



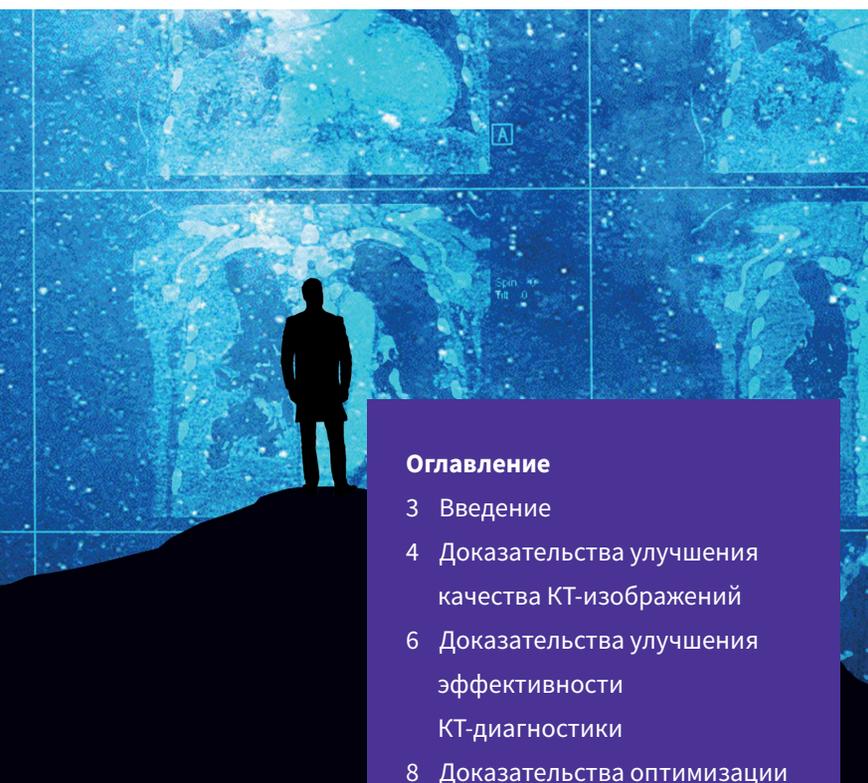
GE HealthCare

Информационный буклет

Улучшение качества КТ-изображений, повышение эффективности диагностики и снижение дозы излучения с помощью TrueFidelity

Обзор результатов реконструкции КТ-изображений с помощью алгоритмов глубокого обучения TrueFidelity, опубликованных в рецензируемых журналах.

Hugo Pasquier, Ph.D., Eugene Huayang Liu, M.D.



Оглавление

- 3 Введение
- 4 Доказательства улучшения качества КТ-изображений
- 6 Доказательства улучшения эффективности КТ-диагностики
- 8 Доказательства оптимизации дозы облучения
- 10 Выводы
- 11 Использованная литература

АННОТАЦИЯ

С момента своего появления в 2018 году технология глубокого обучения TrueFidelity* компании GE HealthCare открыла новую эру реконструкции КТ-изображений. За последние четыре года во всем мире были проведены многочисленные теоретические и клинические исследования, направленные на изучение влияния TrueFidelity на качество КТ-изображений, диагностические возможности и оптимизацию дозы облучения. В данном информационном буклете обобщаются эти проверенные экспертами данные со ссылками на исследования специалистов по КТ и клиницистов.

Введение

Технология реконструкции изображений с помощью глубокого обучения TrueFidelity от GE HealthCare — это первая одобренная Управлением по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США (FDA) технология реконструкции с помощью глубокой нейронной сети, позволяющая создавать высококачественные изображения. TrueFidelity открывает новую эру в реконструкции КТ-изображений, решая проблемы, возникающие при реконструкции методами фильтрованной обратной проекции (FBP) и итеративной реконструкции (IR) (Рис. 1).

В TrueFidelity используется глубокая нейронная сеть (DNN), обученная на высококачественных наборах данных FBP. Она умеет отличать шум от сигналов и подавлять шум с помощью интеллектуальных технологий без ущерба для качества изображений анатомических и патологических структур. TrueFidelity позволяет получать КТ-изображения высокого качества и с предпочтительной текстурой шума. Это дает возможность повысить точность некоторых исследований, включая визуализацию головы, всего тела, сердечно-сосудистой системы пациентов всех возрастов.

С момента ее появления ученые со всего мира провели многочисленные исследования *in vitro* и *in vivo* в различных областях медицинской помощи, чтобы оценить, как изменилось качество КТ-изображений, насколько расширились диагностические возможности, и удалось ли оптимизировать дозу излучения. Результаты были опубликованы в более чем шестидесяти рецензируемых статьях.

В этом информационном буклете приводятся ссылки на ученых и клиницистов, которые изучают возможность проведения дальнейших исследований или внедрения этой технологии в клиническую практику, а также обобщаются проверенные экспертами данные. Производительность TrueFidelity оценивается по трем аспектам:

- 1) качество изображений (т.е. шум, пространственное разрешение и обнаружение патологий);
- 2) эффективность в диагностике неврологических, пульмонологических, гастроэнтерологических и сердечно-сосудистых заболеваний;
- 3) оптимизация дозы рентгеновского излучения при различных клинических показаниях.

