

DOI: <https://doi.org/10.17650/2222-8721-2025-15-1-18-26>

Батутный рефлекс. Нейрофизиологическая и экспериментальная модель

С.В. Муравьев, Ю.В. Каракулова, И.Д. Шитоев, Г.З. Клоян*ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет им. акад. Е.А. Вагнера» Минздрава России; Россия, 614990 Пермь, ул. Петропавловская, 26***Контакты:** Сергей Владимирович Муравьев sergey89.m@mail.ru

Введение. Проплатология – область медицины, посвященная изучению и коррекции пролапса органов малого таза, который остается нерешенной задачей гинекологии на текущем этапе ее развития. Батутный рефлекс – сокращение мышц тазового дна в ответ на повышение внутрибрюшного давления в режиме «гамак/батут». Показано, что вся толщина мышц тазового дна реализует батутный рефлекс как форму «быстрого» фазического рефлекса, а фоновый тонус мышц тазового дна определяется «медленными» тоническими рефлексам.

Цель исследования – изучить структурно-функциональную организацию батутного рефлекса, предложить экспериментальную нейрофизиологическую модель его объективизации.

Материалы и методы. Для построения теоретической нейрофизиологической модели использовались данные открытых источников литературы. Экспериментальная нейрофизиологическая модель построена на основании исследования 3 здоровых добровольцев женского пола старше 18 лет (средний возраст – $30,00 \pm 2,66$ года). Регистрация батутного рефлекса осуществлялась при помощи индивидуального влагалищного электрода (2-й канал отведения) при односторонней стимуляции диафрагмального нерва и отведения моторных ответов от диафрагмы (1-й канал отведения).

Результаты. Показано, что амплитудные характеристики моторных ответов диафрагмы взрослых испытуемых женского пола значительно ниже описанных ранее, а моторный ответ мышц влагалища при стимуляции диафрагмального нерва обладает низкой амплитудой, принципиальная возможность его регистрации связана с перенесенными травмирующими событиями со стороны тазового дна. Инверсия моторного ответа мышц влагалища связана с техническими особенностями его регистрации.

Выводы. Представлены нейрофизиологическая модель и способ регистрации рефлекторной активности мышц тазового дна, которые позволяют расширить возможности диагностики нарушений функций тазовых органов с позиции нарушения двигательной иннервации и «несовершенства» тазового дна как эфферентного звена батутного рефлекса.

Ключевые слова: батутный рефлекс, тазовое дно, нейрофизиологическая модель

Для цитирования: Муравьев С.В., Каракулова Ю.В., Шитоев И.Д., Клоян Г.З. Батутный рефлекс. Нейрофизиологическая и экспериментальная модель. Нервно-мышечные болезни 2025;15(1):18–26.

DOI: <https://doi.org/10.17650/2222-8721-2025-15-1-18-26>

Trampoline reflex. Neurophysiological and experimental model

S.V. Muravyov, Yu.V. Karakulova, I.D. Shitoev, G.Z. Kloyan*Perm State Medical University named after Acad. Ye.A. Vagner, Ministry of Health of Russia; 26 Petropavlovskaya St., Perm 614990, Russia***Contacts:** Sergey Vladimirovich Muravev sergey89.m@mail.ru

Background. Prolaptology is an area dedicated to the study and correction of pelvic organ prolapse, which remains an unsolved task of gynecology at the current stage of its development. Trampoline reflex – contraction of the pelvic floor muscles in response to an increase in intra-abdominal pressure in the “hammock mode/trampoline”. It is shown that the entire thickness of the pelvic floor muscles implements the trampoline reflex as a form of “fast” phasic reflex, and the background tone of the pelvic floor muscles is determined by “slow” tonic reflexes.

Aim. To study the structural and functional organization of the trampoline reflex, to propose an experimental neurophysiological model of its objectification.

Materials and methods. Data from open literature sources were used to build a theoretical neurophysiological model. An experimental neurophysiological model was built on the basis of a study of three healthy female volunteers over the age of 18 (average age is 30.00 ± 2.66 years). Registration of the trampoline reflex was carried out using an individual vaginal electrode (2nd channel of abduction) with unilateral stimulation of the diaphragmatic nerve and withdrawal of motor responses from the diaphragm (1st channel of abduction).

Results. It is shown that the amplitude characteristics of the motor responses of the diaphragm of adult female subjects are significantly lower than those described earlier, and the motor response of the vaginal muscles during stimulation of the diaphragmatic nerve has a low amplitude, the principal possibility of its registration is associated with traumatic events from the bottom. The inversion of the motor response of the vaginal muscles is associated with the technical features of its registration.

Conclusion. A neurophysiological model and a method for registering the reflex activity of the pelvic floor muscles are presented, which allows expanding the possibilities of diagnosing pelvic organ dysfunction from the position of impaired innervation of motor innervation and «imperfections» of the pelvic floor as an efferent link of the trampoline reflex.

Keywords: trampoline reflex, pelvic floor, neurophysiological model

For citation: Muravyov S.V., Karakulova Yu.V., Shitoev I.D., Kloyan G.Z. Trampoline reflex. Neurophysiological and experimental model. *Nervno-myshechnye bolezni = Neuromuscular Diseases* 2025;15(1):18–26. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17650/2222-8721-2025-15-1-18-26>

Введение

Пролапс органов женского малого таза — проблема, изучение которой продолжается более 3500 лет. Древнеегипетский медицинский трактат — так называемый папирус Эберса — впервые представил на свет сведения о том, как на территории Древнего Египта лечение опущения тазовых органов проводилось путем использования примитивных pessaries, скатанных из волокнистого материала, пропитанного целебными снадобьями [1]. Тот же письменный источник свидетельствует о том, что на территории этой древней цивилизации проблемы опущения тазовых органов поддавались лечению примочками из меда и нефти. С позиции нейротерапевтического вмешательства в проблему опущения тазовых органов такой подход кажется в силу времени оправданным, что подтверждается отчасти тем, что один из углеводородов группы нефти, или нефтяных битумов, — озокерит — обладает ацетилхолинподобным эффектом, логично усиливая нервно-мышечную передачу [2].

