

Touch Prime : une imagerie échographique de pointe avec un confort d'utilisation hors du commun

Par : Ajay Anand, PhD

Introduction

Le système d'échographie Touch Prime de CARESTREAM repose sur une architecture de calcul entièrement nouvelle, équipée dans le but de disposer d'une application frontale permettant une formation du faisceau précise et détaillée, de nouveaux modes d'imagerie et d'une optimisation automatique des images. Les technologies évoluées de formation du faisceau ultrasonique bénéficient considérablement de la disponibilité d'une puissance de calcul accrue. Les progrès de l'informatique grand-public sont régulièrement et directement transposés au domaine de l'imagerie médicale par échographie et l'utilisation de cartes graphiques (GPU) associées à du matériel frontal à haut degré d'intégration est un exemple flagrant de cette tendance. Dans ce contexte, le système Touch Prime s'appuie sur une architecture matérielle radicalement nouvelle et équipée de technologies d'imagerie échographique totalement novatrices. Associé à une expérience utilisateur hors du commun, **le système Touch Prime représente une nouvelle révolution dans le domaine de l'échographie.**

Le système Touch Prime s'adresse aux applications de l'imagerie radiologique, gynécologie-obstétrique, musculo-squelettique, vasculaire et cardiaque générale. Ce livre blanc présente quelques-unes des principales technologies sur lesquelles s'appuie le système d'échographie Touch Prime.



Architecture SynTek : création intelligente du faisceau – la dernière génération

Dans un système échographique classique, le temps nécessaire pour acquérir les données ultrasoniques est physiquement limité par la vitesse de propagation du son à l'intérieur du corps. Dans les tissus mous, cette vitesse est de 1 540 m/s en moyenne. Un système échographique classique est obligé d'attendre la propagation du son à l'émission et à la réception, en raison du caractère sériel de l'acquisition ligne par ligne des données. Un tel système doit donc consentir des sacrifices en termes de fréquence d'images et de vitesse globale, obligeant souvent le clinicien à choisir entre la fréquence et la qualité d'image. Par exemple, la résolution temporelle pourra être sacrifiée au profit de la résolution spatiale.

La vitesse d'acquisition limitée des systèmes classiques entraîne également une dégradation de la fréquence ou de la qualité d'image lorsqu'on utilise un mode duplex comme celui des flux colorés (imagerie Doppler). Cette dégradation est due au fait que les techniques Doppler nécessitent plusieurs impulsions par ligne de balayage,

ce qui réduit la fréquence d'image par rapport à des méthodes d'imagerie anatomique en nuances de gris à profondeur comparable. Le problème, déjà évoqué, est lié au fait que la formation du faisceau est physiquement limitée par le caractère sériel de la méthode d'acquisition des données.

Dans les scanners ultrasoniques classiques modernes, équipés d'un conformateur numérique de faisceau, une autre méthode courante consiste à utiliser une mise au point dynamique à la réception et une distance focale fixe à la transmission. Avec un conformateur numérique de faisceau, la sonde met au point les signaux d'écho au fur et à mesure qu'elle les reçoit et le faisceau est toujours au point à la réception. Ce résultat est obtenu par un ajustement continu du décalage de la distance focale du conformateur au fur et à mesure qu'augmente la profondeur à partir de laquelle l'écho est renvoyé. Toutefois, la qualité d'image étant déterminée par le profil de mise au point transmission-réception, la meilleure qualité est généralement obtenue aux alentours de la distance focale de transmission pour laquelle le faisceau est le moins large.

Introduite depuis quelques années, l'imagerie multizone est couramment disponible sur les systèmes d'échographie professionnels. Elle consiste à effectuer des transmissions consécutives dans une direction donnée avec le foyer de transmission placé à différentes profondeurs, puis à mélanger les faisceaux reçus de ces transmissions de manière à former une ligne de balayage d'image. Toutefois, la qualité d'image de cette méthode est aux dépend de la fréquence d'image.

Le système d'échographie Touch Prime de CARESTREAM, qui utilise une architecture radicalement nouvelle qui s'appuie sur la puissance de traitement d'une GPU intégrée perfectionnée et sur un matériel exclusif de formation de faisceau en parallèle, constitue un changement de paradigme par rapport à ces méthodes classiques. Le caractère intrinsèquement parallèle des données et le débit élevé que permet cette combinaison fournissent la base nécessaire pour utiliser des algorithmes avancés de formation de faisceau. Cet ensemble matériel et logiciel

constitue l'architecture de formation de faisceau introduite par Carestream sous la dénomination d'**architecture SynTek**.

