

## ПЭТ в стереотаксической нейрохирургии

### Аннотация

В Институте мозга человека РАН использовали ПЭТ и совмещенный МСКТ-ПЭТ при подготовке стереотаксического лечения опухолей мозга. Стереотаксические операции состояли из биопсии и криодеструкции опухоли. Такая технология позволяет определять пролиферативно-активные зоны опухоли мозга и осуществлять наведение на них стереотаксического инструмента. При использовании МСКТ-ПЭТ точность стереотаксического наведения на мишень составляет 1,5 мм.

### Введение

С 1999 года в Институте мозга человека РАН при лечении глиальных опухолей головного мозга применяется метод локальной стереотаксической крионейрохирургии. Ключевую роль в успехе этого метода играют устройства и способы визуализации внутримозговых новообразований. Попытки использования для этих целей методов рентгенографии в 60-х годах прошлого столетия [1], [2] практически привели к отказу от стереотаксического лечения опухолей. Это было связано с тем, что данные методы не могли обеспечить достаточно высокое качество диагностики опухолей мозга, что сказывалось на низкой точности стереотаксического наведения на внутримозговую мишень. Современные методы визуализации – МРТ, КТ, ПЭТ позволяют решить эту задачу, причем каждый из перечисленных методов имеет свои достоинства: например, МРТ обладает самой высокой анатомической информативностью, у ПЭТ самая высокая функциональная информативность. Совмещая томограммы, полученные с помощью этих методов, можно получить достоверную информацию о взаимном расположении функциональных и патологических структур, очень важную при стереотаксическом хирургическом лечении опухолей мозга.

К настоящему времени в Институте мозга человека накоплен определенный опыт использования методов визуализации в стереотаксической нейрохирургии. Начиная с 2004 года наиболее ценную информацию, необходимую для лечения опухолей мозга, мы получаем с помощью позитронно-эмиссионных исследований с радиофармпрепаратом  $^{11}\text{C}$ -метионином. Особенностью  $^{11}\text{C}$ -метионина является способность избирательно накапливаться в опухолях мозга, характеризующихся повышенным уровнем биосинтеза белка, выявляя таким образом опухоли при ПЭТ-исследованиях. Накопленный опыт ПЭТ-диагностики глиальных опухолей с  $^{11}\text{C}$ -метионином позволил сформулировать ПЭТ-синдром, характерный для определенного вида глиальных опухолей с дифференцировкой их степени злокачественности по индексу накопления (ИН) препарата: чем выше ИН, тем злокачественнее опухоль и тем активнее она пролиферирует [3]-[5]. В то же время опухоли чаще всего накапливают препарат неравномерно – в них можно определить зоны максимального накопления. Полученный феномен позволяет выделить с помощью ПЭТ зоны опухоли, которые наиболее активно пролиферируют, и принять эти зоны в качестве основной мишени для биопсии и криодеструкции. В ряде работ показано, что стереотаксическая биопсия из зон максимального накопления радиофармпрепарата существенно повышает достоверность гистологической диагностики опухоли [6]. Стереотакси-

ческое наведение по данным ПЭТ позволяет осуществлять селективную деструкцию пролиферативно-активных зон новообразования, т. е. зон, обеспечивающих рост опухоли. Разрушение этих зон способно замедлить или остановить рост опухоли и таким образом решить основную задачу хирургического лечения опухоли мозга.

### Материалы и методы

Стереотаксические биопсии и криодеструкции глиальных опухолей мозга проводились с их планированием на ПЭТ-сканере MC-17, PC-2048 фирмы «Skanditronix». Высокая функциональная информативность ПЭТ позволяла выявлять наиболее пролиферативно-активные зоны мозга, на эти зоны осуществлялось стереотаксическое наведение с целью проведения биопсии или криотомии опухоли. Для стереотаксических операций использовались две стереотаксические системы разработки Института мозга человека – «ПОАНИК» с манипулятором «ОРЕОЛ» и «НИЗАН» [7], [8]. В обеих системах используются устройства – локализаторы, позволяющие получать на томограммах реперные точки, относительно которых рассчитываются координаты внутримозговой мишени в системе координат стереотаксического манипулятора. В стереотаксической системе «НИЗАН» использовался пластиковый локализатор треугольной формы, стороны которого были контрастированы для рентгеновского излучения путем внедрения в них стальной проволоки диаметром 0,3 мм. Для ПЭТ-подготовки стереотаксических операций была разработана программа «Адаптор», позволяющая связать координатную систему манипулятора «НИЗАН» с координатной системой томографа. Для этого было изготовлено устройство, с помощью которого манипулятор жестко и однозначно крепился на столе томографа. Для визуализации локализатора манипулятора «НИЗАН» на его сторонах располагались трубки диаметром 2 мм, заполненные раствором, содержащим радиоактивный позитрон-излучающий изотоп  $^{11}\text{C}$ , и в определенном положении стола относительно гентри томографа производилось сканирование. Точность установки стола в фиксированное положение обеспечивалась электронной следящей системой и составляла 0,1 мм. При подготовке к стереотаксической операции пациент укладывался на стол томографа, его голову крепили индивидуальной маской, стол томографа устанавливался в фиксированное положение, и проводилось сканирование. С помощью программных возможностей томографа полученные сканы головы пациента совмещались с полученными ранее сканами локализатора. В итоге на ПЭТ-томограммах получали изображение головы пациента и срезы активированных граней локализатора, которые в дальнейшем использовались как внешние реперные точки для стереотаксических расчетов

