



PHILIPS

Tomografia
computadorizada

White paper

Precise Image

IA para dose significativamente menor e melhor qualidade de imagem

Visão geral

Philips Precise Image é uma nova abordagem da Philips que usa IA* para imagens com uma aparência que mais se assemelha à típica projeção traseira filtrada, mantendo os recursos de redução de ruído de métodos avançados de reconstrução iterativa. Isso fornece imagens de alta qualidade com uma aparência familiar e em dose baixa.

* De acordo com a definição de IA do Grupo de Peritos de Alto Nível da UE

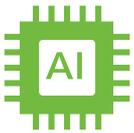
Contexto

A retroprojeção filtrada (FBP) foi o padrão da indústria para reconstrução de imagens de TC por décadas. Embora seja um método muito rápido, o FBP é uma escolha de algoritmo boa para dados mal amostrados ou para casos em que o ruído sobrecarrega o sinal da imagem, como é o caso de aquisições de baixa dose ou potência limitada por tubo. Ao longo do tempo, aprimoramentos incrementais foram feitos no FBP para superar algumas de suas limitações inerentes.

A Philips introduziu anteriormente uma abordagem híbrida (iDose⁴) e uma abordagem baseada em modelo (IMR) para reconstrução iterativa a fim de ajudar a personalizar a qualidade da imagem com base nas necessidades individuais do paciente em baixa dose. Quando usada em combinação com as tecnologias avançadas dos sistemas de TC da Philips, a reconstrução iterativa forneceu uma abordagem única para gerenciar fatores importantes no cuidado ao paciente, como imagens de mais baixa dose e melhoria da qualidade da imagem.



Philips CT 5300



Agora a IA fornece os avanços que tornam possível o próximo passo em tecnologias de redução de dose, combinando baixa dose com uma aparência de imagem mais familiar.

Algoritmos tradicionais para reconstrução iterativa normalmente penalizam imagens barulhentas de alguma forma, geralmente com uma função das diferenças entre voxels vizinhos na imagem. Embora eficazes na redução do ruído, essas funções penalizações podem produzir uma aparência de imagem ou textura de ruído que difere substancialmente da aparência das imagens tradicionais de FBP, que têm sido familiares a muitos radiologistas ao longo dos anos. Essa aparência de imagem fora do padrão é uma barreira significativa à adoção da tecnologia que reduz a dose numa variedade de aplicações clínicas.

Embora a Philips IMR tenha abordado a carga computacional da reconstrução baseada em modelos e seus efeitos no tempo de reconstrução, isso permaneceu um problema para muitos fabricantes.

A reconstrução de aprendizado profundo de IA é treinada para produzir rapidamente imagens de baixo ruído de varreduras de baixa dose, comparando-as com imagens de dose convencional em um processo de aprendizado supervisionado de IA. Este aprendizado supervisionado permite uma imagem com uma textura de ruído que mais se assemelha a uma imagem FBP típica, mantendo as capacidades de redução de ruído dos métodos de reconstrução iterativos.

Philips CT Smart Workflow

O Precise Image é uma das muitas ferramentas habilitadas por IA do CT Smart Workflow, que inclui IA que está profundamente incorporada às ferramentas que os médicos usam todos os dias para poder aplicar seus conhecimentos ao paciente, não ao processo.



Como o Precise Image treina redes neurais

Precise Image segue um processo de aprendizado supervisionado para treinar uma rede neural convolucional (CNN) de uma maneira especificada.