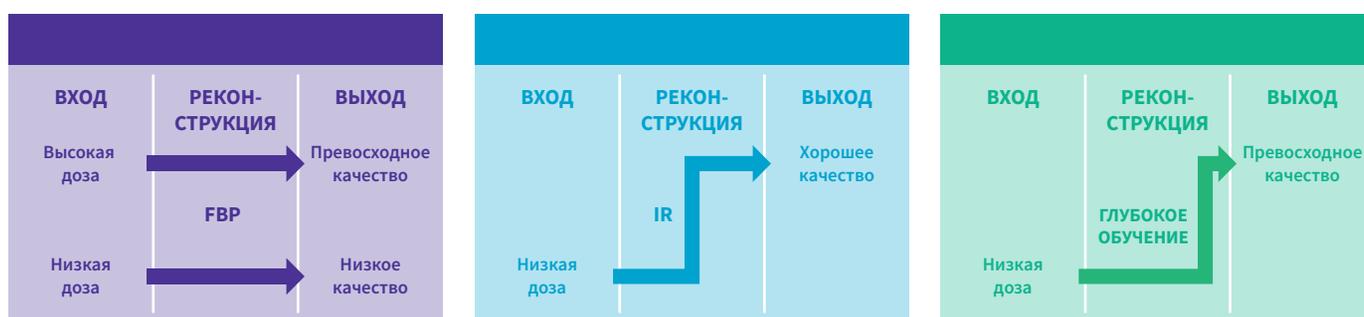


Рисунок 1: Поколения алгоритмов реконструкции КТ-изображения. Недостатки методов фильтрованной обратной проекции (FBP) и итеративной реконструкции (IR) стали поводом для создания новых технологий — технологий реконструкции изображений с помощью глубокого обучения (DLIR).

Доказательства улучшения качества КТ-изображений

Сначала качество изображений, полученных с помощью TrueFidelity, оценивалось в исследованиях на фантоме.

Оценка текстуры шума посредством измерения его спектра мощности, который описывает интенсивность шума как функцию пространственной частоты, проводилась в нескольких исследованиях. Они показали, что TrueFidelity эффективнее уменьшает зашумленность изображений, чем FBP и IR, сохраняя при этом текстуру шума на желаемом уровне, близком к одному из FBP¹⁻³ (Рис. 2).

Что касается пространственного разрешения, для правильного измерения потенциальной зависимости дозы от контраста в этих исследованиях также применялась общая методология, основанная на задачах. Результаты исследования, проведенного Американским колледжем радиологии (American College of Radiology или ACR), и фантомного исследования, проведенного для контроля качества, показали, что TrueFidelity улучшила пространственное разрешение по сравнению с FBP и IR

при большинстве значений контрастности и дозы^{1,2} (Рис. 3).

На основе результатов оценки зашумленности изображений и пространственного разрешения были дополнительно составлены сборники математических моделей для вычисления индексов обнаруживаемости, отражающих способность радиологов распознавать очаги различного размера и контрастности. В целом, исследования ACR и фантомные исследования, проведенные на заказ, показали, что технология TrueFidelity, по сравнению с IR, как правило, повышает низкоконтрастное разрешение небольших образований при любых дозах^{1,2} (Рис. 4).

За счет снижения зашумленности изображений, сохранения текстуры шума и улучшения визуального пространственного разрешения повысилась выявляемость поражений при различных дозах излучения и уровнях контрастности, протестированных в фантомных исследованиях, проведенных для контроля качества^{1,2}.

