

Design & Development of a Field-Ready 3D-Printing Laboratory for Patient-Specific Treatment of Cranio-Maxillofacial Injuries in Military Operations

Major Mario Scheurer, MD, DMD, DDS

¹ Dept. of Oral & Maxillofacial Plastic Surgery, Military Hospital Ulm ² Dept. of Oral & Maxillofacial Surgery, Ulm University Medical Center



Disclosure of Financial Relationships

With respect to the content of this presentation, I declare that:

☐

I have no relevant financial relationships with ineligible companies.

☐

I have a relevant financial relationship to disclose:

☒

I have a non-financial relationship or other interest to disclose.

– Research collaboration with ZoneLab

Acknowledgement

¹ Department of Oral & Maxillofacial Plastic Surgery, Military Hospital Ulm

² Department of Oral & Maxillofacial Surgery, Ulm University Medical Center

³ Department of Oral & Maxillofacial Surgery, National University of Singapore

Lukas Greber¹, DMD, DDS

Robin Kasper^{1,2}, MD, DMD, DDS

Frank Wilde^{1,2}, PhD, MD, DMD, DDS

Alexander Schramm^{1,2}, PhD, MD, DMD, DDS

Majeed Rana³, PhD, MD, DMD, DDS

Andreas Sakkas^{1,2}, PhD, MD, DMD, DDS

Johannes Schulze^{1,2}, MD, DMD, DDS

Background: Cranio-Maxillofacial Injuries in Combat

Lew et al. (2009) – Iraq & Afghanistan (n = 7,770 patients)

- Head/neck region: up to 29% of all wounds
- Mandible: most frequent fracture site (465 fractures)
- Leading mechanism: blast fragments / shrapnel

Table 1. HEAD AND NECK WOUNDS AS PERCENTAGE OF ALL WOUNDS IN US SERVICE MEMBERS INVOLVED IN MAJOR US MILITARY CONFLICTS

Conflict	Percentage	Investigator
WWII	21	Beebe et al ¹
Korea	21	Reister ²
Vietnam	16	Hardaway ³
OIF/OEF	29	Owens et al ⁴

Abbreviations: WWII, World War II; OIF, Operation Iraqi Freedom; OEF, Operation Enduring Freedom.

Lew et al. *Cranio-maxillofacial Battle Injuries*. *J Oral Maxillofac Surg* 2010.

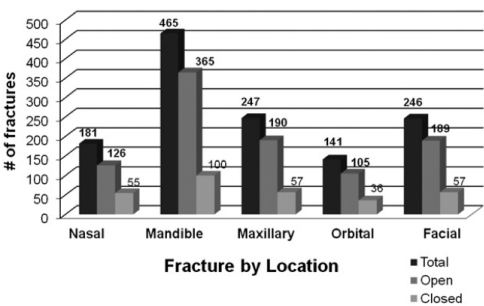


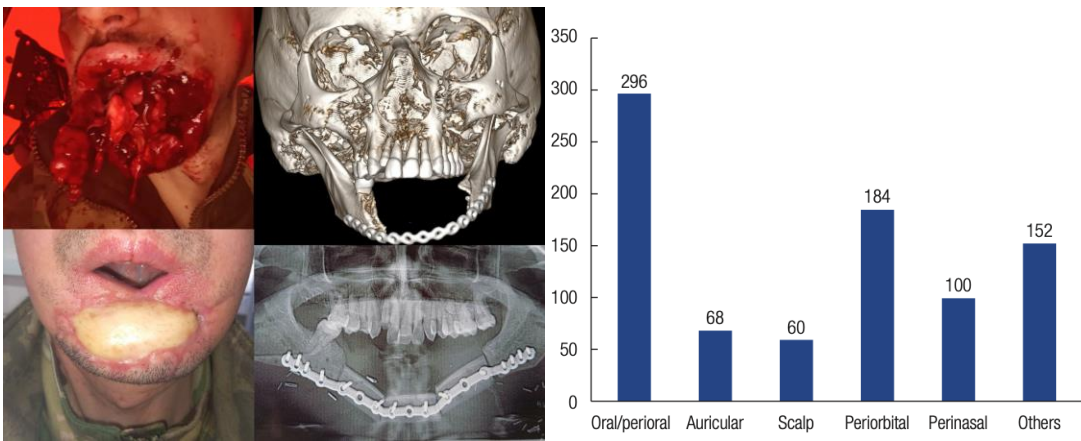
FIGURE 1. Distribution of combat-related craniomaxillofacial fractures in Operation Iraqi Freedom and Operation Enduring Freedom from October 2001 to December 2007.

