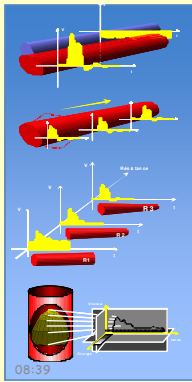


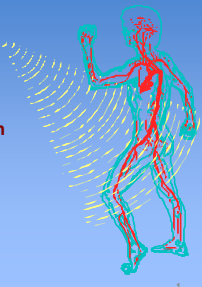
Bases de l'Interprétation des images et signaux en Ultrasonographie Vasculaire



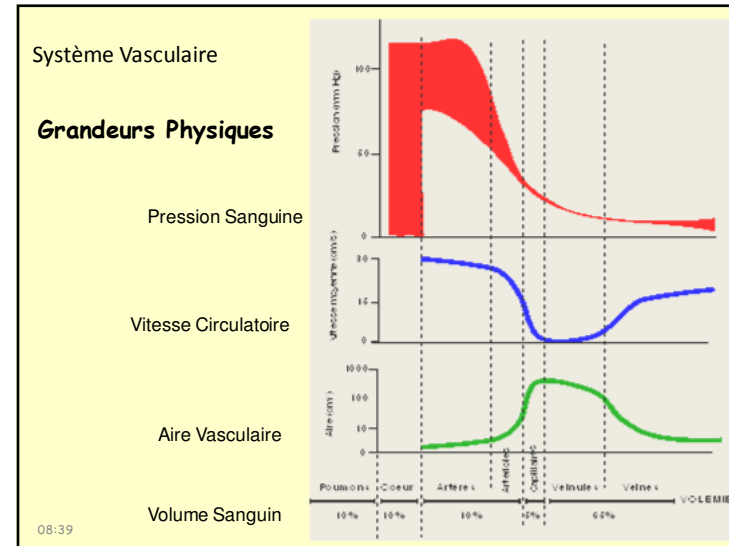
1/2

Michel Dauzat, Antonia Pérez-Martin
Iris Schuster-Beck, Gudrun Böge,
Isabelle Aïchoun, Jérémy Laurent

Montpellier – Nîmes – Mars 2015



08:39




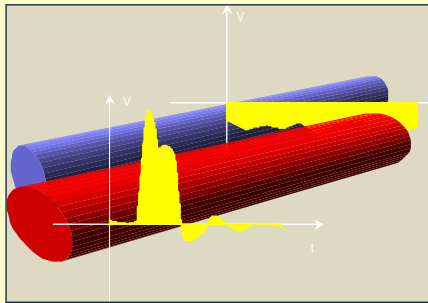
Les 6 étapes de l'interprétation

1. Flux présent ou absent 
2. Nature du flux 
3. Flux de sens normal ou inversé 
4. État Anatomique / Fonctionnel de la paroi 
5. Caractéristiques de l'écoulement 
6. Résistance & Impédance Circulatoires 

08:39

Interprétation en Ultrasonographie Vasculaire

Etape n° 1

Blood Flow or no Blood Flow?

08:39

Flux présent ou absent ?

Impact de l'onde artérielle sans véritable écoulement sanguin

Thrombose en cours de la carotide interne

Thrombose pré-occlusive de la carotide interne

Embole de la carotide interne

Flux présent ou absent ?

Perméabilité des pontages, stents, et shunts

Flux de modulation cave marquée dans un T.I.P.S.

08:39

6

Flux présent ou absent ?

Flux masqué par un obstacle acoustique

Flux présent dans un stent de l'artère carotide interne en aval d'une zone calcifiée

08:39

7

Flux présent ou absent ?

Recherche d'un flux présent alors qu'il devrait être absent

Détection d'un flux dans le sac anévrismal après pose d'une endoprothèse pour traitement d'un anévrisme aortique : fuite !

08:39

8

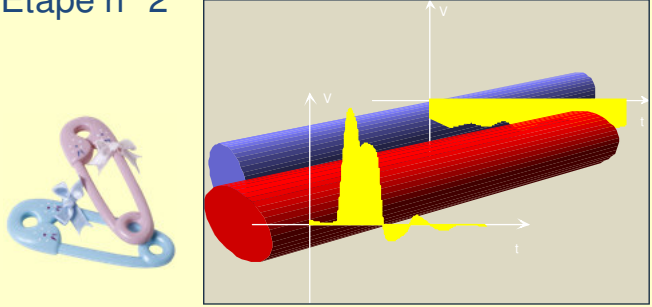
Flux Présent ou Absent ? (Diagnostic de thrombose ou occlusion)

- Faux négatif :
 - Ambiguïté spatiale
 - Gain excessif (cf. volume de mesure)
- Faux positif :
 - Filtrage excessif
 - Profondeur excessive
 - Fréquence inadaptée
 - Obstacle acoustique (calcification)
 - Angle d'incidence non approprié

08:39 9

Interprétation en Ultrasonographie Vasculaire

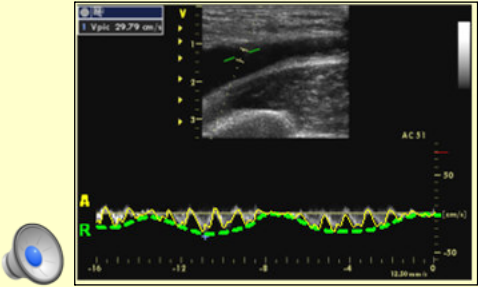
Etape n° 2



De quel genre de flux s'agit-il ? (artère, veine...)