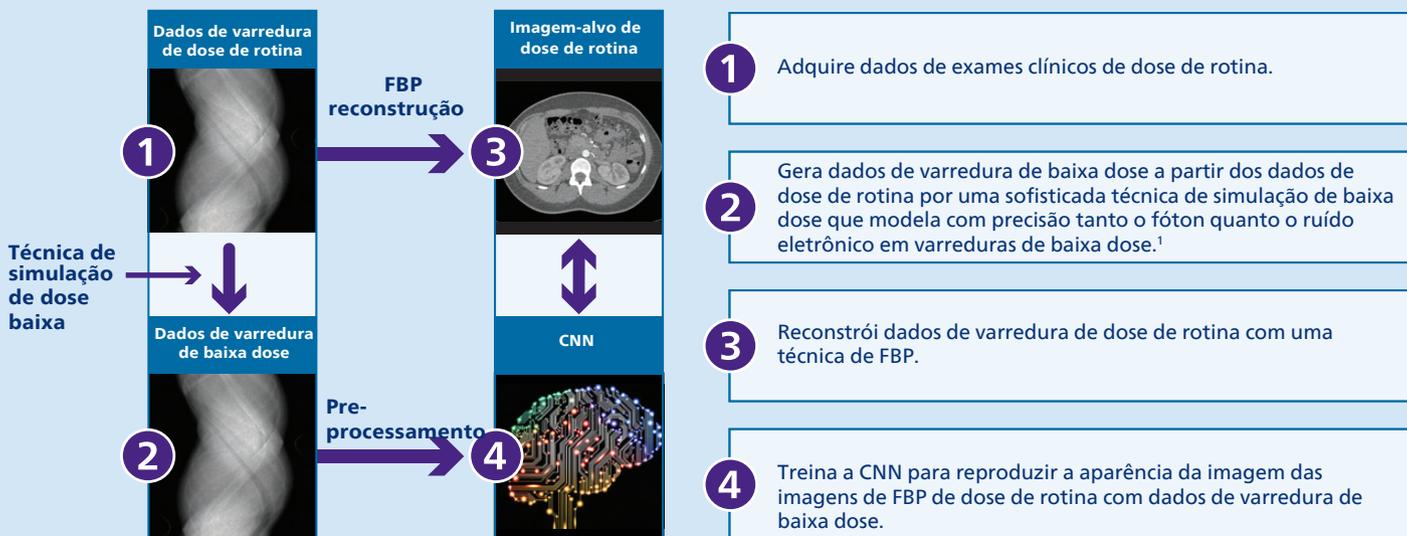


Figura 1 O processo de treinamento para reconstrução de IA de imagem precisa.

Um olhar mais atento sobre o deep learning

Deep learning é uma subcategoria de aprendizado de máquina e IA. Uma rede neural convolucional (CNN) é uma rede neural artificial com neurônios artificiais ou nós dispostos em múltiplas camadas entre as camadas de entrada e saída da manipulação matemática. CNNs complexas, como as da Precise Image, têm muitas camadas e a capacidade de modelar relações não lineares complexas. O design de uma CNN atua como a base que permitirá que a rede atinja sua meta de otimização de maneira eficiente. Com o Precise Image, as redes foram projetadas para enfrentar os desafios específicos da reconstrução de imagens e otimizaram o número de nós e camadas dentro da rede de uma forma que atenda à necessidade de latência reduzida e tempo de execução rápido enquanto resolve o complexo desafio de otimização.

Treinando a rede neural

Embora uma CNN bem projetada apresente uma grande promessa na resolução de problemas complexos de otimização, é importante perceber que ela é tão boa quanto o treinamento com o qual foi fornecida. Corretamente feita, uma estratégia de treinamento supervisionado envolve a montagem de um conjunto de entradas e saídas que fornecem uma amostragem suficiente do espaço do problema a ser resolvido. Uma abordagem bem fundamentada e completa neste momento é fundamental para alcançar a robustez da rede. Para treinar redes neurais de Precise Image, começamos com varreduras de dose de rotina com uma aparência de imagem clinicamente desejada. A partir daí, os dados de varredura de baixa dose são simulados de uma forma que modela com precisão tanto o fóton quanto o ruído eletrônico.

A rede recebe então a tarefa de replicar a aparência da imagem das imagens de dose de rotina a partir da entrada de baixa dose. Ao treinar as redes dessa forma, elas são mais robustas à variedade inerente à TC de fatores como dose de radiação aplicada, tamanho do paciente e anatomia do paciente.



