

Künstliche Intelligenz bei lamellierenden Keratoplastiken – was geht, was geht nicht?

(Artificial intelligence in lamellar keratoplasty – what works, what doesn't?)

Sebastian Siebelmann
(Solingen/Köln)



Künstliche Intelligenz bei lamellierenden Keratoplastiken – was geht, was geht nicht?

(Artificial intelligence in lamellar keratoplasty – what works, what doesn't?)

Sebastian Siebelmann
(Sulingen/Köln)

→ Zusammenfassung: Künstliche Intelligenz (KI) eignet sich insbesondere für die automatisierte Analyse von großen Datenpools und Bilddaten wie sie beispielsweise bei der Optische Kohärenztomografie (OCT) entstehen. Der klinische Einsatz der OCT des vorderen Augenabschnittes hat sich in den vergangenen Jahren rasant weiterentwickelt und dazu beigetragen, dass zunehmend mehr lamellierende Keratoplastiken durchgeführt werden. Dazu zählen die „Descemet Membrane Endothelial Keratoplasty“ (DMEK) und „Deep Anterior Lamellar Keratoplasty“ (DALK). Bei beiden Verfahren wird meist vor der OP, aber auch intraoperativ bzw. im postoperativen Verlauf eine OCT-Bildgebung zur OP-Planung sowie zur Beurteilung des Transplantates durchgeführt. Vor Kurzem durchgeführte Studien belegen nun, dass anhand dieser Datensätze KI-Algorithmen trainiert werden können, um beispielsweise zu entscheiden, ob ein Rebubbleing (Wiederanlage des Transplantates) nach DMEK notwendig ist, oder ob die Formation einer „Big Bubble“ bei der Operation der DALK wahrscheinlich ist. In Zukunft könnten solche Algorithmen dabei helfen, die lamellierenden Keratoplastiken sicherer zu machen und sie auch in Gebieten zugänglich zu machen, in denen weniger erfahrene Chirurgen tätig sind.

OPHTHALMO-CHIRURGIE 35: 327–329 (2023)

→ Summary: Artificial intelligence (AI) is particularly suitable for the automated analysis of large data pools and image data, e.g. as generated by optical coherence tomography (OCT). The clinical use of OCT of the anterior segment of the eye has evolved rapidly in recent years, contributing to the increasing number of lamellar keratoplasties being performed. These include Descemet's membrane endothelial keratoplasty (DMEK) and deep anterior lamellar keratoplasty (DALK). In both procedures, OCT imaging is usually performed prior to surgery, but also intraoperatively or during the postoperative course for surgical planning as well as for graft evaluation. Recent studies now show that these data sets can be used to train AI algorithms to decide, for example, whether re-bubbling (reattachment of the graft) is necessary after DMEK, or whether, for example, formation of a big bubble is likely during DALK surgery. In the future, such algorithms could help make lamellar keratoplasty safer and accessible in areas where less experienced surgeons operate.

OPHTHALMO-CHIRURGIE 35: 327–329 (2023)

→ Künstliche Intelligenz (KI) bezeichnet die Fähigkeit von Maschinen und Computersystemen, Aufgaben auszuführen, die normalerweise menschliches Wissen und Intelligenz erfordern. Diese Aufgaben können das Lernen, das Problemlösen, das Verstehen natürlicher Sprache, das Erkennen von Mustern und vieles mehr umfassen. Künstliche Intelligenz kann auf verschiedenen Technologien und Ansätzen basieren, darunter maschinelles Lernen und Deep Learning. KI-Systeme können in einer Vielzahl von Anwendungen eingesetzt werden, einschließlich Bilderkennung, Sprachverarbeitung und Spracherkennung, aber eben auch in der medizinischen und ophthalmologischen Diagnostik.

Neuronale Netzwerke sind ein zentrales Konzept der KI und des maschinellen Lernens. Sie sind von der Struktur und Funk-

tionsweise her von biologischen neuronalen Netzwerken inspiriert, wie sie im menschlichen Gehirn vorkommen. Neuronale Netzwerke bestehen aus miteinander verbundenen „künstlichen Neuronen“ oder „künstlichen Neuronen“, die in Schichten organisiert sind. Dabei sind sie als sogenannte „layers“ bzw. „hidden layers“ organisiert. Mit zunehmender Rechenleistung nahm die Anzahl dieser „hidden layers“ in den letzten Jahren deutlich zu, was die Genauigkeit der mittels KI erstellten Algorithmen immer weiter verbesserte.

