L'Année ophtalmologique

Quoi de neuf en chirurgie réfractive ?

D. GATINEL
Hôpital Fondation Rothschild, PARIS.

À l'instar de nombreuses autres spécialités ophtalmologiques et médicales, la chirurgie réfractive n'échappe pas à la déferlante des applications issues du domaine de l'intelligence artificielle (IA). Le concept du "big data" a pris corps en médecine grâce au développement accéléré de la digitalisation des contenus, sous la forme de bases de données, de registres de maladies et de la télémédecine. L'essor de la chirurgie réfractive et le développement conjoint des technologies de stockage ont permis d'amasser au fil du temps des quantités considérables de données qui peuvent être utilisées par les outils puissants que sont l'apprentissage automatique (*machine learning*) et l'apprentissage profond (*deep learning*).

Le *machine learning* est une branche de l'intelligence artificielle qui se concentre sur le développement d'algorithmes permettant aux machines d'apprendre et de s'adapter à partir de données sans être explicitement programmées. Le *deep learning* est une sous-catégorie de l'apprentissage automatique qui utilise des réseaux de neurones artificiels profonds pour traiter et analyser des données complexes. Ces réseaux de neurones sont capables de découvrir des représentations abstraites et hiérarchiques des données, leur permettant ainsi d'effectuer des tâches complexes. Ce contexte favorise le développement d'applications IA plus performantes et plus utiles pour la chirurgie réfractive. Loin du fantasme d'une structure pensante et autonome, l'IA peut être utilisée pour analyser de grandes quantités de données et ainsi aider les chirurgiens à prendre des décisions diagnostiques et thérapeutiques plus éclairées.

IA et dépistage des cornées à risque

Le bilan préopératoire en chirurgie réfractive est extrêmement important pour identifier les candidats à haut risque d'ectasie iatrogène, et les méthodes utilisées pour concevoir des algorithmes de dépistage reposent depuis longtemps sur des méthodes statistiques destinées à effectuer un travail de classification ou de régression. La première publication mentionnant l'utilisation d'un système expert, vocable utilisé avant celui plus en vogue de "*machine learning*", pour désigner un outil informatique automatisé de dépistage du kératocône date de 1995 [1].

Au cours des derniers 12 mois, une dizaine d'articles ont été publiés autour de la thématique du dépistage du kératocône et de l'identification des cornées à risque en chirurgie réfractive. Un des principaux apports de l'IA est de faciliter l'intégration de larges volumes de données et d'agréger des informations d'origine diverses : topographiques, biomécaniques et épidémiologiques [2].

Par ailleurs, la puissance de calcul offerte par les ressources informatiques est particulièrement intéressante pour traiter des données recueillies. Si elles sont rendues sous formes de cartes colorées et synthétisées dans divers indices numériques, elles consistent en des matrices numériques (élévation absolue ou relative vis-à-vis d'une référence des surfaces antérieure et postérieure, épaisseur cornéenne point par point…). Nous avons mis à profit l'accès à ces données brutes pour effectuer des tâches de classification automatisée d'examens topographiques et tomographiques avec [3] ou sans [4] apprentissage supervisé.

L'IA a également été utilisée pour recommander la technique de chirurgie réfractive appropriée et affiner les nomogrammes utilisés. Yoo *et al.* ont développé un modèle de *machine learning* multiclasse pour orienter les patients vers une technique de photoablation de surface, de laser *in situ kératomileusis* (LASIK), d'extraction de lenticule par petite incision (SMILE) ou d'abstention (contre-indication à la chirurgie cornéenne) [5]. En utilisant les données de 18 840 sujets, le modèle a été formé pour sélectionner l'option de chirurgie au laser appropriée pour un candidat souhaitant subir une chirurgie réfractive. Il a atteint une précision de 81 % et 78,9 % pour les données de validation internes et externes.

Aide au choix des dimensions des implants phakes

Si le calcul prédictif de la puissance des implants de cristallin artificiel constitue un domaine d'application électif pour l'intelligence artificielle, celle-ci peut être également mise à profit pour

améliorer la correction des myopies fortes avec les implants phakes (ou ICL pour *implantable collamer lens*). Cette technique connaît un essor important, en particulier dans les pays asiatiques où la prévalence de myopie forte est très élevée. Le succès de la procédure chirurgicale est assorti au choix d'une taille d'implant (*sizing*) adaptée pour obtenir un positionnement axial (*vaulting*) adéquat dans le segment antérieur. Un modèle fondé sur le recueil de paramètres biométriques pré- et postopératoires chez 6 297 yeux ayant reçu un ICL a permis de concevoir des algorithmes prédictifs concernant la taille et le *vaulting* des implants posés [6].

Une approche d'inspiration similaire mais sur un effectif plus restreint d'yeux analysés au moyen d'un instrument de tomographie optique à balayage [7] (Anterion *swept source OCT*, Heidelberg, Allemagne) a également permis de déterminer une taille d'implant adaptée au *vaulting* attendu en postopératoire.

