Doppler (TCD) is an important tool in critical care due to its multiple clinical applications, including multimodal monitoring of traumatic brain injury patients, management of intracranial hypertension (ICH) in the early phase, identification of patients at risk for secondary aggravation, surveillance of vasospasm, and diagnosis of brain death.

Objective:

The aim of our study is to evaluate the usefulness of TCD in the management of critically ill traumatic brain injury patients.

Materials and methods:

A retrospective study was conducted over a period of 12 months from January 2022 to January 2023. We included all patients hospitalized in the A1 critical care unit at Hassan II University Hospital in Fes, Morocco, for severe traumatic brain injury. A TCD was performed twice daily for each patient, followed by a repeat Doppler examination after correction of any abnormalities in case of a pathological TCD. We excluded patients who underwent neurosurgery with uneventful postoperative courses.

Results:

During the study period, we collected data from 92 patients who underwent twice-daily TCD monitoring. The mean age of our patients was 42 years, ranging from 16 to 83 years, with a male predominance. All patients presented with consciousness disorders, with a Glasgow Coma Scale score ranging from 3 to 13. Anisocoria was present in 13 patients (14.13%) and comorbidities included hypertension (17.39%) and diabetes (13.04%). All patients underwent a brain CT scan upon admission to the emergency department and TCD examination upon admission to the unit, followed by

twice-daily monitoring as part of multimodal monitoring. TCD was optimal in 64 patients (69.56%) of cases. The main measures taken after TCD examination included deepening of sedation, introduction of vasopressors, osmotherapy, and decompressive craniotomy. The overall outcome was favorable, with 63 patients (68,47%) transferred to another unit, while 29 patients (31.52%) died.

Conclusion:

Transcranial Doppler is a valuable tool in the management of traumatic brain injury patients, as it is simple, non-invasive, and cost-effective with several applications in critical care. However, its limitations should be taken into account, as it remains operator-dependent.

ملخص :

المقدمة:

الدوبلر عبر الجمجمة هي أداة ذات أهمية كبيرة في الرعاية المركزة نظرًا لتطبيقاتها السريرية المتعددة: المراقبة المتعددة الوسائط للمصابين بإصابات الجمجمة ، وإدارة ارتفاع ضغط الدم داخل الجمجمة في المرحلة المبكرة ، وتحديد المرضى المعرضين لخطر التفاقم الثانوي ، ومراقبة التشنج الوعائي وتشخيص حالة وفاة الدماغ

الهدف:

يهدف عملنا إلى تقييم أهمية الدوبلر عبر الجمجمة في رعاية المرضى المصابين بإصابات الجمجمة في الرعاية المركزة
الوسائل والمنهجيات:

أجريت دراسة استرجاعية على مدى 12 شهرًا من يناير 2022 إلى يناير 2023. شملت جميع المرضى المستشفين لعلاج إصابات الجمجمة في وحدة الرعاية المركزة (أ1) في مستشفى الحسن الثاني بفاس، تم إجراء فحص الدوبلر عبر الجمجمة مرتين يوميًا لكل مريض، ثم تم إجراء فحص للمراقبة بعد تصحيح الخلل في حالة الدوبلر الذي كان غير طبيعي.

النتائج:

خلال هذه الفترة، جمعنا معلومات عن 92 مريضًا استفادوا من رصد يومي مزدوج باستخدام الدوبلر عبر الجمجمة . كانت متوسط أعمار مرضانا 42 سنة، مع نطاق يتراوح بين 16 و 83 سنة، مع تفوق الذكور. تتميز الأعراض السريرية بحالات اضطراب الوعي لدى جميع المرضى مع وجود لارتفاع ضغط الدم في 17.39% من الحالات ولمرض السكري في 13.04% من الحالات
استفاد جميع مرضانا من تصوير بالأشعة المقطعية للدماغ عند الوصول إلى المستعجلات، ثم فحص يومي مزدوج بالدوبلر عبر الجمجمة في إطار المراقبة المتعددة، كانت النتيجة ممتازة لدى 64 مريضًا، أي 69.56% من الحالات.
تشمل الإجراءات الرئيسية التي تم اتخاذها بعد الفحص بالدوبلر: تعميق التخدير، إدخال الأدوية الرافعة للضغط، معالجة تناضحية و الجراحة الحاجزة للجمجمة . كان التطور جيدًا مع نقل 63 مريضًا إلى مصلحة أخرى، أي 68,47% من الحالات في حين توفي 29 مريضًا، أي 31.52% من الحالات.

