

Барabanов Д.Д., Зельский И.А.

## МЕТОД ОЦЕНКИ ДОЗЫ ВНУТРЕННЕГО ОБЛУЧЕНИЯ РАДИОФАРМПРЕПАРАТОМ «ФТОР-18-ДЕЗОКСИГЛЮКОЗА» С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПЭТ/КТ РЕКОНСТРУКЦИЙ

*Аннотация.* Позитронная эмиссионная томография, совмещённая с мультиспиральной компьютерной томографией – радионуклидный томографический метод исследования внутренних органов. Помимо основной диагностической задачи, этот метод может быть использован для точного определения дозы внутреннего облучения после введения внутривенно радиофармпрепарата.

*Ключевые слова:* ПЭТ/КТ, радиофармпрепарат, дозовые нагрузки.

*Abstract.* Positron emission tomography combined with multislice computed tomography is a radionuclide tomographic method of the internal organs researching. In addition to its diagnostic application, PET/CT method could be used for accurate determination of internal radiation exposure dose.

*Keywords:* PET/CT, radiopharmaceutical, radiation exposure dose.

### Введение

ПЭТ/КТ (Позитронная эмиссионная томография, совмещённая с мультиспиральной компьютерной томографией) – радионуклидный томографический метод исследования внутренних органов. Как изображено на Рисунке 1, метод основан на регистрации пары гамма-квантов, возникающих при аннигиляции позитронов с электронами. Позитроны возникают при позитронном бета-распаде радионуклида, входящего в состав радиофармпрепарата, который вводится в организм перед исследованием.

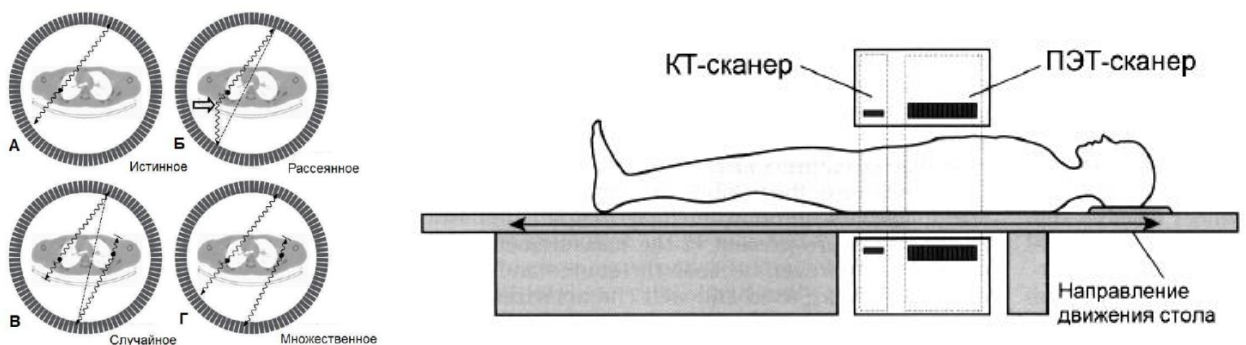


Рисунок 1 – Позитронно-эмиссионная томография

В Центре ядерной медицины г. Екатеринбурга установлен 16 срезовый ПЭТ/КТ сканер Discovery PET/CT 610 производства GE Healthcare. Результат стандартного ПЭТ/КТ сканирования с использованием радиофармпрепарата

(РФП) 18-Фтордезоксиглюкоза(ФДГ) представлен на Рисунке 2. Так как ФДГ – это биологический аналог глюкозы, распределение по организму аналогично распределению глюкозы, которую клетки онкологических новообразований потребляют гораздо интенсивнее. В этом и состоит суть метода ПЭТ/КТ визуализации – оценка уровня накопления глюкозы.

Существует множество разновидностей РФП, каждый применяется в зависимости от клинических показаний. Наиболее универсальным является ФДГ. Внутривенное введение любого из РФП влечёт за собой сопутствующее внутреннее облучение. Результаты ПЭТ/КТ исследования возможно использовать для оценки распределения объёмной активности РФП по организму.

