

Картирование моторных точек мышц конечностей для таргетного введения ботулинического токсина при лечении фокальной и сегментарной спастичности

Коваленко А.П.¹, Синельников К.А.², Шамигулов В.Д.¹, Ахмедов Н.Н.¹, Шамина Е.М.¹

¹ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова», Санкт-Петербург;

²СПб ГБУЗ «Городская Покровская больница», Санкт-Петербург

¹Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, 6; ²Россия, 199106, Санкт-Петербург, Васильевский остров, Большой проспект, 85

Лечение спастичности остается актуальной проблемой современной нейрореабилитации. Идея таргетного введения ботулинического нейротоксина (БонТ) в моторные точки (МТ) мышц приобретает все большую популярность. Но данных о расположении МТ недостаточно, а методология поиска МТ не отработана. Большинство сведений о МТ получено на трупном материале с помощью анатомической диссекции или окрашивания по Sihler. Клинические данные о таргетном введении БонТ в МТ противоречивы, что может быть следствием неточностей в определении расположения МТ.

Цель исследования — с помощью электромиографии (ЭМГ) верифицировать МТ мышц верхних и нижних конечностей.

Пациенты и методы. Обследовано 40 здоровых добровольцев. Выполнена антропометрия. Проведено полноценное сканирование проекции мышц верхних и нижних конечностей с использованием ЭМГ и ультразвука.

Результаты и обсуждение. Определена анатомическая локализация МТ мышц верхних и нижних конечностей, участвующих в формировании паттернов спастичности. Выявлено, что расположение МТ популяционно идентично, имеет незначительную девиацию в зависимости от длины конечности и не зависит от пола, возраста и доминантности конечности. Созданы оригинальные таблицы и карты локализации МТ конечностей.

Заключение. Полученные данные могут повысить эффективность введения БонТ и повысить качество реабилитационных мероприятий, так как использование достоверной информации о расположении МТ позволит применять таргетное введение БонТ в непосредственной близости от места биологического действия. В клинической практике это открывает окно возможностей для раннего начала реабилитационных мероприятий, направленных на восстановление движения.

Ключевые слова: моторная точка мышцы; спастичность; реабилитация; ботулинический нейротоксин; электромиография; схема расположения моторных точек.

Контакты: Александр Павлович Коваленко; kvlnko73@gmail.com

Для ссылки: Коваленко АП, Синельников КА, Шамигулов ВД и др. Картирование моторных точек мышц конечностей для таргетного введения ботулинического токсина при лечении фокальной и сегментарной спастичности. Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. 2020;12(6):61–70. DOI: 10.14412/2074-2711-2020-6-61-70

Mapping the limb muscle motor points for targeted administration of botulinum toxin in the treatment of focal and segmental spasticity

Kovalenko A.P.¹, Sinelnikov K.A.², Shamigulov V.D.¹, Akhmedov N.N.¹, Shamina E.M.¹

¹S.M. Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg; ²City Pokrovskaya Hospital, Saint Petersburg

¹6, Academician Lebedev St., Saint Petersburg 194044, Russia; ²85, Bolshoy Prospect, Vasilievsky Ostrov, Saint Petersburg 199106, Russia

Spasticity treatment remains an urgent problem of modern neurorehabilitation. The targeted injection of botulinum neurotoxin (BoNT) into the muscle motor points (MPs) is gaining more and more popularity. But there are insufficient data on the position of MPs, while a MP search methodology has not been worked out yet. Most information about MPs has been obtained on cadaveric material using anatomical dissection or Sihler's staining technique. Clinical data on the targeted injection of BoNT into the MPs are contradictory, which may be due to the inaccurate determination of their position.

Objective: to verify upper and lower limb muscle MPs through electromyography (EMG).

Patients and methods. Forty healthy volunteers were examined and underwent anthropometric assessment. Upper and lower limb muscle projections were completely scanned using EMG and ultrasound.

Results and discussion. The anatomical localization of MPs in the upper and lower limb muscles involved in spasticity patterns was determined. The position of MPs was found to be populationally identical, to have a slight deviation associated with the limb length, and to be unrelated to gender, age, and limb dominance. Original tables and maps for limb MP localization were created.

Conclusion. The findings can enhance the efficiency of BoNT administration and improve the quality of rehabilitation measures, since the use of reliable information on the position of MPs will allow targeted BoNT injection in the immediate vicinity of the site of biological action. In clinical practice, this opens a window of opportunity for the early initiation of rehabilitation measures aimed at restoring movement.

Keywords: muscle motor point; spasticity; rehabilitation; botulinum neurotoxin; electromyography, motor point location scheme.

Contact: Aleksandr Pavlovich Kovalenko; kvlnko73@gmail.com

For reference: Kovalenko AP, Sinelnikov KA, Shamigulov VD, et al. Mapping the limb muscle motor points for targeted administration of botulinum toxin in the treatment of focal and segmental spasticity. *Nevrologiya, neiropsikhiatriya, psikhosomatika* = *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*. 2020;12(6):61–70. DOI: 10.14412/2074-2711-2020-6-61-70

Фокальная и сегментарная спастичность является основным препятствием для реабилитации пациентов с синдромом верхнего мотонейрона и имеет значительную популяционную распространенность (свыше 12 млн человек) [1]. Активное внедрение в клиническую практику ботулинотерапии стало прорывом в лечении спастичности [2]. Наработанный опыт показывает, что эффективность инъекций ботулинического нейротоксина (БонТ) зависит в первую очередь от корректной диагностики мышц, вовлеченных в спастический паттерн, и точности инъекции в них, что достигается применением мануального мышечного тестирования и ультразвуковой навигации [3]. Вместе с тем основные положения методологии таргетного (прицельного) введения БонТ в настоящее время лишь формируются [1].

Повышение эффективности ботулинотерапии происходит по мере введения в рутинную практику методов навигации инъекции; среди них первое место в лечении спастичности отводится ультразвуку [4]. По мере решения проблемы прицельного попадания в мышцу возникает следующая цель — оптимальный выбор определенного участка мышцы, введение в который повысит эффективность БонТ [5].

Фармакодинамика препаратов БонТ заключается в пресинаптической блокаде выхода ацетилхолина в синаптическую щель, что предполагает инъекцию БонТ в область, приближенную к месту расположения концевой пластинки двигательного нерва [5–8].

Терминалы аксонов двигательных нейронов сконцентрированы в определенных участках мышц, обозначаемых как «моторные точки» (МТ) (англ. neuromuscular junctions или intramuscular motor endpoint). Их изучению положили начало работы Hugo Wilhelm von Ziemssen (1829–1902) и Charles Sherrington (1857–1952).

До недавнего времени, когда основная масса инъекций БонТ проводилась по анатомическим ориентирам, точность попадания в мышцу не превышала 40–60% [4, 9]. Но технология ботулинотерапии непрерывно развивается. С 2015 г. в рутинную практику специалистов по ботулинотерапии в России все активнее входит метод ультразвуковой навигации [4]. Возможности уверенной локализации мышцы под ультразвуковым лучом позволяют ставить следующую амбициозную задачу — введение БонТ в область МТ. Это приводит к тому, что все большее число исследователей обращаются к проблеме поиска МТ в качестве мишени для БонТ.

