

Journal für

Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie

www.kup.at/
JNeurolNeurochirPsychiatr

Zeitschrift für Erkrankungen des Nervensystems

**„Virtual Aneurysm“ – Virtuelles
Clipping zerebraler Aneurysmen in
der neurochirurgischen Ausbildung**

**// „Virtual Aneurysm“ – Virtual
cerebral aneurysm clipping in
neurosurgical education**

Gmeiner M, Fenz W, Dirnberger J

Thumfart S, Trenkler J, Gruber A

Journal für Neurologie

Neurochirurgie und Psychiatrie

2017; 18 (3), 94-98

Homepage:

www.kup.at/

JNeurolNeurochirPsychiatr

Online-Datenbank
mit Autoren-
und Stichwortsuche

Indexed in
EMBASE/Excerpta Medica/BIOBASE/SCOPUS

Krause & Pachernegg GmbH • Verlag für Medizin und Wirtschaft • A-3003 Gablitz

P.b.b. 02Z031117M,

Verlagsort: 3003 Gablitz, Linzerstraße 177A/21

Preis: EUR 10,-

77. Jahrestagung

Deutsche Gesellschaft für Neurochirurgie



2026
7.–10. Juni
AACHEN

Personalisierte Neurochirurgie – digital, kompetent, vernetzt

dgnc-kongress.de

Joint Meeting with the Belgian Society and the Dutch
Society of Neurosurgery and Neurosurgeons of Luxembourg

*Werfen Sie einen
Blick ins Programm!*



*Registrieren
Sie sich jetzt!*



„Virtual Aneurysm“ – Virtuelles Clipping zerebraler Aneurysmen in der neurochirurgischen Ausbildung

M. Gmeiner¹, W. Fenz², J. Dirnberger², S. Thumfart², J. Trenkler³, A. Gruber¹

Kurzfassung: Realistische Alternativen, die Qualität und Effizienz chirurgischer Ausbildung zu erhöhen, sind gerade in einem anspruchsvollen Fach wie der Neurochirurgie sehr gefragt. Eine moderne und elegante Möglichkeit bieten hierbei virtuelle Simulationen, die durch kontinuierliche Verbesserung der Computersoftware und haptischer Technologie zunehmend verwendet werden. Ziel unseres Projektes „Virtual Aneurysm“ war es daher, einen virtuellen Simulator mit haptischem Force-Feedback für das Clipping zerebraler Aneurysmen zu entwickeln. Nach Lagerung des Kopfes und Kraniotomie kann das virtuelle Aneurysma geclippt werden. Im Analysedmodus kann dann mittels Blutflussimulation

eine durch den Clip verursachte mögliche residuale Füllung des Aneurysmas oder der Stenose der Gefäße berechnet werden.

Schlüsselwörter: Simulation, Haptik, Ausbildung, „Virtual Aneurysm“, Aneurysma, Clip

Abstract: „Virtual Aneurysm“ – Virtual cerebral aneurysm clipping in neurosurgical education. Realistic alternatives to enhance quality and efficiency of neurosurgical education are highly warranted. A modern and elegant approach to surgical education is the increasing use of virtual simulations that is now possible due

to continuous improvements of computer software and haptic technology. The aim of our project “Virtual Aneurysm” was to develop a virtual cerebral aneurysm-clipping simulator with real-time haptic force feedback interaction. After head positioning and craniotomy, virtual aneurysm clipping surgery can be performed. Moreover, an evaluation of surgical result is possible due to calculation and visualization of blood flow, possible branch stenosis and residual aneurysm filling. **J Neurol Neurochir Psychiatr 2017; 18 (3): 94–8.**

Keywords: simulation, haptics, education, „virtual aneurysm“, cerebral aneurysm, clip

■ Einleitung

Obwohl Flugsimulatoren schon seit Anfang des 20. Jahrhunderts in der Ausbildung von Piloten implementiert sind, haben sich virtuelle simulationsbasierte Ausbildungsmethoden in der Medizin speziell in chirurgischen Fächern erst in den letzten Jahrzehnten weiterentwickelt [1]. Um eine überzeugende virtuelle Trainingssituation zu schaffen, werden dabei hohe Anforderungen an die Soft- und Hardware gestellt [2]. So sind, um beispielsweise eine realitätsnahe haptische Interaktion („Haptik“ griechisch: Lehre vom Tastsinn) in Echtzeit in die virtuelle Simulation integrieren zu können, eine hohe Bildaktualisierungsrate und echtzeitfähige Kollisionserkennung unbedingt notwendig.

In der Neurochirurgie, einem hochkomplexen chirurgischen Fach, sind realitätsnahe Trainingsmöglichkeiten gefragt, um die Qualität und Effizienz der Ausbildung zu erhöhen. Durch eine Verbesserung der Operationsplanung könnte man ebenfalls die Patientensicherheit erhöhen [3]. Dies hat eine besondere Relevanz vor allem in der vaskulären Neurochirurgie. Die Versorgung zerebraler Aneurysmen, deren Ruptur eine Subarachnoidalblutung verursacht, erfolgt entweder durch endovaskuläre Methoden oder mittels offener Operation und Clipping [4]. Dabei ist es in den letzten Jahren nach Durchführung der ISAT-Studie (International Subarachnoid Aneurysm Trial) zu einem Rückgang der operierten Aneurysmen gekommen [5]. Die für die chirurgische Versorgung übrig bleibenden Aneurysmen sind daher zunehmend komplexer und schwieriger zu clippen und sollten von einem erfahrenen Chirurgen operiert werden [6–8]. Dies reduziert wiederum die Lernmöglichkeiten für jüngere Chirurgen.