Одним из флагманских направлений современной гинекологии является пролаптология — область, посвященная изучению и коррекции пролапса органов малого таза, который, наряду с проблемами невынашивания и неразвившейся беременности, мертворождением, преэклампсией, рецидивирующим вульвовагинальным кандидозом и эндометриозом, остается нерешенной задачей гинекологии на текущем этапе ее развития [3].

Краеугольным камнем в патогенезе развития пролапса тазовых органов с неврологической точки зрения служит так называемый батутный рефлекс (БР) [4, 5]. С позиции физиологии БР — сокращение мышц тазового дна в ответ на повышение внутрибрюшного давления. Такое определение явления смены геометрии тазового дна в режиме «гамак/батут» [4] кажется довольно прозрачным, а его «несовершенство» логично приводит к структурно-функциональным нарушениям

мышц тазового дна, более известным, как пролапс тазовых органов во всем ассортименте его клинических форм и степеней тяжести [4]. В то же время нейрофизиологический подход требует интерпретации БР с позиции идентификации рефлекторной цепи, определения степени влияния супраспинальных влияний на его интрасегментарное звено и объективного измерения скоростно-временных параметров БР.

Цель исследования — изучить структурно-функциональную организацию БР, предложить рефлекторную экспериментальную нейрофизиологическую модель его объективизации.

Материалы и методы

Для оценки структурно-функциональной организации БР были проанализированы открытые отечественные и зарубежные источники литературы (в том числе eLIBRARY, PubMed, Scopus).

Для проведения эксперимента были приглашены добровольцы (3 женщины в возрасте старше 18 лет, средний возраст составил $30,00 \pm 2,66$ года). У всех женщин оценивался акушерско-гинекологический анамнез (количество беременностей и родов, перенесенные гинекологические заболевания и оперативные вмешательства). От всех испытуемых было получено письменное согласие на медицинское вмешательство. Исследование проводилось при условии отсутствия острых и обострения хронических гинекологических заболеваний. На момент проведения исследования у женщин не наблюдалось менструаций и текущей беременности. Всем испытуемым проводилась стимуляционная электронейромиография на аппарате «НейроМВП-4/С» (ООО «Нейрософт», Российская Федерация). Для отведения от мышц влагалища использовался индивидуальный вагинальный электрод с продольным расположением регистрирующих пластин из нержавеющей медицинской стали.

Для построения модели БР первостепенной задачей кажется интерпретация триггерных факторов функционирования БР. Принято считать, что таковым является не прямое раздражение некоего рецепторного поля, локализованного в брюшной полости, в ответ на повышение внутрибрюшного давления. Однако известно, что внутрибрюшное давление — довольно стабильная величина и в норме составляет 0–5 мм рт. ст. [6–8], тогда как в брюшной полости беременной женщины может достигать 10–15 мм рт. ст. [9]. С точки зрения биомеханики эта величина определяется, с одной стороны, объемом содержимого брюшной полости, с другой — степенью эластичности брюшной стенки. Такими «стационарными» — постоянно действующими — факторами, во-первых, могут быть объем содержимого полых органов брюшной стенки, объем большого сальника, гипертрофия внутренних органов брюшной полости (например, большого сальника при висцеральном ожирении) [10], объем жидкости в брюшной полости (например, при развитии перитонита) [11], а во-вторых — факторы, связанные со снижением эластичности стенок брюшной полости, например при развитии диастаза прямой мышцы живота [12]. Таким образом, все эти факторы формируют индивидуальное значение внутрибрюшного давления, которое может меняться на протяжении длительного времени. К значимым с позиции мгновенного нарастания внутрибрюшного давления целесообразно отнести двигательные реакции со стороны диафрагмы при раздражении верхних дыхательных путей (при кашле и чихании) [13]. Именно в этом случае наблюдается наиболее частое явление подтекания мочи по каплям как основное проявление слабости тазовых мышц [14]. В то же время аналогичные явления могут развиваться при резком локальном — в области нижнего этажа брюшной полости — повышении внутрибрюшного давления, например при прыжках с высоты [14], за счет ускорения движения массива внутренних органов брюшной полости. С этой точки зрения логично расширить триггерный фактор БР не только за счет повышения внутрибрюшного давления в целом, но и за счет его локального нарастания в силу гравитационных явлений, в том числе за счет ускорения свободного падения. Описанные особенности триггерных факторов БР позволяют судить о том, что вся толща мышц тазового дна реализует БР как форму «быстрого» фазического рефлекса, тогда как фоновый тонус мышц тазового дна определяется «медленными» тоническими рефлексам [15].

Рецепторное звено БР. Логично было предположить, что в области нижнего этажа брюшной полости происходит раздражение неких рецепторов, что проявляется в эфферентной порции БР сокращением тазовых мышц. Наиболее явным претендентом на эту роль служит листок париетальной брюшины. Но, как оказалось, тазовая брюшина не имеет соматической иннервации [16], ограничиваясь лишь вегетативным

рефлекторным обеспечением. Таким образом, рецепторное поле БР требует верификации со стороны иных образований — прежде всего, со стороны поперечнополосатой мускулатуры мышц тазового дна, что вполне рационально с позиции тонического и физического обеспечения его двигательной активности.