В настоящее время исследование и верификация МТ идут двумя путями: анатомический поиск на трупном материале (табл. 1) и поиск МТ нейрофизиологическими методами (табл. 2). Анатомически МТ верифицируются при диссекции, оптической микроскопией или путем окрашивания материала по Sihler [10]. С помощью электромиографии (ЭМГ) зона расположения МТ определяется при достижении максимального мышечного сокращения при стимуляции электрическим током минимальной силы [5, 7, 11].

Значительный объем данных о МТ получают при работе на трупном материале (см. табл. 1). При этом среди научного сообщества остаются сомнения в топографическом соответствии МТ, определенных прижизненно и на трупах. Результаты работы A. Franz и соавт. [7] продемонстрировали существенную и достоверную разницу между локализацией МТ, найденных при исследованиях на трупах, и МТ, идентифицированных прижизненно при помощи ЭМГ (исследовались мышцы: Tr, LD, PM, Pmin, BB). Следует отметить,

Таблица 1. Работы по поиску МТ мышц, выполненные на трупном материале
Table 1. Muscle MP searching works done on cadaveric material

Мышца	Авторы, источник	Год
FDS	L.E. Bickerton и соавт. [12]	1997
FCU, FCR, FDS, PT	C. Roberts и соавт. [13]	2006
S, G/c	B. Parratte и соавт. [14]	2002
BB, Br	B.K. Park и соавт. [15]	2007
SCM, TP, FHL	J.H. Lee и соавт. [16–18]	2011, 2012
FDL	H.G. Kim и соавт. [19]	2015
TA	J.L. Bowden, P.A. McNulty [20]	2011
BB, Tr, LD, PM, Pmin	A. Franz и соавт. [7]	2018
TrB	Hyun Jung Koo и соавт. [21]	2019

Примечание. FDS — *m. flexor digitorum superficialis* (поверхностный сгибатель пальцев); FCU — *m. flexor carpi ulnaris* (локтевой сгибатель запястья); FCR — *m. flexor carpi radialis* (лучевой сгибатель запястья); PT — *m. pronator teres* (круглый пронатор); S — *m. soleus* (камбаловидная мышца); G/c — *m. gastrocnemius* (икроножная мышца); BB — *m. biceps brachii* (двуглавая мышца плеча); Br — *m. brachialis* (плечевая мышца); SCM — *m. sternocleidomastoideus* (грудиноключично-сосцевидная мышца); TP — *m. tibialis posterior* (задняя большеберцовая мышца); FHL — *m. flexor hallucis longus* (длинный сгибатель большого пальца стопы); FDL — *m. flexor digitorum longus* (длинный сгибатель пальцев); TA — *m. tibialis anterior* (передняя большеберцовая мышца); Tr — *m. trapezius* (трапециевидная мышца); LD — *m. latissimus dorsi* (широчайшая мышца спины); PM — *m. pectoralis major* (большая грудная мышца); Pmin — *m. pectoralis minor* (малая грудная мышца); TrB — *m. triceps brachii* (трехглавая мышца плеча).

Note. FDS — *m. flexor digitorum superficialis* (superficial flexor muscle of the digits); FCU — *m. flexor carpi ulnaris* (flexor muscle of the wrist); FCR — *m. flexor carpi radialis* (radial flexor muscle of the wrist); PT — *m. pronator teres* (round pronator muscle); S — *m. soleus* (soleus muscle); G/c — *m. gastrocnemius* (gastrocnemius muscle); BB — *m. biceps brachii* (biceps muscle of the arm); Br — *m. brachialis* (brachial muscle); SCM — *m. sternocleidomastoideus* (sternocleidomastoid muscle); TP — *m. tibialis posterior* (posterior tibial muscle); FHL — *m. flexor hallucis longus* (long flexor muscle of the great toe); FDL — *m. flexor digitorum longus* (long flexor muscle of the digits); TA — *m. tibialis anterior* (anterior tibial muscle); Tr — *m. trapezius* (trapezius muscle); LD — *m. latissimus dorsi* (broadest muscle of the back); PM — *m. pectoralis major* (greater pectoral muscle); Pmin — *m. pectoralis minor* (smaller pectoral muscle); TrB — *m. triceps brachii* (triceps muscle of the arm).

что существует и противоположное мнение — так, N.G. Lee и соавт. [22] не нашли достоверных отличий в расположении МТ G/c и S у здоровых добровольцев в сравнении с трупным материалом.

Сомнения в достоверности данных, получаемых с помощью анатомического поиска, дают основания все больше склоняться к выводу, что локация МТ мышц с помощью ЭМГ более актуальна для клинической практики (см. табл. 2). Это положение дало начало большому числу работ, выполненных прижизненно с помощью электростимуляции мышц.

Тем не менее многие мышцы до сих пор не верифицированы электромиографически; также имеется значительный список мышц, о МТ которых вообще нет сведений [31]. Значительный вклад в дело поиска иннервационных зон и МТ мышц внесла работа K. Saitou и соавт. 2000 г. [23], но, к сожалению, ее результаты устарели, будучи ограничены техническими возможностями того времени, и не дают полноценной информации о МТ для клинической практики. Анализ публикаций показывает: в большинстве работ, посвященных поиску МТ, используются накладные или биполярные электромиографические электроды, что является не совсем корректным, так как результатом становится определение скорее иннервационной зоны, нежели МТ. Отдельной проблемой являются частое отсутствие описания дизайна работ, недостаточное количество наблюдений и вольная трактовка результатов исследований, выполненными альтернативными методами. Например, в публикациях 2018 г. М. Кага и соавт. [32] и В. Каумак и соавт. [33] использованы данные литературы о МТ мышц, полученные на трупном материале, которые без коррекции и экспериментального подтверждения топографического соответствия перенесены в рекомендации по введению БоНТ.

Данные о клинической эффективности введения БоНТ в область МТ так же противоречивы, что неудивительно, учитывая сохраняющиеся значительные пробелы в сведениях о локализации МТ.

Впервые эффективность инъекции в проекции МТ, на 50% превосходящая по скорости развития и выраженности эффекта инъекции без учета расположения МТ, была продемонстрирована в 1993 г. С. Shaari и I. Sanders [34] и в 1998 г. М.К. Childers и соавт. [35] в экспериментах на биологическом материале, причем было доказано, что даже незначительное удаление

от МТ снижает эффективность инъекции БоНТ. Первые примеры клинического введения БоНТ в МТ были проведены с использованием препарата Диспорт®. В частности, клиническую эффективность его таргетного введения показали в своих работах J.-M. Gracies и соавт. (2002, 2008) [36, 37] на примере инъекции в BB и B.G. Lapatki и соавт. (2010) [38] на примере введения в *m. extensor digitorum brevis*. Результаты исследования T. Rekan и соавт. (2017) [31], также выполненного с использованием абоботулотоксина (Диспорт®), напротив, не показали различий между таргетным

Таблица 2.

Работы по поиску МТ мышц, выполненные при помощи ЭМГ

Table 2.

