

Хатькова С.Е.^{1,2}, Бальберт А.А.^{3,4,5}

¹Кафедра восстановительной медицины, спортивной медицины, курортологии и физиотерапии с курсом сестринского дела ФГБУ «Государственный научный центр Российской Федерации – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России, Москва, Россия; ²отделение неврологии для БНМК ФГАУ «Лечебно-реабилитационный центр» Минздрава России, Москва, Россия; ³ГБУЗ СО «Свердловский областной клинический психоневрологический госпиталь для ветеранов войн», Свердловск, Россия; ⁴ГБОУ ВПО «Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, Екатеринбург, Россия; ⁵кафедра адаптивной физкультуры ГБОУ ВПО «Уральский государственный университет физической культуры», Челябинск, Россия
¹123182, Москва, ул. Живописная 46, корп. 21; ²125367, Москва, Ивановское шоссе, 3; ³620036, Екатеринбург, ул. Соболева, 25; ⁴620028, Екатеринбург, ул. Репина, 3; ⁵454091, Челябинск, ул. Орджоникидзе, 1

Ультразвуковой контроль инъекций ботулинического токсина

Одним из ключевых условий достижения желаемого результата при ботулинотерапии мышечной дистонии, спастичности и других заболеваний, сопровождающихся спазмом, болью и вегетативной дисфункцией (дистоний, спастичности и др.), является правильное введение препарата в мышцы, непосредственно вовлеченные в патологический процесс. Для успешного и безопасного лечения важно анатомически точное попадание ботулотоксина в мышцы-мишени, поскольку инъекция в здоровую мышцу может вызывать побочные эффекты. Самые частые ошибки – введение иглы на неправильную глубину и неправильное направление иглы во время инъекции. Поэтому точное попадание препарата, особенно в мелкие и глубоко расположенные мышцы, является непростой задачей даже для опытного специалиста и требует использования методов контроля.

В Европейском консенсусе по ботулинотерапии отмечено, что использование разных техник инъекции нужно для лучшей идентификации необходимых мышц. Однако в настоящее время не показано четкого преимущества какой-либо техники. В нашей стране в рутинной практике до сих пор широко используется проведение инъекций с помощью пальпации и анатомических ориентиров, реже применяются электромиографический контроль и электростимуляция. В последние годы все более популярным становится новый метод ультразвукового (УЗ) контроля инъекций. Этот эффективный, доступный и простой в использовании метод позволяет в режиме реального времени управлять процессом инъекции и обеспечить точное попадание препарата в мышцу. Настоящая статья посвящена сравнительному анализу различных методов инъекций, описанию метода УЗ-контроля и его преимуществ перед другими методами.

Ключевые слова: ботулинотерапия; инъекции; метод УЗ-контроля.

Контакты: Светлана Евгеньевна Хатькова; hse15@mail.ru

Для ссылки: Хатькова СЕ, Бальберт АА. Ультразвуковой контроль инъекций ботулинического токсина. Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика. 2016;8(2):4–9.

Ultrasound-guided botulinum toxin injections

Khatkova S.E.^{1,2}, Balbert A.A.^{3,4,5}

¹Department of Rehabilitation Medicine, Sports Medicine, Balneology, and Physiotherapy with Course of Nursing, State Research Center of the Russian Federation, A.I. Burnazyan Federal Medical Biophysical Center, Federal Biomedical Agency of Russia, Moscow, Russia;

²Department of Neurology for Stroke Patients, Treatment and Rehabilitation Center, Ministry of Health of Russia, Moscow, Russia;

³Sverdlovsk Regional Clinical Psychoneurological Hospital for War Veterans, Sverdlovsk, Russia; ⁴Ural State Medical University, Ministry of Health of Russia, Yekaterinburg, Russia; ⁵Department of Adaptive Exercise, Ural State University of Physical Culture, Chelyabinsk, Russia

¹46, Zhivopisnaya St., Build. 21, Moscow 123182;

²3, Ivankovskoe Shosse, Moscow 125367;

³25, Sobolev St., Yekaterinburg 620036;

