



Künstliche Intelligenz in der Plastischen Chirurgie

Aktuelle Entwicklungen und Perspektiven

Was lange Zeit als futuristisch galt, trägt mittlerweile durch die Instrumentalisierung von Maschinen und Robotik in der Industrie, durch das autonome Fahren und die rasante Entwicklung computerbasierter Systeme wesentlich zu unserer Lebensqualität bei. Der Trend zur Digitalisierung und Technologisierung erfolgt auch im Gesundheitswesen. Dieses Manuskript dient der Übersicht über relevante Entwicklungen und Anwendungen künstlicher Intelligenz (KI) in der Plastischen Chirurgie.

Künstliche Intelligenz im Gesundheitswesen

Künstliche Intelligenz beschäftigt sich mit der Erforschung intelligenter Computer und des intelligenten Problemlösungsverhaltens durch Maschinen [6]. Diese sollen selbstständig logisch denken, schlussfolgern und ausführen – Eigenschaften, die bislang menschlicher Intelligenz vorbehalten waren. Auch im Gesundheitswesen sollen durch KI Arbeitsprozesse optimiert und Produktivität und Effizienz gesteigert werden.

In digitalen Patientenakten werden immer größere Datenmengen gespeichert. Zwar sind die Daten sofort und überall abrufbar, aufgrund des riesigen Volumens für den behandelnden Arzt jedoch nur unter großem Zeitaufwand mit therapeutischem Nutzen auswertbar. Hier bietet KI in Form maschinellen Lernens eine echte Perspektive. Maschinelles Lernen („machine learning“, ML)

ist ein Teilbereich der KI und beschreibt die Fähigkeit von Computeralgorithmen, aus Beispielen zu lernen und das Erlernete dann auf andere, unbekannte Fälle anzuwenden [11]. Das Programm sucht hierbei nach immanenten Mustern, die in großen Datenmengen vorhanden sein können. Durch maschinelles Lernen können die kognitiven Fähigkeiten von Ärzten auf Computer übertragen werden und Schlussfolgerungen aus sog. Big Data schneller und effizienter gezogen werden [15].

Dieses Vorgehen wird längst von Technologiekonzernen angewandt, die z. B. durch „Smart Watches“ systematisch gesundheitsrelevante Daten aus der breiten Bevölkerungsmasse erheben. Die kontinuierliche Messung schafft große Datenmengen, die bei schneller Auswertung und Mustererkennung möglicherweise frühzeitig auf Symptome einer Erkrankung hinweisen können.

Auch in der Plastischen Chirurgie werden verschiedene Anwendungen von KI erprobt (Abb. 1). Einige davon haben bereits den Weg in die klinische Praxis gefunden [11, 12, 15, 16].

Der Nutzen von KI in der Auswertung nationaler (Brust-)Implantatregister

Die Implementierung zentraler Register zur Datensicherung, Auswertung und Qualitätssicherung ist von großem gesundheitspolitischem Interesse. Für Plastische Chirurgen in Deutschland ist, bei knapp 40.000 Brustaugmentationen jährlich [1], vor allem die Etablierung eines Implantatregisters für Brustimplantate relevant [24]. Besondere Bri-

sanz erlangte das Brustimplantatregister kürzlich aufgrund der steigenden Zahlen von „breast implant-associated anaplastic large cell lymphoma“ (BIA-ALCL), insbesondere in Ländern wie den USA oder Australien, die bereits verpflichtende Register führen. Das BIA-ALCL ist eine sehr seltene Art des T-Zell-Lymphoms, das nach Einsetzen von Brustimplantaten in der Kapsel auftreten kann. Aufgrund des geringen Risikos und der geringen Fallzahlen ist noch wenig über die Erkrankung bekannt [8, 22, 23]. Das frühzeitige Erkennen regelmäßig auftretender Komplikationen wie dieser hat gerade bei Implantaten spätestens nach den „Implant Files“ von 2018 eine besondere Aufmerksamkeit erhalten.