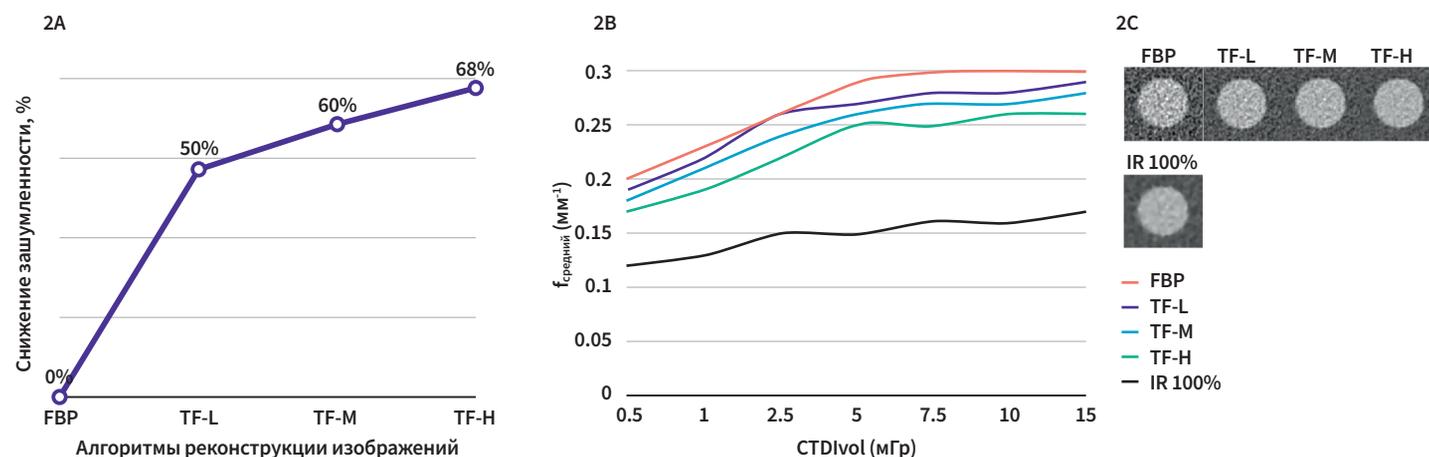


Рисунок 2: Влияние различных алгоритмов реконструкции КТ-изображения на текстуру шума изображений. На Рис. 2А и 2В представлены диаграммы, составленные на основе данных фантомных исследований, опубликованных Греффье и соавт.¹ На **Рис. 2А** представлена количественная оценка среднего уменьшения зашумленности изображений при использовании TrueFidelity в режимах низкой (TF-L), средней (TF-M) и высокой (TF-H) мощности соответственно, по сравнению с изображениями, реконструированными с помощью FBP, полученными в фантомном исследовании ACR, отсканированными при CTDIvol, варьирующимся в диапазоне от 0,5 до 15 мГр; повышение уровня мощности True Fidelity с низкого до высокого еще больше снижает уровень зашумленности реконструированных изображений. На **Рис. 2В** представлена количественная оценка текстуры шума изображений, реконструированных с помощью FBP, IR 100%, TF-L, TF-M и TF-H, путем измерения средней пространственной частоты спектра мощности шума ($f_{\text{средний}}$ (мм^{-1})) как функция CTDIvol; чем ниже средняя пространственная частота, тем более гладкой получается текстура изображения. Различия в зашумленности и текстуре между реконструкциями можно наблюдать на **Рис 2С**: интересующие области размером $3 \times 3 \text{ см}^2$, извлеченные из акриловой вставки изображений, полученных в фантомном исследовании, проведенном ACR, сканированные при CTDIvol 7,5 мГр. В то время как спектр мощности шума имеет тенденцию смещаться к более низким частотам, что приводит к сглаживанию текстуры, при высоком IR (т.е. 100%), изображения, реконструированные с помощью TrueFidelity, даже при высоком уровне мощности имеют среднюю частоту спектра мощности шума более близкую к FBP, что позволяет получать изображения более предпочтительной текстуры. Предоставлено доктором Жоэлем Греффье, Университетский госпитальный центр Нима, Франция.

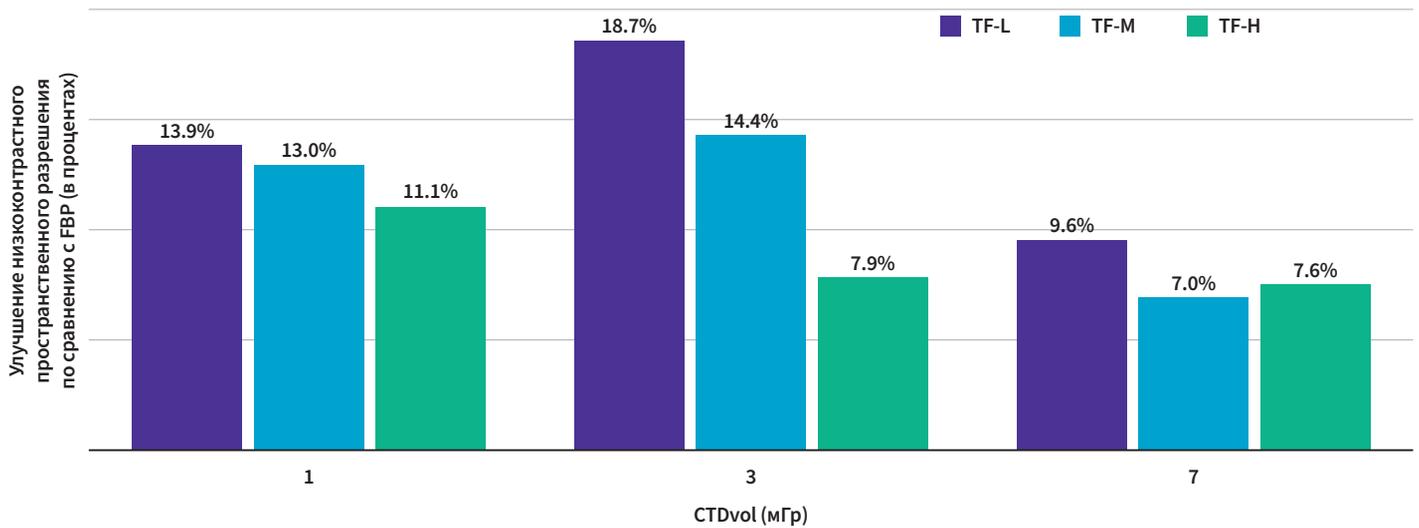


Рисунок 3: Влияние различных алгоритмов реконструкции КТ-изображений на низкоконтрастное пространственное разрешение. Диаграмма была восстановлена на основе опубликованных результатов фантомного исследования, описанных в статье Расин и соавт.² Она представляет собой количественную оценку изменчивости низкоконтрастного пространственного разрешения при использовании TrueFidelity в режимах низкой (TF-L), средней (TF-M) и высокой (TF-H) мощности по сравнению с FBP, путем расчета частоты, при которой целевая передаточная функция достигает 50% своего максимального значения при трех уровнях дозы облучения. Результаты показывают, что TrueFidelity может улучшить визуальное пространственное разрешение, если требуется визуализация с низкой контрастностью.

