

KI-gestützte Repositions- und Osteosyntheseplanung

Komplexe Tibiakopffrakturen – Das vom Innovationsausschuss geförderte Projekt REPAIR

BERLIN Bei dem vom Innovationsfond des Gemeinsamen Bundesausschusses (ProjektNr. 01VSF22039) geförderten REPAIR-Projekt (Recommendation for Evidence-based Preoperative AI-controlled virtual Reduction and osteosynthesis of complex fractures) handelt es sich um einen interdisziplinären Forschungsverbund, bestehend aus informationstechnologischen, biomechanischen und klinisch-unfallchirurgischen sowie radiologischen Sektionen. Es befasst sich mit der Einbindung Künstlicher Intelligenz (KI) in die Planung komplexer Frakturen.

Die Versorgung muskuloskeletaler Pathologien hat eine weitreichende individuelle, medizinische und volkswirtschaftliche Bedeutung. 2022 registrierte die Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung insgesamt 787.412 Arbeitsunfälle mit einer Arbeitsunfähigkeit von mehr als drei Tagen und 10.927 schwere Arbeitsunfälle mit konsekutiver Rentenzahlung¹. Zeitgleich stellt die Versorgung von komplexen Frakturen, insbesondere bei Gelenkbeteiligung, eine Herausforderung für die behandelnden Chirurginnen und Chirurgen dar. So berichtet eine Studie von Ali et al. bei Tibiakopffrakturen in 31 Prozent von operativen Misserfolgen, wobei die häufigsten Gründe eine unzureichende Reposition (84%) und inadäquate Implantatpositionierungen (76%) waren². Ein guter präoperativer Versorgungsplan ist hierbei mit einem besseren Ergebnis für die Patient:innen assoziiert³. In der aktuellen Literatur finden sich Hinweise, dass eine präoperative Planung trotz ihrer Relevanz nicht lückenlos durchgeführt wird^{4,5}. Der chirurgische Erfolg hängt darüber hinaus signifikant mit der Erfahrung der Operateure zusammen⁶, was insbesondere für Krankenhäuser, die nicht die hohen Versorgungszahlen von Traumazentren der Maximalversorgung aufweisen, eine Planungsunterstützung komplexer Frakturen zusätzlich sinnvoll erscheinen lässt. Trotz 3-D-CT-Rekonstruktionen³ und auch präoperativen 3-D-Drucken komplexer Frakturen⁷ gibt es aber noch keine Möglichkeiten, einen auto-

matisch generierten Vorschlag einer OP-Planung einschließlich Repositions- und Osteosyntheseempfehlung in einem virtuellen 3-D-Modell generieren zu lassen.

Als Leitfrage soll im Rahmen des REPAIR-Projekts erforscht werden, ob Algorithmen einer KI eine Versorgung komplexer Frakturen planen können, die hinsichtlich anatomischer Rekonstruktion und evidenzbasierter Implantatwahl einer fachärztlichen Planung entspricht beziehungsweise diese maßgeblich unterstützen kann.

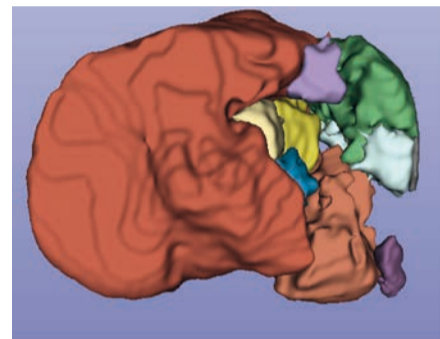
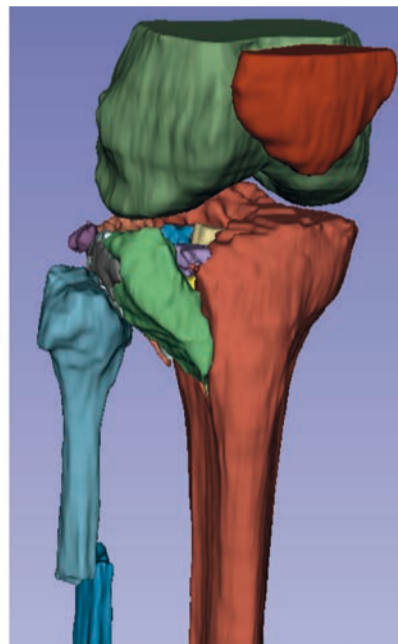


Abb. 1:
3-D-Segmentierungen einer Tibiakopffraktur in axialer und Schrägsicht. Auf Basis dieser Segmentierung sollen durch die ergänzenden Algorithmen eine Repositionsempfehlung und eine Empfehlung zur osteosynthetischen Versorgung erstellt werden.

Methodik

In einem ersten Schritt des REPAIR-Projektes wurden seit Beginn am 1. April 2023 die Anforderungen an den finalen KI-Algorithmus geplant. Der Arbeitsprozess wurde in die Erstellung von drei Sub-Algorithmen separiert. Ein erster Algorithmus soll hierbei in einer präoperativen CT einer Tibiakopffraktur die Frakturfragmente segmentieren. Anhand des Frakturmodells soll eine automatische Klassifikation der Fraktur nach AO, Schatzker und Moore erfolgen sowie die Plateaubeteiligung nach der von Prof. Froesch definierten Zehn-Segment Klassifikation beschrieben werden⁸. Auf Basis des vorliegenden Frakturmodells sollen den Anwenden automatisiert aktuelle Leit-

linien und Versorgungsempfehlungen dargestellt werden. Ein zweiter Algorithmus wird von der präoperativen Fraktur-CT eine virtuelle 3-D-Rekonstruktion erstellen, bei dem die Frakturfragmente in die mutmaßliche Ausgangsposition der intakten Tibia gesetzt werden. Der dritte Algorithmus soll schließlich für die vorliegende Frakturposition eine Empfehlung der physikalisch stabilsten osteosynthetischen Versorgung generieren, mit Positionierungsempfehlung der benötigten Implantate.