Die großen Datenmengen (Big Data) aus den Registern könnten künftig durch künstliche neuronale Netzwerke (KNN) – eine Unterform des maschinellen Lernens – ausgewertet werden. KNNs sind Computersysteme, die das neuronale Netzwerk des menschlichen Gehirns abbilden. Durch spezielle Anordnung und Verknüpfung von Neuronen können große Datenströme anhand von Algorithmen quantifiziert und ausgewertet werden [12]. So werden repetitive Muster in der Big Data erkannt, die für den Menschen nicht sichtbar oder nur nach langer Datenauswertung zu erkennen wären. KNNs arbeiten mit sog. Deep-learning-Algorithmen [13]. Dabei wird die menschliche Fähigkeit, aus Erfahrungen und Beispielen zu lernen, auf den Computer übertragen. Je größer und detaillierter die einfließende Datenbank ist, desto intelligenter wird das System.

Auf das Brustimplantatregister übertragen könnten durch KNNs in Zukunft



Abb. 1 ▲ Entwicklungen und Perspektiven künstlicher Intelligenz in der Plastischen Chirurgie (©HQUALITY – stock.adobe.com, alle Rechte vorbehalten; mod. durch H. Thun, Klinikum der Universität München)

BIA-ALCL-Fälle frühzeitig erkannt und gleichzeitig mögliche Risiko- und Einflussfaktoren, genetische Prädispositionen, hormonelle oder Umwelteinflüsse bestimmt werden [16]. Hieraus ließen sich schließlich Rückschlüsse auf die Ätiogenese der Erkrankung ziehen. Während Ärzte und Wissenschaftler für die Auswertung dieser Datensätze vermutlich Jahre bräuchten, könnten betroffene oder gefährdete Personen durch die Auswertungen der KNNs frühzeitig identifiziert und notwendige Handlungsempfehlungen ausgesprochen werden.

(3-D-)Bildgebungssysteme und intelligente Software zur Datenauswertung

Mithilfe von 3-D-Bildgebungssystemen können prä- und postoperative Aufnahmen gemacht und individuelle volumetrische Berechnungen prä-, intra- und postoperativer Volumenunterschiede erstellt werden [17, 20]. So können Plastische Chirurgen z. B. vor einer Mammaaugmentation gemeinsam mit der Patientin Volumensimulationen verschiedener Implantatgrößen durchführen. Die intelligente Software kann objektivierbare Landmarken, wie den Jugulum-Mamillen-Abstand, die Position der Inframammärfalte, die Implantat- und Brustwarzenposition und die Projektion des oberen Brustpols, nach definierten ästhetischen Kriterien individuell für

die jeweilige Patientin setzen [18, 25]. Intraoperativ kann durch 3-D-Scanner das operative Ergebnis bei Abweichung von diesen definierten Kriterien angepasst oder korrigiert werden [19]. Das automatisierte Verfahren schafft ein höheres Maß an Objektivität. Zukünftig könnte die Anwendung auch in der rekonstruktiven Brustchirurgie genutzt werden, um nach individuellen Merkmalen Brustvolumina mit verschiedenen rekonstruktiven Verfahren zu simulieren.

Auch eine Ganzkörperkartographie mittels 3-D-Bildgebungsverfahren ist möglich. Die Anwendung ist vor allem im Rahmen der Hautkrebsdiagnostik von Relevanz [7, 21]. 360°-Scanner erstellen mithilfe von Ganzkörperaufnahmen eine Art „Landkarte“ pigmentierter Hautläsionen. Durch ein Dermatoskop können atypische und veränderte Nävi auch mikroskopisch untersucht und digital gespeichert werden. Mithilfe intelligenter Software werden bei Verlaufskontrollen neu aufgetretene oder im zeitlichen Verlauf veränderte Läsionen automatisch markiert – ein wichtiges Feature um Malignität zu erkennen und therapeutische Maßnahmen einzuleiten [2, 3]. Mittlerweile erlaubt die KI-basierte Software eine Bewertung des Malignitätsrisikos von Läsionen, auch wenn noch keine Zulassung zur klinischen Anwendung besteht. Durch KNNs und einen Deep-learning-Algorithmus vergleicht die Soft-

ware aufgenommene Hautläsionen mit großen Datenbanken dermoskopischer Bilder, die einschließlich zugehöriger Diagnosen durch zahlreiche kooperierende Ärzte in das System geladen werden. Studien konnten nachweisen, dass KI im Vergleich zu Hautfachärzten eine signifikant höhere Zahl maligner Hautveränderungen erkennen konnte [10].

