

DOI: <https://doi.org/10.17816/MSER83089>

Актуальная проблема нейрореабилитологии: методы количественной оценки патологического повышения мышечного тонуса

Д.А. Шуненков, А.А. Логинов, С.А. Босенко, О.Г. Савельев, Н.Ю. Ковалева, А.В. Воробьев, А.С. Лебедев, М.М. Канарский

Федеральный научно-клинический центр реаниматологии и реабилитологии, Московская область, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Одной из актуальных проблем нейрореабилитации является спастичность — моторное расстройство, зависящее от скорости растяжения мышцы за счёт усиления тонических стретч-рефлексов вследствие нарушения супраспинальных ингибирующих сигналов, что проявляется перемежающейся или длительной непроизвольной активацией мышц. Кроме спастичности, к клиническим формам поражений верхних мотонейронов в виде гипертонуса мышц относят ригидность и дистонию.

Несмотря на то, что спастичность является одним из наиболее распространённых явлений, её точное определение и патофизиология остаются неясными.

Спастичность снижает эффективность реабилитации пациентов с тяжёлыми инвалидизирующими заболеваниями. При органических поражениях головного мозга нередко расстройства движений обусловлены повышенным мышечным тонусом, из-за чего выполнение простых движений вызывает затруднение. Для правильной постановки целей лечения пациента с синдромом спастичности, в том числе для разработки индивидуальной программы реабилитации с дальнейшей оценкой её эффективности необходимо правильно определять спастичность и степень её выраженности, дифференцировать от других форм патологического изменения мышечного тонуса (ригидности, пластичности, контрактур), а также оценивать влияние на активную и пассивную функцию конечности, ежедневную жизнедеятельность и качество жизни пациента.

Важным вопросом в реабилитационном процессе является методика количественной оценки патологического повышения мышечного тонуса, для чего используют сбор жалоб и анамнеза, физикальное неврологическое обследование, шкалы и различные варианты инструментального обследования.

В обзорной статье представлены современные и традиционные методы количественной оценки мышечного тонуса, а также методы терапии.

Ключевые слова: реабилитация; социальная сфера; нейрореабилитация; спастичность; поражения головного мозга; хронические нарушения сознания.

Как цитировать

Шуненков Д.А., Логинов А.А., Босенко С.А., Савельев О.Г., Ковалева Н.Ю., Воробьев А.В., Лебедев А.С., Канарский М.М. Актуальная проблема нейрореабилитологии: методы количественной оценки патологического повышения мышечного тонуса // *Медико-социальная экспертиза и реабилитация*. 2021. Т. 24, № 3. С. 23–34. DOI: <https://doi.org/10.17816/MSER83089>

DOI: <https://doi.org/10.17816/MSER83089>

Present problem of neurororehabilitology: methods for quantitative assessment of pathological increased muscle tone

Denis A. Shunenkov, Alexey A. Loginov, Sergey A. Bosenko, Oleg G. Saveliev, Nadejda Yu. Kovaleva, Alexander V. Vorobiev, Alexey S. Lebedev, Mikhail M. Kanarskii

Federal Research and Clinical Center of Intensive Care Medicine and Rehabilitology, Moscow area, Russian Federation

ABSTRACT

One of the urgent problems of neurorehabilitation is spasticity — a motor disorder that depends on the rate of muscle stretching due to the enhancement of tonic stretch reflexes due to a violation of supraspinal inhibitory signals, which is manifested by intermittent or prolonged involuntary muscle activation. In addition to spasticity, the clinical forms of lesions of the upper motor neurons in the form of muscle hypertonicity include rigidity and dystonia.

Although spasticity is one of the most common occurrences, its precise definition and pathophysiology remain unclear.

Spasticity reduces the effectiveness of rehabilitation of patients with severe disabling diseases. With organic lesions of the brain, movement disorders are often caused by increased muscle tone, which makes it difficult to perform simple movements. For the correct setting of treatment goals for a patient with spasticity syndrome, including for the development of an individual rehabilitation program with a further assessment of its effectiveness, it is necessary to correctly determine the spasticity and its severity, differentiate from other forms of pathological changes in muscle tone (rigidity, plasticity, contractures), as well as to assess the impact on the active and passive function of the limb, daily life and quality of life of the patient.

An important issue in the rehabilitation process is the method of quantitative assessment of the pathological increase in muscle tone, for which the collection of complaints and anamnesis, physical neurological examination, scales and various options for instrumental examination are used.

The review article presents modern and traditional methods for quantifying muscle tone, as well as methods of therapy.

Keywords: rehabilitation; social sphere; neurorehabilitation; spasticity; brain damage; chronic disturbances of consciousness.

To cite this article

Shunenkov DA, Loginov AA, Bosenko SA, Saveliev OG, Kovaleva NYu, Vorobiev AV, Lebedev AS, Kanarskii MM. Present problem of neurororehabilitology: methods for quantitative assessment of pathological increased muscle tone. *Medical and social expert evaluation and rehabilitation*. 2021;24(3):23–34. DOI: <https://doi.org/10.17816/MSER83089>

СПАСТИЧНОСТЬ: ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ, ОТЛИЧИТЕЛЬНЫЕ ОСОБЕННОСТИ

Спастичность понимается как моторное расстройство, зависящее от скорости растяжения мышцы за счёт усиления тонических стретч-рефлексов [1] вследствие нарушения супраспинальных ингибирующих сигналов [2], что проявляется перемежающейся или длительной непроизвольной активацией мышц [3]. Спастичность — это проявление синдрома верхнего мотонейрона, который объединяет симптомы поражения моторных нейронов, расположенных в головном мозге и/или кортико-спинальном тракте на шейном и грудном уровнях спинного мозга [3].

Кроме спастичности, к клиническим формам поражения верхних мотонейронов в виде гипертонуса мышц относят также ригидность и дистонию. Дистония определяется как расстройство движения, при котором непроизвольные длительные или прерывистые сокращения мышц вызывают скручивающие и стереотипные движения, неестественные позы, а ригидность — как гипертонус, обнаруживаемый при любых скоростях пассивного и активного движения [4].

Хотя спастичность и является одним из наиболее распространённых явлений, её точное определение и патофизиология остаются неясными, что затрудняет её экспериментальное исследование. Это связано с гетерогенностью фенотипов неврологических расстройств, вызывающих спастичность за счёт нарушения функций верхних мотонейронов. Наиболее частыми клиническими симптомами спастичности являются серия быстрых мышечных сокращений (клонус), повышенный мышечный тонус (гипертонус) и усиление рефлекторной активности сухожилий (гиперрефлексия) [5].

В литературе описан симптом «складного ножа», характерный для спастичности и позволяющий дифференцировать её от других состояний с признаками повышенного мышечного тонуса, таких как ригидность [6]. Основное различие между спастичностью и дистонией заключается в том, что спастичность присутствует в покое и возникает в ответ на пассивные движения, в то время как дистония в основном отсутствует в покое и проявляется только во время активного движения [4].

Весьма актуальна проблема спастичности у пациентов с хроническими нарушениями сознания (ХНС). По данным систематического обзора G. Martens с соавт. [7], распространённость спастичности у пациентов с нарушениями сознания составляет от 59 до 89%. При этом у пациентов с ХНС, развившимися в результате инсульта или черепно-мозговой травмы, риск возникновения спастичности варьирует от 25 до 42%, а у пациентов, перенёсших тяжёлые повреждения головного мозга (травматическое повреждение, разрыв аневризмы, аноксическое поражение), — до 88% [8].

По определению, пациенты с ХНС не способны к коммуникации, в связи с чем выражение ими испытываемого

дискомфорта довольно проблематично. Учитывая связь спастичности и боли, выявление двигательного нарушения на ранних этапах у таких пациентов наиболее актуально для максимально раннего вмешательства [7]. Спастичность может приводить также к скованности, контрактуре, фиброзу, гипертрофии и, в конечном счёте, атрофии мышц [9]. Кроме того, наличие тяжёлых двигательных расстройств в виде спастичности у пациентов с ХНС может затруднять и динамическую оценку уровня сознания (например, у пациента повышается уровень сознания, но это не распознаётся в силу выраженной спастичности) [8].