الخلاصة:

يلعب الدوبلر الشرياني للدماغ دورًا مهمًا في معالجة المصابين بإصابات الرأس: بسيط ورخيص التكاليف مع تطبيقات متعددة في العناية المركزة ، ولكن يجب مراعاة حدود الاستخدام لأنه لا يزال يعتمد على المشغل

ANNEXE I

Surveillance des traumatisés crâniens par DTC

- Prénom et Nom du patient :
- Numéro d'entrée :
- Age :
- Sexe :

DONNEES DE SURVEILLANCE PAR DOPPLER TRANSCRANIEN						
Jour						
• IP						
• Vm						
• Vs						
• Vd						
• Back flow						
Attitude Thérapeutique						
Evolution						

ANNEXE II**Fiche radiologique**

- Prénom et Nom du patient :
- Numéro d'entrée :
- Age :
- Sexe :
- Renseignements cliniques :

Anomalies radiologiques	oui	non
• Lésions osseuses Fractures Embarrures		
• Lésions neuronales Contusions cérébrales		
• Lésions hémorragiques HED HSD Hématome intra-parenchymateux Hémorragie intra ventriculaire Hémorragie méningée		
HTIC, Œdème cérébral		
Engagement		

BIBLIOGRAPHIE

- [1] Kirkman MA, Smith M (2016) Multimodality neuromonitoring. *Anesthesiol Clin* 34(3):511–52.
- [2] Robba C, Cardim D, Sekhon M, Budohoski K, Czosnyka M. Transcranial Doppler: a stethoscope for the brain–neurocritical care use. *J Neuro Res*. 2017;00:1–11.
- [3] kamina, p. (2009). Anatomie kamina.
- [4] P. F. Duparc and J. Duparc, “GRAY'S ANATOMIE POUR LES ETUDIANTS, Coordination de l' édition française Pr Jacques Duparc.”
- [5] Reanimation médicale. (2009). masson.
- [6] Kamran, S. (2014). traité d'anesthesie reanimation.
- [7] Zonta M, Angulo MC, Gobbo S, Rosengarten B, Hossmann KA, Pozzan T, Carmignoto G (2003) Neuron–to–astrocyte signaling is central to the dynamic control of brain microcirculation. *Nature Neuroscience*, 6(1):43–50
- [8] rune aaslid et al, Noninvasive transcranial Doppler ultrasound recording of flow velocity in basal cerebral arteries, *J Neurosurg* 57:769–774, 1982.
- [9] Lupetin AR, D. D. (1995). Transcranial Doppler sonography. Part 1. Principles, technique, and normal appearances. *Radiographics*. 1995 Jan; , 15(1):179–91.
- [10] F.Cattin, J.F.Bonneville. Transcranial Doppler: technic and normal results. *J Radiol* 2009.
- [11] JC. Sadik, V. Riquier, P. Koskas, F. Zylberberg, C. Beylouné– Mainardi. Transcranial Doppler imaging: state of the art. *J Radiol* 2001; 82: 821–31.
- [12] Rami L. Place du Doppler transcrânien pour le diagnostic de mort encéphalique , Hôpital St–Roch – CHU Nice
- [13] BROCHEUX R. EVALUATION ET COURBES D'APPRENTISSAGE DU DOPPLER TRANSCRANIEN AUPRES DE MEDECINS JUNIORS. Nantes (2014).

