УСКОРИТЕЛИ ЧАСТИЦ В МЕДИЦИНСКОЙ ДИАГНОСТИКЕ

PARTICLE ACCELERATORS IN MEDICAL DIAGNOSTICS

О. М. Бояркин, А. В. Капская
O. Boyarkin, A. Kapskaya

*Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь
kapskayaa@mail.ru*

Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

Результаты фундаментальных исследований в физике элементарных частиц находят свое применение в медицине. При этом они используются не только для лечения, но и для медицинской диагностики. В данной работе мы рассматриваем современные методы визуализации с помощью ускорителей частиц.

The results of fundamental researches in particle physics are applied in the medicine. Wherein they are used not only for treatment but for medical diagnostics as well. In the present work we consider the contemporary visualization methods with the help of particle accelerators.

Ключевые слова: ускоритель частиц, медицинская визуализация, радиоактивные изотопы, позитронно-эмиссионная томография, протонная компьютерная томография.

Keywords: particle accelerator, medical imaging, radioactive isotopes, positron emission tomography, proton computed tomography.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-2-205-207>

Ускорители частиц – это установки, в которых получают направленные пучки электронов, протонов, ионов и других заряженных частиц с энергией, значительно превышающей тепловую с помощью электрических и магнитных полей. В процессе ускорения повышаются скорости частиц, причем нередко до значений, близких к скорости света [1].

Ускорители можно принципиально разделить на две большие группы:

- Линейные ускорители, где пучок частиц однократно проходит ускоряющие промежутки.
- Циклические ускорители, в которых пучки движутся по замкнутым кривым типа окружностей, проходя ускоряющие промежутки помногу раз.

Электрическое поле способно напрямую совершать работу над частицей, то есть увеличивать её энергию. Магнитное поле лишь отклоняет частицу, не изменяя её энергии, и задаёт орбиту, по которой движутся частицы.

В первую очередь необходимо отметить вклад ускорителей частиц в позитронно-эмиссионную томографию (далее – ПЭТ), являющуюся методом медицинской визуализации, позволяющим получить детальное трехмерное изображение исследуемого объекта.

Принцип работы ПЭТ заключается во введении радиоактивного изотопа в организм человека. Изотоп подвергается радиоактивному распаду в результате, которого излучается позитрон. Позитрон, двигаясь в теле, теряет энергию и замедляется. В некоторой точке позитрон, сталкиваясь с электроном, аннигилирует, рождая пару гамма-квантов с энергией 511 кэВ, разлетающихся под углом $180^\circ \pm 0.4^\circ$ как показано на рис. 1.

Рисунок 1 – Аннигиляция позитрона в системе ПЭТ

Эти гамма кванты затем регистрируются детектором, отправляющим данные в компьютер для получения изображения [2].

Изотопы производят при помощи ускорителя частиц, который, ускоряя протоны или ионы, инициирует ядерную реакцию, в которой образуются радиоактивные изотопы. В химическом процессе эти изотопы «включаются» в молекулы, которые могут быть введены в организм пациента, путем ингаляции, перорально или путем инъекции. Эти молекулы используются в специфических процессах в организме пациента. Испускаемое излучение может быть обнаружено специальными детекторами, и полученное трехмерное изображение распространения молекулы дает диагностическую информацию.

Сканирование с помощью ПЭТ измеряет важные функции организма, такие как кровоток, потребление кислорода и метаболизм сахара (глюкозы), а компьютерная томография дает отличную анатомическую информацию. Преимущество метода ПЭТ заключается в использовании атомов (изотопов ПЭТ), типичных для биологии, например: углерода, кислорода, азота и фтора. Также возможно определить концентрацию изотопов в трехмерном изображении абсолютным способом, что делает метод ПЭТ очень мощным во многих случаях.

Чтобы облегчить интерпретацию изображений сканирование ПЭТ можно комбинировать с: МРТ или компьютерной томографией (далее – КТ).

Магнитно-резонансная томография (далее – МРТ) это метод сканирования, основанный на явлении ядерного магнитного резонанса, т.е. на способности протонов менять свою ориентацию в пространстве под воздействием сильного электромагнитного поля.

Принцип работы МРТ следующий. Облучая радиоизотопным импульсом ткани тела пациента, помещенного в сильное магнитное поле (в тысячи и десятки тысяч раз сильнее магнитного поля Земли), получают от ядер подвижных атомов водорода (протонов) радиоволновой (магнитно-резонансный) сигнал, на основе которого и строится изображение с помощью компьютера. Фактически МР-изображение – это не один, а нескольких видов изображений, полученных в разных режимах с отличающимся контрастом. [3].