Не будучи исключением из общих правил организации рефлекторной деятельности двигательного акта поперечнополосатой мускулатуры, мышцы тазового дна содержат в своем составе мышечные веретена с интегрированными интрафузальными веретенами [17]. Следует напомнить, что гистологическое многообразие мышечных веретен включает в себя волокна как с ядерной цепочкой, так и с ядерной сумкой, чья афферентная иннервация обслуживается афферентами Ia и II типа, а двигательная иннервация — статическими и динамическими γ -мотонейронами, подвергаясь модуляции стимулами более «древних» β -мотонейронов, реализующих моносинаптические сегментарные рефлекторные реакции [18]. Резюмируя перечисленное, следует отметить, что весь состав внутримышечной порции рефлекторного аппарата обеспечивает 2 формы двигательных актов: статический и динамический, что позволяет верифицировать БР как форму миотатического рефлекса, или рефлекса на растяжение (myotatic reflex, или stretch reflex), а в частности — фазический стрейч-рефлекс, который реализует сокращение мышцы в ответ на ее растяжение [19]. Фазический стрейч-рефлекс реализуется по следующему сценарию: возбуждение от афферентного аксона (Ia-афферент) мышечного веретена через задний корешок поступает в соответствующий сегмент спинного мозга и дает ветви в сером веществе, некоторые из которых моносинаптически замыкаются на α -мотонейронах мышц тазового дна. В ответ на импульсацию от Ia-афферентов α -мотонейрон генерирует потенциал действия, вызывающий сокращение мышцы. Примечательно, что реализация фазического стрейч-рефлекса со стороны мышц конечностей отличается от такового БР, поскольку иные ветви аксона Ia-афферента замыкаются на тормозных интернейронах, которые в ответ на импульсацию подавляют активность антагонистов актуального двигательного акта, которых как таковых у мышц тазового дна не существует, что нивелирует привычный механизм реципрокной иннервации.

Эфферентное звено БР. Для простоты описания эфферентное звено БР целесообразно представить в виде перечня морфофункциональных образований в очередности их включения в двигательный акт. Сознательная двигательная активность мышц тазового дна реализуется путем импульсации α -мотонейронов ядер передних рогов спинного мозга сегментов S_{1-IV} , наиболее функционально значимым из которых принято считать ядро Онуфа (или Владислава Онуфровича) [20]. Считается, что большая часть тел мотонейронов данного ядра лежит в передних рогах II крестцового

сегмента спинного мозга, а физиология этого ядра отличается тем, что объем мотонейронального пула обладает четким половым диморфизмом — размер ядра Онуфа у мужчин преобладает над таковым у женщин. Кроме этого, ядро Онуфа демонстрирует нейрофизиологический дуализм, с одной стороны, подвергаясь пептидэргическим реакциям, проявляя «вегетативную» природу [21], а с другой — показывая свою приверженность модуляции функциональной активности гормональными соединениями [22], в то же время сопровождаясь сексуальными расстройствами при дегенерации [23].

Аксоны α -мотонейронов формируют ствол полового нерва, который на своем протяжении проходит критические анатомические каналы и отверстия, наиболее значимыми из которых являются канал Алкока, грушевидное отверстие и большое седалищное отверстие [24]. Такое представление о двигательной иннервации мышц тазового дна кажется довольно прозрачным, однако не является унифицированным. Факт вариативной иннервации мышц подтверждается В.А. Grigorescu, в работах которого показано, что мышца, поднимающая задний проход, у 1/3 популяции иннервируется прямыми ветвями S_{III} , а у 2/3 — наряду с подвздошно-копчиковой мышцей — двигательными порциями S_{III-IV} . Именно нервные стволы, сформированные этими корешками, могут быть поражены в родах, будучи расположенными на висцеральной поверхности мышцы, поднимающей задний проход [25].

Кроме этого, «ахиллесовой пятой» эфферентного звена БР у женщин является «материнский перинеальный паралич», который, как считается, развивается редко (1 случай на 2600 родов), но субклиническая симптоматика которого встречается значительно чаще. Эта нозологическая единица связана с компрессионно-ишемическим поражением корешков L_{IV-V} головкой плода, проходящей по родовым путям. Манифестирует такая форма пареза двусторонними симптомами компрессионно-ишемической радикулопатии седалищного нерва, тогда как аналогичное повреждение более каудальных корешков в литературе описывается крайне редко [25, 26].

Непосредственно двигательный акт при деполяризации двигательных мотонейронов передних рогов ранее указанных нервов реализуется за счет нейромышечного синапса и мышцы-эфферента. В литературе широко описаны варианты поражения мышц тазового дна, которые наблюдаются как при физиологических родах, так и по результатам проведения оперативного пособия. Все это приводит к пролиферации соединительной ткани и возникновению «благприобретенного локального синдрома соединительной ткани» [4, 27].

Описанная нейрофизиологическая модель БР является упрощенной и лишь отчасти претендует на соответствие реальности, поскольку не учитывает множество факторов, модулирующих функциональную

активность БР, таких как супраспинальные нисходящие влияния коры и подкорковых образований, интрагемментарные процессы торможения, индивидуальные особенности строения морфофункциональных образований БР, гормонозависимые изменения мотосенсорного проведения и др. Но в то же время современный пул нейрофизиологических исследований мышц тазового дна включает практически весь спектр предметов исследования — стратифицированных образований БР — от данных игольчатой электромиографии в отведении от мышц тазового дна [25], стимуляционной электромиографии полового нерва (в том числе с использованием перчаточного электрода св. Марка [28]) до данных сегментарной и кортикальной диагностической магнитной стимуляции [29] в отведении от мышц тазового дна. Кроме перечисленных методов, в нейроурологии оцениваются бульбокавернозный рефлекс [30] и смешанный возвратно-рефлекторный ответ, отчасти обладающий природой F-волны [31]. Безусловно, все полученные ранее данные кажутся ценными с позиции топической диагностики поражения структур БР, однако не отражают его функциональные свойства и требуют проведения нейрофизиологического исследования БР в условиях, приближенных к реальности.