Lew et al. *Cranio-maxillofacial Battle Injuries*. *J Oral Maxillofac Surg* 2010.

Prysiachniuk et al. (2025) – War in Ukraine (n = 415 patients)

Facial bone injuries in 353 patients (85.1%):

- Mandible 233 pts. (56.1%)
- Midface / frontofacial 186 pts. (44.8%)
- Complex panfacial fractures 75 pts. (18.1%)



The Soldier's Face Is Unprotected



Modular ballistic protection and load-carrying equipment



Combat helmet, ballistic eyewear, and protective mask provide no ballistic protection for the face.

Care Gap in the Military Evacuation Chain



Research Question: Primary Care vs. MEDEVAC

Current Standard

- Strategic evacuation (MEDEVAC) for definitive CMF care:
 - Ties up critical-care capacity
 - Long transport times
- Delayed reconstruction:
 - Functional and aesthetic defect progression
 - Impaired wound healing and nonunion
 - Need for secondary to tertiary reconstruction
 - Permanent reduction in quality of life

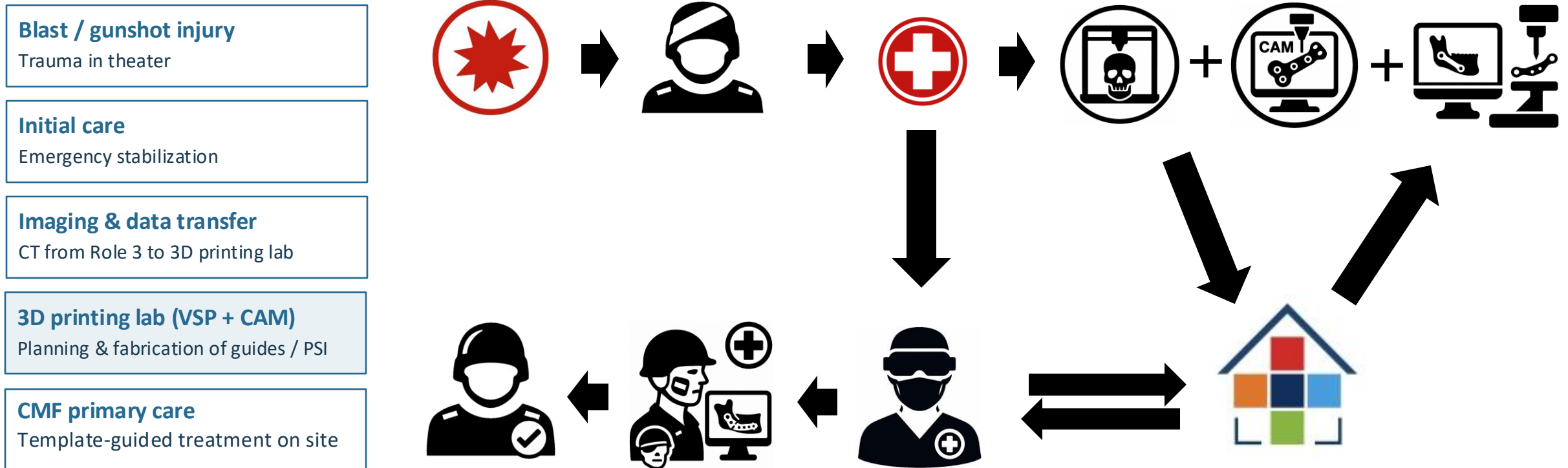
Conceptual Approach

- Patient-specific CMF primary care in Role 3
 - Digital “patient ID card”
 - Field-ready 3D printing lab for CAD/CAM-based care
 - Virtual surgical planning (VSP) with case report
 - Shortened interval to reconstruction
 - Fracture / trauma simplification
 - Should enable non-specialist deployed surgeons
 - Supervision by centralized experts

Guiding question:

Is a mobile, field-ready 3D printing laboratory for the primary patient-specific treatment of CMF injuries in the military deployed environment conceptually and technically feasible?

Potential Workflow in the Deployed Environment



Goal: Patient- & operator-specific care – reproducible and independent of the surgeon's experience.