Zeitgleich zur Rechenleistung entwickelte sich auch die Bildgebung in der Augenheilkunde weiter, sodass inzwischen insbesondere im vorderen Augenabschnitt eine breite Palette an Bildgebungsmodalitäten zur Verfügung stehen. Besonders geeignet ist dabei für das Training und die Anwendung von KI

die Optische Kohärenztomografie (OCT). Als hochauflösendes und kontaktloses Schnittbildverfahren generiert diese in kürzester Zeit eine Vielzahl an Bilddaten – nicht nur zum vorderen Augenabschnitt generell, sondern insbesondere auch der Hornhaut. So sind nicht nur die Strukturen des vorderen Augenabschnittes mittels OCT in nahezu histologischer Auflösung darstellbar, sondern ebenfalls die Hornhaut mit sämtlichen Schichten. Die Möglichkeit, die Hornhaut mit einer so hohen Auflösung darstellen zu können, hat ebenfalls dazu beigetragen, dass sich die Hornhautchirurgie in den letzten Jahren von der alleinigen penetrierenden Keratoplastik hin zu einer hochindividualisierbaren chirurgischen Fachdisziplin entwickelt hat. Inzwischen können erkrankte oder optisch-trübe Schichten nicht nur mittels OCT exakt lokalisiert und ausgemessen werden, sondern sind mit Einzug der lamellären (schichtweisen) Hornhauttransplantationen in vielen Fällen individuell ersetzbar.

KI bei DALK für Diagnosestellung, OP-Planung und postoperative Beurteilung hilfreich

Bei den lamellären Keratoplastiken wird in Deutschland überwiegend die „Descemet Membran Endotheliale Keratoplastik“ (DMEK) und die „Deep Anterior Lamellar Keratoplasty“ (DALK) durchgeführt. Bei den lamellären Keratoplastiken konnte bereits von anderen Arbeitsgruppen nachgewiesen werden, dass KI sowohl bei der Diagnosestellung vor der lamellären Keratoplastik als auch bei der OP-Planung und postoperativen Beurteilung hilfreich sein kann.

Bei der DALK wird grundsätzlich zunächst durch die Eingabe von Luft oder auch Viskoelastikum die Descemet'sche Membran vom Hornhautstroma getrennt. Gelingt dies vollständig, bildet

AUC-Wert: Der AUC-Wert („area under the curve“) ist ein Maß für die Leistungsfähigkeit eines Klassifikationsmodells, das insbesondere im Bereich des maschinellen Lernens und der künstlichen Intelligenz verwendet wird. Der AUC-Wert liegt zwischen 0 und 1, wobei 1 als Idealwert gilt. Ein Wert von 0,5 gibt beispielsweise an, dass das Klassifikationsmodell keine besseren oder schlechteren Bewertungen abgeben kann, als durch einfaches Raten zu erzielen wären.



Abbildung 1: OCT-Scan der Hornhaut eines Patienten mit Keratokonus, typischer Verdünnung der Hornhaut und Narben im posterioren Stroma. Intraoperativ bildete sich bei dieser Hornhaut keine „Big Bubble“ aus.

sich eine sogenannte „Big Bubble“ aus (Big-Bubble-Technik). Dies vereinfacht die Präparation der Descemet'schen Membran und die anschließende Anlage des Transplantates deutlich. Wäre es also möglich vorherzusagen, ob die „Big Bubble“ gelingt, wäre dies für die Planung der Operation sehr hilfreich, insbesondere für weniger erfahrende Chirurgen.

Somit erstreckt sich momentan die Anwendung mit dem größten Potential bei der DALK auf die Vorhersage, ob die Ausbildung einer „Big Bubble“ grundsätzlich, also technisch im Sinne der intraoperativen Präparation funktionieren wird (Trennung von Descemet'scher Membran und Stroma), oder ob – wie bei rund 10 % der Patienten notwendig – auf eine penetrierende Keratoplastik umgeschwenkt werden muss.