В недавнем исследовании В. Zhang и соавт. [10] было показано, что оптимизация терапии спастичности (приоритет локальным воздействиям при уменьшении назначения системных спазмолитиков) ассоциируется с повышением уровня сознания у пациентов с ХНС.

Кроме того, оценка спастичности у данной категории пациентов имеет важное значение в том числе для адекватного применения и других диагностических методов, например, оценки циркадианных ритмов, цикла сон-бодрствование. Так, в исследовании J.E. Kamper с соавт. [11] было показано, что оценка сна методом полисомнографии у пациентов со спастичностью расходилась с объективной оценкой сна как в отношении общего времени, так и его качества в сравнении с пациентами без спастичности. Согласно данным полисомнографии, пациенты со спастичностью характеризуются меньшей продолжительностью сна [11]. Таким образом, спастичность у данной группы пациентов оказывает негативное влияние на их функциональное восстановление и качество жизни [12]. Как можно более раннее снижение и устранение спастичности поможет улучшить реабилитацию пациентов с нарушениями сознания и максимизировать их шансы на выздоровление [13].

Для правильной постановки целей лечения пациента с синдромом спастичности, а также для разработки индивидуальной программы реабилитации с дальнейшей оценкой её эффективности необходимо правильно определять спастичность и степень её выраженности, дифференцировать от других форм патологического изменения мышечного тонуса (ригидности, пластичности, контрактур), а также оценивать влияние на активную и пассивную функцию конечности, ежедневную жизнедеятельность и качество жизни пациента [3].

МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ СПАСТИЧНОСТИ

Для оценки спастичности используют сбор жалоб и анамнеза, физикальное неврологическое обследование, шкалы и различные варианты инструментального обследования. Наиболее распространёнными являются шкалы оценки спастичности Эшворта (другой вариант перевода — Ашворта) и Тардые. Подробнее рассмотрим каждый метод.

Шкалы

Модифицированная шкала Эшворта (Modified Ashworth Scale, MAS) предназначена для оценки мышечного тонуса и является наиболее известным инструментом для диагностики спастичности [14]. Шкала позволяет оценить степень подвижности сустава, сопряжённую с повышенным тонусом мышц при выполнении пассивного движения. При этом с помощью MAS нельзя выявить нюансы спастичности, такие как реактивность мышцы, зависимость её сокращения от скорости растяжения сухожилия, а также спастическую коконтракцию (включение мышц-антагонистов в ответ на сокращение спастичных мышц) [15]. Кроме того, при использовании данной шкалы оценивается только наличие и степень сопротивления пассивному движению и не учитывается основная характеристика спастичности, а именно зависимость степени повышения тонического рефлекса на растяжение от скорости совершаемого пассивного движения. Таким образом, использование шкалы не позволяет абсолютно достоверно дифференцировать спастичность от других форм нарушения мышечного тонуса и суставных контрактур [16]. Показано также, что оценка по MAS более надёжна при измерении спастичности верхних конечностей, чем нижних [17]. Кроме того, отмечается субъективность шкалы и указывается, что по возможности оценка пациента в динамике должна проводиться одним и тем же исследователем [18]. Тем не менее при всех существующих ограничениях данной шкалы она до настоящего времени является наиболее часто используемой для оценки спастичности у разных групп пациентов [19–24]. Более того, показана эффективность шкалы и при использовании телемедицины [25].

Шкала Тардьё (Modified Tardieu Scale, MTS) [26] наиболее полно оценивает все проявления спастичности — тонус, стретч-рефлекс (реакция на растяжение сухожилия) и спастическую коконтракцию. Относительным недостатком этой шкалы является необходимость фиксации данных, расчёта и наличия гониометра [15]. Кроме того, в MTS не учитывается пассивное сопротивление, создаваемое нейронными компонентами при сравнении разности углов [27]. Для методов оценки спастичности с применением электрогониометра, к которым относится и оценка по данной шкале, характерны в том числе ограничения, связанные с неточностью оценки угла соединения при изменении оси вращения [28].

Для оценки спастичности используются и некоторые другие, менее известные шкалы. Например, *Австралийская шкала оценки спастики* (Australian Spasticity Assessment Scale, ASAS) используется для оценки спастики в мышечных группах верхних и нижних конечностей у лиц, имеющих неврологические нарушения, влияющие на центральную нервную систему, например у спортсменов, имеющих спастический гипертонический церебральный паралич [29].

Составной индекс спастичности (Composite Spasticity Index, CSI) используется для измерения спастичности у пациентов с инсультом и церебральным параличом [30]. Модифицированная версия CSI включает в себя оценку сухожильных рефлексов и сопротивление растяжению. Данный способ также имеет ряд ограничений: во-первых, хотя сопротивление ручному растяжению тесно связано с клинической концепцией мышечного тонуса, в CSI не учитываются феномены, зависящие от скорости; во-вторых, в случае дисфункции верхних мотонейронов не всегда легко могут быть вызваны сухожильные рефлексы [27].

F. Li с соавт. [27] была разработана *тройная шкала спастичности* (Triple Spasticity Scale, TSS) для оценки постинсультной спастичности. В оригинальном исследовании шкала показала хорошую тест-ретестовую и межрейтинговую надёжность. Измеряются три параметра — повышенное сопротивление (increased resistance), клонус и динамическая длина мышцы (dynamic muscle length). Для использования шкалы также необходим гониометр [27].

Инструментальные методы

Инструментальные способы количественной оценки спастичности, такие как электромиография (ЭМГ), маятниковый тест (Pendulum test), динамометрия и другие, не часто используются в рутинной практике, поскольку требуют временных затрат, специального оборудования и не всегда коррелируют с клиническими данными [2].

Биомеханические методы

Биомеханическое исследование позволяет получить «цифровую» картину механической реакции мышц на движение в конечности с помощью одномоментного применения ЭМГ с установкой датчика движения на исследуемый сустав. Биомеханические измерения по данным проведённых исследований коррелируют с клиническими измерениями и являются воспроизводимыми и объективными. Из-за необходимости в дорогостоящих устройствах их использование не распространено широко и ограничено научными исследованиями по данной клинической проблеме [16]. Например, *маятниковый тест* (Pendulum test) [31] предполагает выведение сустава из состояния равновесия путём дозированного внешнего воздействия с последующей регистрацией возникших колебаний соответствующего сегмента конечности. Скорость затухания этих колебаний отражает тонус мышц конечности. Замедление свободных колебаний коррелирует с нарастанием мышечного тонуса [32]. Однако на амплитуду и время затухания маятниковых движений в определённом сегменте конечности влияет не только тонус мышц данного сегмента, но и ещё ряд не учитываемых факторов, таких как состояние суставов (контрактура), морфологический статус данной мышцы (гипотрофия, потеря эластичности, фиброз), что снижает точность диагностики [33].

К ограничениям данного метода относятся необходимость наличия электрогониометра и локальность оценки (мышцы вблизи коленных суставов) [2]. Кроме того, различие технических установок для проведения теста и множество предлагаемых критериев оценки результатов приводит к тому, что они характеризуются низкой воспроизводимостью, что также существенно ограничивает применение этого метода [34].

К биомеханическим методам можно отнести и методики, основанные на измерении трёхмерного (3D) угла сустава, такие как *системы захвата движения и инерциальные измерительные устройства* (inertial measurement units, IMU) [35]. Будучи портативными, IMU более удобны и практичны для использования в клинических условиях, чем более громоздкие альтернативы, такие как системы захвата движения на основе камер. Кроме того, оценка кинематики суставов с помощью IMU удобна для оценки спастичности благодаря простоте использования, надёжности и воспроизводимости измерений [36].