Экспериментальная модель батутного рефлекса

Для объективизации БР необходимо было решить 2 задачи. Первая задача была связана с необходимостью регистрации сокращения диафрагмы на фоне стабильно повышенного внутрибрюшного давления. Такая задача позволяла симулировать биомеханические явления диафрагмы при кашле и чихании. Предметом второй задачи — одновременно с реализацией первой — стала регистрация моторных ответов диафрагмы.

Для решения первой задачи такого условия осуществлялась ритмическая стимуляция диафрагмального нерва в проекции переднего края передней грудинно-ключично-сосцевидной мышцы [32] стимулирующим электродом с постоянным межэлектродным расстоянием «ЭС-2». Стимуляцию осуществляли ступенчато (+1 мА/стимул с частотой 1 Гц) прямоугольными стимулами длительностью 1,0 мс путем постепенного увеличения силы тока от 1 до 70 мА до появления не менее 2 моторных ответов постоянной формы и амплитуды. Отведение (1-й канал) проводили в проекции купола диафрагмы, референтный электрод размещали в области середины VII межреберного промежутка по срединно-ключичной линии, активный — в проекции мечевидного отростка грудины. Регистрацию осуществляли одноразовыми токопроводящими гидрогелевыми электродами. Перед наложением электродов кожу обезжиривали 70 % раствором этилового спирта. Опираясь на опыт, полученный авторами, оценивающими нормативные значения амплитудно-скоростных характеристик моторного ответа диафрагмального нерва,

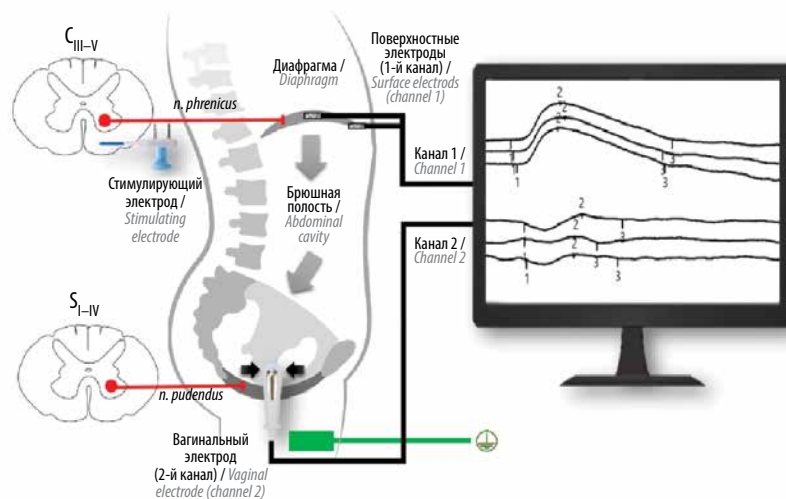


Рис. 1. Схематическое изображение реализации батутного рефлекса

Fig. 1. Schematic representation of the implementation of the trampoline reflex

исключили ложную регистрацию моторных ответов диафрагмы вследствие сокращения передней зубчатой и дельтовидной мышцы.

Вторая задача условий экспериментальной модели достигалась путем расположения во влагалище одноразового вагинального электрода, выполненного из медицинского пластика с продольным расположением пластин из медицинской нержавеющей стали в качестве референтного и активного электрода. При установке электрода во влагалище стальные пластины обращали в стороны внутренних поверхностей бедер, а ограничители электрода располагали в преддверии влагалища. Вагинальный электрод использовался для отведения (2-й канал) моторных ответов мышц влагалища. До установки вагинального электрода всем испытуемым было предложено осуществить гигиенические процедуры. Заземление осуществляли путем наложения заземляющего кольцевого электрода в области голени испытуемой.

Регистрация моторных ответов при помощи вагинального электрода осуществлялась одновременно с регистрацией моторных ответов диафрагмы в количестве не менее 2–3 потенциалов действия. Схематическое изображение реализации БР представлено на рис. 1.

Результаты и обсуждение

Нейрофизиологические характеристики и параметры ответов по 1-му и 2-му каналу представлены в табл. 1.

Данные представленной экспериментальной модели позволяют судить о том, что техническая и методологическая возможность регистрации моторных ответов влагалища в ответ на стимуляцию диафрагмального нерва является оправданной. В условиях клинической разнородности и малочисленности испытуемых, участвовавших в эксперименте, допускается возможным расширить предложенный алгоритм

исследования в более широкой экспериментальной выборке пациенток: как с неотягощенным акушерско-гинекологическим анамнезом, так и с заболеваниями как репродуктивной, так и опорно-двигательной — ввиду анатомической однородности исследуемых невро- и миотомов — системы.

Несмотря на перспективность предложенной экспериментальной модели, уже сейчас кажутся гипотетическими ряд фактов:

Амплитудные характеристики моторных ответов диафрагмы взрослых испытуемых женского пола значительно ниже описанных ранее в литературе [30]. Вероятной причиной этого кажется значительно более выраженная толщина подкожной жировой клетчатки в области отведений.