In diesem Kontext entwickelte unsere Arbeitsgruppe einen KI-Algorithmus auf der Basis von TensorFlow (GoogleBrain) und verwendeten dabei ein „Deep Convolutional Neuronal Network“ (DCNN), um den Erfolg einer sogenannten „Big Bubble“ (komplette Trennung von Descemet'scher Membran und Stroma) bei der manuellen Präparation der DALK vorherzusagen. Den so entwickelten Algorithmus testeten wir an einem Datensatz von 61 Augen (61 Patienten, 48 Männer, 13 Frauen) vor DALK. Erstaunlicherweise erreichte der Algorithmus dabei eine Erfolgsquote bei der Bestimmung („determination success rate“) von 78,3 % für das Ereignis „Big Bubble erfolgreich“ und eine Rate von 69,9 % für das Ereignis „Big Bubble nicht erfolgreich“ mit einem AUC-Wert von 0,747 [1] (Abbildung 1).

Bei der DMEK wird nach Abziehen der erkrankten Descemet'schen Membran ein gerolltes Transplantat in die Vorderkammer des Auges eingegeben und durch die Eingabe von Luft oder Gas im Auge entfaltet und an die Empfängerhornhaut angelegt. Dabei kann es postoperativ zu Transplantatablösungen kommen, bei denen die erneute Eingabe von Luft oder Gas in die Vorderkammer notwendig wird (Rebubbling). Bisher gibt es aber nur wenig Konsens darüber, wann und in welchem Zeitraum ein solches Rebubbling notwendig ist. Bekannt ist in diesem Kontext z. B., dass im oberen oder zentralen Bereich des Transplantates befindliche und besonders große Ablösungen eher mit einem Rebubbling behandelt werden müssen als kleine und periphere Ablösungen. Auch hier wäre insbesondere für weniger erfahrene Chirurgen ein Algorithmus hilfreich, der bei der Entscheidung unterstützt, wann eine

Transplantatablösung „rebubbled“ werden sollte.

Die Arbeitsgruppe von Hayashi et al. konnte 2020 einen KI-Algorithmus programmieren, der anhand von OCT-Bildern nach einer DMEK vorhersagen konnte, ob ein Rebubbling, also eine Wiedereingabe von Luft oder Schwefelhexafluorid Gas (SF₆) notwendig ist [2]. Dieser Algorithmus erreichte sehr hohe AUC-Werte zwischen 0,89 und 1,0. Un-

klar war bisher allerdings, ob solche Algorithmen genauso gut funktionieren, wenn beispielsweise Patienten eines anderen Chirurgen beurteilt werden. Wie 2020 bereits veröffentlicht, konnten in der „Cologne Rebubbling Study“ OCT-Daten von 1.541 DMEK-Patienten gesammelt und ausgewertet werden [3]. Dabei wurde herausgefunden, dass Patienten, die bereits ein Rebubbling auf dem ersten Auge erhalten hatten, ebenfalls ein höheres Risiko für ein Rebubbling auf dem anderen Auge haben.

In einer kürzlich veröffentlichten Studie wurden die OCT-Daten der „Cologne Rebubbling Study“ nun genutzt, um einen neuen Algorithmus auf der Basis von TensorFlow zu trainieren. Trainiert wurde dabei ausschließlich mit OCT-Daten eines Chirurgen (Claus Cursiefen), evaluiert wurde ausschließlich mit den OCT-Daten eines anderen Chirurgen (Björn Bachmann). Die Ergebnisse der Studie belegten, dass der KI-Algorithmus selbst dann gute Ergebnisse erreicht, wenn mit den Daten eines Chirurgen trainiert und diese Erkenntnisse dann auf Daten eines anderen Chirurgen übertragen werden (AUC 0,875, Spezifität 78,9 %, Sensitivität 78,6 %) [4] (Abbildung 2).

KI: Grundsätzlich hilfreich, aber ...

