

Titre : Un dispositif médical robotique flexible basé sur un mécanisme de tensegrité sous-actionné pour la chirurgie mini-invasive (MIS).

Mots clés : *Instruments chirurgicaux, Imagerie médicale, Chirurgie mini-invasive, Agrafeuse chirurgicale.*

Résumé : Les chirurgies colorectales mini-invasives, ainsi que les interventions réalisées dans des régions anatomiques contraintes, sont limitées par les agrafeuses endoscopiques conventionnelles à mâchoires rigides, dont le positionnement et l'orientation optimaux restent difficiles à atteindre. Cette thèse répond à ce défi clinique en développant une **agrafeuse chirurgicale endoscopique flexible**, conçue pour s'adapter aux géométries complexes du pelvis tout en assurant une utilisation sûre, précise et ergonomique. Une analyse approfondie des contraintes anatomiques, basée sur des IRM pelviennes pondérées T2 de 77 sujets, a permis de caractériser l'espace de travail opératoire et d'optimiser deux longueurs de travail, 67,10 mm et 55,70 mm, couvrant plus de 95% de la population étudiée. Ces résultats fournissent des références essentielles pour la conception d'outils adaptés aux spécificités morphologiques des patients. Un modèle cinématique du mécanisme flexible de la mâchoire a été élaboré à partir de structures de

tensegrité empilées et d'une approximation de courbure constante par morceaux (PCCA), permettant de prédire le comportement d'articulation, la transmission des forces intersegmentaires et les singularités potentielles. Ces prédictions ont guidé l'optimisation de la conception, validée par un prototypage itératif en CAO. Deux générations de prototypes ont démontré une articulation fiable et des performances mécaniques robustes, la seconde intégrant des segments rigides modulaires et une enclume amovible pour une fonctionnalité accrue. Un mécanisme de poignet à charnière flexible a également été conçu pour améliorer la manœuvrabilité, optimisé pour maximiser la flexion tout en minimisant la force d'actionnement. Enfin, un système d'actionnement manuel a été développé pour intégrer le déclenchement, l'articulation de la mâchoire et la flexion du poignet dans une interface intuitive, répondant aux exigences ergonomiques des environnements chirurgicaux contraints. Ce travail établit ainsi un cadre méthodologique complet pour la conception d'agrafeuses chirurgicales flexibles, ouvrant la voie à des dispositifs mini-invasifs de nouvelle génération

Title: A Flexible robotic medical device based on under actuated tensegrity mechanism for minimally invasive surgery (MIS).

Keywords : *Surgical Tools, Medical Imaging, Minimally Invasive Surgery, Surgical Stapler.*

Abstract: Limitations of Conventional Endoscopic Staplers and Proposed Innovation Minimally invasive colorectal surgeries, along with procedures performed in anatomically constrained regions, are hindered by the limitations of conventional rigid-jaw endoscopic staplers, which often struggle to achieve optimal positioning and orientation. This thesis addresses this clinical challenge by developing a **flexible endoscopic surgical stapler** designed to adapt to the complex geometries of the pelvis while ensuring safe, precise, and ergonomic operation. Relevant anatomical constraints were characterized using T2-weighted pelvic MRI scans from 77 subjects, enabling the definition of a feasible operational workspace. Two optimal working lengths, 67.10 mm and 55.70 mm, were identified, effectively accommodating over 95% of the studied population and providing benchmarks for patient-specific tool design. Based on these constraints, a kinematic model of the flexible jaw mechanism was developed using a stacked tensegrity framework and

Piecewise Constant Curvature Approximation (PCCA). This approach enabled the prediction of articulation behaviour, intersegmental force transmission, and potential singularities, guiding the optimization of the design. The model's predictions were validated through iterative prototyping using CAD, with two prototype generations demonstrating reliable articulation and robust mechanical performance. The second iteration incorporated modular rigid segments and a removable anvil for enhanced functionality. To further improve maneuverability, a flexural hinge-based wrist mechanism was designed and analytically modelled, optimizing parameters to maximize bending while minimizing actuation force. Finally, a manual actuation system was developed to integrate firing, jaw articulation, and wrist bending into an intuitive control interface, informed by ergonomic considerations. This work presents a comprehensive framework for designing and prototyping flexible surgical staplers that are mechanically reliable, anatomically optimized, and ergonomically practical, paving the way for a new generation of minimally invasive surgical devices.