Perspectives générales

Le recours aux techniques d'IA ne constitue donc pas un effet de mode mais reflète l'accélération de ces technologies asservies à des bases de données toujours plus importantes, et qui offrent aux chirurgiens la possibilité de sécuriser leurs indications et pourraient également les guider dans le choix de la technique optimale. Avec une meilleure technologie et des options chirurgicales disponibles, le nombre de patients optant pour la correction chirurgicale des erreurs réfractives augmente. Dans le futur, ceux-ci devront bénéficier d'une chirurgie de la cataracte et l'IA pourra être utilisée pour accroître la précision du calcul de la puissance des implants afin de réduire le risque de surprise réfractive.

Jusqu'à présent, l'IA était développée à l'aide de logiciels installés sur des ordinateurs reliés aux instruments permettant l'acquisition des données (par exemple, topographe cornéen équipé d'un logiciel d'analyse comme le SCORE pour le dépistage du kératocône). La réalisation d'instruments connectés est une perspective logique dans ce contexte, car elle facilite le recueil et l'intégration des données dans des algorithmes en ligne destinés à transmettre un diagnostic en retour. Lors du congrès de l'ESCRS, un fabricant d'instrument OCT (Heidelberg Engineering, Allemagne) a présenté une boutique d'applications accessibles depuis l'analyseur de segment antérieur Anterion, permettant d'acquérir certaines fonctionnalités supplémentaires en matière d'analyse d'images. Cela préfigure l'avenir où les instruments de mesure et d'analyse des segments oculaires seront reliés à des systèmes d'analyse puissants, sans cesse nourris par une masse croissante de données.

On assiste ainsi à un réel changement de paradigme car jusqu'à récemment, les algorithmes à visée diagnostique ou thérapeutique étaient principalement créés à partir de formules mathématiques et de choix effectués par les développeurs en se fondant sur leur expertise clinique et technique. Aujourd'hui, ces règles sont souvent dissimulées dans les données permettant aux algorithmes d'apprendre par eux-mêmes en fonction de la quantité et de la qualité de l'information traitée. Cependant, ces procédés sont souvent difficiles à comprendre, pour les utilisateurs comme les développeurs experts, car ils utilisent des méthodes d'optimisation qui diffèrent des modes de raisonnement humain et ne peuvent être facilement reproduites. Bien que leurs concepteurs possèdent toujours une certaine influence sur ces algorithmes, les décisions qui en résultent peuvent leur échapper en grande partie, entraînant des problèmes de complexité, d'opacité et de non-compréhension des solutions proposées.

En chirurgie réfractive, toute erreur en matière de choix thérapeutique ou de stratégie diagnostique peut avoir de graves conséquences pour les patients. Le manque d'explicabilité peut également rendre difficile la justification des décisions prises par les algorithmes, en particulier en cas de litige ou de demande d'explication de la part des patients ou des autorités réglementaires. C'est pourquoi de nombreux chercheurs et professionnels de la santé travaillent à développer des algorithmes d'IA plus explicables et transparents, afin de garantir que les décisions prises à l'aide de ces outils soient fiables et justifiables, et éthiques [8].

L'essor des agents conversationnels

Il serait dommage de conclure notre propos sans aborder une autre facette de l'IA dont les progrès récents ont été fulgurants et le succès viral : celle des agents conversationnels (*chatbots*), dont l'emblématique ChatGPT lancé en novembre 2022, qui défrayent la chronique au moment de la rédaction de cet article. Le succès de chatGPT est fulgurant : il n'a suffi que de 2 mois pour qu'il franchisse la barre des 100 millions d'utilisateurs (contre 2 ans et demi pour Instagram).

Cette plateforme est capable de mener des conversations comme un être humain et de fournir des réponses précises à des questions portant sur divers domaines de connaissances. Elle a été créée par la start-up OpenAI, acquise depuis par Microsoft, en utilisant une famille d'algorithmes appelée "modèles de langage de grande taille" (LLM : *Large Language Model*), qui permettent de reconnaître et de prédire une séquence de mots en se basant sur le contexte des mots précédents. Si les LLM sont entraînés sur de vastes quantités de données textuelles, contenant des centaines de millions de mots, ils peuvent générer des séquences de mots qui n'ont jamais été observées auparavant par le modèle, mais qui restent cohérentes avec le langage naturel humain. En d'autres termes, ces séquences de mots paraissent plausibles.

L'Année ophtalmologique

Au moment de la rédaction de cet article, ChatGPT dans sa version 4.0 utilise un corpus de données collectées jusqu'en 2021 et se concentre principalement sur les questions et réponses conversationnelles, même s'il peut également être utilisé dans les résultats de recherche. Le *chatbot* Google Bard (développé en riposte à ChatGPT par Google) pourra être utilisé de la même manière, mais pour augmenter le contenu proposé par le moteur de recherche.

Il est encore trop tôt pour envisager la place qu'occuperont ChatGPT et ses concurrents dans le domaine de la médecine et de la chirurgie, mais on peut d'ores et déjà supposer qu'ils pourront être utilisés par des candidats à la chirurgie réfractive pour répondre à des requêtes variées et fournir des réponses aux questions relatives à cette discipline… ce que l'agent conversationnel de Microsoft confirme (***encadré 1***).

