

Neue Technologien in der Mikrochirurgie: Potential, Indikationen und ökonomische Aspekte – Konsensus-Bericht der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Mikrochirurgie der peripheren Nerven und Gefäße (DAM)

New Technologies in Microsurgery: Potential, Indications and Economical Aspects – Report of the Consensus Workshop of the German-Speaking Society for Microsurgery of Peripheral Nerves and Vessels (DAM)

Autoren

Maximilian Kueckelhaus^{1, 2}, Jonas Kolbenslag³, Andreas Kirschniak⁴, Justus P. Beier⁵, Simon Enzinger⁶, Yves Harder⁷ , Ulrich Kneser⁸, Marcus Lehnhardt⁹, Matthias Rab¹⁰, Adrien Daigeler¹¹

Institute

- 1 Abteilung für Plastische und Rekonstruktive Medizin, Westfälische Wilhelms-Universität Münster Institut für Muskuloskeletale Medizin, Münster, Germany
- 2 Abteilung für Plastische, Rekonstruktive und Ästhetische Chirurgie, Handchirurgie, Fachklinik Hornheide eV, Münster, Germany
- 3 Universitätsklinik für Hand-, Plastische, Rekonstruktive und Verbrennungschirurgie, BG Klinik Tübingen, Tübingen, Germany
- 4 Klinik für Allgemein- und Viszeralchirurgie, Kliniken Maria Hilf Mönchengladbach, Mönchengladbach, Germany
- 5 Department of Plastic Surgery, Hand Surgery – Burn Center, University Hospital RWTH Aachen, Aachen, Germany
- 6 Universitätsklinik für Mund- Kiefer- und Gesichtschirurgie, Uniklinikum Salzburg – Christian-Doppler-Klinik, Salzburg, Austria
- 7 Plastic, Reconstructive and Aesthetic Surgery, Repubblica e Cantone Ticino Ente Ospedaliero Cantonale, Viganello – Lugano, Switzerland
- 8 Klinik für Hand, Plastische und Rekonstruktive Chirurgie Schwerbrandverletzentrum Klinik für Plastische Chirurgie, BG Unfallklinik Ludwigshafen und Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg, Ludwigshafen, Germany
- 9 Klinik für Plastische Chirurgie und Handchirurgie, Schwerbrandverletzentrum, BG-Universitätsklinikum Bergmannsheil Bochum, Bochum, Germany
- 10 Abt. f. Plastische Ästhetische und Rekonstruktive Chirurgie, Klinikum Klagenfurt am Wörthersee, Klagenfurt, Austria
- 11 Klinik für Hand, Plastische, Rekonstruktive und Verbrennungschirurgie, BG Unfallklinik Tübingen an der Eberhard Karls Universität Tübingen, Tübingen, Germany

Schlüsselwörter

Supermikrochirurgie, Roboter-assistierte Chirurgie, Robotik, freie Lappenplastiken, Mikrochirurgie der Lymphgefäße

Key words

supermicrosurgery, robotic-assisted surgery, robotics, free flaps, lymphatic surgery

eingereicht 10.04.2022

akzeptiert 25.08.2022

online publiziert 25.10.2022

Bibliografie

Handchir Mikrochir Plast Chir 2022; 54: 507–515

DOI 10.1055/a-1942-6510

ISSN 0722-1819

© 2022, Thieme. All rights reserved.

Georg Thieme Verlag, Rüdigerstraße 14, 70469 Stuttgart, Germany

Korrespondenzadresse

Priv.-Doz. Dr. Maximilian Kückelhaus, MBA

Westfälische Wilhelms-Universität Münster Institut für Muskuloskeletale Medizin, Abteilung für Plastische und Rekonstruktive Medizin

Albert-Schweitzer-Campus 1

48149 Münster

Germany

maximilian.kueckelhaus@ukmuenster.de

ZUSAMMENFASSUNG

Kürzlich haben mehrere neue Technologien zur Unterstützung von Mikrochirurg:innen eine europäische Marktzulassung erhalten. Der vorliegende Artikel fasst die Eindrücke eines Expertenpanels zur Einordnung des Potentials neuer Technologien im Hinblick auf Nutzen für den Operateur, spezifische Indika-

tionen und ökonomische Aspekte während der 42. Jahrestagung der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Mikrochirurgie der peripheren Nerven und Gefäße (DAM) in Graz, Österreich zusammen und diskutiert diese. Das Expertengremium befasste sich im Allgemeinen mit den Grundsätzen und Voraussetzung der erfolgreichen Etablierung neuer Technologien und im Speziellen mit neuartigen optischen und robotischen Systemen. Dazu wurde die aktuelle wissenschaftliche Literatur aufgearbeitet sowie anfängliche klinische Erfahrungswerte im Rahmen von Fallserien und retrospektiven Studien durch die Mitglieder des Expertenpanels präsentiert. In der sich anschließenden Diskussion wurde herausgearbeitet, dass zunächst eine Identifizierung von Patienten-Untergruppen notwendig sein wird, bei denen mit dem Einsatz der neuen Technologien am ehesten ein klinischer Nutzen zu erzielen sei. Da bereits eine klinische Zulassung einiger Systeme gegeben ist, kann bei der unmittelbaren klinischen Anwendung eine Vorgehensweise von möglichst einfachem Einsatz hin zu immer feineren Anwendungen, also von der Mikro- bis hin zur Supermikrochirurgie, hin entwickelt werden. Eine Finanzierung kostenintensiver Systeme sei zunächst vermutlich nicht über den Erlös aus der Regelversorgung, sondern nur durch Fördergelder oder subventionierte klinische Studien möglich. In einer abschließenden Befragung sieht die Mehrheit der Sitzungsteilnehmenden die Notwendigkeit einer Preisreduktion sowohl der Technologien zur Visualisierung als auch der Operationsrobotik, um eine flächendeckende klinische Etablierung zu ermöglichen. Ebenfalls eine Mehrheit der Teilnehmenden würde bei klinischem Einsatz eine Kombination aus Exoskop bzw. robotischem Mikroskop und einem Operationsroboter bevorzugen. Die vorliegende Konsensarbeit adressiert die Entwicklung einer Strategie zur effektiven Etablierung neuer Technologien, die die operative Qualität ausgewählter Eingriffe weiter erhöhen soll.