К методу этой же подгруппы относится *изокинетическая динамометрия*. В целом методика показала высокую тест-ретестовую надёжность, продемонстрирован контроль скорости и амплитуды растяжения, и возможна количественная оценка сопротивления пассивному движению. Недостатками являются требования к оборудованию и временные затраты. Кроме того, корреляция с традиционными клиническими показателями не всегда удовлетворительна [2, 37].

Электронейромиографический метод

Электронейромиографический метод также довольно широко используется при оценке спастичности. Оценивается ЭМГ-ответ на растяжение, сухожильный рефлекс и электрическую стимуляцию периферического нерва (рефлекс Hoffmann, или H-рефлекс) [2]. Этот метод кроме регистрации параметров вызванных потенциалов (H-рефлекса, M-ответа, F-волны) включает и их анализ: оценку латентного периода, формы, амплитуды, длительности вызванного потенциала, динамики его изменения при постепенном нарастании силы раздражения [38]. H-рефлекс отражает пороговую спинальную рефлекторную реакцию в мышцах после электрической стимуляции периферического нерва, которая, как полагают, указывает на возбудимость альфа-моторных нейронов. Люди со спастичностью имеют повышенную возбудимость альфа-моторных нейронов и увеличенную амплитуду H-рефлекса и последующего M-ответа [39]. Большинство авторов указывают и на такие миографические признаки спастичности, как увеличение соотношения H/M и уменьшение ингибирования H-рефлекса, что обусловлено повышенной возбудимостью альфа-мотонейронов в условиях нарушения супраспинальных влияний, усиливающих в норме пресинаптическое торможение [38].

По степени изменения H/M-коэффициента можно объективно судить о степени спастичности. Однако

на возбудимость переднероговых мотонейронов оказывают влияние спинальный интранейронный аппарат и над-сегментарные структуры пирамидной и экстрапирамидной систем, в связи с чем указанные показатели обладают значительной индивидуальной вариабельностью [33]. Кроме того, помимо временных и инструментальных затрат данная методика показывает низкие корреляции с клиническими способами оценки [2].

Отечественными авторами [33] разработан способ, обеспечивающий повышение точности диагностики степени выраженности спастичности при центральном парезе с помощью ЭМГ: определяют длительность полисиннаптического ответа m. tibialis anterior, регистрируемого слева и справа в условиях короткосерийной стимуляции n. plantaris в области медиальной лодыжки, и по результатам 3–5 ответов рассчитывают среднюю величину их длительности: если она составляет менее 0,5 с — диагностируют лёгкое повышение тонуса, при 0,5–1,0 с — умеренное, свыше 1,0 с — выраженное повышение тонуса.

О.Н. Цышкова с соавт. [40] использовали вейвлет-преобразование для анализа ЭМГ-активности. Для каждой мышцы рассчитывали диагностический критерий гипертонуса — относительное время активного состояния мышцы, которое определялось как отношение активного времени (спектральная мощность выше пороговой) к продолжительности всего исследуемого участка электромиограммы. Затем полученные показатели усредняли по всем исследованным мышцам.

Нередко в исследованиях спастичности используется измерение порога тонического рефлекса на растяжение (tonic stretch reflex threshold, TSRT). Авторы методики базировались на трёх принципах измерения спастичности, вытекающих из определения Lance (1980). Первый заключается в том, что основной единицей измерения спастичности является возбудимость порога тонического рефлекса на растяжение; второй — в том, что при его измерении следует использовать различные скорости растяжения, поскольку спастичность — это явление, зависящее от скорости. Наконец, способы измерения должны характеризовать взаимосвязь между спастичностью и нарушением функции мышц [41]. Порог тонического рефлекса на растяжение измеряют с помощью электрогониометрии и поверхностной ЭМГ для регистрации суставного угла и миоэлектрического ответа на ручное растяжение спастической мышцы на различных быстрых скоростях [42]. Преимуществом разработанного A. Calota и M.F. Levin [41] устройства для измерения TSRT является портативность устройства, внутри- и межрейтинговая надёжность, ограничениями — временные затраты, отсутствие корреляции с MAS в пилотном исследовании.

Миотонометрия

Ещё одним методом инструментального определения мышечного тонуса является миотонометрия. Единица измерения миотонометрии — миотон. Данный метод

основан на определении функционального напряжения мышц по измерению их плотности специальным прибором — миотонометром. Шкала прибора показывает, какую силу нужно приложить, чтобы погрузить шуп миотонометра на определённую глубину. Данный метод используется в основном в стоматологии для определения тонуса жевательных мышц [43]. В исследовании П. Шифта с соавт. [44] было сконструировано специальное биомеханическое устройство (миотонометр) для оценки вязкоупругих свойств мягких тканей. Основной частью устройства является тензометрический датчик, который подключён через аналогово-цифровой усилитель к компьютеру. Каждый вид ткани (жир, фиброзные ткани, мышцы) имеет специфическую реакцию к постоянной силе. Откликом является петля гистерезиса в координатах сила–удлинение. Кривая гистерезиса имеет определённую форму для каждой группы мышц. Зная форму и площадь гистерезиса, можно определить вязкие и упругие компоненты мягких тканей (в данном случае — свойства мышечной ткани) [44].

Ультразвуковая эластография

Относительно новым подходом в оценке спастичности является ультразвуковая эластография мышц. В этом подходе, впервые применённом для выявления злокачественных опухолей, исследуются механические упругие свойства (mechanical elastic properties) тканей [45]. Эластография представляет собой способ качественного и количественного анализа механических свойств тканей с помощью модуля (показателя) упругости Юнга. Получаемая с помощью данного метода информация может быть представлена либо графическим путём, либо с помощью цветового картирования, при котором менее упругие ткани обозначаются как SF (от англ. soft — *мягкий*), а более упругие — HD (от англ. hard — *твёрдый*) [46]. На исследуемую область устанавливается датчик, создаётся минимальное дополнительное давление и оценивается изменение частоты. В силу разной эластичности неоднородные участки ткани сокращаются и затем возвращаются в исходное положение в различное время. Сканер устройства считывает информацию об изменении в жёсткости тканей, окрашивая их в определённые цвета [47]. Для оценки спастичности данным методом при рассеянном склерозе эластичность мышц оценивается по 5-балльной шкале, называемой шкалой мышечной эластографии для рассеянного склероза (Muscle Elastography Multiple Sclerosis Scale, MEMSs) [45]. Оценка по MEMSs значимо коррелировала с баллами по шкале Эшворта (AS). Эластография в реальном времени (real time elastography, RTHE) потенциально может стать золотым стандартом для оценки спастичности [45].

Инфракрасная спектроскопия

Для оценки спастичности перспективно использование и ближней инфракрасной спектроскопии

(near-infrared spectroscopy, NIRS). В недавнем систематическом обзоре J. McDougall с соавт. [48] изучены 5 публикаций по данному методу для неинвазивного обнаружения и измерения различий между спастическими и неспастическими мышцами в объёме крови и изменениях окислительной способности с течением времени или в ответ на вмешательства. Показано, что NIRS может коррелировать с другими часто используемыми показателями спастичности, такими как MAS и ЗМГ [48].

ОБСУЖДЕНИЕ

В последнее время делаются попытки к разработке количественных моделей оценки спастичности. Описаны механические модели, модели мышечно-скелетной и нейронной динамики (Musculoskeletal and Neural Dynamics Models) и модели порогового контроля (Threshold Control Models) [49]. Тем не менее, по результатам систематического обзора [50], ни один из рассмотренных инструментов измерения спастичности не продемонстрировал удовлетворительных психометрических свойств, валидности и надёжности.

Большинство из перечисленных выше методов оценки и способы терапии спастичности относительно хорошо изучены у пациентов, перенёвших инсульт, больных рассеянным склерозом или пациентов с поражениями спинного мозга, но мало что известно об оценке и терапии спастичности у пациентов с нарушениями сознания после повреждения головного мозга [7].