Ein virtueller Operationssimulator mit haptischer Interaktion könnte daher für die Ausbildung von Standardoperationen in der vaskulären Neurochirurgie eine ideale Ergänzung schaffen. Der Auszubildende hätte dabei die Gelegenheit, in aller Ruhe, zu jeder Zeit und unbegrenzt oft bei verschiedenen Fällen das virtuelle Clipping durchzuführen. Aber auch erfahrene Chirurgen hätten die Möglichkeit, sich gezielter auf Operationen vorzubereiten und chirurgische Optionen in komplexen Fällen zu diskutieren.

Das langfristige Ziel unseres Projektes „Virtual Aneurysm“ ist es daher, einen patientenspezifischen virtuellen Simulator für das Clipping zerebraler Aneurysmen zu entwickeln. Im aktuellen Prototyp ist bereits die haptische Interaktion mit Deformation der Gefäße und des Aneurysmas in Echtzeit in verschiedenen Operationsszenarien integriert.

■ Methodik

Zwischen 2012 und 2016 wurde in der RISC Software GmbH Hagenberg in Zusammenarbeit mit der Abteilung für Neurochirurgie und Neuroradiologie des Kepler-Universitätsklinikums Linz sowie der Firma Aesculap AG, Tuttlingen, Deutschland, ein Software-System für virtuelles Aneurysmen-Clipping entwickelt [9].

Das Hauptaugenmerk bei der technischen Entwicklung des Simulators lag darauf, sowohl das haptische als auch das visuelle Feedback so realistisch wie möglich zu gestalten. Dazu mussten wir einen Kompromiss eingehen zwischen einerseits der Verwendung eines komplexen physikalischen Modelles für die Verformung der Arterienwände und andererseits einem nicht zu hohen Rechenaufwand, der eine Echtzeit-Interaktion mit dem virtuellen Blutgefäß (d.h. eine Bildwiederholrate von mindestens 20 Hz) erlaubt.

Die in den Trainings-Szenarien verwendeten 3D-Modelle der Aneurysmen-Geometrien wurden aus CT-Angiographie-Daten von Patienten mit Aneurysmen an der Arteria cerebri me-

Eingelangt am 19.05.2017, angenommen nach Review am 12.06.2017

Aus dem ¹Kepler-Universitätsklinikum Linz, Universitätsklinik für Neurochirurgie, ²RISC Software GmbH, Research Unit Medical Informatics, Hagenberg, und ³Kepler-Universitätsklinikum Linz, Universitätsklinik für Neuroradiologie

Korrespondenzadresse: Dr. med. univ. et scient. med. Matthias Gmeiner, Universitätsklinik für Neurochirurgie, Kepler-Universitätsklinikum Linz, Wagner-Jauregg-Weg 15, A-4020 Linz, E-mail: matthias.gmeiner@kepleruniversitätsklinikum.at

