

Intelligence artificielle et imagerie cardiovasculaire



T. Pezel

Artificial intelligence and Cardiovascular Imaging

T. Pezel^{a,b}
S. Lafitte^c

^aService de cardiologie, centre hospitalier universitaire Lariboisière, AP-HP, Unité inserm-UMR 942, 2, rue Ambroise Paré, 75010 Paris, France

^bDivision of Cardiology, Johns Hopkins University, Baltimore, Maryland 21287-0409, USA

^cService de cardiologie, inserm 1034, centre hospitalier universitaire de Bordeaux, hôpital cardiologique Haut-Lévêque, avenue Magellan, 33604 Pessac cedex, France

Disponible en ligne sur ScienceDirect le 2 décembre 2020

L'intelligence artificielle est en train de modifier progressivement notre approche de la cardiologie. Mais s'il y a bien un domaine dans lequel l'intelligence artificielle révolutionne complètement le paysage cardiologique c'est bien celui de l'imagerie cardiovasculaire multimodale [1]. En effet, l'intelligence artificielle peut constituer une aide précieuse pour le clinicien à chaque étape de l'examen d'imagerie : dans le positionnement optimal du patient en IRM cardiaque, dans la programmation de l'examen pour choisir le protocole optimal à la morphologie du patient et à l'indication d'un scanner cardiaque, dans l'acquisition des coupes idéales en échocardiographie, à travers des dizaines d'outils de post-traitement permettant d'analyser les images, ou encore dans la production d'un compte rendu final pour le patient et son médecin.

L'intelligence artificielle est omniprésente et constituera de plus en plus notre compagnon de route à l'avenir. Ainsi, l'objectif de cet article sera de présenter les principes de l'intelligence artificielle appliquée à l'imagerie cardiovasculaire multimodale, nous discuterons ses succès et promesses, et enfin, nous évoquerons ses limites mentionnées dans la littérature.

Le *Machine Learning* est une technologie d'intelligence artificielle permettant aux ordinateurs d'apprendre sans avoir été programmés pour : apprentissage automatique.

PRINCIPE DU MACHINE LEARNING APPLIQUÉ À L'IMAGERIE

Le *Machine Learning* est une technologie d'intelligence artificielle permettant aux ordinateurs d'apprendre sans avoir été programmés explicitement pour cela : on parle d'apprentissage automatique. Cependant, pour développer un raisonnement d'analyse (« réseau de neurones »), ces ordinateurs ont besoin d'apprendre à partir d'un nombre important de données déjà analysées par des experts, on parle de « données étiquetées » (Fig. 1A). Autrement dit, si on montre à la machine 200 000 examens d'IRM cardiaques correspondant à des patients avec une séquelle d'infarctus du myocarde diagnostiquée par un panel d'experts en imagerie cardiaque et bien, la machine apprend de cette expérience et sera au final capable de diagnostiquer une séquelle d'infarctus du myocarde, au moins aussi bien qu'un expert, mais en 10 fois moins de temps [2].

Ainsi, la notion de donnée étiquetée correspond à une donnée d'imagerie brute (images d'IRM, de scanner ou d'échographie cardiaques) pour laquelle un médecin expert a posé une mesure ou un diagnostic précis. L'algorithme apprend alors en profondeur (*deep learning*) à identifier tous les détails de l'image qui auront permis à l'expert d'arriver à ce diagnostic [3] (Fig. 1B).

Pour comprendre l'intérêt de l'intelligence artificielle appliquée en imagerie, il est important d'évoquer le cas des pathologies rares ou relativement rares. Prenons l'exemple du diagnostic de non-compaction du ventricule

Auteur correspondant:
Service de cardiologie, centre hospitalier universitaire Lariboisière, AP-HP, Unité inserm-UMR 942, 2, rue Ambroise Paré, 75010 Paris, France.
Adresse e-mail :
theo.pezelccf@gmail.com

