

Pression intracrânienne: Physiologie et Monitoring

Sonia Charbonneau MD, FRCPC

Cours de sciences de base

2 mars 2017

Plan

- Vignettes cliniques
- Anatomie
- Physiologie
- Monitoring:
 - Types de moniteurs
 - Courbes de PIC
- Compartimentation
- Retour sur vignettes cliniques

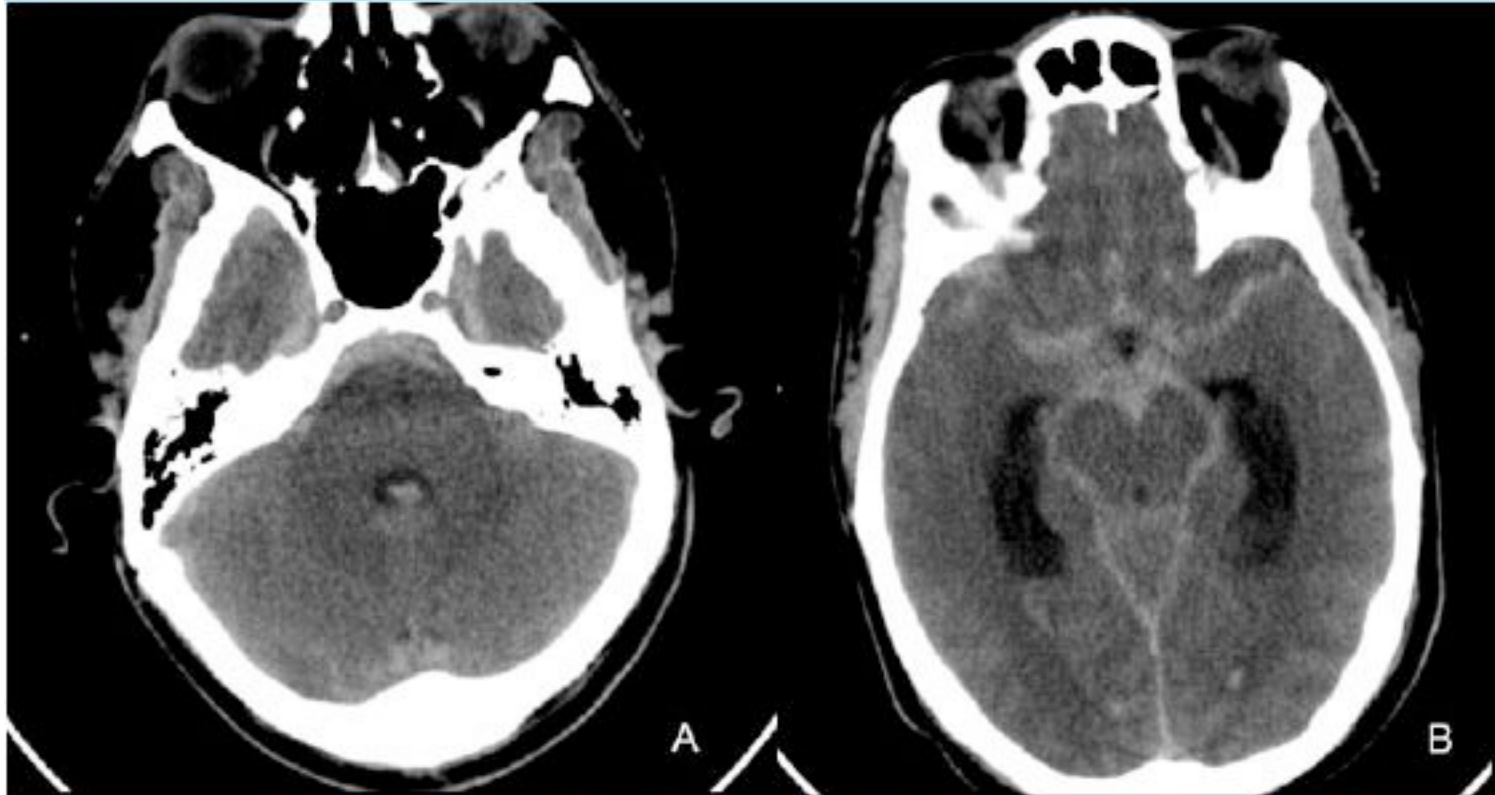
Vignette clinique #1

- Femme 48 ans
- HSA grade IV non sécurisée
- Hydrocéphalie aiguë
- TA 160/95

- SOP: DVE pré-embolisation

Vignette clinique #1

Medscape



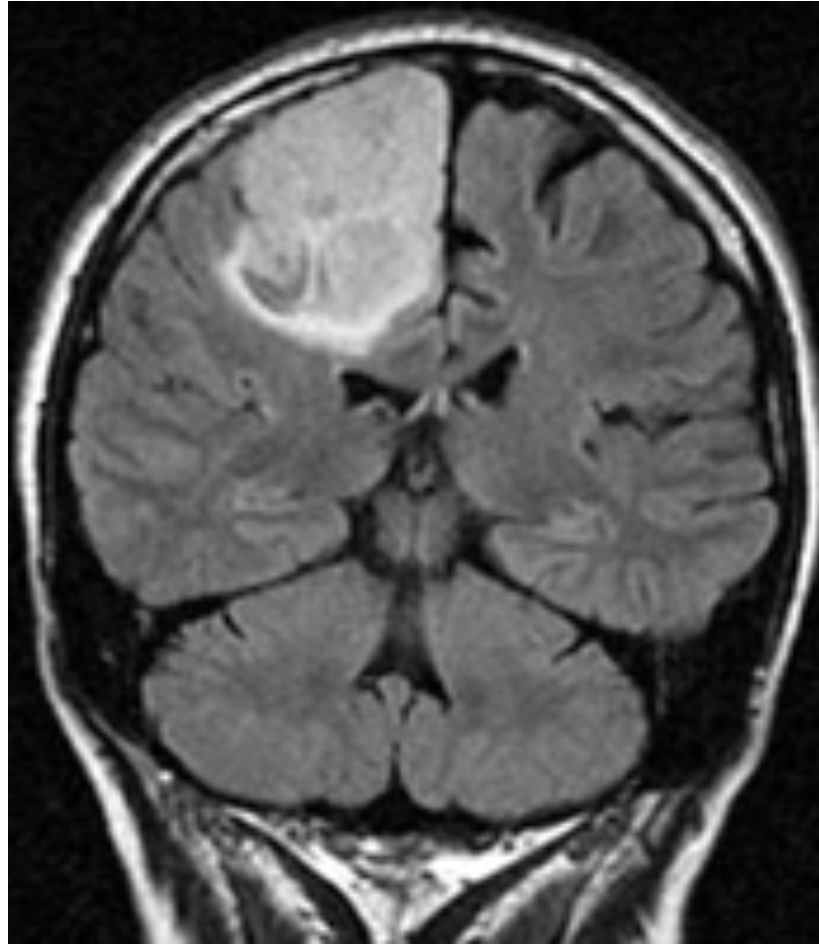
Source: Neurosurg Focus © 2008 American Association of Neurological Surgeons

Vignette clinique #2

- Femme 48 ans
- Gliome de bas grade
- TA 120/70

- SOP: Craniotomie frontale droite pour résection tumorale

Vignette clinique #2



Vignettes cliniques #1 et #2

Questions:

- PIC ?
- PPC ?
- Courbe pression / volume
- Hémodynamie optimale ?
- Danger ?

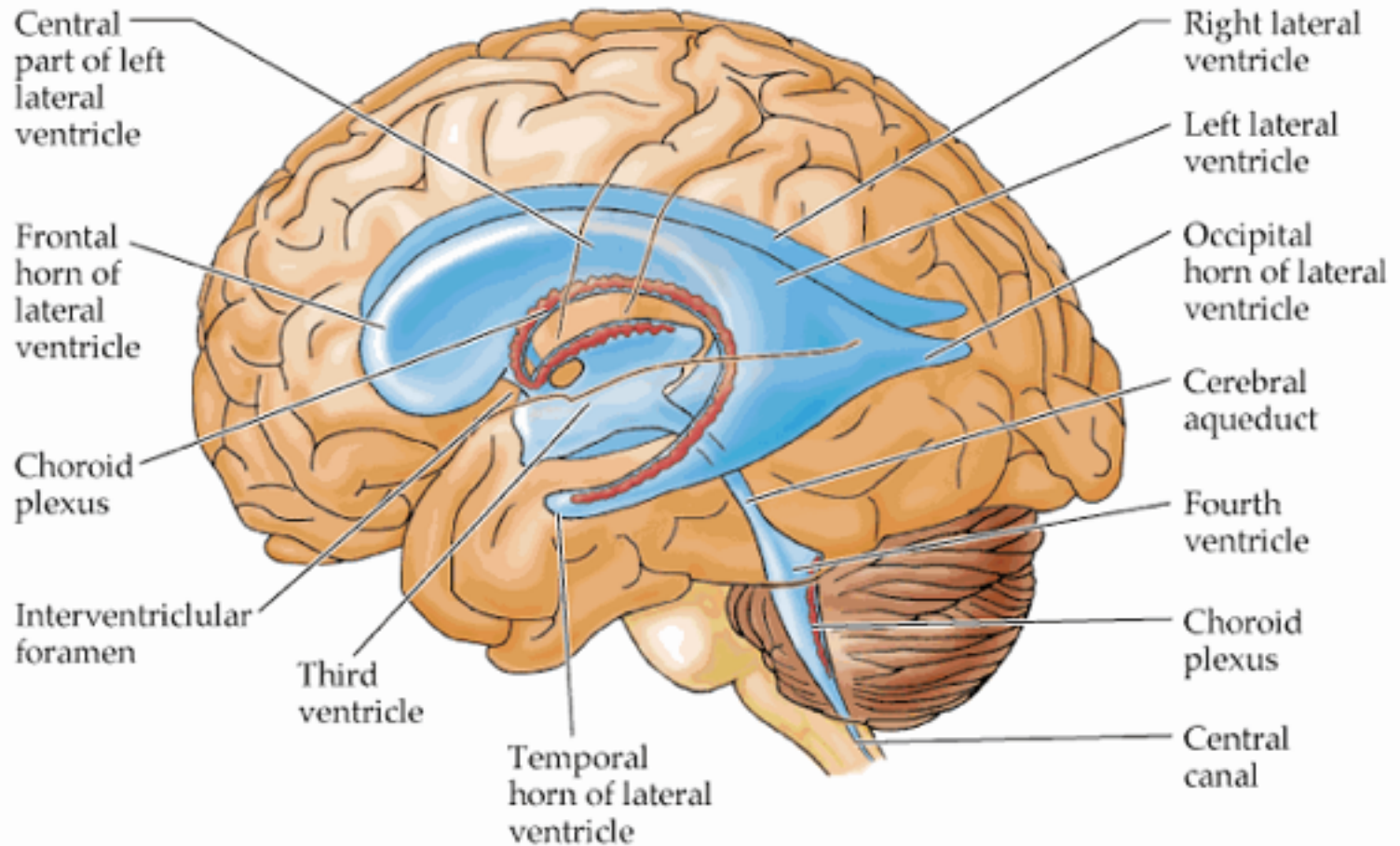
Anatomie

- Système ventriculaire
- Communications
- Cisternes
- Mèninges

Système ventriculaire

- 4 cavités remplies de liquide
 - 2 ventricules latéraux
 - 3^e et 4^e ventricules
- Tapissées de cellules épendymaires
- Remplies de liquide céphalo-rachidien (LCR)

(A)