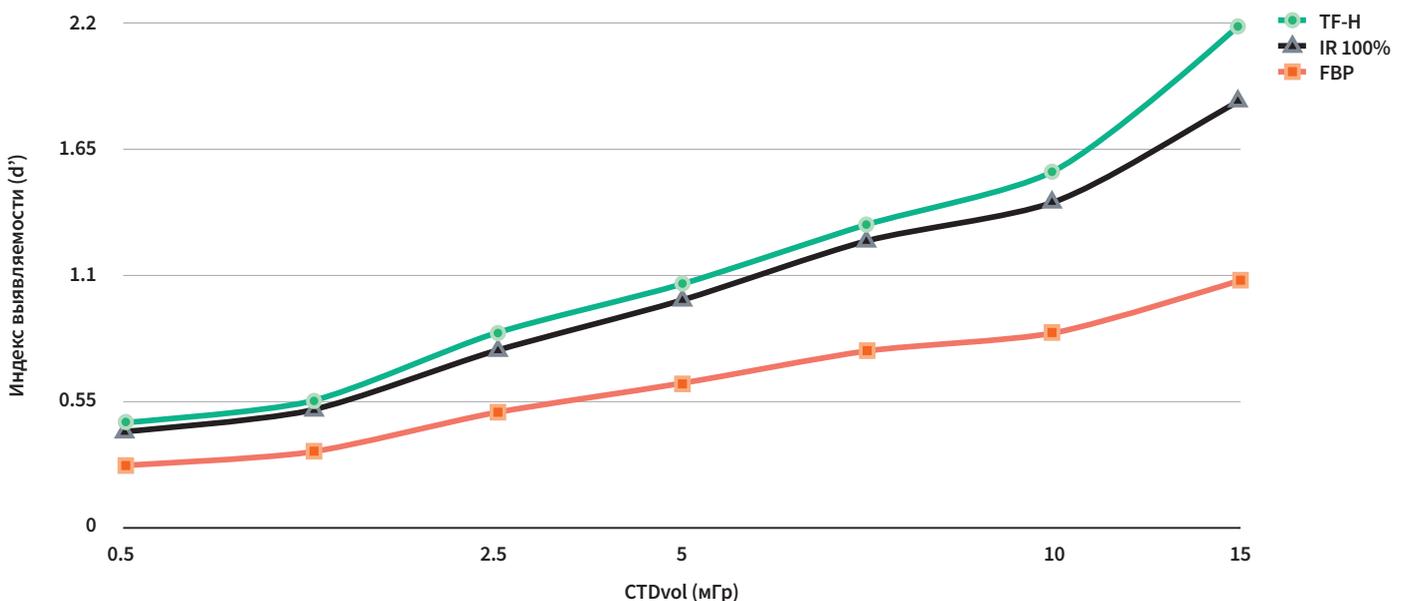


Рисунок 4: Влияние различных алгоритмов реконструкции КТ-изображения на выявляемость тонких поражений брюшной полости. Диаграмма была воссоздана на основе данных фантомного исследования, опубликованного Греффье и соавт.¹. На ней индекс обнаруживаемости представлен как функция дозы для FBP, IR 100%, при использовании TrueFidelity в режиме высокой мощности (TF-H). Индекс выявляемости позволяет радиологам обнаруживать поражения определенного типа, т.к. чем он выше, тем легче обнаружить поражение. Здесь индекс выявляемости был рассчитан для малого поражения печени размером 10 мм с плотностью на 10 HU выше плотности окружающей паренхимы¹. Результаты показывают, что при использовании TrueFidelity в режиме высокой мощности выявляемость небольших низкоконтрастных поражений улучшается по сравнению со случаями, когда показатели IR достигают высоких значений.

Доказательства улучшения эффективности КТ-диагностики

Качество изображений, полученных в исследованиях на фантоме, соответствовало качеству изображений, полученных в клинических исследованиях.

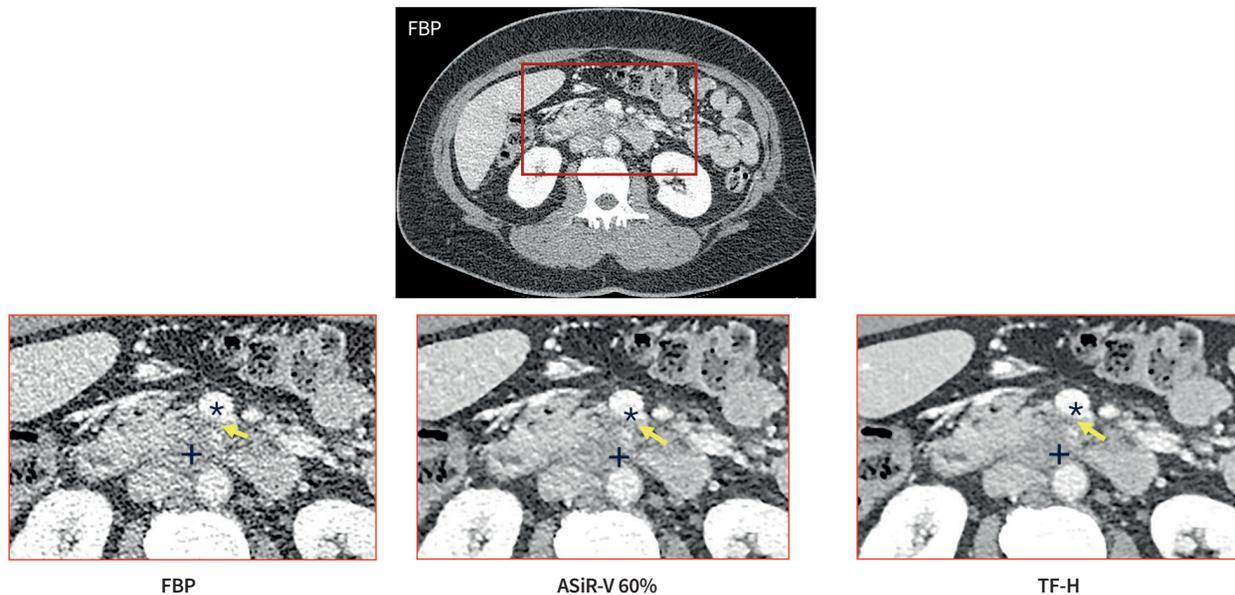
В результате использования TrueFidelity для **визуализации брюшной полости** значительно снизилась зашумленность изображений, что привело к улучшению отношения контрастности к шуму (CNR) и позволило рентгенологам сделать основной акцент на качестве изображений. Таким образом, TrueFidelity позволил повысить качество исследований^{4,5}. При определении резектабельности рака поджелудочной железы с помощью КТ, ретроспективное исследование проводилось под руководством Лю и соавт. с участием четырех рентгенологов, которые обследовали 47 пациентов с подтвержденным раком поджелудочной железы. Они подтвердили, что TrueFidelity может улучшить качество исследований и установили, что рентгенологи положительно относятся к назначению КТ для определения локальной резектабельности рака поджелудочной железы, при этом разногласий среди них стало меньше⁶ (Рисунок 5). Эффективность TrueFidelity также была отмечена при проведении КТ почек и надпочечников, где Би и соавт. показали, что все 52 исследования, проведенные различным пациентам с помощью TrueFidelity, позволили выявить поражения при реконструкции, в то время как почти 10% снимков, реконструированных при IR 70%, были признаны неэффективными⁷.