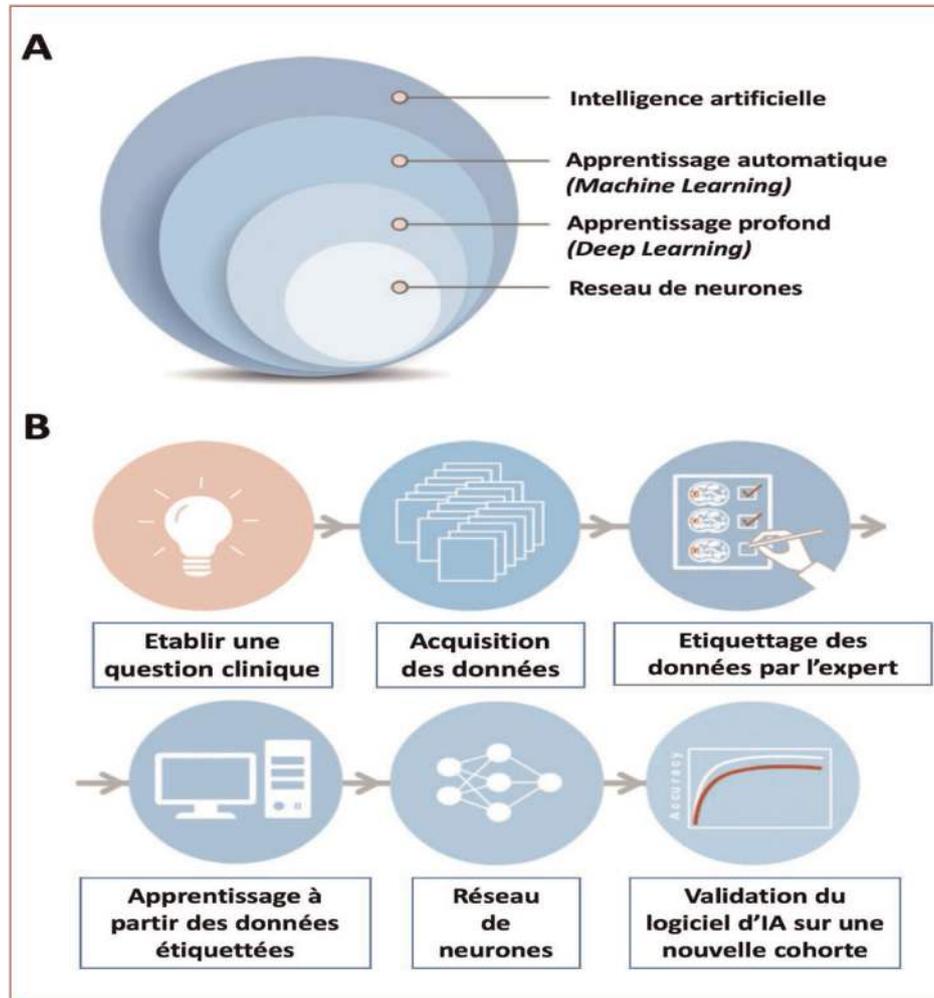


Figure 1. Grands principes de l'intelligence artificielle (adapté de [3]). Diagramme de Venn présentant la terminologie hiérarchique de l'intelligence artificielle. Comprendre les différentes étapes de construction d'un algorithme de *Deep Learning*.

gauche. Lorsque l'on sait que dans toute sa carrière, un expert en imagerie cardiaque rencontrera au grand maximum 100 à 200 patients avec ce diagnostic, on comprend combien ce diagnostic peut parfois poser problème et discussion au sein d'une équipe. Imaginons maintenant un logiciel de post-traitement utilisant le *machine learning* capable d'apprendre les données de plusieurs milliers de cas de non-compaction du ventricule gauche identifiés par des dizaines d'experts à travers le monde. L'expérience du réseau de neurones devient alors virale. On comprend alors pourquoi de nombreuses études ont déjà montré que ce type d'algorithme permet de réduire significativement le taux d'erreur d'interprétation [2]. Au-delà de l'analyse d'image de coupes, l'intelligence artificielle peut aussi constituer un outil précieux pour aider le praticien à l'acquisition de l'image. Ainsi, certains logiciels ont été développés en échocardiographie, afin de guider le clinicien vers l'acquisition optimale de la coupe chez le patient

(Fig. 2). L'intelligence artificielle devient alors le vecteur d'une formation de qualité pour les cliniciens.

