

L'IA pour contribuer à diminuer la dose et améliorer la qualité image

Precise Image

Aperçu

Philips Precise Image est une nouvelle approche qui utilise l'intelligence artificielle (IA)* pour obtenir des images dont l'apparence ressemble davantage à celle des images de rétroprojection filtrées typiques, tout en conservant les capacités de réduction du bruit des méthodes de reconstruction itératives avancées. Cela permet d'obtenir des images de haute qualité avec un rendu familier, et à faible dose.

Contexte

La rétroprojection filtrée (FBP) a été la norme industrielle pour la reconstruction d'images CT pendant des décennies. Bien qu'il s'agisse d'une méthode très rapide, la rétroprojection filtrée est un choix d'algorithme sous-optimal pour les données sous échantillonnées ou pour les cas où le bruit est plus important que le signal de l'image, comme c'est le cas pour les acquisitions à faible dose ou à puissance de tube limitée. Au fil du temps, des améliorations progressives ont été apportées à la rétroprojection filtrée pour surmonter certaines de ses limites inhérentes.

Philips a déjà présenté une approche hybride (iDose⁴) et une approche basée sur un modèle (IMR) de la reconstruction itérative pour aider à améliorer la qualité de l'image en fonction du morphotype du patient



à faible dose. Lorsqu'elle est utilisée en combinaison avec les technologies avancées des systèmes de tomodensitométrie Philips, la reconstruction itérative fournit une approche unique pour gérer des facteurs importants dans les soins aux patients, tels que l'imagerie à faible énergie, à faible radiation et à faible dose.

Les algorithmes traditionnels de reconstruction itérative pénalisent généralement les images bruitées d'une manière ou d'une autre, généralement par le biais d'une fonction de différences entre les voxels voisins de l'image. Bien qu'efficaces pour réduire le bruit, ces fonctions de pénalité peuvent produire une apparence d'image ou une texture de bruit qui diffère considérablement de l'apparence des images FBP traditionnelles, qui sont familières aux radiologues. Cette apparence non standard de l'image constitue un obstacle important à l'adoption de la technologie de réduction de la dose dans toute une série d'applications cliniques. Si l'IMR de Philips s'est attaqué à la charge de calcul de la reconstruction basée sur un modèle et à ses effets sur le temps de reconstruction, la charge de calcul reste un problème pour de nombreux fabricants.

Aujourd'hui, l'IA a fourni les avancées qui rendent possible le prochain niveau de technologies de réduction de la dose, **combinant une faible dose avec une apparence d'image plus familière**. La reconstruction par deep learning** de l'IA est entraînée à produire rapidement des images à faible bruit à partir d'acquisitions à faible dose en les comparant à des images à dose conventionnelle dans un processus d'apprentissage supervisé de l'IA. Cet apprentissage supervisé permet d'obtenir une image dont la texture du bruit ressemble davantage à une image FBP typique, tout en conservant les capacités de réduction du bruit des méthodes de reconstruction itératives.

Precise Suite

Precise Image est l'un des nombreux outils intégrant l'IA de la Philips Precise Suite. Philips Precise Suite intègre l'IA dans toutes les étapes de la prise en charge, de l'installation à l'interprétation, afin de permettre aux équipes de se concentrer pleinement sur le patient et non sur les procédures.

Comment Precise Image utilise les réseaux neuronaux

Precise Image suit un processus d'apprentissage supervisé pour former un réseau de neurones convolutifs (CNN) d'une manière spécifique.