Аналогичное улучшение качества изображений наблюдалось и при других исследованиях. По результатам **КТ грудной клетки**, проведенного с помощью TrueFidelity, Ким и соавт. продемонстрировали, что шумоподавление позволило улучшить CNR и субъективное качество изображений, что позволило упростить выявление поражений легочных сосудов, трахеи, бронхов, лимфатических узлов, плевры и перикарда⁸. Исследования Цзян и соавт. также подтвердили, что при сверхнизкой дозе излучения TrueFidelity позволяет снизить зашумленность изображений и улучшить их субъективное качество на 80% по сравнению с IR. Эти результаты были связаны с увеличением частоты обнаружения и более точными измерениями легочных узлов, а также лучшей визуализацией злокачественных новообразований при 0,14 мЗв⁹ (Рисунок 6).

По результатам КТ-ангиографии коронарных артерий (coronary computed tomography angiography или CCTA), ретроспективного исследования, проведенного 43 пациентам с подозрением или известным заболеванием коронарной артерии, которым уже была проведена инвазивная коронарная ангиография, было выявлено, что технология TrueFidelity позволяет значительно снизить зашумленность изображений по сравнению с IR, обеспечивая при этом более высокие показатели качества изображений при такой же точности результатов¹⁰. Сопоставимые результаты наблюдались у 80 пациентов, просканированных в условиях низкого напряжения на трубке¹¹ и у 60 пациентов с ожирением без увеличения дозы излучения¹² (Рисунок 7).

При использовании TrueFidelity для проведения **КТ-ангиографии аорты**, Генрих и соавт. наблюдали уменьшение зашумленности изображений, увеличение SNR и CNR, а также улучшение субъективного качества изображений по сравнению со случаями использования современного алгоритма IR, что позволило оптимизировать дозы излучения и контрастного вещества в исследованиях 51 взрослого пациента¹³.

Наконец, TrueFidelity позволил уменьшить зашумленность изображений, улучшить их качество, уменьшив при этом штриховые артефакты на **КТ-снимках головного мозга**, выполненных в 62 плановых исследованиях. В ходе этих исследований удалось обнаружить умеренное увеличение желудочков и расширение кортикальных борозд, физиологические кальцификации в медиальных базальных ганглиях и несколько гиподенсных очагов в белом веществе. В целом такие патологии головного мозга свойственны людям пожилого возраста¹⁴. TrueFidelity также позволила сократить количество недиагностических исследований для 94 пациентов, которые прошли сканирование головы без контраста на приеме в травматологическом отделении¹⁵.



Сравнение алгоритмов реконструкции КТ-изображения при КТ брюшной полости для оценки резектабельности рака поджелудочной железы. Пациентке 52-х лет с протоковой аденокарциномой головки поджелудочной железы (+) было проведено трехфазное КТ брюшной полости: нативная фаза, паренхиматозная фаза поджелудочной железы и портальная венозная фаза. КТ-изображения в портальную венозную фазу были реконструированы с помощью FBP, ASiR-V 60% и TF-H. При оценке небольшого участка непосредственного контакта верхней брыжеечной вены (*) с инфильтрированной парапанкреатической клетчаткой (желтые стрелки) было отмечено, что самой высокой точностью обладают изображения TF-H. Снимки предоставлены доктором Пейцзе Лю.

Сообщалось об улучшении диагностической эффективности при различных клинических показаниях, начиная со сканирования головы при травме, сверхнизкодозной КТ грудной клетки, низковольтной ССТА и заканчивая исследованиями брюшной полости, такими как оценка рака поджелудочной железы, сканирования почек и надпочечников⁴⁻¹⁵.

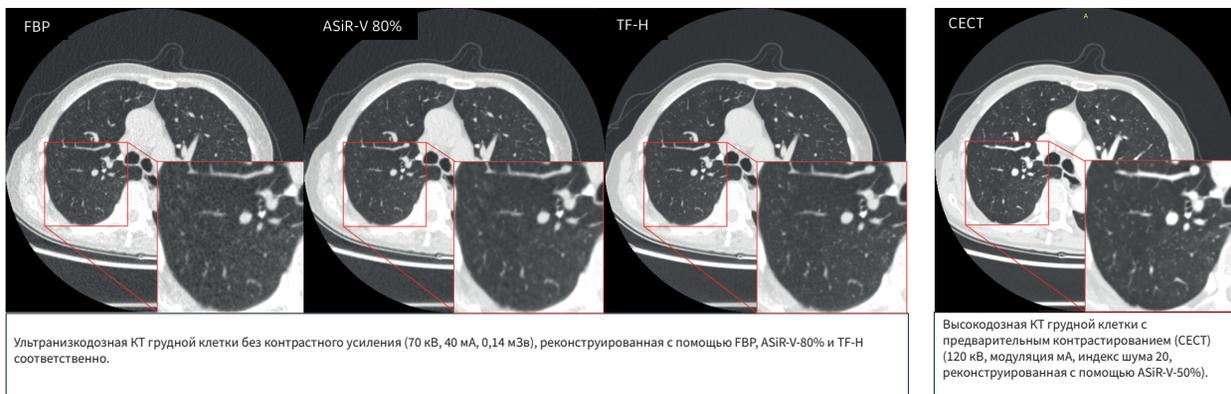


Рисунок 6: Сравнение алгоритмов реконструкции КТ-изображений при сверхнизкодозной (0,14 мЗв) КТ органов грудной клетки. Мужчине 72 года с ИМТ 19 кг/м² и хирургическим вмешательством по поводу рака в средней доле правого легкого, в анамнезе ранее была проведена высокодозная КТ (реконструкция с помощью ASiR-V-50%) и сверхнизкодозная КТ (0,14 мЗв) грудной клетки (снимки были реконструированы с помощью FBP, ASiR-V-80%, TF-H) без контрастного усиления. В области, обведенной красным, показаны фрагменты увеличенных изображений паренхимы легких. На сверхнизкодозном КТ-снимке TF-H паренхима легких и другие элементы видны более отчетливо, по качеству он сравним с изображением, полученным при высокодозной компьютерной томографии. Предоставлено доктором Сюэцзянь Се, отделение радиологии, Шанхайская больница общего профиля, Шанхай, Китай.