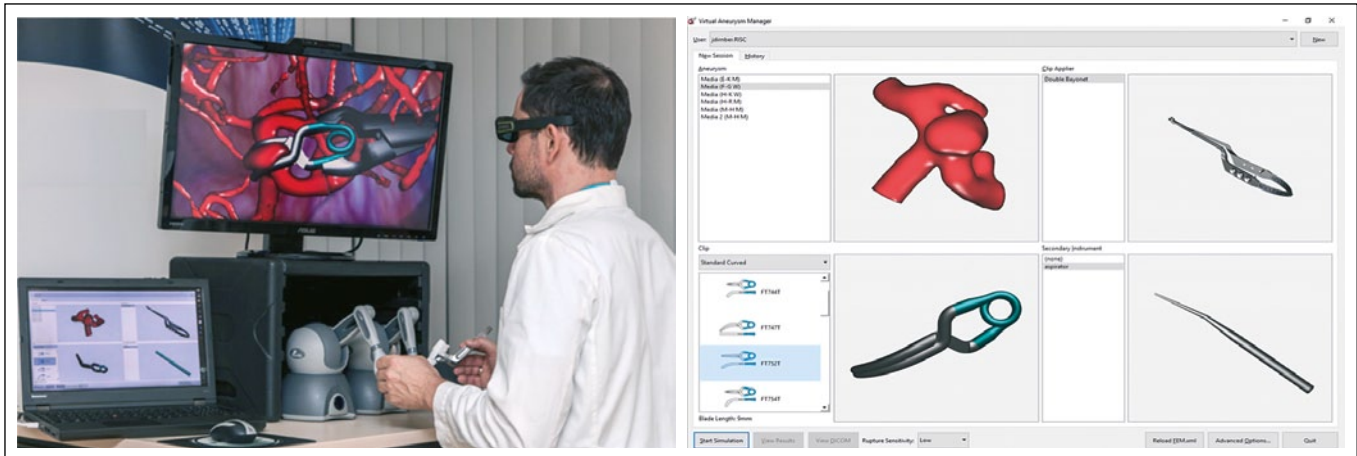


Abbildung 1: Setup des Simulators und Benutzeroberfläche „Virtual Aneurysm“: Die virtuelle Operation kann mit einer Standard-Hardware durchgeführt werden. Nach Start der Software „Virtual Aneurysm“ wird im Übersichtsmenü (Abb. rechts) vorab ein Aneurysma ausgesucht. Weiters kann bereits ein passender Clip gewählt werden. Die Operation wird bimanuell mit zwei haptischen Eingabegeräten durchgeführt. An eines dieser Geräte ist eine originale Clippzange montiert und mittels Sensor wird der Öffnungswinkel des virtuellen Clips in Echtzeit gemessen.

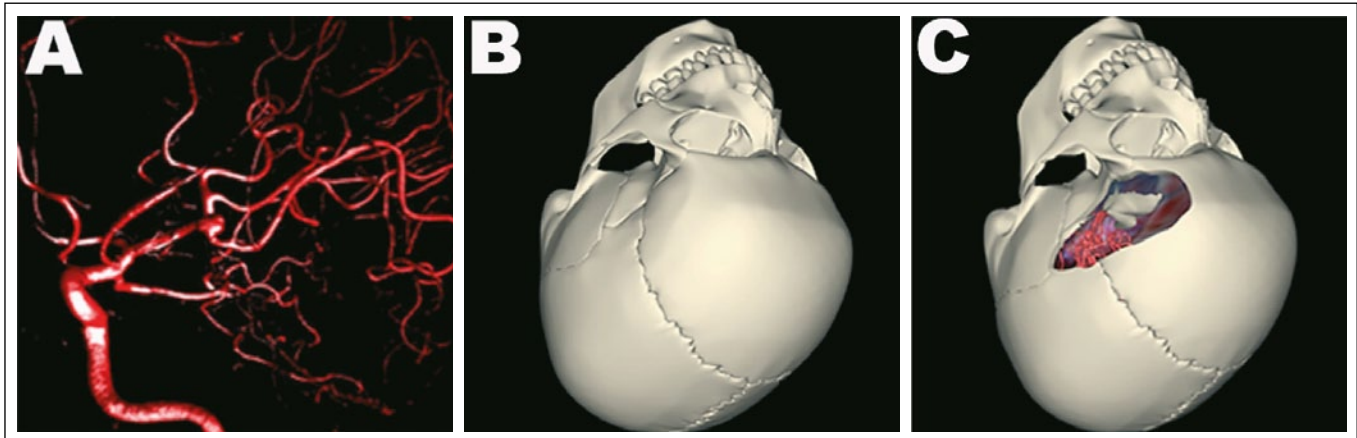


Abbildung 2: CT-Angiographie und virtuelle Kraniotomie. Nach Durchsicht der patientenspezifischen CT-Angiographie (A) wird der virtuelle Schädel gelagert (B) und die Kraniotomie durchgeführt (C).

die generiert. Wir verwenden eine eigenentwickelte Software (MEDVIS 3D [10]), um daraus ein dreidimensionales Voxel-Volumen zu rekonstruieren und die „Region of Interest“ zu segmentieren. Aus den Volumsdaten wird danach automatisch die Blutoberfläche als Dreiecks-Gitter (Mesh) generiert. Basierend darauf wird ein Volumes-Mesh der Arterienwand erzeugt, wobei die Wanddicke (auf der gesunden Arterie sowie am Aneurysmendum) vorgegeben wird.

Ein wichtiger Teil der quantitativen Bewertung der Trainingsergebnisse ist die Simulation des Blutflusses [10] durch die verformten Arterien, was die Berechnung des Grads einer eventuell induzierten Stenose sowie den Prozentsatz des im Aneurysma verbleibenden Blutvolumens erlaubt.

Resultate

Nach dem Start der Software kann im Übersichtsmenü ein Aneurysma für die virtuelle Operation aus verschiedenen Szenarien ausgesucht werden. Weiters können vorab schon der passende Clip und das Operationsinstrumentar gewählt werden (Abbildung 1). In diesem Beispiel wird ein Mediabifurkationsaneurysma linksseitig operiert. Nach genauer Durchsicht der 3D-Rekonstruktion der CT-Angiographie (Abbildung 2A) wird anschließend der virtuelle Schädel gelagert

(Abbildung 2B) und der Rand für die pterionale Kraniotomie eingezeichnet.

