**Использование двухэнергетической компьютерной томографии для определения электронной плотности металлических объектов**

***Залялов И.Р.1, 2, Черняев А.П.1, Нечеснюк А.В.2, Логинова А.А.2***

*1Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, физический факультет, Москва, Россия*

*2ФГБУ «НМИЦ детской гематологии, онкологии и иммунологии имени Дмитрия Рогачева» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва, Россия*

*E–mail:* *ildar\_zalyalov@mail.ru*

Устоявшимся методом визуализации для планирования лучевой терапии является компьютерная томография (КТ), которая позволяет одновременно получить информацию об анатомическом строении пациента и о величине относительной электронной плотности (ОЭП, RED – relative electron density) его тканей и других объектов, находящихся в области облучения. Точность определения электронной плотности напрямую влияет на точность расчета поглощенной дозы, поэтому важно использовать корректный метод перевода КТ чисел в ОЭП. Для биологических тканей используют кривую перевода, полученную при сканировании фантома с тканеэквивалентными вставками с известной ОЭП. Форма данной кривой имеет нерегуляную форму и возникают трудности с её интерполяцией и экстраполяцией в области с высокими плотностями.

Двухэнергетическая компьютерная томография (ДЭКТ) позволяет получить дополнительную информацию о свойствах тканей за счет разницы эффективных коэффициентов линейного ослабления при разных спектрах излучения. Самым доступным вариантом исполнения данного метода, который можно использовать и в отделениях лучевой терапии, являются два последовательных сканирования на обычном компьютерном томографе при разных значениях напряжения на рентгеновской трубке.

Целью данной работы является разработка метода определения электронной плотности металлических объектов с использованием двухэнергетического подхода на компьютерном томографе с фиксированной энергией сканирования.

В литературе был предложен способ построения кривой перевода модифицированных КТ чисел (1) в электронную плотность (2), которая имеет линейную форму [1].

$$\begin{array}{c}ΔHU=HU\_{H}+α\left(HU\_{H}-HU\_{L}\right)\#\left(1\right)\end{array}$$

$$\begin{array}{c}RED=a\left(\frac{ΔHU}{1000}\right)+b\#\left(2\right)\end{array}$$

Здесь HUH и HUL – КТ числа, полученные при сканировании с высоким и низким напряжением на рентгеновской трубке соответственно. Коэффициент α подбирается так, чтобы коэффициент детерминации R2 между величинами ΔHU и ОЭП для набора вставок с известными ОЭП был максимален, а и b находятся путем аппроксимации этих данных. Было показано, что данная модификация КТ чисел является аналогом получения виртуальных КТ изображений, полученных при монохроматическом спектре излучения с энергией приблизительно 1 МэВ [2]. Действительно, при такой энергии преобладающим видом взаимодействия фотонов с широким набором элементов (более 98% для элементов с Z=1-30) является Комптон-эффект, который линейно зависит от электронной плотности. Это позволяет предположить, что линейная экстраполяция прямой полученной с использованием тканеэквивалентных вставок позволит с приемлемой точностью определять электронную плотность металлических объектов с неизвестным составом.

В ходе работы на компьютерном томографе Discovery RT (GE) при разных значениях напряжения на рентгеновской трубке (80, 120 и 140 кВ) по стандартному протоколу для области таза были отсканированы фантомы CIRS 062M (Sun Nuclear) и Cheese-Phantom (Gammex) с тканеэквивалентными вставками с известной ОЭП и образец алюминия с расчетной массовой плотностью 2.71 г/см3.

С использованием инструментов программного обеспечения Microsoft Excel 2021 был определен параметр α=0.775 приводящий к наибольшему коэффициенту детерминации R2=0.9989 между величинами ΔHU и табличными значениями ОЭП для вставок фантома Cheese. Аппроксимирующая прямая ρe(ΔHU) имела параметры a=1.007 и b=0.988. Наибольшее отклонение экспериментальной точки от этой прямой наблюдалось для вставки с плотностью легких – 0.7%. Значения ОЭП вставок фантома CIRS 062M, полученные из этой прямой после сканирования, были сравнены со значениями от производителя. Для вставок с плотностью легких на вдохе и на выдохе разница составила 5.2% и 3.5% соответственно, для других вставок – не более 1.9% (рисунок 1).

Рисунок 1 - Прямая перевода ΔHU-RED и экспериментальные точки, полученные при сканировании фантомов Cheese и CIRS 062M

По этой же кривой определена ОЭП алюминиевого образца, она составила 2.51 единиц. Нам неизвестно точное значение ОЭП образца, поэтому она была оценена косвенно. Для расчета дозы, система планирования Monaco 5.11 (Elekta), переводит ОЭП в массовую плотность ρ по теоретической формуле, которая для материалов с ОЭП>1 имеет вид ρ=(RED-0.15)/0.85. По этой формуле получаем оценку RED=2.45, которая отличается от вычисленной нами на 2.4%. Также было определено значение ОЭП образца по стандартной кривой перевода HU-RED, используемой в рутинной практике. Оно составило 2.23 единицы, что отличается от теоретической оценки на 9%.

Полученные результаты позволяют полагать, что по модифицированной кривой ΔHU-RED можно более точно определять электронные плотности металлических объектов, чем по обычной кривой HU-RED. Исследование нуждается в продолжении с использованием различных металлических образцов с известной ОЭП.

Литература

1. Saito M. Potential of dual‐energy subtraction for converting CT numbers to electron density based on a single linear relationship //Medical physics. – 2012. – Т. 39. – №. 4. – С. 2021-2030.
2. Saito M. Relation between dual‐energy subtraction of CT images for electron density calibration and virtual monochromatic imaging //Medical Physics. – 2015. – Т. 42. – №. 7. – С. 4088-4093.