Künstliche Intelligenz wird auch zur Bewertung von Gesichtsästhetik verwendet [9]. Die Erfahrungen in der Gesichtserkennung z. B. bei Mobiltelefonen wird hier genutzt. Dazu werden KNNs mit Bildmaterial von Gesichtern trainiert, welche unabhängig und anhand verschiedener Kriterien durch Menschen nach ästhetischen Gesichtspunkten beurteilt wurden. Das neuronale Netzwerk lernt dabei anhand von Fotos und deren jeweiligen Attraktivitätsbewertungen, ein menschenähnliches Urteil über die Ästhetik des Gesichts zu treffen [14]. Neue Anwendungen evaluieren jedes Foto objektiv anhand von über 80 Gesichtskoordinaten sowie knapp 7000 zugehörigen Abständen und Winkeln [26].

Anwendungen von KI in Robotik und Prothetik

Für den Erfolg eines mikrovaskulären freien Gewebetransfers ist eine suffiziente mikrovaskuläre Anastomose unerlässlich. Als Grundvoraussetzung dafür sind exzellente mikrochirurgische Fähigkeiten des Chirurgen erforderlich. Unterstützt wird er dabei von technischen Hilfsmitteln wie dem Operationsmikroskop. Vergrößerungen bis auf das 10- bis 15-Fache sind möglich und erlauben die Anastomose kleiner Gefäße. Durch den physiologischen Tremor lassen sich jedoch lediglich Gefäße bis zu einer Größe von etwa 0,5–1 mm sicher anastomosieren. Besonders in der Lymphchirurgie oder bei perforatorbasierten Lappenplastiken können die Gefäßkaliber kleiner sein, weshalb Mikrochirurgen hier an ihre Grenzen stoßen.

Vor diesem Hintergrund stellt die Erweiterung von Operationsmikroskopen um Funktionen der Robotik und KI einen vielversprechenden und innovati-

ven Ansatz dar, um die Möglichkeiten der menschlichen Hand zu übersteigen. Ziel ist es, durch mit KI ausgestatteten Robotern den menschlichen Tremor auszuschalten und eine Bewegungsskalierung und dadurch eine Verbesserung von Präzision und Geschicklichkeit auf engstem Raum zu ermöglichen [5]. Durch ein „downscaling“ der menschlichen Bewegungen könnten noch deutlich feinere Gefäße verbunden werden. Künftig könnten so Fortschritte im Bereich der Supramikrochirurgie erreicht werden und dadurch Anastomosen an kleinsten Gefäßen oder Nervenfaszikeln, im Bereich von 0,1–0,8 mm, möglich sein.

Klinisch ist dies insbesondere bei der Lymphgefäßanastomosierung, z. B. beim Lymphödem, von Relevanz. Die aktuellen Möglichkeiten der Lymphchirurgie belaufen sich auf lymphovenöse Anastomosen, beispielsweise nach Lymphknotentransplantationen, die lediglich in spezialisierten Zentren und nur mit begrenztem Erfolg praktiziert werden. Die direkte Anastomosierung kleiner Lymphgefäße verspricht hier neue therapeutische Möglichkeiten. Langfristig könnte durch intelligente Robotik auch die Automatisierung technisch anspruchsvoller Aufgaben, wie die Durchführung der mikrochirurgischen Anastomose durch Roboter möglich sein oder ein Echtzeit-Feedback-System für den Chirurgen implementiert werden.