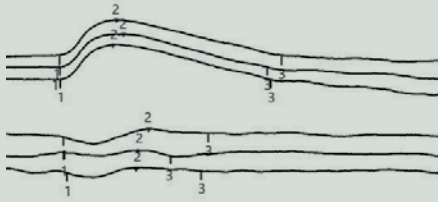
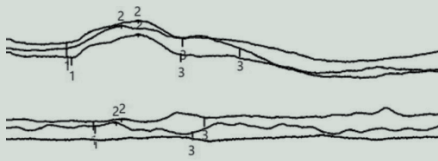
Моторный ответ мышц влагалища при стимуляции диафрагмального нерва обладает низкой амплитудой, а возможность его регистрации связана с перенесенными травмирующими событиями со стороны тазового дна (оперативные вмешательства (эпизиотомия у испытуемой М.) и не менее 1 влагалищных родов (у испытуемых И. и М.)).

Инверсия моторного ответа мышц влагалища, вероятно, связана с «моментальной» инверсией активного и референтного электрода при регистрации моторного ответа с цилиндрического органа, где регистрирующие электроды прилегают к его противоположным стенкам.

На основании полученных результатов кажется оправданным провести сравнительную характеристику методов, используемых в оценке сократительной функции мышц тазового дна (табл. 2), что делает очевидным, что описанная нейрофизиологическая модель в полной мере объективизирует БР на всем его протяжении.

Таблица 1. Нейрофизиологические характеристики моторных ответов в эксперименте

Table 1. Neurophysiological characteristics of motor responses in the experiment

Условное обозначение испытуемой Conventional designation of subject	Графическое изображение моторных ответов (по 1-му и 2-му каналу в направлении сверху вниз соответственно) Graphic representation of motor responses (channels 1 and 2 from top to bottom, respectively)	Параметры моторных ответов Motor response parameters	Данные акушерско-гинекологического анамнеза Obstetric and gynecological history data
Д. D.		A = 38 мА A1 = 0,38 ± 0,01 мВ Л1 = 6,4 ± 0,1 мс A2 = 0,05 мВ Л2 = 6,5 мс Примечание: инверсия восходящего плеча моторного ответа по 2-му каналу A = 38 мА A1 = 0,38 ± 0,01 мВ Л1 = 6,4 ± 0,1 мс A2 = 0,05 мВ Л2 = 6,5 мс Note: inversion of the ascending arm of the motor response on channel 2	Диагноз: здорова. В анамнезе беременностей нет, родов нет Diagnosis: healthy. No history of pregnancy, no births
И. I.		A = 40 мА A1 = 0,16 ± 0,01 мВ Л1 = 6,1 ± 0,1 мс A2 = 0,02 мВ Л2 = 8,2 мс Примечание: моторные ответы по 2-му каналу сомнительны A = 40 мА A1 = 0,16 ± 0,01 мВ Л1 = 6,1 ± 0,1 мс A2 = 0,02 мВ Л2 = 8,2 мс Note: motor responses on channel 2 are questionable	Диагноз: здорова. В анамнезе 1 беременность, 1 влагалищные роды Diagnosis: healthy. History: one pregnancy, one vaginal birth
М. M.		A = 62 мА A1 = 0,14 ± 0,01 мВ Л1 = 5,9 ± 0,1 мс A2 = 0 мВ Л2 = 0 мс Примечание: моторные ответы по 2-му каналу не получены A = 62 мА A1 = 0,14 ± 0,01 мВ Л1 = 5,9 ± 0,1 мс A2 = 0 мВ Л2 = 0 мс Note: motor responses on channel 2 were not received	Диагноз: стрессовое недержание мочи. В анамнезе 4 беременности, 3 влагалищных родов, эпизиотомия в 3-х родах Diagnosis: stress urinary incontinence. History: 4 pregnancies, 3 vaginal births, episiotomy in the 3rd birth

Примечание. А — сила тока, соответствующая пороговой для моторных ответов мышц влагалища, или максимальная сила тока, примененная при стимуляции диафрагмального нерва; А1 — амплитуда моторного ответа по 1-му каналу; Л1 — латентность моторного ответа по 1-му каналу; А2 — амплитуда моторного ответа по 2-му каналу; Л2 — латентность моторного ответа по 2-му каналу.

Note. A — current intensity corresponding to the threshold for motor responses of the vaginal muscles or the maximum current intensity applied during stimulation of the phrenic nerve; A1 — amplitude of motor response on channel 1; L1 — latency of motor response on channel 1; A2 — amplitude of motor response on channel 2; L2 — latency of motor response on channel 2.

Таблица 2. Сравнительная характеристика нейрофизиологических методов исследования мышц тазового дна
Table 2. Comparative characteristics of neurophysiological methods for studying the pelvic floor muscles

Звено батутного рефлекса — предмет исследования The trampoline reflex link is the subject of research	Методы исследования Research methods				
	Транскраниальная магнитная стимуляция Transcranial magnetic stimulation	Периферическая (сегментарная магнитная стимуляция) Peripheral (segmental magnetic stimulation)	Стимуляционная электро-нейромиография* (транс-ректально или трансвагинально с использованием электрода св. Марка) Stimulation electroneuromyography* (transrectal or transvaginal using St. Mark's electrode)	Игольчатая электромиография Needle electromyography	Экспериментальная модель Experimental model
Супрасегментарные механизмы Suprasegmental mechanisms	+	—	—	—	—
Афферентная часть Afferent part	—	—	+	—	+
Интра сегментарные механизмы Intrasegmental mechanisms	—	—	+	—	+
Эфферентная часть (двигательные волокна полового нерва) Efferent part (motor fibers of the pudendal nerve)	+	+	+	—	+
Эфферентная часть (α-мото нейроны) Efferent part (alpha motor neurons)	+	+	+	+	+

*Включая оценку рефлекторных ответов (бульбокавернозный рефлекс и смешанный возвратно-рефлекторный ответ).

*Including assessment of reflex responses (bulbocavernous reflex and mixed recurrent-reflex response).