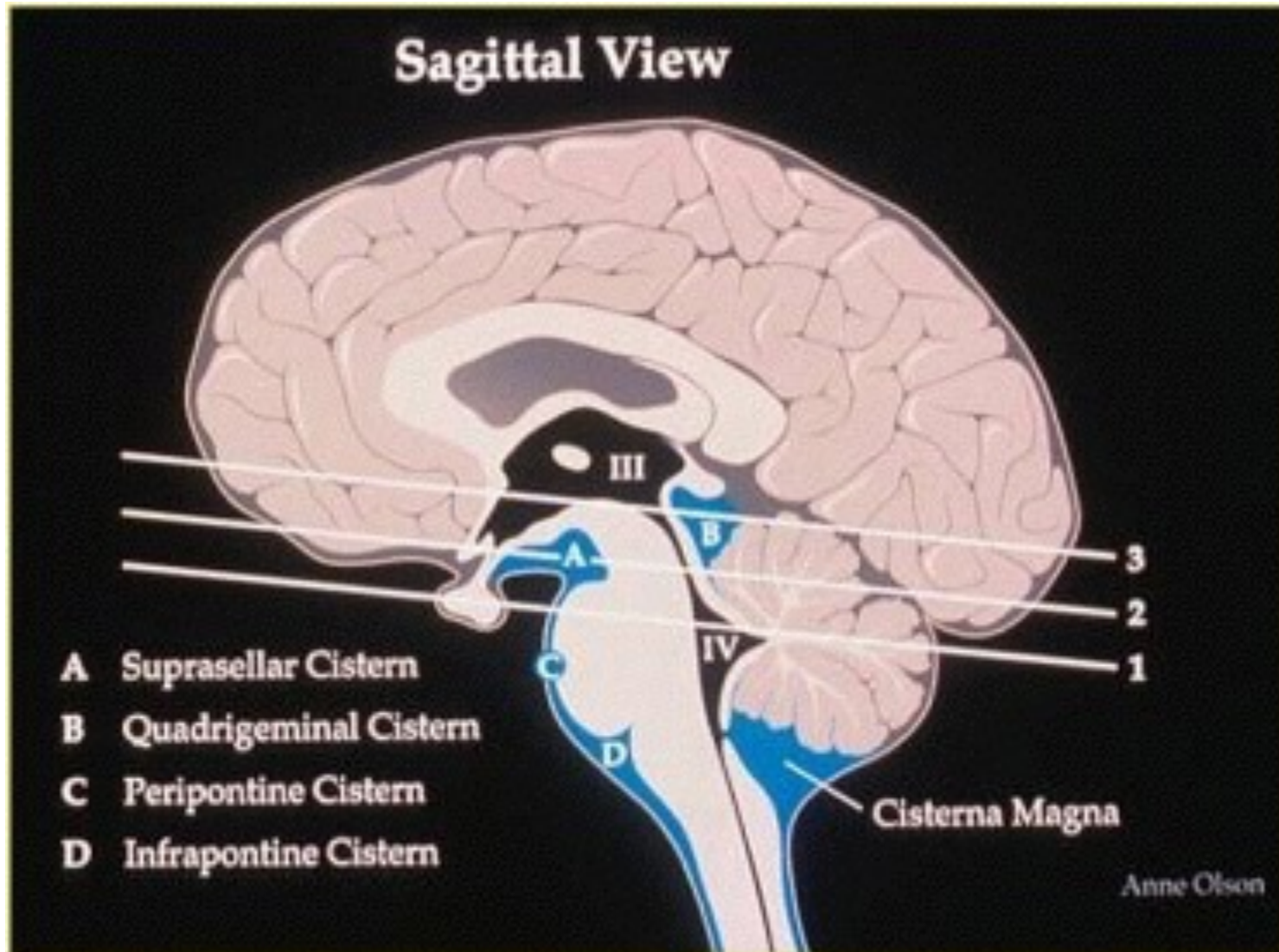


P01181.PIC

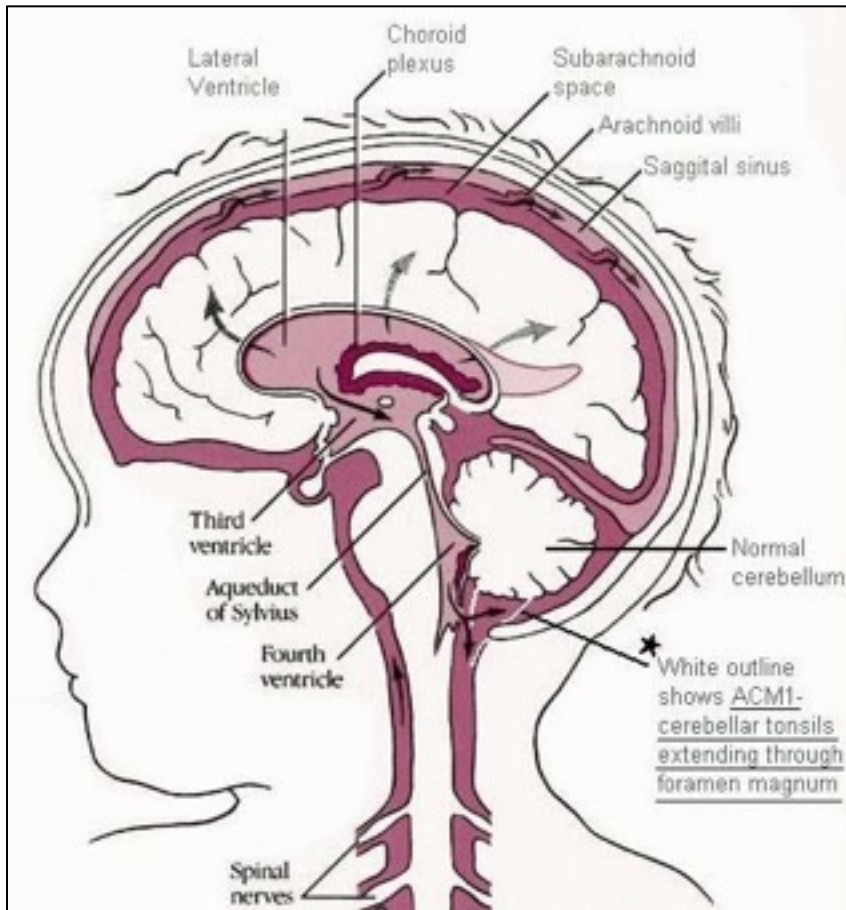
Communications

- Entre ventricules latéraux et 3^e (Monroe)
- Entre 3^e et 4^e ventricules (Sylvius)
- Entre le 4^e ventricule et l'espace sous arachnoïdien:
 - 2 foramina latéraux (Luschka)
 - 1 foramen médian (Magendie)

Citernes principales



Anatomie

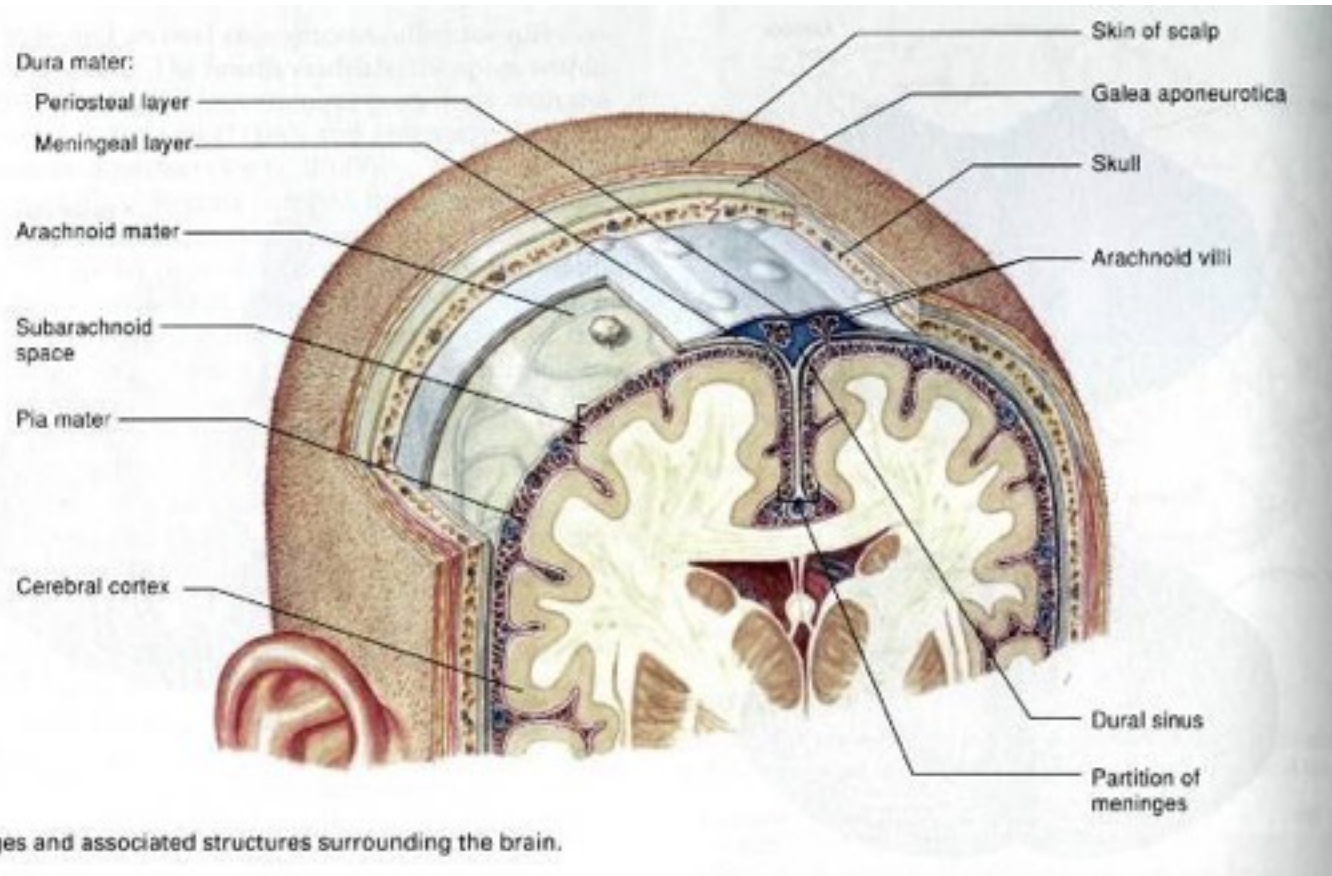


- Ventricules:
 - Latéraux
 - Troisième
 - Quatrième
- Communications:
 - Foramen de Monro
 - Aqueduc de Sylvius
 - Foramina de Luschka
 - Foramen de Magendie
- Citernes

Anatomie: méninges

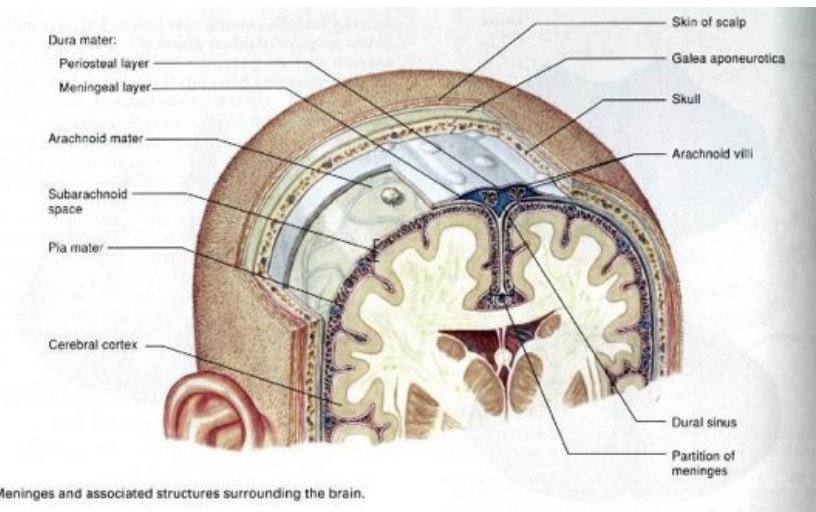
- 3 couches membraneuses couvrant le cerveau
- Continuité avec les méninges couvrant la moelle épinière
 - Dure-mère
 - Arachnoïde
 - Pie-mère

Méninges



Dure-mère

- Membrane la plus externe, composée d'une portion périostée et une portion méningée
- Composée de tissu conjonctif collagèneux; la plus résistante
- En continuité avec la dure mère spinale au niveau du foramen magnum