(рис. 1а). С целью более точного определения близлежащих к мишени структур получали совмещенные изображения ПЭТ-КТ или ПЭТ-МРТ. Для этого проводили дополнительное МРТ- или ПЭТ-сканирование. В связи с тем, что все сканирования проводились при неизменном положении головы, обеспеченном фиксирующей индивидуальной маской, совмещение изображений производилось на компьютере вручную, совмещением реперных точек.

Томографическая подготовка к стереотаксической операции на системе «ПОАНИК» проводилась с точечным локализатором, фиксируемым на зубах пациента с помощью оттиска зубов на термопластичной массе. Для того чтобы реперные точки были видны на ПЭТ-томограммах, рентгенконтрастные алюминиевые шарики локализатора активировали, для чего их окунали в раствор, содержащий радиоактивный изотоп С11 с удельной активностью около 0,01 МКБ/см<sup>3</sup>, и затем высушивали на фильтровальной бумаге. После такой манипуляции шарики локализатора становились видимыми на ПЭТ-томограммах, и их можно было использовать в качестве

реперных точек для проведения стереотаксических расчетов (рис. 1б).

В то же время планирование стереотаксических операций при помощи ПЭТ было затруднено из-за его недостаточной разрешающей способности, необходимости активирования реперных элементов, применяющихся для стереотаксического наведения, а также неудовлетворительной визуализации структур мозга, прилегающих к опухоли.

С использованием для подготовки стереотаксических операций МСКТ-ПЭТ «Gemini TF» фирмы «Philips» (рис. 2) эти недостатки были исключены.

Для оценки точности совмещения ПЭТ- и КТ-изображений перед использованием этой методики на пациентах был проведен эксперимент. В МСКТ-ПЭТ-томограф размещали фантом головы человека с закрепленным в нем активированным локализатором системы «ПОАНИК» и проводили сканирование. На полученных совмещенных томограммах мы получили КТ-изображения реперных точек, которые хорошо совпадают с их ПЭТ-изображениями.

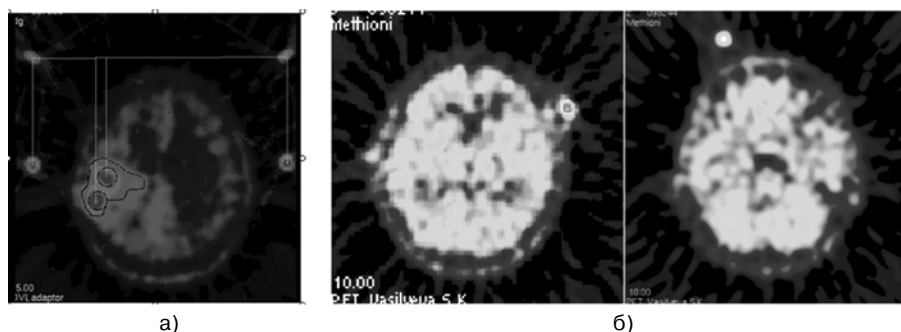


Рис. 1. Стереотаксическая подготовка на ПЭТ с радиоактивными локализаторами: а) подготовка с активированным диагональным локализатором манипулятора «НИЗАН-М»; б) стереотаксическая подготовка с активированным точечным локализатором манипулятора «ОРЕОЛ»



Рис. 2. Стереотаксическая подготовка пациентов на МСКТ-ПЭТ: а) на манипуляторе «НИЗАН-М»; б) с локализатором манипулятора «ОРЕОЛ»