Die drei bestehenden Sub-Algorithmen sollen schließlich in einem finalen Schritt zu einem Gesamt-Algorithmus fusioniert werden. Dieser soll im Sinne einer End-zu-End-Lösung nach Eingabe einer präoperativen Tibiakopffraktur-CT eine automatisierte Empfehlung einer Reposition und osteosynthetischen Versorgung darstellen unter paralleler Markierung der Frakturfragmente und Darstellung der zugehörigen Literatur zur Therapie der Fraktur.

Die von der KI generierten Empfehlungen zur Frakturversorgung werden von freiwilligen Ärztinnen und Ärzten anhand standardisierter Fragebögen mit realen Versorgungsergebnissen verglichen und von Ratern hinsichtlich Güte der Reposition, Einschät-

zung der Stabilität sowie Umsetzbarkeit der KI-Empfehlung bewertet.



Sebastian Hölzl

Ergebnisse

In einem ersten Schritt sollen aus n=5127 Patient:innenfällen, die an der Charité – Universitätsmedizin Berlin mit einer Tibiakopffraktur seit 2000 behandelt wurden, 200 Fälle identifiziert werden, in denen sowohl eine prä- als auch postoperative CT einer Tibiakopffraktur vorliegt. Abbildung 1 stellt beispielhaft die 3-D-Segmentierung einer solchen Tibiakopffraktur dar. Es wurde darüber hinaus, unter Berücksichtigung der aktuellen Literatur, ein Fragebogen konstruiert, der auf Basis einer sechsstufigen Likert-Skala anhand von 14 Elementen die Güte der Repositions- und Osteosyntheseempfehlung erfassen soll.

Diskussion und Ausblick

REPAIR bietet als Forschungsprojekt das Potenzial, Unfallchirurginnen und Unfallchirurgen zukünftig unter Nutzung von Maschinellem Lernen und KI-basierten Algorithmen einen interaktiven Repositionsvorschlag und literaturbasierte Empfehlungen für eine osteosynthetische Versorgung komplexer Frakturen zu liefern. Im Projektverlauf müssen bestehende Anteile des Algorithmus mit höheren Fallzahlen trainiert werden, um die Genauigkeit der Segmentierung durch Maschinelles Lernen zu optimieren. Nach Erstellung der drei Sub-Algorithmen soll eine Fusion zu einer End-zu-End-Software erfolgen, unter Berücksichtigung der Notwendigkeit einer benutzerfreundlichen Handhabung und einer flächendeckend einfachen Anwendbarkeit. Im weiteren Verlauf sollen eine schrittweise Über-

tragung der Algorithmen auf andere Frakturtypen erfolgen sowie Schnittstellen zur autonomen Robotik erforscht werden. ■

Literatur:

1. Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e. V. (DGUV). Arbeits- und Wegeunfallgeschehen. 2023 September 17.
2. Ali AM, El-Shafie M, Willett KM. Failure of fixation of tibial plateau fractures. *J Orthop Trauma* 2002;16(5):323–329.
3. Hak DJ, Rose J, Stahel PF. Preoperative planning in orthopedic trauma: benefits and contemporary uses. *Orthopedics* 2010;33(8):581–584.
4. Wade RH, Kevu J, Doyle J. Pre-operative planning in orthopaedics: a study of surgeons' opinions. *Injury* 1998;29(10):785–786.
5. Martin CR. Preoperative Planning for Fracture Management. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)* 2012;41(9):E128–129.
6. Maruthappu M et al. The influence of volume and experience on individual surgical performance: a systematic review. *Ann Surg* 2015;261(4):642–647.
7. Ozturk AM et al. Surgical advantages of using 3-D patient-specific models in high-energy tibial plateau fractures. *Eur J Trauma Emerg Surg* 2020;46(5):1183–1194.
8. Krause M et al. Intra-articular tibial plateau fracture characteristics according to the „Ten segment classification“. *Injury* 2016;47(11):2551–2557.

► **Autoren:** Sebastian Hölzl¹, Dr. med. Niklas Tuttle¹, Alaa Bejaoui², Univ.-Prof. Dr. rer. nat. Heiko Tzschätzsch², M.Sc. Julian Zierke³, Dr. Ing. Mark Heyland³, Prof. Dr. med. Dr. rer. nat. Felix Balzer², Univ.-Prof. Dr.-Ing. Georg Duda³, Prof. Dr. rer. nat. Marc Toussaint⁴, PD Dr. med. Timo Alexander Auer⁵, PD Dr. med. Serafeim Tsitsilonis¹, Prof. Dr. med. David Alexander Back¹

1. Centrum für Muskuloskeletale Chirurgie (CMSC), Charité – Universitätsmedizin Berlin Campus Charité Mitte Charitéplatz 1, 10117 Berlin E-Mail: sebastian.hoelzl@charite.de
2. Institut für Medizinische Informatik, Charité – Universitätsmedizin Berlin
3. Julius Wolff Institute for Biomechanics and Musculoskeletal Regeneration
4. Technische Universität Berlin
5. Klinik für Radiologie, Charité – Universitätsmedizin Berlin

► **Freitag 27.10.** 09:00–10:00 Uhr Budapest 2