Zusammenfassend kann man also sagen, dass die KI auch bei den lamellären Keratoplastiken ein sehr großes Potential hat, die Behandlung zu verbessern und zumindest Hilfestellung bei der Entscheidung für bestimmte operative Eingriffe (wie DALK oder Rebubbling nach DMEK) zu geben. Insbesondere für unerfahrenere Ophthalmochirurgen könnte dies hilfreich sein. Als Limitationen der KI ist dennoch hervorzuheben, dass es gerade bei kleineren Datenmengen – wie in den zuvor genannten Studien – das Problem der Grundwahrheit gibt – der Algorithmus ist immer nur so gut, wie der Datensatz, der zugrundeliegt. Auch ergibt sich ein Bias daraus, dass dem Algorithmus nach wie vor bekannte Indices oder topografische oder tomo-

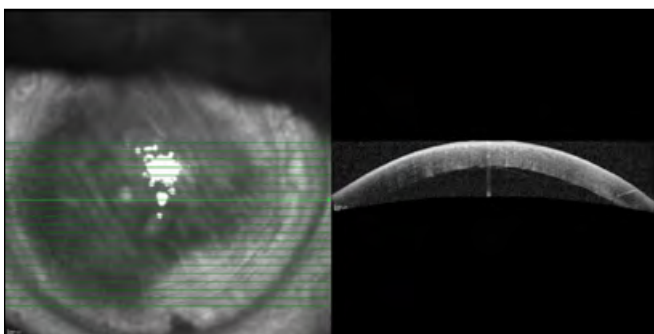


Abbildung 2: OCT-Scan einer Hornhaut nach DMEK mit einer großen, zentralen Transplantatablösung. Hier wurde im Anschluss an die Aufnahme ein Rebubbling bei dem Patienten durchgeführt.

grafische Werte vorgegeben werden. Ein Lösungsansatz könnte es sein, auf sehr große Datenpools zurückzugreifen und unüberwachte, automatische Lernverfahren einer KI zu nutzen. Auch kann die KI ebenfalls automatisch Klassifizieren und bestimmte Zustände erkennen, ohne dass sie dafür explizit trainiert sein muss. Ebenso wie es nicht vollständig nachvollziehbar ist, wie ein menschliches Gehirn lernt, ist es nicht komplett nachvollziehbar, wie die KI hierbei im einzelnen vorgeht. Weiterhin sollte – wenn möglich – beim Training von Algorithmen auf Rohdaten zurückgegriffen werden, da meist Informationen verlorengehen, wenn auf oben genannte Indices etc. zurückgegriffen wird.

Eine weitere wichtige Hürde generell bei der Durchführung von Big Data gestützten Studien, bei der z. B. auf retrospektive Datensätze zurückgegriffen werden soll, stellt die Datenschutzgrundverordnung (DSGVO) dar. Hier gibt es inzwischen eine Vielzahl wichtiger Eckdaten zu beachten. Um dabei eine Hilfestellung geben zu können, wurde vor Kurzem in Zusammenarbeit mit der Kanzlei Osborne & Clarke (Hamburg) ein Leitfaden „Planung und Durchführung von Big Data-gestützten Studien in der Augenheilkunde im Lichte der DSGVO“ veröffentlicht, der anhand eines Entscheidungsbaums übersichtlich illustriert, welche gesetzlichen Rahmenbedingungen für die jeweilige Studie zutreffen [5].

Zusammenfassend bietet die Anwendung der KI bei hornhautchirurgischen Eingriffen ein großes Potential, sollte aber verantwortungsbewusst eingesetzt werden.

Literatur

1. Hayashi T et al (2021) A deep learning approach for successful big-bubble formation prediction in deep anterior lamellar keratoplasty. *Sci Rep* 11: 18559
2. Hayashi T et al (2020) A deep learning approach in rebubbling after Descemet's membrane endothelial keratoplasty. *Eye Contact Lens* 46: 121–126
3. Siebelmann S et al (2021) The Cologne rebubbling study: a reappraisal of 624 rebubbings after Descemet membrane endothelial keratoplasty. *Br J Ophthalmol* 105: 1082–1086
4. Hayashi T et al (2023) Transferability of an artificial intelligence algorithm predicting rebubbings after descemet membrane endothelial keratoplasty. *Cornea* 42: 544–548
5. Siebelmann B et al (2023) Planung und Durchführung von Big Data gestützten Studien in der Augenheilkunde im Lichte der DSGVO. *Klin Monatsbl Augenheilkd*, doi: 10.1055/a-2165-9815, online ahead of print



Korrespondenzadresse:

PD Dr. med. Sebastian Siebelmann
FEBO, MHBA
Augenärzte Kölner Höfe Solingen
Kölner Straße 54
42651 Solingen