ABSTRACT

Recently, several new technologies to support microsurgions have received European market approval. This article summarizes and discusses the impressions of an expert panel to classify the potential of new technologies in terms of benefits for the surgeon, specific indications and economic aspects during the 42nd Annual Meeting of the German-speaking Working Group for Microsurgery of Peripheral Nerves and Vessels (DAM) in Graz, Austria. In general, the expert panel addressed the principles and prerequisite for the successful establishment of new technologies and, in particular, novel optical and robotic systems. For this purpose, the current scientific literature was reviewed and initial clinical experience in the context of case series and retrospective studies was presented by the members of the expert panel. In the ensuing discussion, it was pointed out that it will first be necessary to identify patient subgroups in which the use of the new technologies is most likely to achieve a clinical benefit. Since clinical approval has already been granted for some systems, an approach can be developed for immediate clinical application from the simplest possible use to ever finer applications, i. e. from microsurgery to supermicrosurgery. Initially, funding for cost-intensive systems would presumably not be possible through revenue from standard care, but only through grants or subsidized clinical trials. In a final survey, the majority of meeting participants see the need for a price reduction of both visualization and surgical robotics technologies to enable widespread clinical establishment. Likewise, a majority of participants would prefer a combination of an exoscope or robotic microscope and a surgical robot for clinical use. The present consensus work addresses the development of a strategy for the effective establishment of new technologies, which should further increase the surgical quality of selected interventions.

Einleitung

Seit jeher ist die Mikrochirurgie ein Fachgebiet, das sich durch ausgeprägte Kreativität und kontinuierliche Weiterentwicklung auszeichnet. Dabei stand zuletzt vor allem die Entwicklung neuer Operationstechniken mit u. a. feineren und technisch aufwendigeren Perforator-Lappenplastiken sowie die Weiterentwicklung der Lymphchirurgie im Vordergrund [1–4]. Diese Operationstechniken bedurften dabei immer feinere Werkzeuge und mündeten in speziellen Instrumenten für die Supermikrochirurgie [5]. Das Operationsmikroskop wurde im Jahre 1921 erstmalig eingesetzt und gehört bis heute zur Standardausrüstung zur Durchführung mikrochirurgischer Eingriffe [6]. Weitere technische Innovationen wie zum Beispiel der intraoperativ verwendete Venen-Coupler gehören heute genauso zum klinischen Standard [7], wie auch der mittlerweile weitverbreitete Ultraschall-basierte Powerdoppler zur Perforatoridentifikation [8]. Für die präoperative Gefäßdarstellung zur Planung von Perforatorlappenplastiken und zur intra- und postoperativen Darstellung der Lappenperfusion sind mittlerweile eine

Vielzahl an alternativen nicht invasiven und invasiven Darstellungsmöglichkeiten verfügbar [9–11].

Die roboter-assistierte Chirurgie hielt bereits im Jahre 1997 und 1998 Einzug mit der ersten Cholezystektomie und dem ersten Miktralklappenersatz mit robotischer Assistenz [12, 13]. Nach FDA-Zulassung des DaVinci-Operationsroboters (Intuitive Surgical, Sunnyvale, CA, USA) im Jahre 2000 wurde erst 7 Jahre später die Durchführung einer roboter-assistierten mikrochirurgischen Anastomose im Rahmen einer freien TRAM-Lappenplastik zur Brustrekonstruktion berichtet [14]. Hierbei wurden allerdings bereits die Grenzen des nicht primär für die Mikrochirurgie entwickelten Systems mit unzureichender visueller Vergrößerung und zu großen Instrumenten aufgezeigt. Hohe Kosten und geringe Flexibilität trugen ebenfalls dazu bei, dass der DaVinci-Operationsroboter in der Mikrochirurgie bis heute keine tragende Rolle spielt. Dieser Sachverhalt wird unter anderem damit widerspiegelt, dass lediglich vereinzelte wissenschaftliche Beschreibungen vorliegen, die über die Hebung von DIEP-Lappenplastiken berichten [15–17].

Material und Methoden

Am 12. November 2021 fand im Rahmen der 42. Jahrestagung der Deutschsprachigen Arbeitsgemeinschaft für Mikrochirurgie der peripheren Nerven und Gefäße der Workshop „Neue Technologien in der Mikrochirurgie“ statt. In diesem Workshop wurden Updates zu prä-, intra- und postoperativen Bildgebungsverfahren in der Mikrochirurgie gegeben. Es wurden neue Ansätze zur Etablierung der roboter-assistierte Mikrochirurgie sowie deren Potential präsentiert (► **Tab. 1**). Abschließend wurde auch ein Überblick über chirurgische Innovationen in der Viszeralchirurgie, im Besonderen der Einsatz der roboter-assistierte Chirurgie mittels da Vinci-Systems, gegeben. Im Anschluss an die Fachvorträge wurde mit allen anwesenden Teilnehmern über Potential, Indikationen und ökonomische Aspekte diskutiert. Abschließend wurde ein Stimmungsbild unter den Teilnehmenden hinsichtlich des Potentials, Indikationen und ökonomischer Aspekte des Einsatzes von robotischen Systemen und Systemen zur Visualisierung speziell für die Mikrochirurgie erhoben.

Prä-, intra- und postoperative Bildgebung

Hinsichtlich der prä-, intra- und postoperativen Bildgebung kann sich die Mikrochirurgie einer reichhaltigen Auswahl technischen Lösungen bedienen (► **Tab. 2**). Die Duplexsonographie zur präoperativen Planung wurde bereits in den achtziger Jahren beschrieben und kontinuierlich weiter charakterisiert [8, 18–21]. Im Jahre 2006 beschrieben Masia et al. den Einsatz der CT-Angiographie zur Planung abdomineller Perforatorlappen zur Brustrekonstruktion [22]. Retrospektive sowie randomisierte kontrollierte Studien haben dabei eine Reduktion der Schnitt-Naht-Zeiten bei der Lappen-basierten Brustrekonstruktion belegt [23, 24]. Eine aktuelle Metaanalyse beschreibt die höchste Übereinstimmung zwischen präoperativ als dominant identifiziertem und letztlich intraoperativ verwendetem Perforator bei der der MR-Angiografie (97 %) [25]. Es bestehen aktuelle Bemühungen durch Bildbearbeitungstechniken in der Computertomografie wie das „cinematic rendering“ und die „maximum intensity projection“ (MIP) eine weitere Verbesserung des Kontrasts von Perforatoren gegen umgebendes Gewebe zu erzielen [26]. Die Verwendung eines Ultrahigh-Resolution CTs

► **Tab. 1** Technologiebereiche in der Mikrochirurgie.

Instrumentarium	Mikrochirurgiebesteck		Supermikrochirurgiebesteck	
	Perforator	präoperativ	intraoperativ	postoperativ
Bildgebung	Perfusion			
Robotik	Telemetrische Steuerung		Mechanische Steuerung	
Visualisierung Operationsfeld	Lupenbrille	Mikroskop	Exoskop	Robotisches Mikroskop/Exoskop

► **Tab. 2** Aktuelle bildgebende Verfahren zur Perfusions- und Perforatordarstellung.