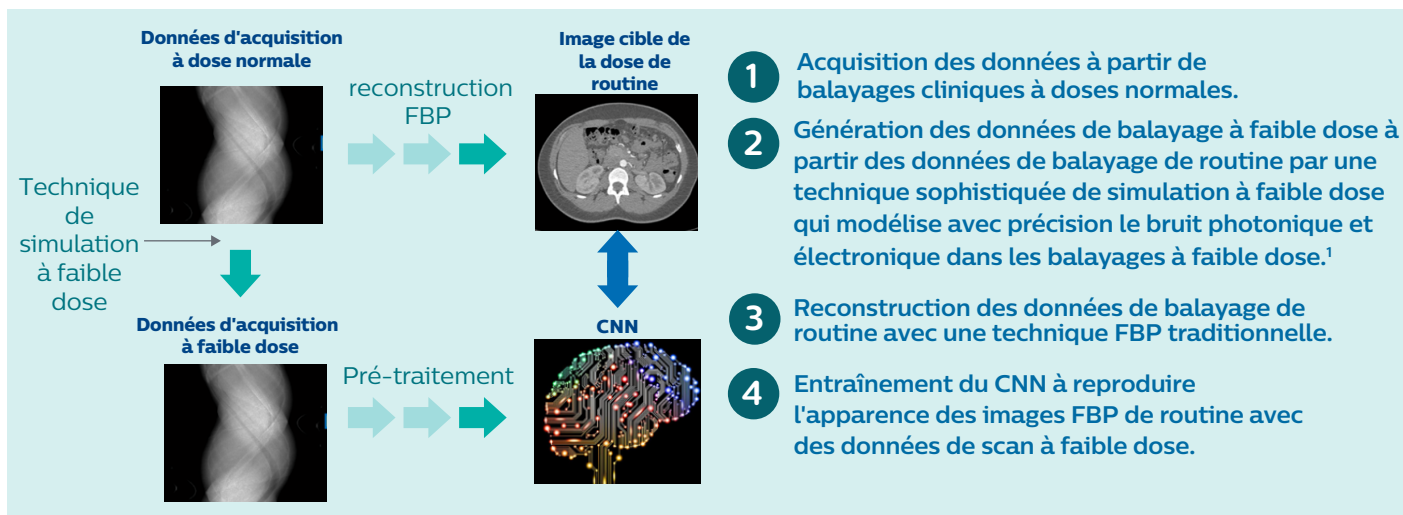


Schéma 1 Le processus de formation pour la reconstruction Precise Image AI.

Un regard plus poussé sur le deep learning**

Le deep learning est une sous-catégorie de l'apprentissage automatique et de l'IA. Un réseau neuronal profond (DNN) est un réseau neuronal artificiel avec des neurones ou des nœuds artificiels disposés en plusieurs couches entre les couches d'entrée et de sortie de la manipulation mathématique. Les DNN complexes, tels que ceux de Precise Image, possèdent de nombreuses couches et la capacité de modéliser des relations non linéaires complexes. La conception d'un DNN constitue la base qui permettra au réseau d'atteindre son objectif d'optimisation de manière efficace. Dans le cas de Precise Image, le réseau a été conçu pour relever les défis spécifiques de la reconstruction d'images et a optimisé le nombre de nœuds et de couches au sein du réseau de manière à répondre au besoin de latence réduite et de temps d'exécution rapide tout en résolvant le défi complexe de l'optimisation.

Entraînement du réseau neuronal

Bien qu'un DNN bien conçu soit très prometteur pour la résolution de problèmes d'optimisation complexes, il est important de réaliser que son efficacité dépend de l'entraînement qui lui a été fourni. Correctement réalisée, une stratégie d'entraînement supervisé implique l'assemblage d'un ensemble d'entrées et de sorties qui fournissent un échantillonnage suffisant de l'espace du problème à résoudre. Une approche raisonnée et approfondie à ce stade est essentielle pour obtenir la robustesse du réseau. Pour entraîner les réseaux neuronaux de Precise Image, nous commençons par des acquisitions de routine avec une apparence d'image cliniquement souhaitée. Ensuite, les données de balayage

à faible dose sont simulées de manière à modéliser avec précision le bruit photonique et électronique. Le réseau est ensuite chargé de reproduire l'apparence des images de routine à partir de l'entrée à faible dose. En entraînant les réseaux de cette manière, ils sont plus adaptés face à la variété inhérente à la tomodensitométrie provenant de facteurs tels que la dose de rayonnement appliquée, la taille du patient et son anatomie.

Validation du réseau neuronal

Les réseaux neuronaux entraînés de Precise Image sont validés à l'aide de données de patients obtenues avec une variété de paramètres de balayage provenant d'une population diversifiée. Philips commence par fournir des données à faible dose simulées à partir de scanners de routine pour alimenter les réseaux neuronaux. Les images à faible dose résultantes de Precise Image sont comparées aux images de routine reconstruites à l'aide de méthodes standards. Lorsque la qualité des images à faible dose de Precise Image est égale ou supérieure aux reconstructions standards de dose de routine, l'entraînement suffisant du réseau neuronal est confirmé.

