

**Mesure des volumes du ventricule gauche par
échocardiographie 4D : résultats préliminaires sur la
comparaison à la tomo-scintigraphie myocardique synchronisée**

D. Debrun¹, F. Thérain¹, C. Léger²

¹Service de Médecine Nucléaire
Centre Hospitalier Régional d'Orléans (CHRO), 14 avenue de l'Hôpital,
BP 6709, 45067 Orléans cedex 2
Tel: 02 38 51 45 95
Fax: 02 38 51 49 45

²Laboratoire d'Electronique Signaux Images (LESI)
Université d'Orléans, 12 rue de Blois, BP 6744
45067 Orléans cedex 2
Tel: 02 38 49 45 63
Fax: 02 38 41 72 45
E-mail: Christophe.Leger@lesi.univ-orleans.fr

Toute correspondance doit être adressée au Docteur Fabienne Thérain, Service de Médecine Nucléaire, Centre Hospitalier Régional d'Orléans (CHRO), 14 avenue de l'Hôpital, BP 6709, 45067 Orléans cedex 2. Tel: 02 38 51 45 95. Fax: 02 38 51 49 45.

Mesure des volumes du ventricule gauche par échocardiographie 4D : résultats préliminaires sur la comparaison à la tomo-scintigraphie myocardique synchronisée

Résumé : L'objectif de cette communication est de présenter les résultats préliminaires sur la reconstruction du volume endocardique du ventricule gauche (VG) à partir de deux modalités différentes : la tomo-scintigraphie synchronisée (TSS) au sestamibi et l'échocardiographie 4D (VG4D) qui reconstitue les déformations volumiques du VG au cours d'un seul cycle cardiaque. La TSS, validée et utilisée en routine, sert de référence pour les données volumiques déduites des renseignements fonctionnels. Des premiers résultats sont présentés sur un patient muni d'un stimulateur cardiaque, pour garantir la stabilité de la fréquence cardiaque, et limiter les approximations de reconstruction.

Mots clés : Imagerie multimodalité, cœur-ventricule gauche, étude comparative, tomo-scintigraphie sestamibi, échocardiographie.

Left ventricular volumic measurement using 4D echocardiography: preliminary results about comparison with synchronised myocardic tomo-scintigraphy

Abstract : The aim of this short paper is to present the preliminary results of the reconstruction of the endocardic volume of the left ventricle (LV) using two distinct modalities : sestamibi synchronised tomo-scintigraphy (STS) and 4D-echocardiography (4DLV), to visualise the volumic deformations of the LV during a single cardiac cycle. The STS, validated and routinely used is a reference for the volumic data deduced from the functional information. First results are presented. They were conducted on a patient with a pacemaker, in order to guarantee the heart beat regularity, and to reduce reconstruction approximations.

Index keys : Multimodality imaging, left ventricle-heart, comparative study, sestamibi tomo-scintigraphy, echocardiography.

Introduction

Cette communication présente les premiers résultats obtenus dans la comparaison de volumes cardiaques en utilisant deux modalités différentes : la tomo-scintigraphie synchronisée (TSS) à l'électrocardiogramme (ECG) et l'échographie quadri-dimensionnelle (4D) [1] [2]. Plusieurs études ont fait l'objet de travaux comparatifs sur la fonction ventriculaire, à partir de l'échographie bi-dimensionnelle (2D) et la ventriculographie isotopique planaire ou tomographique [3] [4] [5]. L'analyse rapportée ici constitue la première étape d'un nouveau protocole d'exploration volumique du ventricule gauche (VG) du cœur par échographie 4D (VG4D), préalable à la réalisation d'une validation clinique VG4D versus TSS à une échelle plus importante.