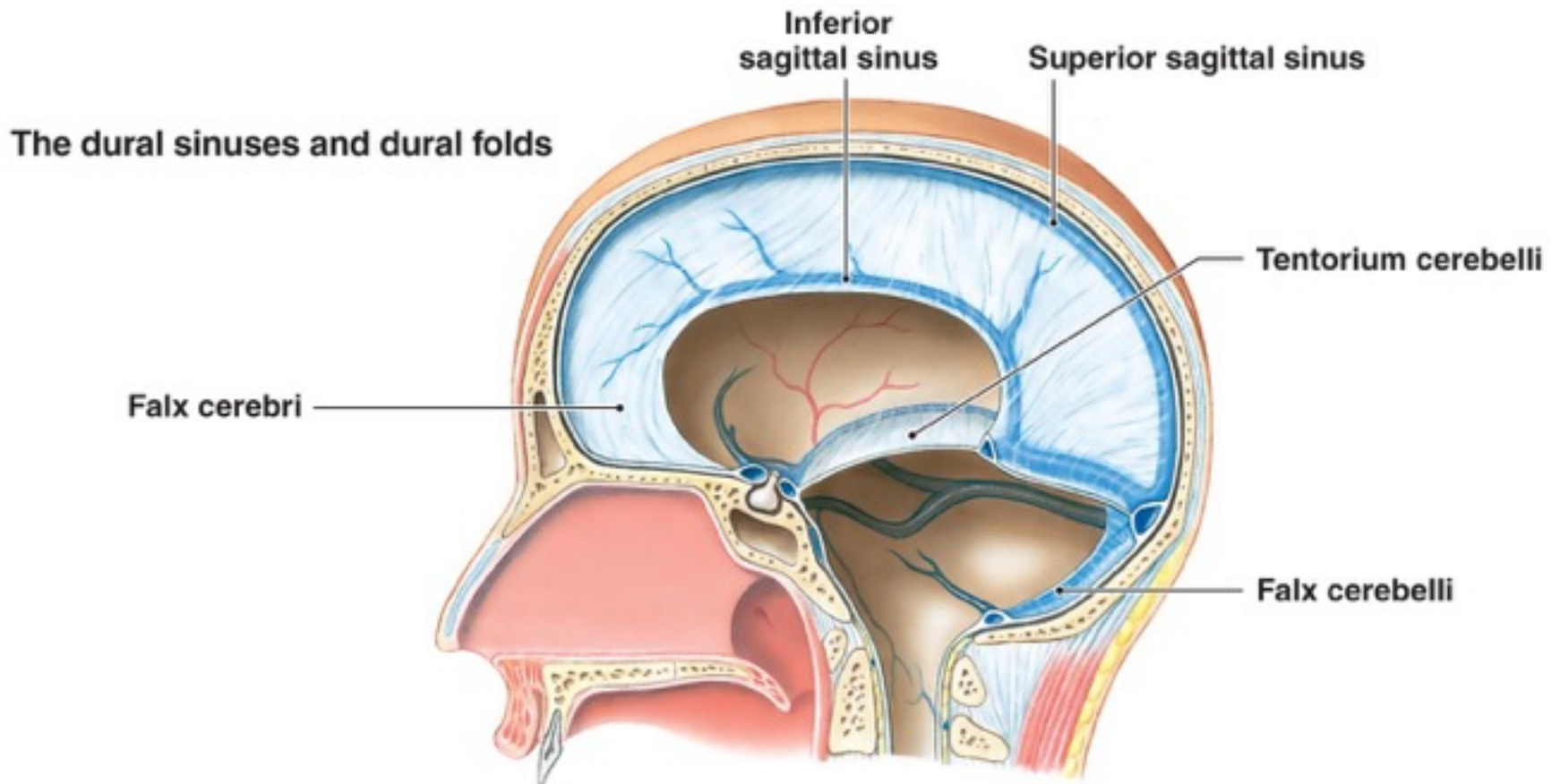


Dure-mère

Forme 4 replis:

1. Faux du cerveau: séparation verticale entre les 2 hémisphères cérébraux
2. Tente du cervelet: séparation du lobe occipital et du cervelet, attachée médialement à la faux du cerveau
3. Faux du cervelet: petit repli médian situé postérieurement à la fosse postérieure, avec petite extension entre les hémisphères cérébelleux
4. Selle diaphragmatique: plancher pour la fosse hypophysaire dans la selle turcique

Dure-mère

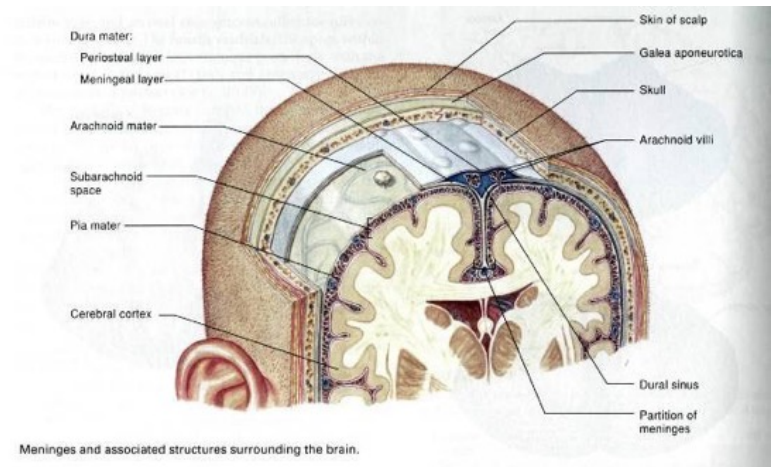


© 2011 Pearson Education, Inc.

Anatomie: méninges

Arachnoïde:

- Membrane délicate et transparente, située entre la dure mère (en externe) et la pie mère (en interne)
- En forme de toile d'araignée
- Passe sur les scissures sans s'invaginer
- Avasculaire



Anatomie: méninges

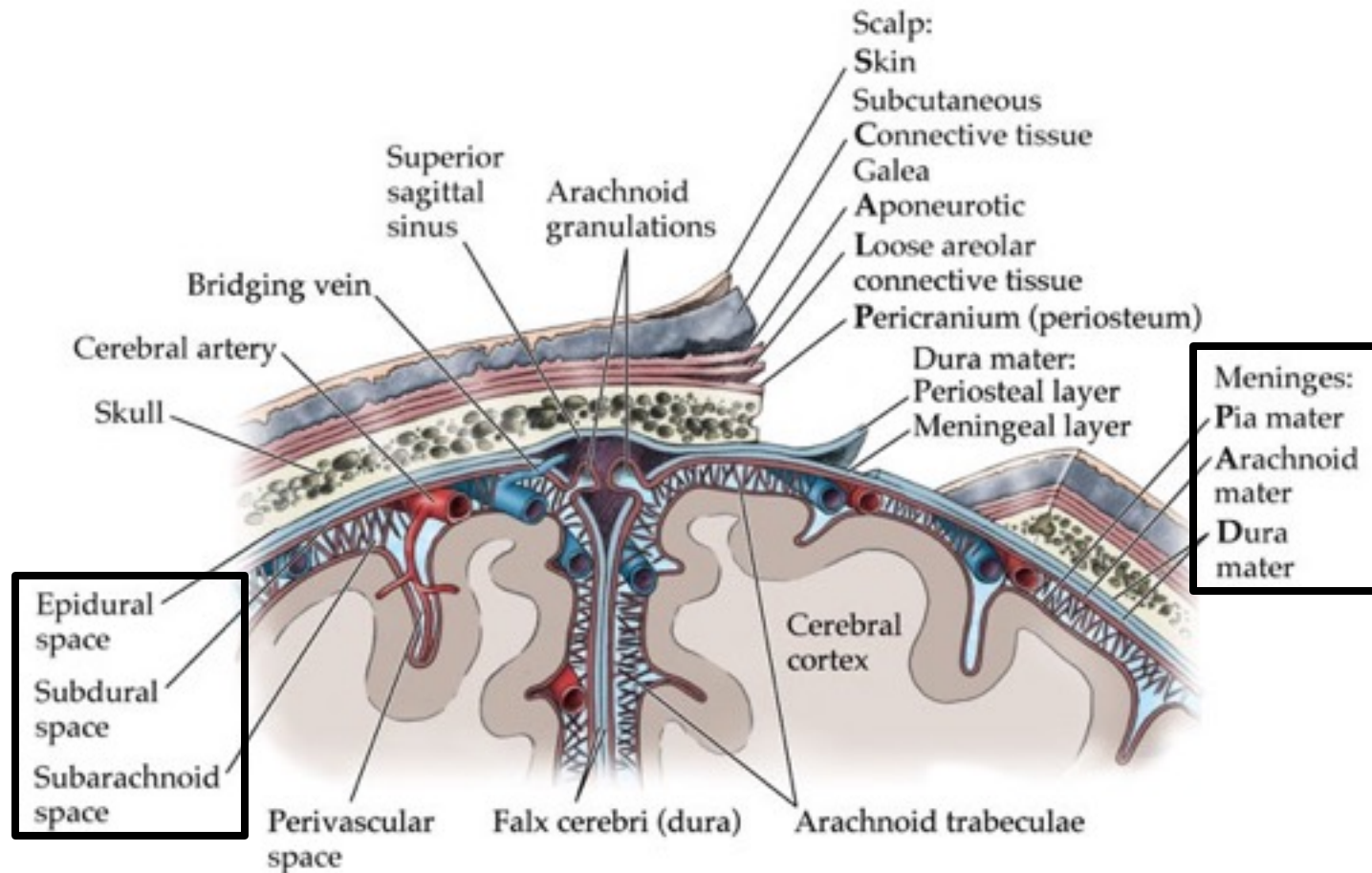
Pie mère:

- Membrane la plus interne, très mince (mais plus épaisse que l'arachnoïde)
- **Hautement vascularisée**
- Adhère de façon très intime avec la surface cérébrale en suivant les scissures

Anatomie: méninges

- Espace épidural:
 - Superficiel à la dure-mère (donc diminue les risques infectieux)
 - Espace virtuel (donc plus difficile d'accès)
- Espace sous-dural:
 - Espace virtuel
 - Sépare la dure mère et l'arachnoïde
- Espace sous-arachnoïdien:
 - Entre l'arachnoïde et la pie-mère
 - Contient le LCR

Anatomie



© 2002 Sinauer Associates, Inc.

Physiologie: LCR

- Liquide remplissant:
 - Système ventriculaire
 - Espace sous arachnoïdien
 - Cérébral
 - Moelle épinière
- Volume total approximatif: 150 ml
- Liquide clair

Physiologie: LCR

Contenu:

- Trace de protéines
- GB absent ou rares
 - Si présents: suspicion d'infection
- Sels inorganiques similaires à plasma
 - Na, Cl, Mg plus élevés
 - K, Ca, Glucose plus bas
 - Glucose approximativement la moitié du sang

Production LCR

- Plexus choroïdiens (50-80%)
 - Structures intraventriculaires
 - Ventricules latéraux et 4^e ventricule surtout
 - 3^e ventricule (contribution moindre)
 - Apport vasculaire: artères choroïdiennes, cérébelleuses inf et post
 - Na-K-ATPase en échange de K⁺ et H⁺
- Surface épendymaire (ad 30%)
 - Tapisse les ventricules
 - Oxydation du glucose par le cerveau
- Substance cérébrale
 - Via espaces périvasculaires (espace Virchow-Robin)
 - Ultrafiltration des capillaires cérébraux

Physiologie: LCR

Production:

- Taux de formation: 0.35 ml/minute (ou 20 ml/h, or 500 ml/j)
- Temps de renouvellement: 5 heures
- Production non régulée par la pression
- Production non affectée par les mécanismes de réabsorption