L'architecture SynTek se démarque significativement des méthodes d'acquisition en série ligne par ligne. Avec SynTek, une région tissulaire donnée est irradiée dans plusieurs directions par des émissions ultrasoniques indépendantes. Les échos reçus par la sonde sont additionnés de manière cohérente, en tenant compte de la différence de temps de trajet aller-retour entre la sonde et l'emplacement des tissus pour chacune des émissions. En combinant les informations obtenues indépendamment à partir de ces nombreuses transmissions dans l'ensemble de la région d'imagerie, l'architecture SynTek synthétise un faisceau de transmission qui est étroit non plus en un seul point ou une seule région de l'image (aux alentours de la distance focale de transmission en imagerie classique), mais sur toute l'étendue spatiale, d'où une meilleure qualité d'image.

Avec un système classique, un tel schéma de transmission à multiples émissions ultrasoniques conduirait à une diminution de la fréquence d'image. Mais les caractéristiques d'acquisition en parallèle et de traitement en temps réel de l'architecture SynTek permettent d'obtenir une qualité d'image moyennant un compromis minimal sur la fréquence d'image.

Résumé : l'architecture SynTek

Les avantages de performance de l'architecture SynTek sont multiples.

- La résolution d'image et la pénétration sont améliorées grâce à la combinaison cohérente de plusieurs faisceaux à diverses profondeurs, ce qui se traduit par un meilleur rapport signal sur bruit.
- La fréquence d'image est augmentée en raison du nombre réduit des transmissions utilisées pour créer l'image.
- Étant donné que plusieurs faisceaux de transmission superposés sont utilisés pour reconstruire une ligne de balayage donnée, le faisceau est mis au point à plusieurs profondeurs simultanément, ce qui en outre rend moins critique la position du foyer de transmission. En imagerie à flux colorés et Doppler, l'architecture SynTek permet une visualisation plus homogène de subtiles différences de contraste entre les tissus, tout en améliorant la possibilité de voir les petites structures. La plus grande quantité d'informations aux profondeurs et la fréquence d'image accrue améliorent la visualisation des structures en mouvement.

Les avantages essentiels de l'architecture SynTek

- Résolution latérale uniforme sur toute la profondeur, ce qui rend la position du foyer de transmission moins critique.
- Fréquence d'image élevée avec conservation de la résolution spatiale.
- Meilleure pénétration (p. ex. pour l'imagerie abdominale profonde).

L'image ci-dessous est celle d'une échographie du foie obtenue avec la sonde 6C2 du système échographique Touch Prime.



Cette image illustre la remarquable résolution spatiale et de contraste de l'ensemble de l'image, sans détriment des détails cliniques.

Commande système intelligente (SSC)

Le Smart System Control (SSC), ou « commande système intelligente », est une autre technologie d'avant-garde qui exploite la puissance des cartes graphiques et du calcul en parallèle pour améliorer la procédure échographique du système Touch Prime. Il s'agit d'une

technique d'optimisation en temps réel qui ajuste automatiquement plus de 25 paramètres d'imagerie (dont certains hors de contrôle de l'utilisateur) en vue d'obtenir une image de qualité optimale. Pour l'essentiel, elle optimise automatiquement le réglage du système au-delà des fonctions de commande et de clavier dont dispose habituellement l'utilisateur. La technologie SSC s'appuie sur des informations internes détaillées et sur la commande d'ensembles étendus de paramètres et de leurs fonctions associées.

La technologie SSC est utilisable en modes d'imagerie B, Couleur et Doppler. Pour déterminer les réglages optimaux, l'algorithme utilise comme entrées les préférences de l'utilisateur en termes de fréquence d'image ou de résolution, puis optimise automatiquement les autres paramètres du système. L'optimisation s'effectue en continu, en arrière-plan et en temps réel. L'utilisateur n'a pas besoin de la

lancer pour chaque balayage à partir de la console de commande.

Ci-dessous quelques exemples de paramètres système que la SSC règle automatiquement pendant le fonctionnement du système.