- [14] JM. Abadal, JA. Llompарт-Pou, J. Homar, J. Pérez-Bárcena, J. Ibáñez Applications of transcranial color-coded duplex sonography in monitoring neurocritical patients, *Med Intensiva* 2007;31:510-7 – Vol. 31 Núm.9
- [15] Blanco P, Blaivas M (2017) Applications of transcranial colorcoded sonography in the emergency department. *J Ultrasound Med* 36(6):1251-1266
- [16] Ract C, Le Moigno S, Bruder N, Vigué B. Early Transcranial Doppler in patients with severe brain trauma. *Intensive Care Med* 2007;33:645-51.
- [17] Kirkpatrick PJ, Chan KH. Transcranial doppler. In: Reilly P, Bullock MR, editors. *Head injury*. London: Chapman & Hall; 1997 : 243-59.
- [18] Bouma GJ, Muizelaar JP, Bandoh K, Marmarou A. Blood pressure and intracranial pressure-volume dynamics in severe head injury: relationship with cerebral blood flow. *J Neurosurg* 1992;77: 15-19.
- [19] Vigué B, Ract C, Benayed M, Zlotine N, Leblanc PE, Samii K, Bissonnette B. Early SvjO₂ monitoring in severe brain trauma. *Intensive care med* 1999;25: 445-451.
- [20] Czosnyka M, Kirkpatrick PJ, Pickard JD. Multimodal monitoring and assessment of cerebral haemodynamic reserve after severe head injury. *Cerebrovasc Brain Metab Rev* 1996;8:273-95.
- [21] Ducrocq X, Hassler W, Moritake K, Newell DW, von Reutern GM, Shiogai T, et al. Consensus opinion on diagnosis of cerebral circulatory arrest using Dopplersonography: Task Force Group on cerebral death of the Neurosonology Research Group of the World Federation of Neurology. *J Neurol Sci* 1998;159: 145-50.
- [22] Abderrahmane Boumadiane, L'IMPACT DU MONITORAGE PAR DOPPLER TRANSCRANIEN DANS LA PRISE EN CHARGE DES PATIENTS CEREBROLESES EN REANIMATION, fès.2016

- [23] F. Bernard, J. Outtrim, D. K. Menon and B. F. Matta. Incidence of adrenal insufficiency after severe traumatic brain injury varies according . s.l. : British Journal of Anaesthesia 96 (1), 2006. 72–6. Por comparer sacré coeur.
- [24] Helm et al. A prospectif study of the quality of préhospital emergency ventilation with severe . s.l. : British journal of anaesthesia , 2002. 345–9.
- [25] G. Bouhours a, T. Lehoussé a, J. Mylonas b, G. Lacroix c, C. Gondret d, C. Savio. Evaluation de la régulation préhospitalière et prise en charge initiale des traumatisés crâniens graves dans la région des Pays de la Loire. s.l. : Annales Françaises d'Anesthésie et de Réanimation 27, 2008. 397–404.
- [26] Zabek Mirosław, Artur Zaczynski. The golden hour and the dull reality. Analysis of traumatic brain injury Management in Pre-Hospital and emergency care. s.l. : Neurologia i Neurochirurgia Polska, 2007;41;1. 22–27.
- [27] ELouadghiri k. Surveillance neurologique du traumatisé crânien à la phase aigüe: DTC/scanner cérébral systématique thèse de médecine, Rabat. 2015. N°291.
- [28] Haydel, M.J, et al, indications for computed tomography in patients with minor head injury. N eng J Med, 2000. 343 (2): p.100–5.
- [29] Utilidad clínica de un registro diario de Doppler transcraneal en el paciente neurológico agudo. Estudio multicéntrico GRUPO DE TRABAJO DE LA SEMICYUC , GRUPO DE TRABAJO DE LA SOCMIC Medicina Clínica 2003;120(7): 241–245.
- [30] Teemu Luoto, Acute Assessment of Mild Traumatic Brain Injury, 2014.
- [31] Van Haverbeke, Deraedt , Thevenin-Lemoine , Joly , Weiss ,Fourgon ,Trutt . Traumatismes crâniens graves de l'adulte : prise en charge à la phase précoce en île de France. s.l. : Revue Médicale de l'Assurance Maladie, janvier–mars 2004. . volume 35 n° 1.
- [32] P.Jaffres, G.Francony, et al, Use of transcranial doppler at the emergency room for head-injured. J Reaurg. 2007.

