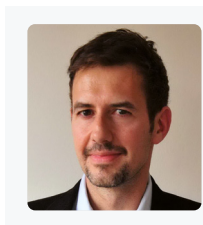


Intelligence artificielle et chirurgie de la cataracte

La chirurgie de la cataracte, l'une des interventions les plus pratiquées à l'échelle mondiale, voit sa demande croître avec le vieillissement de la population. L'intégration de l'intelligence artificielle (IA) transforme progressivement la microchirurgie ophtalmique, notamment la chirurgie de la cataracte. Des techniques telles que le *machine learning* (ML), le *deep learning* (DL) et les réseaux neuronaux convolutifs (CNN) sont déployées à chaque étape du parcours chirurgical : préopératoire, peropératoire et postopératoire.



Damien Gatinel

Hôpital Fondation
Rothschild, Paris
Université internationale
Abulcasis des sciences
de la santé (UIASS),
Rabat (Maroc)

Avant l'intervention, l'IA permet d'optimiser le calcul de la puissance des lentilles intraoculaires (LIO), d'améliorer le diagnostic des cataractes – sur des images de lampe à fente ou des tomographies – et d'analyser l'imagerie rétinienne. Pendant l'opération, elle contribue à détecter les risques peropératoires, à intégrer en temps réel des données d'imagerie et à positionner les instruments.

Après l'intervention, elle pourrait aider à la prédiction de complications telles que l'opacification de la capsule postérieure et à la gestion du suivi personnalisé des patients.

Cependant, l'accès limité aux données d'imagerie et l'absence de standards méthodologiques freinent encore son essor. Malgré ces obstacles, l'IA offre des perspectives prometteuses pour la formation des chirurgiens et la détection précoce des complications, ouvrant de nouvelles voies pour la prise en charge de la cataracte.

Stade préopératoire

L'IA joue un rôle crucial dans le calcul prédictif de la puissance des implants intraoculaires afin d'obtenir une réfraction optimale. Pour entraîner les algorithmes, il est indispensable de rassembler des

bases de données robustes, incluant la réfraction postopératoire, la puissance et le type de LIO employé. Dans les centres où des milliers de chirurgies sont pratiquées chaque année, il devient rapidement possible de constituer des bases de données qualitatives pour développer des modèles prédictifs fiables.

Deux approches se distinguent : d'une part, des formules fondées sur des réseaux neuronaux, telles que Hill RBF^[1], s'affranchissent largement des modèles optiques classiques pour prédire directement la puissance de la LIO ; d'autre part, PEARL-DGS^[2] adopte une approche hybride : elle s'appuie sur des modules d'IA pour estimer certains paramètres difficiles à mesurer – courbure de la face postérieure de la cornée, position effective de l'implant –, tout en maintenant un modèle optique. Pour affiner le diagnostic, l'IA permet de déceler automatiquement les opacités du cristallin.

À partir d'images vidéo issues d'une lampe à fente, l'IA a prouvé sa capacité à diagnostiquer des cataractes nucléaires^[3].

Nous avons également développé un outil d'IA pour détecter automatiquement la cataracte sur des images obtenues par tomographie par cohérence optique à source balayée (SS-OCT)^[4].

Des cartes de probabilité indiquent, au sein de l'image, les zones où la transparence est la plus altérée.

Cette représentation facilite la planification chirurgicale, voire le guidage d'un laser ou d'un robot grâce à une modélisation 3D des opacités.

Stade peropératoire

Durant l'intervention, l'IA peut gérer et analyser simultanément plusieurs flux de données – microscopes numériques, imagerie OCT, position des instruments, etc. –, permettant une assistance au chirurgien en temps réel. Cette analyse multimodale facilite non seulement la détection précoce d'éventuelles complications mais aussi l'ajustement précis de chaque étape opératoire.

En parallèle, l'émergence d'instruments « intelligents » et de solutions robotiques ouvre la voie à une automatisation partielle ou à une assistance accrue lors de la phacoémulsification.