L'inférence permet d'accélérer flux de travail clinique

Une fois les réseaux formés, les poids des nœuds et des couches du DNN sont fixes. Cela signifie que de nouvelles entrées, sous la forme de données de patients, peuvent être rapidement traitées pour soutenir les flux de travail cliniques à haut débit avec la confiance diagnostique améliorée fournie par Precise Image. Grâce à la conception intelligente du réseau et à la formation complète et robuste, Precise Image fournit la reconstruction basée sur l'IA la plus rapide du secteur.

Reconstruction d'images par l'IA

Philips Precise Image est la méthode la plus récente et la plus robuste de reconstruction d'images tomodensitométriques Philips, qui utilise les récents progrès technologiques en matière d'IA. Precise Image est une technique de reconstruction qui utilise un réseau neuronal de deep learning** entraîné. Precise Image offre la vitesse de reconstruction la plus rapide du secteur tout en conservant l'aspect conventionnel des images FBP.

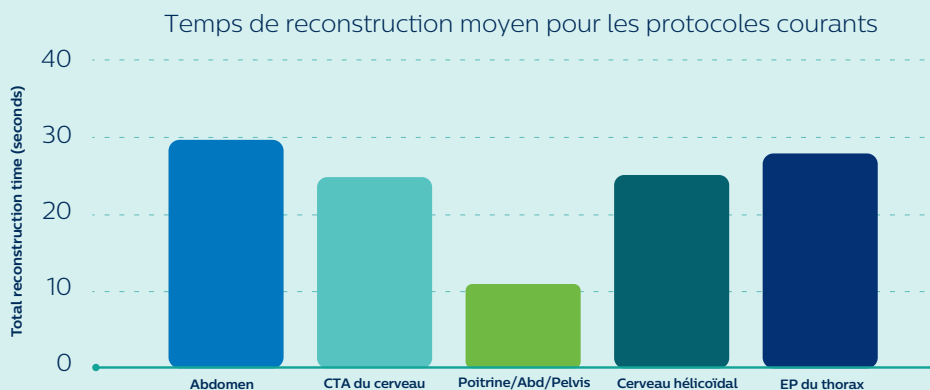


Schéma 2 Precise Image permet des temps de reconstruction moyens de 30 secondes ou moins pour les protocoles courants.

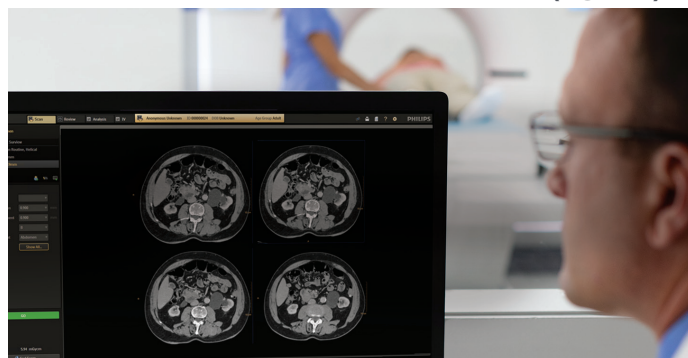
Passer des études sur des fantômes aux données cliniques

Philips Precise Image a été largement testé sur des données spectrales et cliniques. De nombreux paramètres généraux de qualité d'image sont calculés à l'aide d'images fantômes. Cependant, Precise Image utilise principalement des images cliniques dans la procédure de formation, plutôt que des images de fantômes, afin de garantir que les réseaux ne sont pas formés pour donner simplement de bons résultats sur des fantômes de performance, mais pour fournir des images cliniques améliorées. Néanmoins, ces avantages cliniques peuvent également être mesurés sur des fantômes traditionnels avec d'excellents résultats, comme le montrent les sections suivantes.