08:39 10

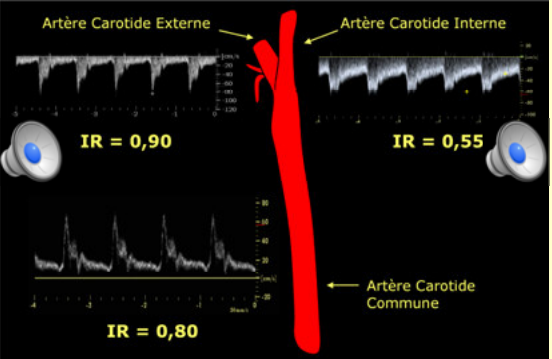
Séméiologie Doppler



Modulation Atriale + Respiratoire

08:39 11

Résistance Circulatoire (ou impédance)



Artère Carotide Externe IR = 0,90


Artère Carotide Interne IR = 0,55

Artère Carotide Commune IR = 0,80

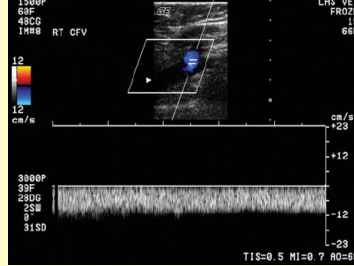
Différences de modulation des tracés Doppler en fonction du niveau de résistance circulatoire d'aval

08:39 12

Artère ou Veine ?



Flux artériel



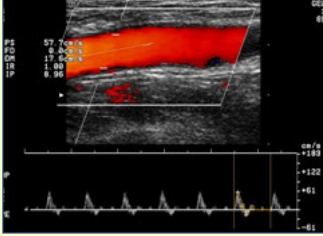
Flux veineux

Flux artériel profondément modulé *versus* Flux veineux continu
 Flux artériel : modulation systolique
 Flux veineux : modulation respiratoire

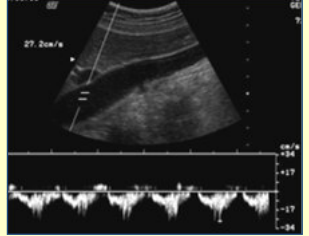
Théorie !

08:39 13

Flux Artériel ou Veineux ?



Artère Fémorale Commune



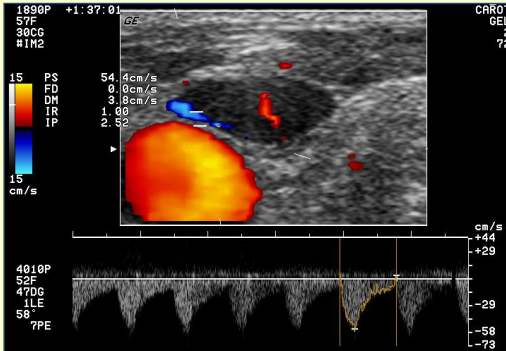
Veine Cave Inférieure

Flux artériel profondément modulé vs. Flux veineux continu
 Flux artériel : modulation systolique
 Flux veineux : modulation respiratoire

Théorie !

08:39 14

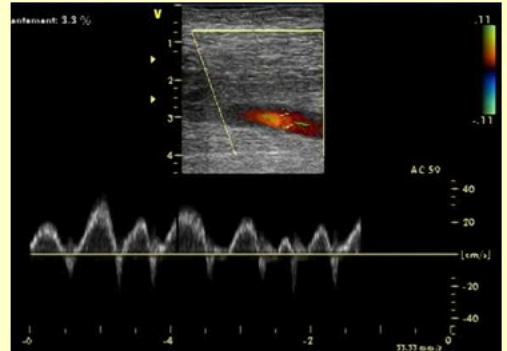
Flux Artériel ou Veineux ?



Veine jugulaire : Thrombus Tumoral sur Port-a-Cath®
 (chimiothérapie pour néoplasie du sein)

08:39 15

Flux Artériel ou Veineux ?



Veine jugulaire : Thrombus Tumoral sur Port-a-Cath®
 (chimiothérapie pour néoplasie du sein)

08:39 16

Flux Artériel ou Veineux ?

Thrombose partielle de l'artère poplitée droite Flux totalement démodulé sur l'artère poplitée droite

Ischémie aiguë depuis 3 jours chez un patient diabétique polyvasculaire

Interprétation en Ultrasonographie Vasculaire

Etape n° 3

Flux de sens normal ou inversé ?

08:39 18

Détermination du Sens Circulatoire

Identification des repères anatomiques indiquant le sens normal du flux

Veines surales : 2 veines pour 1 artère

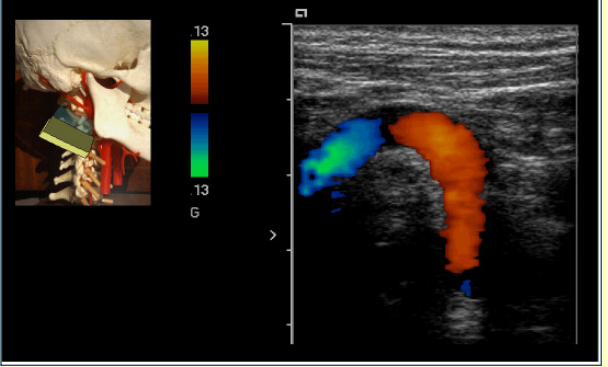
08:39 19

Flux Inversé ?

