

СИСТЕМНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ОБРАЗОВАНИЯ И ТРАНСПОРТА МОЧИ. СООБЩЕНИЕ 1. ОСОБЕННОСТИ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ГОЛОВНОГО МОЗГА ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ НАКОПИТЕЛЬНО-ЭВАКУАТОРНОЙ ФУНКЦИИ МОЧЕВОГО ПУЗЫРЯ У ЛИЦ МОЛОДОГО ВОЗРАСТА С РАЗЛИЧНЫМ РИТМОМ МОЧЕИСПУСКАНИЯ

© 2025 г. Е. В. Сапоженкова*, В. В. Колпаков, В. Б. Бердичевский, Е. А. Томилова

ФГБОУ ВО Тюменский государственный медицинский университет Минздрава РФ, Тюмень, Россия

*E-mail: Ekaterina_chibulaeva@mail.ru

Поступила в редакцию 05.06.2024 г.

После доработки 07.10.2024 г.

Принята к публикации 29.10.2024 г.

Актуальность исследования определяется высокой распространенностью симптомов нижних мочевых путей, а также поиском новых межсистемных взаимоотношений в реализации накопительно-эвакуаторной функции мочевого пузыря с привлечением современных методов диагностики и выделение критериев ранней диагностики этих нарушений. По данным текущих профилактических осмотров, включающих рекомендации Американского общества по удержанию мочи (ISC), выполнено заполнение дневников мочеиспускания в течение 3-х дней, анкетирование по шкале I-PSS для выявления симптомов нижних мочевых путей, а также оценки качества жизни (QOL). Были выделены три группы лиц молодого возраста мужского пола – с нормальным (183 чел., средний возраст 27.3 ± 1.5 лет), пограничным (52 чел., средний возраст 26.8 ± 1.7 лет) и повышенным ритмом мочеиспускания (всего 53 чел., средний возраст 28.1 ± 1.8 лет). Дополнительно оценивался индивидуальный объем привычной двигательной активности (мобильное приложение на платформах *Android* и *Apple*). Совмещенная позитронно-эмиссионная и компьютерная томография (ПЭТ/КТ) с суммарным математическим расчетом стандартизованного уровня захвата *Maximum Standardized Uptake Value (SUV_{max})* – максимальный показатель степени накопления радиофармпрепаратов в выделенной зоне интереса различными зонами головного мозга ^{18}F - (ФДГ), ^{11}C -метионина и ^{11}C -холина выполнялась в разные функциональные фазы работы мочевого пузыря (наполнения, мочеиспускания и после опорожнения) на аппарате *Biograph (Siemens, Германия)*. В результате проведенных исследований была дана количественная и качественная характеристика энергетическому метаболизму головного мозга в процессе реализации накопительно-эвакуаторных функций мочевого пузыря у лиц молодого возраста с нормальным, пограничным и частым ритмом мочеиспускания. Установлена последовательная функциональная активность наиболее значимых отделов (передняя и задняя поясные извилины, парацентральная доля, таламус, островок) в разные фазы мочеиспускания, а на этой базе предложена типовая модель центральной регуляции накопительно-эвакуаторной функции мочевого пузыря.

Ключевые слова: мочевой пузырь, лица молодого возраста, ритм мочеиспускания, метаболизм головного мозга, ПЭТ/КТ.

DOI: 10.31857/S0131164625010092 **EDN:** VMNHQK

Вопросы раннего выявления, прогноза развития и компенсации различных заболеваний остаются ключевыми в условиях интенсивного развития профилактической стратегии отечественной медицины. Особое место это занимает в функциональной урологии, которая тесно связана с достаточно высокой распространенностью урологической

патологии, а также уже на ранней стадии формирования отклонений сопровождается выраженной ограничением поведенческой и физической активности пациентов. Все это определяет необходимость проведения направленных исследований не только прикладного, но и фундаментального характера с более глубоким обоснованием

особенностей многоуровневой регуляции мочеобразования и мочевыведения [1–7].

Использование современных технологий впервые позволило сделать предположение, что увеличение кровотока в нижней лобной извилине, мосту и околопроводном сером веществе (ОВСВ) тесно связано с реализацией накопительно-эвакуаторной функции мочевого пузыря (МП), а поражение префронтальной коры (ПФК) может приводить к повышению частоты мочеиспускания и ее недержания [8, 9]. Более поздние исследования, а также клинические наблюдения подтвердили участие в реализации функции МП ОВСВ, *L*-зоны и *M*-зоны моста, а также отметили при этом функциональную активность гипоталамуса, островка, хвостатого ядра, таламуса, двигательной области, мозжечка, базальных ганглиев, миндалевидного тела и гиппокампа. Поскольку головной мозг представляет сложную систему получения, обработки и передачи информации, то все вышеуказанные области для достижения контроля над МП работают не изолировано, а через тесные функциональные связи. В связи с этим необходимо учитывать, что отклонения акта мочеиспускания могут быть обусловлены не только повреждением отдельных участков серого вещества головного мозга, но и функциональной десинхронизацией работы этих центров. Вместе с тем в настоящее время нет устоявшейся фундаментальной основы общей регуляции накопительно-эвакуаторной функции МП, что и определяет необходимость продолжить активно разрабатывать данное направление [10–15].

На основе анализа имеющихся исследований функциональной визуализации мозга продолжают обсуждаться три варианта рабочей модели, связанных с контролем работы МП. Первый контур включает периакведуктальное серое вещество (*PAG*), таламус, островок, латеральный и медиальный отделы моста. Их взаимодействие позволяет максимально ингибировать рефлекс мочеиспускания и сохранять накопительную функцию. Второй контур включает дорсальную переднюю поясную извилину коры, дополнительную двигательную область, и является резервным, который направлен на усиление способности задерживать мочеиспускание у лиц с ургентным недержанием мочи и гиперактивным мочевым пузырем (ГАМП). Третий контур включает *PAG* и части нижней или средней височной (парагиппокампальной) коры, роль которых может заключаться в обеспечении ощущения слабого наполнения МП и его бессознательного мониторинга у здоровых субъектов [16–18].

При этом преобладает мнение, что контроль за мочеиспусканием зависит от обширной супраспинальной нейронной сети. В связи с этим в дополнение к изучению активации/деактивации различных областей мозга, связанных с контролем работы МП, последующие исследования были

сосредоточены на установлении особенностей их интеграции с выделением, так называемых, подсистем или супраспинальных комплексов [19–21]. Были выделены следующие объединения с проявлениями когерентной нервной активности в анатомически изолированных областях мозга: сеть внимания, центральная исполнительная сеть или лобно-теменная сеть, сеть заметности или интерцептивная сеть, сеть режима по умолчанию, сенсомоторная сеть, зрительная сеть, базальная сеть ганглиев, подкорковая сеть, мозжечок и ствол головного мозга. В результате предложена расширенная модель взаимодействия конкретных областей мозга с нейрогенными системами при пустом и полном МП в условиях его заполнения физиологическим раствором путем перфузии во внутривенный катетер. При этом не исключается, что некоторые противоречия представленных результатов с исследованиями других авторов могут быть связаны “с различиями в экспериментальных парадигмах и аналитических методах интерпретации” [6, 7]. Дополнительно отмечается, что в целом все концепции регуляции функций нижних мочевых путей в большей степени являются эмпирическими, и единого понимания этого вопроса в настоящее время нет [10, 13, 16, 17, 22].

Вместе с тем, несмотря на многообразие вариантов включения различных зон головного мозга и нейронных сетей при обеспечении работы МП, признается, что фаза наполнения контролируется симпатическими, а мочеиспускание парасимпатическими структурами. Дальнейшее изучение данного направления стало возможным благодаря внедрению в клиническую практику функциональной визуализации головного мозга в реальное время при помощи позитронно-эмиссионной и компьютерной томографии (ПЭТ/КТ) [23–25].