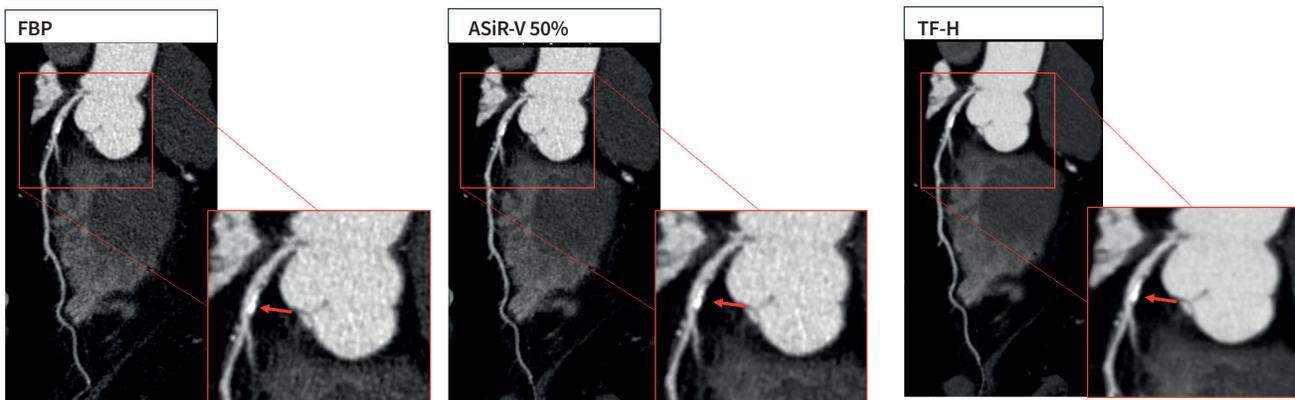


Рисунок 7: Сравнение алгоритмов реконструкции КТ-изображений, полученных в результате проведения КТ-ангиографии коронарных артерий при 80 кВп. Мужчине 59 лет с ИМТ 26,9 кг/м², ЧСС 69 ударов в минуту, было проведено исследование коронарных артерий (80 кВ, 240–305 авто мА, охват детектора 14 см, 0,28 с/оборот, окно экспозиции 75–80%), изображения были реконструированы с помощью FBP, ASiR-V 50% и TF-H. На снимке ЛКА видна кальцифицированная бляшка (красная стрелка). По сравнению с FBP и ASiR-V, на изображении TF-H более четко видна граница между сосудом и кальцифицированной бляшкой с меньшим количеством артефактов жесткости излучения. Предоставлено доктором Вэньцзе Ян, отделение радиологии, больница Жуйцзинь, Шанхай, Китай.

Доказательства оптимизации дозы облучения

Изначально возможности снижения дозы рентгеновского излучения с помощью TrueFidelity оценивались в фантомных исследованиях.

Используя методологию, основанную на клинических задачах и примененную в исследовании на фантомах ACR, Греффье и соавт. поместили внутрь фантома кольцо и провели сканирование при CTDIvol, варьирующемся в диапазоне от 0,5 до 15 мГр. В результате было установлено, что при использовании TrueFidelity в режиме высокой мощности дозу излучения можно снизить на 46–56% для обнаружения различных типов поражений (круглые поражения 500 HU — 1,5 мм; 120 HU — 25 мм и 10 HU — 10 мм) по сравнению с IR 50% при исходном уровне CTDIvol 10 мГр¹.

Применяя аналогичные методы к изготовленному на заказ цилиндрическому фантому диаметром 25 см, Расин и соавт. продемонстрировали, что TrueFidelity при среднем и высоком уровнях мощности позволяет обнаруживать небольшие поражения (50 HU — 5 мм) при сверхнизкой дозе (CTDIvol = 1 мГр) в 100% случаев. По сравнению с IR 50%, при высоком уровне мощности TrueFidelity позволяет снизить дозу излучения на 61%².

Чтобы изучить, за счет чего TrueFidelity позволяет оптимизировать дозу излучения, после первоначальных экспериментов на фантоме были проведены всесторонние клинические исследования, в которых была изучена эффективность этой технологии при разных процедурах.

Бенц и соавт. продемонстрировали, что при КТ-ангиографии коронарных артерий использование TrueFidelity в режиме высокой мощности может обеспечить снижение дозы излучения на 43%, при этом зашумленность изображений, результаты оценки стенозов, состава и количественного объема бляшек существенно не изменились¹⁶. В результате исследований, выполненных под руководством Ли и соавт., было установлено, что использование трубки с напряжением 70 кВ в сочетании с TrueFidelity в режиме высокой мощности при проведении ССТА пациентам нормального телосложения может снизить дозу излучения на 54,5%, сократить расход йодсодержащего контрастного вещества на 50,6% при дальнейшем улучшении качества изображений по сравнению с обычным напряжением на трубке в 120 кВп при IR 60%¹⁷.

Для сравнения, Сан и соавт. продемонстрировали, что при исследованиях детей с использованием TrueFidelity в режиме высокой мощности значительное сокращение расхода йодсодержащего контрастного вещества (на 53%) и дозы излучения (на 36%), по сравнению со случаями использования обычного протокола КТ-ангиографии коронарных артерий при IR 50%, может быть достигнуто при сохранении аналогичного коэффициента качества изображений и точности диагностики¹⁸.