Оценка спастичности у пациентов с ХНС представляет отдельную проблему, поскольку невозможно проведение методов, подразумевающих оценку активного сопротивления/движения, требующих участия сознательного контроля и/или сознательного изменения положения тела. Неприменимы такие широко используемые при других состояниях способы, как методики самоотчёта (Numeric Rating Scale for Spasticity, NRS-S; disease-specific Multiple Sclerosis Spasticity Scale-88, MSSS) [51], визуальная аналоговая шкала (ВАШ), субъективная шкала оценки спастичности (SESS) [52], применяемые, например, для оценки спастичности у пациентов с рассеянным склерозом. У пациентов с ХНС невозможно и проведение многих инструментальных способов оценки спастичности, например локомата L-STIFF, при использовании которого оценивается спастичность сгибателей и разгибателей бедра и колена в положении стоя [53]. Невозможно также применение методик самоотчёта, измеряющих вторичные исходы и последствия спастичности, таких как опросник качества жизни SF-36, профиль влияния болезни (Sickness Impact Profile, SIP68), шкал самооценки эмоционального состояния [54], шкалирование достижения цели (Goal Attainment Scaling, GAS), индекс мобильности Ривермид, измерение активности нижних конечностей (leg activity measure) и др. [55].

В большинстве исследований способов терапии спастичности у пациентов с ХНС для её оценки используется модифицированная шкала Эшворта [10, 12, 13, 56–59], иногда используются электромиографические показатели, такие как F/M-соотношение [60]. Однако имеются лишь ограниченные данные о надёжности оценки спастичности у пациентов с ХНС. Например, в исследовании G. Martens с соавт. [50] оценивались корреляции между электрофизиологическими показателями спастичности и её клинической оценкой у пациентов с расстройствами сознания после тяжёлого коркового и подкоркового повреждения головного мозга. В результате не было обнаружено взаимосвязи между оценкой спастичности по MAS и электрофизиологическими показателями (Hmax/Mmax). Авторы предполагают, что данные расхождения объясняются тем, что соотношение H/M, по-видимому, отражает не только спастичность, но и другие формы спастической мышечной гиперактивности (spastic muscle overactivity, SMO) и контрактуры [50].

Спастичность как таковая в отсутствии нарушений сознания может принести некоторую функциональную пользу пациенту, например за счёт улучшения сидения, стояния, перемещения, ходьбы и выполнения повседневной деятельности. Важным представляется вопрос о влиянии повышенного мышечного тонуса на обменные процессы в организме. Влияние спастичности на метаболизм в основном изучалось у пациентов с повреждениями спинного мозга [61–63].

В исследовании A.S. Gorgey и D.R. Gater [63] показано, что степень спастичности коррелирует с благоприятными показателями состава тела, т.е. меньшей жировой массой тела и большей мышечной массой тела. Влияние на мышечную массу может быть объяснено обнаруженной взаимосвязью спастичности и инсулиноподобного фактора роста (IGF-1). В исследовании показана положительная связь между спастичностью, IGF-1 и площадью поперечного сечения скелетных мышц [63].

I.Y. Jung и соавт. [62] предполагают, что выраженная спастичность в нижних конечностях у лиц с повреждением спинного мозга связана с более низкими уровнями массы жировой ткани, процентом жира в организме, лептина и глюкозы натощак в сравнении с пациентами без или с лёгкой спастичностью, при этом группы не отличались по уровню минеральной плотности костей, общего холестерина, липопротеинов низкой или высокой плотности, триглицеридов и гликированного гемоглобина (HbA1c).

ЛИТЕРАТУРА

1. Lance J. Symposium synopsis. In: Feldman R.G., Young R.R., Koella W.P., editors. Spasticity: disordered motor control. Chicago: Year Book Medical Publishers; 1980.
2. Bethoux F. Spasticity management after stroke // Phys Med Rehabil Clin N Am. 2015. Vol. 26, N 4. P. 625–639. doi: 10.1016/j.pmr.2015.07.003

Таким образом, не все случаи спастичности следует лечить. Однако для пациентов с ХНС спастичность является всё же неблагоприятным фактором, сопровождающимся болезненностью и увеличивающим риск контрактур, пролежней и травм, а также препятствующим проведению реабилитационных мероприятий [64].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учитывая высокую распространённость спастичности у пациентов с ХНС, её негативное влияние на возможность восстановления уровня сознания, существует необходимость в унифицировании диагностических подходов к количественной оценке спастичности у данных пациентов для оптимизации и персонализации терапевтических подходов к её коррекции. Принимая во внимание существующие ограничения наиболее часто используемых методов (MAS, ЭМГ), перспективным представляется разработка комплексных мер оценки наличия и степени выраженности спастичности, оценка их надёжности и валидности у данных пациентов в отношении определения степени выраженности спастичности.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFO

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Author contribution. All authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

3. Клинические рекомендации. Очаговое повреждение головного мозга у взрослых: синдром спастичности / под ред. Е. Хатьковой. Москва: МЕДпресс-информ, 2017. 95 с.
4. Evans S.H., Cameron M.W., Burton J.M. Hypertonia // Curr Probl Pediatr Adolesc Health Care. 2017. Vol. 47, N 7. P. 161–166. doi: 10.1016/j.cpped.2017.06.005