Bildgebung	Prä-operativ	Intra- und postoperativ	Kommentar
CT-Angiografie	+	–	Reduktion der Schnitt-Naht-Zeit belegt [23–24]
Ultrahigh-resolution CT	+	–	Kontrastverbesserung gegenüber konventionellem CT [27]
Cinematic rendering	+	–	Bildbearbeitungstechnik zur Kontrasterhöhung der Perforatoren [26]
Maximum intensity projection	+	–	Bildbearbeitungstechnik zur Kontrasterhöhung der Perforatoren [26]
MR-Angiografie	+	–	Höchste Übereinstimmung prä- und intraoperativ identifizierter Perforatoren [25]
Contrast-enhanced MRA	+	–	Differenziertere Darstellung des venösen Systems [59]
Ferumoxetylol-enhanced MRA	+	–	Differenziertere Darstellung des venösen Systems [28]
Perforator phase contrast MRA	+	–	Akkuratere Darstellung und Kontrasterhöhung des arteriellen und venösen Systems vgl. mit CTA [29]
Duplex-Sonografie	+	+	Etabliertes Verfahren zur präoperativen Perforatordarstellung
Laser-Doppler-Bildgebung	+	+	Ungeeignet zur Perforatorvisualisierung [30]
Laser-Speckle-Flowgraphy	+	+	Alternative zur Perfusionsmessung mit ICG [60]
Hyperspektral-Bildgebung	+	+	Ungeeignet zur Perforatorvisualisierung [30]
Dynamische Infrarot-Thermografie (DIRT)	+	+	Alternative zur Perfusionsmessung mit ICG [32]
Nahinfrarotfluoreszenz mit Indocyanin-grün (ICG)	–	+	Etablierte Methode zur intraoperativen Perfusionskontrolle

► **Tab. 3** Vergleichende Darstellung der beiden CE-zertifizierten robotischen Mikrochirurgiesysteme.

Systeme für Roboter-assistierte Mikrochirurgie	MUSA Microsure	Symani MMI
Kosten	€	€€€
Instrumente mit distalem Gelenk („wristed“)	–	+
Wiederverwendbarkeit Instrumente	+	–
Motion scaling	+	+
Tremorelimination	+	+
Steuerung	mechanisch	telemetrisch
CE-Zertifizierung	+	+
Aktuell kommerziell erhältlich (Januar 2022)	–	+

(UHRCT) kann ebenfalls zu einer Kontrastverbesserung genutzt werden [27]. Auch die MR-Angiografie (MRA) erhält mit der Ferromyotol-enhanced-MRA (FE-MRA)[28] und der „perforator phase“ Angiografie, in der ein „phase contrast“ MRT mit einem anatomischen MRT in T2-Wichtung mit reversen Graustufen fusioniert wird [29], zusätzliche Möglichkeiten zur differenzierten Darstellung des venösen Gefäßsystems. So konnte bereits ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Durchmesser der superfiziellen inferioren epigastrischen Vene (SIEV), Perforatordurchmesser sowie deren Verhältnis zueinander und der Notwendigkeit eines venösen „Superchargings“ der Lappenplastik gezeigt werden [28]. In einer prospektiven Vergleichsstudie von nicht-invasiven Alternativen zur präoperativen Doppler-Untersuchung konnte die thermale Bildgebung in 94 % der Patienten eine übereinstimmende Darstellung der Perforatoren im Vergleich zur Doppler-Untersuchung erreichen, während sich die Hyperspektral- und Laserdopplerbildgebungen als ungeeignet herausstellten [30]. Obwohl in vielen Kliniken die intraoperative Verwendung der Indocyaningrün (ICG)-Angiografie mittlerweile zum Standard gehört, fehlen weiterhin prospektive Studien, die die Wirksamkeit der Technik beschreibt was das Vermeiden Ischämie-bedingten Komplikationen angeht, wie zum Beispiel Wundheilungsstörung, Hautnekrose und Fettgewebsnekrose [31]. Nicht-invasive Alternativen wie die dynamische Infrarot-Thermografie wurden zwar bereits in den 2000ern beschrieben, haben sich allerdings bisher nicht im klinischen Alltag durchsetzen können [32].

Operationsroboter

Nachdem die Firmen Intuitive Surgical (Sunnyvale, CA, USA) und Computer Motion Inc. (Goleta, CA, USA) im Jahre 2003 fusionierten, besaß das DaVinci-System eine Quasi-Monopolstellung in der roboter-assistierte Chirurgie. Trotzdem wurden in den letzten 20 Jahren zahlreiche Robotiksysteme wie MicroSurge, ViaCath, SurgiBot, SPORT, MASTER or SPIDER, die auf dem Prinzip des minimal-invasiven Zugangs basieren, entwickelt. Da das Gebiet der Supermikrochirurgie zunehmend an Bedeutung gewinnt [33], werden jedoch Master-Slave-Plattformen benötigt, deren Fokus auf starker

Herunterskalierung, vollständiger Tremoreliminierung und zusätzlichen Achsen für maximale Flexibilität im Einsatzbereich liegt. Das Master-Slave-System wurde in den 1990ern entwickelt und bezeichnet die Fernsteuerung eines ausführenden Roboters durch den Chirurgen [34]. Zwei Systeme, die auf die Erfüllung der speziellen Anforderungen für die Supermikrochirurgie hin entwickelt wurden, haben kürzlich die europäische Marktzulassung erhalten und können somit klinisch eingesetzt werden (► **Tab. 3**). Das System MUSA von Microsure (Eindhoven, Niederlande) kann mit Standardinstrumenten für Mikro- und Supermikrochirurgie verwendet werden [35]. Die Instrumente werden dabei in zwei robotische Arme eingespannt. Diese Arme sind wiederum ein- und ausschwenkbar am Operationstisch befestigt, um einen schnellen Wechsel von mikro- zu makrochirurgischem Operieren zu gewährleisten. Zwei Steuerelemente in Pinzettenform sind über mechanische Achsen ebenfalls am Operationstisch befestigt und nehmen die Bewegungen des Operators auf, filtern den Tremor heraus und übertragen die Bewegung herunterskaliert auf die Instrumente. Das System ist so konzipiert, dass es gemeinsam mit einem Standard-Operationsmikroskop verwendet werden kann. Nach präklinischer Evaluation durch erfahrene Mikrochirurgen [36] wurde im Jahre 2020 die erste randomisierte Pilotstudie am Menschen zur Therapie des sekundären Lymphödems mittels lymphovenöser Anastomosen publiziert [37]. Dabei konnte eine steile Lernkurve sowie der sichere klinische Einsatz nachgewiesen werden.