В настоящее время установлено, что зоны головного мозга, отвечающие за функциональный контроль МП и определяющиеся по тропности изотопа глюкозы, чаще всего связаны с цингулярной областью. Однако при этом отмечается, что значительное поглощение глюкозы в сером веществе головного мозга и, соответственно, его аналога – фтордезоксиглюкозы, меченной изотопом фтора-18 (^{18}F -ФДГ), может быть не всегда оптимальным [23]. Это предопределило поиск новых более специфических радиофармацевтических препаратов [24, 26].

Так, специальными исследованиями последних лет установлено, что метионин, меченный углеродом-11 (^{11}C), в качестве функционально значимой аминокислоты имеет высокую избирательность накопления в тканях головного мозга. В целом накопление ^{11}C -метионина связывают с повышением кровотока в зоне интереса, который, в свою очередь, коррелирует с пролиферативной активностью. Вместе с тем признается, что расщепление

метионина в организме человека отличается высокой индивидуальной изменчивостью [23, 27]. Одновременно было выявлено, что изменения общего и локального липидного метаболизма в организме человека сопровождаются недостатком предшественника фосфолипидов клетки – холина. Полученные данные легли в основу разработки и внедрения уникального метода позитронно-эмиссионной фиксации предшественника мембранных липидов ^{11}C -холина в органах образования человека, в том числе в ЦНС. Однако полученные данные, по мнению авторов, требуют проведения дополнительных исследований, особенно в группе лиц здоровой популяции [28, 29].

В связи с этим, для оценки метаболизма головного мозга по данным ПЭТ/КТ наиболее достоверным считается комплементарный подход с проведением сравнительного анализа интенсивности углеводного, белкового и липидного метаболизма в различных регионах головного мозга по уровню тропности соответствующих изотопов, в частности у лиц здоровой популяции в процессе регуляции различных функций, которая остается мало изученной. Однако более глубокое освещение данного вопроса может послужить основой для открытия новых направлений применения метода ПЭТ/КТ, которые будут дополнять другие биохимические и молекулярные исследования и выводить их на более высокий доказательный уровень [28, 30, 31].

Таким образом, цель настоящего исследования – в условиях реального времени с применением ПЭТ/КТ выявить особенности функционирования различных зон головного мозга в регуляции процесса накопления и выделения мочи у лиц с нормальным, пограничным и повышенным уровнем мочеиспускания и на этой основе предложить типовую модель контроля супраспинальным отделом накопительно-эвакуаторной функции МП.

МЕТОДИКА

Комплексную оценку состояния здоровья лиц молодого возраста мужского пола проводили по данным результатов текущих профилактических осмотров на базе ГБУЗ ТО “Областной клинической больницы № 1” (г. Тюмень). С учетом дополнительно проведенных исследований, включающих рекомендации Американского общества по удержанию мочи – *ISC* (заполнение дневников мочеиспускания в течение 3-х дней, анкетирование симптомов нижних мочевых путей по шкале *I-PSS* и оценки качества жизни – *QOL*), были выделены три группы лиц молодого возраста мужского пола: с нормальным (183 чел., средний возраст 27.3 ± 1.5 лет), пограничным (52 чел., средний возраст 26.8 ± 1.7 лет) и повышенным ритмом мочеиспускания (всего 53 чел., средний возраст 28.1 ± 1.8 лет).

Основными критериями включения в настоящее исследование были: молодые люди 21–35 лет здоровой популяции, относящиеся к I диспансерной группе, а также молодые люди с проявлениями дисфункции нижних мочевых путей соответствующего возраста. При этом у всех обследованных по данным клинико-лабораторных исследований были исключены признаки воспаления и обструкции мочевых путей.

Для оценки индивидуального объема привычной двигательной активности (ПДА) был применен метод шагометрии по результатам среднесуточного количества локомоций за неделю. Функциональный тип конституции (ФТК) определяли с использованием 3-компонентной схемы по уровню привычной двигательной активности: низкой – НПДА-ФТК-1, средней – СПДА-ФТК-2 и высокой – ВПДА-ФТК-3 [32, 33].

Совмещенную ПЭТ/КТ всего тела с захватом проекций головного мозга, верхних и нижних мочевых путей выполняли согласно предложенным стандартам [24] в разные функциональные фазы МП (наполнения, мочеиспускания и после опорожнения) на аппарате для ПЭТ/КТ (*Biograph, Siemens*, Германия). Контроль объема МП проводили по результатам ультразвукового исследования (*Toshiba-Xario SSA-600A*, Япония) трансабдоминально с помощью конвексного датчика с частотой 3.5–4 Гц. Процесс сканирования выполняли в стандартном режиме, а само исследование носило профилактический характер и было мотивировано собственным желанием испытуемых. При этом обследуемые добровольно согласились при ПЭТ/КТ исследовании проводить мочеиспускание в памперсы. Предварительно этот процесс отработывали в домашних условиях не менее трех раз, что позволило им быть психологически готовыми к нестандартной процедуре обследования.

Анализ полученных данных проводили на основе реконструкции изображения с одновременным визуальным контролем томограмм зон головного мозга по суммарной тропности к изотопам ^{18}F -ФДГ, ^{11}C -холина, ^{11}C -метионина. Установление зон повышенного метаболизма выявляли в автоматическом режиме по уровню захвата изотопов (SUV_{max} (мг/л) – *Maximum Standardized Uptake Value*) в местах его максимального накопления. Изотопы были получены в радиологическом центре на компактном циклотроне (“*Scanditronix*”, Швеция).

Статистический анализ данных проводили с помощью программы *IBM SPSS Statistics* (версия 26), достоверность результатов оценивали при $p < 0.05$. Также рассчитывали общепринятые показатели описательной статистики, при сравнении средних значений независимых выборок использовали параметрические методы. Для измерения выраженности связи между двумя переменными

проводили расчет корреляции по Спирмену и Пирсону.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На первом этапе при проведении диспансеризации дополнительно было введено заполнение дневников мочеиспускания (*I-PSS*) и определено качество жизни по шкале *QOL*, что позволило выявить три экспериментальные группы: лиц с нормальным (I группа), пограничным (II группа) и повышенным (III группа) ритмом мочеиспускания. Результаты комплексной оценки мочеиспускания и качества жизни во всех группах представлены в табл. 1.

Также с учетом результатов текущих профилактических медицинских осмотров была дана оценка факторам, неблагоприятно влияющим на организм (факторам риска). Особое внимание было уделено уровню ПДА, поскольку при движении вовлекаются не только локомоторные нейронные сети, но и спинальные области, отвечающие за висцеральный контроль, в частности мочеиспускание. До настоящего времени таких исследований не проводилось. В результате у лиц молодого возраста здоровой популяции общий показатель ПДА составил 13825 ± 1523 суточных локомоций, что в целом соответствовало среднему уровню ПДА – второму функциональному типу конституции [32, 33]. Отклонение уровня суточного количества локомоций может явиться показателем дискоординации межсистемных взаимоотношений при накопительно-эвакуаторной функции мочевого пузыря и одним из критериев в клинико-физиологической оценке вариабельности мочеиспускания.

Межгрупповой сравнительный анализ результатов исследования показал, что у лиц I группы (нормальный ритм мочеиспускания) относительно

лиц с пограничным ритмом мочеиспускания (II группа) установлено снижение уровня привычной двигательной активности, отклонение параметров качества жизни *QOL* в градацию “смешанное чувство”, а по шкале *I-PSS* – “легкая симптоматика”. Тогда как у лиц с повышенным ритмом мочеиспускания (III группа) выявлено снижение уровня ПДА, отклонение параметров качества жизни в градацию “легкая симптоматика” – “плохо”, а по шкале *I-PSS* – “умеренная” – “выраженная степень нарушения”.

Согласно цели и задачам проводимых исследований на втором этапе было проведено совмещенное ПЭТ/КТ у лиц всех групп. Полученные данные уровня захвата изотопа ^{18}F -ФДГ (SUV_{max}) регионами головного мозга в процессе реализации накопительно-эвакуаторных функций МП у всех обследуемых групп представлены в табл. 2.