Mode échographique	Paramètres
Mode B	<ul style="list-style-type: none">• Densité de ligne• Nombre de zones focales• Nombre de faisceaux de transmission• Nombre d'angles de composition
Mode B + Couleur (duplex)	<ul style="list-style-type: none">• Mode B + densité de lignes couleurs• Nombre d'impulsions transmises par paquet d'ondes (d'après estimation)

La technologie SSC permet d'optimiser les images en continu moyennant peu d'intervention de l'utilisateur : la procédure de travail et la fiabilité du diagnostic s'en trouvent améliorées. Les temps d'examen peuvent s'en trouver réduits du fait qu'il n'est plus nécessaire de procéder à des réglages manuels de l'image. On obtient ainsi une image optimisée moyennant moins d'interventions sur les touches de commande tactiles de la part de l'utilisateur. Poussée à l'extrême dans le cadre des applications de routine, la technologie SSC peut permettre d'obtenir des images optimisées automatiquement, avec l'intervention de l'utilisateur ramenée à un minimum.

Au-delà de la performance d'imagerie

Avec la puissance de SynTek et de son traitement graphique, le système échographique Touch Prime de CARESTREAM n'utilise qu'une partie de son potentiel dans sa version initiale. Associé à son interface utilisateur programmable et tactile, ce système constitue une base idéale d'évolutivité sans impliquer de changements de matériel importants. Au fur et à mesure des améliorations de la performance d'imagerie et des nouvelles fonctionnalités qu'apporte l'innovation continue pratiquée par Carestream, le système se prête facilement aux mises à niveau et dispose de

la réserve de puissance nécessaire pour prendre en charge les nouvelles applications suscitées par les progrès de la technologie.

Voici quelques exemples de ces nouvelles applications disponibles dès la version initiale du système.

L'imagerie de flux intelligente

Pour déterminer les flux artériels et veineux, l'échographie Doppler utilise le décalage de fréquence qui se produit lorsqu'une onde ultrasonique rebondit sur un objet en mouvement. Ces images permettent de révéler les blocages et les caillots, le rétrécissement des vaisseaux sanguins et les malformations vasculaires congénitales. En imagerie Doppler couleur, les échos mesurés sont affichés en couleurs pour indiquer la vitesse et la direction des flux sanguins. On peut ainsi identifier, par exemple, les vaisseaux rétrécis ou les minuscules jets de sang liés à des anomalies vasculaires. Encore plus sensible que l'imagerie Doppler couleur, l'imagerie Doppler énergie permet de visualiser le flux sanguin dans de minuscules vaisseaux, comme ceux qui irriguent les tumeurs de la thyroïde ou du scrotum, ainsi que les lésions immédiatement sous-cutanées. La technique Doppler spectrale calcule, puis représente graphiquement la vitesse du flux sanguin en fonction de la distance parcourue par le sang en fonction du temps. Les techniques d'échographie couleur ordinaire et Doppler spectrale mesurent la vitesse des composantes de flux qui s'approchent de la sonde ou s'en éloignent. Elles calculent la vitesse réelle du sang dans le vaisseau à l'aide de l'angle formé par le faisceau ultrasonique et la direction du flux.

Dans les utilisations classiques actuelles, la précision des calculs Doppler dépend de la précision avec laquelle sont connues la direction du faisceau ultrasonique et celle du flux sanguin dans le vaisseau (ainsi que l'angle α entre elles).

Comme l'indique l'équation de Doppler ci-dessous, lorsque le faisceau ultrasonique est perpendiculaire au vaisseau (90°), le calcul est impossible car il n'y a pas de composante de flux dans la direction du faisceau. En pratique, la mesure est impossible lorsque l'angle du faisceau est supérieur à 60° car, dans ce cas, même une faible erreur de mesure des deux directions entraîne d'importants écarts dans les résultats.

Fréquence Doppler (f_d) = $\frac{2 \cdot f_t \cdot V \cdot \cos\theta}{c}$

f_d = décalage Doppler
 f_t = faisceau transmis
 c = vitesse du son dans le tissu
 V = vitesse du flux sanguin
 θ = angle d'incidence entre le faisceau ultrasonique et la direction du flux

Intégrée au système échographique Touch Prime, la technologie d'imagerie de flux intelligente (ou « Smart Flow ») a le pouvoir de révolutionner la procédure de travail de nombreuses applications de l'échographie Doppler. Outre le fait qu'elle révèle en détail les schémas d'écoulement, elle permet de gagner un temps précieux et de simplifier considérablement les examens. La nouvelle méthode propriétaire Smart Flow permet de **visualiser le flux sanguin dans toutes les directions, indépendamment de l'angle d'imagerie**. Elle utilise la technique dite d'oscillation transversale pour résoudre les limitations angulaires de l'échographie Doppler ordinaire. Elle crée une composante effective de l'oscillation ultrasonique perpendiculaire au faisceau de transmission, c'est-à-dire une oscillation transversale (Jensen JA 2001; Jensen JA, Munk P 1998). La technologie Smart Flow crée un schéma d'interférence 2D dans le signal ultrasonique reçu, ce qui permet au système de calculer non seulement la composante axiale de la vitesse (comme en Doppler couleur classique), mais également sa composante transversale. En conséquence, la technologie Smart Flow **élimine la dépendance angulaire et permet de détecter et de visualiser des flux complexes**.