Muscle MP searching works done using EMG

Мышца	Авторы, источник	Год
Delt, BB, BR, TrB, FCU, PT, FCR, PalL, ECU, ECRL, ECRB, ED, EP, RF, VM, VL, Srt, TnsFL, S/t, BF, TA, S, G/c, AbdH	K. Saitou и соавт. [23]	2000
SCM, ScA	D. Falla и соавт. [24]	2002
BB	J.-Y. Moon и соавт. [25]	2012
RF, VL, VM, S/t, S/m, BF, TP, G/c, TA, PL	A. Botter и соавт. [26], M. Gobbo и соавт. [27]	2011, 2014
Delt, Tr, LD, ES, RA, PM, Pmin, BB, TrB	M. Behringer и соавт. [28]	2014
RA, OEA	E.J. McCaughey и соавт. [29]	2014
AbdH	A. Choi и соавт. [30]	2017
BB, Tr, LD, PM, Pmin	A. Franz и соавт. [7]	2018
SCM, Tr, Delt, PM, BB, Br, BR, TrB, FCR, PT, FCU, FDS, FPL, ECRL, ECRB, EI, EDmin, ED, APL, RF, VL, VM, S/t, S/m, Gr, G/c, S, TP	А.П. Коваленко и соавт. [5]	2016, 2017, 2018

Примечание. Delt — *m. deltoideus* (дельтовидная мышца); BR — *m. brachioradialis* (плечелучевая мышца); PalL — *m. palmaris longus* (long palmar muscle); ECU — *m. extensor carpi ulnaris* (локтевой разгибатель запястья); ECRL — *m. extensor carpi radialis longus* (длинный лучевой разгибатель запястья); ECRB — *m. extensor carpi radialis brevis* (короткий лучевой разгибатель запястья); ED — *m. extensor digitorum* (разгибатель пальцев кисти); EP — *m. extensor pollicis* (разгибатель большого пальца кисти); RF — *m. rectus femoris* (прямая мышца бедра); VM — *m. vastus medialis* (медиальная широкая мышца бедра); VL — *m. vastus lateralis* (латеральная широкая мышца бедра); Srt — *m. sartorius* (портняжная мышца); TnsFL — *m. tensor fascia latae* (напрягатель широкой фасции бедра); S/t — *m. semitendinosus* (полусухожильная мышца); BF — *m. biceps femoris* (двуглавая мышца бедра); AbdH — *m. abductor hallucis* (мышца, отводящая большой палец стопы); ScA — *m. scalenus anterior* (передняя лестничная мышца); S/m — *m. semimembranosus* (полуперепончатая мышца); ES — *m. erector spine* (мышца, выпрямляющая позвоночник); PL — *m. peroneus longus* (длинная малоберцовая мышца); RA — *m. rectus abdominis* (прямая мышца живота); OEA — *m. obliquus externus abdominis* (наружная косая мышца живота); FPL — *m. flexor pollicis longus* (длинный сгибатель большого пальца кисти); ECRB — *m. extensor carpi radialis brevis* (короткий лучевой разгибатель запястья); EI — *m. extensor indicis* (разгибатель указательного пальца); EDmin — *m. extensor digiti minimi* (разгибатель мизинца); APL — *m. abductor pollicis longus* (длинная мышца, отводящая большой палец кисти); Gr — *m. gracilis* (тонкая мышца). Остальные обозначения — те же, что в табл. 1.

Note. Delt — *m. deltoideus* (deltoid muscle); BR — *m. brachioradialis* (brachioradial muscle); PL — *m. palmaris longus* (long palmar muscle); PalL — *m. palmaris longus* (длинная ладонная мышца); ECU — *m. extensor carpi ulnaris* (ulnar extensor muscle of the wrist); ECRL — *m. extensor carpi radialis longus* (long radial extensor muscle of the wrist); ECRB — *m. extensor carpi radialis brevis* (short radial extensor muscle of the wrist); ED — *m. extensor digitorum* (extensor muscle of the digits); EP — *m. extensor pollicis* (extensor muscle of the thumb); RF — *m. rectus femoris* (rectus muscle of the thigh); VM — *m. vastus medialis* (medial great muscle); VL — *m. vastus lateralis* (lateral great muscle); Srt — *m. sartorius* (tailor's muscle); TnsFL — *m. tensor fascia latae* (tensor muscle of the fascia lata); S/t — *m. semitendinosus* (semitendinous muscle); BF — *m. biceps femoris* (biceps muscle of thigh); AbdH — *m. abductor hallucis* (abductor muscle of the great toe); ScA — *m. scalenus anterior* (anterior scalene muscle); S/m — *m. semimembranosus* (semimembranosus muscle); PL — *m. peroneus longus* (long peroneal muscle); RA — *m. rectus abdominis* (rectus muscle of the thigh); OEA — *m. obliquus externus abdominis* (abdominal external oblique muscle); FPL — *m. flexor pollicis longus* (long flexor muscle of the thumb); ECRB — *m. extensor carpi radialis brevis* (short radial extensor muscle of the wrist); EI — *m. extensor indicis* (extensor muscle of the index finger); EDmin — *m. extensor digiti minimi* (extensor muscle of the little finger); APL — *m. abductor pollicis longus* (long abductor muscle of the thumb); Gr — *m. gracilis* (gracilis muscle). For other designations, see Table 1.

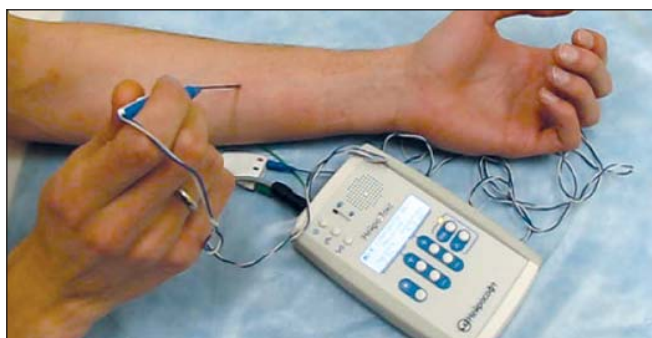


Рис. 1. Поиск МТ FDS портативным ЭМГ-аппаратом «Нейро-Токс» («Нейрософт», Россия) с использованием кожного монополярного стимулирующего электрода¹

Fig. 1. Search for FDS MPs with a portable Neuro-Tox EMG device (Neurosoft, Russia) using a cutaneous monopolar stimulating electrode

Таблица 3. Контрольные линии и ориентиры для определения координат МТ

Table 3. Control lines and landmarks for determining the coordinates of MPs

Мышцы	Контрольные линии, ориентиры и измеряемые позиции
Грудные мышцы	Расстояние от ключицы по среднеключичной линии и перпендикуляр от нее до МТ
Мышцы передней поверхности плеча	Расстояние от локтевого сгиба, расстояние от акромиона, расстояние от средней линии плеча
Мышцы задней поверхности плеча	Расстояние от акромиона, расстояние от олекрона, расстояние от средней линии
Мышцы задней поверхности предплечья	Расстояние от локтевого сгиба, расстояние от лучезапястного сустава, расстояние от линии, проведенной между медиальным надмышечком и шиловидным отростком, окружность предплечья
Мышцы передней поверхности бедра	Расстояние от передней верхней ости подвздошной кости, расстояние от верхнего края надколенника, расстояние от линии, их соединяющей, и окружность бедра
Мышцы передней поверхности голени	Расстояние от бугристости большеберцовой кости, расстояние от средней линии голени, окружность голени
Мышцы задней поверхности бедра	Расстояние от седалищного бугра, расстояние от подколенного сгиба, расстояние от средней линии бедра, окружность бедра
Мышцы задней поверхности голени	Расстояние от подколенного сгиба, расстояние от пяточного бугра, расстояние от средней линии, окружность голени

¹Цветные рисунки к этой статье представлены на сайте журнала: nnp.ima-press.net

введением БоНТ в МТ и стандартным введением, при этом стоит отметить, что в исследовании использовались данные о локализации МТ из работы K. Saitou (2000) [23], проведенной всего на трех испытуемых.