По результатам проведенного ПЭТ/КТ у лиц с нормальным ритмом мочеиспускания было установлено, что контроль за работой МП преимущественно осуществляется цингулярной областью головного мозга – передними и задними ее отделами. Было выявлено, что во время фазы наполнения МП и в постмикционный период отмечается повышение углеводного обмена в задних отделах цингулярной области (4.6 ± 0.2 и 4.5 ± 0.2 SUV_{max} , мг/л соответственно), а процесс мочеиспускания больше контролируется передними отделами – 4.7 ± 0.2 SUV_{max} , мг/л (табл. 2).

Выявленные изменения активности энергетического метаболизма в представленных зонах головного мозга позволяют предположить наличие определенной закономерности в функциональной активности МП с учетом его физиологической фазности. Подтверждением вышеизложенного явились результаты ПЭТ/КТ во второй и третьей группах, в которых прослеживается аналогичная

Таблица 1. Ритм мочеиспускания, качество жизни и уровень привычной двигательной активности (ПДА) у лиц с нормальным (I группа), пограничным (II группа) и повышенным (III группа) ритмом мочеиспускания, ($M \pm m$)

Группы сравнения	Число микций в сутки	Показатели				
		Разовый диурез (мл)	Суточный диурез (мл)	Признаки болезни (<i>I-PSS</i>), баллы	Качество жизни (<i>QOL</i>), баллы	ПДА
I группа, $n = 183$	$7.2 \pm 0.9^{**}$	$203.9 \pm 3.8^{**}$	1478.5 ± 186.5	3.36 ± 1.08	1.19 ± 0.43	$13847 \pm 1522^{**}$
II группа, $n = 52$	$9.7 \pm 1.3^*$	$159.5 \pm 3.9^*$	1545.25 ± 218.9	$3.92 \pm 1.47^*$	1.26 ± 0.83	$16610 \pm 2130^*$
III группа, $n = 53$	$12.4 \pm 0.9^{*,**}$	$114.8 \pm 8.9^{*,**}$	1428.4 ± 163.5	$8.92 \pm 1.6^{*,**}$	$3.43 \pm 1.39^{*,**}$	$11065 \pm 640^{*,**}$

Примечание: * – статистически достоверные различия по сравнению с I группой, $p < 0.05$; ** – статистически достоверные различия по сравнению со II группой, $p < 0.05$.

Таблица 2. Показатели уровня захвата изотопа ^{18}F -ФДГ (SUV_{max} , мг/л) регионами головного мозга в процессе реализации накопительно-эвакуаторных функций мочевого пузыря у лиц с нормальным (I группа), пограничным (II группа) и повышенным (III группа) ритмом мочеиспускания, ($M \pm m$)

Группы сравнения, количество микций	Фаза мочеиспускания	Регионы головного мозга, SUV_{max} , мг/л				
		Задняя поясная извилина	Передняя поясная извилина	Парацентральная доля	Таламус	Островок
I группа (7.1 ± 0.2), $n = 5$	Наполнение	$4.6 \pm 0.2^{**}$	$3.3 \pm 0.1^{**}$	$2.8 \pm 0.1^{**}$	$2.5 \pm 0.1^{**}$	$1.4 \pm 0.1^{**}$
	Мочеиспускание	$2.8 \pm 0.1^{**}$	$4.7 \pm 0.2^{**}$	$2.4 \pm 0.1^{**}$	$2.6 \pm 0.1^{**}$	$1.5 \pm 0.1^{**}$
	После микции	4.5 ± 0.2	$3.1 \pm 0.1^{**}$	$2.7 \pm 0.1^{**}$	$2.4 \pm 0.1^{**}$	$1.2 \pm 0.1^{**}$
II группа (10.5 ± 0.3), $n = 5$	Наполнение	$5.1 \pm 0.2^*$	$4.2 \pm 0.2^*$	$3.2 \pm 0.1^*$	$2.9 \pm 0.1^*$	$1.7 \pm 0.1^*$
	Мочеиспускание	$3.3 \pm 0.1^*$	$5.3 \pm 0.2^*$	$2.9 \pm 0.1^*$	$3.2 \pm 0.1^*$	$1.8 \pm 0.1^*$
	После микции	4.9 ± 0.2	$4.0 \pm 0.1^*$	$3.1 \pm 0.1^*$	$2.8 \pm 0.1^*$	$1.5 \pm 0.1^*$
III группа (12.2 ± 0.3), $n = 5$	Наполнение	$7.3 \pm 0.3^{*,**}$	$6.8 \pm 0.5^{*,**}$	$5.2 \pm 0.2^{*,**}$	$5.1 \pm 0.2^{*,**}$	$3.9 \pm 0.2^{*,**}$
	Мочеиспускание	$4.2 \pm 0.2^{*,**}$	$7.5 \pm 0.3^{*,**}$	$3.9 \pm 0.2^{*,**}$	$5.7 \pm 0.3^{*,**}$	$4.2 \pm 0.2^{*,**}$
	После микции	$7.1 \pm 0.3^{*,**}$	$5.9 \pm 0.3^{*,**}$	$5.1 \pm 0.2^{*,**}$	$5.1 \pm 0.2^{*,**}$	$3.4 \pm 0.2^{*,**}$

Примечание: * – статистически достоверные различия по сравнению с I группой, $p < 0.05$; ** – статистически достоверные различия по сравнению со II группой, $p < 0.05$.

динамика относительно контроля МП со стороны цингулярной области. Так, отмечается повышение энергетического метаболизма в заднем отделе поясной извилины в фазу наполнения МП и в постмикционный период (5.1 ± 0.2 и 4.9 ± 0.2 ; 7.3 ± 0.3 и $7.1 \pm 0.3 SUV_{max}$, мг/л соответственно), тогда как процесс мочеиспускания передними ее отделами – 5.3 ± 0.2 и $7.5 \pm 0.3 SUV_{max}$, мг/л соответственно (табл. 2).

Таким образом, согласно представленным данным установлено, что у лиц с различным ритмом мочеиспускания супраспинальная регуляция накопительно-эвакуационной функции МП имеет типовой характер и реализуется во всех группах преимущественно в цингулярной области с изменением только количественных характеристик тропности изотопа ^{18}F -ФДГ. Вместе с тем, повышение тропности к ^{18}F -ФДГ всей цингулярной области сопровождается у лиц II группы с нарастанием его тропности к таламусу, а у III группы более выраженным увеличением в таламусе, парацентральной доле и островке (табл. 2, рис. 1, 2).

С учетом полученных данных нами предложена типовая модель непосредственной регуляции накопительно-эвакуаторной функции МП супраспинальными отделами ЦНС, которая отражает ритмологическую закономерность центрального контроля физиологической фазности МП. В этот комплекс входит пять основных отделов – передняя и задняя поясные извилины, парацентральная доля (ПЦД), таламус и островок. Вовлечение соответствующих зон головного мозга при реализации накопительно-эвакуаторной функции

МП определено следующей последовательностью. Так, накопление мочи и поступательное увеличение объема МП находятся под контролем задней поясной извилины, которая тесно связана с эмоциональным фоном и играет решающую роль в контроле нарастающего состояния возбуждения и инициирования сигнала к изменению поведения. При этом нарастающая сенсорная сигнализация поступает в таламус – центр распределения информационных потоков – и при достижении соответствующего уровня загружается в островок, задняя часть которого участвует в регуляции эмоциональных реакций и оценки уровня различных ощущений, в том числе боли. Параллельно идет увеличение активности парацентральной доли. Совместная функциональная активность вышеуказанных зон является подготовкой к переходу фазы накопления к акту мочеиспускания. Триггером или переключателем фаз является ПЦД. Подтверждение этого – повышение активности ПЦД при выраженном позыве на конечной стадии накопления с последующим уменьшением ее активности при акте мочеиспускания. При этом снижение функции ПЦД в этот период сочетается с повышением активности передней поясной извилины, которая непосредственно связана с дополнительной моторной областью, выбором подходящего двигательного плана и выполнением желаемых движений для удовлетворения соответствующей потребности. В постмикционную фазу идет постепенное восстановление активности исходных зон и готовности к новому циклу в реализации накопительно-эвакуационной функции МП.

