

RÉSUMÉ

Contexte La mammographie est une modalité d'imagerie médicale à faible dose permettant la détection du cancer mammaire à un stade précoce. Lors de l'examen, le sein est comprimé entre deux plaques afin d'uniformiser son épaisseur et d'étaler les tissus. Cette technique améliore la qualité clinique de l'examen mais elle est également source d'inconfort chez les patientes. Bien que la mammographie soit la méthode de dépistage du cancer mammaire la plus efficace, l'inconfort ressenti peut dissuader les femmes de passer cet examen. Par conséquent, une technique alternative de compression du sein prenant en compte le confort de la patiente en plus de l'amélioration de la qualité d'image, présente un grand intérêt.

Méthodes Dans ce travail, nous avons proposé un nouvel environnement de simulation permettant l'évaluation de différentes techniques de compression du sein. La qualité de la compression a été caractérisée en termes de confort de la patiente, de la qualité d'image et de la dose glandulaire moyenne délivrée. Afin d'évaluer la déformation du sein lors de la compression, un modèle biomécanique du sein a été développé. Ce dernier a été calibré et évalué en utilisant des volumes IRM d'une volontaire dans trois configurations différentes. Par ailleurs, la qualité d'image a été évaluée en utilisant un environnement de simulation d'imagerie auparavant validé. Ce dernier est souvent utilisé pour la simulation des acquisitions en mammographie.

Résultats La capacité du modèle biomécanique à reproduire les déformations réelles des tissus a été évaluée. Premièrement, la géométrie du sein dans les trois configurations a été estimée en utilisant des matériaux Néo-Hookeens pour la modélisation des tissus mous. Les propriétés mécaniques respectives ont été calculées tel que les meilleures estimations de la géométrie du sein dans les positions couchée sur le ventre et couchée sur le dos ont été obtenues. La distance de Hausdorff entre les données estimées et les données mesurées est égale à 2.17 mm et 1.72 mm respectivement. Le modèle a été ensuite évalué dans la configuration couchée sur le ventre, couchée sur le dos et une troisième position (sur le dos, le ventre et de côté).

Les données mesurées sont les suivantes :

Position	Distance de Hausdorff (mm)
couchée sur le ventre	2.17
couchée sur le dos	1.72
une troisième position (sur le dos, le ventre et de côté)	-

RÉSUMÉ

figuration couchée sur le ventre et inclinée, la distance de Hausdorff respective étant égale à 6,14 mm. Cependant, il a été prouvé que le modèle Néo-Hookéen ne peut pas décrire intégralement le comportement mécanique riche des tissus mous. Par conséquent, d'autres modèles de matériaux basés sur la fonction de Gent ont été proposés. Cette dernière hypothèse a permis de réduire l'erreur maximale dans la configuration couchée sur le ventre et dos incliné d'environ 10 mm.

Le couplage entre l'utilisation de ces deux techniques, dont la simulation de la mécanique du sein et la simulation d'image, nous a permis d'effectuer deux études préliminaires. Dans la première étude, les différences entre les pelotes de compression standard rigide et flex ont été évaluées. Selon les simulations effectuées, l'utilisation de la pelote flex pour la compression du sein peut améliorer le confort du patient sans affecter la qualité de l'image ou la dose glandulaire moyenne.

Dans la seconde étude, l'impact du positionnement du sein sur la mécanique globale de la compression a été étudié. Nos simulations confirment que, en rapprochant la pelote de compression de la cage thoracique, l'inconfort du patient peut être augmenté. Selon les données estimées, pour la même épaisseur du sein, la force de compression peut être augmentée de 150 %.

Conclusion Les bonnes estimations de la géométrie du sein pour différentes configurations sous l'effet de la gravité, ainsi que les résultats conformes aux descriptions cliniques sur la compression du sein, ont confirmé l'intérêt d'un environnement de simulation dans le cadre de telles études.

Mots clés Mammographie, compression mammaire, confort du patient, modèle biomécanique

ABSTRACT

Background Mammography is a specific type of breast imaging that uses low-dose X-rays to detect breast cancer in early stage. During the exam, the women breast is compressed between two plates in order to even out the breast thickness and to spread out the soft tissues. This ^{compression} technique improves the exam quality but can also be a source of discomfort. Though the mammography is the most effective breast cancer screening method, the discomfort perceived during the exam might deter women from getting the test. Therefore, an alternative breast compression technique considering the patient comfort in addition to an improved clinical image quality is of large interest.

(supine, prone and tilted supine)
Methods In this work, a simulation environment allowing to evaluate different breast compression techniques was put forward. The compression quality was characterized in terms of patient comfort, image quality and average glandular dose. To estimate the breast deformation under compression, a subject-specific ^{Finite Element} biomechanical model was developed. The model was calibrated and evaluated using MR images in three different breast configurations. On the other hand, image quality is assessed by using an already validated simulation framework. ~~The latter is largely used to mimic image acquisitions in mammography.~~

^{This framework was}
Findings The capability of the breast biomechanical model to reproduce the real breast deformations was evaluated. To this end, the geometry estimates of the three breast configurations were computed using Neo-Hookean material models. The subject-specific mechanical properties ^{of each breast's sub-structures} were assessed such that the best estimates of the supine and prone configurations were obtained. The Hausdorff distance ^{Finite Element} between the estimated and the measured geometries ^{were} was equal to 2.17 mm and 1.72 mm respectively. Then, the model was evaluated using the supine tilted configuration; ^{in that case} a Hausdorff distance of 6.14 mm was obtained. However, it was proved that the Neo-Hookean strain energy function cannot totally describe the rich mechanical behavior of breast soft tissues. Therefore, alternative material models based on the Gent strain energy function were proposed. The latter assumption ^{reduced} improved the maximal error in supine tilted breast configuration by about 10mm.

coupling between
The use of both technologies, the simulations of the breast mechanics and the X-ray simulations, allowed ^{us} to perform two preliminary studies. In the first study, the differences between ~~the~~ standard rigid and flex compression paddles were assessed. According to the performed simulations, using the flex paddle for breast compression may improve the patient comfort without affecting the image quality and the delivered average glandular dose.

In the second study, the impact of breast positioning on the general compression mechanics was described. Our simulations confirm that ~~the~~ positioning the paddle closer to the chest wall is suspected to increase the patient discomfort. *Indeed,* Based on the estimated data, for the same breast thickness, the compression force may be increased by 150%

Conclusion The good estimation of breast deformation under gravity as well as the conforming results on breast compression quality with the already published clinical statements have shown the feasibility of such studies by the means of a simulation framework.

Keywords Mammography, breast compression, patient comfort, biomechanical model

CONTENTS

Contents	vii
List of Symbols	1
General Problem statement	1
Technical approach	3
Thesis overview	5
Ethics	7
1 Clinical background	9
1.1 Breast anatomy	10
1.1.1 Breast embryogenesis	10
1.1.2 Breast external appearance	11
1.1.3 Internal structures	12
1.1.4 Adult breast texture changes	15
1.2 Breast Cancer	16
1.2.1 Cancer classification	17
1.2.2 Breast cancer screening	18
1.3 Medical imaging	18
1.3.1 X-ray mammography	18
1.3.2 Ultrasounds	20
1.3.3 Magnetic resonance imaging	20
1.4 Conclusion	21