5. Wieters F., Lucas C.W., Gruhn M., et al. Introduction to spasticity and related mouse models // *Exp Neurol*. 2021. Vol. 335. P. 113491. doi: 10.1016/j.expneurol.2020.113491
6. Enslin J.M., Rohlwinck U.K., Figaji A. Management of spasticity after traumatic brain injury in children // *Front Neurol*. 2020. Vol. 11. P. 126. doi: 10.3389/fneur.2020.00126
7. Martens G., Laureys S., Thibaut A. Spasticity management in disorders of consciousness // *Brain Sci*. 2017. Vol. 7, N 12. P. 162. doi: 10.3390/brainsci7120162
8. Thibaut A., Wannez S., Deltombe T., et al. Physical therapy in patients with disorders of consciousness: Impact on spasticity and muscle contracture // *NeuroRehabilitation*. 2018. Vol. 42, N 2. P. 199–205. doi: 10.3233/NRE-172229
9. Brainin M. Poststroke spasticity: Treating to the disability // *Neurology*. 2013. Vol. 80, N 3, Suppl 2. P. S1–S4. doi: 10.1212/wnl.0b013e3182762379
10. Zhang B., Karri J., O'Brien K., et al. Spasticity management in persons with disorders of consciousness // *PM R*. 2020. Vol. 13, N 7. P. 657–665. doi: 10.1002/pmrj.12458
11. Kamper J.E., Garofano J., Schwartz D.J., et al. Concordance of actigraphy with polysomnography in traumatic brain injury neuro-rehabilitation admissions // *J Head Trauma Rehabilitation*. 2016. Vol. 31, N 2. P. 117–125. doi: 10.1097/htr.0000000000000215
12. Thibaut A., Deltombe T., Wannez S., et al. Impact of soft splints on upper limb spasticity in chronic patients with disorders of consciousness: A randomized, single-blind, controlled trial // *Brain Inj*. 2015. Vol. 29, N 7-8. P. 830–836. doi: 10.3109/02699052.2015.1005132
13. Thibaut F.A., Chatelle C., Wannez S., et al. Spasticity in disorders of consciousness: a behavioral study // *Eur J Phys Rehabil Med*. 2015. Vol. 51, N 4. P. 389–397.
14. Bohannon R.W., Smith M.B. Interrater reliability of a modified Ashworth scale of muscle spasticity // *Physical Therapy*. 1987. Vol. 67, N 2. P. 206–207. doi: 10.1093/ptj/67.2.206
15. Коваленко А.П., Камаева О.В., Мисиков В.К., и др. Шкалы и тесты для оценки эффективности лечебно-реабилитационных мероприятий у пациентов со спастичностью нижней конечности // *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2018. Т. 118, № 5. С. 120–128. doi: 10.17116/jnevro201811851120
16. Грибова Н.П., Дягилева В.П.. Современные клинические методы оценки спастичности и двигательных нарушений вследствие повреждения верхнего мотонейрона // *Смоленский медицинский альманах*. 2019. № 3. P. 37–42.
17. Meseguer-Henarejos A.B., Sánchez-Meca J., López-Pina J.A., Carles-Hernández R. Inter- and intra-rater reliability of the Modified Ashworth Scale: a systematic review and meta-analysis // *Eur J Phys Rehabil Med*. 2018. Vol. 54, N 4. P. 576–590. doi: 10.23736/S1973-9087.17.04796-7
18. Супонева Н.А., Юсупова Д.Г., Ильина К.А., и др. Валидация модифицированной шкалы Эшворта (Modified Ashworth Scale) в России // *Анналы клинической и экспериментальной неврологии*. 2020. Т. 14, № 1. P. 89–96. doi: 10.25692/ACEN.2020.1.10
19. Mochizuki G., Centen A., Resnick M., et al. Movement kinematics and proprioception in post-stroke spasticity: assessment using the Kinarm robotic exoskeleton // *J Neuroeng Rehabil*. 2019. Vol. 16, N 1. P. 146. doi: 10.1186/s12984-019-0618-5
20. Cruz-Montecinos C., Núñez-Cortés R., Bruna-Melo T., et al. Dry needling technique decreases spasticity and improves general functioning in incomplete spinal cord injury: A case report // *J Spinal Cord Med*. 2020. Vol. 43, N 3. P. 414–418. doi: 10.1080/10790268.2018.1533316
21. Jia S., Liu Y., Shen L., et al. Botulinum toxin type a for upper limb spasticity in poststroke patients: a meta-analysis of randomized controlled trials // *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2020. Vol. 29, N 6. P. 104682. doi: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2020.104682
22. Zhang Q., Ji G., Cao F., et al. Tuina for spasticity of poststroke: protocol of a systematic review and meta-analysis // *BMJ Open*. 2020. Vol. 10, N 12. P. e038705. doi: 10.1136/bmjopen-2020-038705
23. Doussoulin A., Rivas C., Bacco J., et al. Prevalence of spasticity and postural patterns in the upper extremity post stroke // *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2020. Vol. 29, N 11. P. 105253. doi: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2020.105253
24. Xu P., Huang Y., Wang J., et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation as an alternative therapy for stroke with spasticity: a systematic review and meta-analysis // *J Neurol*. 2020. Vol. 268, N 11. P. 4013–4022. doi: 10.1007/s00415-020-10058-4
25. Harper K.A., Butler E.C., Hacker M.L., et al. A comparative evaluation of telehealth and direct assessment when screening for spasticity in residents of two long-term care facilities // *Clin Rehabil*. 2021. Vol. 35, N 4. P. 589–594. doi: 10.1177/0269215520963845
26. Mehrholz J., Wagner K., Meissner D., et al. Reliability of the Modified Tardieu Scale and the Modified Ashworth Scale in adult patients with severe brain injury: a comparison study // *Clin Rehabil*. 2005. Vol. 19. P. 751–759. doi: 10.1017/CBO9780511995590
27. Li F., Wu Y., Xiong L. Reliability of a new scale for measurement of spasticity in stroke patients // *J Rehabil Med*. 2014. Vol. 46, N 8. P. 746–753. doi: 10.2340/16501977-1851
28. Piriayaprasarth P., Morris M.E., Winter A., Bialocerkowski A.E. The reliability of knee joint position testing using electrogoniometry // *BMC Musculoskelet Disord*. 2008. Vol. 9. P. 6. doi: 10.1186/1471-2474-9-6
29. Boccia International Sports Federation. BISFed Classification Rules. 4th Edition; 2018.
30. Jobin A., Levin M.F. Regulation of stretch reflex threshold in elbow flexors in children with cerebral palsy: a new measure of spasticity // *Dev Med Child Neurology*. 2000. Vol. 42, N 8. P. 531–540. doi: 10.1017/s001216220001018
31. Bohannon R.W., Harrison S., Kinsella-Shaw J. Reliability and validity of pendulum test measures of spasticity obtained with the Polhemus tracking system from patients with chronic stroke // *J Neuroeng Rehabil*. 2009. Vol. 6. P. 30. doi: 10.1186/1743-0003-6-30
32. Katz R., Rovai G.P., Brait C., Rymer W.Z. Objective quantification of spastic hypertonia: correlation with clinical findings // *Arch Phys Med Rehabil*. 1992. Vol. 73, N 4. P. 339–347. doi: 10.1016/0003-9993(92)90007-j
33. Патент на изобретение RU 2458627 C1. Шеин А.П., Криворучко Г.А., Скрипников А.А. Способ количественной оценки спастичности при центральном парезе. Режим доступа: https://yandex.ru/patents/doc/RU2458627C1_20120820. Дата обращения: 15.07.2021.
34. Rahimi F., Eyvazpour R., Salahshour N., Azghani M.R. Objective assessment of spasticity by pendulum test: a systematic review on methods of implementation and outcome measures // *Biomed Eng Online*. 2020. Vol. 19, N 1. P. 82. doi: 10.1186/s12938-020-00826-8
35. Favre J., Aissaoui R., Jolles B.M., et al. Functional calibration procedure for 3D knee joint angle description using inertial sensors // *J Biomech*. 2009. Vol. 42, N 14. P. 2330–2335. doi: 10.1016/j.jbiomech.2009.06.025