Philips CT 5100 Incisive

Validando a rede neural

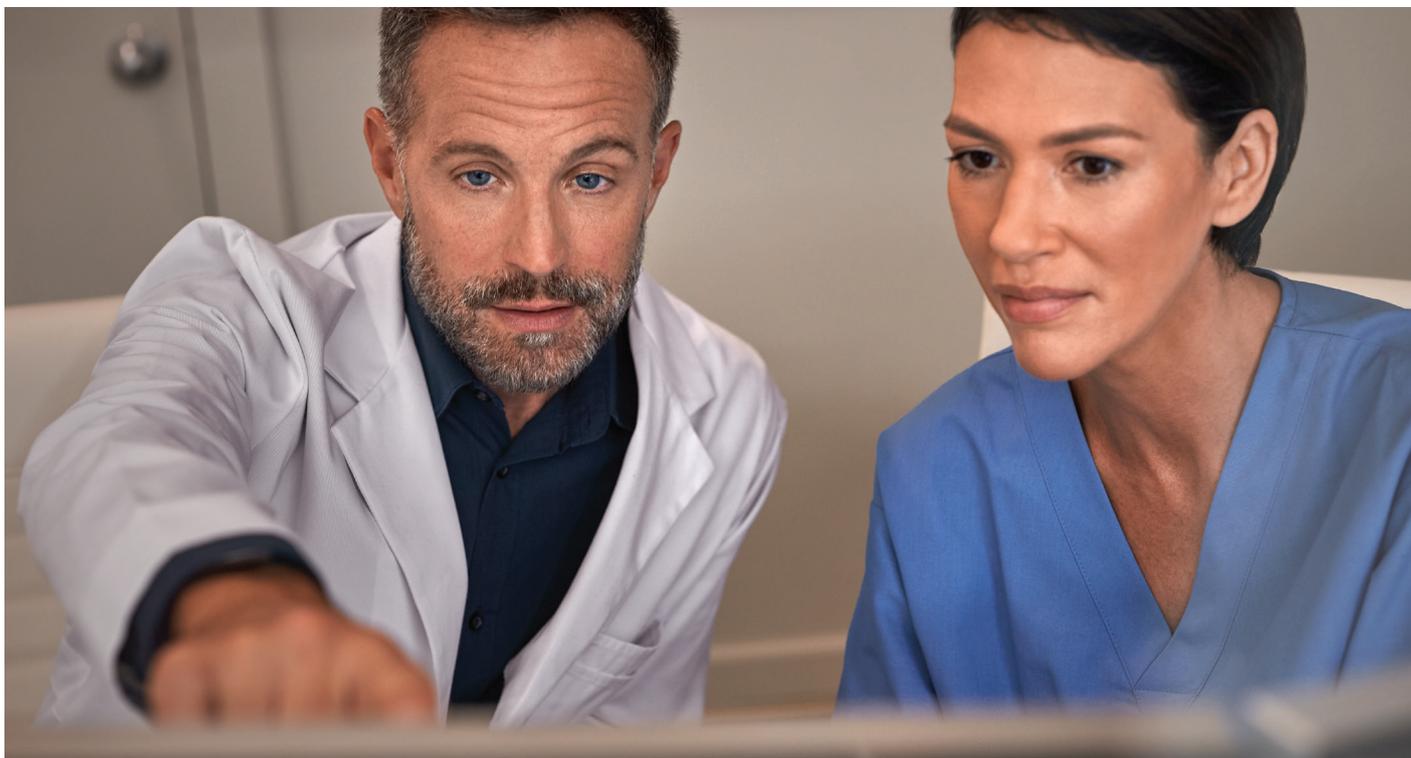
As redes neurais Trained Precise Image são validadas usando dados de pacientes obtidos com uma variedade de parâmetros de varredura de uma população diversa. A Philips começa fornecendo dados de baixa dose simulados de varreduras de dose de rotina como entrada para as redes neurais. As imagens de baixa dose resultantes do Precise Image são comparadas com imagens de dose de rotina reconstruídas usando métodos-padrão. Quando a qualidade da imagem de imagens de baixa dose do Precise Image atende ou excede as reconstruções-padrão de dose de rotina, o treinamento suficiente da rede neural está confirmado.

A inferência permite fluxos de trabalho clínicos rápidos

Uma vez que as redes tenham sido treinadas, os pesos dos nós e camadas da CNN são reparados. Isso significa que novas entradas na forma de dados de pacientes podem ser rapidamente processadas para oferecer suporte a fluxos de trabalho clínicos de alto rendimento com a confiança diagnóstica aprimorada fornecida pelo Precise Image. Com o design inteligente da rede como base e o treinamento robusto completo, o Precise Image oferece a reconstrução baseada em IA mais rápida do setor.

A reconstrução da IA deve ser rápida para ser integrada à rotina diária

O Precise Image da Philips é uma técnica de reconstrução baseada em IA que usa o poder de uma rede neural de aprendizagem profunda para melhorar a confiança clínica e fornece uma aparência de imagem que se assemelha muito à FBP. Todos os protocolos de referência podem ser reconstruídos em menos de um minuto.