Auch die Prothetik hat sich mit der Implementation von KI weiterentwickelt. Nach Amputationsverletzungen können Prothesen heute nicht nur die Form, sondern auch wesentliche Funktionen der amputierten Extremität wiederherstellen. Sie tragen so wesentlich zur Reintegration des Patienten in die Gesellschaft bei. Die gedankliche Steuerung der Extremität bleibt auch nach Amputation im Gehirn erhalten. Bei Vorstellung von Bewegungsmustern leiten Neurone die entsprechenden Nervensignale weiter, obwohl das Endorgan zur Ausführung fehlt. Prothesen können mittlerweile über bis zu 8 Elektroden die elektrischen Potenziale empfangen und über eine Mustererkennung den jeweiligen Funktionen zuordnen. Ausgestattet mit KI können neuartige technologische Ansätze dem Patienten eine verbesserte

Wien klin Mag <https://doi.org/10.1007/s00740-020-00356-y>
© Der/die Autor(en) 2020

N. Moellhoff · R. E. Giunta

Künstliche Intelligenz in der Plastischen Chirurgie. Aktuelle Entwicklungen und Perspektiven

Zusammenfassung

Hintergrund. Künstliche Intelligenz (KI) ist durch die Instrumentalisierung von Maschinen und Robotik in der Industrie, durch das autonome Fahren und die rasante Entwicklung computerbasierter Systeme längst Bestandteil unseres täglichen Lebens. **Fragestellung.** Darstellung aktueller Entwicklungen und Perspektiven von KI in der Plastischen Chirurgie. **Material und Methoden.** Auswertung von Statistiken, Evaluation von Originalarbeiten und Übersichtsarbeiten aus Fachzeitschriften. **Ergebnisse.** Im Gesundheitswesen und in der Plastischen Chirurgie wird KI im klinischen Alltag im Rahmen der Datenauswertung digitaler Patientenakten oder der Big Data aus zentralen Registern verwendet. 3-D-

Bildgebungssysteme mit intelligenter Software können Operationsergebnisse im Hinblick auf Volumen und Ästhetik beurteilen. Intelligente Roboter unterstützen die mikrochirurgische Anastomosierung immer kleinerer Gefäße und die Implementation von KI im Bereich der Prothetik ermöglicht Patienten eine immer bessere Handfunktion nach Amputationsverletzungen. **Diskussion.** Im Sinne der Patienten liegt es in der Verantwortung der experimentellen Chirurgie, die Chancen, Risiken und auch Grenzen von KI-Anwendungen zu erforschen.

Schlüsselwörter

Implantatregister · Robotik · Maschinelles Lernen · 3-D-Bildgebung · Mikrochirurgie

Artificial Intelligence in Plastic Surgery. Current Developments and Perspectives

Abstract

Background. Artificial intelligence (AI) has long been established in various parts of everyday life due to the instrumentalization of machines and robotics in industry, autonomous vehicles and the rapid development of computer-based systems. **Objective.** Demonstration of current developments and perspectives of AI in plastic surgery. **Material and methods.** Evaluation of statistics, press releases and original articles from journals and discussion of reviews. **Results.** In the healthcare system and in plastic surgery AI is particularly useful in the context of data analysis from digital patient files and big data from central registers.

The use of 3D imaging systems provides objective feedback on surgical results in terms of volume and aesthetics. Intelligent robots assist plastic surgeons in microsurgical anastomoses of increasingly smaller vessels and the implementation of AI in the field of prosthetics enables patients to regain hand function following amputation injuries. **Conclusion.** For the benefit of the patients, it is the responsibility of experimental surgery to explore the opportunities, risks and limitations of applications with AI.

Keywords

Implant registry · Robotics · Machine learning · 3D imaging · Microsurgery

funktionale Nutzung der Prothese im Alltag gewährleisten. Neueste Modelle verwenden bereits heute intelligente Algorithmen, welche im Vorfeld programmierte und kalibrierte Griffmuster zuverlässig wiedererkennen, ausführen und nachjustieren können [4]. Dies ermöglicht dem Patienten die direkte Ansteuerung verschiedener Griffformen und Bewegungen wodurch Greifbewegungen deutlich schneller und auch im

Bewegungsverhalten natürlicher realisiert werden können.