GAIN DE TEMPS POUR LE MÉDECIN IMAGEUR DANS L'INTERPRÉTATION

Dans une étude récente, Bhuvra et al présentent les résultats d'un nouvel algorithme d'intelligence artificielle capable de lire les IRM cardiaques, 186 fois plus rapidement que les médecins humains [4]. Ainsi, cette étude vient confirmer le principe du *Machine Learning* appliqué à l'imagerie cardiovasculaire en permettant d'augmenter la vitesse de lecture des praticiens, tout en diminuant significativement le taux d'erreur d'interprétation.



Figure 2. Exemple d'un algorithme d'aide à l'acquisition d'échocardiographie permettant aux médecins de positionner correctement la sonde en temps réel pour obtenir les vues de références (Courtoisie DESKI®).

Par ailleurs, selon cette étude, un médecin réalisant une analyse complète des fonctions cardiaques manuellement, sans assistance de l'intelligence artificielle, à partir d'un examen d'IRM cardiaque nécessiterait environ 13 minutes. Avec

l'aide d'un logiciel de post-traitement utilisant la *machine learning* capable de segmenter de façon automatique les contours des cavités cardiaques, la même analyse est réalisée en seulement 4 secondes (Fig. 3A). De plus, au-delà de cette

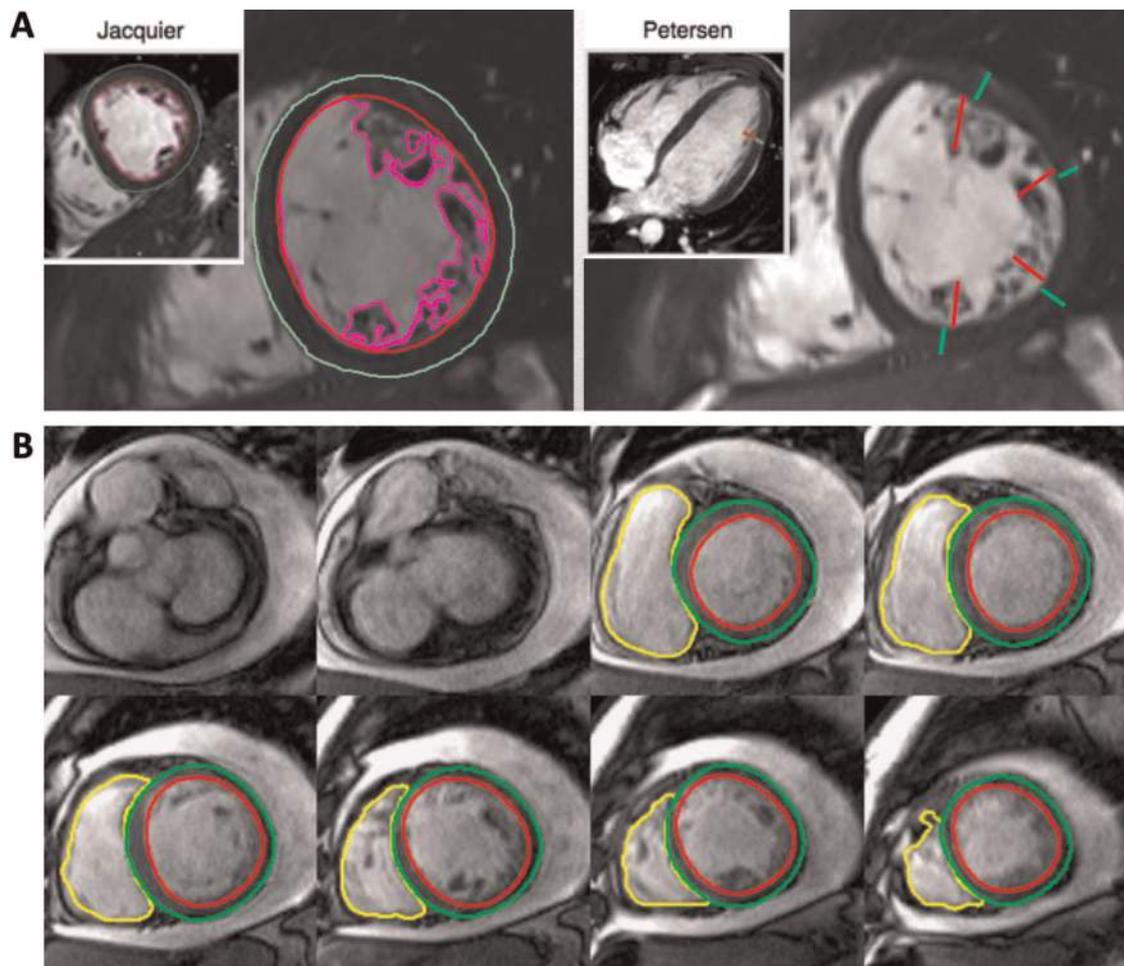


Figure 3. Exemple de segmentation automatique par logiciel d'IA dédiée à l'IRM cardiaque (Courtoisie Dr. Carpenter, Hospital NHS, United Kingdom, images acquises par le software Circle CVi42®). Exemple de segmentation de l'endocarde (rouge) et de l'épicarde (vert) du ventricule gauche permettant les mesures de volumes du ventricule gauche, de la fraction d'éjection ventriculaire gauche et de masse ventriculaire gauche, et de segmentation de l'endocarde (jaune) du ventricule droit permettant les mesures de volumes du ventricule droit et de la fraction d'éjection ventriculaire droite. Noter ici que la présence d'un épanchement péricardique abondant ne gêne pas la segmentation automatique car le logiciel a déjà appris cette situation sur des milliers de patients grâce au *deep learning*. Exemple de segmentation de la zone non compactée d'un patient avec non-compactation du ventricule gauche permettant une mesure selon les critères de Jacquier (image de gauche) ou de Petersen (image de droite).