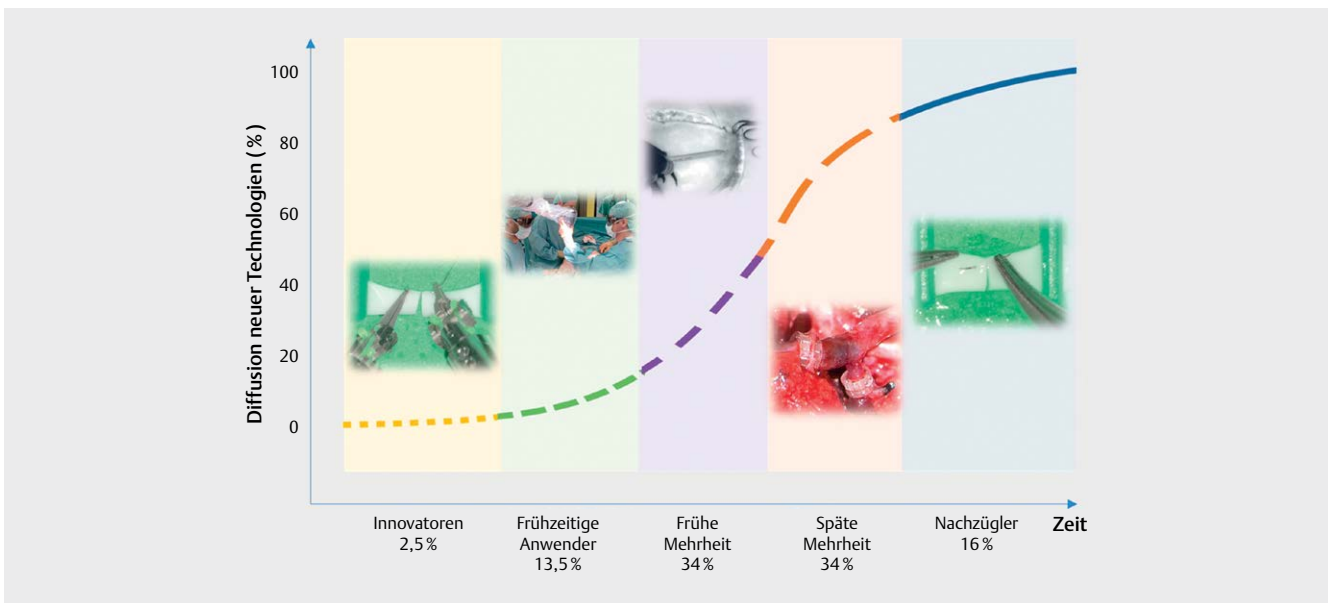
Das Symani-System der Firma MMI (Pisa, Italien) verwendet eigens entwickelte Mikro- und Supermikrochirurgieinstrumente mit zusätzlichen distalen Freiheitsgraden („wristed instruments“). Die Beweglichkeit der Roboterarme ist dabei vergleichbar mit dem DaVinci-System, jedoch werden wesentlich kleinere Instrumente verwendet und es können die Bewegungen des Chirurgen bis um einen Faktor von 20 herunterskaliert werden. Anders als beim MUSA-System verwendet das Symani-System Einmalinstrumente. Ebenfalls im Gegensatz zum MUSA-System wird der Symani-Roboter über eine telemetrische Steuerung betrieben. Somit sind die ebenfalls pinzettenförmige Steuerelemente bei Verwendung frei in den Händen der Chirurgen und nicht mechanisch am Operationstisch oder anderweitig fixiert (► **Abb. 1**). Der Roboter selbst ist fahrbar und kann ähnlich wie ein Operationsmikroskop in das Operationsfeld ein- und ausgeschwenkt werden. Bislang lagen Kongressberichte zum klinischen Einsatz des Symani zur mikrochirurgischen Defektrekonstruktion von Extremitäten und im Kopf-/Halsbereich vor [38]. Kürzlich erschien dann der erste Bericht nach Peer-Review, der die sichere Durchführbarkeit von lymphovenösen Anastomosen beschreibt [39]. Die zusätzlichen Freiheitsgrade ermöglichen eine gesteigerte Flexibilität zur Nadelführung bei mikrochirurgischen Anastomosen und die telemetrische Steuerung eine freiere Wahl der Sitzposition und somit verbesserte Ergonomie. Kosten für ein Symani-System bewegen sich aktuell im höheren sechsstelligen Bereich (Stand März 2022), hinzu müssen rund 2.000€ für Einmalinstrumente pro Eingriff kalkuliert werden [40].

Visualisierung

Auch im Bereich der Visualisierung des Operationsfeldes wurden in den letzten Jahren alternative Systeme zu den konventionellen Operationsmikroskopen speziell für die offene Chirurgie entwickelt (► **Tab. 4**). Innovationen im Bereich bildgebender Werkzeuge wie



► **Abb. 1** links: klinischer Einsatz des RoboticScope im Rahmen einer autologen Brustrekonstruktion mittels DIEP-Lappenplastik. Der Operateur steuert die Optik sowie die erweiterte Menüführung über Kopfbewegungen. Der Assistent bekommt das Bild gespiegelt aus sein head-mounted display (HMD) (Quelle: Fachklinik Hornheide); rechts: klinischer Einsatz der Symani-Systems ebenfalls bei einer freien Lappenplastik. Hier Verwendung mit konventionellem Operationsmikroskop (Quelle: Uniklinik Salzburg).



► **Abb. 2** Beispiele für die Diffusion von Technologien in der Mikrochirurgie nach dem Diffusionsmodell von Rogers.

der Gefäß- und Perfusionsdarstellung mittels Indocyaningrün (ICG) in Kombination mit verbesserter Videoqualität haben die Entwicklung von Systemen begründet, die das digitale Aufeinanderschichten von optischem Bild, diagnostischem digitalem Signal und „augmented-reality“-Funktionen ermöglichen [41]. Hierbei ist zwischen Exoskop-System und robotischem System zu differenzieren. Exoskope wurden ab Ende der 2000er entwickelt. Dabei behalf man sich damit, dass mittlerweile digitale Kameras – gepaart mit einer Teleskopoptik – eine Bildqualität erzielen konnten, die der Bildqualität eines Operationsmikroskops gleichwertig waren [42, 43]. Im weiteren Verlauf entwickelten sich daraus Systeme mit 4k-Auflösung und dreidimensionaler Bilddarstellung wie das Video Telescope Operating Monitor (VITOM) 3D System von Karl Storz (Tuttlingen) [44, 45] und das ORBEYE Orbitalcamerasystem von Olympus (Tokyo, Japan) [46, 47]. Bei dreidimensionaler Darstellung erreichen diese Systeme eine maximal eine 30-fache (VITOM) bezie-

ungsweise 26-fache (ORBEYE) Vergrößerung [41]. Die Exoskope ermöglichen den Chirurgen eine verbesserte Ergonomie, da sie nicht durch den Blick durch Okulare eines Mikroskops gebunden sind [46, 48]. Das Manövrieren der Exoskope im Operationsfeld sowie die Kamerabedienung, u. a. das Zoomen und Fokussieren, erfolgen manuell. Zudem kann wohl neben der bereits klinisch etablierten Gefäß- und Perfusionsdarstellung mittels ICG zukünftig ggf. auch das „Narrow Band Imaging“ (NBI) einen weiteren Nutzen zur verbesserten Gefäßdarstellung bei mikrochirurgischen Eingriffen erzielen [49].