Tempos médios de reconstrução para protocolos comuns

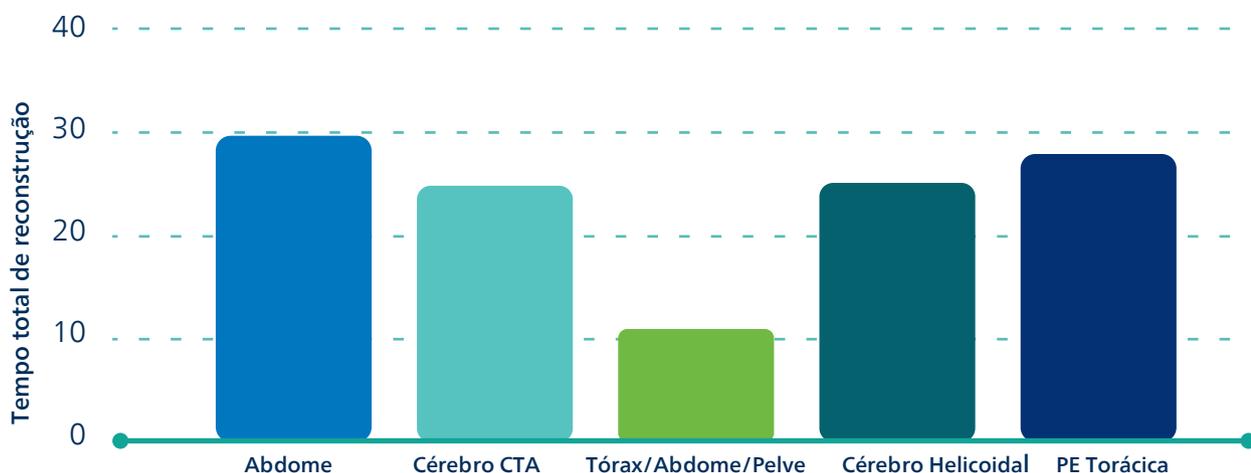


Figura 2 O Precise Image permite tempos médios de reconstrução de 30 segundos ou menos para protocolos comuns.

Desempenho técnico e clínico

O Precise Image da Philips foi extensivamente testado em dados clínicos e simulados. Muitas métricas gerais de qualidade de imagem são calculadas usando imagens simuladas. No entanto, a Precise Image usa principalmente imagens clínicas no procedimento de treinamento, em vez de imagens simuladas, para garantir que as redes não sejam treinadas para simplesmente dar bons resultados em simuladores de desempenho, mas também para fornecer imagens clínicas aprimoradas. No entanto, esses benefícios clínicos também podem ser medidos em simuladores tradicionais com excelentes resultados, como mostrado nas seções a seguir.

Espectro de potência sonora

Uma queixa comum com imagens de reconstrução iterativa é que a textura do ruído difere significativamente das imagens FBP. A Precise Image é treinada para reproduzir a textura de ruído do FBP, ao mesmo tempo em que proporciona reduções significativas de ruído. Uma métrica estabelecida para quantificar a textura do ruído é o espectro de potência sonora (NPS). Para essa medida, um simulador de água de 30 cm foi escaneado a 300 mAs, e novamente a 100 mAs. As imagens para Precise Image foram geradas a partir da varredura de 100 mAs com redução de ruído crescente para criar imagens com alta qualidade de imagem e ruído reduzido. Uma série de valores normalizados de NPS foi em seguida computada para cada uma das imagens para Precise Image,

bem como para a imagem de FBP em altas doses. Uma comparação representativa é mostrada demonstrando o perfil NPS semelhante de uma reconstrução de imagem precisa de baixa dose e uma reconstrução de FBP de alta dose (**Figura 3**).

Um NPS normalizado quase constante pode ser mantido com a Precise Image – independentemente da magnitude da redução de ruído – que se aproxima do NPS dado pela reconstrução do FBP. Assim, a textura do ruído da imagem pode ser personalizada para coincidir com as imagens FBP, mesmo para baixas doses e fortes níveis de redução de ruído.

A Precise Image oferece reconstrução de IA que preserva a aparência tradicional do FBP

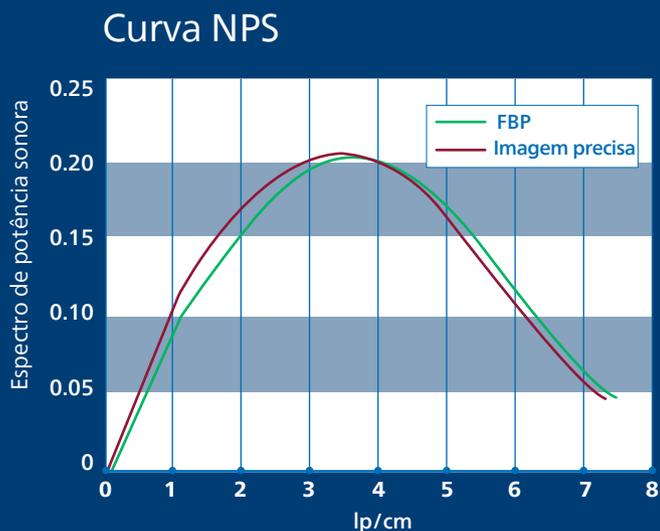
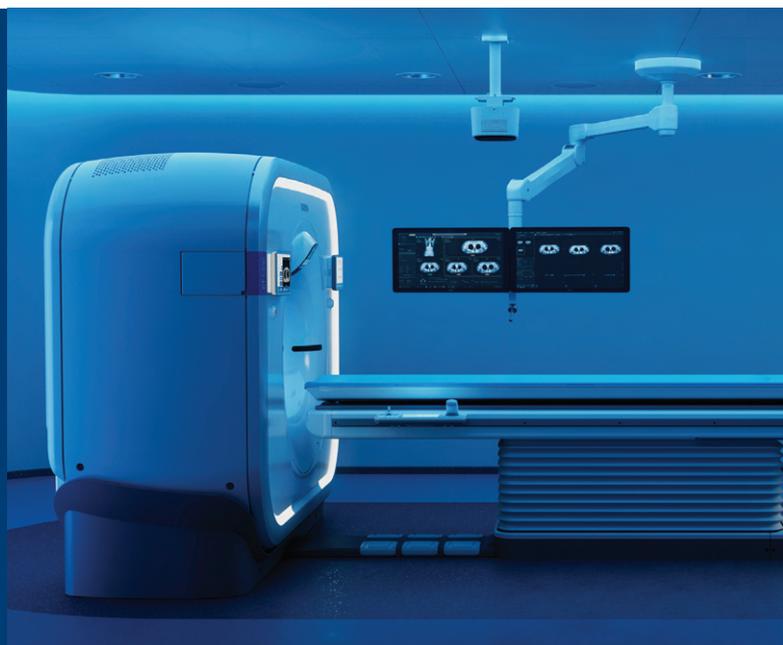