Компьютерная томография (КТ) — это способ получения послойных срезов тела человека или другого объекта с помощью рентгеновских лучей. При КТ вокруг тела пациента вращается рентгеновская трубка, а расположенные на противоположной стороне детекторы регистрируют рассеянное рентгеновское излучение [4].

ПЭТ / КТ - это сочетание классической компьютерной томографии и позитронно-эмиссионной томографии, принцип действия которой показан на рис. 2. Этот метод предоставляет информацию о структуре и метаболизме органов и систем в теле пациента.

Рисунок 2 – Принцип действия и технология диагностики ПЭТ/КТ

Информация из сканирования ПЭТ и КТ отличается, но дополняет друг друга. ПЭТ-сканирование показывает области с повышенной метаболической активностью, в то время как компьютерная томография показывает подробные анатомические положения.

На рис. 3 представлена комбинация этих двух изображений, которая позволяет врачу определить, является ли регион с высокой метаболической активностью значительным, и, если это так, точно указать, где находится это место.

ПЭТ / МРТ — это диагностическое исследование, в ходе которого одновременно выполняется магнитно-резонансная и позитронно-эмиссионная томография всего тела (от верхней части головы до середины бедер). Как показано на рис. 4 сочетание высокого пространственного разрешения и тонкой анатомической детализации мягких тканей при МРТ с высокой молекулярной специфичностью визуализации ПЭТ в реальном времени обеспечивает огромные функциональные возможности данного метода.

Главным преимуществом в сравнении с ПЭТ / КТ является снижение дозы облучения пациента.

Рисунок 3 – Комбинация изображений ПЭТ и КТ (ПЭТ / КТ)

Рисунок 4 – Комбинация изображений ПЭТ и МРТ (ПЭТ / МРТ)

Кроме позитронно-эмиссионной томографии, ускорители частиц используются в, так называемой, протонной компьютерной томографии, которая похожа на обычную компьютерную томографию, но использует протоны, а не рентгеновские лучи. Физические свойства протонных взаимодействий могут позволить получать изображения, эквивалентные КТ, но при низких дозах облучения, что является критически важным при частой визуализации [5]. Этот новый метод позволит снизить воздействие вредного излучения на пациента, создавая при этом более точные 3D-изображения, чем те, которые получаются на современных компьютерных томографах.

Сканирование с помощью протонной компьютерной томографии также имеет широкие возможности повышения эффективности протонной лучевой терапии, что может улучшить протонную терапию и уменьшить побочные эффекты, связанные с неопределенностью диапазона протонного пучка.

Таким образом, ускорители частиц, первоначально разработанные для исследований в области физики, играют важнейшую роль в медицинской области: они использовались непосредственно в качестве источника рентгеновского излучения для радиологии и косвенно участвовали в разработке физических принципов, лежащих в основе МРТ-визуализации. Кроме этого ускорители частиц применяются в протонной и фотонной лучевой терапии, протонной компьютерной томографии, а также в синтезе радиоизотопов, которые используются в позитронно-эмиссионной томографии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Забаев, В.Н. Применение ускорителей в науке и промышленности: учебное пособие / В.Н.Забаев - Издательство Томского политехнического университета, 2008. – 194 с.
2. Blodgett, T.M. PET/CT: Form and Function [Text] / T.M. Blodgett, C.C. Meltzer, D.W. Townsend // Radiology, 2007. – Vol. 242. – № 2. – P. 360-85.
3. Филюстин, А.Е. Основы МРТ в медицинской практике. Практическое пособие для врачей / А.Е. Филюстин, Г.Д. Панасюк, А.В. Доманцевич. – Гомель: ГУ «РНПЦ РМиЭЧ», 2018. – 25 с.
4. Марусина, М. Я. Современные виды томографии: учебное пособие. / М.Я. Марусина, А.О. Казначеева – СПб: СПбГУ ИТМО, 2006. – 132 с.
5. R. Schulte, V. Bashkurov, T. Li; J.Z. Liang, K. Mueller, J. Heimann, L.R. Johnson, B. Keeney, H. F.-W. Sadrozinski, et al. “Conceptional design of a proton computed tomography system for applications in proton radiation therapy”, IEEE Trans. Nucl. Sci., 2004. – Vol 51. – P. 866 - 872.