Bei dem RoboticScope von BHS (Innsbruck, Österreich) ist die Digitalkameraeinheit an einen robotischen Arm gekoppelt. Das Bild wird dabei auf ein Headset mit zwei Displays übertragen, die für den Chirurgen ein dreidimensionales Bild erzeugen. Durch Kopfbewegungen kann der Chirurg nun sowohl den mehrachsigen robotischen Arm und somit die Kamera durch das Operationsfeld

► **Tab. 4** Vergleichende Darstellung verschiedener Technologien zur Visualisierung in der Mikrochirurgie.

Visualisierung in der Mikrochirurgie	Operationsmikroskop	Exoskop	Robotisches Mikroskop
Preis	€-€€€	€€-€€€	€€
Steuerung Optik	manuell	manuell	Kopfgesten
Menüsteuerung	manuell	manuell	Kopfgesten
Visualisierung	Okular	Monitor + 3D Brille	Head-mounted display (HMD)
Fluoreszenz	+	+	(-)
Schmalband	-	+	-



► **Abb. 3** Kombiniertes Einsatz neuer Technologien zur Visualisierung und Operation: oben: Einsatz des Exoskops „Orbeye“ in Kombination mit dem mikrochirurgischen Operationsroboter „Symani“ bei einer Gracilis-Lappenplastik zur Extremitätenrekonstruktion. Unten: Einsatz des robotischen Mikroskops „RoboticScope“ in Kombination mit dem mikrochirurgischen Operationsroboter „Symani“ bei der autologen Brustrekonstruktion mittels DIEP-Lappenplastik (Quelle: Kückelhaus, Fachklinik Hornheide und Institut für Muskuloskeletale Medizin der Westfälischen Wilhelmsuniversität Münster).

steuern, als auch durch ein Menü zur Kamerabedienung navigieren, dessen Grafik über das eigentliche Operationsbild gelegt wird. Ein zweites Headset projiziert ein spiegelverkehrtes Bild für den Assistenten (► **Abb. 1**). Dieses neuartige System ermöglicht prinzipiell eine vollständige Entkopplung von Visualisierung und Bedienung vom Operationssitus. Einige klinische „proof-of-concept“-Studien wurden mit dem RoboticScope bereits abgeschlossen [50–53]. Anschaffungskosten für das System beginnen aktuell bei 200.000€ (Stand März 2022) [54].

Erfahrungen anderer Fachgebiete

In der Allgemeinchirurgie, Urologie und Gynäkologie hat vor allem der DaVinci-Operationsroboter (Intuitive, Sunnyvale, CA, USA) Einzug gehalten. Im Jahr 2021 wurde in Deutschland das 200. DaVinci-System installiert und die 200.000 roboter-assistierte Operation verzeichnet [55]. Trotz der mittlerweile flächendeckenden Anwendung lässt die Evidenz zu einem unumstrittenen Nutzen der kostenintensiven Anwendung auf sich warten. In einer Metaanalyse randomisierter kontrollierter Studien zur laparoskopischen versus robotischen Chirurgie bei Rektalkarzinomen konnte zwar eine signifikant niedrigere Konversionsrate bei signifikant längerer Operationszeit mit dem robotischen Ansatz gezeigt werden, allerdings waren perioperative Mortalität, Resektionsqualität, Lymphknoten-entnahme und onkologisches Outcome vergleichbar [56]. Während also für die Gesamtpatientenpopulation kein überzeugender Nutzen nachgewiesen werden konnte, so konnte jedoch für gewisse Patientenuntergruppen (d. h. männlicher Geschlecht, adipös) ein Vorteil im onkologischen und funktionellen Outcome nachgewiesen werden.

Diskussion und Konsensus

Wirksame prä-, intra- und postoperative Verfahren zur Identifikation und Darstellung von Gefäßen und deren Verläufen im Gewebe, wie auch zur Beurteilung der Gewebedurchblutung stehen bereits zur Verfügung. Bei der Weiterentwicklung der schnittbildgebenden Verfahren ist die Radiologie Innovationstreiber. Der Einsatz von ICG gehört mittlerweile zur klinischen Routine. Nichtinvasive Verfahren wie die thermale Bildgebung müssen weiter evaluiert werden.

Bei der fortschreitenden Miniaturisierung in der Mikrochirurgie mit immer feiner werdenden Instrumenten für die zu operierenden Strukturen rückt die Physis des Operateurs als limitierender Faktor immer weiter in den Vordergrund. Aus diesem Grund wurden nun speziell auf die Bedürfnisse der offenen Mikrochirurgie ausgelegte robotische Systeme entwickelt, die nun auch die europäische Marktzulassung erhalten haben. Vor dem Hintergrund der äußerst komplexen und kostenintensiven Ausbildung von kompetenten Mikrochirurg:innen bieten diese Systeme potentiell die Möglichkeit, auch bei nachlassender Physis länger von der Erfahrung älterer Operateure zu profitieren. Dieser Umstand kann in Zukunft ebenfalls zur Kosteneffizienz von mikrochirurgischen Eingriffen beitragen. Die Kombination von Operationsrobotern mit neuen Technologien zur flexiblen und detailgetreuen Visualisierung, wie den Exoskopen oder dem robotischen Operationsmikroskop, kann zu potentiellen Synergieeffekten führen (► **Abb. 3**). Somit ist letztlich eine Verbesserung der Arbeitsergonomie bis hin zur Entkopplung

des Chirurgen vom Operationstisch möglich. Die Mehrzahl der anwesenden Experten spricht sich deshalb in der Diskussion für eine Kombination von Operationsroboter mit einem Exoskop oder robotischem Mikroskop aus.