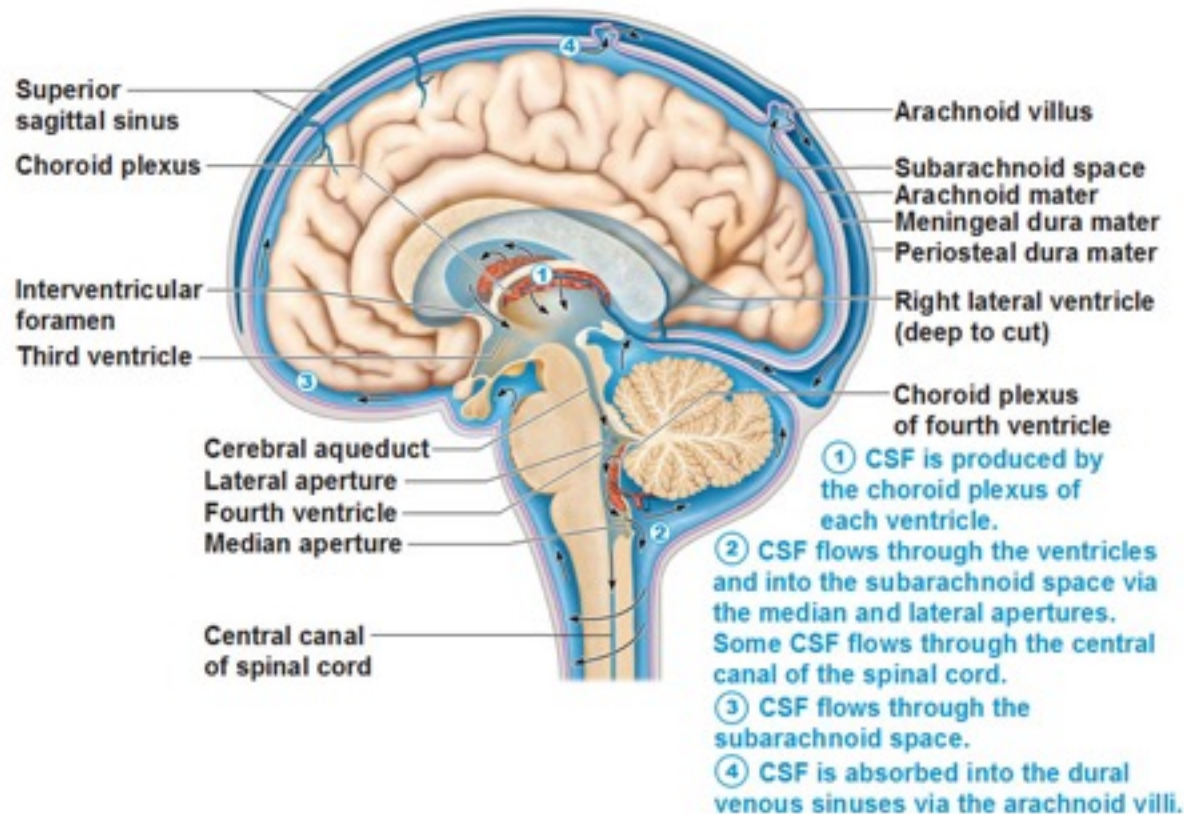
Physiologie: LCR

Circulation:

- Système ventriculaire
- Sortie par foramen de Luschka et de Magendie
- Circulation a/n espace sous-arachnoïdien
 - Cerveau
 - Moelle
- Absorption

Circulation du LCR

Circulation of Cerebrospinal Fluid (CSF)

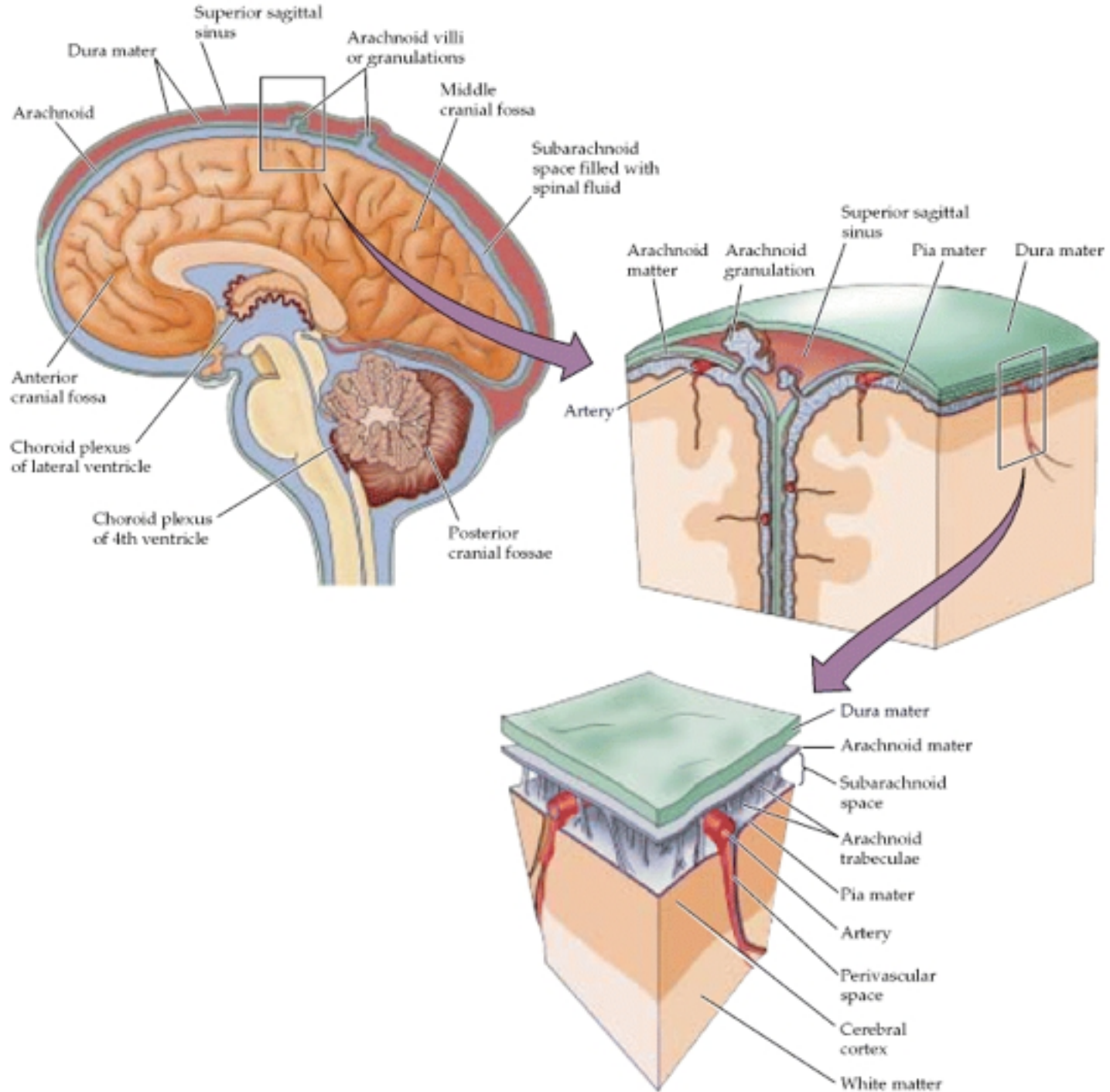


Absorption du LCR

- Villosités et granulations arachnoïdiennes (sinus veineux durs)
 - Villosités arachnoïdiennes: structures microscopiques
 - Granulations arachnoïdiennes: structures macroscopiques
- Sites intracrâniens (85%) ou spinaux (15%)
- Possible si pression du LCR > pression veineuse
 - Open channels (valves unidirectionnelles)

Villosités arachnoïdiennes

- Se projettent dans les sinus veineux
 - Surtout a/n du sinus sagittal supérieur
- Regroupées pour former les granulations
 - Taille et nombre augmentent avec l'âge
 - Calcification avec âge avancé
- Chaque villosité forme un diverticulum qui se projette dans la dure-mère





LCR: rôles

- Support et protection lors des mouvements ou changements de position
 - Cerveau = solide visco-élastique
 - Poids dans l'air: 1400g
 - Poids effectif dans le LCR: 50g
 - Support et protection aidés par méninges et calvarium
- Contrôle de l'environnement chimique
 - Préservation de l'homéostasie du SNC
 - Substrat physiologique
 - Transport des produits du métabolisme neuronal

Physiologie: LCR

- Facteurs affectant la production de LCR:
 - Stimulation neurogénique
 - Augmentation ad 30% via stimulation sympathique
 - Tumeurs (papillome du plexus choroïde)
 - Augmentation de la PIC (peu d'effet)
- Facteurs affectant l'absorption de LCR:
 - Modifications de la PIC et de la pression veineuse

Physiologie: LCR

Médicaments:

- Effets sur la PIC basés sur la combinaison du changement de la production et de l'absorption (effet net)
- Anesthésiques inhalés:
 - Profil dommageable pour enflurane et halotane
 - Possibilité de LCR augmenté avec Iso, Sévo et Desf avec effet dose dépendant, et étiologie différente:
 - Desf: augmentation de la production
 - Iso et Sévo: augmentation de la résistance à l'absorption
- Anesthésiques IV:
 - Profil neutre ou favorable pour la plupart sauf:
 - KÉTAMINE qui augmente la résistance à l'absorption

Physiologie: LCR

Médicaments:

- Narcotiques: profil neutre ou favorable
- Diurétiques:
 - La plupart diminuent la formation de LCR
 - Acetazolamide est le meilleur: inhibition de l'anhydrase carbonique: diminue la quantité de ions hydrogène disponibles pour l'échange avec le Na, ce qui diminue le gradient osmotique.
 - Furosémide: diminue le transport de Na et de Cl, réduisant ainsi le gradient osmotique
 - Mannitol: diminue la production via les plexus choroïdes et diminue le flot du tissu cérébral (ECF space) vers le compartiment de LCR macroscopique

Physiologie

Doctrine Monroe-Kellie

- 3 compartiments essentiellement non-compressibles :
 - 80% tissu cérébral (1200-1600 cc)
 - 10% LCR (100-150 cc)
 - 10% sang (100-150 cc)
- Boîte crânienne rigide

Physiologie

Doctrine Monroe-Kellie

- Situation normale:
 - Équilibre dynamique entre les 3 composantes
- Situation anormale:
 - Augmentation du volume d'une des composantes
 - Doit entraîner une diminution du volume des autres composantes SINON
 - Augmentation de la PIC

Facteurs entraînant la modification du volume intracrânien

- Volume ajouté: vitesse d'expansion
- Volume tissulaire: formation d'œdème
- LCR:
 - Production et absorption
 - Position de la tête
 - Translocation extracrânienne
- Volume sanguin:
 - TA
 - PaCO_2
 - Position de la tête
 - Médicaments vasodilatateurs cérébraux

Facteurs entraînant la modification du volume intracrânien

Exemple: tumeur cérébelleuse avec compression du 4e ventricule:

1....

2....

3....

4....