Выводы

Представленная нейрофизиологическая модель и способ регистрации рефлекторной активности мышц тазового дна позволяют расширить «интересы» пролаптологии с позиции заинтересованности структур периферической нервной системы. Существующая концепция опущения органов малого таза с позиции нарушения эластичности тазового дна вследствие травмы, в том числе родовой, кажется отчасти механистичной, не учитывающей роль директивных систем — прежде всего, нервной и нейрогуморальной регуляции — в развитии рефлекторных расстройств органов малого таза. Одновременно с этим предложенная нейрофизиологическая конструкция сближает патогенез развития

синдрома слабости мышц тазового дна с уже изученными аспектами компрессионно-ишемических дорсопатий, проявляющихся вялыми парезами. Одновременно с патогенетической конвергенцией клиническая дивергенция неврологического дефекта этих состояний обеспечена уникальностью строения поперечнополосатой мускулатуры тазового дна как эластичной мембраны, а не продольного тяжа, что определяет его «несовершенство» с позиции развития нарушения иннервации. Таким образом, дальнейшее изучение патогенеза данных состояний, особенно с учетом их коморбидности, кажется важным с позиции пополнения багажа клинических знаний и расширения ассортимента терапевтических инструментов.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Werner E.G., Bernhard D.H., Gundolf K. et al. Enzyklopädie Medizingeschichte. Berlin, New York: De Gruyter, 2005. 109 p.
2. Марченкова Л.А., Бадалов Н.Г., Герасименко М.Ю. и др. Современные возможности и перспективы физиотерапевтических и бальнеологических методов в лечении и реабилитации пациентов с диабетической нейропатией. Физиотерапия, бальнеология и реабилитация 2016;15(6):322–7. DOI: 10.18821/1681-3456-2016-15-6-322-327
Marchenkova L.A., Badalov N.G., Gerasimenko M.Yu. et al. The modern possibilities and prospects of physiotherapeutic and balneotherapeutic methods for the treatment and rehabilitation of the patients with diabetic neuropathy. Fizioterapiya, balneologiya i reabilitatsiya = Russian Journal of the Physical Therapy, Balneotherapy and Rehabilitation 2016;15(6):322–7. (In Russ.). DOI: 10.18821/1681-3456-2016-15-6-322-327
3. Токтар Л.Р., Арютин Д.Г., Волкова С.В. и др. Парадоксы перинеологии – реалии сегодняшнего дня. Доктор.Ру 2019;7(162):46–51. DOI: 10.31550/1727-2378-2019-162-7-46-51
Toktar L.R., Aryutin D.G., Volkova S.V. et al. Current paradoxes in perineology. Doktor.Ru = Doctor.Ru 2019;7(162):46–51. (In Russ.). DOI: 10.31550/1727-2378-2019-162-7-46-51
4. Токтар Л.Р. Женская пролаптология: от патогенеза к эффективности профилактики и лечения. Акушерство и гинекология: новости, мнения, обучение 2017;(3):98–107.
Toktar L.R. Female prolaptology: from pathogenesis to the effectiveness of prevention and treatment. Akusherstvo i ginekologiya: novosti, mneniya, obuchenie = Obstetrics and Gynecology: News, Opinions, Training 2017;(3):98–107. (In Russ.).
5. Перинеология: коллективная монография. Под ред. В.Е. Радзинского и др. М.: РУДН, 2010. 372 с.
Perineology: a collective monograph. Eds.: V.E. Radzinskiy et al. Moscow: RUDN, 2010. 372 p. (In Russ.).
6. Туктамышев В.С., Кулумов А.Г., Няшин Ю.И. и др. Внутривентральное давление человека. Российский журнал биомеханики 2013;(1):22–31.
Tuktamyshev V.S., Kuchumov A.G., Nyashin Yu.I. et al. Intra-abdominal pressure of human Rossiyskiy zhurnal biomekhaniki = Russian Journal of Biomechanics 2013;(1):22–31. (In Russ.).
7. Гельфанд Б.Р., Проценко Д.Н., Подачин П.В. и др. Синдром интраабдоминальной гипертензии: состояние проблемы. Медицинский алфавит 2010;12(3):36–43.
Gelfand B.R., Protsenko D.N., Podachin P.V. et al. Intraabdominal hypertension syndrome: the state of the problem. Meditsinskiy alfavit = Medical Alphabet 2010;12(3):36–43. (In Russ.).
8. Тимербулатов Ш.В., Фаязов Р.Р., Смыр Р.А. и др. Интраабдоминальная гипертензия и абдоминальный компартмент синдром: учебное пособие. Уфа: БГМУ Минздрава России, 2018. 69 с.
Timerbulatov Sh.V., Fayazov R.R., Smyr R.A. et al. Intraabdominal hypertension and abdominal compartment syndrome: study guide. Ufa: Bashkir State Medical University, 2018. 69 p. (In Russ.).
9. Chun R., Baghirzada L., Tiruta C. et al. Measurement of intra-abdominal pressure in term pregnancy: A pilot study. Int J Obstet Anesthesia 2012;21(2):135–9. DOI: 10.1016/j.ijoa.2011.10.010
10. Осипенко М.Ф., Казакова Е.А., Бикбулатова Е.А. и др. Взаимосвязь ожирения с заболеваниями верхних отделов органов пищеварения. Докладная гастроэнтерология 2014;3(2):36–8.
Osipenko M.F., Kazakova E.A., Bikbulatova E.A. et al. The relationship between obesity and upper digestive tract diseases. Dokazatel'naya gastroenterologiya = Russian Journal of Evidence-Based Gastroenterology 2014;3(2):36–8. (In Russ.).
11. Морозов Д.А., Филиппов, Ю.В., Городков, С.Ю. и др. Синдром интраабдоминальной гипертензии. Вестник хирургии им. И.И. Грекова 2011;170(1):97–101.
Morozov D.A., Filippov Yu.V., Gorodkov S.Yu. et al. Intraabdominal hypertension syndrome. Vestnik khirurgii im. I.I. Grekova = Grekov's Bulletin of Surgery 2011;170(1):97–101. (In Russ.).
12. Серафимов К.И., Никольский В.И., Титова Е.В. и др. Диагностические вопросы диагностики истинной грыжи. Ульяновский медико-биологический журнал 2022;(2):22–37. DOI: 10.34014/2227-1848-2022-2-22-37
Sergatskiy K.I., Nikolskiy V.I., Titova E.V. et al. Diastasis recti abdominis: Problems of diagnosis and treatment of false hernia. Ulyanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal = Ulyanovsk Medico-Biological Journal 2022;(2):22–37. (In Russ.). DOI: 10.34014/2227-1848-2022-2-22-37
13. Касатова Е.Ю., Туктамышев В.С. Колебания внутрибрюшного давления в процессе дыхания. Современные проблемы науки и образования 2015;(5):7.
Kasatova E.Yu., Tuktamyshev V.S. Oscillations of intra-abdominal pressure during respiration. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya = Modern Problems of Science and Education 2015;(5):7. (In Russ.).
14. Михельсон А.А., Луговых Е.В., Лазукина М.В. и др. Клинико-анамнестические предикторы развития стрессового недержания мочи у женщин. Гинекология 2022;24(1):51–6.
DOI: 10.26442/20795696.2022.1.201333
Mikhelson A.A., Lugovykh E.V., Lazukina M.V. et al. Clinical and anamnestic predictors of stress urinary incontinence in women. Ginekologiya = Gynecology 2022;24(1):51–6. (In Russ.). DOI: 10.26442/20795696.2022.1.201333
15. Белова А.Н., Балдова С.Н. Нейромодуляция и спинальная спастичность. Трудный пациент 2013;11(12):33–7.
Belova A.N., Baldova S.N. Neuromodulation and Spinal Spasticity. Trydnyy patsient = Difficult Patient 2013;11(12):33–7. (In Russ.).
16. Кузина М.И. Хирургические болезни. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2017. 992 с.
Kuzina M.I. Surgical diseases. Moscow: GEOTAR-Media, 2017. 992 p. (In Russ.).
17. Денисенко Ю.П., Высочин Ю.В., Яценко Л.Г. Современные представления о структурно-функциональной организации нервно-мышечной системы и механизмов сокращения и расслабления скелетных мышц. Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта 2011;4(21):39–49.
Denisenko Yu.P., Vysochin Yu.V., Yatsenko L.G. The contemporary concepts of structural and functional organization of the neuromuscular system and of the contraction and relaxation mechanisms of skeletal muscles. Pedagogiko-psikhologicheskie i mediko-biologicheskie problemy fizicheskoy kultury i sporta = Pedagogical, Psychological, Medical and Biological Problems of Physical Culture and Sports 2011;4(21):39–49. (In Russ.).
18. Manuel M., Daniel Z. Alpha, beta and gamma motoneurons: Functional diversity in the motor systems final pathway. J Integr Neurosci 2011;10(3):243–76. DOI: 10.1142/S0219635211002786
19. Кручинин П.А., Никитина О.В. Моделирование позы больного ДЦП при хамстринг-синдроме после хирургической коррекции по А.М. Журавлеву. Вестник Московского университета. Серия 1. Математика. Механика 2010;(2):18–22.
Kruchinin P.A., Nikitina O.V. Modeling the posture of a cerebral palsy patient with hamstring syndrome after surgical correction according to A.M. Zhuravlev. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 1. Matematika. Mekhanika = Bulletin of the Moscow University. Series 1. Mathematics. Mechanics 2010;(2):18–22. (In Russ.).
20. Данилов В.В., Вольных И.Ю., Данилов В.В. и др. Оперативное лечение стрессового недержания мочи и активация рефлекторного механизма тазового дна. Андрология и генитальная хирургия 2021;22(2):92–9.
DOI: 10.17650/1726-9784-2021-22-2-92-99
Danilov V.V., Volnikh I.Yu., Danilov V.V. et al. Surgical treatment of stress urinary incontinence and activation of reflex mechanism of the pelvic floor. Andrologiya i genital'naya khirurgiya = Andrology and Genital Surgery 2021;22(2):92–9. (In Russ.). DOI: 10.17650/1726-9784-2021-22-2-92-99