Konklusion

Die vorgelegte Arbeit zeigt das große Potenzial von KI in der chirurgischen Praxis. Es ist die Aufgabe der experimentellen Chirurgie, maßgeblichen Einfluss auf die klinische Einführung weiterer KI-Anwendungen zu nehmen. Dazu ist in diesem Bereich eine enge Kooperation zwi-

schen Wissenschaftlern der technischen Fachgebiete, Medizinern und insbesondere Chirurgen erforderlich, um die Potenziale der neuen Technologien im Sinne des Patienten weiterzuentwickeln.

Fazit für die Praxis

- Künstliche Intelligenz (KI) ist kein Mythos: Anwendungen im Gesundheitswesen sind Digitalisierung (z. B. Patientenakte) und Technologisierung.
- Zahlreiche intelligente Anwendungen sind im klinischen Alltag Plastischer Chirurgen etabliert.
- 3-D-Bildgebungsverfahren, Robotik und Prothetik können durch KI das Behandlungsspektrum Plastischer Chirurgen ausweiten und die Lebensqualität von Patienten steigern.
- Besonders wichtig wird KI für Plastische Chirurgen auch in der Auswertung von Big Data aus nationalen Registern.

Korrespondenzadresse

Univ.-Prof. Dr. Riccardo E. Giunta

Abteilung für Handchirurgie, Plastische Chirurgie und Ästhetische Chirurgie, Klinikum der Ludwig-Maximilians Universität München Pettenkoferstr. 8a, 80336 München, Deutschland
r.giunta@med.uni-muenchen.de

Funding. Open Access funding provided by Projekt DEAL.

Einhaltung ethischer Richtlinien

Interessenkonflikt. N. Möllhoff und R.E. Giunta geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Für diesen Beitrag wurden von den Autoren keine Studien an Menschen oder Tieren durchgeführt. Für die aufgeführten Studien gelten die jeweils dort angegebenen ethischen Richtlinien.

Open Access. Dieser Artikel wird unter der Creative Commons Namensnennung 4.0 International Lizenz veröffentlicht, welche die Nutzung, Vervielfältigung, Bearbeitung, Verbreitung und Wiedergabe in jeglichem Medium und Format erlaubt, sofern Sie den/die ursprünglichen Autor(en) und die Quelle ordnungsgemäß nennen, einen Link zur Creative Commons Lizenz beifügen und angeben, ob Änderungen vorgenommen wurden.

Die in diesem Artikel enthaltenen Bilder und sonstiges Drittmaterial unterliegen ebenfalls der genannten

Creative Commons Lizenz, sofern sich aus der Abbildungslegende nichts anderes ergibt. Sofern das betreffende Material nicht unter der genannten Creative Commons Lizenz steht und die betreffende Handlung nicht nach gesetzlichen Vorschriften erlaubt ist, ist für die oben aufgeführten Weiterverwendungen des Materials die Einwilligung des jeweiligen Rechteinhabers einzuholen.

Weitere Details zur Lizenz entnehmen Sie bitte der Lizenzinformation auf <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>.