Spectre puissance-bruit

Une critique courante concernant les images de reconstruction itérative est que la texture du bruit diffère considérablement des images FBP. Precise Image est programmé pour reproduire la texture du bruit de FBP, tout en offrant des réductions de bruit significatives. Une métrique établie pour quantifier la texture du bruit est le spectre de puissance du bruit (NPS). Pour cette mesure, un fantôme d'eau de 30 cm a été scanné à 300 mAs, puis à 100 mAs. Les images pour Precise Image ont été générées à partir du balayage à 100 mAs avec une réduction croissante du bruit afin de créer des images de haute qualité avec un bruit réduit. Une série de valeurs NPS normalisées a ensuite été calculée pour chacune des images de l'image de précision, ainsi que pour l'image FBP à forte dose (**Schéma 3**).

On peut maintenir un NPS normalisé presque constant avec Precise Image, quelle que soit l'ampleur de la réduction du bruit. réduction du bruit - qui correspond étroitement au NPS donné par la reconstruction FBP. Ainsi, la texture du bruit de l'image peut être personnalisée pour correspondre étroitement à celle des images FBP, même pour de faibles doses et de forts niveaux de réduction du bruit. (**Figure 4**).



Courbe NPS

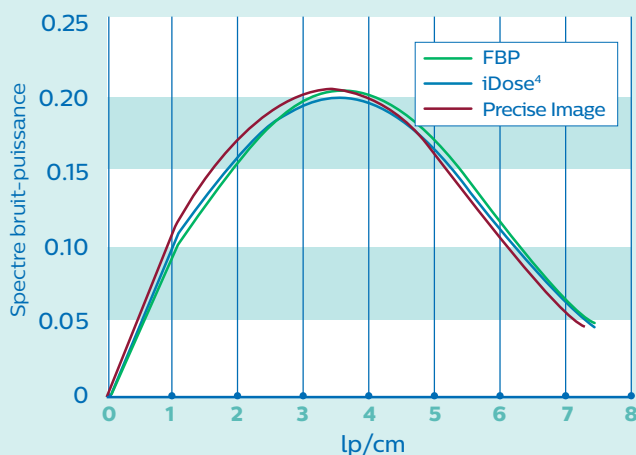


Schéma 3 Mesures du spectre de puissance du bruit normalisé d'un fantôme d'eau de 30 cm.

Courbe MTF

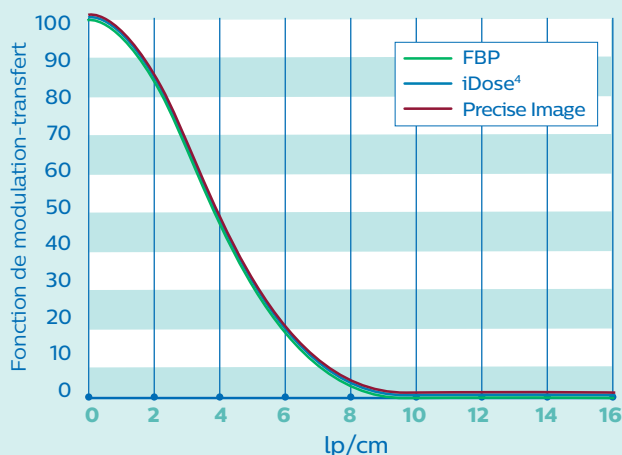


Schéma 4 Résolution exprimée sous la forme d'une comparaison de la fonction de transfert de modulation de la reconstruction FBP et AI.



Détectabilité à faible contraste

Un test de détectabilité à faible contraste est une méthode établie pour mesurer les capacités de réduction de dose des algorithmes de reconstruction. Un observateur humain ou un modèle se voit présenter de nombreuses images bruitées différentes, certaines contenant un objet connu à faible contraste et d'autres sans objet. Pour chaque image, l'observateur doit décider si l'objet est présent ou non. Le succès de la détermination correcte pour chaque image bruitée est mesuré, et ces scores peuvent être utilisés pour dériver un indice de détectabilité (d-prime) qui reflète le succès statistique de la détection de l'objet avec une dose et une méthode de reconstruction données. Un d-prime = 0 correspond à une détection qui ne dépasse pas le hasard ($AUC = 0,5$), tandis qu'un d-prime = 4,38 correspond à une détectabilité presque parfaite ($AUC = 0,999$). L'"AUC" est l'aire sous la courbe caractéristique d'exploitation du récepteur et est une mesure de la capacité d'un système à discriminer entre deux catégories.