L'examen échographique cardiaque a longtemps été réduit à l'analyse de séquences d'images 2D. L'objectif de l'échocardiographie 4D est de dépasser ces limites en reconstruisant les déformations volumiques du VG [6]. Les résultats présentés ici sont obtenus à partir d'images acquises pendant un seul cycle cardiaque [7]. Pour cela, une sonde ultrasonore trans-thoracique tournante a été spécialement développée. Placée suivant le grand axe du VG, face à l'apex, elle fournit des coupes apicales dans différentes orientations. Les images obtenues sont utilisées pour reconstruire les enveloppes du volume cardiaque au cours du temps.

Nous rapportons ici des résultats préliminaires obtenus sur un patient porteur d'un stimulateur cardiaque. La stabilité de la fréquence cardiaque réduit les incertitudes dues à des variations de la durée du cycle pendant l'examen tomo-scintigraphique, et permet ainsi une comparaison immédiate des résultats des deux techniques.

Après une présentation des deux protocoles d'examens dans la section 2, la section 3 détaille les résultats obtenus. Les courbes de volumes obtenues pendant un cycle à partir des deux modalités sont comparées. Des mesures classiques de l'examen cardiaque, telles qu'une estimation de la fraction d'éjection et des instants télé-diastoliques et télé-systoliques, sont également fournies.

Protocoles d'examens

Les deux examens d'échographie et de tomo-scintigraphie ont été conduits le même jour à deux heures d'intervalle, sur un patient muni d'un stimulateur cardiaque. Pendant les deux examens, le patient a été placé en décubitus dorsal, très légèrement latéral gauche pour l'échographie. L'examen tomo-scintigraphique, qui résulte de multiples moyennages

temporels, a duré une trentaine de minutes. A l'inverse, seulement quelques secondes ont été nécessaires pour l'examen échocardiographique 4D, qui utilise des images acquises pendant un seul cycle cardiaque.

Examen tomo-scintigraphique

Le protocole utilisé est celui défini en routine dans le service. Le patient a été injecté au repos, avec 925 MBq de sestamibi marqué au ^{99m}Tc , et repris une heure après sous une caméra simple tête DS7 (Sopha Medical Vision), équipée d'un collimateur haute résolution basse énergie (HRBE).

L'acquisition, synchronisée à l'ECG et réalisée avec une fenêtre énergétique de largeur 20 % réglée sur 140 KeV, comporte 32 projections de 45 s sur 180°, avec un départ en OAD 30. Afin de travailler dans des conditions de statistique compatibles avec l'appareillage utilisé, nous avons choisi de reconstruire huit images par cycle, avec une fenêtre de rejet des cycles fixée à 20 %. Dans ce cas précis, le déclenchement se fait sur le pic d'entraînement du stimulateur.

L'applicatif Multidim Gated SPECT fourni par SMV opère une rétroprojection filtrée à l'aide du filtre Butterworth 6/10. Huit volumes myocardiques sont reconstruits, matérialisant la fixation de la paroi, ainsi que sa contraction. Dans une deuxième étape, les volumes endocardiques sont définis, conduisant à l'estimation de la fraction d'éjection en volume.

Le système de traitement, qui ne permet pas de récupérer directement des données volumiques mais des informations 2D, est utilisé pour obtenir dix-huit projections de chaque volume endocardique, sous des orientations équiréparties entre 0° et 180°. Ces projections sont ensuite transférées vers un ordinateur de type PC, où une méthode géométrique simple reconstruit les huit volumes cardiaques. Cette étape est indispensable pour visualiser les volumes TSS sous un angle de vue quelconque, et les recalcr relativement aux volumes échocardiographiques.

Examen échographique

Les résultats du programme VG4D ont été obtenus avec une sonde échocardiographique haute définition développée spécialement par la société VERMON¹. L'originalité de cette sonde à balayage électronique provient de la mise en rotation rapide du capteur piézo-électrique autour de l'axe principal de la sonde, comme indiqué sur la Figure 1.