Literatur

1. Radtke R (2019) Anzahl an Brustvergrößerungen* in ausgewählten Ländern im Jahr 2017 (in 1.000). <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/258341/umfrage/laender-mit-den-meisten-brustvergroesserungen/>; Zugriffen: 16. Aug. 2019
2. Canfield Scientific (2019) Homepage. <https://www.canfieldsci.com/imaging-systems/vectra-wb360-imaging-system/>; Zugriffen: 17. Aug. 2019
3. FotoFinder Systems GmbH (2019) Webpräsenz. <https://www.fotofinder.de/technologie/hautkrebstdiagnostik/kuenstliche-intelligenz/>; Zugriffen: 17. Aug. 2019
4. Schäfer M, Muders F, Kunz S, Laassidi K (2019) Erfahrungen mit dem Einsatz eines neuartigen Systems zur Griffmustererkennung in der Unterarmprothetik. <https://www.pohlig.net/wp-content/uploads/2019/06/Erfahrungen-mit-dem-Einsatz-eines-neuartigen-Systems-zur-Griffmustererkennung-in-der-Unterarmprothetik.pdf>; Zugriffen: 17. Aug. 2019
5. Britt P (2018) How ai-assisted surgery is improving surgical outcomes. <https://www.roboticsbusinessreview.com/health-medical/ai-assisted-surgery-improves-patient-outcomes/>; Zugriffen: 17. Aug. 2019
6. Bellman R (1978) An introduction to artificial intelligence: can computers think? Boyd & Fraser, Pub Co, San Francisco
7. Berk-Krauss J, Polsky D, Stein JA (2017) Mole mapping for management of pigmented skin lesions. *Dermatol Clin* 35:439–445
8. Clemens MW, Jacobsen ED, Horwitz SM (2019) 2019 NCCN consensus guidelines on the diagnosis and treatment of breast implant-associated anaplastic large cell lymphoma (BIA-ALCL). *Aesthet Surg J* 39:3–513
9. Eishental Y, Dror G, Ruppel E (2006) Facial attractiveness: beauty and the machine. *Neural Comput* 18:119–142
10. Haenssle HA et al (2018) Man against machine: diagnostic performance of a deep learning convolutional neural network for dermoscopic melanoma recognition in comparison to 58 dermatologists. *Ann Oncol* 29(8):1836–1842. <https://doi.org/10.1093/annonc/mdy166>
11. Hahn P (2019) Artificial intelligence and machine learning. *Handchir Mikrochir plast Chir* 51:62–67
12. Hashimoto DA, Rosman G, Rus D, Meireles OR (2018) Artificial intelligence in surgery: promises and perils. *Ann Surg* 268:70–76
13. Hinton GE, Osindero S, Teh YW (2006) A fast learning algorithm for deep belief nets. *Neural Comput* 18:1527–1554
14. Kagian A et al (2008) A machine learning predictor of facial attractiveness revealing human-like psychophysical biases. *Vision Res* 48:235–243
15. Kanevsky J et al (2016) Big data and machine learning in plastic surgery: a new frontier in surgical innovation. *Plast Reconstr Surg* 137:890e–897e
16. Kim YJ, Kelley BP, Nasser JS, Chung KC (2019) Implementing precision medicine and artificial intelligence in plastic surgery: concepts and future prospects. *Plast Reconstr Surg Glob Open* 7:e2113
17. Koban KC, Frank K, Etzel L, Schenck TL, Giunta RE (2019) 3D mammometric changes in the treatment of idiopathic gynecomastia. *Aesthetic Plast Surg* 43:616–624
18. Koban KC, Leitsch S, Holzbach T, Metz P, Giunta RE (2015) Objektive Evaluation in der Brustchirurgie. *Senol Z Mammadiagn Ther* 12:134–135
19. Koban KC, Schenck TL, Etzel L, Giunta RE (2018) Intraoperative 3-D Symmetrieanalyse in der Brustchirurgie. *Senol Z Mammadiagn Ther*. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1651741>
20. Koban KC et al (2018) Quantitative volumetric analysis of the lower extremity: validation against established tape measurement and water displacement. *Handchir Mikrochir plast Chir* 50:393–399
21. Korotkov K, Quintana J, Puig S, Malveyh J, Garcia R (2015) A new total body scanning system for automatic change detection in multiple pigmented skin lesions. *IEEE Trans Med Imaging* 34:317–338
22. Magnusson M et al (2019) The epidemiology of breast implant-associated anaplastic large cell lymphoma in Australia and New Zealand confirms the highest risk for grade 4 surface breast implants. *Plast Reconstr Surg* 143:1285–1292
23. McCarthy CM et al (2019) Patient registry and outcomes for breast implants and anaplastic large cell lymphoma etiology and epidemiology (PROFILE): initial report of findings, 2012–2018. *Plast Reconstr Surg* 143:655–735
24. Prantl L et al (2016) Concept for a national implant registry to improve patient safety. *Handchir Mikrochir plast Chir* 48:320–329
25. Schenck TL, Koban KC, Etzel L, von Bodungen V, Giunta RE (2018) Objektivierung von Eingriffen der Brust durch 3D Fotografie und digitaler Volumetrie. *Senol Z Mammadiagn Ther* 15:123
26. Zhang L, Zhang D, Sun M, Chen F (2017) Facial beauty analysis based on geometric feature: toward attractiveness assessment application. *Expert Syst Appl* 82:252–265