

Leon Eric Mandelka  
Dr. med.

## **Intraoperative 3D-Bildgebung bei der Versorgung von Fersenbeinfrakturen: Evaluation von Softwareapplikationen für mobile 3D-C-Bögen**

Fach: Chirurgie  
Doktorvater: Prof. Dr. med. Paul Alfred Grützner

Bei der operativen Versorgung von Calcaneusfrakturen ist die möglichst optimale Wiederherstellung der Anatomie, insbesondere bei Frakturfragmenten mit Gelenkanteilen, in Hinblick auf das funktionelle Ergebnis von besonderer Bedeutung. Aufgrund der besonderen Weichteilsituation am Rückfuß und entsprechenden Komplikationen bei ausgedehnten operativen Zugangswegen ist eine Entwicklung hin zu minimal-invasiven Verfahren zu beobachten. Um trotz eines Zugangs ohne direkten Einblick auf alle Gelenkflächen des Calcaneus eine optimale Rekonstruktion zu ermöglichen, wird zur Kontrolle von Reposition und Implantatlage zunehmend auf die intraoperative 3D-Bildgebung zurückgegriffen.

Um den dadurch entstehenden intraoperativen Mehraufwand zu reduzieren, wurden von der Industrie Applikationen für mobile 3D-C-Bögen entwickelt. Diese sollen den Operateur in Zukunft mithilfe einer automatischen Einstellung der Standardebenen, der Erkennung und Visualisierung von frakturierten Gelenkflächen mit vorhandenen Stufen und Spalten sowie der Detektion von (intraartikulären) Schrauben bei der Auswertung der Bilddaten unterstützen. Ziel dieser Studie war es, diese Applikationen an 3D-Datensätzen zu evaluieren, um die Performance sowie potenzielle Probleme bei der klinischen Verwendung aufzuzeigen. Damit sollte ein Beitrag zur Optimierung der Applikationen und der Überführung in den klinischen Einsatz geleistet werden.

Die Fersenbein-Applikation wurde an 70 Datensätzen aus einer abgeschlossenen experimentellen Studie mit Humanpräparaten sowie 70 Datensätzen aus der operativen Versorgung von Fersenbeinfrakturen evaluiert. Die automatische Standardebeneinstellung erfolgte in  $4,3 \pm 0,8$ s, wobei die Beurteilbarkeit für die Datensätze aus der Kadaverstudie mit 1,84 Punkten signifikant höher war als für jene aus der Patientenversorgung. Die automatisch detektierten Gelenkflächen waren in keinem der 139 Datensätze uneingeschränkt beurteilbar. In Datensätzen aus der Kadaverstudie mit artifiziell hergestellten Gelenkstufen und -spalten wurden 97,1% beziehungsweise 83,3% korrekt identifiziert. Die automatische Schraubendetektion erfolgte in  $2,4 \pm 0,1$ s, während manuell  $180,4 \pm 62,1$ s benötigt wurden. Die Schraubendetektion erzielte eine Richtig-Positiv-Rate von 94,7% bei einer Falsch-Detektions-Rate von 38,8% und einer mittleren Beurteilbarkeit von 1,87 Punkten. Falsch detektierte Schrauben waren in 71,1% auf die Interpretation von Anteilen der Osteosyntheseplatte als Schraube zurückzuführen. Von den intraartikulären Schrauben wurden 50,0% korrekt identifiziert bei einer Falsch-Detektions-Rate von 24,5%.

Im Anschluss an die Evaluation der Fersenbein-Applikation wurden die vielversprechendsten Teile im Rahmen der sogenannten *Screw Scout*®-Applikation zur automatischen Detektion und Visualisierung von Schrauben weiterentwickelt und diese im Anschluss als Produkt veröffentlicht.

Zur Evaluation des *Screw Scout*® wurden insgesamt 21 Datensätze mit Calcaneusfrakturen mit insgesamt 205 Schrauben eingeschlossen. Die Detektionsrate betrug für Version Va30C 147,8% und für Version Va30G 106,3%. Korrekt detektiert wurden 94,6% (Va30C) beziehungsweise 95,6% (Va30G) der Schrauben bei einer Falsch-Detektionsrate von 36,0% (Va30C) und 10,6% (Va30G). Der Unterschied zwischen den Versionen war dabei nur für die Falsch-Detektions-Rate statistisch signifikant. Falsch positive Schrauben waren in Version Va30C in 100,0% und in Version Va30G in 95,6% auf die Detektion von Teilen der implantierten Platte oder Knochenkanten zurückzuführen.

An fünf Datensätzen mit 37 Schrauben wurde mithilfe von vier Untersuchern, davon je zwei unerfahrene beziehungsweise erfahrene Operateure, die für die manuelle Evaluation benötigte Zeit gemessen und mit der automatischen Evaluation verglichen. Die unerfahrenen Chirurgen benötigten für die manuelle Evaluation mit  $163,7 \pm 85,4$ s nicht signifikant länger als die erfahrenen Chirurgen mit  $130,1 \pm 38,9$ s. Hingegen erfolgte die automatische Schraubendetektion in  $4,1 \pm 0,5$ s.

Die Evaluation des Prototyps der Fersenbein-Applikation erfolgte mit der Fragestellung, inwiefern die Software bereits den Ansprüchen einer intraoperativen Anwendung im klinischen Alltag genügt, um Optimierungsbedarf in der weiteren Entwicklung aufzuzeigen. Aus den in der Fersenbein-Applikation gebündelten und im Rahmen der Arbeit vorgestellten Methoden zeigte einzig die automatische Schraubendetektion vielversprechende Ergebnisse, sodass daraus die *Screw Scout*®-Applikation für mobile 3D-C-Bögen entwickelt wurde.

In der anschließenden Evaluation des *Screw Scout*® zeigte insbesondere die Version Va30G eine hohe Detektionsperformance. Mit der verlässlichen Detektion von implantierten Schrauben ist die Applikation in der Lage, den Operateur bei der operativen Frakturversorgung zu unterstützen. Zugleich ergibt sich in Anbetracht des zeitlichen Vorteils gegenüber der manuellen Evaluation durch die Anwendung der Applikation eine erhebliche Verbesserung des Workflows bei der Verwendung von intraoperativer 3D-Bildgebung.

Mit der Evaluation der Applikationen konnte diese Arbeit ihren Beitrag dazu leisten, dass die in Vorarbeiten entwickelten Methoden in den klinischen Alltag überführt und die *Screw Scout*®-Applikation inzwischen als Software-Option für mobile C-Bögen erhältlich ist.