Альтернативой таргетному введению в МТ предлагалось применение растворов БоНТ большого разведения с целью увеличения диффузии препарата в мышце. В частности, Европейский консенсус по лечению спастичности в 2009 г. заключил, что идентификация МТ сложна, и рекомендовал для повышения эффективности не таргетное введение токсина, а использование большого разведения [39]. При этом методологии использования растворов меньшей концентрации и стандартов по вариантам разведения в зависимости от объема мышцы создано не было.

Таким образом, работы по уточнению локализации МТ, набору статистического материала по топографическому соответствию и клинической апробации эффективности введения БоНТ в МТ актуальны, что открывает простор для исследований в этом направлении.

В публикации 2017 г. [5] мы представили первые результаты поиска МТ на примере мышц сгибателей верхней конечности: была предложена оригинальная карта локализации МТ, изложена методология поиска МТ при помощи электромиографического и ультразвукового контроля, доказаны идентичность контралатерального и гендерного расположения МТ и независимость их локализации от возраста и индекса массы тела.

Цель исследования — с помощью ЭМГ верифицировать МТ мышц конечностей для таргетного введения БоНТ при лечении спастичности.

Пациенты и методы. В исследование были включены 40 здоровых добровольцев обоих полов в возрасте от 21 года до 64 лет. Протокол исследования был одобрен локальным этическим комитетом Военно-медицинской академии, обследованные были осведомлены о целях исследования и подписали информированное согласие. Методология работы была построена идентично материалам, изложенным в статье А.П. Коваленко и соавт. (2017) [5]. Использовались (рис. 1): портативный электромиограф «Нейро-Токс» («Нейрософт», Россия), кожный монополярный стимулирующий электрод Natus Bo-Jet (McKesson, США) и портативный ультразвуковой сканер GE Logiq (General Electric, США).

Исследовались мышцы, наиболее часто встречающиеся в практике ботулинотерапии при спастичности верхней и нижней конечностей и поздних дистонических установках (материалы НИР «Спастичность», 2019).

Из мышц верхней конечности к ним относятся: PM, BB, Br, BR, TrB, FCR, FCU, PT, FDS, FPL, ED, ECU, ECRL, ECRB, APL.

Из мышц нижней конечности к ним относятся: VL, VM, RF, TA, S/t, S/m, Gr, G/c, S.

Исключение составили мышцы, редко встречающиеся в терапии спастичности, и мышцы, труднодоступные для неинвазивного поиска.

Для каждой точки измерялись: сила тока, при которой получено сокращение, расстояние от основных анатомических ориентиров и линий топографической разметки, окружность конечности в области МТ. Для удобства клинического применения расстояние до каждой МТ было представлено в процентах от соответствующего анатомического ориентира по отношению к длине контрольной линии (табл. 3) [40, 41].

Таблица 4. Топографическая разметка МТ *m. pectoralis major* (PM)Table 4. Topographic markings of MPs in the *m. pectoralis major*

Части РМ	Сила тока, мА	Расстояние, см	
		от ключицы по средне-ключичной линии	латерально от средне-ключичной линии
<i>Pars claviculalis</i>	5,0±1,2	4,7±1,2	2,1±1,5
<i>Pars sternocostalis</i>	6,5±1,9	13,8±2,6	2,2±1,1
<i>Pars abdominalis</i>	5,8±1,7	16,7±1,7	6,7±1,8

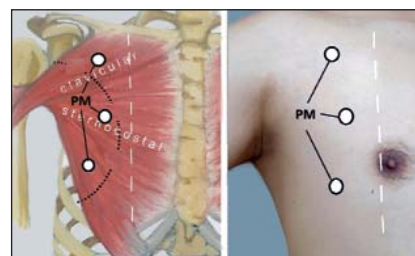


Рис. 2. Анатомия РМ и проекции ее МТ на поверхности тела

Fig. 2. Anatomy of PM and the projections of its MPs on the body surface

Таблица 5. Топографическая разметка МТ мышц плеча и предплечья

Table 5. Topographic markings of MPs in the muscles of the shoulder and forearm

Мышца	Сила тока, мА	Расстояние, см				%
		от средней линии		от локтевого сгиба	от запястного сгиба	
		медиально	латерально			
BB:						
caput longum	5	—	1,9±0,4	10,0±0,5*	—	
caput brevis	5	2,8±0,3	—	9,3±0,4*	—	
Br	6,9±0,9	—	4,1±0,3	7,5±0,5*	—	
BR	5,6±0,6	—	4,3±0,3	2,9±0,5*	23,0±0,8	11
FCR	6,9±0,9	2,8±0,3	—	5,7±0,5*	19,4±0,8	22
FCU	6,9±0,9	5,1±0,3	—	5,0±0,5*	20,4±0,5	19
PT	5	0	—	—	—	
FDS:						
II палец	7,0±0,9	1,7±0,1	—	17,5±0,6	6,8±0,7*	28
III палец	7,5±0,9	0,7±0,3	—	13,6±0,5	10,9±0,7*	45
IV палец	7,5±0,9	4,5±0,3	—	9,1±0,3	16,2±0,7*	44
V палец	9,2±0,7	3,0±0,2	—	19,7±0,6	5,5±0,4*	22
FPL	10,0	—	2,4±0,2	17,8±0,7	6,0±0,5*	26

Примечание. * — индикация расстояния, выраженная в процентах длины сегмента конечности в последнем столбце таблицы (здесь и в табл. 7–10).

Note. * the distance indication expressed as a percentage of the limb segment length in the last column of the table (here and in Tables 7–10).

База данных формировалась в программе Excel. Подтверждение нормальности распределения было доказано методами описательной статистики, расчетом коэффициента эксцесса, коэффициента асимметрии. Последующая статистическая обработка проводилась в программе Statistica 8.0 для Windows с использованием дисперсионного анализа и точного метода Фишера, расчетом Т-теста.