Facteurs entraînant la modification du volume intracrânien

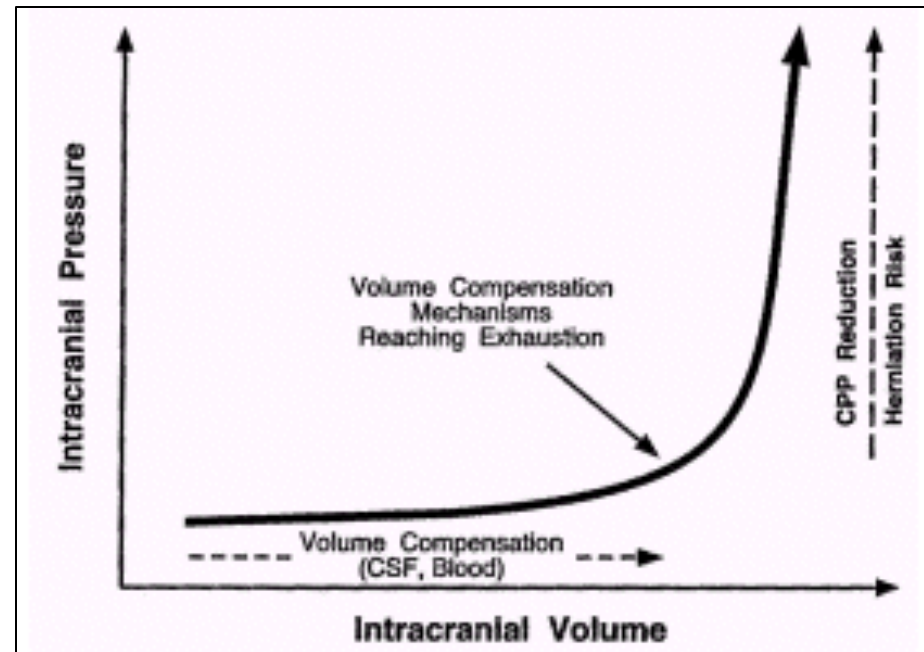
Exemple: tumeur cérébelleuse avec compression du 4^e ventricule:

1. Augmentation de volume secondaire à la pathologie elle-même
2. Augmentation du tissu cérébral sain via œdème péri-lésionnel
3. Augmentation du volume de LCR via diminution de l'absorption (circulation de LCR interrompue car 4^e ventricule est obstrué) et par impossibilité de translocation extracrânienne vers l'espace sous arachnoïdien spinal
4. Augmentation du volume sanguin via augmentation de la TA (si perte d'autorégulation), et via augmentation de la PCO₂ si compression du tronc cérébral

Physiologie

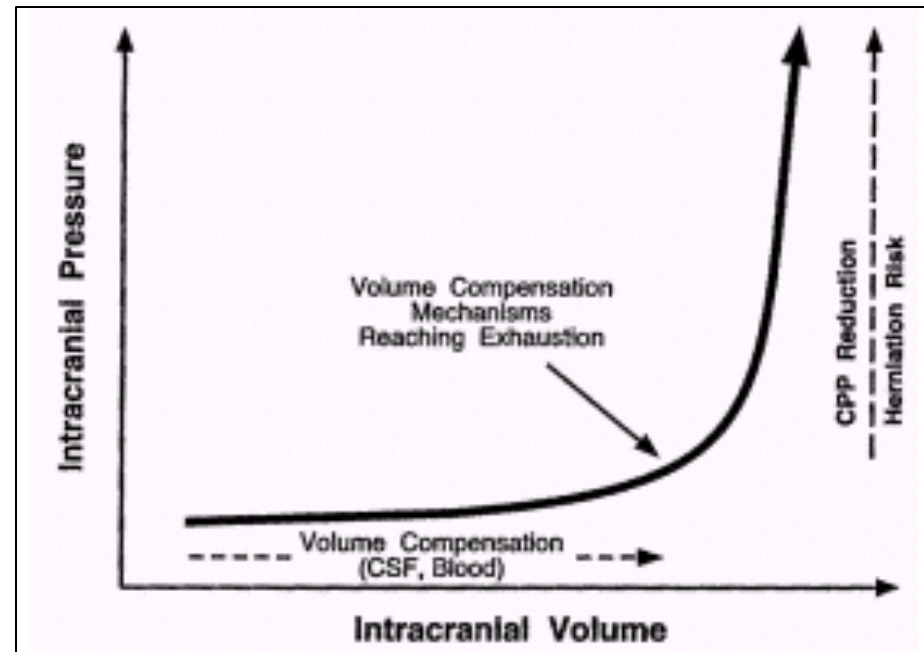
Relation pression/volume:

- Non linéaire
- Reflet de:
 - Propriétés viscoélastiques du cerveau
 - Intégrité des mécanismes compensatoires



Physiologie

- Compensation:
 - Expansion du volume d'un des 3 compartiments
 - Contraction du volume des autres compartiments
- Compensation presque complète:
 - Augmentation minimale du volume et de la PIC
- Mécanismes compensatoires épuisés:
 - Augmentation de la PIC si augmentation du volume intracrânien



Physiologie

Mécanismes compensatoires:

- LCR:
 - Translocation du LCR vers l'espace sous arachnoïdien spinal
 - Augmentation de l'absorption de LCR
 - Mécanisme primaire et principal
- Volume sanguin cérébral:
 - Translocation du sang veineux vers réseau veineux extracrânien
 - Mécanisme secondaire et limité
- Tissu cérébral:
 - Réduction de volume très limitée

Physiologie

Mécanismes compensatoires sont donc:

- Essentiels pour maintenir la PIC constante
- Épuisables dans plusieurs circonstances

Physiologie

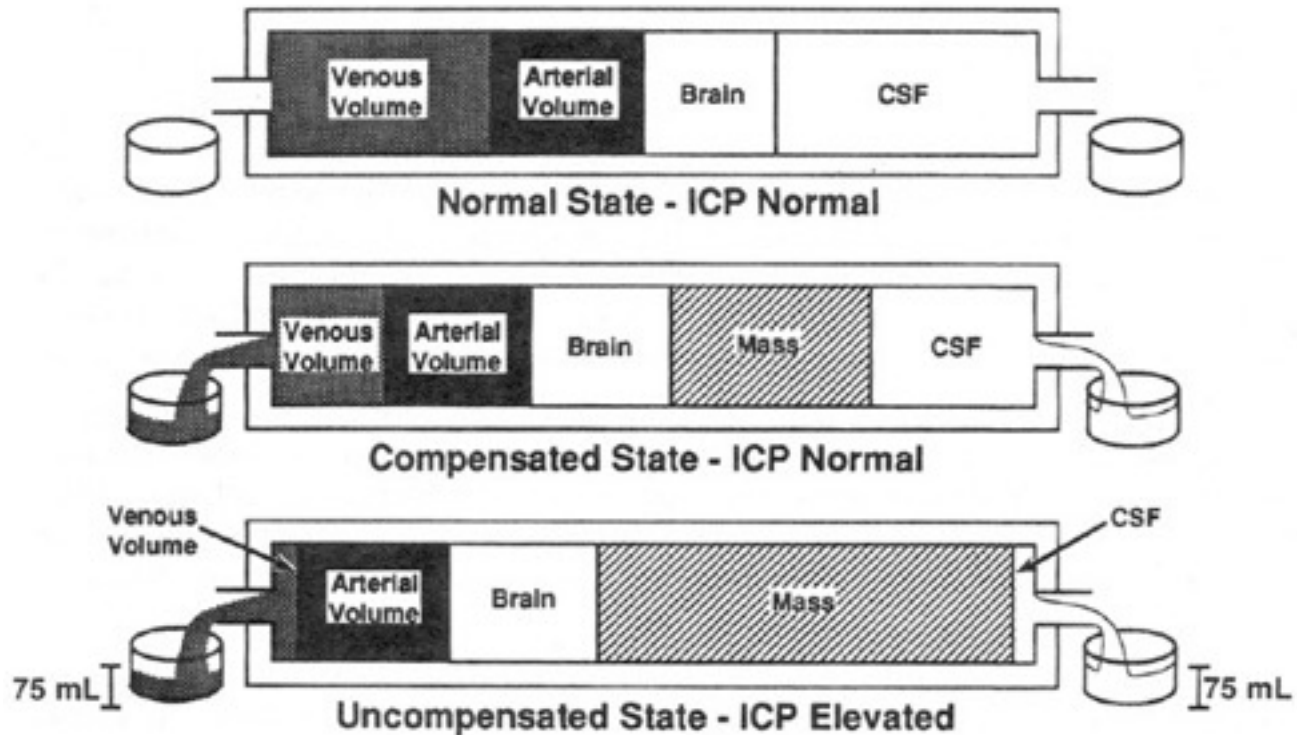
Efficacité des mécanismes compensatoires:

- Taille de la masse
- Vitesse d'expansion de la masse
- Degré d'œdème cérébral
- Intégrité de l'autorégulation

Physiologie

FIGURE 1
MONRO-KELLIE DOCTRINE

INTRACRANIAL COMPENSATION FOR EXPANDING MASS



Courbe Pression / Volume

- Compliance:
 - Tolérance à l'ajout de volume
 - $\Delta V / \Delta P$
 - $<0.5\text{ml/mmHg}$ = pathologique
 - Indice de réserve compensatoire
- Quantification de la compliance:
 - Pressure-volume index (PVI)
 - $\text{PVI} = \Delta V / (\log (P_p / P_o))$
 - Volume ajouté pour faire augmenter la PIC de 10 fois
 - PVI 22-30 ml = normal
 - PVI 13 ml ou moins = critique

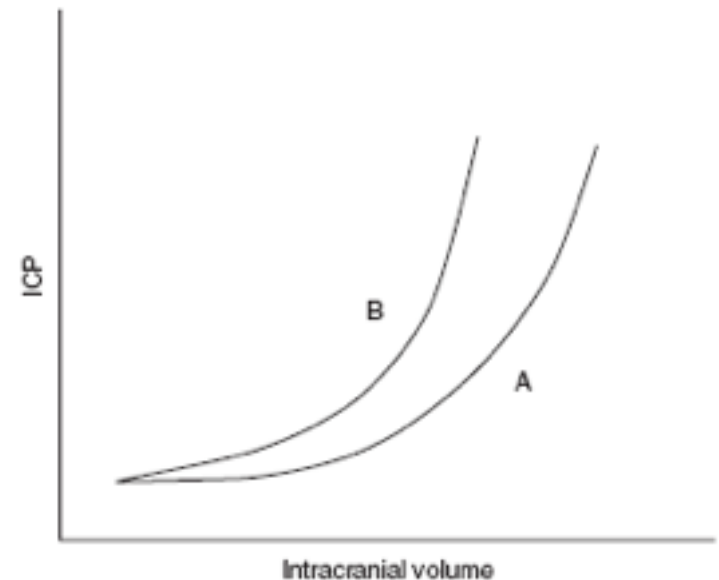


Figure 1 Pressure volume curves of the craniospinal contents: (A) normal pressure-volume curve of a compliant system; (B) pressure-volume curve when brain compliance is reduced.

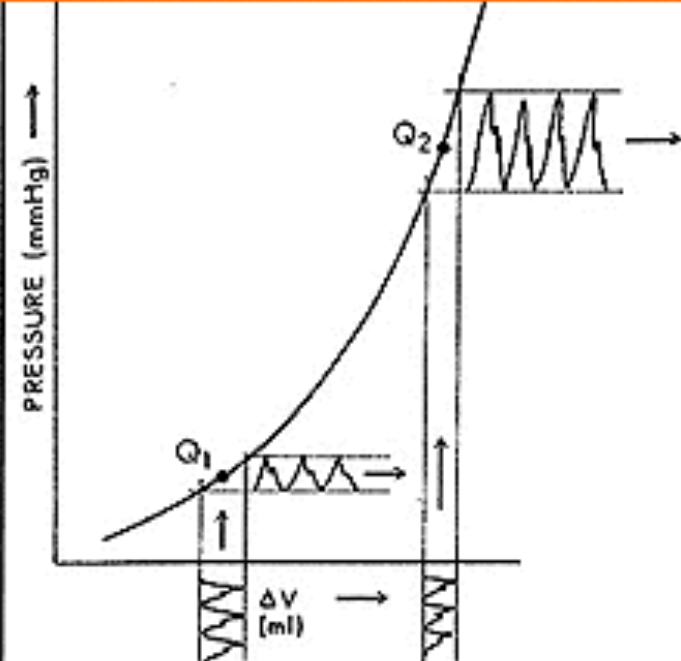
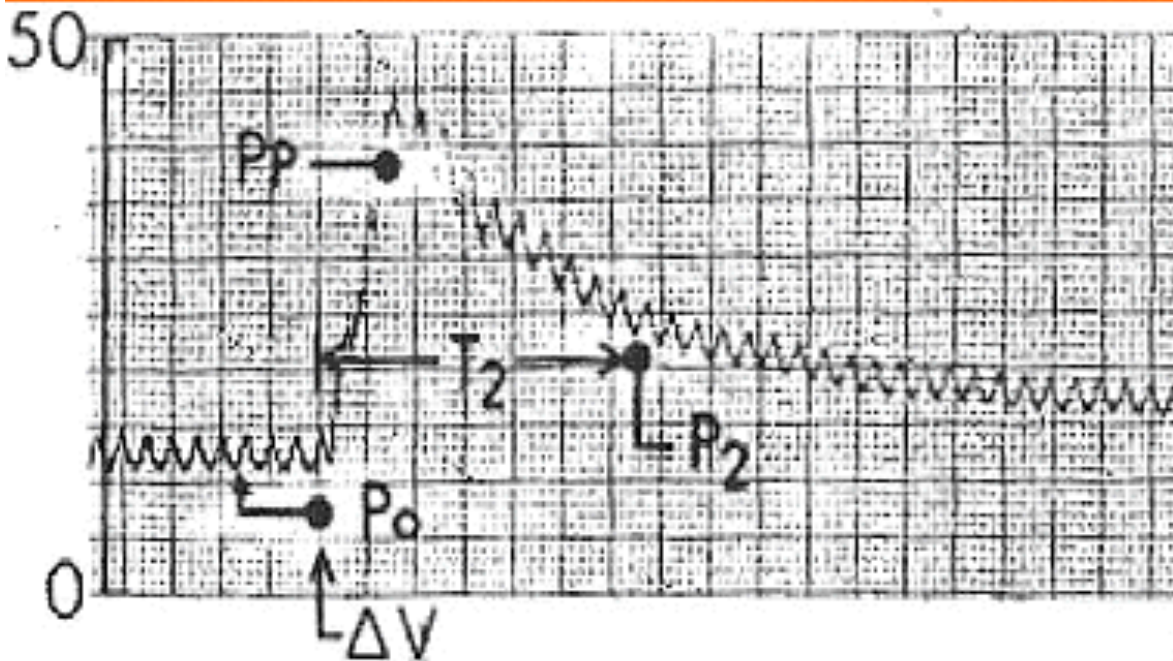
Courbe Pression / Volume