dimension chronophage, l'analyse manuelle des images est sujette aux erreurs, notamment de possibles erreurs d'inattention liées à un flux de patients quotidien parfois très important. L'apport de l'imageur n'est pas de savoir tracer correctement les limites de l'endocarde sur une coupe du ventricule gauche, ni même de savoir mesurer la zone compactée et la zone non compactée d'une non-compactation du ventricule gauche, mais plutôt d'être capable d'intégrer toutes ces informations, en lien avec le contexte clinique, afin que l'imagerie fasse sens dans l'histoire du patient (Fig. 3B). En réalité, « l'intelligence artificielle aide le praticien à faire la synthèse ! ».

Plus récemment, différents logiciels utilisant le *machine learning* permettent d'augmenter la détection des incidentalomes (nodule pulmonaire, tumeur hépatique, anévrisme de l'aorte...). En effet, lorsqu'un examen d'imagerie cardiovasculaire est réalisé, il cherche à répondre à une question précise et même si les radiologues et cardiologues sont formés à systématiquement tout regarder, il n'est pas simple de ne jamais passer à côté d'un incidentalome. Ainsi, certains logiciels automatisés ont déjà été commercialisés afin de permettre de donner une sécurité supplémentaire au patient à travers des algorithmes assez sensibles capables de détecter des lésions extracardiaques. On peut citer par exemple, le développement d'un logiciel automatisé permettant la détection des nodules pulmonaires et des anomalies de l'aorte thoracique à partir de n'importe quel scanner thoracique ou coroscaner (Fig. 4).

QUELLE PLACE DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE DANS NOS SYSTÈMES DE SANTÉ ?

Notre système de santé est en pleine mutation soumis à des pressions constantes pour une optimisation du rapport temps/efficacité de nos équipes. Ainsi, l'intelligence artificielle

pourrait faire économiser un temps précieux aux établissements de santé tout en réduisant le taux d'erreurs commises lors de la lecture. En effet, si l'on compare le temps gagné sur chaque lecture d'IRM avec le nombre de lectures effectuées chaque année, les cardiologues/radiologues pourraient gagner un total de 54 jours par an [2,4].