⁴3, Repin St., Yekaterinburg 620028;

⁵1, Ordzhonikidze St., Chelyabinsk 454091

One of the key conditions for achieving the desirable result during botulinum toxin therapy for muscular dystonia, spasticity, and other diseases accompanied by spasm, pain, and autonomic dysfunction (dystonias, spasticity, etc.) is the proper administration of the agent into the muscles directly involved in the pathological process. The exact entry of botulinum toxin into the target muscles is essential for successful and safe treatment because its injection into a normal muscle may cause side effects. The most common errors are the incorrect depth and incorrect direction of a needle on insertion. Therefore, the exact injection of the agent particularly into the shallow and deep muscles is a difficult task even for an experienced specialist and requires the use of controlling methods.

The European Consensus on Botulinum Toxin Therapy points out that various injection techniques are needed for the better identification of necessary muscles. However, there are currently no reports on the clear advantage of any technique. In our country, injections using palpation and anatomical landmarks have been widely used in routine practice so far; electromyographic monitoring and electrostimulation have been less

frequently applied. In recent years, the new method ultrasound-guided injection has continued to grow more popular. This effective, accessible, and easy-to-use method makes it possible to manage a real-time injection process and to ensure the exact entry of the agent into the muscle. This paper is dedicated to a comparative analysis of different injection methods and to a description of the ultrasound-guided technique and its advantages over others.

Key words: botulinum toxin therapy; injections; ultrasound-guided method.

Contact: Svetlana Evgenyevna Khatkova; hse15@mail.ru

For reference: Khatkova SE, Balbert AA. Ultrasound-guided botulinum toxin injections. *Nevrologiya, neiropsikhiatriya, psikhosomatika* = *Neurology, neuropsychiatry, psychosomatics*. 2016;8(2):4–9.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14412/2074-2711-2016-2-4-9>

Препараты ботулинического токсина типа А (БТА) в течение многих лет с успехом используются в лечении мышечной дистонии, спастичности и других заболеваний, сопровождающихся спазмом, болью и вегетативной дисфункцией (дистоний, спастичности и др.). Эффективность и безопасность препаратов ботулотоксина доказана во многих исследованиях и метаанализах [1].

Одним из ключевых моментов достижения желаемого результата лечения является правильное введение препарата в мышцы, непосредственно вовлеченные в патологический процесс. Для успешного и безопасного лечения важно анатомически точное попадание БТА в мышцы-мишени, инъекция в здоровую мышцу может вызывать побочные эффекты (слабость мышц и т. д.).

Существует несколько методов контроля инъекций, повышающих эффективность ботулинотерапии: 1) метод анатомических ориентиров и пальпации; 2) электромиографический контроль (ЭМГ-контроль) [2]; 3) электростимуляция мышц (ЭС); 4) ультразвуковой контроль (УЗ-контроль) [3], который в последние годы получает все большее распространение; 5) компьютерная (КТ) [4], магнитно-резонансная (МРТ) и позитронно-эмиссионная (ПЭТ) томография; эти методы не используются повсеместно в рутинной практике, а применяются строго по показаниям, а также в научных исследованиях.

В Европейском консенсусе по ботулинотерапии [1] отмечено, что использование разных техник инъекции нужно для лучшей идентификации необходимых мышц. Однако в настоящее время не показано четкого преимущества какой-либо техники, что требует проведения дальнейших исследований.

В последние годы опубликовано несколько исследований, целью которых было определение наиболее эффективных методов контроля инъекций. Так, А. Picelli и соавт. [5] сравнивали различные методы: метод анатомических ориентиров, ЭС, ЭМГ- и УЗ-контроль при проведении инъекций в икроножную мышцу у взрослых со спастическим эквинусом после инсульта. Было показано большее снижение мышечного тонуса по Модифицированной шкале Эшворта (Modified Ashford Scale, MAS) у пациентов, которым проводились инъекции под УЗ-контролем и ЭС, по сравнению с пациентами, у которых использовали пальпацию мышц и метод анатомических ориентиров. Увеличение объема пассивных движений (passive range of motion, PROM) также было большим в группе пациентов, которым проводились инъекции под УЗ-контролем, чем у больных, у которых использовали ЭС, пальпацию инъецируемых мышц или только анатомические ориентиры. Хотя показана разная эффективность сравниваемых методов контроля инъекций,

авторы пришли к заключению, что при проведении инъекций недостаточно применения лишь метода пальпации и анатомических ориентиров и необходимо использовать тот или иной метод контроля.