Ces technologies n'en sont qu'à leurs prémices et laissent entrevoir un futur où le recueil de données et une partie des informations à délivrer au patient pourraient leur être confiés. Malgré les progrès en matière de réseaux de neurones, d'apprentissage profond et d'intelligence artificielle – qui ont eu un impact considérable sur un grand nombre d'industries, de la fabrication à la finance – les applications de ces technologies dans les soins cliniques sont encore limitées. Actuellement, la plupart des applications de soins de santé se concentrent sur des fonctions de back-office telles que le paiement, la gestion des chaînes d'approvisionnement et la cybersécurité. Bien qu'il existe quelques exceptions, telles que l'utilisation de l'IA en imagerie médicale, il y a peu d'applications directement utilisées dans les soins cliniques généralisés. L'IA générative constituera très probablement une ressource utile pour ceux qui cherchent des réponses rapides concernant des sujets complexes comme la chirurgie réfractive.

Encadré 1.

De manière générale, lorsqu'on utilise ChatGPT pour développer un modèle diagnostique prédictif ou pour rédiger un article scientifique, la fiabilité, la rigueur et l'exactitude des informations fournies par l'IA sont essentielles. Ce problème est d'autant plus prégnant qu'il existe un manque de transparence dans le développement des modèles basés sur l'IA, qui peuvent ne recevoir que des informations biaisées ou incomplètes sur le monde. Il paraît nécessaire de définir un cadre éthique et réglementaire pour l'utilisation de l'IA générative en ophtalmologie et en chirurgie réfractive. En attendant, on peut postuler que les chirurgiens ne seront pas remplacés par l'IA dans un avenir proche, car les limites méthodologiques de ces systèmes sont considérables et leurs performances doivent encore être améliorées.

Les patients candidats à la chirurgie réfractive ont souvent besoin d'un contact humain pour se sentir rassurés et compris dans leur démarche. En effet, la chirurgie des yeux est perçue à juste titre comme une intervention délicate et potentiellement stressante pour de nombreux patients. Ils peuvent ressentir de l'anxiété ou de l'appréhension quant aux résultats de l'opération et aux soins postopératoires. Dans ces moments, le fait de pouvoir échanger

avec un professionnel de santé humain s'avère très rassurant.

Même si l'interaction avec un professionnel de santé virtuel permettait aux patients de poser toutes les questions qu'ils ont en tête, de clarifier leurs doutes et de comprendre les étapes du processus de la chirurgie réfractive, les machines ne peuvent pas remplacer le niveau d'empathie, de compréhension et de soutien qu'un praticien peut offrir. En chirurgie réfractive, les interactions humaines demeurent irremplaçables pour proposer un traitement personnalisé, basé sur les caractéristiques individuelles de chaque patient et l'expertise des spécialistes de la discipline.

En somme, bien que les technologies numériques soient de plus en plus présentes dans le domaine de la santé, il est important de reconnaître que le contact humain reste un élément essentiel pour de nombreux patients. La chirurgie réfractive ne fait pas exception à cette règle et les interactions avec des professionnels de santé humains peuvent contribuer grandement à la réussite de l'intervention et au bien-être des patients.

BIBLIOGRAPHIE

1. Maeda N, Klyce SD, Smolek MK. Comparison of methods for detecting keratoconus using videokeratography. *Arch Ophthalmol*, 1995;113:870-874.
2. Ambrósio R, Machado AP, Leão E *et al.*; International Corneal and Ocular and Biomechanics Study Group. Optimized artificial intelligence for enhanced ectasia detection using Scheimpflug-based corneal tomography and biomechanical data. *Am J Ophthalmol*, 2022:S0002-9394(22)00506-2.
3. Zéboulon P, Debellemanière G, Bouvet M *et al.* Corneal Topography Raw Data Classification Using a Convolutional Neural Network. *Am J Ophthalmol*, 2020;219:33-39.
4. Zéboulon P, Debellemanière G, Gatinel D. Unsupervised learning for large-scale corneal topography clustering. *Sci Rep*, 2020;10:16973.
5. Yoo TK, Ryu IH, Choi H *et al.* Explainable Machine Learning Approach as a Tool to Understand Factors Used to Select the Refractive Surgery Technique on the Expert Level. *Transl Vis Sci Technol*, 2020;9:8.
6. Shen Y, Wang L, Jian W *et al.* Big-data and artificial-intelligence-assisted vault prediction and EVO-ICL size selection for myopia correction. *Br J Ophthalmol*, 2023;107:201-206.
7. Kim T, Kim SJ, Lee BY *et al.* Development of an implantable collamer lens sizing model: a retrospective study using ANTERION swept-source optical coherence tomography and a literature review. *BMC Ophthalmol*, 2023;23:59.
8. Amann J, Blasimme A, Vayena E *et al.*; Precise4Q consortium. Explainability for artificial intelligence in healthcare: a multidisciplinary perspective. *BMC Med Inform Decis Mak*, 2020;20:310.

L'auteur a déclaré ne pas avoir de liens d'intérêts concernant les données publiées dans cet article.