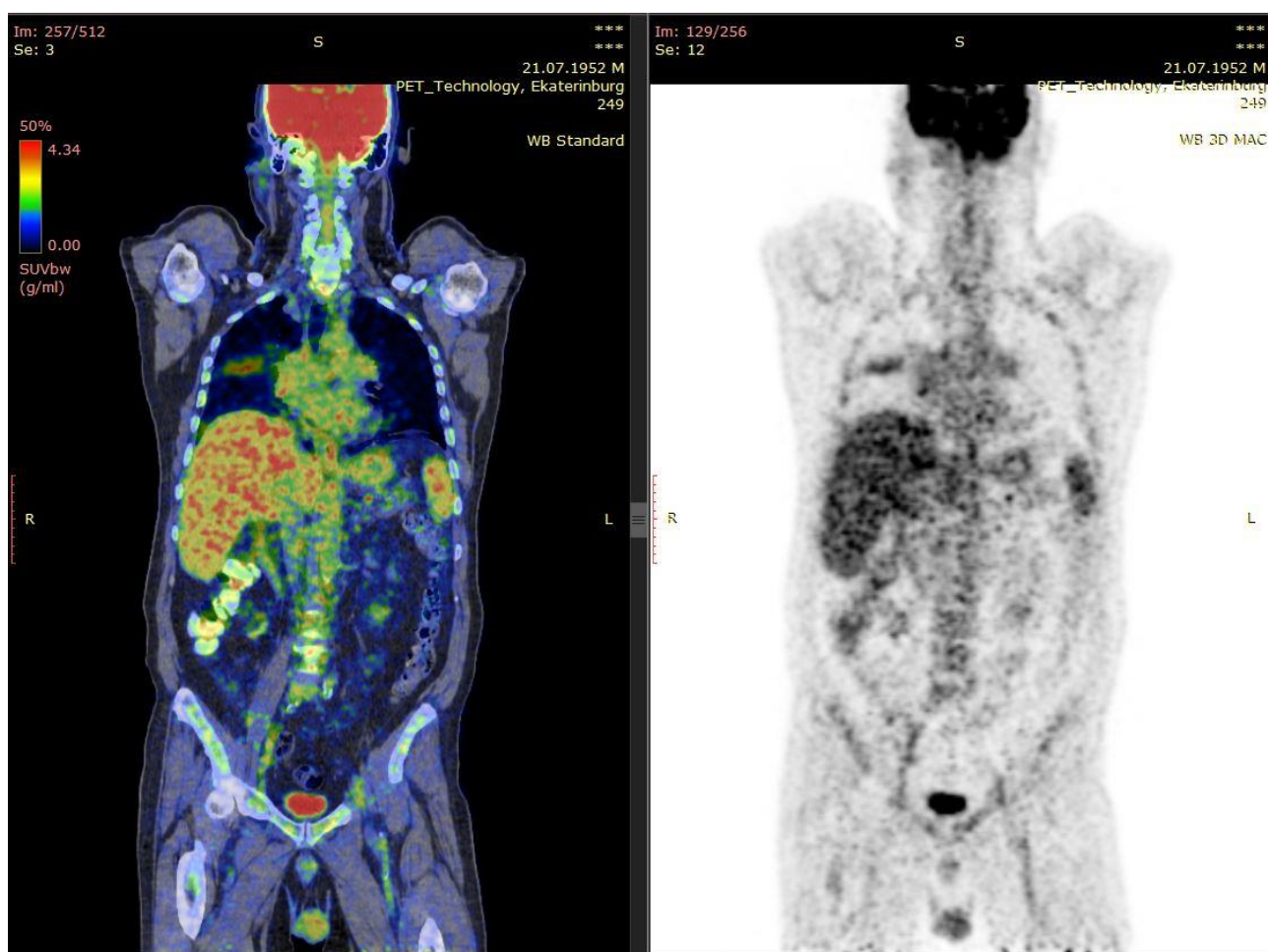


Рисунок 2 – (слева) – ПЭТ/КТ визуализация, (справа) – ПЭТ визуализация

### **Постановка задачи**

На настоящее время не отработаны методики по вычислению эффективной дозы внутреннего облучения при внутривенном введении диагностических РФП. В медицинских подразделениях используются

коэффициенты перехода от активности к эффективной дозе. Данный метод не обладает достаточной точностью и при многократных ПЭТ/КТ процедурах ошибка вычисления эффективной дозы будет накапливаться, что может привести к необоснованному медицинскому облучению при неверном расчёте уже полученной дозы.

