



Doctoral Thesis

## **Novel cardiovascular simulators and objective performance assessment methods**

**Author(s):**

Zimmermann, Jan Michael

**Publication Date:**

2021

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-b-000498182> →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH NO. 27535

# **Novel cardiovascular simulators and objective performance assessment methods**

A thesis submitted to attain the degree of

DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH  
(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

**Jan Michael Zimmermann**

MSc ETH in Mechanical Engineering  
born on 22.05.1992  
citizen of Jenins GR, Switzerland

accepted on the recommendation of

Prof. Dr. Mirko Meboldt, examiner  
Prof. Dr. Roger Gassert, co-examiner

2021

# Abstract

Surgical education methods have largely followed the traditional Halsted's model of "see one, do one, teach one" [1]. While at the same time surgery has seen rapid development in a wide range of novel surgery techniques and tools, resulting in more complex and demanding procedures for the surgeons. This is especially true for the surgical treatment of cardiovascular diseases, where the emergence of minimally invasive cardiovascular interventions is pushing the boundaries in terms of technological possibilities but also in terms of a complex skillset that is required from surgeons performing such interventions. Thus, the "see one, do one, teach one" model should be enhanced with a lot of practice between each step. There is a push towards more simulation-based methods, however, their widespread adoption has been difficult. Two key challenges remain that manifest themselves in the lack of realistic simulators that combine benefits from physical and virtual technologies and the lack of tools to achieve a more objective performance/skill assessment of aspiring physicians. Thus, the objectives of this thesis are threefold: (I.) develop and validate augmented physical simulators for the following minimally invasive cardiovascular interventions: the transeptal puncture procedure, mitral valve repair interventions, such as the MitraClip procedure, and the transcatheter aortic valve implantation procedure. (II.) Investigate eye tracking technologies as a tool to objectively assess the visual behaviour of expert physicians and investigate the potential usage of it to measure objective performance assessment metrics. (III.) Demonstrate on a platform the combined benefits of augmented physical simulators enhanced with objective performance assessment methods.

In objective (I.) we developed three augmented physical simulators that were used in various training courses of aspiring physicians. In the scope of a validation study 14 physicians tested and trained on the transeptal puncture simulator and assessed its face and content validity. The main findings were that the augmented physical simulator was rated better than most comparable platforms, especially regarding its overall impression, realistic haptic perception and usability for training. Another important advantage of augmented physical simulators is the possibility

to use and test existing as well as new tools and surgical techniques. We demonstrated this with the TAVI simulator, which we used to test a new surgical technique for the Portico system.

In objective (II.), the investigation of expert visual behaviour strategies we conducted a study involving 5 operators performing a total of 33 cardiovascular interventions. With mobile eye tracking glasses, we recorded where the operators were looking throughout the entire procedure. The main findings of this study were that the physicians exhibit characteristic visual behaviour patterns for specific interventional routines and importantly that these routines differed between expert and novice physicians. These findings suggest that visual behaviour patterns could potentially be exploited to create an objective assessment tool based on eye tracking data with expert visual behaviour being a desirable characteristic that should be learned by aspiring physicians. Further, based on the same data set the usage of fluoroscopy was investigated by employing automated data analysis based on machine learning algorithms. We were able to show for the first time that a significant amount of the administered radiation is potentially avoidable in fluoroscopically guided interventions. These findings motivate the sensitisation of physicians to the correct and proper usage of current fluoroscopy systems and point out how future generation systems could potentially monitor and improve the radiation dose usage, thus, potentially significantly reducing the amount of radiation the patients, as well as the staff, are exposed to in cardiovascular interventions.

Finally, to address objective (III.) the mitral valve repair simulator was developed to demonstrate the combination of an augmented physical simulator with the capabilities of measuring performance metrics objectively, such as the automatic assessment of the fluoroscopy usage based on eye tracking technologies.

In conclusion, the results of this thesis directly contribute to a more simulation-based education of minimally invasive cardiovascular interventions and demonstrate the potential for objective performance assessment methods. Widespread adoption of simulation-based training with proper simulators in combination with objective assessment methods will likely raise the quality of care, improve surgical outcome and ultimately improve patient safety.