Результаты. Последовательное электромиографическое сканирование кожной поверхности верхней и нижней конечностей позволило зарегистрировать расположение искомым МТ относительно анатомических ориентиров, определить поро-

говую силу тока, сформировать визуальное представление их расположения относительно пропорций конечностей

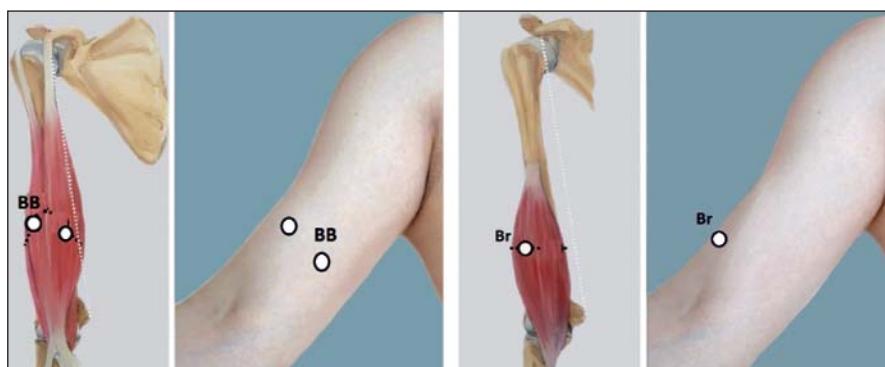


Рис. 3. Анатомия BB, Br и проекции их МТ на поверхности тела

Fig. 3. Anatomy of BB and Br and the projections of their MPs on the body surface

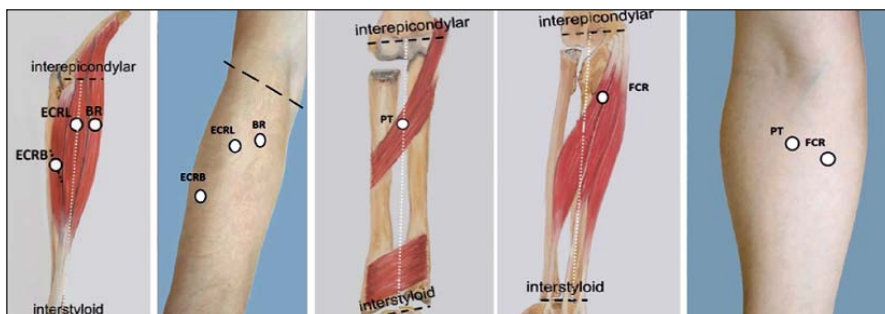


Рис. 4. Анатомия BR, ECRL, ECRB, FCR, PT и проекции их МТ на поверхности тела
Fig. 4. Anatomy of BR, ECRL, ECRB, FCR, and PT and the projections of their MP on the body surface



Рис. 5. Анатомия FPL, FDS, FCU и проекции их МТ на поверхности тела
Fig. 5. Anatomy of FPL, FDS, and FCU and the projections of their MP on the body surface

Таблица 6. Топографическая разметка МТ TrB
 Table 6. Topographic markings of MP in the m. triceps brachii

Головки TrB	Сила тока, мА	Расстояние, см от олекрона	от среднеключичной линии	
			латерально	медиально
Caput laterale	6,0±1,2	16,3±1,2	2,1±1,5	—
Caput mediale	7,5±1,9	12,8±1,6	—	1,5±1,1
Caput longus	6,8±1,7	14,2±1,4	—	4,2±1,1

с последующей фотофиксацией (табл. 4–11, рис. 2–10). В исследовании использовалась ультразвуковая навигация для определения проекции мышцы при электромиографическом сканировании.

Дисперсионный анализ не выявил влияния факторов роста и длины конечности на координаты точек в сегменте конечности от дистального и проксимального суставов соответственно, что свидетельствует об отсутствии необходимости какой-либо их нормализации и возможности использовать прямое линейное определение их координат. Дисперсионный анализ и расчет точного метода Фишера в группах с экстремумами длин соответствующей конечности не показали достоверности различий в расположении МТ мышц разных индивидов относительно контрольных линий. Достоверность согласно методу Фишера составила 0,38, а согласно дисперсионному анализу — 0,33. Координаты каждой из 45 МТ 29 исследованных мышц находятся в одной зоне распределения (при оценке диапазона экстремумов) и не различаются по плотности разброса (коэффициент вариации 0,095) во всех 40 наблюдениях.

Закключение. В процессе работы впервые были выявлены и подтверждены следующие закономерности:

— пороговая сила тока поверхностной стимуляции при частоте 2 Пц для МТ мышц верхней конечности составляет 5–10 мА, для МТ нижней конечности — 9–10 мА; при инвазивной стимуляции пороговая сила тока для МТ не зависит от

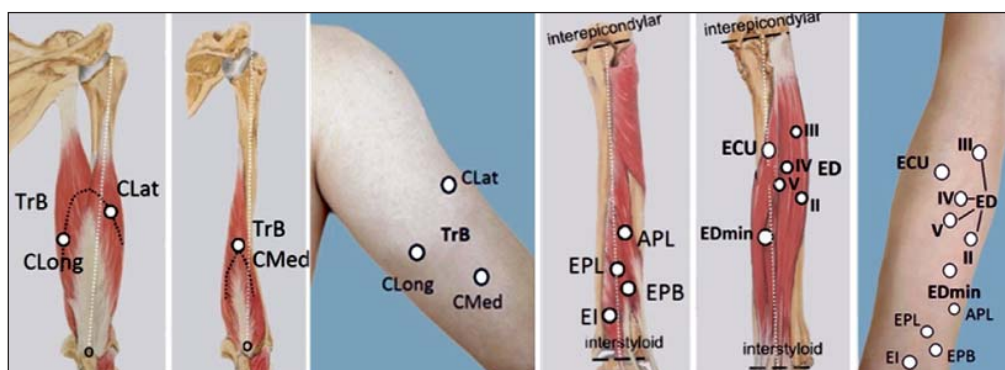


Рис. 6. Анатомия ECU, ED, EI, EPL, EPB, EDmin, APL, TrB и проекции их МТ на поверхности тела
Fig. 6. Anatomy of ECU, ED, EI, EPL, EPB, EDmin, APL, and TrB and the projections of their MP on the body surface

Таблица 7. Топографическая разметка МТ мышц тыльной поверхности предплечья
Table 7. Topographic markings of MPs in the dorsal muscles of the arm

Мышца	Сила тока, мА	Расстояние, см			%
		от линии, проведенной от медиального надмыщелка до шиловидного отростка локтевой кости	от локтевого сгиба	от лучезапястного сустава	
ECRL	8,6±0,7	4,8±0,4	6,8±0,5*	19,2±1,2	26
ECRB	9,1±0,6	3,7±0,5	8,7±0,6*	17,3±0,9	33
ECU	10,0	0,4±0,1	9,1±0,7*	17,3±0,7	34
ED:					
II палец	9,0±0,6	3,5±0,3	11,3±0,7*	15,0±0,8	43
III палец	8,6±0,7	3,0±0,2	7,1±0,2*	19,4±0,8	27
IV палец	10,0	2,2±0,2	10,6±0,7*	15,1±0,8	41
V палец	9,0±0,6	1,1±0,4	11,2±0,6*	14,7±0,7	43
APL	9,0±0,6	4,2±0,4	16,0±0,7	9,6±0,5*	37

локализации последней на теле и составляет 1–2 мА;

— расположение МТ не зависит от пола, возраста и массы тела. Относительное смещение МТ на 1–2 см к дистальным отделам сегмента конечности происходит при медиане роста 175–180 см;