Die hohen Kosten für solche Systeme, für deren Einsatz bis auf weiteres keine Vergütung vorgesehen ist, werden im Konsensus der anwesenden Experten nicht durch Mittel aus dem Regelbetrieb querfinanziert werden können. Somit wurden die Kosten als größtes Hindernis für den klinischen Einsatz identifiziert und eine Kostenreduktion als essentiell für die Marktetablierung erachtet. Um trotzdem eine aktive Rolle in der Weiterentwicklung dieser Systeme spielen zu können, ist eine Finanzierung neuer Technologien über die Durchführung von präklinischen und klinischen Studien eine Möglichkeit. Die Durchführung solcher Studien ist ebenfalls essenziell, um einen möglichen Nutzen bzw. Vorteil frühestmöglich nachzuweisen und langfristig für eine angemessene Vergütung für den Einsatz der neuen Technologien zu sorgen. Es wurde herausgearbeitet, dass ein besonderes Augenmerk auf guten Indikationen zum Einsatz der robotischen Systeme liegen muss. Somit wurde die Verwendung am ehesten zur Durchführung lymphovenöser Anastomosen als sinnvoll erachtet, gefolgt von Anastomosen im Rahmen freier Lappenplastiken sowie der Replantation und Nervenkoaptation. Zur initialen klinischen Anwendung mag der Einstieg über die vergleichsweise einfachen Anastomosen elektiver Lappenplastiken gegeben sein. Ebenfalls wurde eine frühe Identifikation von Patientenuntergruppen als sinnvoll hervorgehoben, da die neuen Technologien hier von besonderem Nutzen sein könnten. Als Beispiel wurde hier die Gruppe der adipösen Patient:innen herangezogen, bei denen ein erschwerter Zugang zum Situs durch neue Technologien erleichtert werden könnte. Die Erfahrungen anderer operativer Fächer zum Einsatz des DaVinci-Roboters bestätigen hierbei die Notwendigkeit der möglichst frühzeitigen Datenerhebung im Rahmen von Studien und das Erreichen einer Vergütung, ebenso wie die Identifizierung von Patientenuntergruppen, die vom Einsatz dieser neuen Technologien am wahrscheinlichsten profitieren werden.

Die IDEAL-Gruppe, die aus einer Serie von Konferenzen zwischen Chirurg:innen und Methodikern in Oxford hervorgegangen ist, hat mit dem „IDEAL framework of surgical innovation“ eine Handlungsanweisung entwickelt, um eine effiziente Evaluation innovativer Technologien zu erreichen. Dabei werden Fragestellung, Zielsetzung, die notwendige Größe der Probandengruppen und das optimale Studiendesign für die einzelnen Stadien des chirurgischen Innovationsprozesses vorgegeben [57]. Das Diffusionsmodell von Rogers beschreibt dann den regelhaften Durchdringungsprozess erfolgreicher Innovation, ausgehend von den Innovatoren über die frühzeitigen Anwender und der frühen Mehrheit an Anwendern bis hin zur späten Mehrheit und den Nachzüglern, die solch eine Innovation anwenden (► **Abb. 2**) [58].

Somit ist davon auszugehen, dass der flächendeckende Einsatz noch auf sich warten lassen wird. Zunächst werden die Systeme in mikrochirurgischen Zentren etabliert werden und sich bei Erfolg dann in der Peripherie verbreiten. Wichtige Faktoren für die Verbreitung werden sowohl die zu erwartende Lernkurve als auch potentiell verlängerte OP-Zeit und die zusätzlichen Kosten sein. Diese Erfahrungen lassen sich aus der Einführung des DaVinci-Systems ableiten.

Aktuell setzt sich die Evidenz zur Effektivität und Effizienz neuer robotischer Technologien für die Mikrochirurgie vor allem aus klinischen Fallberichten und Fallserien sowie wenigen präklinischen Studien zur Lernkurve im Vergleich zur manuellen Anastomosen Technik zusammen. Daher sollte bei deren Einsatz ein besonderes Augenmerk auf der effizienten Evaluation im Rahmen prospektiver klinischer Studien liegen.

Während in der Bildgebung die Radiologie der Hauptinnovationsstreiber ist, so sollten neue Technologien zur Weiterentwicklung von spezifischen Operationsverfahren gerade in der Mikrochirurgie aktiv durch ihre Anwender, in diesem Falle die mikrochirurgisch tätigen Chirurg:innen, mit- und weiterentwickelt werden.

Schließlich lässt sich feststellen, dass der Mikrochirurgie innovative technische Mittel zur Weiterentwicklung operativer Techniken zur Verfügung stehen. Dabei ist ein gesundes Maß an Konkurrenz unter den Anbietern aus Sicht der Anwender wünschenswert, nicht zuletzt, um mittelfristig durch Kostenreduktion im Rahmen einer kompetitiven Preispolitik der Hersteller den Einsatz neuer Systeme in der Regelversorgung zu ermöglichen.

Zusammenfassend stehen der Mikrochirurgie mehr technische Innovationen denn je zur Verfügung. Daher sind wirksame Strategien zur Finanzierung und Prüfung der oft kostenintensiven Technologien notwendig. Die Identifizierung von Patientengruppen, die vom Einsatz neuer Technologien profitieren könnten, muss dabei möglichst frühzeitig erfolgen. Ein kompetitives Marktumfeld ist vor allem im Hinblick auf hohe Produktqualität und letztlich Kostenreduktion in der Anschaffung und Anwendung der Geräte wünschenswert.

Autorinnen/Autoren



Priv.-Doz. Dr. Maximilian Kückelhaus, MBA

Abteilung für Plastische und Rekonstruktive Chirurgie, Institut für Muskuloskeletale Medizin, Westfälische Wilhelms-Universität Münster und Fachklinik Hornheide; Maximilian Kückelhaus ist Geschäftsführender Oberarzt der Abteilung für Plastische, Rekonstruktive und Ästhetische Chirurgie, Handchirurgie der Fachklinik Hornheide

und Leiter der Experimentellen und Translationalen Plastischen Chirurgie der Abteilung für Plastische und Rekonstruktive Chirurgie an der Universität Münster. Er wurde 1985 in Wuppertal geboren und forschte nach Abschluss seines Studiums 2013 zwei Jahre als Postdoc an der Harvard Medical School und dem Brigham and Women's Hospital in Boston zum Thema „Vascularized Composite Allotransplantation“. Er ist Facharzt für Plastische und Ästhetische Chirurgie und habilitierte zum Thema „Innovative Transplantationsverfahren in der Plastischen Chirurgie“. Maximilian Kückelhaus leitet mehrere Arbeitsgruppen, u. a. zu den Themen kombinierte Gen- und Stammzelltherapie sowie der roboter-assistierte Mikrochirurgie.