В нашей стране в рутинной практике до сих пор широко используется проведение инъекций с помощью методов пальпации и анатомических ориентиров, реже применяются ЭМГ-контроль и ЭС. В последние годы все более популярным становится новый метод УЗ-контроля инъекций. Этот эффективный, доступный и простой в использовании метод позволяет в режиме реального времени управлять процессом инъекции и обеспечить точное попадание препарата в мышцу.

Настоящая статья посвящена сравнительному анализу различных методов инъекций, описанию метода УЗ-контроля и его преимуществ перед другими методами.

На сегодня проведен ряд исследований, в которых оценивали точность выполнения инъекций в мышцы-мишени с помощью метода анатомических ориентиров и пальпации. Для контроля положения иглы после ее введения использовали различные методы визуализации. По данным исследований, точность инъекций в икроножную (*m. gastrocnemius*) и камбаловидную (*m. soleus*) мышцы составила от 68 [6] до 75% [7], в остальных случаях игла была введена в другие мышцы или подкожную жировую клетчатку [6, 7]; 88% инъекций в глубоко расположенную заднюю большеберцовую мышцу (*m. Tibialis posterior*) были выполнены неверно [6]. С помощью метода анатомических ориентиров точное попадание иглы в мышцы предплечья и кисти у больных детским церебральным параличом наблюдалось лишь в 13–35% случаев [7]. У взрослых пациентов с постинсультной спастичностью кисти и пальцев было правильно проведено в среднем 51,2% инъекций. Максимальная точность отмечена в 63,4% случаев при инъекциях в мышцы-сгибатели пальцев и лишь в 39% при инъекциях в мышцы-сгибатели запястья (лучевой и локтевой). По мнению авторов, такая разница в точности введения иглы может объясняться разной толщиной мышц: мышцы-сгибатели пальцев имели большую толщину, чем мышцы-сгибатели кисти (в среднем 1,58 см против 0,49 см) [5].

Самыми частыми ошибками оказались введение иглы на неправильную глубину и неправильное направление иглы во время инъекции. Поэтому точное попадание препарата, особенно в мелкие и глубоко расположенные мышцы, является непростой задачей даже для опытного специалиста и требует использования методов контроля, в частности УЗ-контроля [5–8].

В последние годы опубликовано большое число работ, показавших, что инъекции БТА с помощью УЗ-контроля

могут повысить эффективность и снизить вероятность осложнений терапии по сравнению с инъекциями, при проведении которых используются методы пальпации и анатомических ориентиров [5, 8–11].

С помощью УЗ-контроля возможно определить не только мышцы-мишени, но и направление иглы в нужной мышце, визуализировать находящиеся в мышце кровеносные сосуды и нервы, что крайне важно для повышения безопасности инъекций [9]. Сделан вывод, что глубокие, небольшого размера или поверхностные мышцы могут быть смещены вследствие изменения тонуса, деформации конечности, индивидуальных особенностей пациента, поэтому для надежного их распознавания и проведения точных инъекций необходим УЗ-контроль. Например, при инъекции в мышцу-сгибатели пальцев у больных после инсульта зачастую трудно определить локализацию мышцы глубокого сгибателя пальцев (*m. Flexor digitorum profundus*) из-за глубины ее залегания и небольшой толщины, а также многослойного строения мышц на предплечье. Под УЗ-контролем эта мышца быстро и легко идентифицируется, что позволяет ввести иглу на необходимую глубину [3].

В одном из последних исследований показано, что инъекции под УЗ-контролем в комбинации с реабилитационными упражнениями более существенно помогают снизить мышечный тонус и улучшить моторную функцию верхней конечности [12].