Le moteur utilisé permet d'atteindre une vitesse de rotation de plus de 8 tours par seconde. Tous les deux tours, le sens de rotation du capteur est inversé, pour permettre aux

câbles de liaison de se dérouler. La durée de changement de sens est très courte (inférieure à 2,5 ms) et peut être négligée. Un codeur optique permet de repérer à tout instant la position angulaire du capteur (angle φ).

Le capteur ultrasonore est perpendiculaire à l'axe de rotation. Il est composé de 64 éléments piézo-électriques, et permet une focalisation à 10 cm du capteur. La fréquence des ultrasons est de 3,25 MHz, la profondeur de pénétration d'une vingtaine de centimètres, et le temps de recouvrement d'écho (à 120 dB) de 250 μ s. La largeur du secteur angulaire balayé est fixée à 60°.

Branchée sur un échographe Esaote², la sonde peut être utilisée comme une sonde classique pour saisir dans un plan fixe des coupes apicales habituelles du ventricule gauche. Lorsqu'elle est mise en rotation, de nouvelles images sont obtenues. La mémoire de l'échographe (cineloop) permet de stocker jusqu'à 100 images numériques, de 720×580 pixels, codées sur 8 bits. Pour cet examen, la fréquence d'acquisition a été fixée à 48 images par seconde.

Le capteur ultrasonore tournant de manière continue pendant l'acquisition, les images obtenues sont acquises en suivant des surfaces coniques, et non pas dans des plans comme habituellement. Néanmoins, l'axe de la sonde différant très peu de l'axe du ventricule, chaque image correspond approximativement à une coupe méridienne du ventricule.

Après acquisition pendant un cycle cardiaque, les images numériques sont transférées de l'échographe vers un ordinateur de type PC. Les contours du VG sont déterminés sur toutes les images acquises, en utilisant un modèle fréquentiel dont l'initialisation ne nécessite que six contours tracés à la main par un opérateur [8]. Un algorithme d'interpolation spatio-temporelle permet alors de reconstruire 32 enveloppes du volume du VG sur le cycle cardiaque. A partir de ces enveloppes, des mesures courantes sont réalisées : estimation des volumes télédiastoliques et télésystoliques, évaluation de la fraction d'éjection, représentation de l'évolution du volume endocardique gauche au cours du temps.

Résultats et discussion

Les deux techniques présentées fournissent deux séries d'enveloppes du volume endocardique sur un cycle cardiaque. Elles sont obtenues à des instants différents du cycle, et avec des précisions inégales liées aux modes d'acquisition et de reconstruction. Les volumes échographiques pourraient être moyennés afin d'obtenir huit volumes et les comparer

¹ Vermon, 168 rue du Général Renault, 37000 Tours.

² Esaote Biomedica, Ultrasound, via Siffredi, 58, 16153 Genoa, Italie.

directement aux volumes TSS. La Figure 2 présente deux volumes de chaque modalité reconstruits sur PC. A ce stade de l'étude, les méthodes de représentation des volumes sont encore différentes : en TSS, une simple visualisation est réalisée, tandis que les images échographiques, paramétrées, traduisent les variations locales d'amplitude d'un volume à un autre.

Courbes des volumes

La Figure 3 présente les courbes de volume obtenues par VG4D et TSS. Chaque volume est normalisé relativement au volume maximum obtenu en diastole. Le couplage à l'électrocardiogramme (ECG), où l'onde R est précédée par le pic d'entraînement du stimulateur cardiaque, produit le décalage de la télé-diastole relativement au début du cycle.

Sur cette figure, on constate une différence volumique pendant la phase de remplissage diastolique. Ce résultat, observé pour l'instant sur un seul patient, devra être précisé pendant l'étude clinique.

Instants télédiastoliques

Les mesures réalisées en TSS indiquent que le volume du VG est maximum au temps $t_d=96$ ms après le début du front QRS. Ce temps t_d permet d'approcher l'instant où se produit la télé-diastole dans le cycle cardiaque. Les mesures VG4D donnent un temps équivalent t_d de 72ms. Ces estimations, du même ordre de grandeur relativement à la durée du cycle, diffèrent légèrement car le nombre de volumes restitués par le protocole VG4D est plus important qu'en TSS. La précision sur t_d est donc meilleure en VG4D.