Изучив результаты **исследований брюшной полости**, Нам и соавт. показали, что при снижении дозы излучения менее чем на 50% использование TrueFidelity в режиме высокой мощности позволяет получить изображения верхнего этажа брюшной полости, сравнимые по качеству с изображениями, полученными при специализированной КТ брюшной полости и реконструированными при IR 40%. К тому же, этой технологии отдали предпочтение большинство опрошенных¹⁹. Као и соавт. также продемонстрировали, что при уменьшении дозы излучения на 76% по сравнению с IR 50% для проведения КТ брюшной полости с контрастным усилением пациентам с поражениями печени, использование TrueFidelity в режиме высокой мощности может значительно уменьшить зашумленность изображений и позволяет генерировать изображения клинически приемлемого качества, за счет чего увеличивается точность диагнозов²⁰. Кроме того, исследование, проведенное Дженсен и соавт. показало, что при использовании TrueFidelity в режиме средней мощности и снижении дозы излучения на 65% качество изображений улучшается, а частота выявления поражений печени размером более 0,5 см остается на прежнем уровне²¹. Для оценки литиаза мочевыводящих путей, опухоли или гематурии Ченг и соавт. проанализировали изображения, сделанные в ходе 52 КТ-экскреторных урографий, из которых половина была проведена с использованием стандартного протокола, а другая половина — в низкодозном режиме.

В результате было установлено, что дозу излучения можно снизить на 71%, к тому же, при низкодозных исследованиях с использованием TrueFidelity в режиме высокой мощности можно получить изображения того же качества, что и при использовании обычных протоколов с IR 50%²². Ванг и соавт. показали, что качество КТ-изображений **грудной клетки**, полученных при 0,54 мГр и реконструированных с помощью TrueFidelity в режиме высокой мощности такое же, как и у изображений, полученных при 12,46 мГр и реконструированных при IR 40%²³. Йом и соавт. продемонстрировали, что при использовании TrueFidelity сверхнизкие дозы могут быть применены для оценки морфологических изменений паренхимы, поскольку этот режим позволяет измерять объем легких, показатели аттенуации и эмфиземы²⁴. Наконец, исследование, проведенное Чаунер и соавт. показало, что КТ грудной клетки детей может быть эффективна при дозе излучения 0,1–0,3 мЗв без ущерба для качества изображений²⁵.

Сообщалось, что TrueFidelity позволяет снизить дозу излучения* на 38–96%¹⁶⁻²⁴.

*Данные о снижении дозы представляют собой результаты опубликованных одноцентровых исследований и варьируются в зависимости от клинических показаний, протоколов исследований и методов сравнения. Результаты, полученные в этих исследованиях, не могут быть обобщены и воспроизведены.

Таблица 1. Перечень клинических исследований, в которых оценивалась эффективность TrueFidelity в оптимизации дозы излучения при КТ.

Клинические показания	пациентов	Размер группы	Доза излучения, используемая в обычном дозовом	Мощность используемая в протоколах с нормальными показателями дозы	Доза излучения, используемая в низкодозном	мощности TrueFidelity, используемый в низкодозном	дозы излучения (%) в низкодозном режиме с обычным режимом	Номер литературы
ССТА	Взрослые	50	1,4 мЗв	ASIR-V 100%	0,8 мЗв	Высокий	43%	16
ССТА	Взрослые	100	7,62 мГр	ASIR-V 60%	3,68 мГр	Высокий	55%	17
ССТА	Дети	27	2,24 мГр	ASIR-V 50%	1,40 мГр	Высокий	38%	18
Исследование брюшной полости	Взрослые	2 группы по 50 чел.	7,10 мГр	ASIR-V 40%	3,19 мГр	Высокий	50%	19
Обнаружение малой печеночной кисты	Взрослые	40	3,18 мЗв	ASIR-V 50%	0,76 мЗв	Высокий	76%	20
Обнаружение метастазов в печени (> 0,5 мм)	Взрослые	51	34,9 мГр	ASIR-V 60%	12,2 мГр	Средний	65%	21
Урография	Взрослые	2 группы по 26 чел.	9,6 мГр	ASIR-V 50%	2,95 мГр	Высокий	71%	22
Общее исследование грудной клетки	Взрослые	48	12,46 мГр	ASIR-V 40%	0,54 мГр	Высокий	96%	23
Количественная оценка эмфиземы	Взрослые	32	3,43 мЗв	ASIR-V 50%	0,39 мЗв	Низкий	89%	24

Выводы

В клинической практике наступила эра реконструкции КТ-изображений с помощью инструментов, работающих на основе алгоритмов глубокого обучения. TrueFidelity стала первой технологией, воплотившей в себе уже доказанные преимущества этого типа инструментов. В первых же рецензируемых физических и клинических исследованиях было доказано, что TrueFidelity может улучшить качество КТ-изображений и повысить точность результатов диагностики и производительность КТ-систем в сложных случаях. Учитывая, что новый мощный инструмент позволяет минимизировать излучение, рентгенологам удалось оптимизировать протоколы КТ и снизить дозу излучения без ущерба для качества изображений и точности диагностики.

Эти ранние данные основаны на результатах небольшого количества одноцентровых исследований пациентов с определенными демографическими параметрами и конкретными признаками заболеваний с использованием протоколов одноэнергетической КТ. Мы рассчитываем, что в ближайшее время мы сможем провести крупномасштабные исследования с участием большого количества ученых и врачей для дальнейшей оценки преимуществ TrueFidelity, таких как производительность и улучшение спектральной визуализации КТ.