Ainsi, l'automatisation du processus d'analyse en imagerie cardiaque par l'intelligence artificielle conduit à une augmentation importante du flux de patients, permettant aux médecins de traiter davantage de patients dans le même laps de temps. Lorsque l'on connaît les délais d'attente pour bénéficier d'une IRM ou d'un scanner cardiaque dans certaines régions de France, cela constitue un élément de santé publique absolument majeur !

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE PERMET UNE TRANSVERSALITÉ À TOUTE LA CARDIOLOGIE : EXEMPLE DU « DIGITAL TWIN »

L'intelligence artificielle appliquée à l'imagerie cardiovasculaire est un outil au service de la cardiologie interventionnelle, afin de préparer au mieux les procédures complexes mais aussi, de guider le geste invasif jusque dans la salle d'intervention.

Ainsi, l'équipe bordelaise a récemment publié un travail très prometteur suggérant un intérêt potentiel de l'intelligence artificielle pour améliorer le rendement de la réponse à la resynchronisation cardiaque par pacemaker [5]. En effet, il s'agit d'une première expérience sur le sujet du « jumeau numérique » (*digital twin*), véritable clone numérique du cœur du patient réalisé informatiquement à partir de données cliniques d'imagerie (IRM et échographie cardiaque) et électrophysiologiques (tee-shirt ECG), l'objectif étant alors de pouvoir tester les effets d'une nouvelle intervention sur le jumeau numérique du cœur du patient, avant de la réaliser sur le patient lui-même,

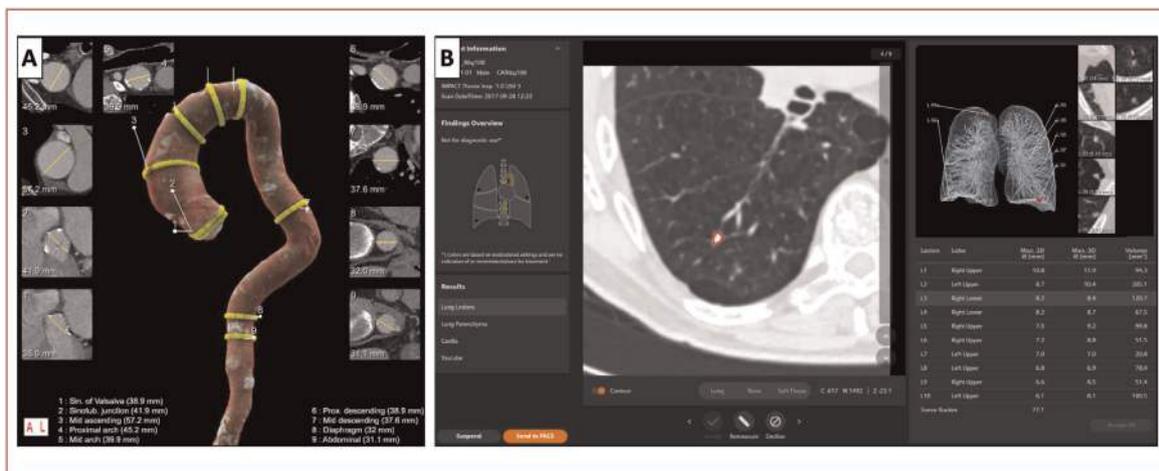


Figure 4. Exemple d'un logiciel automatisé permettant la détection des nodules pulmonaires et des anomalies de l'aorte thoracique à partir d'un scanner thoracique ou coroscaner (Courtoisie AI Rad Companion Chest CT software, Siemens Healthineers, Erlangen, Germany). Exemple de segmentation et de mesures entièrement automatisée à chaque niveau d'intérêt de l'aorte thoracique à partir d'un scanner thoracique injecté. Exemple de segmentation et de mesures entièrement automatisées à chaque niveau d'intérêt de l'aorte thoracique à partir d'un scanner thoracique injecté.