Pre-Deployment Baseline: The Digital “Patient ID Card”

Capturing each service member’s individual anatomical reference dataset (“target anatomy”) before deployment.

01

Intraoral scan

Optical 3D capture of dentition and habitual occlusion as an individual bite reference



02

Face scan

3D surface scan of facial soft tissue: contour, symmetry and profile as an aesthetic reference



03

Facial CT / bone MRI

Bony facial reference anatomy for virtual reconstruction



Stored as a digital “patient ID card” (within the service member’s electronic health record), the individual anatomy remains available as a planning reference even after extensive tissue loss.

Potential application in the forensic identification of military personnel.

Concept: Mobile 3D Printing Laboratory



Modular setup

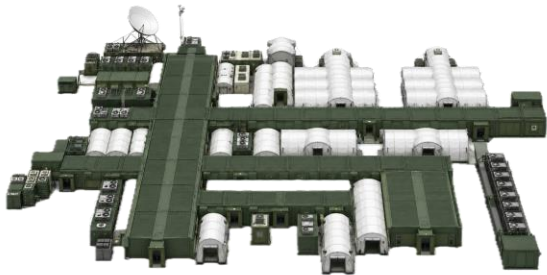
- VSP
- Fabrication
 - Additive
 - Subtractive
- Post-Processing
- Sterilization

Crew

- Dental technician
- Alternatively: dental professional with extended scope of practice

The Field-Ready 3D Printing Laboratory

Role 3



3D lab



VSP unit



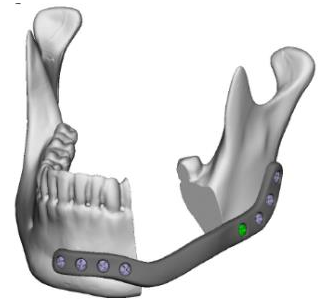
Additive & subtractive fabrication



Post-Processing



Sterilization

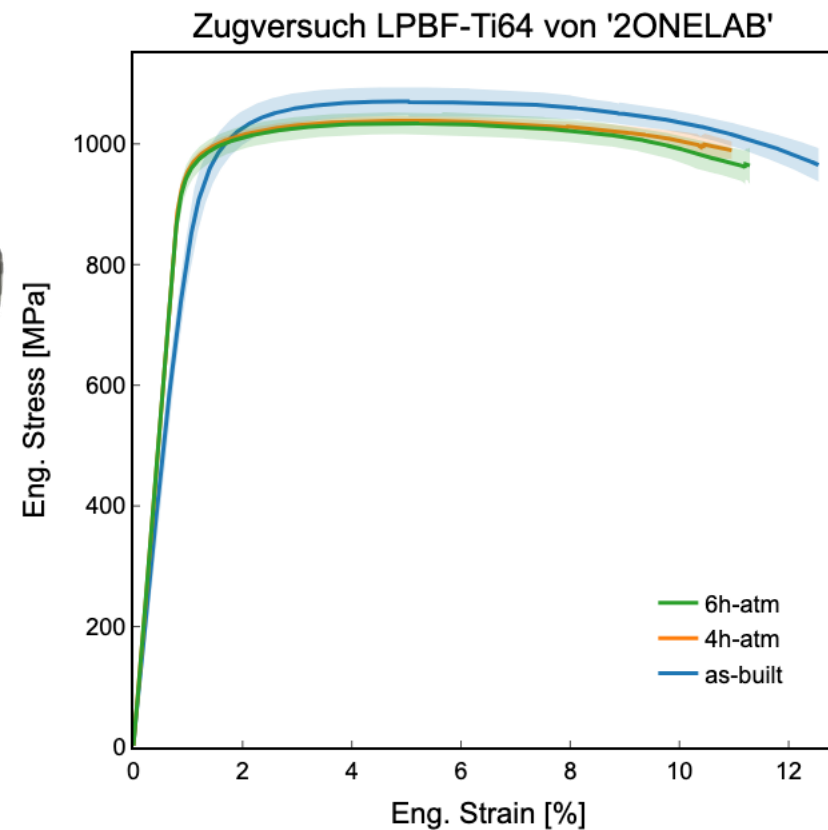


PS(O)I

In-House 3D Titanium Printing of Patient-Specific Implants



Patient-specific mandibular reconstruction plate



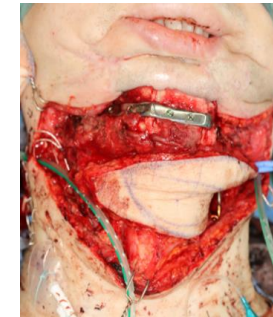
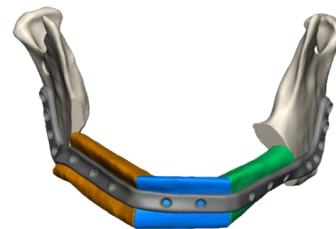
Indication I: Mandible