In der Simulation werden zurzeit das Eröffnen der Dura und die Spaltung der Sylvischen Fissur noch nicht haptisch simuliert. Temporal- und Frontallappen sind als rigide Oberflächen modelliert, die nicht verformt werden können und nicht in den arteriellen Gefäßbaum der Simulation integriert sind. Nach Durchführung der Kraniotomie (Abbildung 2C) kann der Operateur einen Zoom in das Operationsgebiet durchführen (Abbildung 3A). Wir nehmen an, die Dura ist bereits eröffnet, die Sylvische Fissur gespalten und die A. cerebri media mit ihren Hauptästen (M1 und M2) und das Mediabifurkationsaneurysma sind frei präpariert. Eine bimanuelle Operation (Abbildung 3B) wird mit Hilfe zweier haptischer Eingabegeräte durchgeführt. Das Clipping des Aneurysmas erfolgt durch eine Original-Clippzange (Aesculap AG), die an ein haptisches Eingabegerät montiert ist. Hierbei wird durch einen Sensor der Öffnungswinkel des gerade verwendeten virtuellen Clips gemessen. Der Clip kann daher in Echtzeit geöffnet und geschlossen werden. Um die Clipposition am Aneurysmenhals zu verbessern, kann die zweite Hand ein weiteres Instrument zur Manipulation des Aneurysmas oder der Gefäße verwenden (Abbildung 3B). Dabei wird wiederum in Echtzeit die Verformung der Gefäße und des Aneurysmas während

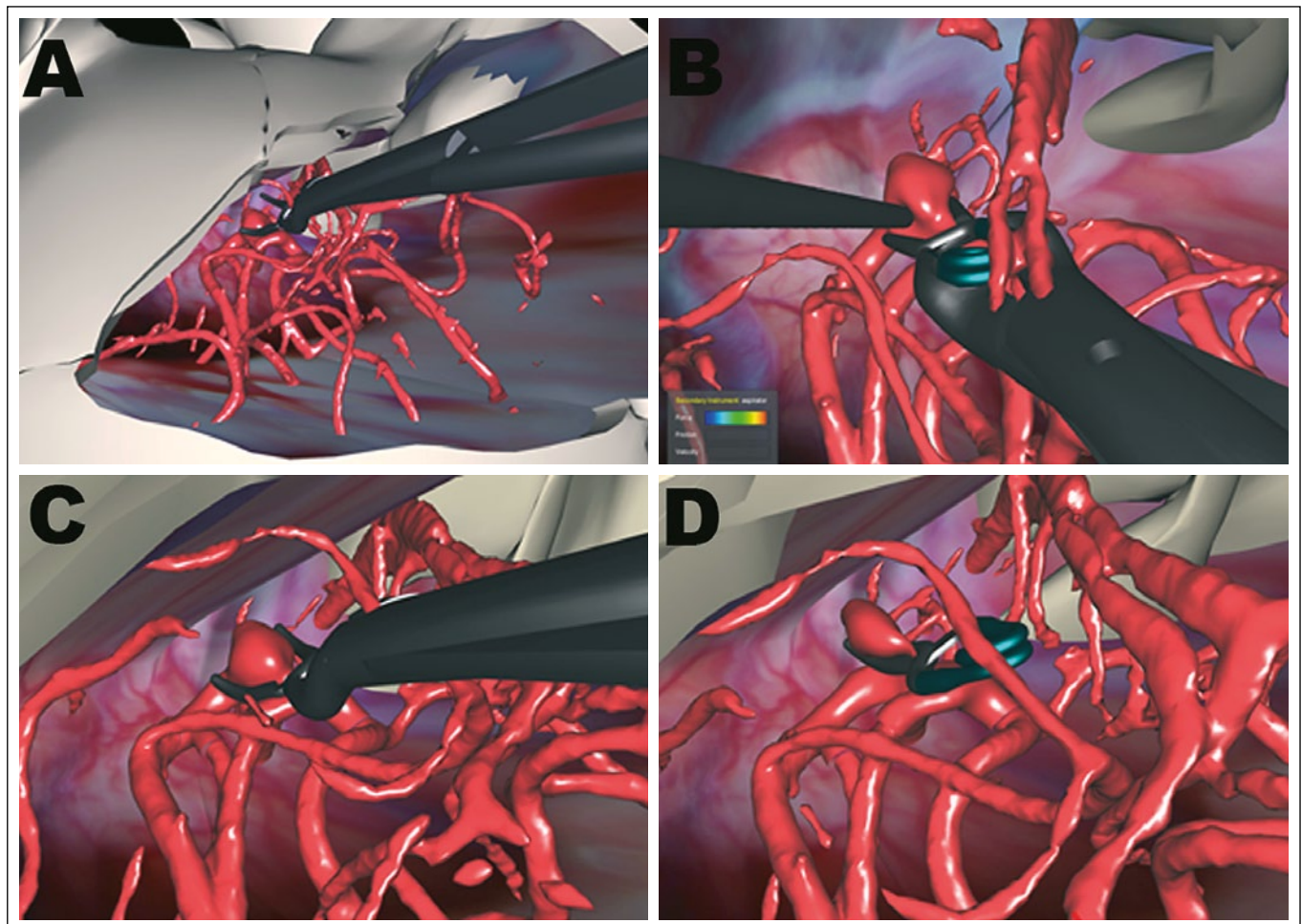


Abbildung 3: Bimanuelle Operation, Haptik und Aneurysmaclipping. Nach virtueller Kraniotomie kann ein Zoom in das Operationsgebiet durchgeführt werden (A). Der Gefäßbaum mit dem Aneurysma wird dargestellt. Ein Öffnen des Clips in Echtzeit ist mit einer Original-Clippzange möglich. Um die Clipposition am Aneurysmenhals zu ändern, kann die zweite Hand ein weiteres Instrument zur Manipulation des Aneurysmas oder der Gefäße verwenden (B). Dabei wird wiederum in Echtzeit die Verformung der Gefäße und des Aneurysmas während des Clipvorgangs simuliert (C, D).