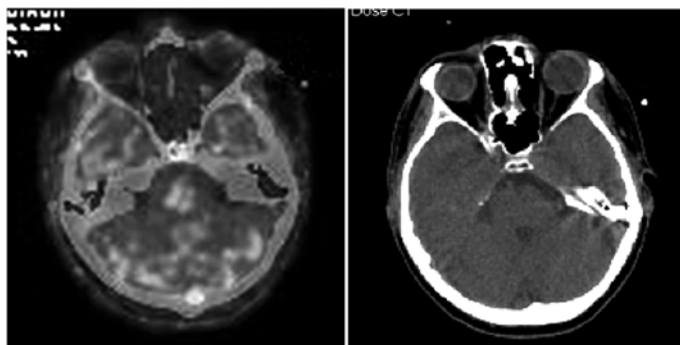


Рис. 3. Получение изображения реперной точки от неактивного локализатора на совмещенных МСКТ-ПЭТ-изображениях

Результаты проведенного эксперимента позволили нам в дальнейшем использовать неактивные КТ-локализаторы с рентгенконтрастными реперными элементами для локализации внутримозговых мишеней на совмещенных МСКТ-ПЭТ-томограммах. Координаты реперных точек определялись на совмещенных томограммах по КТ-изображению, и в той же серии томограмм определялись координаты внутримозговой мишени. Данная технология позволяет определять стереотаксические трехмерные координаты X, Y, Z реперных точек в режиме МСКТ, а целевых точек в опухоли – в режиме ПЭТ. Такой подход позволил нам отказаться от использования активированных локализаторов и значительно повысить точность определения координат реперных точек, а следовательно, и точности стереотаксического наведения (рис. 3).

Голова пациента в манипуляторе «НИЗАН-М» зафиксирована при помощи индивидуальной маски из термопластика, что исключает смещения головы в процессе томографии при переходе из МСКТ в ПЭТ. В результате исследования на совмещенном томографе были получены 3 серии томограмм: МСКТ, ПЭТ и совмещенные МСКТ-ПЭТ. На МСКТ-ПЭТ-совмещенных изображениях хорошо визуализируются реперные срезы треугольного локализатора и одновременно ПЭТ-изображение внутримозгового образования (рис. 4).

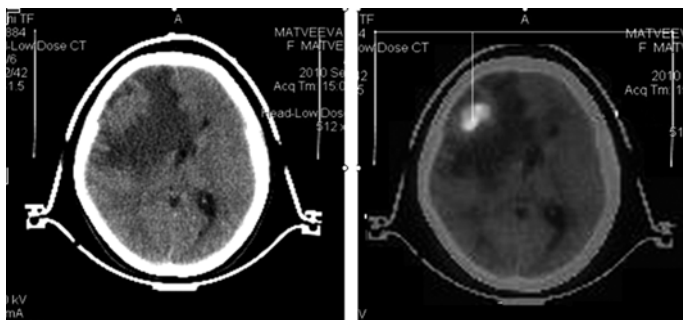


Рис. 4. Локализация внутримозговой мишени на манипуляторе «НИЗАН-М» при помощи МСКТ-ПЭТ

При подготовке стереотаксических операций с использованием совмещенного МСКТ-ПЭТ получали МСКТ-изображения мозга с матрицей 512x512 пикселей, толщиной 1 мм и шагом реконструкции 0,5 мм. Матрица ПЭТ-изображения содержит 128x128 пикселей с толщиной среза 2 мм. Проведенные фантомные измерения точности стереотаксического наведения на мишень выявили среднюю погрешность в 2 мм при использовании ПЭТ-сканера и 1,5 мм – при использовании совмещенного МСКТ-ПЭТ. Такая величина погрешности вполне допустима для стереотаксического лечения опухолей мозга.

Режим МСКТ способен обеспечить изотропное трехмерное пространственное разрешение, необходимое для планирования стереотаксических вмешательств, а встроенная программа совмещения КТ- и ПЭТ-изображений позволяет добиться точности наведения на внутримозговую мишень, достаточной как для нефункционального, так и для функционального стереотаксиса.