- Faux Négatif :
 - Erreur de commutation
 - Angle non approprié
- Faux Positif :
 - Boucles, dolicho-artères
 - Variantes anatomiques

08:39 20

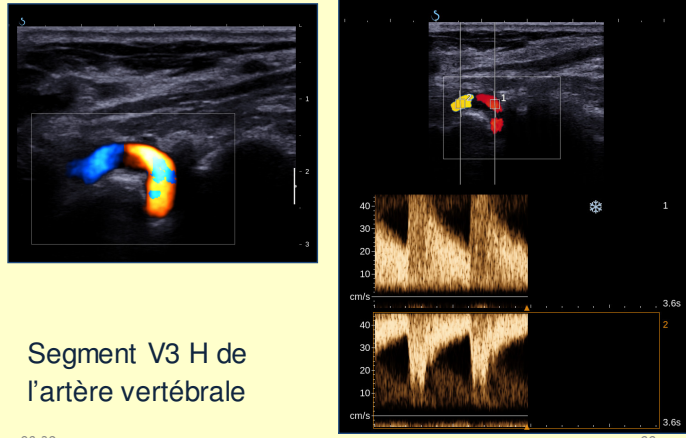
Inversion Circulatoire



Inversion Apparente :
Artère Vertébrale en V3

08:39 21

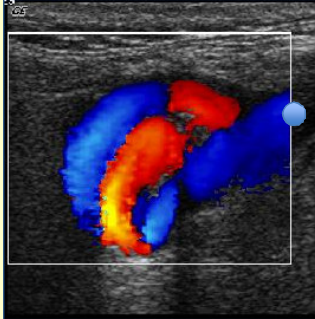
Sens circulatoire



Segment V3 H de
l'artère vertébrale

08:39 22

Flux Inversé ?



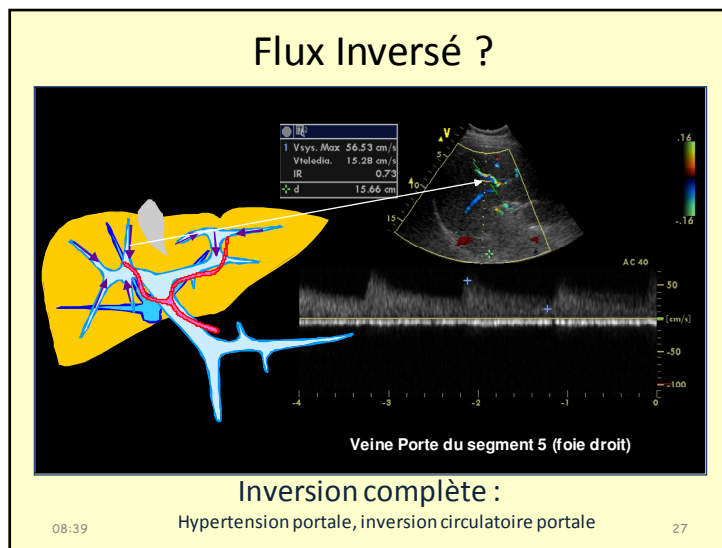
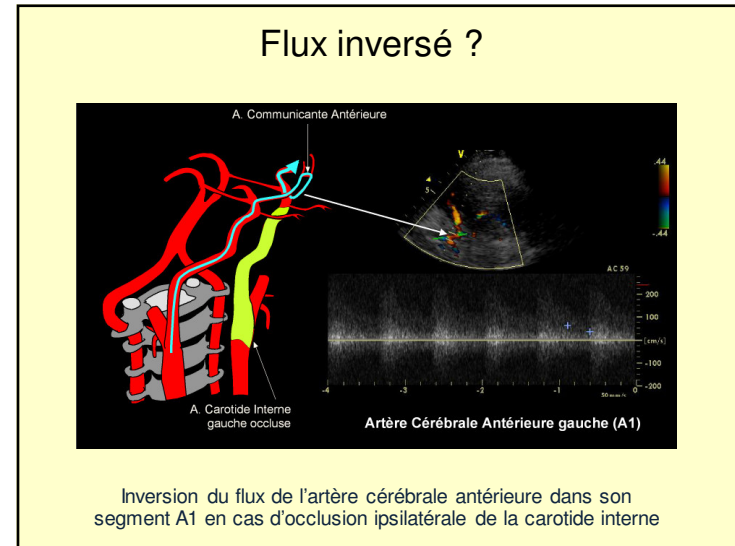
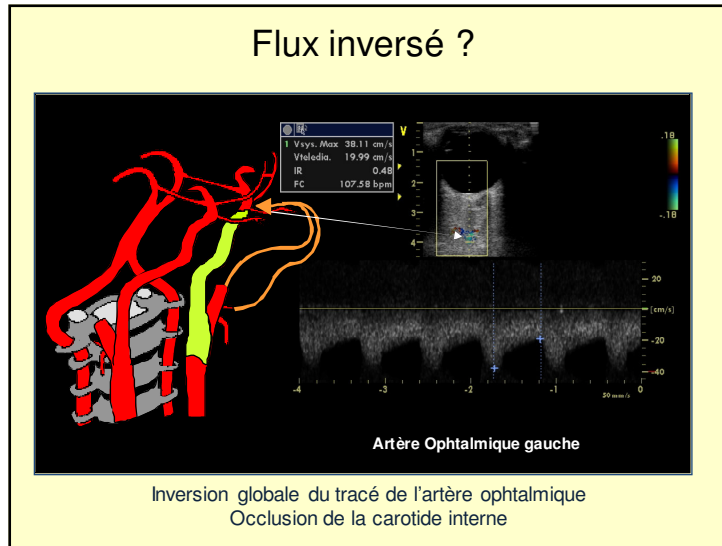
Inversion apparente
Ex: boucle carotidienne complète

08:39 23

Flux Inversé ?