Le test de détectabilité à faible contraste pour Precise Image utilise le fantôme MITA CT 189 à faible contraste et se concentre sur l'épingle de 10 mm de diamètre et de 3 HU de contraste. L'observateur modèle est un observateur de Hotelling canalisé (CHO) avec des canaux 3-DOG, comme décrit dans l'outil IQmodelo.2 Nous utilisons 200 paires d'images (objet présent, objet absent), et comparons le d-prime de FBP à une dose de 10 mGy à l'Image Précise à 4 mGy et 2 mGy (réduction de dose de 60% et 80%, respectivement). Des exemples d'images peuvent être comparés.

Les résultats du test de détectabilité à faible contraste montrent que la détectabilité avec Precise Image à 4 mGy est supérieure de plus de 80% à celle du FBP à 10 mGy. La détectabilité avec Precise Image à 2 mGy est supérieure de plus de 43% à celle du FBP à 10 mGy. Ce test montre qu'avec Precise Image, les utilisateurs peuvent obtenir à la fois une réduction significative de la dose et une imagerie à faible contraste grandement améliorée, tout en conservant une texture de bruit plus traditionnelle qu'avec d'autres techniques de reconstruction récentes.

Études cliniques et exemples d'images

Une équipe de radiologues expérimentés a examiné les images de la poitrine, de l'abdomen et du bassin de 40 patients en utilisant iDose⁴ et Precise Image. Les deux ensembles d'images de chaque patient ont été évalués en termes de confiance diagnostique, de netteté, de niveau de bruit, de texture d'image et d'artefacts sur une échelle de Likert en 5 points, où 1 était le pire et 5 le meilleur. Tous les scanners ont été réalisés à des niveaux de dose de routine, et les images iDose⁴ ont été reconstruites à la dose acquise. Les images utilisant Precise Image ont été reconstruites à 50 % de la dose

acquise de routine en utilisant des techniques de simulation à faible dose. Pour chaque attribut évalué, les évaluations des deux ensembles d'images ont été comparées à l'aide d'un test t de Welch à deux échantillons ($\alpha=5\%$) pour vérifier l'existence de différences statistiquement significatives dans les évaluations. Les résultats ont montré une amélioration pour chaque attribut avec les images de Precise Image reconstruites à 50% de la dose acquise.

(Schéma 6).

Precise Image améliore la confiance du diagnostic à la moitié de la dose.

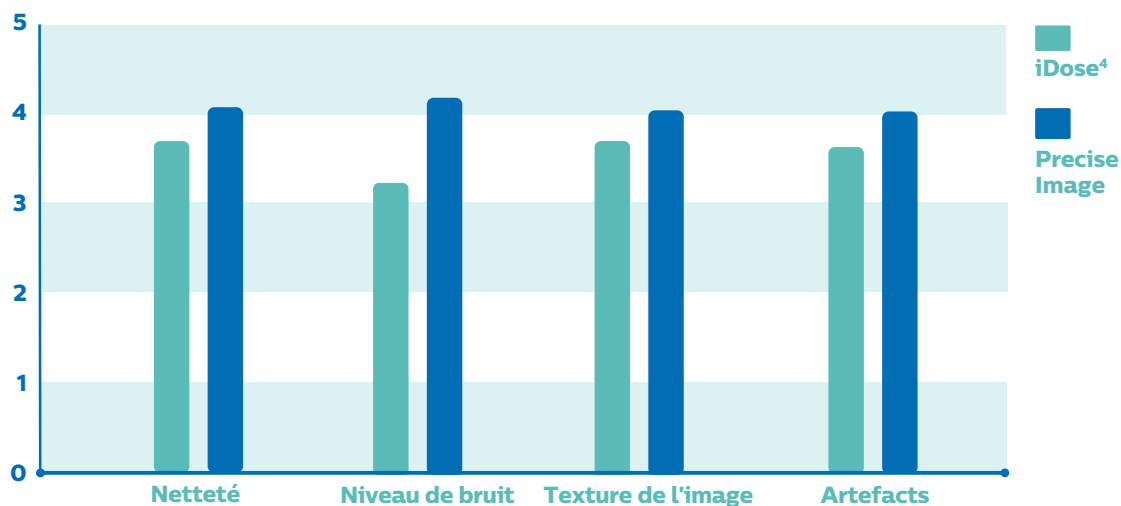


Schéma 6 Les évaluations de la qualité des images de Precise Image reconstruites à 50 % de la dose de routine étaient supérieures à celles des images iDose⁴ reconstruites à 100 % de la dose de routine.