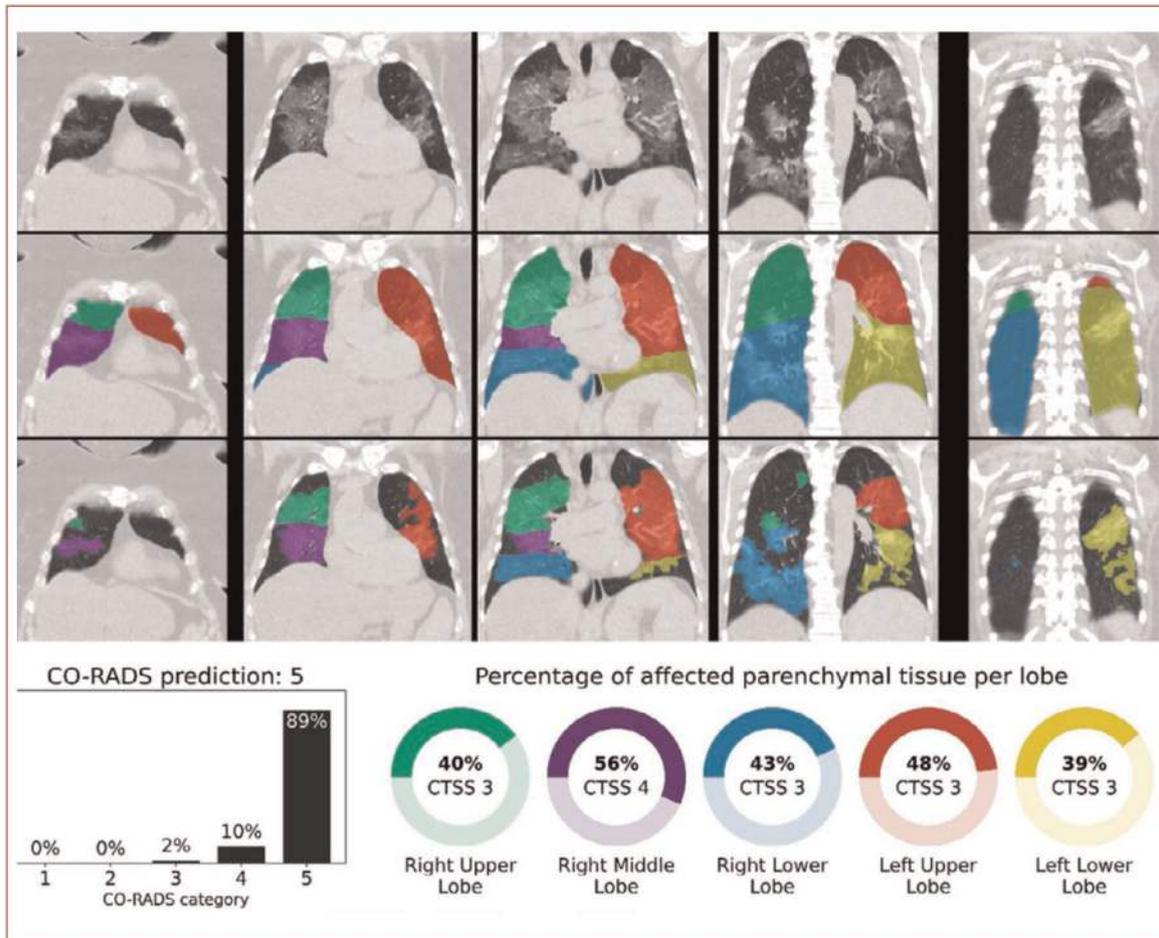


Figure 5. Utilisation d'un logiciel automatisé permettant de mesurer un score de probabilité d'infection à COVID-19, puis de sévérité à partir d'un scanner thoracique (d'après [7]).

puis d'utiliser ces résultats pour guider au mieux l'intervention de resynchronisation cardiaque.