L'IA peut segmenter automatiquement les séquences opératoires, quantifier les déplacements de l'instrumentation et optimiser les protocoles de formation. Des systèmes d'évaluation en temps réel^[5] contribuent également à perfectionner la technique chirurgicale et la sécurité du patient.

Les données collectées alimentent ensuite les dossiers médicaux et peuvent être exploitées pour enrichir les programmes de formation, renforcer les standards de pratique et orienter la recherche clinique. À plus long terme, l'adoption de salles d'opération « intelligentes » devrait consolider la sécurité et la qualité du geste chirurgical.

Phase postopératoire

Dans la phase postopératoire, l'IA peut faciliter la planification du suivi – contrôles, rendez-vous – et la détection rapide des complications, notamment l'opacification capsulaire postérieure.

Les algorithmes issus du ML ou du DL évaluent les données individuelles du patient – type d’implant, paramètres opératoires, profil de risque – pour suggérer des stratégies de prise en charge adaptées.

En outre, des systèmes d’assistance – *chatbots*, appels automatisés – recueillent auprès du patient des informations sur sa récupération et l’éventuelle survenue de symptômes anormaux. Ces retours sont relayés au chirurgien si un problème est détecté, améliorant la réactivité de l’équipe soignante et libérant du temps médical.

Perspectives

Malgré des avancées notables, l’IA fait face à des défis :

- des bases de données publiques insuffisantes. Une majorité des données

disponibles concerne la phacoémulsification ultrasonique, alors que d’autres techniques – laser femtoseconde, petite incision manuelle – sont pratiquées à travers le monde ;

- l’absence de métriques standardisées. Comparer différents algorithmes de DL reste complexe.

La résolution de ces difficultés nécessite le développement de bases de données plus larges, intégrant une diversité de procédures et de patients, ainsi que l’élaboration de standards méthodologiques permettant une évaluation homogène des modèles d’IA.

Par ailleurs, la recherche en robotique et en chirurgie assistée par ordinateur se poursuit^[6], avec pour ambition d’apporter une précision et une sécurité accrues.

Conclusion

L’IA s’impose comme un partenaire clé en chirurgie de la cataracte, du diagnostic initial jusqu’au suivi postopératoire. Grâce aux algorithmes de ML et de DL, elle améliore la prédictibilité de la puissance implantaire, assiste le chirurgien en temps réel et facilite la détection des complications.

Pourtant, des obstacles persistent, notamment le manque de données publiques variées et l’absence de critères d’évaluation universels. En répondant à ces défis, l’IA pourrait rendre la chirurgie du cristallin plus personnalisée, plus sûre et plus accessible, tout en ouvrant la voie à une automatisation croissante au service du praticien et du patient. ■

Références bibliographiques

^[1] Wan KH, Lam TC, Yu MC, Chan TC. Accuracy and precision of intraocular lens calculations using the new Hill-RBF version 2.0 in eyes with high axial myopia. *Am J Ophthalmol*. 2019;205:66-73.

^[2] Debellemanière G, Dubois M, Gauvin M *et al*. The PEARL-DGS formula : The development of an open-source machine learning-based

thick IOL calculation formula. *Am J Ophthalmol*. 2021;232:58-69.

^[3] Shimizu E, Tanji M, Nakayama S *et al*. AI-based diagnosis of nuclear cataract from slit-lamp videos. *Sci Rep*. 2023;13(1):22046.

^[4] Zéboulon P, Panthier C, Rouger H *et al*. Development and validation of a pixel wise deep learning model to detect cataract on swept-source optical coherence

tomography images. *J Optom*. 2022;15 Suppl 1 (Suppl 1):S43-S49.

^[5] Lindegger DJ, Wawrzynski J, Saleh GM. Evolution and applications of artificial intelligence to cataract surgery. *Ophthalmol Sci*. 2022;2(3):100164.

^[6] Alafaleq M. Robotics and cybersurgery in ophthalmology : a current perspective. *J Robot Surg*. 2023;17(4):1159-70.