Pour afficher sur la plate-forme Touch Prime les informations fournies par la technologie Smart Flow, on utilise un code-couleur ou des flèches, ou les deux. La longueur de la flèche, outre la couleur, indique la magnitude, tandis que son orientation indique la direction du flux.

Les figures ci-après illustrent une comparaison entre l'imagerie classique par flux coloré et la nouvelle technologie Smart Flow, dans le cas d'une échographie de l'artère carotide. La technique classique flux-couleur (à gauche) montre des discontinuités (régions sans flux) aux endroits à l'intérieur du vaisseau où le flux est perpendiculaire au faisceau acoustique (sans guidage ni angulation de la case de couleur). Pour la même partie anatomique, l'image Smart Flow (à droite) affiche des informations de flux continues et robustes sur toute la lumière, même là où le flux est perpendiculaire au faisceau acoustique.



Comparaison entre l'imagerie à code-couleur classique (à gauche) et l'imagerie Smart Flow sur une échographie de l'artère carotide

La figure ci-dessous représente une image Smart Flow de la veine jugulaire (en haut) et de l'artère carotide (en bas) chez un sujet normal, acquises à l'aide d'une sonde 8L2. Les flèches indiquent les directions de flux opposées, les flèches les plus longues vers le centre de la lumière de la carotide représentant les vitesses les plus élevées.

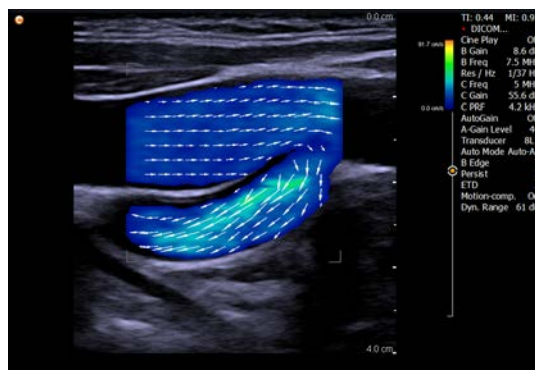


Image Smart Flow d'une veine jugulaire et d'une artère carotide, avec représentation de la direction et de la vitesse par des flèches

En conclusion, la technologie Smart Flow permet une représentation visuelle intuitive du flux dans toutes les directions, ce qui en fait une technique parfaitement adaptée pour visualiser les flux transversaux et les schémas de flux complexes, y compris turbulents. La mesure est indépendante de l'angle. Elle permet d'accélérer la procédure de travail grâce à l'obtention de la vue hémodynamique globale sans guidage. Ses résultats sont plus cohérents et dépendent moins du clinicien.