Indication & treatment

- Most frequent bony location (56,1 %¹ of the blast cohort)
- Continuity defects: PS(O)I reconstruction plate
- PS(O)I to restore continuity and secure the airway

Advantages in the deployed context

- Higher primary stability and fit accuracy than manually bent plates
- Reduced revision rate
- Reproducible occlusion even with limited experience
- Templates enable precise repositioning despite limited equipment



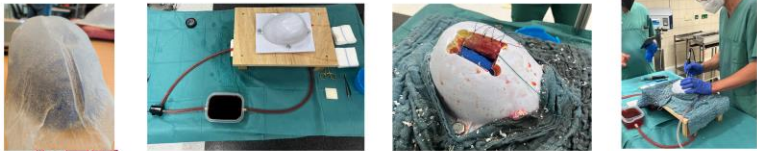
¹Prysiashniuk et al. (2025)

Indication II: Simulation Training

Further Development: 3D-Printed Skull Models for Simulation-Based Training of Deployment Surgeons and Surgical Trainees



- Practice complex cranial procedures on realistic, patient-specific 3D-printed skull models with haptic feedback and lifelike material behavior
- Improve surgical skills and spatial awareness through simulation of anatomical variations and trauma scenarios
- Enable precise surgical planning by understanding the 3D relationship between external injuries, intracranial lesions, and skull anatomy

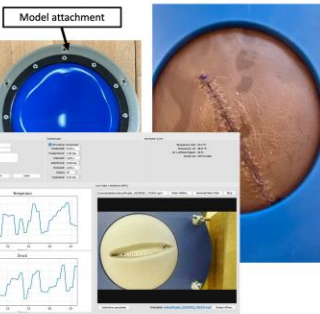


4

Abdominal Wall Simulation for Surgical Training and Technique Development



- Development of a realistic abdominal wall simulator for surgical training in military and trauma surgery
- Anatomically and biomechanically accurate 3D-printed models for standardized and patient-specific abdominal wall reconstruction
- Integration and evaluation of new suture techniques for hernia repair under realistic conditions
- Structured training of three closure methods (Small-Bite + Onlay, Sublay, Prophylactic Onlay) with pre/post-assessment
- Post-training mechanical testing to validate the stability and effectiveness of techniques applied

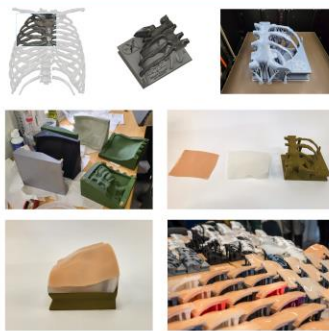


7

Rapid Development eines Nadeldekompression-Trainers für Ersthelferausbildung



- Ausgangslage**
- Erweiterung der Ersthelferausbildung von Ersthelfer-A zu Ersthelfer-ACLS
 - Entlastungspunkt bei Spannungspneumothorax als neuer praktischer Ausbildungsinhalt
 - Hoher Bedarf an kurzfristig verfügbaren Trainingsmodellen
- Anforderungen aus der Anwendung**
- Schnelle Verfügbarkeit
 - Anatomische Korrektheit/Plausibilität
 - Realitätsnahe Funktion mit taktilem Feedback
 - Robustheit und perspektivische Herstellbarkeit in der Truppe
- Interdisziplinäre Entwicklung**
- Sanitätsakademie der Bundeswehr: medizinische und ausbildungsbezogene Anforderungen
 - OpenLab Hamburg an der HSU / UniBW Hamburg: Designentwicklung, Prototyping und Fertigung
 - Integration der Rückmeldungen aus multinationaler EUMAM-Erprobung in die finale Version
- Technische Lösung**
- 3D-gedrucktes Rippenmodell
 - 3D-gedruckte Gussformen für Haut- und Gewebeschicht
 - Silikonkugeln für zweilagigen Aufbau: Haut- und Gewebeschicht
 - Kompakte, robuste und mehrfach verwendbare Bauweise
- Ergebnis und Ausblick**
- Entwicklung und Fertigung in weniger als 4 Wochen
 - Kleinserie von 100 Trainingsmodellen
 - Kurzfristige Ermöglichung einer realitätsnahen Ausbildung
 - Wissenschaftliche Evaluation mittels Fragebogen in Vorbereitung
 - Perspektivisch ressourcenschonende Herstellung in der Truppe möglich