## Результаты

В Институте мозга человека описанная методика была применена у 59 пациентов с опухолями головного мозга. Новообразования располагались в глубинных отделах лобных долей, мозолистом теле, в области височно-теменно-затылочного стыка. В связи с близостью к опухо-

ли потенциально опасных зон всем пациентам была не показана открытая нейрохирургическая операция. В качестве альтернативного метода в этих случаях нами применялась стереотаксическая криотомия опухолей мозга. По показаниям ПЭТ или МСКТ-ПЭТ пациентам выполняли стереотаксическую биопсию и криодеструкцию. Стереотаксическая биопсия была информативна у всех пациентов. Осложнений не было. В случаях опухолей большого размера с явно выраженными пролиферативно-активными зонами криодеструкции подвергались только эти зоны. При таком подходе получали клинические результаты, сопоставимые с тотальным удалением опухоли [9], [10].

## Выводы

Накопленный опыт стереотаксического лечения внутримозговых новообразований показал, что совмещенный МСКТ-ПЭТ является оптимальным устройством для подготовки таких стереотаксических операций на мозге человека, как биопсия и локальная криотомия опухолей мозга. Сочетание высокой разрешающей способности КТ с высокой функциональной информативностью ПЭТ дает возможность не только надежно визуализировать зоны опухоли с максимальной пролиферацией опухолевых клеток, но и достаточно точно определять координаты новообразования и локализационных устройств.

Применение совмещенных изображений МСКТ-ПЭТ с радиофармпрепаратом <sup>11</sup>C-метионином для подготовки и проведения стереотаксических операций позволило сформулировать следующие преимущества использования этого устройства для целей стереотаксической нейрохирургии:

- надежная идентификация опухоли с помощью ПЭТ и определение ее злокачественности по индексу накопления радиофармпрепарата;
- определение активно пролиферирующих зон опухоли с помощью ПЭТ и использование этих зон в качестве мишеней для стереотаксического воздействия;
- определение с помощью МСКТ функциональных структур, расположенных вблизи зоны стереотаксического воздействия, и, исходя из этой информации, планирование безопасных траекторий доступа к внутримозговой мишени;
- возможность использования неактивных КТ-локализаторов для определения координат реперных точек и внутримозговой мишени;
- высокая разрешающая способность КТ, совмещенная с высокими информативными возможностями ПЭТ, при стереотаксическом лечении опухолей мозга позволяют обеспечить стереотаксическое наведение на планируемую мишень с точностью 1,5 мм.

## Список литературы:

1. Кандель Э.И. Функциональная и стереотаксическая нейрохирургия. – М.: Медицина, 1981. 367 с.
2. Абраков Л.В. Основы стереотаксической нейрохирургии. – Л., 1975. 231 с.
3. Медведев С.В., Рудас М.С., Скворцова Т.Ю. ПЭТ-диагностика с <sup>11</sup>C-метионином некоторых видов церебральных глиом // Лучевая диагностика на рубеже столетий. Сб. статей под ред. Т.Н. Трофимовой. – СПб., 1999. С. 19-20.
4. Низковолос В.Б. Биофизическое и медико-техническое обоснование локальных воздействий на ткани мозга для стереотаксической нейрохирургии / Автореф. докт. техн. наук. – СПб., 2007. 36 с.

5. Скворцова Т.Ю. ПЭТ-диагностика астроцитарных опухолей головного мозга / Автореф. канд. мед. наук. – СПб., 2004. 23 с.
6. *Pirotte B., Goldman S., Massager N. et al.* Comparison of 18F-FDG and 11C-Methionine for PET-Guided Stereotactic Brain Biopsy of Gliomas // *J. Nucl. Med.* 2004. Vol. 45. PP. 1293-1298.
7. Аничков А.Д., Полонский Ю.З., Низковолос В.Б. Стереотаксические системы. – СПб.: Наука, 2006. 142 с.
8. Низковолос В.Б., Аничков А.Д., Гурчин А.Ф. Стереотаксическая нейрохирургическая система «НИЗАН-М» // *Медицинская техника.* 2012. № 1. С. 8-12.
9. Холявин А.И., Гайдар Б.В., Фокин В.А., Мартынов Б.В., Парфенов В.Е., Труфанов Г.Е., Низковолос В.Б., Скворцова Т.Ю., Декан В.С., Свистов Д.В. Стереотаксическая криодеструкция глиом головного мозга: оценка данных послеоперационной томографии // *Вестник Российской Военно-медицинской академии.* 2012. № 1 (37). С. 8-13.
10. Мартынов Б.В., Холявин А.И., Парфенов В.Е., Низковолос В.Б., Труфанов Г.Е., Фокин В.А., Декан В.С., Алексеева Н.П., Грачева П.В., Кофман А.В., Свистов Д.В. Метод стереотаксической криодеструкции в лечении больных с глиомами большого мозга // *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко.* 2011. № 4. Т. 75. С. 17-24.