Для оценки поглощенных доз во всех важных тканях необходимо определить для каждой ткани количество поглощенной энергии в единице массы. Такой подход допустим при расчёте поглощенных доз от позитронов. Для аннигиляционного гамма излучения наиболее оптимально использование специфических керма-постоянных и модели распределённых в среде точечных источников. В общем виде эффективная доза внутреннего облучения складывается из эффективной дозы от позитронного облучения и эффективной дозы от аннигиляционного гамма облучения [1]:

$$E_{eff} = \sum_i W_{iT} W_{i\beta^+} D_{\beta^+} + \sum_j W_{jT} W_{j\gamma} D_{\gamma} \quad (1)$$

где  $W_{i\beta^+}$ ,  $W_{j\gamma}$  – взвешивающие коэффициенты для вида излучения;  $W_{iT}$ ,  $W_{jT}$  – взвешивающие коэффициенты для критических органов;  $D_{\beta^+}$ ,  $D_{\gamma}$  – поглощённые дозы излучения.

Взвешивающие коэффициенты – величины известные. Основная задача состоит в вычислении поглощённых доз.

### Методика расчёта

Результаты ПЭТ/КТ сохраняются в формате DICOM, стандартном формате для медицинских изображений. ПЭТ-серия формируется в виде набора аксиальных срезов, выполненных с шагом 3,3 мм по вертикальной оси. Каждый срез состоит из 256×256 пикселей, каждому из которых соответствует значение концентрации активности РФП, выраженное в Бк/мл и соответственно насыщенность черным цветом. Расстояние между центрами пикселей в аксиальном срезе составляет 2,7 мм. Таким образом, ПЭТ-изображение может быть представлено в виде массива данных – набора сферических вокселей (объемных пикселей) диаметром 2,7 мм. Количество вокселей определяется как 256×256×кол-во срезов в ПЭТ-серии. При среднем количестве в 500 срезов для исследования от теменных до пяточных костей, ПЭТ-изображение может быть разделено на 32768000 вокселей. Для обработки такого массива данных потребуется использование параллельных вычислений на графических процессорах.

Таким образом, для постановки задачи в программной среде C++ определяются следующие начальные условия:

1) Трёхмерное изображение ПЭТ-серии разбивается на  $N$  вокселей с объёмной активностью, выраженной в Бк/мл;

2) Каждый воксель представляет собой точечный источник позитронного и гамма излучения в центре сферы диаметром 2,7 мм.

3) Поглощенная доза от позитронного излучения в каждом вокселе рассчитывается по следующей формуле:

$$D_{\beta^+} = 0.97 \cdot \int_0^{\infty} A(t) dt \cdot \frac{E_{cp}}{\rho}, \quad (2)$$

где  $D_{\beta^+}$  – поглощенная доза от позитронного излучения (в связи с ультракоротким временем жизни и длиной пробега позитрона в мягких тканях считаем, что вся кинетическая энергия позитрона переходит в энергию ионизации среды);  $A(t)$  – активность РФП пересчитанная на момент начального распределения;  $E_{cp}$  – средняя кинетическая энергия позитрона.

4) Поглощенная доза от аннигиляционного гамма-излучения рассчитывается по следующей формуле [2]:

$$D_{\gamma} = \int_0^{\infty} A(t) dt \cdot \frac{\Gamma_{\delta}}{r^2} \cdot e^{-\mu r} \cdot B_d(\mu r), \quad (3)$$

где  $D_{\gamma}$  – поглощенная доза от аннигиляционного гамма излучения;  $A(t)$  – активность РФП пересчитанная на момент начального распределения;  $\Gamma_{\delta}$  – керма-постоянная;  $r$  – расстояние от точечного источника до вокселя-мишени;  $B_d$  – фактор накопления.

5) Поглощенная доза в конкретном органе рассчитывается путём суммирования по объёму поглощенных доз в вокселях соотнесенного к количеству вокселей.

На Рисунке 3 изображены аксиальный и корональный срез ПЭТ/КТ реконструкции. Наиболее насыщенным чёрным цветом (оранжевым справа) отображаются области с наибольшим накоплением РФП. Белым цветом (чёрным справа) отображено отсутствие накопления РФП. В информации к Рисунку приведены данные по расположению курсора мыши – номера пикселей по осям абсцисс и ординат, номер высоты среза относительно центра сканирования, величина концентрации активности РФП в Бк/мл.