— мышцы могут иметь несколько МТ, количество МТ зависит не от величины мышцы, а от числа ее функций. Например, FDS имеет четыре МТ, а S/m — одну МТ (см. рис. 5, 7, 10 и табл. 5, 8). Анатомическое размежевание мышцы предполагает различные режимы функцио-

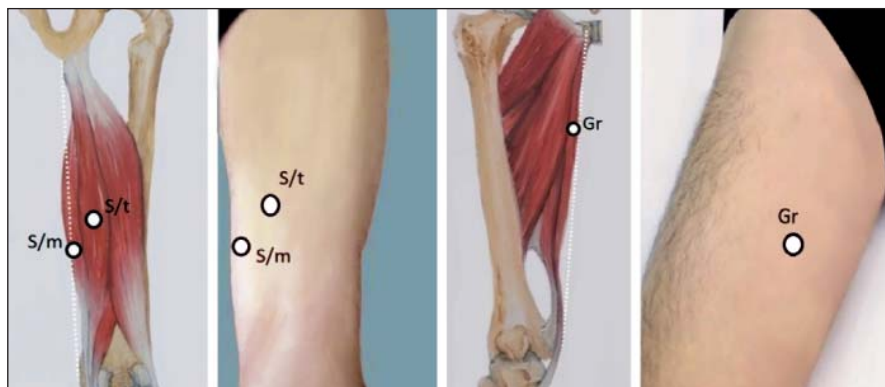


Рис. 7. Анатомия S/t, S/m, Gr и проекции их МТ на поверхности тела
Fig. 7. Anatomy of S/t, S/m, and Gr and the projections of their MPs on the body surface

Таблица 8. Топографическая разметка МТ мышц задней поверхности бедра
Table 8. Topographic markings of MPs in the posterior tibial surface muscles

Мышца	Сила тока, мА	Расстояние, см			Окружность бедра, см	%
		от седалищного бугра	от подколенного сгиба	от средней линии		
S/t	9,7±2,0	23,5±4,0	15,8±4,1*	1,6±0,5	46,8±4,0	40
S/m	10,4±3,3	24,2±4,06	15,1±4,9*	3,6±1,6	46,2±4,9	38
Gr	9,0±2,2	22,1±3,11	17,2±4,0*	8,7±2,1	47,6±4,1	47

Таблица 9. Топографическая разметка МТ мышц задней поверхности голени
Table 9. Topographic markings of MPs in the posterior leg surface muscles

Мышца	Сила тока, мА	Расстояние, см			Окружность голени, см	%
		от подколенного сгиба	от пяточного бугра	от средней линии		
G/c:						
caput medialis	9,8±2,2	15,0±5,4*	31,5±6,8	3,5±1,7	36,1±2,6	33
caput lateralis	10,3±2,3	15,0±4,8*	31,7±6,2	5,5±2,6	36,1±2,8	32
S	10,5±2,1	19,3±4,1*	26,4±4,7	7,5±2,6	33,1±3,1	45



Рис. 8. Анатомия G/c, S и проекции их МТ на поверхности тела
Fig. 8. Anatomy of G/c, and S and the projections of their MPs on the body surface

нирования и, соответственно, варианты иннервации — это косвенно свидетельствует о наличии у данной мышцы нескольких МТ (например, G/c — две головки и две МТ, РМ — три части и три МТ; см. рис. 2, 8 и табл. 4, 9).

Основным результатом работы является создание оригинальной схемы расположения МТ мышц верхней и нижней конечности, выполненной на основании ЭМГ (рис. 10). Особенности выбора мышц, основанного на частоте их встречаемости в паттернах спастичности, позволяет непосредственно применять данные о МТ в лечении и реабилитации пациентов.



Рис. 9. Анатомия RF, VL, VM, TA и проекции их МТ на поверхности тела
Fig. 9. Anatomy of RF, VL, VM, and TA and the projections of their MPs on the body surface

Таблица 10. Топографическая разметка МТ мышц передней поверхности бедра
Table 10. Topographic markings of MPs in the anterior tibial surface muscles

Мышца	Сила тока, мА	от передней верхней ости подвздошной кости	Расстояние, см		Окружность бедра, см	%
			от надколенника	от средней линии		
RF	9,6±3,1	32,4±3,4	17,0±3,3*	2,3±1,3	49,5±4,1	34
VL	8,8±2,2	33,1±5,1	15,8±4,2*	5,7±1,8	48,4±5,1	33
VM	9,0±2,2	35,7±3,5	13,7±4,0*	6,6±2,1	46,2±4,6	32

Таблица 11. Топографическая разметка МТ m. tibialis anterior (TA)
Table 11. Topographic markings of MPs in the m. tibialis anterior

Мышца	Сила тока, мА	от бугристости большеберцовой кости	Расстояние, см		Окружность голени, см	%
			от средней линии			
TA	9,8±3,0	9,4±3,2*	3,7±1,6		35,3±2,9	20

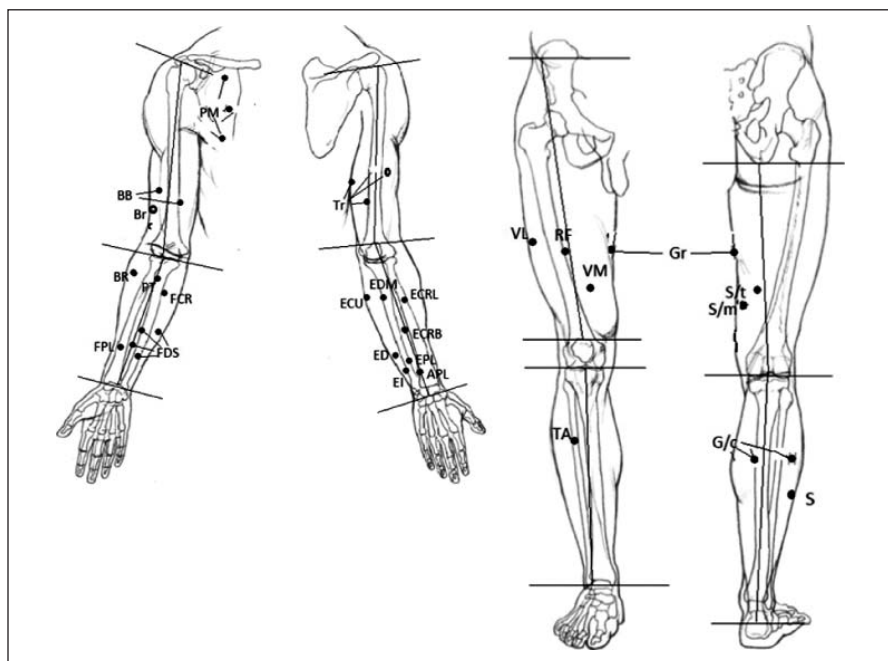


Рис. 10. Карта локализации МТ мышц для инъекций БоНТ
Fig. 10. A muscle MP localization map for BoNT injections