- Élastance:
 - Changement de pression par rapport à un changement unitaire de volume
 - $\Delta P / \Delta V$ (inverse de la compliance)
- Quantifiée par le VPR (volume-pressure response test)
- $VPR = \Delta P / 1 \text{ ml (1 sec.)}$
 - Basse pression: élastance faible
 - Haute pression: élastance élevée
- VPR:
 - Normal: 0 -2 mmHg / ml
 - Pathologique: $\geq 5 \text{ mmHg / ml}$

Courbe Pression / Volume

Medscape®

www.medscape.com



Source: Neurosurg Focus © 2003 American Association of Neurological Surgeons

Courbe Pression / Volume

Capacitance cérébrale:

- Concept de vitesse d'accommodation du cerveau à un volume intracrânien
- Déterminée par des mesures de compliance dans le temps
- Prédiction de l'impact clinique d'une lésion cérébrale évolutive

Physiologie

- Valeurs normales de la PIC
 - Adultes: 0-10 mmHg (<10-15 mmHg)
 - Enfants: 0-5 mmHg (3-7 mmHg)
- Variations physiologiques de la PIC
 - Position corporelle
 - Pression intra-abdominale et intra-thoracique
 - Toux peut augmenter la PIC ad 60 mmHg
 - Retour veineux cérébral
 - Sommeil

Physiologie

- Valeurs anormales de la PIC:
 - > 15 mmHg soutenu
 - 20 mmHg: limite acceptable chez le trauma crânien
 - 21 - 40 mmHg: HTIC modérée
 - > 40 mmHg: HTIC sévère
 - > 60 mmHg: HTIC critique

Buts du monitoring

- Optimiser la pression de perfusion cérébrale ($PPC = TAM - PIC$)
- Détecter précocement les variations de la PIC
- Évaluer les répercussions de nos actions (positionnement, anesthésie)
- Guider le traitement
- Améliorer le devenir

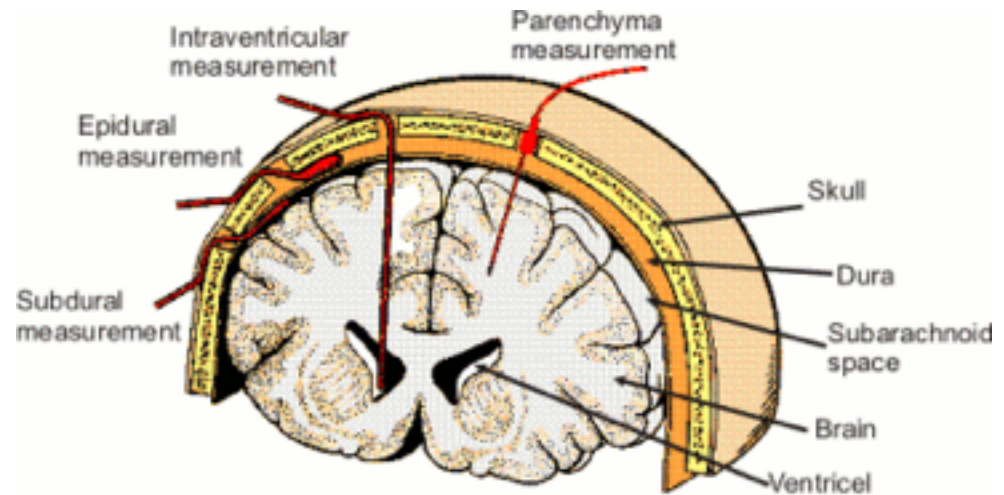
Types de moniteurs

4 sites anatomiques:

1. Intraventriculaire
2. Intraparenchymateux
3. Sous-arachnoïdien
4. Épidural

3 types de transducteurs:

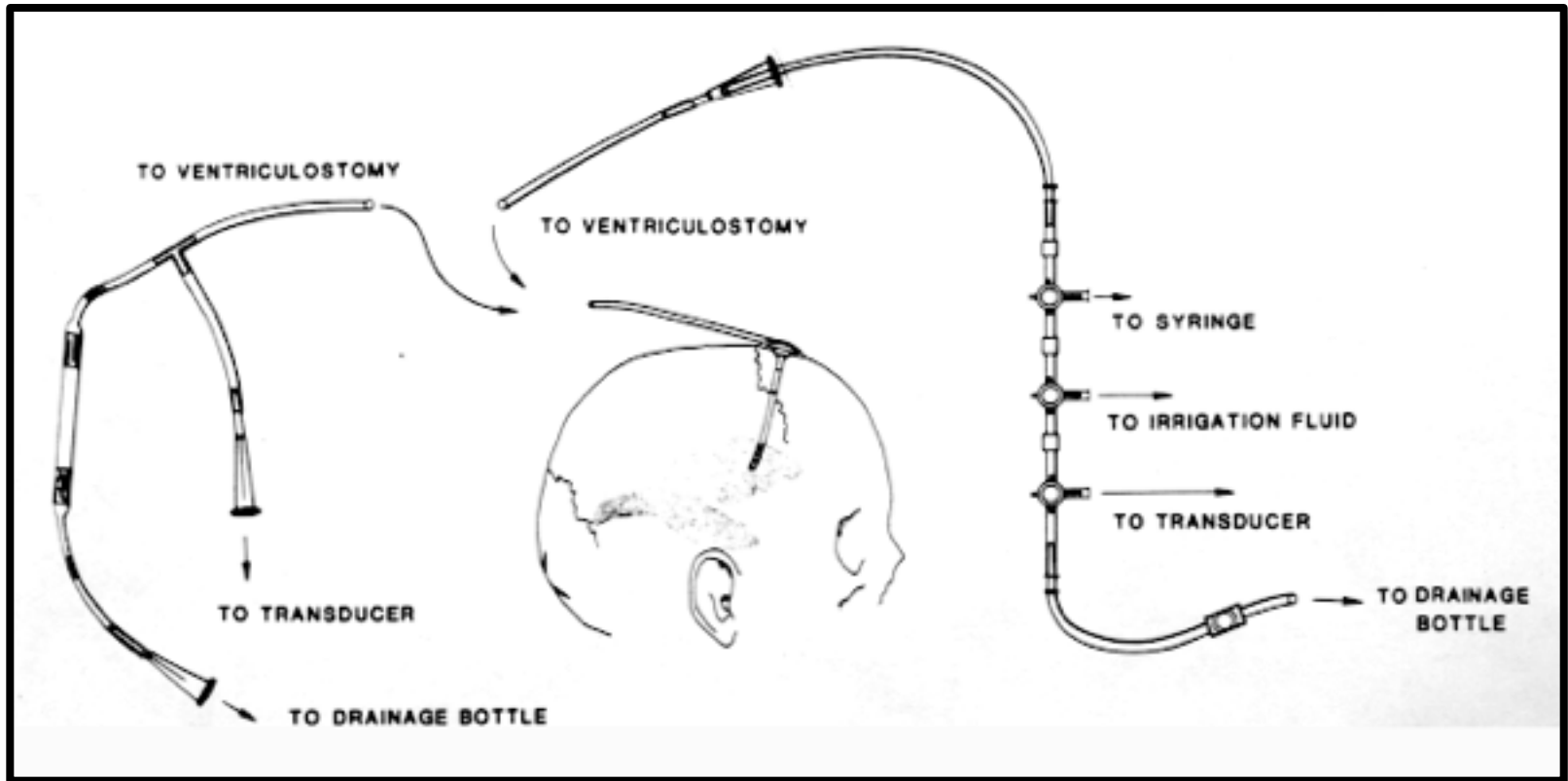
1. Mécanique
 - Capteur externe
 - Capteur interne
2. Pneumatique
3. Optique



Cathéter intraventriculaire

- Gold standard
- Site de mesure: intraventriculaire
- Type de transducteur: mécanique avec capteur externe
- Technologie:
 - Système fermé: ventriculostomie reliée à un transducteur de pression externe via tubulure liquidienne
 - Possibilité de drainage de LCR et d'irrigation
 - Monitoring de la PIC
 - Zéro a/n canal auditif externe (foramen de Monro)

Cathéter intraventriculaire



Cathéter intraventriculaire

- Avantages:
 - Retrait LCR thérapeutique ou diagnostic
 - Calcul de la compliance
 - Re-calibration facile
 - Faible coût
- Inconvénients:
 - Installation difficile (surtout si distorsion anatomique)
 - Obstruction de la colonne liquidienne
 - Complications hémorragiques (1%) ou infectieuses

Cathéter intraventriculaire

Complications infectieuses

- Colonisation vs infection
- Colonisation 10-17% (ad 40%)
- Facteurs de risque:
 - Hémorragie intracérébrale avec extension intraventriculaire
 - PIC > 20 mmHg
 - Durée du monitoring (<72h vs >5 jours)
 - Neurochirurgie concomitante
 - Irrigation du système
 - Infection systémique
- Antibioprophylaxie non recommandée

Cathéter intraparenchymateux

- Site de mesure: parenchyme cérébral
- Type de transducteur: fibre optique
- Monitoring de la PIC lorsque les ventricules sont non accessibles ou que le drainage de LCR est non nécessaire
- Technologie fibre optique:
 - Transmission de pression par le mouvement d'un diaphragme au bout du cathéter
 - Émission de lumière qui est réfléchi sur le diaphragme
 - Différence entre lumière émise et réfléchi est proportionnelle à la PIC
- Mise à zéro à la pression atmosphérique avant l'insertion