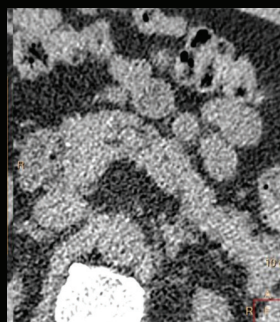
Comparaisons d'images cliniques



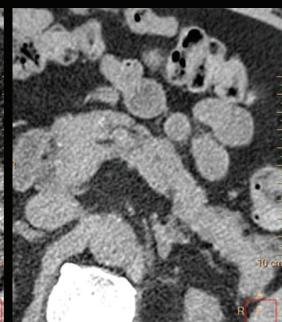
iDose⁴ 7.4 mSv



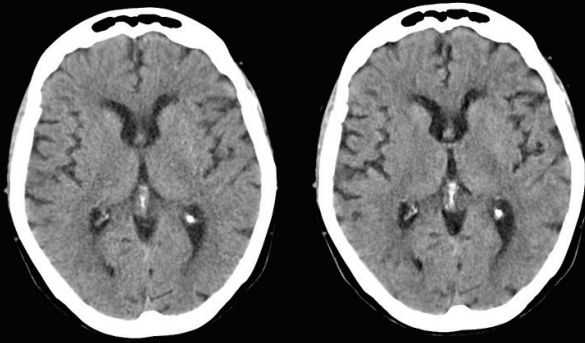
Precise Image 3.7 mSv



iDose⁴ 6.6 mSv

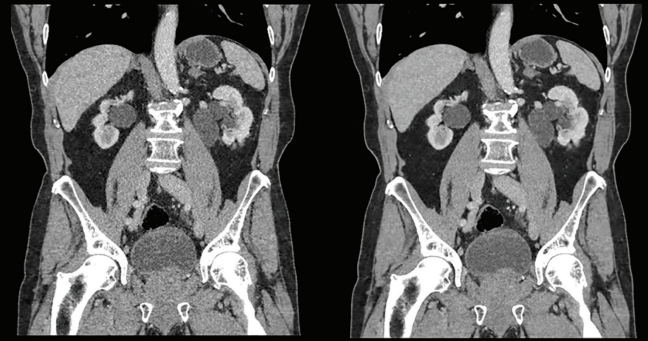


Precise Image 3.3 mSv



iDose⁴ 1.4 mSv

Precise Image 0.7 mSv



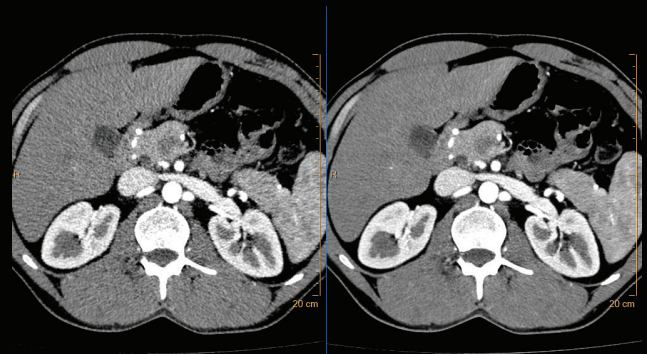
iDose⁴ 5.1 mSv

Precise Image 2.6 mSv



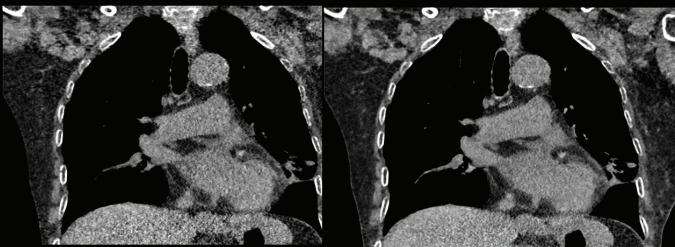
iDose⁴ 1.5 mSv

Precise Image 0.75 mSv



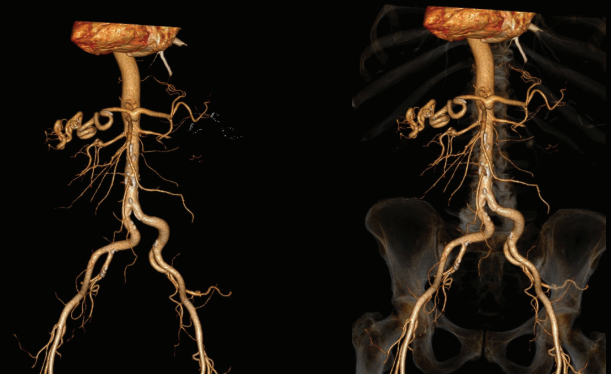
iDose⁴ 5.4 mSv

Precise Image 2.6 mSv



iDose⁴ 1.8 mSv

Precise Image 0.8 mSv



Precise Image CTA

Conclusion

Precise Image offre une avancée significative dans la vitesse de reconstruction des images CT à faible dose en produisant des images dont la texture du bruit ressemble davantage à une image FBP typique. Les résultats de l'évaluation clinique ont démontré que les images reconstruites avec Precise Image offrent une avancée significative dans la reconstruction d'images CT à la moitié de la dose, par rapport aux images iDose⁴.



*Nous adoptons la définition formelle suivante de l'IA (source : HLEG definition AI) Les systèmes d'intelligence artificielle (IA) sont des systèmes logiciels (et éventuellement matériels) conçus par des humains qui, compte tenu d'un objectif complexe, agissent dans la dimension physique ou numérique en percevant leur environnement par l'acquisition de données, en interprétant les données structurées ou non structurées collectées, en raisonnant sur les connaissances ou en traitant les informations dérivées de ces données et en décidant de la ou des meilleures actions à entreprendre pour atteindre l'objectif donné.