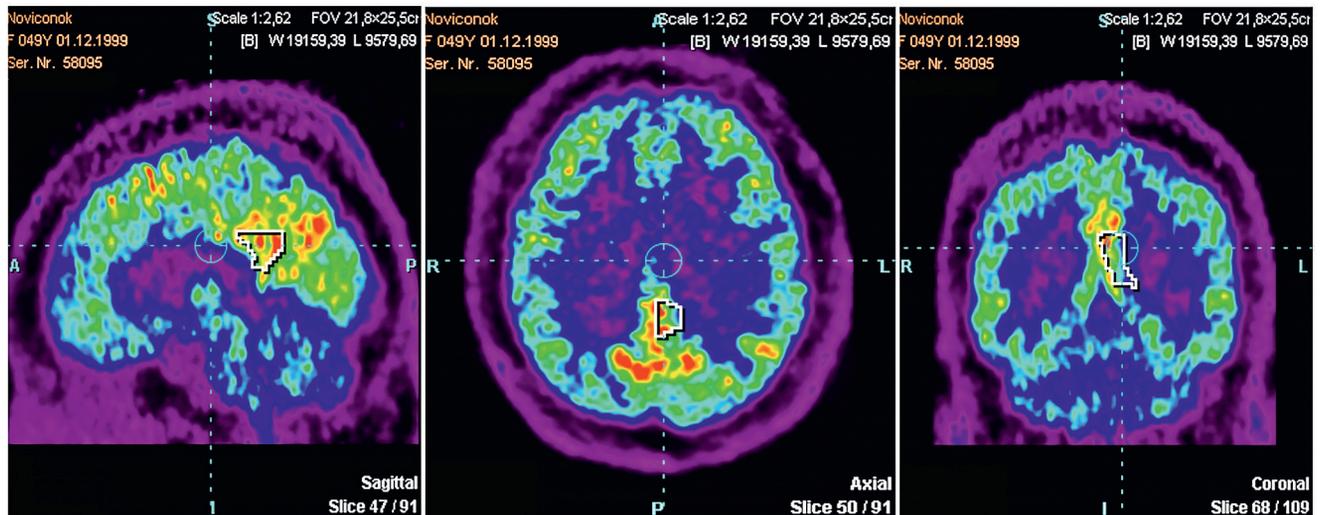


Рис. 1. Результаты позитронно-эмиссионной и компьютерной томографии головного мозга с применением изотопа глюкозы в фазу наполнения мочевого пузыря (волонтер Ш., 25 лет).

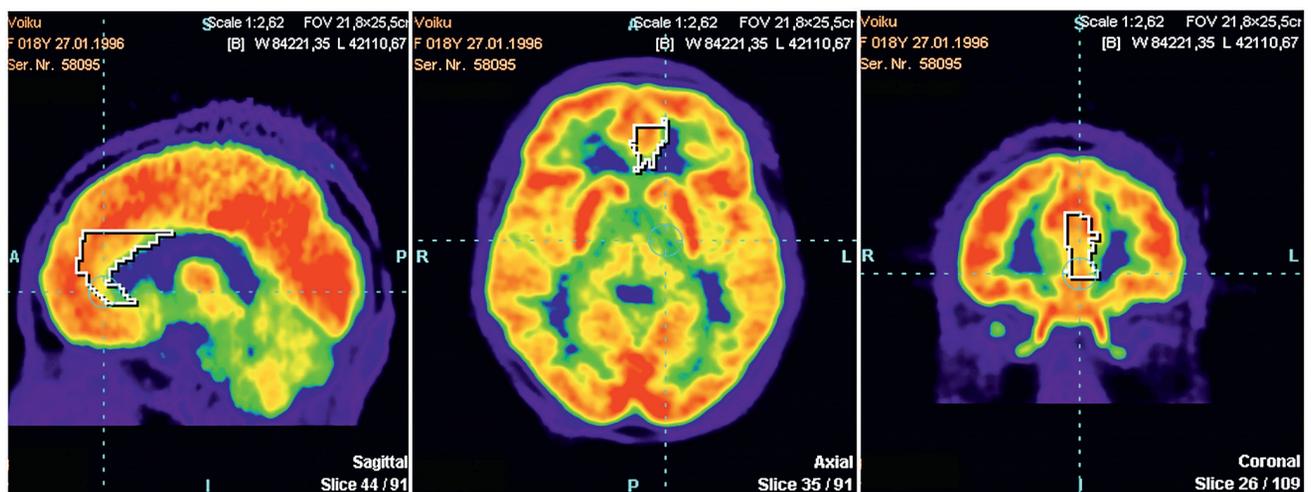


Рис. 2. Результаты позитронно-эмиссионной и компьютерной томографии головного мозга с применением изотопа глюкозы в фазу опорожнения мочевого пузыря (волонтер А., 27 лет).

Таким образом, можно сделать следующее заключение. Для супраспинальной регуляции уродинамики характерна функционально-ритмологическая закономерность, которая определяет физиологическую фазность состояния МП. Последовательность процесса возбуждения вышеуказанных “зон интереса” головного мозга работает по типовому (триггерному) механизму во всех группах. Максимальное возбуждение в соответствующих центрах (передняя и задняя поясная извилина, ПЦД, таламус, островок) проявляется не одновременно при возникновении потребности, а благодаря последовательному возрастанию возбудимости до критического уровня в каждом

из них. Ключевая роль переключателя с фазы накопления на фазу мочеиспускания принадлежит ПЦД. Как результат, происходит трансформация внутренней потребности в процесс ее системного удовлетворения.

Предлагаемая типовая модель является альтернативной и не исключает результаты других исследователей, в частности расширенную рабочую модель *D. Pang et al.* с включением разных областей мозга и их взаимодействием с семью нейронными системами [5–7]. Известно, что на каждой стадии накопительно-эвакуационной функции МП на организм действуют разнообразные факторы внешней среды. Аfferентные импульсы

распространяются и активируют различные отделы головного мозга, при этом большее влияние оказывают те факторы, которые удовлетворяют доминирующую в данный момент потребность [19, 34—36]. В результате центральный контроль МП и уретры на фоне необходимости последовательной реализации накопительно-эвакуаторной функции тесно связан с формированием целенаправленного поведения, которое, с одной стороны, обеспечивает способность добровольно откладывать мочеиспускания, даже если есть сильное желание опорожниться, а с другой — способность реализовывать акт мочеиспускания, когда это удобно, даже если ощущения наполнения МП незначительные.

В связи с этим, нельзя исключить, что при воздействии различных внутренних факторов и условий окружающей среды при реализации накопительно-эвакуаторной функции включается целый комплекс других зон головного мозга. Было показано, что передняя поясная извилина совместно с островковой частью и нейронной сетью значимости играет определяющую роль в интеграции внутренней и внешней информации и может инициировать вегетативные реакции и побуждать целенаправленное поведение [37, 38]. В свою очередь, этот комплекс активирует центральную нейронную сеть, которая поддерживает внимание к висцеральным ощущениям и воле, контролирует окружающую среду и социальный этикет в рабочей памяти (акцепторе результата деятельности), что позволяет делать поведенческий выбор, обращая внимание как на внешние стимулы, так и на требования интероцепции [34, 37, 39].