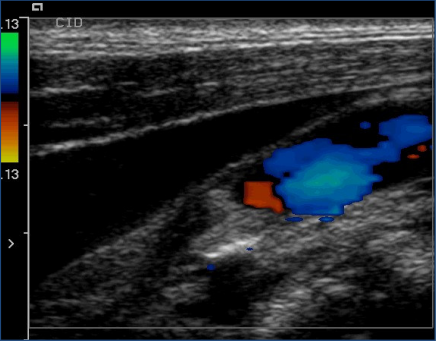
- Artères :
 - A. Ophthalmique (occlusion C.I.)
 - Hémo-détournement (vertébral, carotidien, cérébral...)
- Veines :
 - V. périphériques : défaut valvulaire
 - V. porte : hypertension portale

08:39 24



- ### Inversion circulatoire partielle
- Inversion locale
 - Zone de tourbillon après obstacle
 - Déviation de trajet anatomique
 - Inversion intermittente
 - Systolique : hémodétournement partiel
 - Diastolique : insuffisance aortique, mort cérébrale...
 - Provoquée : incontinence valvulaire veineuse
- 08:39 28

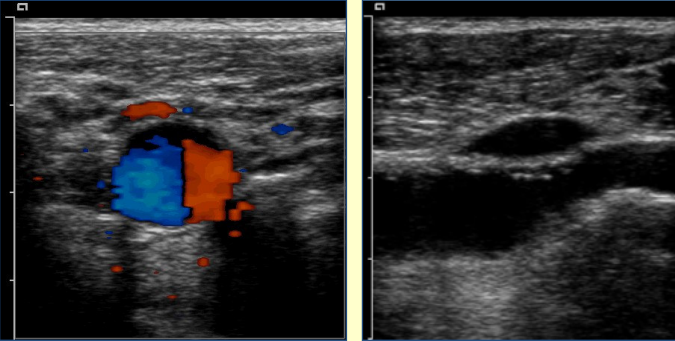
Inversion circulaire locale



Inversion locale transitoire :
Occlusion de la Carotide Interne – Impact et réflexion de l'onde artérielle sur l'obstacle

08:3929

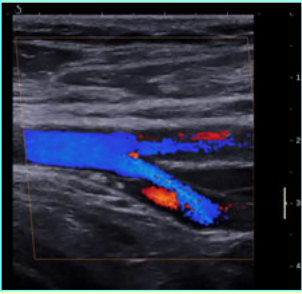
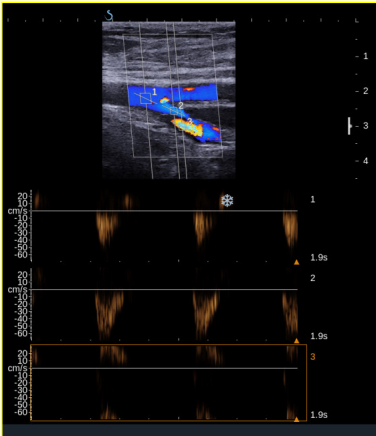
Inversion circulaire locale



Inversion locale :
Ectasie de la carotide commune – Ecoulement tourbillonnaire dans la zone élargie

08:3930

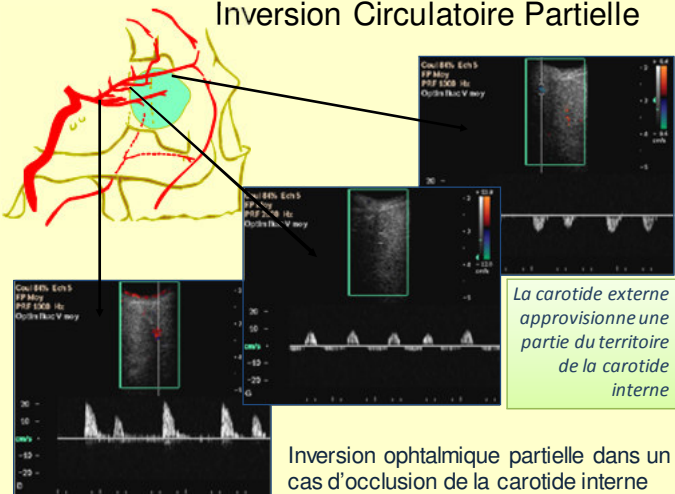
Inversion circulaire ou artefact ?

Sténose modérée à l'origine de l'artère fémorale profonde avec flux tourbillonnaire en aval

08:39

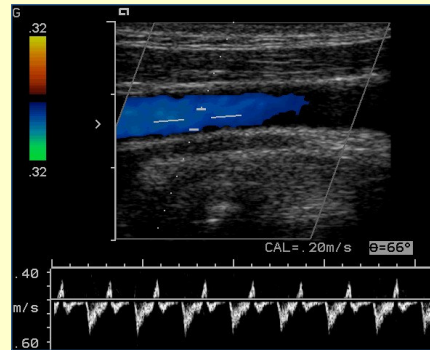
Inversion Circulaire Partielle



La carotide externe approvisionne une partie du territoire de la carotide interne

Inversion optique partielle dans un cas d'occlusion de la carotide interne

Inversion circulaire intermittente



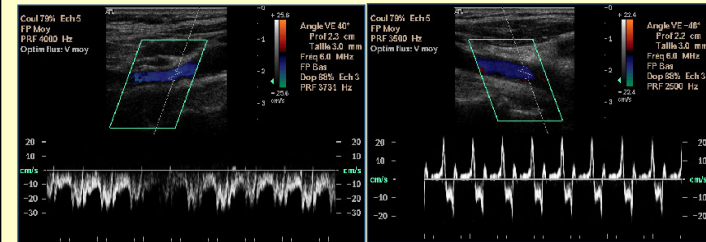
Carotide Commune – Mort Cérébrale

Reflux proto-systolique (très haute résistance circulatoire en aval)