Таким образом, использование достоверной информации о расположении МТ позволит применять таргетное введение БоНТ в непосредственной близости от места биологического действия, т. е. блокировать выход ацетилхолина в кратчайшие сроки после инъекции. Это позволяет избежать временных затрат на транспорт БоНТ по мышце, который может достигать 4 сут. В клинической практике это дает право рассчитывать на сокращение срока развития эффекта от лечения спастичности с 21 до 16–17 сут и, соответственно, открывает окно возможностей для раннего начала реабилитационных мероприятий, направленных на восстановление движения. Полученные данные позволяют начать работу по клинической апробации эффективности введения БоНТ в МТ, что открывает простор для исследований в этом направлении.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Искра ДА, Коваленко АП, Кошкарёв МА, Дыскин ДЕ. Спастичность: от патофизиологии к лечению. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2018;118(10):108-14. doi: 10.17116/jnevro2018118101108
- [Iskra DA, Kovalenko AP, Koshkarev MA, Dyskin DE. Spasticity: from pathophysiology to treatment. *Zhurnal neurologii i psikiatrii imeni S.S. Korsakova*. 2018;118(10):108-14. doi: 10.17116/jnevro2018118101108 (In Russ.)].
2. Орлова ОР. Возможности и перспективы использования ботулотоксина в клинической практике. *PMЖ*. 2006;23:1700.
- [Orlova OR. Opportunities and prospects for using botulinum toxin in clinical practice. *RMJ*. 2006;23:1700 (In Russ.)].
3. Brashear A, Elovic E, editors. Spasticity: diagnosis and management. 2nd ed. Demos Medical Publishing; 2016. 139 p. ISBN 978-1-62070-072-3 — ISBN 978-1-61705-242-2 (e-book).
4. Коваленко АП, Мисиков ВК. Атлас ультразвуковой визуализации мышц для ботулинотерапии. Спастичность. Диагностика и лечение: Методическое руководство. Москва — Санкт-Петербург; 2020. 264 с. ISBN 978-5-9909968-0-9
- [Misikov VK, Kovalenko AP. *Atlas ul'trazvukovoy vizualizatsii myshts dlya botulinoterapii. Spastichnost'. Diagnostika i lecheniye. Metodicheskoye rukovodstvo* [Atlas of ultrasound imaging of muscles for botulinum toxin therapy. Spasticity. Diagnosis and treatment: Methodological guidance]. Moscow — St. Petersburg; 2020. 264 p. ISBN 978-5-9909968-0-9 (In Russ.)].
5. Коваленко АП, Мисиков ВК, Синельников КА, Каримов АН. Картирование моторных точек мышц-сгибателей руки для оптимизации введения ботулинического токсина при лечении спастичности. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2017;117(7):47-52. doi: 10.17116/jnevro20171177147-52
- [Kovalenko AP, Misikov VK, Sinelnikov KA, Karimov AN. Mapping of motor-points in the flexor muscles of the arm for the optimization of botulinum toxin injections in treatment of spasticity. *Zhurnal neurologii i psikiatrii im. S.S. Korsakova*. 2017;117(7):47-52. doi: 10.17116/jnevro20171177147-52 (In Russ.)].
6. Kaymak B, Kara M, Yagiz On A, et al. Innervation zone targeted botulinum toxin injections. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2018 Feb;54(1):100-9. doi: 10.23736/S1973-9087.17.04663-9
7. Franz A, Klaas J, Schumann M, et al. Anatomical versus functional motor points of selected upper body muscles. *Muscle Nerve*. 2018 Mar;57(3):460-5. doi: 10.1002/mus.25748
8. Dressler D. Pharmacology of botulinum toxin drugs. *HNO*. 2012 Jun;60(6):496-502. doi: 10.1007/s00106-012-2494-1
9. Molloy FM, Shill HA, Kaelin-Lang A, Karp BI. Accuracy of muscle localization without EMG: implications for treatment of limb dystonia. *Neurology*. 2002 Mar 12;58(5):805-7. doi: 10.1212/wnl.58.5.805
10. Mul L, Sanders I. Sihler's whole mount nerve staining technique: a review. *Biotech Histochem*. 2010 Feb;85(1):19. doi: 10.1080/10520290903048384
11. Quiring DP, Warfel JH. The Head, Neck, and Trunk. Muscles and Motor Points. Lea & Febiger, USA; 1960.
12. Bickerton LE, Agur AM, Ashby P. Flexor digitorum superficialis: locations of individual muscle bellies for botulinum toxin injections. *Muscle Nerve*. 1997 Aug;20(8):1041-3. doi: 10.1002/(sici)1097-4598(199708)20:8<1041::aid-mus18>3.0.co;2-y
13. Roberts C, Crystal R, Eastwood DM. Optimal injection points for the neuromuscular blockade of forearm flexor muscles: a cadaveric study. *J Pediatr Orthop B*. 2006 Sep;15(5):351-5. doi: 10.1097/01202412-200609000-00009
14. Parratte B, Tatu L, Vuillier F, et al. Intramuscular distribution of nerves in the human triceps surae muscle: anatomical bases for treatment of spastic drop foot with botulinum toxin. *Surg Radiol Anat*. 2002 May;24(2):91-6. doi: 10.1007/s00276-002-0022-9
15. Park BK, Shin YB, Ko Y-Y, et al. Anatomic Motor Point Localization of the Biceps Brachii and Brachialis Muscles. *J Korean Med Sci*. 2007 Jun;22(3):459-62. doi: 10.3346/jkms.2007.22.3.459
16. Lee JH, Lee BN, An X, et al. Location of the motor entry point and intramuscular motor point of the tibialis posterior muscle: for effective motor point block. *Clin Anat*. 2011 Jan;24(1):91-6. doi: 10.1002/ca.21062. Epub 2010 Oct 29.
17. Lee JH, Lee BN, Han SH, et al. The effective zone of botulinum toxin A injections in the sternocleidomastoid muscle. *Surg Radiol Anat*. 2011 Apr;33(3):185-90. doi: 10.1007/s00276-010-0729-y. Epub 2010 Oct 1.
18. Lee JH, Han SH, Ye JF, et al. Effective zone of botulinum toxin A injections in hallux claw toe syndrome: an anatomical study. *Muscle Nerve*. 2012 Feb;45(2):217-21. doi: 10.1002/mus.22263