1

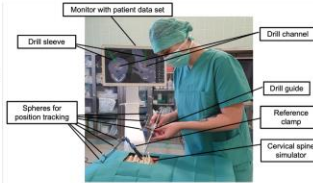
Additively Manufactured Cervical Spine Simulator with Drill Guide for Surgical Training and Procedural Support



- Develop a realistic cervical spine simulator and a drill guide to support surgical training and improve procedural safety
- Address training gaps by providing anatomically accurate models for high-complexity cervical procedures, reducing surgical risks through guided drilling
- CT-based CAD workflow: 3D-printed vertebrae filled with PUR foam, connected by simulated discs, embedded in silicone; custom drill guide derived from patient-specific anatomy



6



ID: 174

Ein 3D-gedruckter OP-Simulator zur transoralen Reposition subkondylärer Frakturen mittels patientenspezifischer Osteosyntheseimplantate

Aram Eigel¹, Johannes Schulze², Marcel Ebeling³, Robin Kasper⁴, Lukas Greber⁵, Alina Schramm⁶, Frank Wille⁷, Alexander Schramm⁸, Majed Rana⁹, Andreas Salke¹⁰ und Mario Schürer¹¹

¹Klinik für MKG-Chirurgie, Bundeswehrkrankenhaus Ulm, ²Klinik für MKG-Chirurgie, Universitätsklinikum Ulm, ³Medizinische Fakultät, Universitätsklinikum Ulm, ⁴MKG-Klinik, Bundeswehrkrankenhaus Ulm

EINLEITUNG

Die transorale, endoskopisch-assistierte Versorgung subkondylärer Frakturen ist technisch anspruchsvoll und erfordert eine präzise Instrumentenführung in einem anatomisch komplexen, eingeschränkt zugänglichen Operationsfeld. Das von Sakas et al. (2020) beschriebene „The Ulm Protocol“ ermöglicht hierfür einen minimalinvasiven Ansatz unter Einsatz patientenspezifischer Osteosynthese-implantate (PSOI). Für die strukturierte Ausbildung dieses Ansatzes stehen bislang jedoch keine Trainingsmodelle zur Verfügung. Ziel dieses Projekts ist die Entwicklung und Evaluation eines 3D-gedruckten OP-Simulators zur standardisierten Aus- und Weiterbildung in der kranio-maxillofazialen Traumatologie am Beispiel subkondylärer Mandibularfrakturen.

MATERIAL UND METHODEN

Aus der präoperativen CT wurde der Gesichtsschädel mittels 3D Slicer segmentiert und rekonstruiert (s. Abb. 1, A). Es erfolgte die CAD/CAM-gestützte Konstruktion der patientenspezifischen Komponenten in Freeform Plus und Blender. Der Simulator wurde anschließend additiv gefertigt (Bambu Lab A1; s. Abb. 1, B). Die knöchernen 3D-Druckstrukturen wurden durch eine additionally verstrickte Silikon-Weichgewebemasse ergänzt. Hierfür wurden patientenspezifische Positiv- und Negativformen konstruiert, 3D-gedruckt und als Gussformen für die Silikonmasse eingesetzt. Dieses Vorgehen orientiert sich am validierten „The Ulm Protocol“ zur CAD/CAM-basierten Planung und patientenspezifischen Osteosynthese subkondylärer Frakturen.