08:39

33

Inversion circulaire diastolique



Artère carotide interne

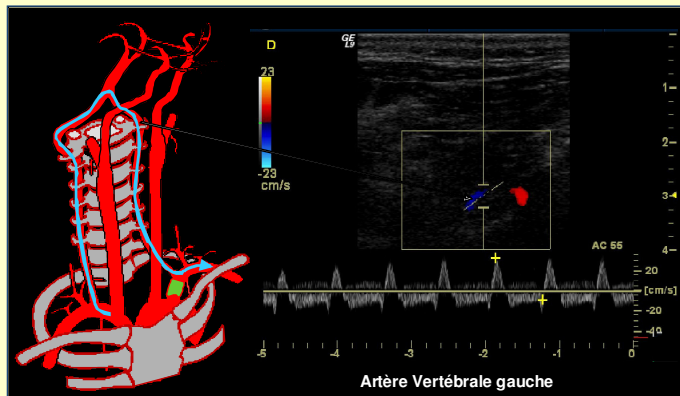
Artère carotide commune

Insuffisance aortique chez un patient ayant des antécédents de dissection aortique

08:39

34

Inversion circulaire intermittente



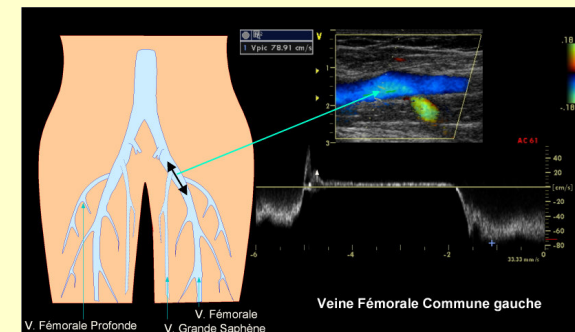
Vol Vertébro-Subclavier incomplet (stade 4)

Inversion circulaire systolique

08:39

35

Inversion circulaire intermittente



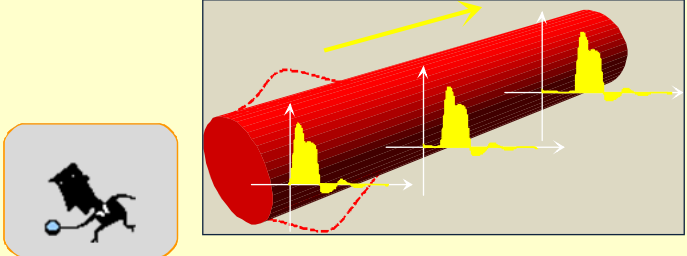
Inversion circulaire transitoire lors de la manœuvre de Valsalva en cas d'incontinence de la dernière valvule fémorale

08:39

36

Interprétation en Ultrasonographie Vasculaire

Etape n° 4



Plaque ?

- **Morphologie** (IMT, plaques, ulcères)
- **Biomécanique** (VOA, Module élastique)
- **Fonction** (VRED)

08:39 37

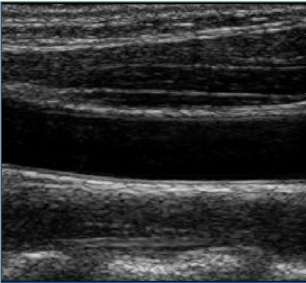
État de la Paroi Artérielle

- **État anatomique**
 - Plaques
 - Ulcération ?
- **État fonctionnel**
 - Compliance, distensibilité
 - Vitesse de l'onde artérielle

08:39 38

Écho-Anatomie de la Paroi Artérielle

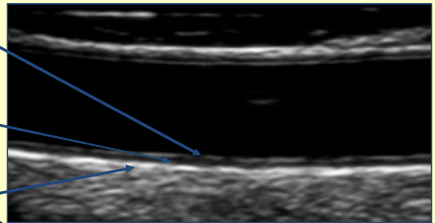
- **Couches Histologiques**
 - Intima
 - Média
 - Adventice
- **Couche Échographiques**
 - Interface sang-intima
 - ...
 - Interface média-adventice



