

Détection et localisation de microbulles par méthodes ultrasonores

Résumé

Ces travaux de thèse portent sur la détection spécifique de bulles par méthodes ultrasonores dans le corps humain.

Les bulles en milieu liquide sont d'excellents résonateurs pour les ultrasons. Leur forte échogénicité et leur signature spectrale particulière en font un diffuseur privilégié. Pour cette raison, des microbulles injectables sont utilisées en clinique pour le rehaussement de contraste en imagerie vasculaire échographique.

Au cours de ma thèse, j'ai travaillé sur la détection spécifique des bulles de décompression, formées naturellement dans le corps humain lorsque celui-ci est soumis à certaines variations de pression. La formation de ces embolies gazeuses, pouvant générer de nombreux symptômes, doit être surveillée pour améliorer la sécurité des plongeurs et autres personnels hyperbares. Dans ce contexte, j'ai travaillé en collaboration avec l'entreprise BF Systèmes sur un système de détection simplifiée des bulles de décompression qui pourrait permettre, à terme, de mieux comprendre et maîtriser la physiologie de décompression. Nous avons conçu et fabriqué plusieurs sondes pour la détection des bulles circulantes et dont les performances de détection ont été validées sur des plongeurs volontaires. J'ai aussi étudié l'application de méthodes de traitement du signal spécifiques à l'imagerie vasculaire ultrarapide pour améliorer la spécificité des séquences de Doppler avec agents de contraste. Cette méthode a permis de produire des cartes vasculaires du rein transplanté chez l'humain au contraste supérieur à celles obtenues par des méthodes conventionnelles.

Enfin, j'ai développé une nouvelle méthode d'imagerie vasculaire : l'imagerie par localisation ultrasonore de microbulles. Cette technique, inspirée par les méthodes de microscopie optique de localisation de fluorophores isolés, tire parti des très hautes cadences prodiguées par l'imagerie par ondes planes pour dépasser la limite de résolution grâce à la localisation d'agents contraste ultrasonore. Des résolutions jusqu'à un dixième de la longueur d'onde ont pu être obtenues *in-vitro* et *in-vivo*. Cette méthode pourrait permettre de cartographier de manière non-invasive le réseau vasculaire jusqu'aux capillaires les plus fins et ce à plusieurs centimètres de profondeurs.

Abstract

This thesis focuses on the specific detection of bubbles by ultrasonic methods in the human body.

Bubbles in a liquid medium are great resonators for ultrasound. Due to their strong echogenicity and their specific spectral signature, they are prime ultrasonic scatterers. Therefore, injectable microbubbles are used in clinics to enhance the contrast performances of ultrasound vascular imaging. During my PhD, I worked on the specific detection of decompression bubbles. These bubbles are naturally generated in tissues when the body is exposed to certain pressure variations. The formation of these gaseous emboli which can be linked to various symptoms needs to be monitored in order to improve the health and safety of scuba divers and hyperbaric staffs. I collaborated in this project with a French company, BF Systèmes, to design a simplified device for the detection of decompression gaseous emboli. This could in term help understand and control the physiology of decompression. In this respect, we designed and produced several probes for the detection of venous gas emboli. These probes were tested and validated through the detection of decompression bubbles on divers.

I also applied signal processing methods customized for ultrafast ultrasound dataset to enhance the contrast of Doppler sequences with contrast agents. This technique provided vascular maps of the transplanted human kidney reaching higher contrast levels than conventional methods.

Finally, I developed a new method for vascular imaging: ultrafast ultrasound localization imaging. This technique was inspired from the revolutionary methods of optic microscopy based on the localization of isolated fluorophores or dyes. It takes advantage of the ultrafast frame rates yielded by plane wave imaging to surpass the traditional resolution limit through ultrafast localization of ultrasound contrast agents. Resolutions down to a tenth of the wavelength were yielded both *in-vitro* and *in-vivo*. This technique could allow the non-invasive mapping of the whole vascular network down to the smallest capillaries in deep organs at few centimeters in-depth.