RÔLE DE L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE EN IMAGERIE DANS LE CONTEXTE DE PANDÉMIE À COVID-19

Nous vivons depuis le début de l'année 2020, une période de pandémie à COVID-19 au cours de laquelle le scanner thoracique est devenu l'une des références pour le diagnostic positif de COVID-19, ainsi qu'un outil incontournable dans la stratification de la sévérité de ces patients [6]. De ce fait, la gestion des patients et des flux d'examen a été difficile dans certaines régions du monde avec parfois plusieurs centaines de scanners thoraciques à interpréter dans la même journée, sur un même centre.

Malgré l'urgence, l'intelligence artificielle a su rapidement montrer son intérêt dans cette situation, à travers plusieurs publications utilisant des logiciels automatisés visant à aider le

clinicien. Ainsi, Lessmann et al ont mis en avant la mesure automatisée à partir d'un scanner thoracique d'un score de probabilité du diagnostic COVID-19 : le score CO-RADS, puis de fournir une quantification de la sévérité des lésions pulmonaires à COVID-19 associée au pronostic de ces patients (Fig. 5) [7].

CONCLUSION

Le potentiel de l'intelligence artificielle appliquée à notre pratique quotidienne de l'imagerie cardiovasculaire est immense, avec des conséquences actuelles et futures majeures sur l'industrie de la santé.

Ainsi, nous vivons probablement une période de développement sans précédent dans le monde de l'imagerie cardiaque avec l'intelligence artificielle, véritable bras armé d'une cardiologie toujours plus précoce pour nos patients, tant sur le plan préventif que curatif [8]. Cependant, notre rôle de clinicien consiste probablement à accompagner ce processus

d'évolution de notre médecine, afin de rester les garants d'une exigence et d'une précision permanentes, notamment dans nos échanges avec les équipes d'ingénieurs et mathématiciens dédiés à ce domaine.

En pratique

Le rôle du clinicien consiste probablement à accompagner ce processus d'évolution de notre médecine.

Déclaration de liens d'intérêts

Les auteurs déclarent ne pas avoir de liens d'intérêts.

RÉFÉRENCES

- [1] Donal E, Lafitte S, Sportouch C. The new place of imaging in cardiology, from diagnosis to treatment. *Arch Cardiovasc Dis* 2019;112:543–5.
- [2] Dey D, Slomka PJ, Leeson P, et al. Artificial intelligence in cardiovascular imaging: JACC state-of-the-art review. *J Am Coll Cardiol* 2019;73:1317–35.
- [3] Soffer S, Ben-Cohen A, Shimon O, Amitai MM, Greenspan H, Klang E. Convolutional neural networks for radiologic images: a radiologist's guide. *Radiology* 2019;290:590–606.
- [4] Bhuva A, Bai W, Lau C, et al. A multicenter, scan-rescan, human and machine learning CMR study to test generalizability and precision in imaging biomarker analysis. *Circ Cardiovasc Imaging* 2019;12:e009214.
- [5] Buliard S, Nasser N, Mansi T, Houle H, Ritter P, Lafitte S. Intra-procedural evaluation of a computational modelling method for cardiac resynchronization therapy. *EP Europace* 2019;22:656.
- [6] Choi AD, Abbara S, Branch KR, et al. Society of Cardiovascular Computed Tomography guidance for use of cardiac computed tomography amidst the COVID-19 pandemic Endorsed by the American College of Cardiology. *J Cardiovasc Comput Tomogr* 2020;14:101–4.
- [7] Lessmann N, Sánchez CI, Beenen L, et al. Automated Assessment of CO-RADS and Chest CT Severity Scores in Patients with Suspected COVID-19 Using Artificial Intelligence. *Radiology* 2020;202439. <http://dx.doi.org/10.1148/radiol.2020202439> [Online ahead of print].
- [8] Ederhy S, Mansencal N, Réant P, Piriou N, Barone-Rochette G. Role of multimodality imaging in the diagnosis and management of cardiomyopathies. *Arch Cardiovasc Dis* 2019;112:615–29.