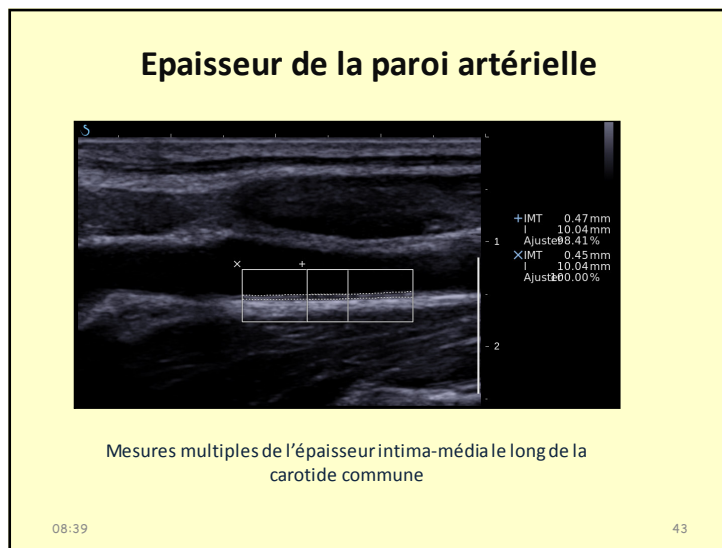
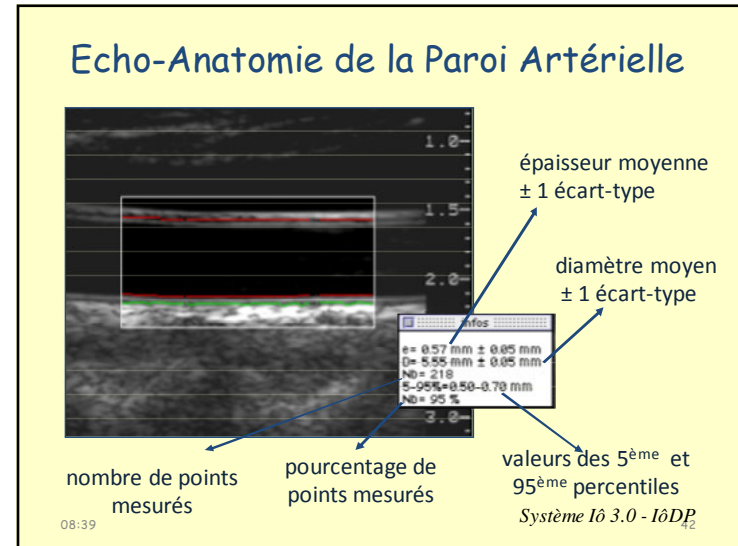
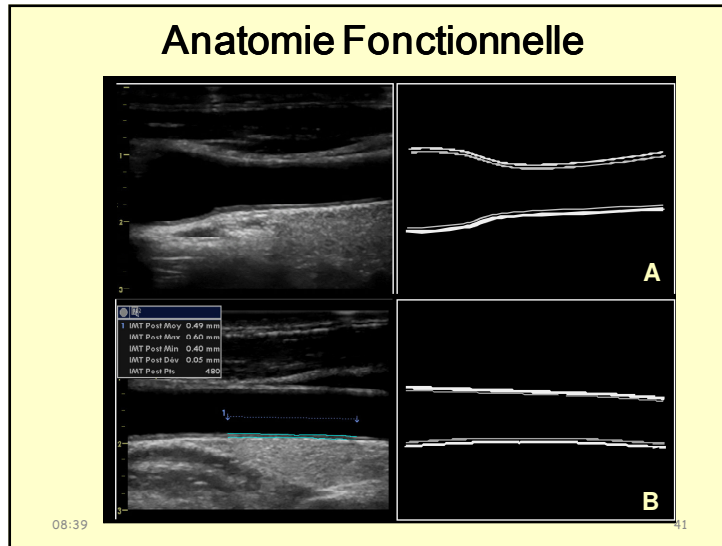
08:39 39

Anatomie Fonctionnelle

- **Paroi Artérielle Normale : Couches Échographiques**
 - Interne, grise: *sang / intima*
 - Intermédiaire, anéchogène
 - Externe, hyperéchogène: *média / adventice*



08:39 40



- ### Echo-Anatomie de la Paroi Artérielle
- Echogénicité
 - Echostructure
 - Surface
 - Cape fibreuse
- 08:39

Echogénicité de la Plaque

- Anéchogène, Hypoéchogène
- Isoéchogène (référence ?)
- Hyperéchogène
 - Sans ombre acoustique
 - Avec ombre acoustique

08:39 45

Echo-Anatomie de la Paroi Artérielle

- Anéchogène, Hypo-échogène :
 - Dépôts lipidiques confluents
 - Hémorragie
 - Nécrose
- Echogène, Hyperéchogène :
 - Fibrose
- Ombre acoustique
 - Calcification

08:39 46

Echo-Anatomie de la Paroi Artérielle

- Echostructure
 - Homogène
 - Hétérogène
- Surface
 - Lisse
 - Irrégulière, anfractueuse

08:39 47

Echo-Anatomie de la Paroi Artérielle

08:39 48

Echo-Anatomie de la Paroi Artérielle

Plaque hypoéchogène, Cape fibreuse mal visible Anfractuosité ?

Plaque iso- et Hyperéchogène

49

Echo-Anatomie de la Paroi Artérielle

Ombre acoustique

Plaques calcifiées hétérogènes

50

Caractérisation de la plaque

Coiffe (cape) fibreuse

51

Caractérisation des Plaques

Histogram of C1
100x240 pixels, 8-bit, 70K

Count: 32761	Min: 0
Max: 15.761	Max: 94
StdDev: 12.572	Mode: 0 (2526)

Value: 81
Count: 1

Echogénéicité des plaques
Analyse des niveaux de gris
(GSM = médiane)

52

Évaluation du risque pathogène

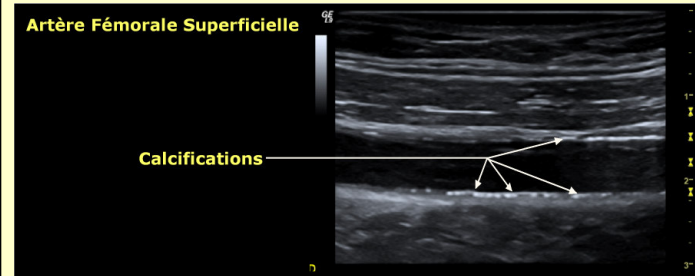
- Présence de lésions hypo- ou anéchogènes
- Occupant plus de 50% du volume de la plaque
- Degré de sténose
- ± Surface anfractueuse
- + Cape fibreuse absente