Le décalage constaté de la diastole relativement au début du cycle cardiaque est dû à la présence du stimulateur cardiaque du patient.

Instants télésystoliques

De la même manière, pour la TSS, le volume du VG est minimum au temps $t_s=384$ ms, approximation de l'instant télé-systolique. Pour VG4D, t_s est égal à 480 ms. La concordance des mesures est donc tout à fait acceptable, vu le nombre de volumes reconstruits en TSS.

Fraction d'éjection

Une mesure importante de l'examen cardiaque est l'estimation de la fraction d'éjection, définie par la relation :

$$FE = \frac{V_D - V_S}{V_D}$$

où V_D et V_S représentent respectivement les volumes télé-diastoliques et télé-systoliques du VG.

En TSS, la valeur mesurée de la fraction d'éjection FE est 49 %. Avec le protocole VG4D, on obtient une valeur FE=42 %. Ces deux mesures sont, là aussi, du même ordre de grandeur. La suite de l'étude, conduite sur un nombre de sujets plus important, confirmera ou infirmera l'écart entre les deux valeurs ainsi que le sens de cet écart.

Conclusion

L'étude menée pour comparer les volumes VG4D (ultrasons) et TSS (médecine nucléaire) conduit à une première équivalence des volumes du VG reconstruits par ces deux modalités. Les courbes globales de volume ainsi que la fraction d'éjection estimée à partir des deux examens TSS et VG4D sont comparables.

Au vu des résultats déjà obtenus, montrant la faisabilité de la méthode, il est important de réaliser une étude statistique plus complète en explorant d'autres patients. Parallèlement, on pourra affiner les résultats globaux en menant des comparaisons quantitatives locales. Ceci nécessitera seulement de replacer les volumes des deux modalités dans un même repère.

Références

- [1] S. Boonyaprapa, M. Ekmahachai, N. Thanachaikun, W. Jaiprasert, V. Sukthomya and N. Poramatikul, Measurement of left ventricular ejection fraction from gates technetium-99m sestamibi myocardial images, *Eur J Nucl Med*, June 1995, 22(6) : 528-531.
- [2] M. L. Bartlett, G. Srinivasan, W. C. Barker, A. N. Kitsiou, V. Dilsizian, S. L. Bacharach, Left ventricular ejection fraction : comparison of results from planar and SPECT gated blood-pool studies, *J Nucl Med*, Nov 1996, 37(11) : 1795-9.
- [3] M. Huonker, D. Koenig, J. Keul, Assessment of left ventricular dimensions and functions in athletes and sedentary subjects at rest and during exercise using echocardiography, Doppler sonography and radionuclide ventriculography, *Int J Sports Med*, Nov 1996, 17 Suppl 3 : 8173-9.
- [4] A. Breekland, P. K. Blanksma, R. A. Kengen, E. G. Pieper, H. J. Crijns, C. A. Visser, Categorization of abnormal left ventricular function: comparison between radionuclide angiographic and echographic technique in postinfarction patients, *Am J Card*, Jan 1997, 79(1) : 108-111.

- [5] A. S. Gopal, Z. Shen, P. M. Sapin, A. M. Keller, M. J. Schnellbaecher, D. W. Leibowitz, O. O. Akinboboye, R. A. Rodney, D. K. Blood, D. L. King, Assessment of cardiac function by three-dimensional echocardiography compared with conventional noninvasive methods, *Circulation*, Aug 15 1995, 92(4) : 642–653.
- [6] Cl. Bonciu, Restitution 4D du ventricule gauche du cœur par échocardiographie, *Thèse de l'Université d'Orléans*, Dec. 1997.
- [7] Cl. Bonciu, R. Weber, L. D. Nguyen, 4–D Reconstruction of the left ventricle from a single cycle ultrasound acquisition, *Signal Processing IX, Theories and Applications, Proceedings of EUSIPCO–98*, Sep 1998, 2 : 677–680.
- [8] Cl. Bonciu, C. Léger, J. Thiel, A Fourier-Shannon approach to closed contours modelling, *Bioimaging (Institute of Physics Publishing)* 1998, 6 : 111–125.