Кроме того, необходимо учитывать, что по сравнению с предложенной нами типовой моделью мочеиспусканий абсолютное большинство других исследований нейрогенного контроля накопительно-эвакуаторной функции МП базировались на одной методике [40]. В основе последней лежит экспериментальная парадигма наполнения МП путем перфузии физиологического раствора во внутривенный катетер с последующим совместным ПЭТ-сканированием и мониторингом давления в детрузоре во время полного и пустого МП. Не вызывает сомнений, что полученные данные имеют научную ценность, но в целом носят сугубо экспериментальный характер, поскольку выходят за рамки естественного процесса накопления и выведения мочи.

Таким образом, в настоящее время определяющим является мнение, что супраспинальный нейронный контроль мочеиспускания все еще остается малоизученной областью со многими неисследованными моментами. Вместе с тем признается, что различные области мозга не работают независимо, поскольку их интеграция и последовательная активизация является важными механизмами контроля накопительно-эвакуаторной функции

МП. Все это требует проведения дальнейших исследований с использованием различных подходов и применения разных методик.

В связи с этим, наряду с использованием изотопа ^{18}F -ФДГ, дополнительно проводилось изучение показателей тропности к изотопам ^{11}C -метионина и ^{11}C -холина для оценки белкового и липидного обмена головного мозга в фазу наполнения МП (табл. 3).

Было установлено, что наибольшей суммарной тропностью к нейронам головного мозга у лиц с нормальным ритмом мочеиспускания обладает изотоп ^{18}F -ФДГ ($14.6 \pm 0.6 \text{ SUV}_{max}$, мг/л), на втором месте изотоп ^{11}C -метионина ($7.9 \pm 0.3 \text{ SUV}_{max}$, мг/л, $p < 0.05$), а затем изотоп ^{11}C -холина ($4.3 \pm 0.1 \text{ SUV}_{max}$, мг/л, $p < 0.05$). Получается, что у лиц I группы соотношение углеводно-белково-липидного метаболизма в нейронах головного мозга при проведении ПЭТ/КТ практически находится в пределах пропорции 3 : 2 : 1 (соответственно, 54.5 : 29.5 : 16.0%).

Результаты сравнительного анализа показали, что в группе лиц с пограничным и повышенным ритмом мочеиспускания наибольшей функциональной тропностью к нейронам головного мозга также обладал изотоп ^{18}F -ФДГ, на втором месте изотоп ^{11}C -метионина и на третьем — изотоп ^{11}C -холина. Вместе с тем, в процентном (суммарном) соотношении при комплементарном ПЭТ/КТ-исследовании данных групп показатели углеводно-белково-липидного метаболизма в зонах интереса головного мозга соответствовали пропорции 3 : 2 : 1 (53.9 : 30.0 : 16.1%) только во II группе (табл. 3, рис. 3). В группе лиц с повышенным ритмом мочеиспускания при сохранении ведущей функциональной тропности к нейронам головного мозга изотопа ^{18}F -ФДГ значительно повышалась тропность ^{11}C -холина, и показатели углеводно-белково-липидного метаболизма в зонах интереса головного мозга приближались к пропорции 2 : 1 : 1 (в процентном отношении 45.4 : 28.6 : 26.0%). Нельзя исключить, что усиление переключения с углеводного на жировой обмен является одним из показателей стрессовой ситуации при формировании дисфункции нижних мочевых путей.

Таким образом, совмещенная ПЭТ/КТ головного мозга с комплементарным использованием изотопов — ^{18}F -ФДГ, ^{11}C -метионина и ^{11}C -холина вполне может быть применена для нейровизуализации в оценке ритма мочеиспускания как у лиц здоровой популяции, так и для ранней (донозологической) диагностики дисфункции МП. В связи с этим проведение межгруппового сравнительного анализа урологического статуса, ПДА, качества жизни и показателей ПЭТ/КТ у лиц молодого возраста с нормальным (I группа), пограничным (II группа) и повышенным (III группа) ритмом

Таблица 3. Показатели уровня захвата изотопов ^{18}F -ФДГ, ^{11}C -метионина и ^{11}C -холина (SUV_{max} , мг/л) регионами головного мозга в фазу наполнения мочевого пузыря у лиц с нормальным (I группа), пограничным (II группа) и повышенным (III группа) ритмом мочеиспускания, ($M \pm m$)

Группы сравнения, количество микций	Изотопы	Регионы головного мозга, SUV_{max} , мг/л				
		Задняя поясная извилина	Передняя поясная извилина	Парацентральная доля	Таламус	Островок
I группа (7.1 ± 0.2), $n = 5$	^{18}F -ФДГ	4.6 ± 0.2	$3.3 \pm 0.1^*$	$2.8 \pm 0.1^*$	$2.5 \pm 0.1^*$	$1.4 \pm 0.1^*$
	^{11}C -метионин	2.5 ± 0.1	$1.8 \pm 0.1^*$	$1.5 \pm 0.1^*$	$1.3 \pm 0.1^*$	$0.8 \pm 0.1^*$
	^{11}C -холин	1.4 ± 0.1	$1.0 \pm 0.1^*$	$0.8 \pm 0.1^*$	$0.7 \pm 0.1^*$	$0.4 \pm 0.05^*$
II группа (10.5 ± 0.3), $n = 5$	^{18}F -ФДГ	5.1 ± 0.2	4.2 ± 0.2	$3.2 \pm 0.1^*$	$2.9 \pm 0.1^*$	$1.7 \pm 0.1^*$
	^{11}C -метионин	2.8 ± 0.1	2.4 ± 0.1	$1.7 \pm 0.1^*$	$1.6 \pm 0.1^*$	$1.0 \pm 0.05^*$
	^{11}C -холин	1.5 ± 0.1	1.3 ± 0.1	$0.9 \pm 0.1^*$	$0.9 \pm 0.1^*$	$0.5 \pm 0.05^*$
III группа (12.2 ± 0.5), $n = 5$	^{18}F -ФДГ	7.3 ± 0.3	6.8 ± 0.3	$5.2 \pm 0.2^*$	$5.1 \pm 0.2^*$	$3.9 \pm 0.2^*$
	^{11}C -метионин	4.5 ± 0.2	4.2 ± 0.2	$3.5 \pm 0.1^*$	$2.9 \pm 0.1^*$	$2.7 \pm 0.1^*$
	^{11}C -холин	3.9 ± 0.2	3.7 ± 0.2	$3.2 \pm 0.1^*$	$3.0 \pm 0.1^*$	$2.4 \pm 0.1^*$

Примечание: * — $p < 0.05$ — различия SUV_{max} статистически достоверны между показателями задней поясной извилины и других зон головного мозга.

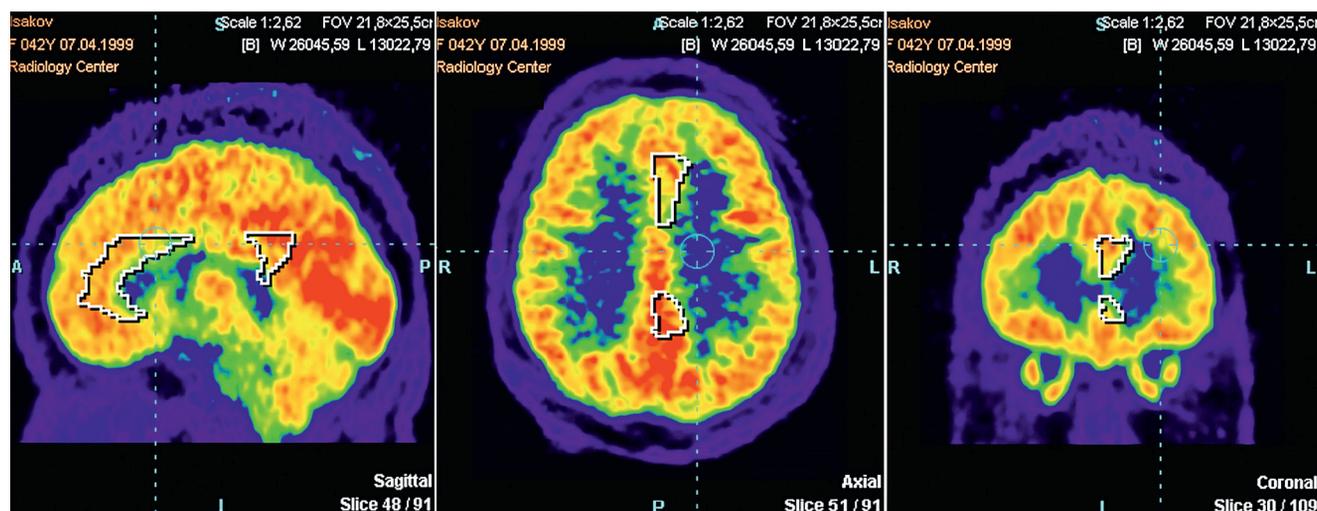


Рис. 3. Позитронно-эмиссионная и компьютерная томография головного мозга с изотопом ^{18}F -ФДГ (волонтер В., 25 лет, с повышенным ритмом мочеиспускания). Штрих-линией отмечена зона поясной извилины и таламуса.