ВЫЯВЛЕНИЕ МУТАЦИЙ В ГЕНАХ BRCA1 И BRCA2 – ПЕРСПЕКТИВНОСТЬ ПРОВЕДЕНИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО СКРИНИНГА

IDENTIFICATION OF MUTATIONS IN BRCA1 AND BRCA2 GENES- THE POTENTIAL FOR GENETIC SCREENING

С. Д. Бруякин¹, Е. Е. Тарасова¹, И. В. Суворова²
S. Bruyakin¹, E. Tarasova¹, I. Suvorova²

¹Белорусский государственный университет, МГЭИ им. А. Д. Сахарова БГУ,
г. Минск, Республика Беларусь

²ИООО «Синэво», г. Минск, Республика Беларусь
bruyakin.sergey@gmail.com

¹Belarusian State University, ISEI BSU, Minsk, Republic of Belarus

²«Synevo» LLC, Minsk, Republic of Belarus

От 5% до 10% всех случаев рака молочной железы (далее – РМЖ) имеют генетическую предрасположенность. 80–90% случаев наследственного рака молочной железы (далее – НРМЖ) являются результатом мутаций, затрагивающих гены: Breast Cancer1/2 (далее – BRCA1/2). Исследования в области молекулярной генетики позволяют идентифицировать носителей мутантных аллелей, что крайне важно для эффективного лечения и профилактики РМЖ.

Between 5% and 10% of all cases of breast cancer (BC) have a genetic predisposition. 80–90% of cases of hereditary breast cancer (HBC) are the result of mutations affecting the genes: Breast cancer1/2 (BRCA1/2). Research in the field of molecular genetics allows the identification of carriers of mutant alleles, which is extremely important for effective treatment and prevention of BC.

Ключевые слова: молочная железа, рак молочной железы, BRCA1, BRCA2, мастэктомия, трижды негативный рак, гомологичная рекомбинация (далее – HR).

Keywords: mammary gland, breast cancer, BRCA1, BRCA2, mastectomy, thrice negative cancer, homologous recombination (HR).

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-2-208-211>

По данным ВОЗ РМЖ является наиболее распространенным онкологическим заболеванием среди женщин. У мужчин РМЖ встречается в 100 раз реже.

Выделяют 2 формы РМЖ: наследственную и спорадическую. Патологические аллели BRCA1/2 определяют наследственную предрасположенность к РМЖ.

НРМЖ имеет ряд особенностей, отличающих его от спорадической формы: более молодой возраст прогрессирования заболевания, высокий риск развития рака контралатеральной молочной железы (далее – РКМЖ), особая гистологическая картина – до 80% случаев эта форма рака представлена трижды негативным раком (ТНР) с высоким пролиферативным индексом и III степенью злокачественности.

Мутации в генах BRCA1/2 более чем в 5 раз увеличивают риск развития РМЖ. Согласно некоторым данным, к 70 годам кумулятивный риск развития РМЖ у женщин, являющихся носителями патологических аллелей гена BRCA1, находится в пределах 57–65%, при этом риск развития рака яичников (далее – РЯ) составляет 39–40%. При обнаружении мутации в гене BRCA2 вероятность развития РМЖ составляет 45–49%, для РЯ – 11–18%. Другими формами рака, имеющими повышенный риск развития при мутации BRCA1/2, являются: рак поджелудочной железы (до 2%), рак желудка и рак головы и шеи [1].

Своевременный генетический скрининг позволяет предотвратить развитие РМЖ или подобрать наиболее эффективное лечение в случаях уже доказанного наличия опухоли, нельзя не отметить важность знания BRCA1/2 статусов партнеров при планировании семьи.

Ген BRCA1 находится на длинном плече 17-й хромосомы (17q21) содержит 22 кодирующих экзона и 2 не кодирующих экзона, а соответствующий белок состоит из 1863 аминокислот. Ген BRCA2 расположен на 13-й хромосоме (13q12.3) состоит из 26 кодирующих экзонов, 1 не кодирующего экзона, 26 интронов и кодирует белок из 2329 аминокислот. Для генов BRCA1/2 характерен аутосомно-доминантный тип наследования с неполной пенетрантностью.

Молекулярная структура генов BRCA1/2 очень нестабильна и вариабельна. Возможно это связано с наличием повторяющихся фрагментов в генах BRCA1/2 (47 % в BRCA1 и 42 % в BRCA2, в основном представленных за счет Alu-повторов). Также полагают, что некоторые участки белкового продукта гена BRCA1 имеют незначительную структурную консервативность, и аминокислотные замены внутри них не оказывают влияния