21. Schellino R., Boido M., Vercelli A. The dual nature of Onuf's nucleus: Neuroanatomical features and peculiarities, in health and disease. *Front Neuroanat* 2020;14:572013. DOI: 10.3389/fnana.2020.572013
22. Forger N.G., Ruszkowski E., Jacobs A. et al. Effects of sex and prenatal androgen manipulations on Onuf's nucleus of rhesus macaques. *Horm Behav* 2018;100:39–46. DOI: 10.1016/j.yhbeh.2018.03.003
23. Caglar O., Aydin M.D., Aydin N. et al. Important interaction between urethral taste bud-like structures and Onuf's nucleus following spinal subarachnoid hemorrhage: A hypothesis for the mechanism of dysorgasmia. *Rev Int Androl* 2022;20(1):1–10. DOI: 10.1016/j.androl.2020.05.011
24. Ширияева А.В., Беляков К.М., Антипенко Е.А. и др. Исследование проводимости по половым нервам у пациенток с хроническим уретральным болевым синдромом. Бюллетень медицинских интернет-конференций 2021;11(1):22. Shiryayeva A.V., Belyakov K.M., Antipenko E.A. et al. A study of conduction along the genital nerves in patients with chronic urethral pain syndrome. *Byulleten meditsinskikh internet-konferentsiy* = Bulletin of Medical Internet Conferences 2021;11(1):22. (In Russ.).
25. Забродец Г.В., Куликов А.А., Пересадка О.А. и др. Дисфункция тазовых органов у женщин — нейрофизиологические аспекты. Вестник ВГМУ 2012;11(3):80–8. Zabrodets G.V., Kulikov A.A., Peresada O.A. et al. Pelvic organ dysfunction in women — neurophysiological aspects. *Vestnik VGMU* = Vitebsk Medical Journal 2012;11(3):80–8. (In Russ.).
26. Preston D.C., Shapiro B.E. Electromyography and neuromuscular disorders: Clinical-electrophysiologic correlations. Elsevier: Philadelphia, 2005. 685 p.
27. Каприн А.Д., Филимонов В.Б., Васин Р.В. и др. Морфологическая характеристика реакции тканей мочевого пузыря и влагалища на фиксацию к ним сетчатых полипропиленовых имплантатов в эксперименте. Экспериментальная и клиническая урология 2013;(1):24–9. Kaprin A.D., Filimonov V.B., Vasin R.V. et al. Morphologic changes in urinary bladder and vagina tissues after polypropylene mesh implantation. *Experimental study. Eksperimentalnaya i klinicheskaya urologiya* = Experimental and Clinical Urology 2013;(1):24–9. (In Russ.).
28. Thor K.B., de Groat W.C. Neural control of the female urethral and anal rhabdosphincters and pelvic floor muscles. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol* 2010;299(2):R416–38. DOI: 10.1152/ajpregu.00111.2010
29. Беляков К.М., Стрельцова О.С., Антипенко Е.А. и др. Возможности исследования полового нерва при хроническом уретральном болевом синдроме методом магнитной стимуляции. Медицинский альманах 2020;2(63):64–9. Belyakov K.M., Streltsova O.S., Antipenko E.A. et al. Possibilities of the pudendal nerve studying in chronic urethral pain syndrome using magnetic stimulation method. *Meditsinskiy almanakh* = Medical Almanac 2020;2(63):64–9. (In Russ.).
30. Previnaire J.G. The importance of the bulbocavernosus reflex. *Spinal Cord Ser Cases* 2018;4:2. DOI: 10.1038/s41394-017-0012-0
31. Фоменко О.Ю., Мартынов М.Ю., Древал О.Н. и др. Стимуляционная электронейромиография в диагностике нейрогенных нарушений функции мышц тазового дна. Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова 2021;121(4):48–56. DOI: 10.17116/jnevro202112104148 Fomenko O.Yu., Martynov M.Yu., Dreval O.N. et al. Stimulating electroneuromyography in the diagnosis of neurogenic disorders of the pelvic floor muscles. *Zhurnal neurologii i psikiatrii im. S.S. Korsakova* = S.S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry 2021;121(4):48–56. (In Russ.). DOI: 10.17116/jnevro202112104148
32. Войтенков В.Б., Команцев В.Н., Скрипченко Н.В. и др. Электронейромиографическое исследование диафрагмального нерва у здоровых детей. Нервно-мышечные болезни 2018;8(2):53–7. DOI: 10.17650/2222-8721-2018-8-2-53-58 Voitenkov V.B., Komantsev V.N., Skripchenko N.V. et al. Conduction studies of phrenic nerve in healthy children. *Nervno-myshechnye bolezni* = Neuromuscular Diseases 2018;8(2):53–8. (In Russ.). DOI: 10.17650/2222-8721-2018-8-2-53-58