08:39

53

Médiacalcose de Monckeberg

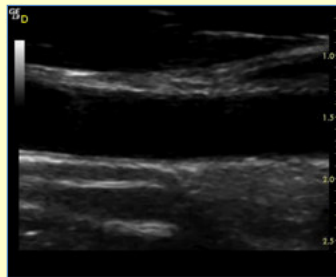


Calcifications pariétales artérielles

08:39

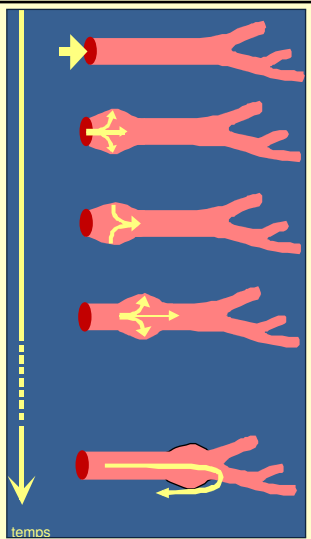
54

Etat Fonctionnel de la paroi artérielle



Genèse et Propagation de l'onde artérielle

08:39



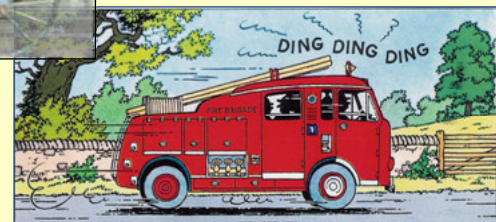
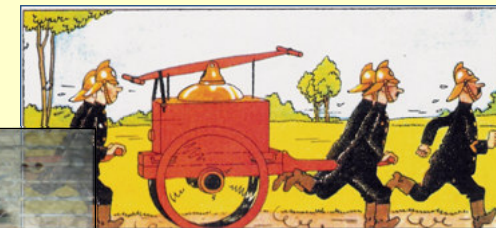
temps

Onde Artérielle



Le modèle du « Windkessel » du révérent Stephen Hales (1677-1761)

08:39



L'Onde Artérielle

Pour assurer un jet d'eau continu, il faut un réservoir (les veines), une pompe équipée de valves (le cœur), un réseau de tuyaux de distribution (les artères), une lance à résistance réglable (les artérioles), mais aussi une réserve d'énergie : le "windkessel", cloche à air comprimé (l'élasticité de la paroi artérielle).

Onde Artérielle

Signification de la Modulation du Tracé de Vitesse Circulatoire en rapport avec la propagation de l'onde artérielle

Onde Artérielle

1. Latence (délai de propagation de l'onde)
2. Accélération systolique (arrivée de l'onde)
3. Décélération (après le passage de l'onde)
4. Incisure dicrote et reflux : onde réfléchie

Signification de la Modulation du Tracé de Vitesse Circulatoire en rapport avec la Propagation de l'Onde Artérielle

Pression versus Vitesse

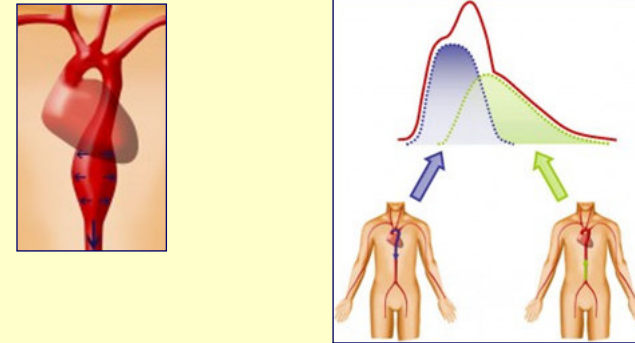
Modification des tracés de Pression (en haut) et de Vitesse Circulatoire (en bas) en fonction du site de mesure

La courbe de pression sanguine artérielle présente un second pic (épaulement) provoqué par l'onde réfléchie s'additionnant à l'onde incidente, tandis que la courbe de vitesse circulatoire sanguine présente une incisure suivie d'un reflux, car l'onde réfléchie, de sens inverse, se soustrait à l'onde incidente.

Pression versus Vitesse

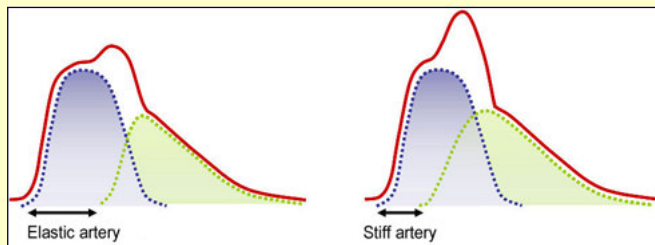


Onde Artérielle



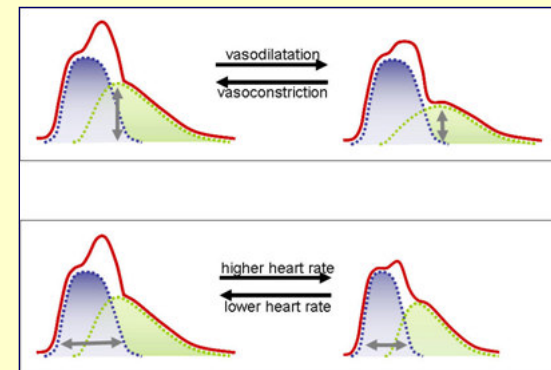
La forme de l'onde de pouls résulte de la combinaison de l'onde incidente et de l'onde réfléchie

Onde Artérielle



La forme de l'onde de pouls diffère selon l'état de la paroi artérielle. L'augmentation de rigidité artérielle pariétale (par exemple par le vieillissement) provoque le retour plus précoce de l'onde réfléchie et l'incisure dicrote se trouve alors sur le versant ascendant du pic systolique. La conséquence en est l'accroissement de la post-charge et l'altération de la perfusion coronaire

Onde Artérielle



La vasomotricité détermine l'amplitude de l'onde réfléchie tandis que la fréquence cardiaque affecte la durée relative de l'onde incidente et de l'onde réfléchie

Le Pression « Centrale »

La courbe de pression artérielle brachiale n'est pas parfaitement superposable à la courbe de pression « centrale » régnant face à l'orifice aortique et déterminant la post-charge. La pression carotidienne en est beaucoup plus proche et reflète aussi les conditions hémodynamiques cérébrales

Paroi Vasculaire

L'aorte est une artère « élastique » dont la paroi, relativement peu épaisse, comporte un fort contingent de fibres musculaires. Les artères distales présentent une paroi proportionnellement plus épaisse, avec une prépondérance de fibres musculaires. Les artérioles ont une paroi proportionnellement très épaisse, essentiellement constituée de fibres musculaires. L'aorte est donc une artère très COMPLIANTE, contrairement aux artérioles dont la vasomotricité, en revanche, est très puissante.