*Владимир Бенъевич Низковолос,  
д-р техн. наук, ведущ. научный сотрудник,  
Андрей Иванович Холявин,  
д-р мед. наук, ст. научный сотрудник,  
лаборатория стереотаксических методов,  
Татьяна Юрьевна Скворцова,  
канд. мед. наук, ст. научный сотрудник,  
лаборатория нейровизуализации,  
Институт мозга человека им. акад. Бехтерева РАН,  
г. С.-Петербург,  
e-mail: Nizk@ihb.spb.ru*

**В.А. Щуров, Т.И. Долганова, Д.В. Долганов**

## **Установка для измерения силы мышц бедра**

### **Аннотация**

Предложено устройство для определения силы мышц бедра: разгибателей-сгибателей голени, сгибателей-разгибателей бедра, приводящих и отводящих бедро. В таблице представлены показатели динамометрических характеристик мышц бедра в зависимости от возраста (7-40 лет).

Выделены два режима работы мышц интактной конечности у пациентов с анкилозом тазобедренного сустава, где патогномичным является симптом отсутствия движений в тазобедренном суставе и фиксированное порочное положение конечности. Любое движение больной ноги – как занесение ее вперед или назад, так и приведение и отведение – совершается за счет подвижности в здоровом тазобедренном суставе.

Полученные сведения отражают клиническую картину и позволяют уточнить тактику и характер реабилитационных мероприятий с учетом особенностей восстановительного процесса.

В настоящее время невозможно представить себе полноценное обследование больного с ортопедической патологией нижних конечностей без оценки сократительных свойств мышц. В литературе имеются работы, посвященные исследованию диагностики движений суставов и динамометрии мышц голени и бедра [1]-[3]. Наибольшая корреляционная зависимость выявлена между показателями силы и площадью поперечного сечения мышц [4]; для сравнения разнополюх и разновозрастных групп был предложен относительный показатель – сила/площадь поперечного сечения мышцы [5]. Этот показатель (сила/площадь) увеличивается в 2 раза с 6 до 20 лет без каких-либо половых различий и не зависит от половых гормонов [6]. Вместе с тем в диагностической практике даже интерпретация значений кистевой динамометрии (наиболее доступный и распространенный вид тестирования мышечной силы) сопряжена с рядом трудностей методического и методологического порядка. Проблемы, как правило, касаются физиологического обоснования такого тестирования, техники его проведения и оценки полученных результатов. Необходимость тестирования мышц бедра при патологии тазобедренного сустава становится очевидной и не требует обоснования, в то время как техника его проведения и оценка полученных результатов тестирования требуют обстоятельного рассмотрения. Кроме того, значения полученных результатов не ограничиваются чисто практическим использованием для диагностики и динамического наблюдения за больным. Результаты систематических исследований являются предметом научного обобщения и теоретического обоснования процессов, происходящих в организме пациентов [7]. В частности, влияние функциональной недостаточности различных мышечных групп бедра на постральные и локомоторные стереотипы больных с патологией тазобедренного сустава в литературе освещено достаточно скудно.

В ФБГУ РНЦ «ВТО» им. акад. Г.А. Илизарова разработано и широко используется устройство для определения силы мышц бедра [8].

Устройство (рис. 1) содержит основание 1, на котором закреплена рама 2 с установленным на ней сиденьем 3, к брусу 4 которой прикреплены опора для спины 5 и динамометрическое устройство 6, через трос с блоком 7 связанное с манжетой 8, выполненной в виде хомута. Кроме того, стойки 9 рамы выполнены в виде трубок, на которых расположена – с возможностью перемещения – планка 10, между двух пар стоек рамы расположены подлокотники 11, а на брусе 12 рамы закреплена направляющая 13, выполненная в виде трубы, в которой жестко крепится – с возможностью ротации и выдвигания вперед – упорная площадка 14, необходимое положение которой фиксируется винтом 15.

Устройство для определения силы мышц бедра используют следующим образом.

Тестирование мышц-разгибателей голени проводят у пациентов в положении «сидя». Основание 1 имеет высоту не менее 20 см, позволяющую обследуемому не касаться стопами пола при обследовании в положении «сидя». На голени над голеностопным суставом крепят манжету 8. При отсутствии сгибательно-разгибательных