# Zusammenfassung

Chirurgische Ausbildungsmethoden sind weitgehend dem traditionellen Halsted'schen Modell von "see one, do one, teach one" gefolgt [1]. Gleichzeitig hat die Chirurgie eine rasante Entwicklung bei einer Vielzahl neuartiger chirurgischer Techniken und Instrumente erlebt, was zu komplexeren und anspruchsvolleren Verfahren für die Chirurgen führte. Dies gilt insbesondere für die chirurgische Behandlung von Herz-Kreislauf-Erkrankungen, wo das Aufkommen von minimal-invasiven kardiovaskulären Eingriffen die Grenzen in Bezug auf die technologischen Möglichkeiten, aber auch in Bezug auf die komplexen Fähigkeiten, die von Chirurgen, die solche Eingriffe durchführen, verlangt werden, verschiebt. Daher sollte das Modell "see one, do one, teach one" mit viel Übung zwischen den einzelnen Schritten erweitert werden. Es gibt einen Vorstoß in Richtung simulationsbasierter Methoden, doch ihre breite Anwendung ist schwierig. Zwei zentrale Herausforderungen bleiben bestehen, die sich im Mangel an realistischen Simulatoren manifestieren, die die Vorteile von physischen und virtuellen Technologien kombinieren, und im Mangel an Werkzeugen, die eine objektivere Leistungs-/Fähigkeitsbewertung von angehenden Ärzten ermöglichen. Die Ziele dieser Arbeit sind daher dreifach: (I.) Entwicklung und Validierung von physikalisch augmentierten Simulatoren für die folgenden minimal-invasiven kardiovaskulären Eingriffe: die transeptale Punktion, Mitralklappenreparaturen, wie z. B. das MitraClip-Verfahren, und die Transkatheter-Aortenklappen-Implantation. (II.) Untersuchung von Eye-Tracking-Technologien als Werkzeug zur objektiven Beurteilung des Sehverhaltens von Fachärzten und Beurteilung dieser Technologien für die potenzielle Verwendung zur Messung objektiver Leistungsbewertungsmetriken. (III.) Demonstration der kombinierten Vorteile von physikalisch augmentierten Simulatoren, die mit objektiven Leistungsbewertungsmethoden ausgestattet sind, auf einer Plattform.

In Ziel (I.) haben wir drei physikalisch augmentierte Simulatoren entwickelt, die in verschiedenen Ausbildungskursen für angehende Mediziner eingesetzt wurden. Im Rahmen einer Validierungsstudie wurde der Transeptalpunktionssimulator von 14 Ärzten getestet und

## *Zusammenfassung*

seine Gesichts- und Inhaltsvalidität bewertet. Die Hauptergebnisse waren, dass der physikalisch augmentierte Simulator besser bewertet wurde als die meisten vergleichbaren Plattformen, insbesondere hinsichtlich des Gesamteindrucks, der realistischen haptischen Wahrnehmung und der Nutzbarkeit für Trainingszwecke. Ein weiterer wichtiger Vorteil von physikalisch augmentierten Simulatoren ist die Möglichkeit, sowohl bestehende als auch neue Werkzeuge und Operationstechniken einzusetzen und zu testen. Dies haben wir mit dem TAVI-Simulator demonstriert, mit dem wir eine neue Operationstechnik für das Portico-System getestet haben.

Im Ziel (II.), der Untersuchung der visuellen Verhaltensstrategien von Experten, führten wir eine Studie mit 5 Operateuren durch, die insgesamt 33 kardiovaskuläre Eingriffe durchführten. Mit einer mobilen Eye-Tracking-Brille zeichneten wir auf, wohin die Operateuren während des gesamten Eingriffs blickten. Die Hauptergebnisse dieser Studie waren, dass die Ärzte charakteristische visuelle Verhaltensmuster für bestimmte Interventionsroutinen aufwiesen und, was wichtig ist, dass sich diese Routinen zwischen Experten und Novizen unterschieden. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass visuelle Verhaltensmuster potenziell genutzt werden könnten, um ein objektives Bewertungsinstrument auf der Grundlage von Eye-Tracking-Daten zu erstellen, wobei das visuelle Verhalten von Experten eine wünschenswerte Eigenschaft ist, die von angehenden Ärzten erlernt werden sollte. Des Weiteren wurde auf Basis desselben Datensatzes die Nutzung der Durchleuchtung durch den Einsatz automatisierter Datenanalyse mit Hilfe von Machine-Learning-Algorithmen untersucht. Wir konnten erstmals zeigen, dass ein signifikanter Anteil der verabreichten Strahlung bei fluoroskopisch geführten Eingriffen potentiell vermeidbar ist. Diese Ergebnisse motivieren die Sensibilisierung von Ärzten für die korrekte und ordnungsgemäße Verwendung aktueller Durchleuchtungssysteme und zeigen auf, wie zukünftige Durchleuchtungssysteme die Verwendung der Strahlung potenziell überwachen und verbessern könnten, wodurch die Strahlenmenge, welcher Patienten und Personal bei kardiovaskulären Eingriffen ausgesetzt sind, potenziell deutlich reduziert werden könnte.

Schließlich wurde zur Erreichung des Ziels (III.) der Mitralklappenreparatursimulator entwickelt, um die Kombination eines physikalisch augmentierten Simulators mit den Möglichkeiten der

objektiven Messung von Leistungsmetriken zu demonstrieren, wie z. B. die automatische Bewertung der Durchleuchtungsnutzung auf der Grundlage von Eye-Tracking-Technologien.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Ergebnisse dieser Arbeit einen direkten Beitrag zu einer stärker simulationsbasierten Ausbildung von minimalinvasiven kardiovaskulären Eingriffen leisten und das Potenzial für objektive Leistungsbewertungsmethoden aufzeigen. Eine weit verbreitete Einführung von simulationsbasiertem Training mit geeigneten Simulatoren in Kombination mit objektiven Bewertungsmethoden birgt grosses Potenzial um die Qualität der Behandlungen zu erhöhen, die chirurgischen Ergebnisse zu verbessern und letztendlich die Sicherheit und Versorgung der Patienten zu verbessern.