- [33] brandstack, N., Kurki, T., Tenovuo, O., and Isoniemi, H. (2006).MR imaging of head trauma: visibility of contusions and other intraparenchymal injuries in early and late stage. Brain Inj.20,409–416
- [34] V. Degos, T. Lescot, L. Abdenmour, A.L. Boch, L. Puybasset. Surveillance et réanimation des traumatisés crâniens graves . s.l.: EMC 2007 Anesthésie–Réanimation , 2007. 36–910–B–10.
- [35] M.Bahloul, C.Ben Hamida, H.Chelly, A.Chaari, H. Kallel, H.Dammaka, N. Rekik, K.Bahloul, K.Ben Mahfoudh ,M.Hachicha d, M. Bouaziz. Severe head injury among children: Prognostic factors and outcome. . s.l. : Injury, Int. J. Care Injured , 2008. 2008.04.018.
- [36] Marshall, L.F., et al., the National traumatic coma Daba–Bark. Part1: Design, purpose, goals, and results. J Neurosurg, 1983.59(2) :p.276–84.
- [37] Fabbri, A., et al., Prospective validation of a proposal for diagnosis and management.
- [38] Ziad C. Sifri, M.D., David H. Livingston, et al. value of repeat cranial computed axial tomography scanning in patients with minimal head injury. The American journal of surgery 187 (2004) 338–342.
- [39] S.B. Dharap, A.A. Khandkar, P. Pandey, A.K. Sharma. Repeat CT scan in closed head injury. J. care Injured (2005) 36, 412–416.
- [40] Ract, C., et al., Transcranial Doppler ultrasound goal–directed therapy for the early management of severe traumatic brain injury Intensive Care Med, 2007.33 (4):645–51.
- [41] Trabold, F., et al.; The prognostic value of transcranial Doppler studies in children with moderate and severe head injury. Intensive care Med, 2004.30 (1): p.108–12.

- [42] Bouzat, P., et al, Transcranial Doppler to screen on admissions patient with mild to moderate traumatic brain injury. *Neurosurgery*, 2011.68(6) : p. 1603–9 ; discussion 1609–10.
- [43] Le Moigno S, Laplace C, Martin L, Engrand N, Edouard A, Leblanc PE, Vigué B. Intérêt du doppler transcrânien précoce dans la prise en charge du patient traumatisé crânien grave. *SFAR* 2001;R452:266s.
- [44] Jaffres, P., et al., Transcranial Doppler to detect on admission patients at risk for neurological deterioration following mild and moderate brain trauma. *Intensive Care Med*, 2005. 31(6): p.785–90.
- [45] Beller, J., et al, transcranial Doppler sonography pulsatility index (PI) reflects intracranial pressure (ICP). *Surg Neurol*, 2004.62 (1): p.45–51; discussion 51.
- [46] Chan, K.H, et al., transcranial doppler waveform differences in hyperemic and non hyperemic patients after severe head injury. *Surg Neurol*, 1992.38 (6): p.433–6.
- [47] Czosnyka, M., et al, Cerebral perfusion pressure in head-injured patients: a noninvasive assessment using transcranial Doppler ultrasonography. *J Neurosurg*, 1998.88 (5): p.802–8.
- [48] Czosnyka, M., et al, Assessment of cerebral autoregulation with ultrasound and laser Doppler waveformsan experimental study in anesthetized
- [49] El harrak S. Intérêt du Doppler transcrânien dans la prise en charge des patients cérébrolésés en Réanimation thèse de médecine, Rabat. 2018. N°241.