Les systèmes d'IA peuvent soit utiliser des règles symboliques, soit apprendre un modèle numérique, et ils peuvent également adapter leur comportement en analysant comment l'environnement est affecté par leurs actions précédentes. En tant que discipline scientifique, l'IA comprend plusieurs approches et techniques, telles que l'apprentissage automatique (dont l'apprentissage profond et l'apprentissage par renforcement sont des exemples spécifiques), le raisonnement automatique (qui comprend la planification, l'ordonnancement, la représentation et le raisonnement des connaissances, la recherche et l'optimisation) et la robotique (qui comprend le contrôle, la perception, les capteurs et les actionneurs, ainsi que l'intégration de toutes les autres techniques dans des systèmes cyber-physiques).

**Deep learning = apprentissage profond

Bibliographie

1. Žabac S, Wang E, Morton T, Brown KM. A low dose simulation tool for CT systems with energy integrating detectors. Med Phys. 2013;40(3):1-14. DOI: 10.1118/1.4789628.
2. Wunderlich A, et al. Exact confidence intervals for channelized Hotelling observer performance in image quality studies. IEEE Trans Med Imaging. 2015;34.2:453-464. DOI: 10.1109/TMI.2014.2360496. PMCID: PMC5542023.

Le scanner Incisive est un dispositif médical de classe IIb fabriqué par Philips et dont l'évaluation de la conformité a été réalisé par l'organisme notifié TUV SUD CE0123 . Il est destiné au diagnostic médical par imagerie tomodensitométrie. Les actes diagnostiques sont pris en charge par les organismes d'assurance maladie dans certaines situations. Lisez attentivement la notice d'utilisation. Octobre 2021

© 2021 Koninklijke Philips N.V. Tous droits réservés. Philips se réserve le droit d'apporter des modifications aux spécifications et/ou d'abandonner tout produit à tout moment sans préavis ni obligation et ne sera pas responsable des conséquences résultant de l'utilisation de cette publication.

www.philips.com

Imprimé aux Pays-Bas.
4522 991 67391 *
AOUT 2021