Figures

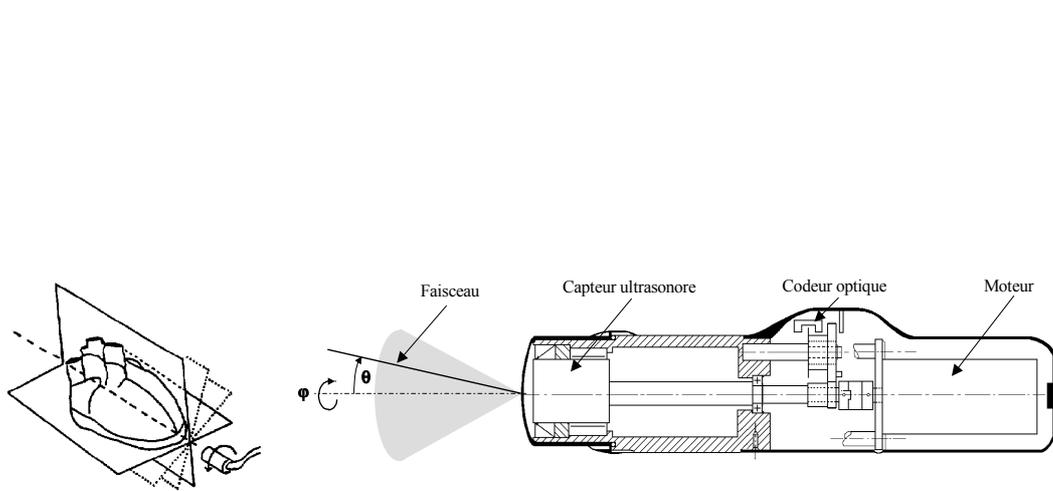


Figure 1 : Vue synthétique de la sonde tournante développée pour l'acquisition échographique 4D.

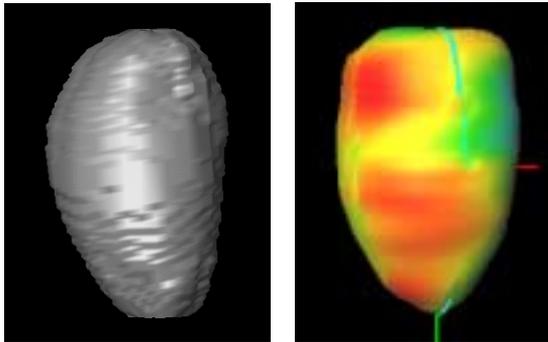


Figure 2 : Volumes de tomoscintigraphie synchronisée et d'échocardiographie.

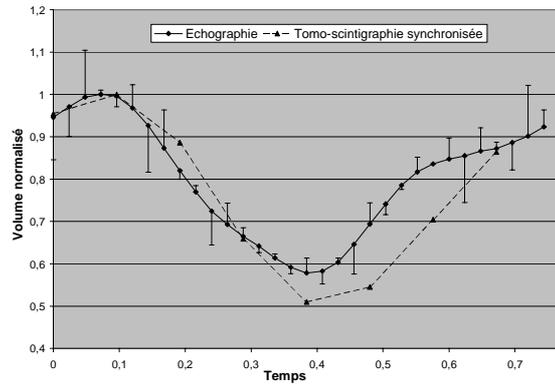


Figure 3 : Comparaison des courbes de volume obtenues par échographie et tomo-scintigraphie synchronisée.