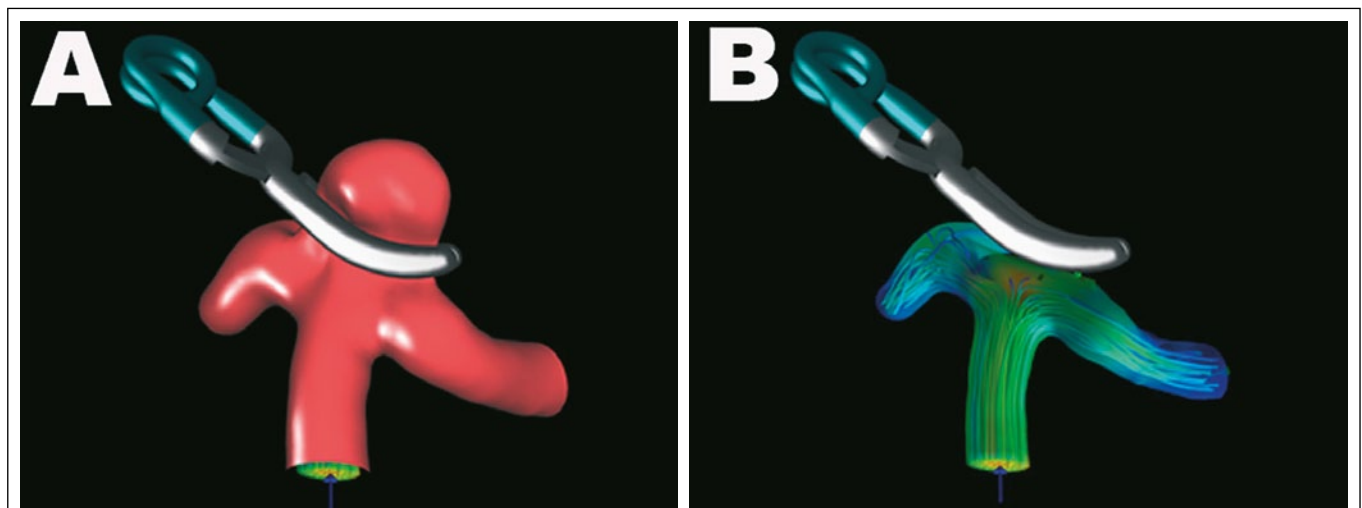


Abbildung 4: Analysemodus mit berechnetem Blutfluss nach Clipping. Im Analysemodus kann das geclippte Aneurysma nochmals von allen Seiten betrachtet werden (A). Dann wird die Blutflussanalyse durchgeführt. In dieser kann ein nach virtueller Operation verbleibender Aneurysmenrest oder auch eine verursachte Stenosierung des Gefäßes berechnet werden (B).

des Clipvorgangs simuliert (Abbildung 3C, D). Das Aneurysma kann mit mehreren Clips versorgt werden, aber es kann auch ein bereits abgesetzter Clip wieder aufgenommen und durch einen anderen ersetzt werden. Eine Ruptur des Aneurysmas während der Operation durch Manipulation ist ebenfalls möglich und diese Problematik kann mittels temporärem

Clip an der M1-Strecke und Cliprepositionierung oder zusätzlicher Clipapplikation gelöst werden.

Nach der Operation wird der Analysemodus gestartet. Dabei kann das geclippte Aneurysma von allen Seiten betrachtet werden (Abbildung 4A). Besonderes Augenmerk haben wir

auf die Blutflusssimulation gelegt (Abbildung 4B). Dadurch wird nach virtuellem Clipping eine mögliche residuale Füllung des Aneurysmas oder auch eine Stenose der Gefäße berechnet. Zusätzlich wird für die Bewertung die Operationsdauer, Anzahl der repositionierten Clips und die intraoperative Aneurysmenruptur verwendet.

■ Diskussion

Simulationsbasierte Ausbildungsmethoden haben in der Medizin speziell in chirurgischen Fächern einen hohen Stellenwert und sollten effiziente und für den Patienten sichere Strategien beinhalten [11]. Eine moderne und elegante Möglichkeit für die chirurgische Ausbildung bieten hierbei virtuelle Simulationen, die durch kontinuierliche Verbesserung der Computersoftware und haptischer Technologie zunehmend verwendet werden. Die ersten Ansätze diesbezüglich wurden schon in den späten 1980ern und 1990ern in verschiedenen chirurgischen Disziplinen beschrieben. 2003 konnte erstmals in einer prospektiven Studie nachgewiesen werden, dass virtuelles Training signifikant die chirurgische Leistung im Operationssaal während der laparoskopischen Cholezystektomie verbessert [12].