ERGEBNISSE

Mit o.g. validierten Workflow konnte ein patientenspezifischer OP-Simulator in-house additiv gefertigt werden. Das Modell bildet die subkondyläre Frakturposition, die eingeschränkten intraoralen Zugangsbedingungen und die wesentlichen Schritte der transoralen, endoskopisch-assistierten Reposition mit PSOI realitätsnah ab. Damit erscheint der Simulator aus Sicht der Autoren grundsätzlich geeignet, die anatomische Orientierung, die endoskopische Instrumentenführung und die patientenspezifische Frakturversorgung standardisiert zu trainieren. Die geplante Evaluation erfolgt im Rahmen des Assistenztag des DGMK-Kongresses 2026 in Ulm an Assistenzärztinnen unterschiedlicher Ausbildungsstufen. Erfasst werden Akzeptanz, subjektive Realitätsnähe, didaktischer Nutzen und wahrgenommene Handlungssicherheit.

SCHLUSSFOLGERUNG

Der entwickelte OP-Simulator stellt aus Autorensicht ein praxistaugliches Trainingsmodell für die transorale, endoskopisch-assistierte Versorgung subkondylärer Mandibularfrakturen mittels PSOI dar (Abb. 3). Die Kombination aus patientenspezifischem 3D-Druckmodell, Silikon-Weichgewebemasse, Phantomkopf und klinisch etablierten Instrumenten ermöglicht die standardisierte Simulation zentraler Operationsschritte, insbesondere Frakturposition, endoskopische Instrumentenführung und Implantatpositionierung. Im Rahmen der Nutzenstudie werden anatomische Realitätsnähe, intraorale Zugangsbedingungen, Bewegungsfreiheit, technische Handhabung und didaktischer Nutzen systematisch evaluiert. Vor dem Hintergrund der technisch anspruchsvollen transoralen Versorgung von subkondylären Frakturen und der begrenzten intraoperativen Übersicht könnte der Simulator einen Beitrag zur strukturierten chirurgischen Aus- und Weiterbildung in der Oral- und Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurgie leisten. Additiv, in-house gefertigte Simulatoren sind in der chirurgischen Ausbildung reproduzierbare, nachhaltige und kosteneffiziente Trainingskonzepte. Einschränkungen bestehen insbesondere in der realitätsnahen Simulation von Weichgewebe, sodass zukünftige Weiterentwicklungen auf eine verbesserte Haptik und die Integration relevanter neuro-vaskulärer Strukturen abzielen sollten.

© 2024 Dr. med. dent. Mario J.J. Schürer, Klinik für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie, Bundeswehrkrankenhaus und Universitätsklinikum Ulm. E-Mail: mario.schuerer@uk-ulm.de

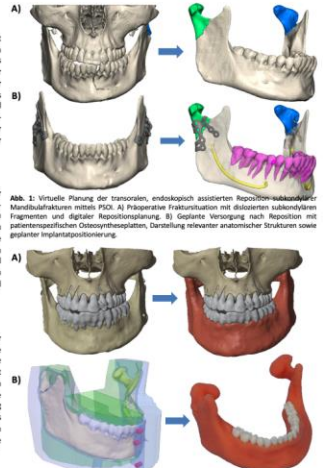


Abb. 3: Simulationsbasierter Workflow zur transoralen, endoskopisch assistierten Versorgung subkondylärer Frakturen mittels PSOI. Darstellung des montierten OP-Simulators, intraoralen Zugangs- und Präparationssituation, endoskopischer Visualisierung des subkondylären Frakturbereichs sowie Reposition und Fixation des PSOI unter realitätsnahen Trainingsbedingungen.

Indication III: Multi Tool



Conclusion

1 Relevant clinical need

High rate of severe CMF injuries in current conflicts.

2 Care gap

To date, CMF surgical care is provided after repatriation (Role 4).

3 Technical feasibility

The patient-specific CAD/CAM workflow might be transferred to a field-ready 3D printing laboratory.

4 In-house 3D titanium printing

Clinically established titanium is intended to enable durable, reproducible, near-field fabrication of patient-specific implants.

5 Outlook

Pre-deployment baseline (“digital ID card”) and, in future, AI-assisted planning to advance near-field primary care.

A field-ready 3D printing laboratory might bring patient-specific CMF primary care into the military deployed environment.

Thank you for your attention!

Major (Medical Corps) Dr. med. Dr. med. dent. Mario J.J. Scheurer

Departments of Oral, Maxillofacial & Plastic Facial Surgery

Military Hospital Ulm (marioscheurer@bundeswehr.org)

Ulm University Medical Center (mario.scheurer@uni-ulm.de)