Figura 3 Medições normalizadas do espectro de ruído-potência de um simulador de água de 30 cm.





Detectabilidade de baixo contraste

Um teste de detectabilidade de baixo contraste (LCD) é um método estabelecido para medir a capacidade de redução de dose de algoritmos de reconstrução. Um observador humano ou modelo é apresentado com muitas imagens barulhentas diferentes, algumas contendo um objeto conhecido de baixo contraste e outras sem objeto presente, e para cada imagem o observador deve decidir se o objeto está presente ou não. O sucesso em fazer a determinação correta para cada imagem ruidosa é medido, e esses escores podem ser usados para derivar um índice de detectabilidade (d') que reflete o sucesso estatístico de detectar o objeto com uma dada dose e método de reconstrução. A $d' = 0$ corresponde a nada melhor do que a adivinhação aleatória, enquanto a $d' = 4,38$ corresponde a detectabilidade quase perfeita.

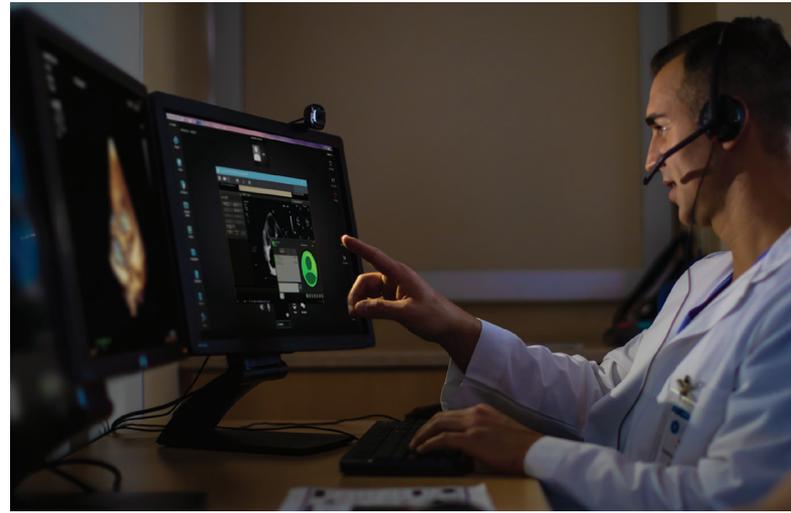
O teste LCD para imagem precisa usa o simulador de baixo contraste MITA CT 189 e se concentra no diâmetro de 10 mm, pino de contraste de 3 UH. O observador-modelo é um observador Hotelling canalizado (CHO) com canais 3-DOG, conforme descrito na ferramenta IQmodelo.² Utilizamos 200 pares de imagens (objeto presente, objeto ausente) e comparamos o d' de FBP na dose de 10 mGy com o Precise Image de 2 mGy (80% de redução da dose).