19. Kim HG, Chung ME, Song DH, et al. Determination of Injection Site in Flexor Digitorum Longus for Effective and Safe Botulinum Toxin Injection. *Ann Rehabil Med*. 2015 Feb;39(1):32-8. doi: 10.5535/arm.2015.39.1.32. Epub 2015 Feb 28.
20. Bowden JL, McNulty PA. Mapping the motor point in the human tibialis anterior muscle. *Clin Neurophysiol*. 2012 Feb;123(2):386-92. doi: 10.1016/j.clinph.2011.06.016. Epub 2011 Jul 29.
21. Koo HJ, Park HJ, Park G-Y, et al. Safe Needle Insertion Locations for Motor Point Injection of the Triceps Brachii Muscle: A Pilot Cadaveric and Ultrasonography Study. *Ann Rehabil Med*. 2019 Dec;43(6):635-41. doi: 10.5535/arm.2019.43.6.635. Epub 2019 Dec 31.
22. Lee NG, You JH, Park HD, et al. The validity and reliability of the motor point detection system: a preliminary investigation of motor points of the triceps surae muscles. *Arch Phys Med Rehabil*. 2009 Feb;90(2):348-53. doi: 10.1016/j.apmr.2008.07.018
23. Saitou K, Masuda T, Michikami D, et al. Innervation zones of the upper and lower limb muscles estimated by using multichannel surface EMG. *J Hum Ergol (Tokyo)*. 2000;29:35-52. doi: 10.11183/jhe1972.29.35
24. Falla D, Dall'Alba P, Rainoldi A, et al. Location of innervation zones of sternocleidomastoid and scalene muscles — a basis for clinical and research electromyography applications. *Clin Neurophysiol*. 2002 Jan;113(1):57-63. doi: 10.1016/s1388-2457(01)00708-8
25. Moon J-Y, Hwang T-S, Sim S-J, et al. Surface Mapping of Motor Points in Biceps Brachii Muscle. *Ann Rehabil Med*. 2012 Apr;36(2):187-96. doi: 10.5535/arm.2012.36.2.187. Epub 2012 Apr 30.
26. Botter A, Oprandi G, Lanfranco F, et al. Atlas of the muscle motor points for the lower limb: implications for electrical stimulation procedures and electrode positioning. *Eur J Appl Physiol*. 2011 Oct;111(10):2461-71. doi: 10.1007/s00421-011-2093-y. Epub 2011 Jul 28.
27. Gobbo M, Maffiuletti NA, Orizio C, Minetto MA. Muscle motor point identification is essential for optimizing neuromuscular electrical stimulation use. *J Neuroeng Rehabil*. 2014 Feb 25;11:17. doi: 10.1186/1743-0003-11-17
28. Behringer M, Franz A, McCourt M, Mester J. Motor point map of upper body muscles. *Eur J Appl Physiol*. 2014 Aug;114(8):1605-17. doi: 10.1007/s00421-014-2892-z. Epub 2014 Apr 29.
29. McCaughey EJ, McLean AN, Allan DB, Gollee H. Detection of the motor points of the abdominal muscles. *Eur J Appl Physiol*. 2014 Dec;114(12):2483-9. doi: 10.1007/s00421-014-2966-y. Epub 2014 Aug 12.
30. Choi A, Kwon NY, Kim K, et al. Anatomical Localization of Motor Points of the Abductor Hallucis Muscle: A Cadaveric Study. *Ann Rehabil Med*. 2017 Aug;41(4):589-94. doi: 10.5535/arm.2017.41.4.589. Epub 2017 Aug 31.
31. Rekan T, Biering-Sørensen B, He J, et al. Botulinum toxin treatment of spasticity targeted to muscle endplates: an international, randomised, evaluator-blinded study comparing two different botulinum toxin injection strategies for the treatment of upper limb spasticity. *BMJ Open*. 2019;9:e024340. doi: 10.1136/bmjopen-2018-024340
32. Kara M, Kaymak B, Ulasli AM, et al. Sonographic guide for botulinum toxin injections of the upper limb: EUROMUSCULUS/USPRM spasticity approach. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2018 June;54(3):469-85. doi: 10.23736/s1973-9087.17.04664-0
33. Kaymak B, Kara M, Ulasli AM, et al. Sonographic guide for botulinum toxin injections of the lower limb: EUROMUSCULUS/USPRM spasticity approach. *Eur J Phys Rehabil Med*. 2018 June;54(3):486-98. doi: 10.23736/s1973-9087.17.04667-6
34. Shaari CM, Sanders I. Quantifying how location and dose of botulinum toxin injections affect muscle paralysis. *Muscle Nerve*. 1993;16:964-9. doi: 10.1002/mus.880160913
35. Childers MK, Kornegay JN, Aoki R, et al. Evaluating motor end-plate-targeted injections of botulinum toxin type A in a canine model. *Muscle Nerve*. 1998 May;21(5):653-5. doi: 10.1002/(sici)1097-4598(199805)21:5<653::aid-mus15>3.0.co;2-w
36. Gracies J-M, Lugassy M, Weisz DJ, et al. Botulinum toxin dilution and endplate targeting in spasticity: a double-blind controlled study. *Arch Phys Med Rehabil*. 2009 Jan;90(1):9-16.e2. doi: 10.1016/j.apmr.2008.04.030
37. Gracies J-M, Weisz DJ, Yang BY, et al. Effects of botulinum toxin type a dilution and endplate targeting technique in upper limb spasticity. Presented to American Neurological Association Meeting. 2002;10.
38. Lapatki BG, van Dijk JP, van de Warrenburg BP, Zwartz MJ. Botulinum toxin has an increased effect when targeted toward the muscle's endplate zone: a high-density surface EMG guided study. *Clin Neurophysiol*. 2011 Aug;122(8):1611-6. doi: 10.1016/j.clinph.2010.11.018. Epub 2010 Dec 30.
39. European consensus table on the use of botulinum toxin type A in adult spasticity. Article (PDF Available) in Journal of Rehabilitation Medicine: official journal of the UEMS European Board of Physical and Rehabilitation Medicine. *J Rehabil Med*. 2009;261:41(1):13-25. doi: 10.2340/16501977-0303
40. Синельников РД. Атлас анатомии человека. Т. 1. Москва; 1978. 472 с. [Sinelnikov RD. *Atlas anatomii cheloveka* [Atlas of human anatomy]. Vol 1. Moscow; 1978. 472 p. (In Russ.)].
41. Шевкуненко ВН. Краткий курс оперативной хирургии с топографической анатомией. Ленинград; 1947. 567 с. [Shevkunenko VN. *Kratkiy kurs operativnoy khirurgii s topograficheskoy anatomiyey* [Short course of operative surgery with topographic anatomy]. Leningrad; 1947. 567 p. (In Russ.)].

Поступила/отрецензирована/принята к печати

Received/Reviewed/Accepted

25.09.2020/7.011.2020/10.11.2020

Заявление о конфликте интересов/Conflict of Interest Statement

Статья спонсируется компанией «Ипсен». Спонсор участвовал в разработке проекта исследования и поддержке исследовательской программы, а также принятии решения о представлении статьи для публикации. Конфликт интересов не повлиял на результаты исследования. Авторы несут полную ответственность за предоставление окончательной версии рукописи в печать. Все авторы принимали участие в разработке концепции статьи и написании рукописи. Окончательная версия рукописи была одобрена всеми авторами.

The paper has been sponsored by Ipsen. The sponsor has participated in the development of the investigation project and supported the investigation program, as well as in the decision to submit the article for publication. The conflict of interest has not affected the results of the investigation. The authors are solely responsible for submitting the final version of the manuscript for publication. All the authors have participated in developing the concept of the article and in writing the manuscript. The final version of the manuscript has been approved by all the authors.

Коваленко А.П. <https://orcid.org/0000-0001-5762-5632>

Синельников К.А. <https://orcid.org/0000-0003-4266-1950>

Шамигулов В.Д. <https://orcid.org/0000-0002-0095-4379>

Ахмедов Н.Н. <https://orcid.org/0000-0001-6002-3384>

Шамина Е.М. <https://orcid.org/0000-0001-7862-1753>