Вклад авторов

С.В. Муравьев: разработка концепции исследования, выполнение практической части, оценка полученных результатов, подготовка текста статьи;
 Ю.В. Каракулова: разработка концепции исследования, подготовка текста статьи;
 И.Д. Шитоев: оценка полученных результатов с точки зрения биомеханики, подготовка текста статьи;
 Г.З. Клоян: выполнение анализа биомеханических влияний в эксперименте, подготовка текста статьи.

Authors' contributions

S.V. Muravyov: development of the research concept, implementation of the practical part, evaluation of the obtained results, preparation of the text of the article;
 Yu.V. Karakulova: development of the research concept, preparation of the text of the article;
 I.D. Shitoev: evaluation of the obtained results from the point of view of biomechanics, preparation of the text of the article;
 G.Z. Kloyan: performing an analysis of biomechanical influences in the experiment, preparing the text of the article.

ORCID авторов / ORCID of authors

С.В. Муравьев / S.V. Muravyov: <https://orcid.org/0000-0002-3342-4710>
 Ю.В. Каракулова / Yu.V. Karakulova: <https://orcid.org/0000-0002-7536-2060>
 И.Д. Шитоев / I.D. Shitoev: <https://orcid.org/0000-0002-6391-9271>
 Г.З. Клоян / G.Z. Kloyan: <https://orcid.org/0000-0001-6615-8159>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Funding. The study was performed without sponsorship.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики. Исследование было одобрено локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет им. акад. Е.А. Вагнера» Минздрава России (протокол № 1 от 14.02.2024).

Compliance with patient rights and principles of bioethics. The study was approved by the ethics committee of the Perm State Medical University named after Academician Ye.A. Vagner, Ministry of Health of Russia (protocol No. 1 dated 14 February 2024).

Статья поступила: 27.01.2025. **Принята к публикации:** 25.02.2025. **Опубликована онлайн:** 29.04.2025.

Article submitted: 27.01.2025. **Accepted for publication:** 25.02.2025. **Published online:** 29.04.2025.