Zusammenfassung

Lalith Nag Sharan Gururaj
Dr. Sc. hum.

Deep learning based image analysis for endoscopic minimally invasive mitral valve repair

Fach/Einrichtung: Medizinische Biometrie und Informatik
Doktormutter: Jun. Prof Dr. Sandy Engelhardt

Die Mitralklappeninsuffizienz ist eine der häufigsten Herzklappenerkrankungen mit einer komplexen Pathophysiologie und Struktur-Funktions-Beziehung. Der aktuelle Goldstandard für die Behandlung der Mitralsuffizienz ist die minimalinvasive Mitralklappenrekonstruktion, ein schwieriger und anspruchsvoller Eingriff, der routinemäßig über einen eingeschränkten chirurgischen Zugang mit endoskopischer Unterstützung durchgeführt wird. In der Regel werden verschiedene chirurgische Techniken angewandt und kombiniert, um die unterschiedlichen Klappendefekte zu reparieren. Beispiele sind die Umgestaltung des Mitralanulus durch Implantation einer Ringprothese von geeigneter Größe und die Korrektur eines Prolapses des Klappensegels durch Einsetzen eines künstlichen Sehnenfadens von geeigneter Länge. Die chirurgische Entscheidungsfindung ist von entscheidender Bedeutung für die erfolgreiche Wiederherstellung der Klappenfunktion, jedoch gibt es keinen allgemein anerkannten Konsens über eine objektive Standard-Entscheidungsstrategie. Die quantitative Bildanalyse kann dazu beitragen, dieser Problematik zu begegnen, indem sie ein besseres Verständnis der Klappenmorphologie ermöglicht und dem Chirurgen ergänzende Informationen liefert.

In dieser Arbeit werden drei Teilziele formuliert, um das Potential von quantitativer Bildanalyse zu nutzen. Das erste Teilziel ist es, die 3D-Klappenmorphologie in Echtzeit aus patientenspezifischen Silikonklappenrepliken der Mitralklappe zu extrahieren. Zu diesem Zweck wird eine RGB-D Kamera ausgewählt, die in Echtzeit für den Nahbereich in einem chirurgischen Simulator geeignet ist, indem die Leistung von drei Kameras untersucht und verglichen wird. Die untersuchten Kameras werden gründlich nach Metriken wie Füllrate, Z-Genauigkeit, Checker-Distance und Abstand der Punktwolken über mehrere Kameraparameter in Setups bewertet, welche eine minimalinvasive Mitralklappenreparatur nachahmen. Darüber hinaus wird smartMVR, eine Echtzeit-Messung und Augmented-Reality-Anwendung, basierend auf der ausgewählten Kamera entwickelt. Diese Anwendung ermöglicht die Durchführung objektiver geometrischer Messungen der valvulären und subvalvulären Regionen, die interaktive Erkundung der 3D-Klappenanatomie, die Durchführung virtueller Ringgrößenmessungen und die Visualisierung präoperativer Informationen aus Ultraschallbildern. Das zweite Teilziel besteht darin, das Erscheinungsbild der Klappe im Simulator realistischer zu gestalten und gleichzeitig die Lage der Nahtpunkte besser zu erhalten. Es wird eine Deep-Learning-Methode vorgeschlagen, die eine unpaired image-to-image translation mit expliziten Einschränkungen durch ein vorab trainiertes Modell zur Erkennung von Nahtpunkten durchführt. Das erzeugte realistische Aussehen der transformierten Silikonklappenbilder kann als zusätzliche Daten im intraoperativen Bereich für nachgelagerte Aufgaben verwendet werden. Das dritte Ziel besteht darin, die Einstich- und Ausstichpunkte von Nahtfäden automatisch zu erkennen, die während einer Mitralklappenannuloplastie am Annuloplastiering platziert werden. Es wird eine Deep-Learning-Methode vorgeschlagen, welche eine Multi-Instanz-Multi-Klassen-Heatmap-basierte Regression durchführt, um zu lernen, diese

Punkte auf eine überwachte Weise zu erkennen. Die erkannten Nahtpunkte helfen dabei, die zugrunde liegende Klappen­geometrie zu ermitteln und können zusätzlich als Augmented-Reality-Marker verwendet werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass in dieser Arbeit bildbasierte Techniken vorgestellt wurden, die das Verständnis der Klappen­pathomorphologie, die chirurgische Entscheidungsfindung und die praktische patientenspezifische chirurgische Ausbildung verbessern können. Trotz der derzeitigen Einschränkungen bei der intraoperativen Anwendung bietet ihre Verwendung als Hilfsmittel in chirurgischen Simulatoren und ihre Verwendung in retrospektiven intraoperativen Analysen ein quantitatives Vokabular für die Dokumentation und Diskussion verschiedener Strategien. Damit ebnet sie den Weg für Standardisierung, personalisierte Behandlungsstrategien und die Bewältigung der chirurgischen Komplexität dieses Verfahrens.