36. Cha Y., Arami A. Quantitative modeling of spasticity for clinical assessment, treatment and rehabilitation // *Sensors (Basel)*. 2020. Vol. 20, N 18. P. 5046. doi: 10.3390/s20185046
37. Dehno N.S., Sarvestani F.K., Shariat A., Jaberzadeh S. Test-retest reliability and responsiveness of isokinetic dynamometry to assess wrist flexor muscle spasticity in subacute post-stroke hemiparesis // *J Bodyw Mov Ther*. 2020. Vol. 24, N 3. P. 38–43. doi: 10.1016/j.jbmt.2020.02.011
38. Levin M.F., Solomon J.M., Shah A., et al. Activation of elbow extensors during passive stretch of flexors in patients with post-stroke spasticity // *Clin Neurophysiol*. 2018. Vol. 129, N 10. P. 2065–2074. doi: 10.1016/j.clinph.2018.07.007
39. Voerman G.E., Gregoric M., Hermens H.J. Neurophysiological methods for the assessment of spasticity: the Hoffmann reflex, the tendon reflex, and the stretch reflex // *Disabil Rehabil*. 2005. Vol. 27, N 1–2. P. 33–68. doi: 10.1080/09638280400014600
40. Цышкова О.Н., Солопова И.А., Долинская И.Ю. Новый способ диагностики спастичности у детей с использованием вейвлет-анализа мышечной активности // *Нейронаука для медицины и психологии: XVII Международный междисциплинарный конгресс. Судак, Крым, 30 мая – 10 июня 2021 г.: труды конгресса / под ред. Е.В. Лосевой, А.В. Крючковой, Н.А. Логиновой. Москва: МАКС Пресс, 2021. С. 412–413.*
41. Calota A., Levin M.F. Tonic stretch reflex threshold as a measure of spasticity: implications for clinical practice // *Top Stroke Rehabil*. 2009. Vol. 16, N 3. P. 177–188. doi: 10.1310/tsr1603-177
42. Aloraini S.M., Gäverth J., Yeung E., MacKay-Lyons M. Assessment of spasticity after stroke using clinical measures: a systematic review // *Disabil Rehabil*. 2015. Vol. 37, N 25. P. 2313–2323. doi: 10.3109/09638288.2015.1014933
43. Богаевская О.Ю., Пешкин В.И. Миотонометрия у пациентов с трансверсальной резцовой окклюзией // *Вестник Российского университета дружбы народов*. 2015. № 3. С. 123–126.
44. Шифта П., Равник Д., Юдл Я., и др. Сравнение эффективности двух выбранных методов для снижения тонуса мышц: пилотное исследование // *Российский журнал биомеханики*. 2013. Т. 17. № 3. С. 82–89.
45. Illomei G., Spinicci G., Locci E., Marrosu M.G. Muscle elastography: a new imaging technique for multiple sclerosis spasticity measurement // *Neurol Sci*. 2016. Vol. 38, N 3. P. 433–439. doi: 10.1007/s10072-016-2780-x
46. Зыкин Б.И., Постанова Н.А., Медведев М.Е. Ультразвуковая эластография (обзор) // *Медицинский алфавит*. 2013. Т. 1–2, № 10. С. 14–19.
47. Прошакова М.А. Эластография — перспективная методика ультразвуковой диагностики // *Бюллетень медицинских интернет-конференций*. 2018. Т. 8, № 11. С. 534.
48. McDougall J., Chow E., Harris R.L., Mills P.B. Near-infrared spectroscopy as a quantitative spasticity assessment tool: A systematic review // *J Neurol Sci*. 2020. Vol. 412. P. 116729. doi: 10.1016/j.jns.2020.116729
49. Cha Y., Arami A. Quantitative modeling of spasticity for clinical assessment, treatment and rehabilitation // *Sensors (Basel)*. 2020. Vol. 20, N 18. P. 5046. doi: 10.3390/s20185046
50. Martens G., Deltombe T., Foidart-Dessalle M., et al. Clinical and electrophysiological investigation of spastic muscle overactivity in patients with disorders of consciousness following severe brain injury // *Clinical Neurophysiology*. 2018. Vol. 130, N 2. P. 207–213. doi: 10.1016/j.clinph.2018.10.021
51. Hugos C.L., Cameron M.H. Assessment and measurement of spasticity in ms: state of the evidence // *Curr Neurol Neurosci Rep*. 2019. Vol. 19, N 10. P. 79. doi: 10.1007/s11910-019-0991-2
52. Коржова Ю.Е. Лечение спастичности у пациентов с вторично прогрессирующим рассеянным склерозом методом навигационной ритмической транскраниальной магнитной стимуляции: Дис. ... канд. мед. наук. Москва, 2018.
53. Cherni Y., Ballaz L., Girardin-Vignola G., Begon M. Intra- and inter-tester reliability of spasticity assessment in standing position in children and adolescents with cerebral palsy using a paediatric exoskeleton // *Disabil Rehabil*. 2021. Vol. 43, N 7. P. 1001–1007. doi: 10.1080/09638288.2019.1646814
54. Ertzgaard P., Nene A., Kiekens C., Burns A.S. A review and evaluation of patient-reported outcome measures for spasticity in persons with spinal cord damage: Recommendations from the Ability Network — an international initiative // *J Spinal Cord Med*. 2020. Vol. 43, N 6. P. 813–823. doi: 10.1080/10790268.2019.1575533
55. Ashford S.A., Siegert R.J., Williams H., et al. Psychometric evaluation of the leg activity measure (LegA) for outcome measurement in people with brain injury and spasticity // *Disabil Rehabil*. 2021. Vol. 43, N 7. P. 976–987. doi: 10.1080/09638288.2019.1643933
56. Francois B., Vacher P., Roustan J., et al. Intrathecal baclofen after traumatic brain injury: Early treatment using a new technique to prevent spasticity // *J Trauma Inj Infect Crit Care*. 2001. Vol. 50, N 1. P. 158–161. doi: 10.1097/00005373-200101000-00035
57. Krewer C., Luther M., Koenig E., Müller F. Tilt table therapies for patients with severe disorders of consciousness: a randomized, controlled trial // *PLoS ONE*. 2015. Vol. 10, N 12. P. e0143180. doi: 10.1371/journal.pone.0143180
58. Margetis K., Korfiatis S.I., Gatzonis S., et al. Intrathecal baclofen associated with improvement of consciousness disorders in spasticity patients // *Neuromodulation*. 2014. Vol. 17, N 7. P. 699–704. doi: 10.1111/ner.12147
59. Al-Khodairy A.T., Wicky G., Nicolo D., Vuadens P. Influence of intrathecal baclofen on the level of consciousness and mental functions after extremely severe traumatic brain injury: Brief report // *Brain Inj*. 2015. Vol. 29, N 4. P. 527–532. doi: 10.3109/02699052.2014.984759
60. Matsumoto-Miyazaki J., Asano Y., Ikegame Y., et al. Acupuncture reduces excitability of spinal motor neurons in patients with spastic muscle overactivity and chronic disorder of consciousness following traumatic brain injury // *J Altern Complement Med*. 2016. Vol. 22, N 11. P. 895–902. doi: 10.1089/acm.2016.0180
61. Gorgey A.S., Chiodo A.E., Zemper E.D., et al. Relationship of spasticity to soft tissue body composition and the metabolic profile in persons with chronic motor complete spinal cord injury // *J Spinal Cord Med*. 2010. Vol. 33, N 1. P. 6–15. doi: 10.1080/10790268.2010.11689669
62. Jung I.Y., Kim H.R., Chun S.M., et al. Severe spasticity in lower extremities is associated with reduced adiposity and lower fasting plasma glucose level in persons with spinal cord injury // *Spinal Cord*. 2017. Vol. 55, N 4. P. 378–382. doi: 10.1038/sc.2016.132
63. Gorgey A.S., Gater D.R. Insulin growth factors may explain relationship between spasticity and skeletal muscle size in men with spinal cord injury // *J Rehabil Res Dev*. 2012. Vol. 49, N 3. P. 373–380. doi: 10.1682/jrrd.2011.04.0076
64. Skogberg O., Samuelsson K., Ertzgaard P., Levi R. Changes in body composition after spasticity treatment with intrathecal baclofen // *J Rehabil Med*. 2017. Vol. 49, N 1. P. 36–39. doi: 10.2340/16501977-2169