мочеиспускания позволяет предложить типовую модель супраспинальной регуляции накопительно-эвакуационной функции МП, что дает, в свою очередь, объективную основу для оценки адаптационно-компенсаторного потенциала организма, выделения групп риска и возможности прогностической оценки состояния пациентов в период формирования доклинических проявлений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение ПЭТ/КТ для функциональной визуализации головного мозга и внедрение его в клиническую и экспериментальную практику определяет активное продвижение физиологических аспектов урологии. Однако, несмотря на преимущественное использование в различных

исследованиях фтордезоксиглюкозы, меченной изотопом фтора — ^{18}F -ФДГ, интерпретация полученных результатов в оценке энергетического метаболизма головного мозга во многом остается дискуссионной. В связи с этим более эффективным подходом к возможностям ПЭТ/КТ в изучении метаболизма головного мозга, связанного с функцией МП, может быть комплементарный (взаимодополняющий) метод с проведением сравнительного анализа тропности изотопа ^{18}F -ФДГ с белковым предшественником (^{11}C -метионином) и предшественником мембранных фосфолипидов (^{11}C -холином). Также необходимо иметь в виду, что абсолютное большинство исследований нейрогенного контроля накопительно-эвакуаторной функции МП основываются на одной методике — перфузии физиологического раствора во внутривезикулярный катетер с последующим совмещением ПЭТ-сканирования и мониторинга давления в детрузоре во время полного и пустого МП. Полученные данные имеют научную ценность, но в целом носят экспериментальный характер, поскольку выходят за рамки физиологического процесса накопления и выделения мочи.

С учетом вышеизложенного в настоящем исследовании применение совмещенной ПЭТ/КТ с математическим расчетом уровня захвата комплементарно используемых изотопов (^{18}F -ФДГ, ^{11}C -метионина, ^{11}C -холина) позволило в режиме реального времени определить зоны повышенного/пониженного метаболизма головного мозга в процессе естественного накопления мочи (табл. 3), а также для изотопов ^{18}F -ФДГ в фазу наполнения, опорожнения МП и постмикционную фазу у лиц молодого возраста с разным ритмом мочеиспускания (табл. 2). На этой основе была предложена типовая модель контроля супраспинальным отделом нервной системы накопительно-эвакуаторной функции МП с выделением критериев ранней диагностики и прогностической оценки доклинических проявлений.

В связи с этим, нельзя исключить наличие других физиологических маркеров при реализации и отклонении функции мочеиспускания. При этом, несмотря на то, что многие звенья (составляющие) структурного и функционального обеспечения накопления и эвакуации мочи обозначены, проблема межсистемных взаимоотношений с мультипараметрической оценкой по промежуточным и конечным результатам остается в настоящее время актуальной, что требует проведения дополнительных исследований с представлением соответствующих данных. При этом не вызывает сомнений, что более глубокое их изучение может быть достигнуто только посредством трансляционных исследований при сотрудничестве фундаментальной и клинической медицины.

Соблюдение этических стандартов. Все исследования проводились в соответствии с принципами биомедицинской этики, изложенными в Хельсинкской декларации 1964 г. и последующих поправках к ней. Они также были одобрены локальным этическим комитетом при Тюменском государственном медицинском университете Минздрава РФ (Тюмень), протокол № 17 от 28.02.2024 г.

Каждый участник исследования дал добровольное письменное информированное согласие после получения разъяснений о потенциальных рисках и преимуществах, а также о характере предстоящего исследования.

Конфликт интересов. Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Благодарности. Авторы выражают благодарность заведующей радиологическим центром ГАУЗ ТО «МКМЦ «Медицинский Город» (Тюмень), врачу-радиотерапевту Наталье Викторовне Авериной; заведующему урологического отделения ГБУЗ ТО «Областной клинической больницы № 2» (Тюмень) Станиславу Викторовичу Хилькевичу.

Вклад авторов в публикацию. Е.В. Сапоженкова — написание текста рукописи, участие в обследовании, статистическая обработка полученных данных и их интерпретация, формулировка выводов, В.В. Колпаков — концепция и дизайн исследования, В.Б. Бердичевский — концепция исследования и дизайн исследования, обработка и интерпретация полученных данных, Е.А. Томилова — проведение литературного поиска, выполнение анализа и оценка научной информации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Наточин Ю.В.* Почка: орган выделения или сохранения? // Усп. физ. наук. 2019. Т. 50. № 4. С. 14.
2. *Пушкарь Д.Ю., Гаджиева З.К., Касян Г.Р. и др.* Надлежащая практика выполнения комплексного уродинамического исследования (англ. Good Urodynamic Practice): консенсус по терминологии // Урология. 2019. № 1. С. 131.
3. *Кадыков А.С., Шварц П.Г., Федин П.А. и др.* Диагностические возможности исследования сомато-сенсорных вызванных потенциалов у больных с нейрогенной задержкой мочи // Ж. неврол. и психиатр. им. С.С. Корсакова. 2019. № 119(6). С. 60.
4. *Pang D., Gao Y., Liao L., Ying X.* Brain functional network alterations caused by a strong desire to void in healthy adults: Agraph theory analysis study // Neurourol. Urodyn. 2020. V. 39. № 7. P. 1966.
5. *Pang D., Gao Y., Liao L.* Responses of functional brain networks to bladder control in healthy adults: A study using regional homogeneity combined with independent component analysis methods // Int. Urol. Nephrol. 2021. V. 53. № 5. P. 883.