In der Neurochirurgie konnte für die Ventrikulostomie mittels der „Immersive Touch“-Plattform ein virtuelles Trainingsprogramm entwickelt werden [13], das zur Ausbildung in ein Traumamodul des „Congress of Neurological Surgeons (CNS)“ der Vereinigten Staaten von Amerika integriert wurde [14]. In ähnlicher Weise wird mit dem Simulator „Neurotouch“ eine haptische virtuelle Hirntumor-Resektion durchgeführt [15]. Auch hier wurden bereits die ersten Studien zur Validierung des Simulators mit positivem Ergebnis durchgeführt [16].

In der vaskulären Neurochirurgie wurden im Jahr 2000 von Koyama die ersten Versuche und Konzepte der virtuellen Simulation zerebraler Aneurysmen publiziert. Hierbei wird über einen transsylvischen Zugang ein Basilaris-Aneurysma geclippt. Es wird zwar noch kein patientenspezifisches Bildmaterial oder Haptik verwendet, Öffnen und Schließen des Clips sind aber schon möglich [17].

Einen erweiterten Zugang, der patientenspezifisches Bildmaterial verwendet und bereits zur virtuellen Operationsplanung genutzt wird, bietet das sogenannte „Dextroscope“. Kopflagerung und Kraniotomie sowie Zugangswinkel für die Clipapplikation werden erfolgreich simuliert. Obwohl sicherlich hierbei das anatomische Verständnis verbessert wird, werden jedoch das Öffnen und Schließen des Clips, Aneurysmen-deformation oder Aneurysmenruptur nicht simuliert [18]. Das Dextroscope wurde bereits prospektiv zur Operationsplanung bei 105 Patienten vor Aneurysmaoperation mit sehr guten klinischen Ergebnissen validiert [19].

Eine weitere Plattform, die zur Operationsplanung und Ausbildung genutzt werden könnte, ist der SuRgical Planner (SRP, Surgical Theater). Hier wird bereits die Deformation des Aneurysmas während des Clippings simuliert [20]. In einer prospektiven randomisierten Studie konnte gezeigt werden, dass durch die Benützung des SRP die Effizienz im Operations-

saal verbessert werden kann [21]. Ob diese Steigerung der Effizienz auch mit einem verbesserten klinischen Outcome der Patienten einhergeht, konnte aufgrund des Studiendesigns jedoch nicht erläutert werden.

Der erste immersive virtuelle Simulator in der vaskulären Neurochirurgie auf Basis der „Immersive Touch“-Plattform wurde erst kürzlich für das virtuelle Clipping eines A. cerebri media-Aneurysmas entwickelt. Dabei konnte erfolgreich eine haptische Interaktion in Echtzeit integriert werden. Ein Öffnen und Schließen des Clips mit Deformation des Aneurysmas ist während der bimanuell durchgeführten Operation möglich [22]. Diese Arbeit verdeutlicht den Stellenwert der haptischen Interaktion und taktilen Wahrnehmung besonders in einem chirurgischen Fach wie der Neurochirurgie. Für ein überzeugendes, realitätsnahes taktiler Feedback sind spezielle Anforderungen an Hard- und Software notwendig. Eine sehr hohe Bildaktualisierungsrate und Kollisionserkennung in Echtzeit sind für eine realitätsnahe Simulation unverzichtbar. Diese technischen Voraussetzungen sind wahrscheinlich auch der Grund, warum haptische Technologien bis jetzt in der mikrochirurgischen Simulation kaum eingesetzt wurden [2].

In unserem Projekt „Virtual Aneurysm“ wird nach Kopflagerung und Kraniotomie erstmals Realität und Haptik durch eine an das haptische Eingabegerät montierte originale Clippzange zusätzlich erhöht. Mittels eines Sensors wird der Öffnungswinkel des gerade verwendeten virtuellen Clips gemessen und der Clip kann daher in Echtzeit geöffnet und geschlossen werden. So kann, während die geöffnete Clippzange langsam geschlossen wird, bimanuell mit einem zweiten Instrument die Position des virtuellen Clips am Aneurysmenhals geändert werden. Propriozeptive Wahrnehmung und Hand-Auge-Koordination sind notwendig, wenn die Clippzange zum Aneurysma bewegt wird. Die Entwicklung dieser Fähigkeiten ist in der mikrochirurgischen Ausbildung unerlässlich. In mehreren Studien konnte nachgewiesen werden, dass virtuelle Simulationen mit haptischer Technologie die taktiler Diskriminationsfähigkeit [23], Hand-Auge-Koordination und propriozeptive Wahrnehmung erhöhen können [24].

Durch die Möglichkeit, den virtuellen Schädel beliebig zu rotieren und das Ausmaß und die Lokalisation der Kraniotomie zu variieren, kann das virtuelle Clipping über mehrere Trajektorien und Zugänge simuliert werden. Der ideale chirurgische Zugang kann so diskutiert werden. Wir haben bereits 50 verschiedene Clipdesigns aller Größen inklusive fenestrierter Clips integriert. Mehrere virtuelle Clips können daher in seriellen Clippversuchen getestet und das Ergebnis in der Blutflusssimulation sofort evaluiert werden. Hierbei wird eine mögliche Stenosierung des Gefäßes oder ein Restaneurysma berechnet.