REFERENCES

1. Lance J. Symposium synopsis. In: Feldman RG, Young RR, Koella WP, editors. Spasticity: disordered motor control. Chicago: Year Book Medical Publishers; 1980.
2. Bethoux F. Spasticity management after stroke. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2015;26(4):625–639. doi: 10.1016/j.pmr.2015.07.003
3. Clinical recommendations: Focal brain damage in adults: spasticity syndrome, edited by E. Khatkova, Moscow: MEDpress-inform; 2017. 95 p. (In Russ).
4. Evans SH, Cameron MW, Burton JM. Hypertonia. *Curr Probl Pediatr Adolesc Health Care*. 2017;47(7):161–166. doi: 10.1016/j.cppeds.2017.06.005
5. Wieters F, Lucas WC, Gruhn M, et al. Introduction to spasticity and related mouse models. *Exp Neurol*. 2021;335:113491. doi: 10.1016/j.expneurol.2020.113491
6. Enslin JM, Rohlwink UK, Figaji A. Management of spasticity after traumatic brain injury in children. *Front Neurol*. 2020;11:126. doi: 10.3389/fneur.2020.00126
7. Martens G, Laureys S, Thibaut A. Spasticity management in disorders of consciousness. *Brain Sci*. 2017;7(12):162. doi: 10.3390/brainsci7120162
8. Thibaut A, Wannez S, Deltombe T, et al. Physical therapy in patients with disorders of consciousness: Impact on spasticity and muscle contracture. *NeuroRehabilitation*. 2018;42(2):199–205. doi: 10.3233/NRE-172229
9. Brainin M. Poststroke spasticity: Treating to the disability. *Neurology*. 2013;80(3 Suppl 2):S1–S4. doi: 10.1212/wnl.0b013e3182762379
10. Zhang B, Karri J, O'Brien K, et al. Spasticity management in persons with disorders of consciousness. *PM R*. 2020;13(7):657–665. doi: 10.1002/pmrj.12458
11. Kamper JE, Garofano J, Schwartz DJ, et al. Concordance of actigraphy with polysomnography in traumatic brain injury neurorehabilitation admissions. *J Head Trauma Rehabilitation*. 2016;31(2):117–125. doi: 10.1097/htr.0000000000000215
12. Thibaut A, Deltombe T, Wannez S, et al. Impact of soft splints on upper limb spasticity in chronic patients with disorders of consciousness: A randomized, single-blind, controlled trial. *Brain Inj*. 2015;29(7-8):830–836. doi: 10.3109/02699052.2015.1005132
13. Thibaut FA, Chatelle C, Wannez S, et al. Spasticity in disorders of consciousness: a behavioral study. Spasticity in disorders of consciousness: a behavioral study. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2015;51(4):389–397.
14. Bohannon RW, Smith MB. Interrater reliability of a modified Ashworth scale of muscle spasticity. *Physical Therapy*. 1987;67(2):206–207. doi: 10.1093/ptj/67.2.206
15. Kovalenko AP, Kamaeva OV, Misikov VK, et al. Scales and tests for evaluating the effectiveness of treatment and rehabilitation measures in patients with lower limb spasticity. *Journal of Neurology and Psychiatry named after S.S. Korsakov*. 2018;118(5):120–128. (In Russ). doi: 10.17116/jnevro201811851120
16. Gribova NP, Diaghileva VP. Modern clinical methods for assessing spasticity and motor disorders due to damage to the upper motor neuron. *Smolensk Medical Almanac*. 2019;(3):37–42. (In Russ).
17. Meseguer-Henarejos AB, Sánchez-Meca J, López-Piña JA, Carles-Hernández R. Inter- and intra-rater reliability of the Modified Ashworth Scale: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2018;54(4):576–590. doi: 10.23736/S1973-9087.17.04796-7
18. Suponeva NA, Yusupova DG, Ilyina KA, et al. Validation of the Modified Ashworth Scale in Russia. *Annals of Clinical and Experimental Neurology*. 2020;14(1):89–96. (In Russ). doi: 10.25692/ACEN.2020.1.10
19. Mochizuki G, Centen A, Resnick M, et al. Movement kinematics and proprioception in post-stroke spasticity: assessment using the Kinarm robotic exoskeleton. *J Neuroeng Rehabil*. 2019;16(1):146. doi: 10.1186/s12984-019-0618-5
20. Cruz-Montecinos C, Núñez-Cortés R, Bruna-Melo T, et al. Dry needling technique decreases spasticity and improves general functioning in incomplete spinal cord injury: A case report. *J Spinal Cord Med*. 2020;43(3):414–418. doi: 10.1080/10790268.2018.1533316
21. Jia S, Liu Y, Shen L, et al. Botulinum toxin type a for upper limb spasticity in poststroke patients: a meta-analysis of randomized controlled trials. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2020;29(6):104682. doi: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2020.104682
22. Zhang Q, Ji G, Cao F, et al. Tuina for spasticity of poststroke: protocol of a systematic review and meta-analysis. *BMJ Open*. 2020;10(12):e038705. doi: 10.1136/bmjopen-2020-038705
23. Doussoulin A, Rivas C, Bacco J et al. Prevalence of spasticity and postural patterns in the upper extremity post stroke. *J Stroke Cerebrovasc Dis*. 2020;29(11):105253. doi: 10.1016/j.jstrokecerebrovasdis.2020.105253
24. Xu P, Huang Y, Wang J, et al. Repetitive transcranial magnetic stimulation as an alternative therapy for stroke with spasticity: a systematic review and meta-analysis. *J Neurol*. 2020;268(11):4013–4022. doi: 10.1007/s00415-020-10058-4
25. Harper KA, Butler EC, Hacker ML, et al. A comparative evaluation of telehealth and direct assessment when screening for spasticity in residents of two long-term care facilities. *Clin Rehabil*. 2021;35(4):589–594. doi: 10.1177/0269215520963845
26. Mehrholz J, Wagner K, Meissner D, et al. Reliability of the Modified Tardieu Scale and the Modified Ashworth Scale in adult patients with severe brain injury: a comparison study. *Clin Rehabil*. 2005;19:751–759. doi: 10.1017/CBO9780511995590
27. Li F, Wu Y, Xiong L. Reliability of a new scale for measurement of spasticity in stroke patients. *J Rehabil Med*. 2014;46(8):746–753. doi: 10.2340/16501977-1851
28. Piriayaprasarth P, Morris ME, Winter A, Bialocerkowski AE. The reliability of knee joint position testing using electrogoniometry. *BMC Musculoskelet Disord*. 2008;9:6. doi: 10.1186/1471-2474-9-6
29. Boccia International Sports Federation. BISFed Classification Rules. 4th Edition; 2018.
30. Jobin A, Levin MF. Regulation of stretch reflex threshold in elbow flexors in children with cerebral palsy: a new measure of spasticity. *Dev Med Child Neurology*. 2000;42(8):531–540. doi: 10.1017/s0012162200001018
31. Bohannon RW, Harrison S, Kinsella-Shaw J. Reliability and validity of pendulum test measures of spasticity obtained with the Polhemus tracking system from patients with chronic stroke. *J Neuroeng Rehabil*. 2009;6:30. doi: 10.1186/1743-0003-6-30
32. Katz R, Rovai GP, Brait C, Rymer WZ. Objective quantification of spastic hypertonia: correlation with clinical findings. *Arch Phys Med Rehabil*. 1992;73(4):339–347. doi: 10.1016/0003-9993(92)90007-j
33. Patent for the invention RU 2458627 C1. Shein AP, Krivoruchko GA, Skripnikov AA. A method for quantifying spasticity in central