6. Pang D., Gao Y., Liao L. Functional brain imaging and central control of the bladder in health and disease // *Front. Physiol.* 2022. V. 13. P. 914963.
7. Pang D., Liao L., Chen G., Wang Y. Sacral neuromodulation improves abnormal prefrontal brain activity in patients with overactive bladder: A possible central mechanism // *J. Urol.* 2022. V. 207. № 6. P. 1256.
8. Blok B.F., Sturms L.M., Holstege G. Brain activation during micturition in women // *Brain.* 1998. V. 121. Pt. 11. P. 2033.
9. Blok B.F., Willemsen A.T., Holstege G. A PET study on brain control of micturition in humans // *Brain.* 1997. V. 120. Pt. 1. P. 111.
10. Ковалев Г.В., Шкарупа Д.Д., Зайцева А.О. и др. Особенности нервной регуляции нижних мочевыводящих путей как причина развития гиперактивного мочевого пузыря: современное состояние проблемы // *Урология.* 2020. № 4. С. 165.
11. Сорокин Ю.Н. Нейрогенная дисфункция нижних мочевыводящих путей (нейрогенный мочевой пузырь) // *Российский неврологический журнал.* 2021. Т. 26. № 5. С. 61.
12. Касян Г.Р., Строганов Р.В., Ходырева Л.А. и др. Уродинамические исследования в функциональной урологии / *Методические рекомендации* № 29. М.: НИИОЗММ, 2020. 39 с.
13. Griffiths D., Tadic S.D. Bladder control, urgency, and urge incontinence: Evidence from functional brain imaging // *Neurourol. Urodyn.* 2008. V. 27. № 6. P. 466.
14. Kitta T., Mitsui T., Kanno Y. et al. Brain-bladder control network: The unsolved 21st century urological mystery // *Int. J. Urol.* 2015. V. 22. № 4. P. 342.
15. Sakakibara R., Tsunoyama K., Takahashi O. et al. Real-time measurement of oxyhemoglobin concentration changes in the frontal micturition area: An fNIRS study // *Neurourol. Urodyn.* 2010. V. 29. № 5. P. 757.
16. Griffiths D. Functional imaging of structures involved in neural control of the lower urinary tract // *Handb Clin. Neurol.* 2015. V. 130. P. 121.
17. Griffiths D. Neural control of micturition in humans: A working model // *Nat. Rev. Urol.* 2015. V. 12. № 12. P. 695.
18. Groat W.C., Griffiths D., Yoshimura N. Neural control of the lower urinary tract // *Compr. Physiol.* 2015. V. 5. № 1. P. 327.
19. Александров В.Г., Губаревич Е.А., Кокурина Т.Н. и др. Центральная автономная сеть // *Физиология человека.* 2022. Т. 48. № 6. С. 129.
20. Ketai L.H., Komesu Y.M., Dodd A.B. et al. Urgency urinary incontinence and the interoceptive network: A functional magnetic resonance imaging study // *Am. J. Obstet. Gynecol.* 2016. V. 215. № 4. P. 449e1.
21. Zuo L., Zhou Y., Wang S. et al. Abnormal brain functional connectivity strength in the overactive bladder syndrome: A resting-state fMRI study // *Urology.* 2019. V. 131. P. 64.
22. Sugaya K., Nishijima S., Miyazato M., Ogawa Y. Central nervous control of micturition and urine // *J. Smooth Muscle Res.* 2005. V. 41. № 3. P. 117.
23. Пронин И.Н., Хохлова Е.В., Конакова Т.А. и др. Применение ПЭТ-КТ с ¹¹C-метионином в первичной диагностике глиом // *Ж. неврол. и психиатр. им. С.С. Корсакова.* 2020. № 120(8). С. 51.
24. Смолярчук М.А., Куреева Е.Д., Рыжов С.А. и др. Рекомендации по проведению и описанию исследованной методикой позитронно-эмиссионной томографии, совмещенной с компьютерной томографией, проводимых за счет средств Московского городского фонда обязательного медицинского страхования / *Методические рекомендации. Издание 2-е, доп. Серия "Лучшие практики лучевой и инструментальной диагностики"*. Вып. 87. М.: ГБУЗ "НПКЦ ДиТ ДЗМ", 2021. 80 с.
25. Stackhouse T.L., Mishra A. Neurovascular coupling in development and disease: Focus on astrocytes // *Front. Cell Dev. Biol.* 2021. V. 9. P. 702832.
26. Костеников Н.А., Тютин Л.А., Фадеев Н.П. и др. Дифференциальная диагностика глиом головного мозга методом позитронной эмиссионной томографии с различными радиофармпрепаратами // *Вестник рентгенологии и радиологии.* 2014. № 5. С. 13.
27. Бердичевский В.Б., Бердичевский Б.А., Барашин Д.А. и др. Статическая ПЭТ/КТ сцинтиграфия почек // *Мед. наука и образ. Урала.* 2019. Т. 20. № 1(97). С. 111.
28. Зыков Е.М., Поздняков А.В., Костеников Н.А. Рациональное использование ПЭТ и ПЭТ/КТ в онкологии // *Практ. онкол.* 2014. Т. 15. № 1. С. 31.
29. Иващенко И.М., Шнякин П.Г., Катаева А.А. и др. Возможности позитронно-эмиссионной томографии в диагностике злокачественных опухолей головного мозга (обзор литературы) // *В мире научных открытий.* 2018. № 4. С. 72.
30. Пушкарь Д.Ю., Касян Г.Р. Функциональная урология и уродинамика. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2014. 376 с.
31. Скворцова Т.Ю., Гурчин А.Ф., Савинцева З.И. ПЭТ с С-метионином в оценке поражения головного мозга у больных с глиальными опухолями после комбинированного лечения // *Ж. Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. [Электронный ресурс].* 2019. № 83(2). С. 27.
32. Колпаков В.В., Беспалова Т.В., Томилова Е.А. и др. Системный анализ индивидуально-типологических особенностей организма // *Физиология человека.* 2011. Т. 37. № 6. С. 111.

33. Колпаков В.В., Томилова Е.А., Беспалова Т.В. и др. Хронобиологическая оценка привычной двигательной активности человека в условиях Западной Сибири // Физиология человека. 2016. Т. 42. № 2. С. 100.
34. Судаков С.К. Физиологические механизмы предвидения будущего результата целенаправленного поведения // Рос. физиол. ж. им. И.М. Сеченова. 2019. Т. 105. № 1. С. 36.
35. Browning K.N., Carson K.E. Central neurocircuits regulating food intake in response to gut inputs – Preclinical evidence // Nutrients. 2021. V. 13. № 3. P. 908.
36. Lamotte G., Shouman K., Benarroch E.E. Stress and central autonomic network // Auton. Neurosci. 2021. V. 235. P. 102870.
37. Jarrahi B., Mantini D., Balsters J.H. et al. Differential functional brain network connectivity during visceral interoception as revealed by independent component analysis of fMRI TIME-series // Hum. Brain Mapp. 2015. V. 36. № 11. P. 4438.
38. Torta D.M., Costa T., Duca S. et al. Parcellation of the cingulate cortex at rest and during tasks: A meta-analytic clustering and experimental study // Front. Hum. Neurosci. 2013. V. 7. P. 275.
39. Jarrahi B., Mantini D., Mehnert U., Kollias S. Exploring influence of subliminal interoception on whole-brain functional network connectivity dynamics // Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc. 2015. V. 2015. P. 670.
40. Nour S., Svarer C., Kristensen J.K. et al. Cerebral activation during micturition in normal men // Brain. 2000. V. 123. Pt. 4. P. 781.
6. Pang D., Gao Y., Liao L. Functional brain imaging and central control of the bladder in health and disease // Front. Physiol. 2022. V. 13. P. 914963.
7. Pang D., Liao L., Chen G., Wang Y. Sacral neuromodulation improves abnormal prefrontal brain activity in patients with overactive bladder: A possible central mechanism // J. Urol. 2022. V. 207. № 6. P. 1256.
8. Blok B.F., Sturms L.M., Holstege G. Brain activation during micturition in women // Brain. 1998. V. 121. Pt. 11. P. 2033.
9. Blok B.F., Willemsen A.T., Holstege G. A PET study on brain control of micturition in humans // Brain. 1997. V. 120. Pt. 1. P. 111.
10. Kovalev G.V., Shkarupa D.D., Zaytseva A.O. et al. [Characteristics of the neural regulation of the lower urinary tract as a cause of the development of an overactive bladder: Current state of the problem] // Urologiia. 2020. № 4. P. 165.
11. Sorokin Yu.N. [Neurogenic dysfunction of the lower urinary tract (neurogenic bladder)] // Russ. Neurol. J. 2021. V. 26. № 5. P. 61.
12. Kasyan G.R., Stroganov R.V., Hodyreva L.A. et al. [Urodynamic studies in functional urology] / Methodological recommendations № 29. М.: NIOZMM, 2020. 39 p.
13. Griffiths D., Tadic S.D. Bladder control, urgency, and urge incontinence: Evidence from functional brain imaging // Neurourol. Urodyn. 2008. V. 27. № 6. P. 466.
14. Kitta T., Mitsui T., Kanno Y. et al. Brain-bladder control network: The unsolved 21st century urological mystery // Int. J. Urol. 2015. V. 22. № 4. P. 342.
15. Sakakibara R., Tsunoyama K., Takahashi O. et al. Real-time measurement of oxyhemoglobin concentration changes in the frontal micturition area: An fNIRS study // Neurourol. Urodyn. 2010. V. 29. № 5. P. 757.
16. Griffiths D. Functional imaging of structures involved in neural control of the lower urinary tract // Handb Clin. Neurol. 2015. V. 130. P. 121.
17. Griffiths D. Neural control of micturition in humans: A working model // Nat. Rev. Urol. 2015. V. 12. № 12. P. 695.
18. Groat W.C., Griffiths D., Yoshimura N. Neural control of the lower urinary tract // Compr. Physiol. 2015. V. 5. № 1. P. 327.
19. Aleksandrov V.G., Gubarevich E.A., Kokurina T.N. et al. Central autonomic network // Human Physiology. 2022. V. 48. № 6. P. 759.
20. Ketai L.H., Komesu Y.M., Dodd A.B. et al. Urgency urinary incontinence and the interoceptive network: A functional magnetic resonance imaging study // Am. J. Obstet. Gynecol. 2016. V. 215. № 4. P. 449e1.
21. Zuo L., Zhou Y., Wang S. et al. Abnormal brain functional connectivity strength in the overactive