Interessenkonflikt

Die Autorinnen/Autoren geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Literatur

- [1] Baumeister RG, Seifert J, Hahn D. Autotransplantation Of Lymphatic Vessels. *Lancet*. 1981. doi:10.1016/S0140-6736(81)90723-6
- [2] Hirche C, Engel H, Engel H et al. Lympho-reconstructive microsurgery for secondary lymphedema: Consensus of the German-Speaking Society for Microsurgery of Peripheral Nerves and Vessels (DAM) on indication, diagnostic and therapy by lymphovenous anastomosis (LVA) and vascularized lymph no. *Handchirurgie Mikrochirurgie Plast Chir* 2019. doi:10.1055/a-0874-2212
- [3] Brown E, Suh HP, Han HH et al. Best New Flaps and Tips for Success in Microsurgery. *Plast Reconstr Surg* 2020. doi:10.1097/PRS.00000000000007331
- [4] Hong JP, Song S, Suh HSP. Supermicrosurgery: Principles and applications. *J Surg Oncol* 2018. doi:10.1002/jso.25243
- [5] Mihara M, Hayashi Y, Iida T et al. Instruments for supermicrosurgery in Japan. *Plast Reconstr Surg* 2012. doi:10.1097/prs.0b013e31823af16b
- [6] Tamai S. History of microsurgery from the beginning until the end of the 1970s. In: *Microsurgery*. 1993. doi:10.1002/micr.1920140105
- [7] Maruccia M, Fatigato G, Elia R et al. Microvascular coupler device versus hand-sewn venous anastomosis: A systematic review of the literature and data meta-analysis. *Microsurgery* 2020. doi:10.1002/micr.30585
- [8] Daigeler A, Schubert C, Hirsch T et al. Colour duplex sonography and Power-Duplex in Perforator Surgery – Improvement of patients safety by efficient planning. *Handchirurgie Mikrochirurgie Plast Chir* 2018. doi:10.1055/s-0043-118597
- [9] Karinja SJ, Lee BT. Advances in flap monitoring and impact of enhanced recovery protocols. *J Surg Oncol* 2018. doi:10.1002/jso.25179
- [10] Ono S, Hayashi H, Ohi H et al. Imaging Studies for Preoperative Planning of Perforator Flaps: An Overview. *Clin Plast Surg* 2017. doi:10.1016/j.cps.2016.09.004
- [11] Schmauss D, Beier JP, Eisenhardt SU et al. Der sichere Lappen – Präoperatives Gefäß-Mapping und intraoperative Perfusionsmessung zur Reduktion der lappenbedingten Morbidität. *Handchirurgie · Mikrochirurgie · Plast Chir* 2019; 51: 410–417. doi:10.1055/a-0987-0118
- [12] Navarra G, Pozza E, Occhionorelli S et al. One-wound laparoscopic cholecystectomy. *Br J Surg* 1997. doi:10.1002/bjs.1800840536
- [13] Falk V, Walther T, Autschbach R et al. Robot-assisted minimally invasive solo mitral valve operation. *J Thorac Cardiovasc Surg* 1998. doi:10.1016/S0022-5223(98)70295-8
- [14] van der Hulst R, Sawor J, Bouvy N. Microvascular anastomosis: is there a role for robotic surgery? *J Plast Reconstr Aesthetic Surg* 2007. doi:10.1016/j.bjps.2006.05.011
- [15] Choi JH, Song SY, Park HS et al. Robotic DIEP Flap Harvest through a Totally Extraperitoneal Approach Using a Single-Port Surgical Robotic System. *Plast Reconstr Surg* 2021. doi:10.1097/PRS.00000000000008181
- [16] Selber JC. The Robotic DIEP Flap. *Plast Reconstr Surg* 2020. doi:10.1097/PRS.00000000000006529
- [17] Gundlapalli VS, Ogunleye AA, Scott K et al. Robotic-assisted deep inferior epigastric artery perforator flap abdominal harvest for breast reconstruction: A case report. *Microsurgery* 2018. doi:10.1002/micr.30297
- [18] Stevenson TR, Rubin JM, Herzenberg JE. Vascular patency of fibular free graft: Assessment by Doppler color-flow imager: A case report. *J Reconstr Microsurg* 1988. doi:10.1055/s-2007-1006952
- [19] Blondeel PN, Beyens G, Verhaeghe R et al. Doppler flowmetry in the planning of perforator flaps. *Br J Plast Surg* 1998. doi:10.1016/S0007-1226(98)80010-6
- [20] Giunta RE, Geisweid A, Feller AM. The value of preoperative doppler sonography for planning free perforator flaps. *Plast Reconstr Surg* 2000. doi:10.1097/00006534-200006000-00011
- [21] Thomas B, Haug V, Falkner F et al. A single-center retrospective comparison of Duplex ultrasonography versus audible Doppler regarding anterolateral thigh perforator flap harvest and operative times. *Microsurgery* 2022. doi:10.1002/micr.30775
- [22] Masia J, Clavero JA, Larrañaga JR et al. Multidetector-row computed tomography in the planning of abdominal perforator flaps. *J Plast Reconstr Aesthetic Surg* 2006. doi:10.1016/j.bjps.2005.10.024
- [23] Colakoglu S, Tebockhorst S, Freedman J et al. CT angiography prior to DIEP flap breast reconstruction: a randomized controlled trial. *J Plast Reconstr Aesthetic Surg* 2021. doi:10.1016/j.bjps.2021.05.050
- [24] Ngaage LM, Oni G, Di Pace B et al. The effect of CT angiography and venous couplers on surgery duration in microvascular breast reconstruction: A single operator's experience. *Gland Surg* 2018. doi:10.21037/gs.2018.07.11
- [25] Kiely J, Kumar M, Wade RG. The accuracy of different modalities of perforator mapping for unilateral DIEP flap breast reconstruction: A systematic review and meta-analysis. *J Plast Reconstr Aesthetic Surg* 2021. doi:10.1016/j.bjps.2020.12.005
- [26] Hauck T, Arkudas A, Horch RE et al. The third dimension in perforator mapping – Comparison of Cinematic Rendering and maximum intensity projection in abdominal-based autologous breast reconstruction. *J Plast Reconstr Aesthetic Surg* 2021. doi:10.1016/j.bjps.2021.09.011
- [27] Ide S, Urikura A, Yoshida T et al. Ultrahigh-Resolution Computed Tomography Improves Preoperative Computed Tomography Angiography for Deep Inferior Epigastric Artery Perforator Flap Reconstruction. *J Comput Assist Tomogr* 2021. doi:10.1097/rct.0000000000001235
- [28] Dortch J, Forte AJ, Bolan C et al. Preoperative Analysis of Venous Anatomy Before Deep Inferior Epigastric Perforator Free-Flap Breast Reconstruction Using Ferumoxytol-enhanced Magnetic Resonance Angiography. *Ann Plast Surg* 2018. doi:10.1097/sap.0000000000001421
- [29] Yang X, Miller MJ, Friel HT et al. Perforator phase contrast angiography of deep inferior epigastric perforators a better preoperative imaging tool for flap surgery than computed tomographic angiography? *Invest Radiol* 2017. doi:10.1097/RLI.0000000000000348
- [30] Nischwitz SP, Luze H, Schellnegger M et al. Thermal, hyperspectral and laser doppler imaging: Non-invasive tools for detection of the deep inferior epigastric artery perforators – a prospective comparison study. *J Pers Med* 2021. doi:10.3390/jpm11101005
- [31] Parmeshwar N, Sultan SM, Kim EA et al. A Systematic Review of the Utility of Indocyanine Angiography in Autologous Breast Reconstruction. *Ann Plast Surg* 2021. doi:10.1097/SAP.0000000000002576
- [32] Thiessen FEF, Tondut T, Vermeersch N et al. Dynamic infrared thermography (DIRT) in Deep Inferior Epigastric Perforator (DIEP) flap breast reconstruction: Standardization of the measurement set-up. *Gland Surg* 2019. doi:10.21037/gs.2019.12.09
- [33] Masia J, Olivares L, Koshima I et al. Barcelona consensus on supermicrosurgery. *J Reconstr Microsurg* 2014. doi:10.1055/s-0033-1354742
- [34] Leal Ghezzi T, Campos Corleta O. 30 Years of Robotic Surgery. *World J Surg* 2016. doi:10.1007/s00268-016-3543-9
- [35] van Mulken TJM, Schols RM, Qiu SS et al. Robotic (super) microsurgery: Feasibility of a new master-slave platform in an in vivo animal model and future directions. *J Surg Oncol* 2018. doi:10.1002/jso.25195
- [36] Van Mulken TJM, Boymans CAEM, Schols RM et al. Preclinical experience using a new robotic system created for microsurgery. *Plast Reconstr Surg* 2018. doi:10.1097/PRS.0000000000004939