- paralysis. (In Russ). Available from: https://yandex.ru/patents/doc/RU2458627C1_20120820. Viewing: 15.07.2021.
34. Rahimi F, Eyvazpour R, Salahshour N, Azghani MR. Objective assessment of spasticity by pendulum test: a systematic review on methods of implementation and outcome measures. *Biomed Eng Online*. 2020;19(1):82. doi: 10.1186/s12938-020-00826-8
35. Favre J, Aissaoui R, Jolles BM, et al. Functional calibration procedure for 3D knee joint angle description using inertial sensors. *J Biomech*. 2009;42(14):2330–2335. doi: 10.1016/j.jbiomech.2009.06.025
36. Cha Y, Arami A. Quantitative modeling of spasticity for clinical assessment, treatment and rehabilitation. *Sensors (Basel)*. 2020;20(18):5046. doi: 10.3390/s20185046
37. Dehno NS, Sarvestani KF, Shariat A, Jaberzadeh S. Test-retest reliability and responsiveness of isokinetic dynamometry to assess wrist flexor muscle spasticity in subacute post-stroke hemiparesis. *J Bodyw Mov Ther*. 2020;24(3):38–43. doi: 10.1016/j.jbmt.2020.02.011
38. Levin MF, Solomon JM, Shah A, et al. Activation of elbow extensors during passive stretch of flexors in patients with post-stroke spasticity. *Clin Neurophysiol*. 2018;129(10):2065–2074. doi: 10.1016/j.clinph.2018.07.007
39. Voerman GE, Gregoric M, Hermens HJ. Neurophysiological methods for the assessment of spasticity: the Hoffmann reflex, the tendon reflex, and the stretch reflex. *Disabil Rehabil*. 2005;27(1-2):33–68. doi: 10.1080/09638280400014600
40. Tsyshkova ON, Solopova IA, Dolinskaya IY. A new way of diagnosing spasticity in children using wavelet analysis of muscle activity/ Neuroscience for Medicine and Psychology: XVII International Interdisciplinary Congress. Sudak, Crimea, Russia; May 30 – June 10, 2021: Proceedings of the Congress. Ed. by E.V. Loseva, A.V. Kryuchkova, N.A. Loginova. Moscow: MAKS Press; 2021. P. 412–413.
41. Calota A, Levin MF. Tonic stretch reflex threshold as a measure of spasticity: implications for clinical practice. *Top Stroke Rehabil*. 2009;16(3):177–188. doi: 10.1310/tsr1603-177
42. Aloraini SM, Gäverth J, Yeung E, MacKay-Lyons M. Assessment of spasticity after stroke using clinical measures: a systematic review. *Disabil Rehabil*. 2015;37(25):2313–2323. doi: 10.3109/09638288.2015.1014933
43. Bogaevskaya OY, Pushkin VI. Myotonometry in patients with transversal incisor occlusion. *Bulletin of the Peoples' Friendship University of Russia*. 2015;(3):123–126. (In Russ).
44. Shifita P, Ravnik D, Yudl Y, et al. Comparison of the effectiveness of two selected methods for reducing muscle tone: a pilot. *Russian Journal of Biomechanics*. 2013;17(3):82–89. (In Russ).
45. Illomei G, Spinicci G, Locci E, Marrosu MG. Muscle elastography: a new imaging technique for multiple sclerosis spasticity measurement. *Neurol Sci*. 2016;38(3):433–439. doi: 10.1007/s10072-016-2780-x
46. Zykin BI, Staging NA, Medvedev ME. Ultrasound elastography (review). *Medical Alphabet*. 2013;1-2(10):14–19. (In Russ).
47. Proshakova MA. Elastography — a promising technique of ultrasound diagnostics. *Bulletin Med Internet Conferences*. 2018;8(11):534. (In Russ).
48. McDougall J, Chow E, Harris RL, Mills PB. Near-infrared spectroscopy as a quantitative spasticity assessment tool: A systematic review. *J Neurol Sci*. 2020;412:116729. doi: 10.1016/j.jns.2020.116729
49. Cha Y, Arami A. Quantitative modeling of spasticity for clinical assessment, treatment and rehabilitation. *Sensors (Basel)*. 2020;20(18):5046. doi: 10.3390/s20185046
50. Martens G, Deltombe T, Foidart-Dessalle M, et al. Clinical and electrophysiological investigation of spastic muscle overactivity in patients with disorders of consciousness following severe brain injury. *Clin Neurophysiol*. 2018;130(2):207–213. doi: 10.1016/j.clinph.2018.10.021
51. Hugos CL, Cameron MH. Assessment and measurement of spasticity in ms: state of the evidence. *Curr Neurol Neurosci Rep*. 2019;19(10):79. doi: 10.1007/s11910-019-0991-2
52. Korzhova YE. Treatment of spasticity in patients with secondary progressive multiple sclerosis by the method of navigational rhythmic transcranial magnetic stimulation [dissertation]. Moscow; 2018. (In Russ).
53. Cherni Y, Ballaz L, Girardin-Vignola G, Begon M. Intra- and inter-tester reliability of spasticity assessment in standing position in children and adolescents with cerebral palsy using a paediatric exoskeleton. *Disabil Rehabil*. 2021;43(7):1001–1007. doi: 10.1080/09638288.2019.1646814
54. Ertzgaard P, Nene A, Kiekens C, Burns AS. A review and evaluation of patient-reported outcome measures for spasticity in persons with spinal cord damage: Recommendations from the Ability Network — an international initiative. *J Spinal Cord Med*. 2020;43(6):813–823. doi: 10.1080/10790268.2019.1575533
55. Ashford SA, Siegert RJ, Williams H, et al. Psychometric evaluation of the leg activity measure (LegA) for outcome measurement in people with brain injury and spasticity. *Disabil Rehabil*. 2021;43(7):976–987. doi: 10.1080/09638288.2019.1643933
56. Francois B, Vacher P, Roustan J, et al. Intrathecal baclofen after traumatic brain injury: Early treatment using a new technique to prevent spasticity. *J Trauma Inj Infect Crit Care*. 200;50(1):158–161. doi: 10.1097/00005373-200101000-00035
57. Krewer C, Luther M, Koenig E, Müller F. Tilt table therapies for patients with severe disorders of consciousness: a randomized, controlled trial. *PLoS ONE*. 2015;10(12):e0143180. doi: 10.1371/journal.pone.0143180
58. Margetis K, Korfiatis SI, Gatzonis S, et al. Intrathecal baclofen associated with improvement of consciousness disorders in spasticity patients. *Neuromodulation*. 2014;17(7):699–704. doi: 10.1111/ner.12147
59. Al-Khodairy AT, Wicky G, Nicolo D, Vuadens P. Influence of intrathecal baclofen on the level of consciousness and mental functions after extremely severe traumatic brain injury: Brief report. *Brain Inj*. 2015;29(4):527–532. doi: 10.3109/02669052.2014.984759
60. Matsumoto-Miyazaki J, Asano Y, Ikegame Y, et al. Acupuncture reduces excitability of spinal motor neurons in patients with spastic muscle overactivity and chronic disorder of consciousness following traumatic brain injury. *J Altern Complement Med*. 2016;22(11):895–902. doi: 10.1089/acm.2016.0180
61. Gorgey AS, Chiodo AE, Zemper ED, et al. Relationship of spasticity to soft tissue body composition and the metabolic profile in persons with chronic motor complete spinal cord injury. *J Spinal Cord Med*. 2010;33(1):6–15. doi: 10.1080/10790268.2010.11689669
62. Jung IY, Kim HR, Chun SM, et al. Severe spasticity in lower extremities is associated with reduced adiposity and lower fasting plasma glucose level in persons with spinal cord injury. *Spinal Cord*. 2017;55(4):378–382. doi: 10.1038/sc.2016.132
63. Gorgey AS, Gater DR. Insulin growth factors may explain relationship between spasticity and skeletal muscle size in men with spinal cord injury. *J Rehabil Res Dev*. 2012;49(3):373–380. doi: 10.1682/jrrd.2011.04.0076
64. Skogberg O, Samuelsson K, Ertzgaard P, Levi R. Changes in body composition after spasticity treatment with intrathecal baclofen. *J Rehabil Med*. 2017;49(1):36–39. doi: 10.2340/16501977-2169

ОБ АВТОРАХ

Автор, ответственный за переписку:

Канарский Михаил Михайлович, м.н.с.;

адрес: 141534, Россия, Московская область, д. Лыткино, д. 777, корп. 1; e-mail: kanarmm@yandex.ru; eLibrary SPIN: 1776-1160; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7635-1048>

Соавторы:

Шуенков Денис Андреевич, н.с.;

e-mail: dshunenkov@fnkcr.ru; eLibrary SPIN: 5192-9837; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3902-0095>

Логинов Алексей Анатольевич;

e-mail: logivodaa@fnkcr.ru; eLibrary SPIN: 1039-3461

Босенко Сергей Александрович;

e-mail: bosenkosa@fnkcr.ru; eLibrary SPIN: 3285-5759; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9447-0622>

Савельев Олег Геннадьевич;

e-mail: savelievog@fnkcr.ru; eLibrary SPIN: 3049-5890

Ковалева Надежда Юрьевна;

e-mail: kovalevanu@fnkcr.ru

Воробьев Александр Вячеславович;

e-mail: vorobevav@fnkcr.ru

Лебедев Алексей Сергеевич;

e-mail: lebedevas@fnkcr.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8862-8673>

AUTHORS' INFO

The author responsible for the correspondence:

Mikhail M. Kanarskii, Junior Research Associate;

address: 777, bldg. 1, Moscow region, Lytkino 141534, Russia; e-mail: kanarmm@yandex.ru; eLibrary SPIN: 1776-1160; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7635-1048>

Co-authors:

Denis A. Shunenkov, Research Associate;

e-mail: dshunenkov@fnkcr.ru; eLibrary SPIN: 5192-9837; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3902-0095>

Alexey A. Loginov;

e-mail: logivodaa@fnkcr.ru; eLibrary SPIN: 1039-3461

Sergey A. Bosenko;

e-mail: bosenkosa@fnkcr.ru; eLibrary SPIN: 3285-5759; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9447-0622>

Oleg G. Saveliev;

e-mail: savelievog@fnkcr.ru; eLibrary SPIN: 3049-5890

Nadejda Yu. Kovaleva;

e-mail: kovalevanu@fnkcr.ru

Alexander V. Vorobiev;

e-mail: vorobevav@fnkcr.ru

Alexey S. Lebedev;

e-mail: lebedevas@fnkcr.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8862-8673>