Vaisseau	Diamètre	Épaisseur de paroi / Diamètre	Fibres
Aorte	2/25 mm	Low	High Elastic
Artère	1/4 mm	Medium	High Muscular
Artériole	20/30 µm	High	High Muscular
Capillaire	1/8 µm	Very High	High Muscular
Veinule	2/20 µm	Low	Low Muscular
Veine	0,5/5 mm	Low	Low Muscular
Veine Cave	1,5/30 mm	Low	Low Muscular

Rapport Épaisseur de Paroi / Diamètre

08:39

Mesure de Distensibilité Artérielle

Les caractéristiques biomécaniques de la paroi artérielle peuvent être évaluées en termes de distensibilité (variation relative de diamètre rapportée à la variation systolo-diastolique de pression). Les variations de diamètre peuvent être mesurées par échographie.

Mesure de Distensibilité Artérielle

Arterial Stiffness		
D:	17.7	215kPa
AI:	-21.4%	9.0ms
Diameter		
D. max:	4.94mm	D. min: 4.81mm
Pressure		
P. max:	117mmHg	P. min: 72mmHg
		HR: 73BPM

Course représentant les variations de diamètre artériel au cours du cycle cardiaque. Le rapport des variations de diamètre aux variations de pression entre systole et diastole (pression pulsatile) définit la distensibilité. L'équation de Moens-Korteweg permet de calculer le module d'élasticité de la paroi et la vitesse de l'onde artérielle.

Mesure de la Vitesse de l'Onde Artérielle

Les caractéristiques biomécaniques de la paroi artérielle peuvent aussi être évaluées par la mesure de la vitesse de propagation de l'onde artérielle, à partir de signaux de pression (tonomètres) ou de vitesse (Doppler), ou de photopléthysmographie.

Mesure de la Vitesse de Propagation de l'Onde Artérielle Artère Brachiale

$d_1 = d_2 - d_3 = 0,750 - 0,486 = 0,285 \text{ m}$
 $t_1 = 0,133 \text{ s}$
 $t_2 = 0,090 \text{ ms}$
 $t_3 = t_1 - t_2 = 0,133 - 0,090 = 0,043 \text{ ms}$
 $V_3 = d_3/t_3 = 285/43 = 6,63 \text{ m/s}$

Mesure de la vitesse de propagation de l'onde artérielle par vélocimétrie Doppler et photopléthysmographie

La Pression « Centrale »

Mesure tonométrique de la vitesse de l'onde de pouls et de la pression centrale (système Complior®)

Onde Artérielle

- Anévrisme
- Occlusion

Dans un anévrisme, la vitesse d'écoulement axial est faible, tandis que la vitesse radiale est prépondérante (expansion systolique de l'anévrisme), avec un flux « entrant » suivi d'un flux « sortant » de même amplitude. En amont d'une occlusion totale, le flux axial est interrompu, mais l'onde artérielle produit un flux radial (pulsatilité). Dans les deux cas, on enregistre un tracé « isodiphasique ».

Onde Artérielle

En cas de dissection aortique, l'onde artérielle suit deux cheminements différents (dans le vrai et dans le faux chenal). En un point donné le long de l'aorte, on constate donc un déphasage, provoquant un mouvement du lambeau intimal disséqué. Le tracé Doppler montre, en regard, un aspect caractéristique de pic systolique bifide.

Dissection Aortique Ancienne : tracé diphasique

Onde Artérielle

Dissection Aortique étendue à l'aorte abdominale

Onde Artérielle

Le pic systolique bifide caractéristique donne un son particulier : « la systole qui bafouille ».

Dissection Aortique étendue jusqu'à la bifurcation: Encoche systolique sur le tracé de l'artère mésentérique supérieure

Onde Artérielle

La cavité d'un faux anévrisme se remplit à l'arrivée de l'onde artérielle, puis se vide par le même pertuis, donnant un tracé Doppler alternant caractéristique.

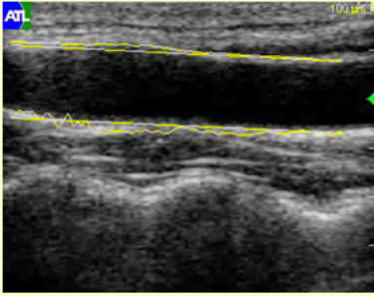
Faux Anévrisme Fémoral après coronarographie :
Tracé alternant

Onde Artérielle

Faux Anévrisme Fémoral après coronarographie :
Tracé alternant

Onde Artérielle

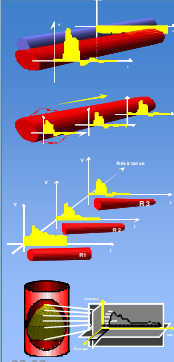
Le Doppler tissulaire permet d'observer la cinétique des mouvements de la paroi au passage de l'onde artérielle



Pulsatilité artérielle sur Bifurcation Carotidienne Normale

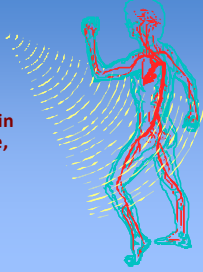
Bases de l'Interprétation des images et signaux en Ultrasonographie Vasculaire

2/2



Michel Dauzat, Antonia Pérez-Martin
Iris Schuster-Beck, Gudrun Böge,
Isabelle Aïchoun, Jérémy Laurent
Jean-Pierre Laroche

Montpellier – Nîmes – Mars 2015



08:39 78