- [37] van Mulken TJM, Schols RM, Scharmga AM] et al. First-in-human robotic supermicrosurgery using a dedicated microsurgical robot for treating breast cancer-related lymphedema: a randomized pilot trial. *Nat Commun* 2020. doi:10.1038/s41467-019-14188-w
- [38] Enzinger S. Potenzial der Robotik in der Mikrochirurgie: Erfahrung mit dem Symani Surgical System. In: 42. Jahrestagung Deutschsprachige Arbeitsgemeinschaft Für Mikrochirurgie Der Peripheren Nerven Und Gefäße. 2021
- [39] Lindenblatt N, Grünherz L, Wang A et al. Early Experience Using a New Robotic Microsurgical System for Lymphatic Surgery. *Plast Reconstr Surg – Glob Open* 2022; 10: e4013. doi:10.1097/GOX.0000000000004013
- [40] Persönliche Kommunikation MMI, Pisa, Italien (11.02.2022)
- [41] Langer DJ, White TG, Schulder M et al. Advances in Intraoperative Optics: A Brief Review of Current Exoscope Platforms. *Oper Neurosurg* 2020. doi:10.1093/ons/ozz276
- [42] Mamelak AN, Danielpour M, Black KL et al. A high-definition exoscope system for neurosurgery and other microsurgical disciplines: Preliminary report. *Surg Innov* 2008. doi:10.1177/1553350608315954
- [43] Mamelak AN, Nobuto T, Berci G. Initial clinical experience with a high-definition exoscope system for microneurosurgery. *Neurosurgery* 2010. doi:10.1227/01.NEU.0000372204.85227.BF
- [44] De Virgilio A, Mercante G, Gaino F et al. Preliminary clinical experience with the 4 K3-dimensional microvideoscope (VITOM 3D) system for free flap head and neck reconstruction. *Head Neck* 2020. doi:10.1002/hed.25979
- [45] De Virgilio A, Iocca O, Di Maio P et al. Free flap microvascular anastomosis in head and neck reconstruction using a 4K three-dimensional exoscope system (VITOM 3D). *Int J Oral Maxillofac Surg* 2020. doi:10.1016/j.ijom.2020.01.022
- [46] Ahmad FI, Mericli AF, DeFazio MV et al. Application of the ORBEYE three-dimensional exoscope for microsurgical procedures. *Microsurgery* 2020. doi:10.1002/micr.30547
- [47] Rösler J, Georgiev S, Roethe AL et al. Clinical implementation of a 3D4K-exoscope (Orbeye) in microneurosurgery. *Neurosurg Rev* 2021. doi:10.1007/s10143-021-01577-3
- [48] Hafez A, Haeren RHL, Dillmann J et al. Comparison of Operating Microscope and Exoscope in a Highly Challenging Experimental Setting. In: *World Neurosurgery* 2021. doi:10.1016/j.wneu.2020.12.093
- [49] Zhang H, Wong PY, Magos T et al. Use of narrow band imaging and 4K technology in otology and neuro-otology: preliminary experience and feasibility study. *Eur Arch Oto-Rhino-Laryngology* 2018. doi:10.1007/s00405-017-4783-5
- [50] Schär M, Rössli C, Huber A. Preliminary experience and feasibility test using a novel 3D virtual-reality microscope for otologic surgical procedures. *Acta Otolaryngol* 2021. doi:10.1080/00016489.2020.1816658
- [51] Riepl R, Greve J, Schild LR et al. Application of a new computer-assisted robotic visualization system in cochlear implantation – Proof of concept. *Int J Med Robot Comput Assist Surg* 2021. doi:10.1002/rcs.2301
- [52] Boehm F, Schuler PJ, Riepl R et al. Performance of microvascular anastomosis with a new robotic visualization system: proof of concept. *J Robot Surg* 2021. doi:10.1007/s11701-021-01294-5
- [53] Scaglioni MF, Meroni M, Fritsche E et al. Use of the <sc>BHS</sc> robotic scope to perform lymphovenous anastomosis. *Microsurgery* 2021; 41: 298–299. doi:10.1002/micr.30704
- [54] Persönliche Kommunikation BHS, Innsbruck, Österreich (11.02.2022)
- [55] Raap U. Roboter-assistierte Chirurgie in Deutschland etabliert: Installation des 200sten da Vinci-Chirurgiesystems und über 200.000 Eingriffe <https://www.presseportal.de/pm/135649/4967458> Published 2021
- [56] Prete FP, Pezzolla A, Prete F et al. Robotic Versus Laparoscopic Minimally Invasive Surgery for Rectal Cancer. *Ann Surg* 2018. doi:10.1097/sla.0000000000002523
- [57] McCulloch P, Cook JA, Altman DG et al. IDEAL Group IDEAL framework for surgical innovation 1: the idea and development stages. *BMJ* 2013. doi:10.1136/bmj.f3012
- [58] Everett M. Rogers. *Diffusion of Innovation*. 4. Auflage. New York NY: Free Press; 1995
- [59] Schaverien MV, Ludman CN, Neil-Dwyer J et al. Contrast-enhanced magnetic resonance angiography for preoperative imaging of deep inferior epigastric artery perforator flaps: Advantages and disadvantages compared with computed tomography angiography: A United Kingdom perspective. *Ann Plast Surg* 2011. doi:10.1097/SAP.0b013e3181fab9ea
- [60] To C, Rees-Lee JE, Gush RJ et al. Intraoperative Tissue Perfusion Measurement by Laser Speckle Imaging: A Potential Aid for Reducing Postoperative Complications in Free Flap Breast Reconstruction. *Plast Reconstr Surg* 2019. doi:10.1097/PRS.0000000000005223