Smart Flow Assist

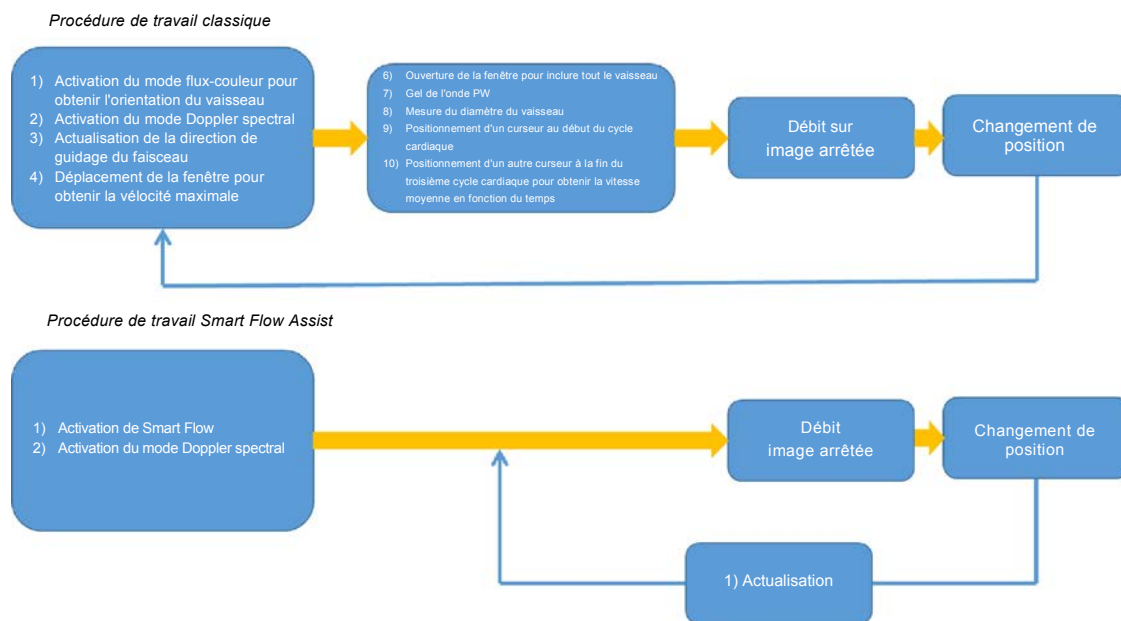
L'imagerie Doppler spectrale est couramment utilisée pour quantifier les profils de flux dans les vaisseaux sanguins. La mesure est affichée sous la forme d'un tracé ondulatoire qui représente la distribution de la vitesse (le profil) en un point donné en fonction du temps.

L'obtention d'un profil de vitesse implique généralement les opérations suivantes :

- 1) activation du mode flux-couleur pour obtenir l'orientation du vaisseau,
 - 2) activation du mode Doppler spectral,
 - 3) actualisation de la direction de guidage du faisceau,
 - 4) déplacement de la fenêtre d'échantillonnage pour obtenir la vitesse maximale et
 - 5) correction angulaire de la fenêtre.
- Ces opérations impliquent un certain effort manuel de l'utilisateur et, de surcroît, les phases 3 à 5 doivent être répétées pour chaque déplacement de la sonde. À la différence de ce mode de fonctionnement normal, la technologie Smart flow Assist **supprime les réglages manuels répétés**. Grâce aux fonctions propriétaires de la technologie Smart Flow Assist, le logiciel actualise automatiquement le guidage du faisceau, la position de la fenêtre et la correction angulaire.

L'actualisation s'effectue à chaque instant, même lors du déplacement de la sonde.

Les avantages de la technologie Smart Flow Assist sont encore plus évidents dans le cas de la mesure de débit (« volume flow », ou VF). En effet, la procédure pour obtenir le VF est ramenée de 10 opérations (pour un VF sur image arrêtée et 10 de plus pour chaque nouvelle position) à 2 seulement (et une pour chaque nouvelle position).



Procédure de travail comparée avec et sans Smart Flow Assist pour la mesure de débit (VF)

Conclusion

Le système d'échographie Touch Prime de CARESTREAM se distingue par l'emploi de plusieurs technologies ultrasoniques avancées qui s'appuient sur la puissance de traitement des cartes graphiques évoluées pour améliorer les résultats d'imagerie. Le système utilise une méthode de formation de faisceau de dernière génération qui, par rapport aux systèmes classiques, permet d'améliorer simultanément la fréquence d'image et la résolution spatiale, ainsi que d'automatiser les réglages du balayage

ultrasonique, le tout se traduisant par une efficacité accrue de la procédure de travail. Associées à des fonctions de confort d'utilisation hors normes, comme le panneau de commande entièrement tactile, une conception du système soigneusement pensée en termes d'ergonomie et l'activation de la sonde par une commande unique, ces nouvelles technologies font du Touch Prime un système de premier choix pour les applications de l'imagerie radiologique, gynécologie-obstétrique, musculo-squelettique, vasculaire et cardiaque générale.

Ajay Anand est membre de l'équipe de R&D échographie de Carestream Health. Il possède plus de 10 ans d'expérience en tant que directeur du développement des nouvelles technologies ultrasoniques. Il est également co-inventeur dans plus de 20 dépôts de brevet dans le domaine de l'échographie médicale.

Références

Jensen JA, « Un nouvel outil d'estimation de la vitesse vectorielle », IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Control 2001; 48 (4): 886-894.

Jensen JA, Munk P, « Nouvelle méthode d'estimation des vecteurs de vitesse », IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Control 1998; 45 (3): 837-51.