Список использованной литературы:

1. Greffier, J. et al. Image quality and dose reduction opportunity of deep learning image reconstruction algorithm for CT: a phantom study. *Eur. Radiol.* 30, 3951–3959 (2020).
2. Racine, D. et al. Task-based characterization of a deep learning image reconstruction and comparison with filtered back-projection and a partial model-based iterative reconstruction in abdominal CT: A phantom study. *Phys. Med.* 76, 28–37 (2020).
3. Solomon, J., Lyu, P., Marin, D. & Samei, E. Noise and spatial resolution properties of a commercially available deep learning-based CT reconstruction algorithm. *Med. Phys.* 47, 3961–3971 (2020).
4. Jensen, C. T. et al. Image Quality Assessment of Abdominal CT by Use of New Deep Learning Image Reconstruction: Initial Experience. *Am. J. Roentgenol.* 215, 50–57 (2020).
5. Parakh, A. et al. Sinogram-based deep learning image reconstruction technique in abdominal CT: image quality considerations. *Eur. Radiol.* 31, 8342–8353 (2021).
6. Lyu, P. et al. Effect of deep learning image reconstruction in the prediction of resectability of pancreatic cancer: Diagnostic performance and reader confidence. *Eur. J. Radiol.* 141, 109825 (2021).
7. Bie, Y. et al. Impact of deep learning-based image reconstruction on image quality compared with adaptive statistical iterative reconstruction-Veo in renal and adrenal computed tomography. *J. X-Ray Sci. Technol.* 30, 409–418 (2022).
8. Kim, J. H. et al. Validation of Deep-Learning Image Reconstruction for Low-Dose Chest Computed Tomography Scan: Emphasis on Image Quality and Noise. *Korean J. Radiol.* 22, 131–138 (2021).
9. Jiang, B. et al. Deep Learning Reconstruction Shows Better Lung Nodule Detection for Ultra-Low-Dose Chest CT. *Radiology* 303, 202–212 (2022).
10. Benz, D. C. et al. Validation of deep-learning image reconstruction for coronary computed tomography angiography: Impact on noise, image quality and diagnostic accuracy. *J. Cardiovasc. Comput. Tomogr.* 14, 444–451 (2020).
11. Wang, M. et al. A deep-learning reconstruction algorithm that improves the image quality of low-tube-voltage coronary CT angiography. *Eur. J. Radiol.* 146, 110070 (2022).
12. Wang, H. et al. Assessment of Image Quality of Coronary Computed Tomography Angiography in Obese Patients by Comparing Deep Learning Image Reconstruction With Adaptive Statistical Iterative Reconstruction Veo. *J. Comput. Assist. Tomogr.* 46, 34–40 (2022).
13. Heinrich, A. et al. Deep Learning-Based Image Reconstruction for CT Angiography of the Aorta. *Diagn. Basel Switz.* 11, 2037 (2021).
14. Kim, I., Kang, H., Yoon, H. J., Chung, B. M. & Shin, N.-Y. Deep learning-based image reconstruction for brain CT: improved image quality compared with adaptive statistical iterative reconstruction-Veo (ASIR-V). *Neuroradiology* 63, 905–912 (2021).
15. Alagic, Z. et al. Deep learning versus iterative image reconstruction algorithm for head CT in trauma. *Emerg. Radiol.* 29, 339–352 (2022).
16. Benz, D. C. et al. Radiation dose reduction with deep-learning image reconstruction for coronary computed tomography angiography. *Eur. Radiol.* 32, 2620–2628 (2022).
17. Li, W. et al. High-strength deep learning image reconstruction in coronary CT angiography at 70-kVp tube voltage significantly improves image quality and reduces both radiation and contrast doses. *Eur. Radiol.* 32, 2912–2920 (2022).
18. Sun, J. et al. Performance evaluation of using shorter contrast injection and 70 kVp with deep learning image reconstruction for reduced contrast medium dose and radiation dose in coronary CT angiography for children: a pilot study. *Quant. Imaging Med. Surg.* 11, 4162171–4164171 (2021).
19. Nam, J. G., Hong, J. H., Kim, D. S., Oh, J. & Goo, J. M. Deep learning reconstruction for contrast-enhanced CT of the upper abdomen: similar image quality with lower radiation dose in direct comparison with iterative reconstruction. *Eur. Radiol.* 31, 5533–5543 (2021).
20. Cao, L. et al. A study of using a deep learning image reconstruction to improve the image quality of extremely low-dose contrast-enhanced abdominal CT for patients with hepatic lesions. *Br. J. Radiol.* 94, 20201086 (2021).
21. Jensen, C. T. et al. Reduced-Dose Deep Learning Reconstruction for Abdominal CT of Liver Metastases. *Radiology* 303, 90–98 (2022).
22. Cheng, Y. et al. Low-dose CT urography using deep learning image reconstruction: a prospective study for comparison with conventional CT urography. *Br. J. Radiol.* 94, 20201291 (2021).
23. Wang, H., Li, L.-L., Shang, J., Song, J. & Liu, B. Application of deep learning image reconstruction in low-dose chest CT scan. *Br. J. Radiol.* 95, 20210380 (2022).
24. Yeom, J.-A. et al. Emphysema Quantification Using Ultra-Low-Dose Chest CT: Efficacy of Deep Learning-Based Image Reconstruction. *Medicina (Mex.)* 58, 939 (2022).
25. Tschauner, S. et al. Ultra-low-dose lung multidetector computed tomography in children - Approaching 0.2 millisievert. *Eur. J. Radiol.* 139, 109699 (2021).

Зарегистрировано в РФ в качестве принадлежности «Программный пакет для выполнения реконструкции изображений с применением технологий глубинного обучения на оптических или электронных носителях» к медицинскому изделию «Томограф компьютерный Revolution CT, Revolution CT ES с принадлежностями». Продукт доступен не для всех моделей компьютерных томографов и не во всех странах. Для проверки доступности опции обратитесь к представителю GE HealthCare.



© 2023 GE HealthCare. Все права защищены.

GE HealthCare оставляет за собой право вносить изменения в описанные здесь характеристики и функции, а также снять продукт с производства в любое время без предупреждения и обязательств.

GE является товарным знаком компании General Electric, используемым на основании лицензионного соглашения.

Январь 2023 г.

JB01785RU