REFERENCES

- bladder syndrome: A resting-state fMRI study // *Urology*. 2019. V. 131. P. 64.
22. *Sugaya K., Nishijima S., Miyazato M., Ogawa Y.* Central nervous control of micturition and urine // *J. Smooth Muscle Res.* 2005. V. 41. № 3. P. 117.
 23. *Pronin I.N., Khokhlova E.V., Konakova T.A. et al.* [Positron emission tomography with 11C-methionine in primary brain tumor diagnosis] // *Zh. Nevrol. Psikiatr. Im. S.S. Korsakova*. 2020. № 120(8). P. 51.
 24. *Smolyarchuk M.A., Kireeva E.D., Ryzhov S.A. et al.* [Recommendations for conducting and describing studies using positron emission tomography combined with computed tomography, conducted at the expense of the Moscow City Compulsory Medical Insurance Fund / Methodological recommendations]. 2nd edition, suppl. The series "Best practices of radiation and instrumental diagnostics". Issue 87. M.: GBUZ "NPCC DiT DZM", 2021. 80 p.
 25. *Stackhouse T.L., Mishra A.* Neurovascular coupling in development and disease: Focus on astrocytes // *Front. Cell Dev. Biol.* 2021. V. 9. P. 702832.
 26. *Kostenikov N.A., Tyutin L.A., Fadeev N.P. et al.* [Differential diagnosis of brain gliomas by positron emission tomography with various radiopharmaceuticals] // *J. Radiol. Nucl. Med.* 2014. № 5. P. 13.
 27. *Berdichevsky V.B., Berdichevsky B.A., Barashin D.A. et al.* [Static PET/CT kidney scintigraphy] // *Med. Sci. Educ. Ural.* 2019. V. 20. № 1(97). P. 111.
 28. *Zykov E.M., Pozdnyakov A.V., Kostenikov N.A.* [Rational use of PET and PET/CT in oncology] // *Pract. Oncol.* 2014. V. 15. № 1. P. 31.
 29. *Ivashchenko I.M., Shnyakin P.G., Kataeva A.A. et al.* [Positron emission tomography capabilities in the diagnosis of malignant brain tumors (literature review)] // *In the World of Scientific Discoveries*. 2018. № 4. P. 72.
 30. *Pushkar D.Yu., Kasyan G.R.* [Functional urology and urodynamics]. Moscow: GEOTAR-Media, 2014. 376 p.
 31. *Skvortsova T.Y., Gurchin A.F., Savintseva Z.I.* C-methionine PET in assessment of brain lesions in patients with glial tumors after combined treatment // *Zh. Vopr. Neurokhir. Im. N.N. Burdenko*. 2019. № 83(2). P. 27.
 32. *Kolpakov V.V., Bespalova T.V., Tomilova E.A. et al.* Systemic analysis: Individual typological characteristics of the human body // *Human Physiology*. 2011. V. 37. № 6. P. 738.
 33. *Kolpakov V.V., Tomilova E.A., Larkina N.Y. et al.* Chronobiological assessment of habitual physical activity in humans in Western Siberia // *Human Physiology*. 2016. V. 42. № 2. P. 203.
 34. *Sudakov S.K.* [Physiological mechanisms of anticipating the future result of purposeful behavior] // *Russ. Fiziol. Zh. Im. I.M. Sechenova*. 2019. V. 105. № 1. P. 36.
 35. *Browning K.N., Carson K.E.* Central neurocircuits regulating food intake in response to gut inputs – Preclinical evidence // *Nutrients*. 2021. V. 13. № 3. P. 908.
 36. *Lamotte G., Shouman K., Benarroch E.E.* Stress and central autonomic network // *Auton. Neurosci.* 2021. V. 235. P. 102870.
 37. *Jarrahi B., Mantini D., Balsters J.H. et al.* Differential functional brain network connectivity during visceral interoception as revealed by independent component analysis of fMRI TIME-series // *Hum. Brain Mapp.* 2015. V. 36. № 11. P. 4438.
 38. *Torta D.M., Costa T., Duca S. et al.* Parcellation of the cingulate cortex at rest and during tasks: A meta-analytic clustering and experimental study // *Front. Hum. Neurosci.* 2013. V. 7. P. 275.
 39. *Jarrahi B., Mantini D., Mehnert U., Kollias S.* Exploring influence of subliminal interoception on whole-brain functional network connectivity dynamics // *Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc.* 2015. V. 2015. P. 670.
 40. *Nour S., Svarer C., Kristensen J.K. et al.* Cerebral activation during micturition in normal men // *Brain*. 2000. V. 123. Pt. 4. P. 781.

System Mechanisms of Urine Formation and Transport. Message 1. Features of the Storage-Evacuation Function of the Bladder in Young People with Different Urination Rhythms

E. V. Sapozhenkova*, V. V. Kolpakov, V. B. Berdichevsky, E. A. Tomilova

Tyumen State Medical University, Tyumen, Russia

**E-mail: Ekaterina_chibulaeva@mail.ru*

The relevance of the study is determined by the high prevalence of symptoms of the lower urinary tract, as well as the search for new intersystem relationships in the implementation of the accumulative evacuation function of the bladder using modern diagnostic methods and highlighting criteria for early diagnosis of these disorders. Based on the results of current preventive examinations, including the recommendations of the American Continence Society (ISC), urination diaries were filled out for 3 days, a survey of lower urinary tract symptoms on the I-PSS scale, and quality of life assessments (QOL). Three groups of young males had been divided – with normal (183 people, average age 27.3 ± 1.5 years), borderline (52 people, average age 26.8 ± 1.7 years) and increased urination rhythm (total 53 people, average age 28.1 ± 1.8 years). Additionally, the individual volume of habitual physical activity – HPA (mobile application on the Android and Apple platforms) was assessed. Combined positron emission and computed tomography (PET/CT) with a total mathematical calculation of the standardized capture level of Maximum Standardized Uptake Value (SUV_{max}), the maximum indicator of the degree of accumulation of radiopharmaceuticals in the selected area of interest by various brain zones ^{18}F -FDG, ^{11}C -methionine and ^{11}C -choline was performed in different functional phases of work bladder (filling, urination and after emptying) on a Biograph machine (Siemens, Germany). As a result of the studies, quantitative and qualitative characteristics were given to the energy metabolism of the brain in the process of implementing the storage and evacuation functions of the bladder in young people with normal, borderline and frequent urination rhythms. The consistent functional activity of the most significant sections (anterior and posterior cingulate cortex, paracentral lobule, thalamus, insula) in different phases of urination has been established, and on this basis a standard model of the central regulation of the storage-evacuation function of the bladder has been proposed.

Keywords: bladder, young people, urodynamics, brain metabolism, PET/CT.