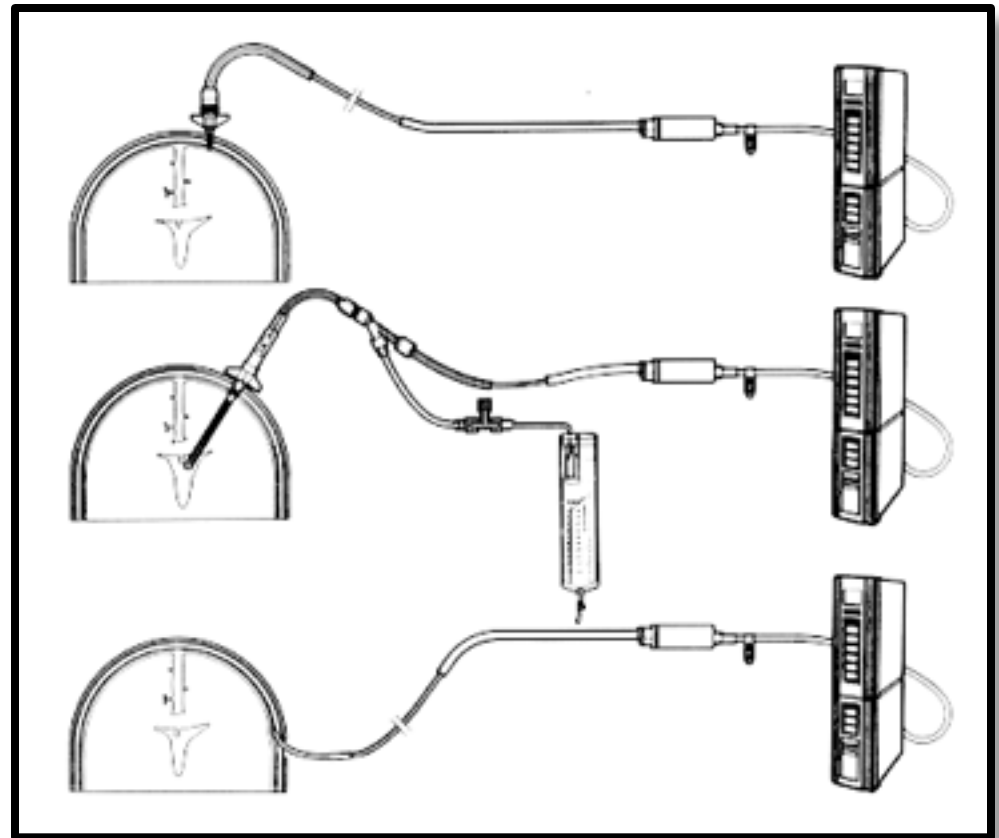
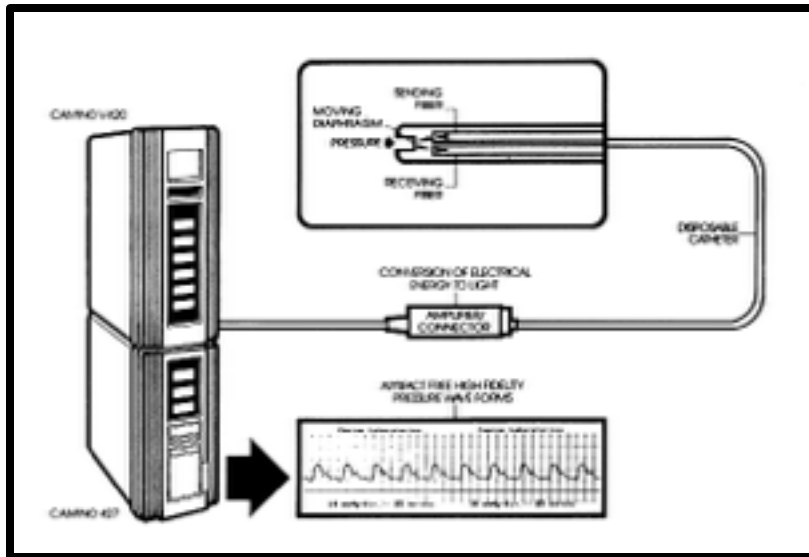
Cathéter intraparenchymateux

- Avantages:
 - Installation facile
 - Précis et fiable
 - Risque infectieux plus faible
 - Dommages cérébraux moindres
- Inconvénients:
 - Retrait de LCR impossible
 - Système fragile
 - Recalibration impossible
 - Coût élevé

Transducteur fibre optique

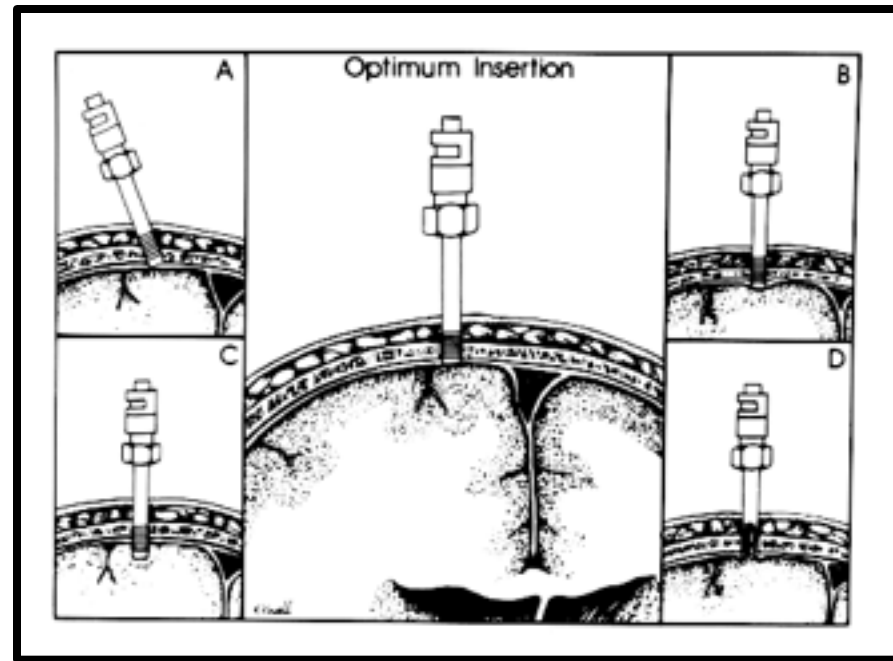
- Avantages:
 - Risque infectieux faible
 - Fiable et précis
 - Monitoring de PIC, DSC, oxygénation tissulaire
- Inconvénients:
 - Recalibration impossible in situ
 - Retrait de LCR impossible (sauf si associé à ventriculostomie)

Transducteur fibre optique



Vis sous-arachnoïdienne

- Site de mesure: espace sous-arachnoïdien
- Type de transducteur : mécanique avec capteur externe
- Monitoring de la PIC lorsque les ventricules sont non accessibles (œdème cérébral)
- Technologie:
 - Vis creuse insérée via trou de trépan
 - Transducteur de pression externe via tubulure liquidienne
 - Interface via membrane arachnoïdienne

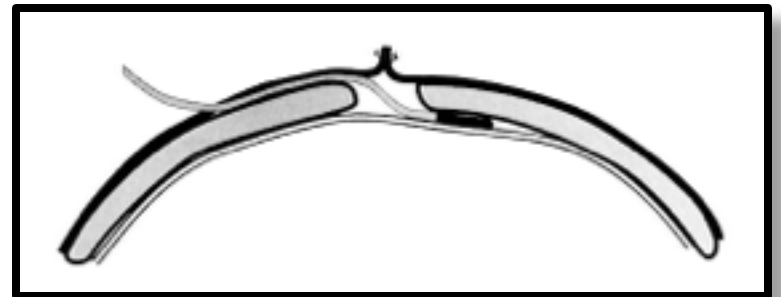
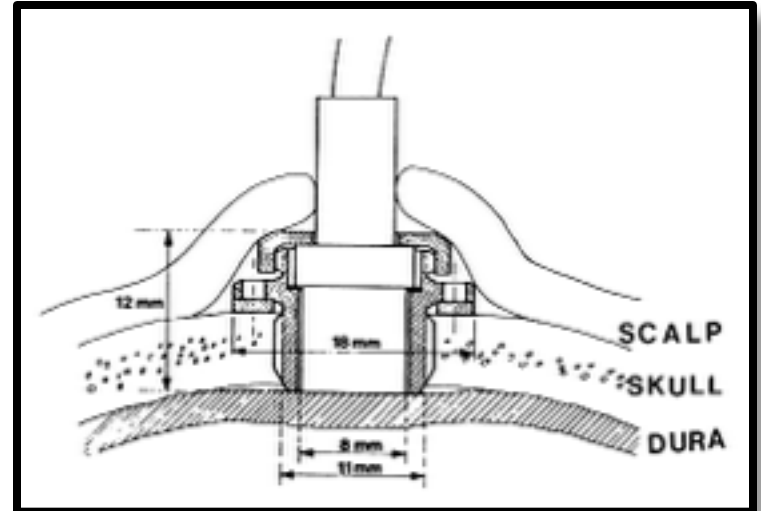


Vis sous-arachnoïdienne

- Avantages:
 - Pas de pénétration du tissu cérébral
 - Localisation des ventricules non nécessaire
 - Risques infectieux et hémorragique plus faibles
- Inconvénients:
 - Retrait de LCR impossible
 - Atténuation des ondes avec le temps
 - Occlusion du système
 - Complication: fuite de LCR

Monitorage épidural

- Site de mesure: espace épidural
- Types de transducteur:
 - Mécanique avec capteur interne (capteur, cathéter)
 - Pneumatique
 - Optique
- Technologie:
 - Insertion via trou de trépan
 - Interface via dure-mère



Monitorage épidural

- Avantages:
 - Risque infectieux faible
- Inconvénients:
 - Difficulté d'insertion
 - Retrait de LCR impossible
 - Méthode de mesure indirecte
 - Précision et fiabilité moindres

Monitorage pneumatique

- Technologie récente:
 - Cathéter avec ballon (air)
 - Détection des variations de pression à l'extrémité du KT
 - Recalibration in situ automatique
 - Intraparenchymateux, intraventriculaire ou épidural
- Possibilité de mesure de la compliance
 - Outil de recherche
 - Détection précoce des décompensations critiques
 - Corrélation avec devenir non démontrée

Monitorage pneumatique



Types de moniteurs

TABLE 13-4. ICP MONITORING DEVICES AND THEIR MANUFACTURERS

Device Type	Manufacturer
Intraventricular devices	
Catheter	Cordis Corporation; Pudenz-Schulte Medical
Fiberoptic transducer	Camino Laboratories Inc.; InnerSpace Medical
Intraparenchymal devices	
Fiberoptic transducer	Camino Laboratories Inc.; InnerSpace Medical
Subarachnoid devices	
Bolt	Pudenz-Schulte Medical
Cup catheter	Cordis Corporation
Fiberoptic transducer	Camino Laboratories Inc.; InnerSpace Medical
Epidural devices	
Strain-gauge transducer	Medical Measurements Inc.
Fiberoptic transducer	Camino Laboratories Inc.; InnerSpace Medical
Pneumatic transducer	Ladd Research Industries Inc.

Courbes de PIC

Courbe normale:

- Tracé similaire à courbe artérielle
- 3 composantes artérielles distinctes:
 - P1: onde de percussion
 - P2: onde tidal
 - P3: onde dicrote
- 1 composante veineuse (descente P1)
- Variations respiratoires dans le temps

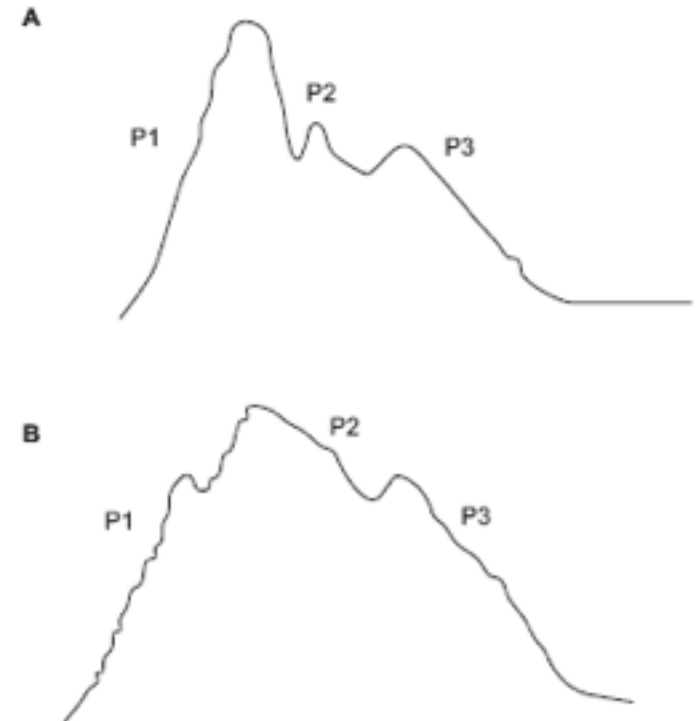


Figure 2 Intracranial pressure waveforms: (A) normal; (B) intracranial pressure waveform from a non-compliant system with P2 exceeding P1.