Os resultados do teste de LCD mostram que a detectabilidade com o Precise Image é 60% melhor do que FBP em 10 mGy. O ruído medido das reconstruções do Precise Image foi 85% menor do que a das imagens do FBP. Este teste mostra que, com o Precise Image, os usuários podem obter uma redução significativa da dose (80%) e imagens de baixo contraste aprimoradas (LCD 60% melhor e ruído 85% menor), tudo isso mantendo uma textura de ruído mais tradicional do que com outras técnicas de reconstrução.*

* Na prática clínica, o uso de Precise Image pode reduzir a dose do paciente de TC, dependendo da tarefa clínica, tamanho do paciente e localização anômica. Uma consulta com um radiologista e um médico deve ser feita para determinar a dose adequada para se obter a qualidade do diagnóstico de imagem para cada tarefa clínica em particular. As avaliações de redução de dose foram realizadas utilizando protocolos de corpo de referência com cortes de 1,0 mm na configuração "Smoother" do Precise Image, e testado no MITA CT IQ Phantom (CCT189, The Phantom Laboratory) avaliando o pino de 10 mm e comparado com a projeção retrofiltrada. Um intervalo é visto através dos quatro pinos, usando uma ferramenta de observação de hotelling canalizada, que inclui menor ruído de imagem em 85% e melhor detectabilidade de baixo contraste de 0% a 60% com redução de dose de 50% a 80%. O deslocamento da curva NPS é usado para avaliar a aparência da imagem, conforme medido em um simulador de água de 20 cm na região central de interesse de 50 mm x 50 mm, com um deslocamento médio de 6% ou menos.

Revisão do clínico

Uma equipe de radiologistas experientes revisou independentemente imagens do tórax, abdome e pelve de 40 pacientes usando iDose4 e Precise Image. Ambos os conjuntos de imagens para cada paciente foram classificados quanto à confiança diagnóstica, nitidez, nível de ruído, textura da imagem e artefatos em uma escala tipo Likert de 5 pontos, onde 1 foi o pior e 5 foi o melhor. Todos os exames foram realizados em níveis de dose de rotina e as imagens iDose⁴ foram reconstruídas na dose adquirida. As imagens com Precise Image foram reconstruídas a 50% da dose adquirida de rotina usando técnicas de simulação de baixa dose.



Para cada atributo avaliado, as avaliações dos dois conjuntos de foram comparadas usando o teste t de Welch para duas amostras ($\alpha=5\%$) a fim de verificar diferenças estatisticamente significantes nas avaliações. Os resultados mostraram uma melhora em cada atributo com imagens do Precise Image reconstruídas a 50% da dose adquirida (Figura 4).