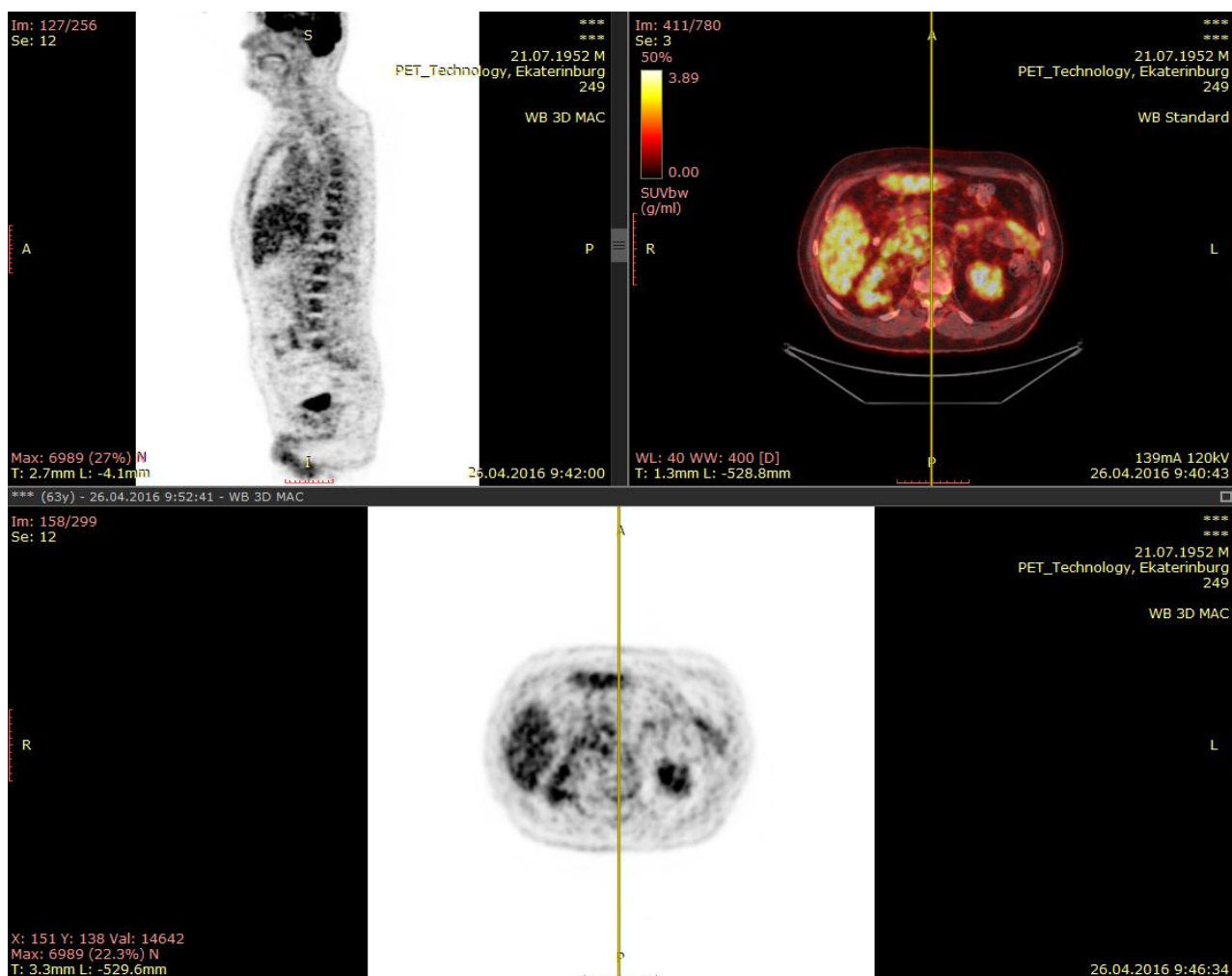


Рисунок 3 – Аксиальный и корональный срез ПЭТ-реконструкции

### Заключение

В первом приближении приведена методика расчёта поглощённых доз внутреннего облучения от введённого внутривенно диагностического радиофармпрепарата. Учёт дозовых нагрузок пациентов является важной составляющей в диагностике и терапии различных заболеваний в связи с возможной вероятностью возникновения стохастических радиационных рисков и осложнений.

### Библиографический список

1. Костылев В. А. Медицинская физика / В. А. Костылев, Б. Я. Наркевич. – Москва : Медицина, 2008. – 464 с.
2. Вишнякова Н. М. Концепция оптимизации радиационной защиты пациентов при медицинском диагностическом облучении / Н. М. Вишнякова // АНРИ. – 2010.– № 4. – С. 7–12.