Courbes de PIC

Courbe anormale:

- Augmentation de la valeur de base
- Onde P2 > onde P1
- Disparition de la descente P1
- Amplification des variations respiratoires
- Peut précéder l'augmentation de la PIC
- Représente un cerveau non compliant

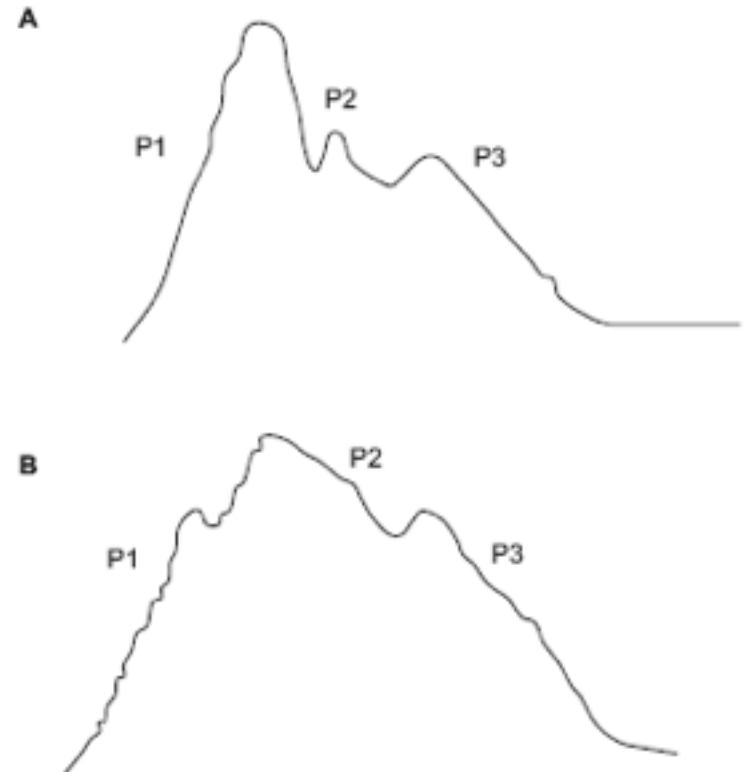
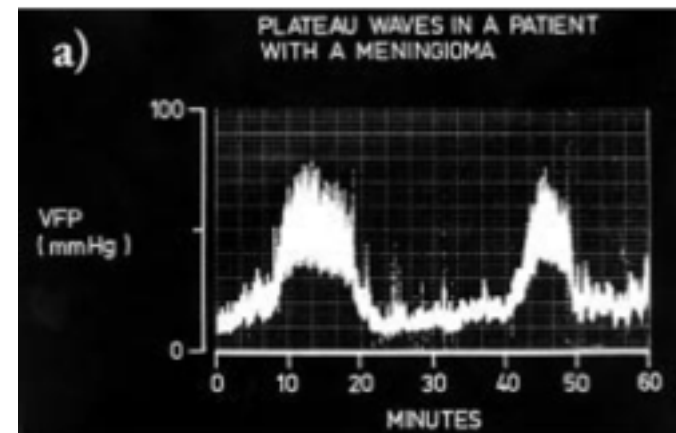
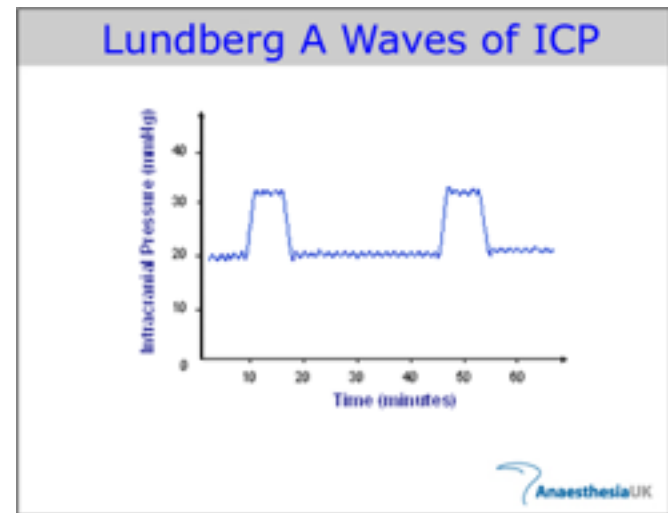


Figure 2 Intracranial pressure waveforms: (A) normal; (B) intracranial pressure waveform from a non-compliant system with P2 exceeding P1.

Courbes de PIC: ondes de Lundberg

Ondes A plateau

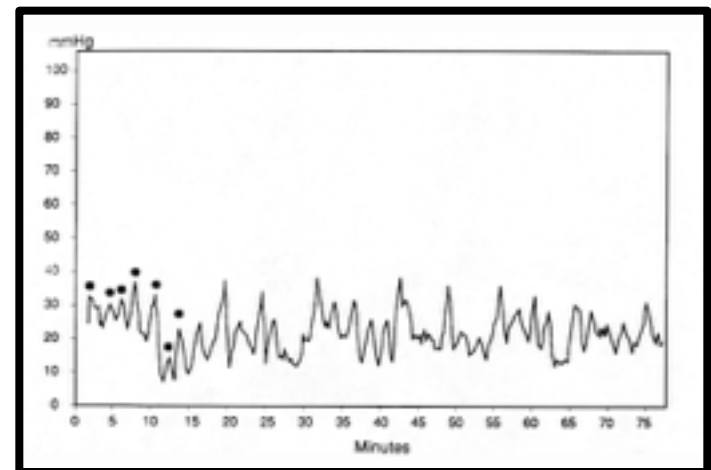
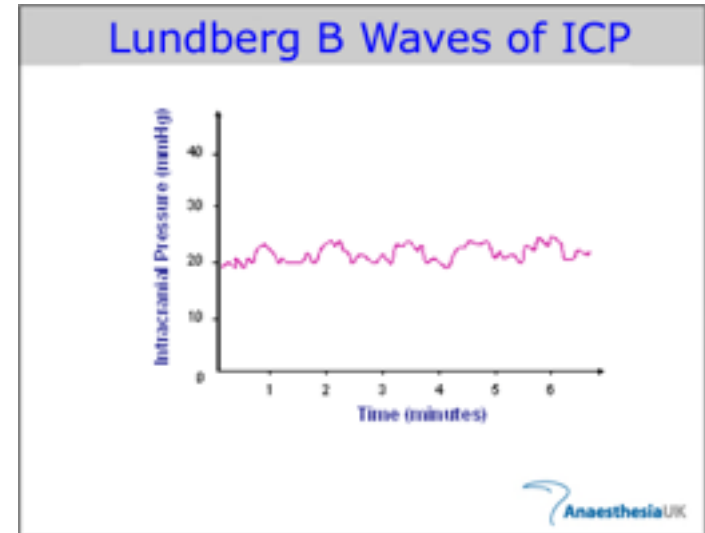
- Montée abrupte
- Plateau ad 50 mmHg ou plus
- Durée 5-20 minutes
- Descente abrupte
- Augmentation de la PIC de base
- Compliance grandement réduite
- Toujours pathologique
- Souvent associé à détérioration neurologique



Courbes de PIC: ondes de Lundberg

Ondes B

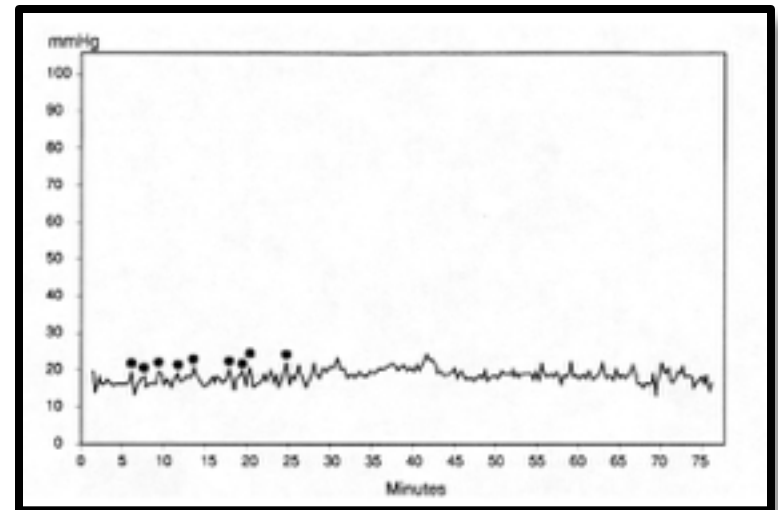
- Oscillations rythmiques q 1-2 minutes
- Augmentation crescendo de la PIC (20-30 mmHg)
- Descente abrupte de la PIC à niveau de base
- Souvent associées avec respiration Cheyne-Stokes
- Peut précéder apparition des ondes A
- Décompensation imminente



Courbes de PIC: ondes de Lundberg

Ondes C

- Oscillations: fréquence 4-8 par minute
- Synchrone avec variations de la TA
- Amplitude plus faible que ondes B
- Signification pathologique limitée
- Parfois présentes même si PIC normale



Compartimentation

- Compartimentation: barrières anatomiques qui font en sorte que des zones de l'espace intracrânien se comportent comme si elles étaient isolées du reste de l'espace intracrânien
- Séparation hémisphérique: limite le déplacement droite - gauche
- Séparation tente du cervelet: limite le déplacement cranio-caudal

Compartimentation

- Séparation hémisphérique:
 - Faux du cerveau
 - Communication via ouverture à la base de la faux au niveau du corps calleux
- Séparation fosses antérieure / moyenne de la fosse postérieure:
 - Tente du cervelet
 - Communication via incisure tentorielle
- Isolation infratentorielle:
 - Communication avec espace sous-arachnoidien spinal via foramen magnum

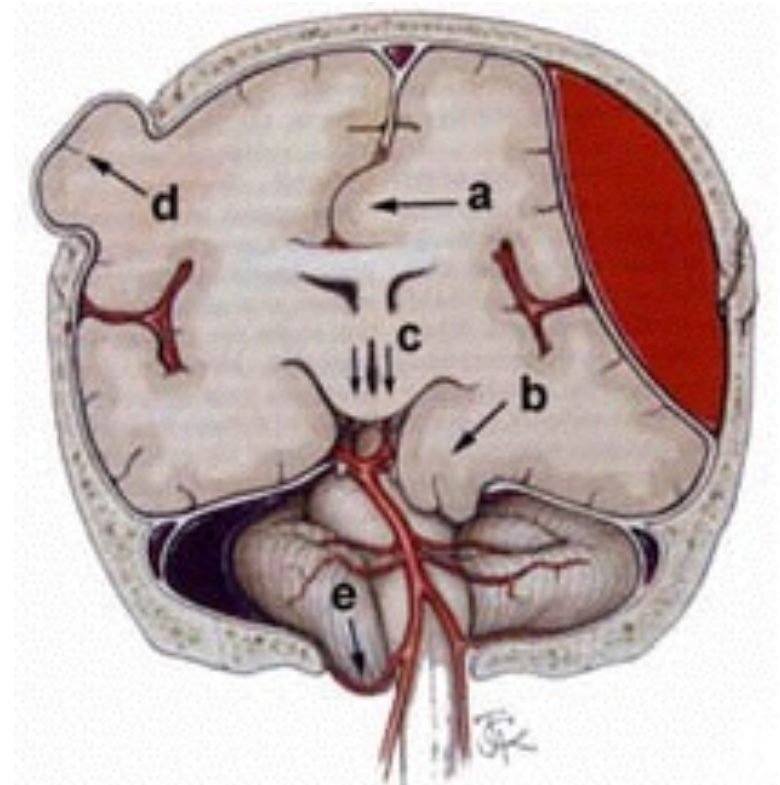
Herniation de tissu cérébral

Herniation:

- Déplacement du contenu intracrânien
- D'un compartiment vers un autre
- Gradient de pression plus grand que résistance du tissu cérébral à la distorsion

Herniation de tissu cérébral

- a) Subfalcine
- b) Transtentorielle uncale
- c) Transtentorielle centrale
- d) Transcalviaire
- e) Tonsillaire



Vignette clinique #1

- Femme 48 ans
- HSA grade IV non sécurisée
- Hydrocéphalie aigue
- TA 160/95

- SOP: DVE pré-embolisation

Vignette clinique #2

- Femme 48 ans
- Gliome de bas grade
- TA 120/70

- SOP: Craniotomie frontale droite pour résection tumorale

Vignettes cliniques #1 et #2

Questions:

- PIC ?
- PPC ?
- Courbe pression / volume
- Hémodynamie optimale ?
- Danger ?

Conclusions

- Anatomie et physiologie
- Monitoring de la PIC:
 - Connaître les indications
 - Plusieurs options disponibles (théoriquement)
 - Imagerie et examen clinique

QUESTIONS