O Precise Image melhora a confiança no diagnóstico em metade da dose

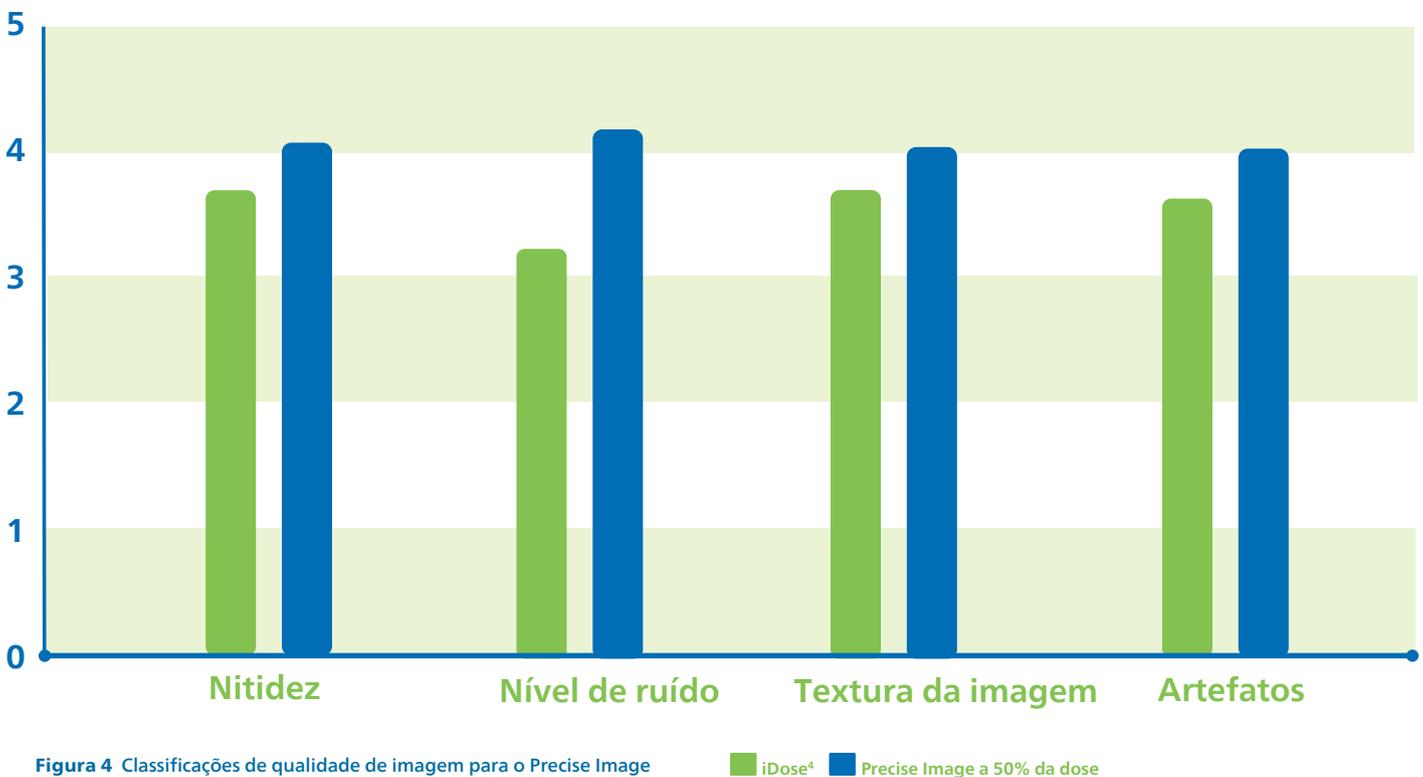


Figura 4 Classificações de qualidade de imagem para o Precise Image reconstruída a 50% da dose de rotina foram maiores do que as imagens de iDose⁴ reconstruídas a 100% da dose de rotina.

■ iDose⁴ ■ Precise Image a 50% da dose

Avaliação independente

Demonstração do potencial de redução de dose em simuladores geométricos e antropomórficos padrão

Três publicações revisadas por pares ^{3,4,5} avaliaram o impacto do Precise Image na qualidade da imagem em doses reduzidas em comparação com iDose4. Cada artigo enfocou uma região corporal diferente e aplicou uma avaliação subjetiva da qualidade da imagem baseada em tarefas aos exames simuladores realizados em múltiplos níveis de dose. Para a avaliação baseada em tarefas, as funções definidas da tarefa avaliadas com simuladores geométricos foram:

- Tórax (lesões de 5 mm): Visualize nódulo de partes moles de baixo contraste no mediastino, opacidade em vidro fosco e lesões pulmonares de alto contraste
- Abdome (lesões de 10 mm): Visualize metástases hepáticas na fase portal, HCC na fase portal e HCC na fase arterial
- Coluna lombar (lesões de 5 mm): Visualize lesões ósseas líticas e escleróticas

Demonstração do potencial de redução de dose em objetos simuladores realistas impressos em 3D

Outro estudo⁶ usou um novo simulador pulmonar impresso em 3D criado a partir de imagens reais de pacientes demonstrando patologia a fim de avaliar o desempenho do Precise Image em doses reduzidas. O simulador impresso em 3D exibe perfis de atenuação, texturas e estruturas que são mais representativas dos exames clínicos do que os simuladores tradicionais. Varreduras realizadas em uma ampla gama de níveis de dose com duas configurações de habitus corporais foram reconstruídas com FBP, iDose⁴ e Precise Image. As métricas quantitativas de qualidade de imagem foram comparadas entre as imagens reconstruídas.

↑ **Até 94% de redução da dose** mantendo ou melhorando a detectabilidade

Principais descobertas

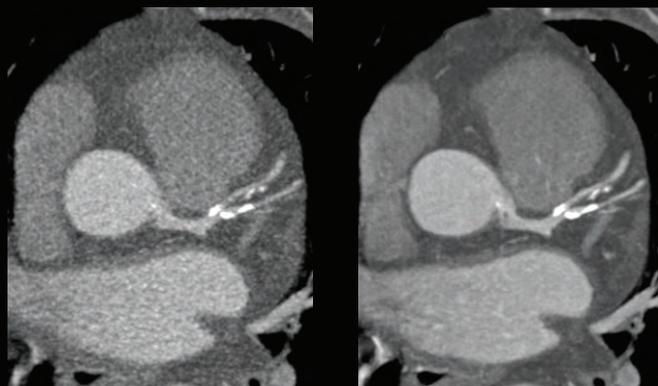
O Precise Image proporcionou uma melhoria significativa na detectabilidade baseada em tarefas (d') em relação ao iDose⁴. Isso permitiu uma potencial redução da dose de 46 a 94% em todas as anatomias, mantendo ou melhorando a detectabilidade em relação à iDose⁴. A avaliação subjetiva da qualidade da imagem realizada por meio de simuladores antropomórficos confirmou que as imagens foram satisfatórias para uso clínico nesses níveis de dose.