Letztendlich wäre es auch möglich, für die virtuelle Operation einen individuellen Clip zu designen. Eine Blutflusssimulation bei virtueller Clippingoperation zerebraler Aneurysmen ist derzeit noch nicht von anderen Forschungsgruppen publiziert worden [17, 18, 20, 22].

Weder Hirnlappen noch die Sylvische Fissur sind in der aktuellen Version des Simulators integriert. Speziell die arachnoida-

le Präparation in der Sylvischen Fissur kann bei einem A. cerebri media-Aneurysma ein wesentlicher und schwieriger Teil der Operation sein. Weiters sind auch kleine Perforatoren und Kalzifikationen der Aneurysmenwände bis jetzt nicht berücksichtigt. Diese Limitationen verdeutlichen, dass eine enge Kooperation von Softwareentwicklern und erfahrenen Neurochirurgen unbedingt notwendig ist, um technische Entwicklungen klinisch relevant in virtuelle Simulationen einbauen zu können.

Insgesamt haben wir erfolgreich einen Prototyp für das virtuelle Clipping zerebraler Aneurysmen mit haptischer Interaktion entwickelt. Die Integration der Original-Clippzange, der virtuellen Clippbibliothek und die Blutflusssimulation sind wesentliche Erweiterungen und Verbesserungen unseres Simulators im Vergleich zu bereits publizierten Arbeiten [17, 18, 20, 22]. Als nächsten Schritt planen wir die prospektive Evaluierung unseres Prototyps und die Simulation komplexer Aneurysmen. Die daraus gewonnenen Erkenntnisse sollen dann schrittweise in die Simulation integriert werden. Eine Weiterentwicklung der Software mit Simulation der Hirnlappen ist ebenfalls vorgesehen. Ziel unseres Projektes ist es letztendlich, den Einsatz unseres Simulators in der neurochirurgischen Ausbildung und in weiterer Folge auch Operationsplanung zu etablieren.

■ Relevanz für die Praxis

Virtuelle Simulationen mit haptischer Interaktion stellen eine zusätzliche Möglichkeit in der chirurgischen Ausbildung dar, in realitätsnahen Umgebungen die chirurgischen Fähigkeiten permanent zu trainieren und zu verbessern. Eine enge Kooperation von Softwareentwicklern und erfahrenen Chirurgen ist notwendig, um technische Entwicklungen auch klinisch relevant umsetzen zu können.

■ Danksagung

Die Forschungsarbeit wurde durch Mittel der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) in den Programmen MODSIM (Projektnummer 819326) und BRIDGE (Projektnummer 838519) mit Beteiligung des Landes OÖ, der OÖ Gesundheits- und Spitals AG (GESPA), Allgemeines Krankenhaus Linz und der Firma Aesculap AG finanziert.

■ Interessenkonflikt

Keiner.

Literatur:

- Rehder R, Abd-El-Barr M, Hooten K, Weinstock P, et al. The role of simulation in neurosurgery. Child's nervous system. Childs Nerv Syst 2016; 32: 43–54.
- Alaraj A, Lemole MG, Finkle JH, Yudkowsky R, et al. Virtual reality training in neurosurgery: Review of current status and future applications. Surg Neurol Int 2011; 2: 52.
- Lan Q, Chen A, Zhang T, Li G, et al. Development of three-dimensional printed craniocerebral models for simulated neurosurgery. World Neurosurg 2016; 91: 434–42.
- Gruber A, Knosp E. Therapie rupturierter zerebraler Aneurysmen: Behandlungsoptionen und derzeitige Studienlage. J Neurol Neurochir Psychiatr 2016; 17: 90–100.
- Gnanalingham KK, Apostolopoulos V, Barazi S, O'Neill K. The impact of the international subarachnoid aneurysm trial (ISAT) on the management of aneurysmal subarachnoid hemorrhage in a neurosurgical unit in the UK. Clin Neurol Neurosurg 2006; 108: 117–23.
- Andereggen L, Gralla J, Andres RH, Weber S, et al. Stereolithographic models in the interdisciplinary planning of treatment for complex intracranial aneurysms. Acta Neurochir 2016; 158: 1711–20.
- Kimura T, Morita A, Nishimura K, Aiyama H, et al. Simulation of and training for cerebral aneurysm clipping with 3-dimensional models. Neurosurg 2009; 65: 719–25; discussion 725–36.
- Wurm G, Lehner M, Tomancok B, Kleiser R, Nussbaumer K. Cerebrovascular biomodeling for aneurysm surgery: simulation-based training by means of rapid prototyping technologies. Surg Innov 2011; 18: 294–306.
- Fenz W, Dirnberger J. Real-time surgery simulation of intracranial aneurysm clipping with patient-specific geometries and haptic feedback. Proc SPIE 2015; 9415: 94150H.
- Fenz W, Dirnberger J, Georgiev I. Flow Simulations with Application to Cerebral Aneurysms. Proceedings of the Modeling and Simulation in Medicine Symposium, Pasadena, California, 2016; 3:1–3:8.
- Aggarwal R, Mytton OT, Derbrew M, Hananel D, et al. Training and simulation for patient safety. Qual Saf Health Care 2010; 19 (Suppl 2): i34–43.
- Seymour NE, Gallagher AG, Roman SA, O'Brien MK, et al. Virtual reality training improves operating room performance: results of a randomized, double-blinded study. Ann Surg 2002; 236: 458–63; discussion 463–74.
- Schirmer CM, Elder JB, Roitberg B, Lobel DA. Virtual reality-based simulation training for ventriculostomy: an evidence-based approach. Neurosurg 2013; 73 (Suppl 1): 66–73.
- Lobel DA, Elder JB, Schirmer CM, Bowyer MW, Rezai AR. A novel craniotomy simulator provides a validated method to enhance education in the management of traumatic brain injury. Neurosurg 2013; 73 (Suppl 1): 57–65.
- Delorme S, Laroche D, DiRaddo R, Del Maestro RF NeuroTouch: a physics-based virtual simulator for cranial microneurosurgery training. Neurosurg 2012; 71 (1 Suppl Operative): 32–42.
- Gelinas-Phaneuf N, Choudhury N, Al-Habib AB, Cabral A, et al. Assessing performance in brain tumor resection using a novel virtual reality simulator. Int J Comp Ass Rad Surg 2014; 9: 1–9.
- Koyama T, Hongo K, Tanaka Y, Kobayashi S. Simulation of the surgical manipulation involved in clipping a basilar artery aneurysm: concepts of virtual clipping. Technical note. J Neurosurg 2000; 93: 355–60.
- Wong GK, Zhu CX, Ahuja AT, Poon WS. Craniotomy and clipping of intracranial aneurysm in a stereoscopic virtual reality environment. Neurosurg 2007; 61: 564–68; discussion 568–9.
- Kockro RA, Killeen T, Ayyad A, Glaser M, et al. Aneurysm surgery with preoperative three-dimensional planning in a virtual reality environment: technique and outcome analysis. World Neurosurg 2016; 96: 489–99.
- Bambakidis NC, Selman WR, Sloan AE. Surgical rehearsal platform: potential uses in microsurgery. Neurosurg 2013; 73 (Suppl 1): 122–6.
- Chugh AJ, Pace JR, Singer J, Tatsuoaka C, et al. Use of a surgical rehearsal platform and improvement in aneurysm clipping measures: results of a prospective, randomized trial. J Neurosurg 2017; 126: 838–44.
- Alaraj A, Luciano CJ, Bailey DP, Elsenousi A, et al. Virtual reality cerebral aneurysm clipping simulation with real-time haptic feedback. Neurosurg 2015; 11 (Suppl 2): 52–8.
- Patel A, Koshy N, Ortega-Barnett J, Chan HC, et al. Neurosurgical tactile discrimination training with haptic-based virtual reality simulation. Neurol Res 2014; 36: 1035–9.
- Gasco J, Patel A, Luciano C, Holbrook T, et al. A novel virtual reality simulation for hemostasis in a brain surgical cavity: perceived utility for visuomotor skills in current and aspiring neurosurgery residents. World Neurosurg 2013; 80: 732–7.

Dr. med. univ. et scient. Matthias Gmeiner

Studium der Humanmedizin und Doktoratsstudium der angewandten medizinischen Wissenschaften an der Medizinischen Universität Wien. Facharztausbildung am Kepler-Universitätsklinikum Linz. Seit April 2016 Facharzt für Neurochirurgie am Kepler-Universitätsklinikum Linz.



Mitteilungen aus der Redaktion

Besuchen Sie unsere zeitschriftenübergreifende Datenbank

☒ [Bilddatenbank](#)

☒ [Artikeldatenbank](#)

☒ [Fallberichte](#)

e-Journal-Abo

Beziehen Sie die elektronischen Ausgaben dieser Zeitschrift hier.

Die Lieferung umfasst 4–5 Ausgaben pro Jahr zzgl. allfälliger Sonderhefte.

Unsere e-Journale stehen als PDF-Datei zur Verfügung und sind auf den meisten der marktüblichen e-Book-Readern, Tablets sowie auf iPad funktionsfähig.

☒ [Bestellung e-Journal-Abo](#)

Haftungsausschluss

Die in unseren Webseiten publizierten Informationen richten sich **ausschließlich an geprüfte und autorisierte medizinische Berufsgruppen** und entbinden nicht von der ärztlichen Sorgfaltspflicht sowie von einer ausführlichen Patientenaufklärung über therapeutische Optionen und deren Wirkungen bzw. Nebenwirkungen. Die entsprechenden Angaben werden von den Autoren mit der größten Sorgfalt recherchiert und zusammengestellt. Die angegebenen Dosierungen sind im Einzelfall anhand der Fachinformationen zu überprüfen. Weder die Autoren, noch die tragenden Gesellschaften noch der Verlag übernehmen irgendwelche Haftungsansprüche.

Bitte beachten Sie auch diese Seiten:

[Impressum](#)

[Disclaimers & Copyright](#)

[Datenschutzerklärung](#)