↑ **Até 83% de redução da dose** sem comprometer a qualidade da imagem diagnóstica

Principais descobertas

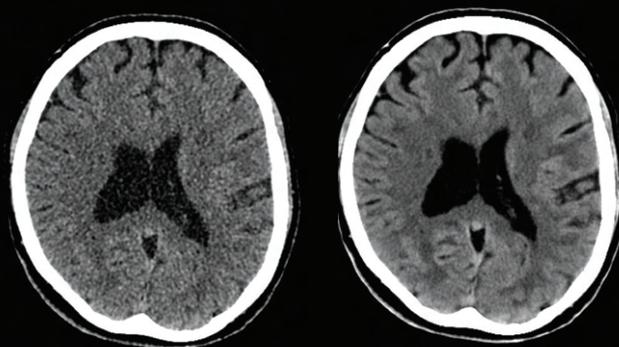
O Precise Image pode reduzir a dose de radiação em comparação com um nível de referência de diagnóstico (12 mGy FBP) em 25 a 83%, dependendo do nível de redução de ruído prescrito sem comprometer a qualidade da imagem diagnóstica, superando a redução de dose obtida através do iDose⁴.

Comparações de imagens clínicas



iDose⁴

Precise Image



iDose⁴

Precise Image



iDose⁴, fatias de 1 mm

Precise Image, fatias de 1 mm



Precise Image, fatias de 1 mm
80 kVp, 35 mAs, CTDI_{vol} 0.8 mGy, DLP 33 mGy*cm,
effective dose 0.46 mSv (k= 0.014)



Precise Image, , IMC 45, fatias de 1 mm



Precise Image, renderização de volume fotorrealista

Conclusão

O Precise Image reduz significativamente a dose, ao mesmo tempo em que melhora a qualidade da imagem com um tempo de reconstrução rápido

O Precise Image é um algoritmo avançado de reconstrução habilitado por IA que demonstrou fornecer simultaneamente 80% menos dose de radiação, 85% menos ruído e 60% melhor detectabilidade de baixo contraste. Ele pode ser usado em uma ampla gama de aplicações clínicas – do corpo à cabeça e cardíaca*. Ele oferece uma aparência de imagem que se assemelha muito à FBP e entrega resultados rapidamente, com todos os protocolos de referência reconstruídos em menos de um minuto.

Simultaneamente**



*O Precise Image para varreduras cardíacas está pendente em 510(k) – não disponível para venda nos EUA.

**Na prática clínica, o uso do Precise Image pode reduzir a dose do paciente na TC dependendo da tarefa clínica, do tamanho do paciente e da localização anatômica. Uma consulta com um radiologista e um médico deve ser feita para determinar a dose adequada para se obter a qualidade do diagnóstico de imagem para cada tarefa clínica em particular. As avaliações de redução de dosagem foram realizadas com protocolos corporais de referência com fatias de 1,0 mm no ajuste "Mais suave" e testadas no MITA CT IQ Phantom (CCT189, Laboratório-Fantasma) avaliando o pino de 10 mm e comparado com uma projeção retrofiltrada. Um intervalo é visto através dos 4 pinos, usando uma ferramenta de observador de hoteling canalizado, que inclui menor ruído de imagem em 85% e melhor detectabilidade de baixo contraste de 0% a 60% com redução de curva dose de 50% a 80%. O deslocamento da NPS é usado para avaliar a aparência da imagem, conforme medida em um fantasma de água de 20 cm na região central de interesse 50 mm x 50 mm, com um deslocamento médio de 6% ou menos. Dados em arquivo.



Referências

1. Žabic S, Wang E, Morton T, Brown KM. Uma ferramenta de simulação de baixa dose para sistemas de TC com detectores de integração de energia. *Med Phys*. 2013;40(3):1–14. DOI: 10.1118/1.4789628
2. Wunderlich A, et al. Intervalos confiáveis e exatos para o desempenho do observador canalizado em estudos de qualidade de imagem. *IEEE Trans Med Imaging*. 2015;34.2:453-464. DOI: 10.1109/TMI.2014.2360496. PMID: PMC5542023.
3. Greffier et al, Impacto de um algoritmo de reconstrução de aprendizagem profunda de inteligência artificial para TC na qualidade da imagem e potencial redução de dose: Um estudo simulado, *Medical Physics* (2022); 1-12.
4. Greffier et al, Contribuição de um algoritmo de reconstrução de aprendizagem profunda de inteligência artificial para otimização de dose em exame de TC de coluna lombar: Um estudo simulado, *Diagnóstico e Intervencionista por Imagem* (2022).
5. Greffier et al, Melhoria da qualidade de imagem e redução de dose em TC abdominal com algoritmo de reconstrução de aprendizado profundo: um estudo simulado, *European Radiology* (2023) 33:699-710.
6. Im, et al. Simuladores PixelPrint derivados do paciente para avaliar o desempenho de imagem clínica de um algoritmo de reconstrução de TC de aprendizado profundo. *MedRxiv preprint*, 2023. doi: <https://doi.org/10.1101/2023.12.07.23299625>.