Результаты еще одного недавно проведенного исследования показали, что для снижения тонуса в мышцах-сгибателях кисти и большого пальца верхней конечности у пациентов после инсульта инъекции инкоботулоботоксина¹, выполненные под УЗ-контролем, имеют преимущество перед инъекциями, проводимыми с использованием лишь метода анатомических ориентиров. Контролируемые инъекции помогают избежать потери препарата, попадания его в подкожную жировую клетчатку, фиброзно-измененную мышечную ткань, сосудистые и нервные структуры, обеспечивают точное попадание в нужную мышцу и даже в определенное место конкретной мышцы [10].

Физические основы УЗИ

В основе УЗ-метода лежит пьезоэлектрический эффект. В датчиках УЗ-аппаратов находятся кристаллы кварца и титаната бария. После воздействия переменного электрического тока в кристаллах возникает вибрация (обратный пьезоэлектрический эффект), которая распространяется из датчика в виде УЗ-волн. Ткани организма препятствуют распространению ультразвука, т. е. обладают акустическим сопротивлением. Достигнув границы двух сред с разным акустическим сопротивлением, одна часть УЗ-волн продолжает распространяться и поглощаться в новых средах, а другая отражается — «эффект эхо». Отраженные УЗ-волны возвращаются в датчик и воздействуют на те же кристаллы, в результате чего на их поверхности возникают электрические заряды (прямой пьезоэлектрический эффект), которые усиливаются и преобразуются в изображение на мониторе. Чем больше величина акустического сопротивления тканей, тем больше УЗ-волн от них отражается и тем выше амплитуда зарегистрированного сигнала, а значит, на мониторе аппарата такие ткани будут выглядеть более светлыми и яркими.

¹Ксеомин (Merz Pharmaceuticals GmbH, Германия).

Плотные ткани (кости, сухожилия и фасции и др.) будут выглядеть светлее (гиперэхогенные), менее плотные (жир, жидкость, мышцы) — темнее (гипоэхогенные) [11].

Техника инъекций

УЗИ — хорошо известный и надежный метод визуализации различных органов и структур организма, в том числе мышц. Для выполнения инъекций БТА под УЗ-контролем используются стандартные УЗ-сканеры, оснащенные линейным датчиком с рабочей частотой от 5 до 10 МГц (оптимальными считаются датчики с частотой более 7 МГц). УЗ-система с 7,5 МГц линейным датчиком позволяет получить изображение поверхностных и глубоко расположенных мышц. Это обеспечивает достаточное разрешение для визуализации поверхностных и глубоких мышц (до 5 см), а также сосудов, нервов и других «мелких деталей». Как альтернатива электрофизиологическим техникам предлагается визуальный УЗ-контроль инъекций ботулотоксина.

Поиск нужной мышцы

Для визуализации мышц используется, как правило, поперечный режим просмотра, т. е. датчик располагается поперечно оси тела (рис. 1).

При этом медиальные отделы конечности видны в левой части монитора УЗ-сканера, а латеральные — в правой, или наоборот, в зависимости от положения датчика (рис. 2).



Рис. 1. Поперечное положение датчика на теле пациента



Рис. 2. Медиально расположена *m. biceps*, латерально — *m. brachialis*

Как уже указывалось, мышечные волокна гипоэхогенны при УЗ-сканировании, а межмышечные соединительнотканые структуры и фасции гиперэхогенны.

Существует три основных принципа идентификации мышечной ткани:

- 1) характерный рисунок отдельных мышц. Каждая мышца имеет определенную линию контура, что позволяет идентифицировать ее в течение короткого времени (рис. 3);
- 2) визуализация прилежащих к мышце структур. Визуализация соседних костей и сосудов помогает точно определить место инъекции в тех мышцах, в которых межмышечные волокна или фасции слишком тонкие для четкого определения границ мышечной ткани (рис. 4);
- 3) пассивные и активные движения в конечности во время сканирования мышц.

При пассивном или активном движении соответствующей мышцы можно определить ее истинное анатомическое расположение благодаря изменениям эхоструктуры от дви-

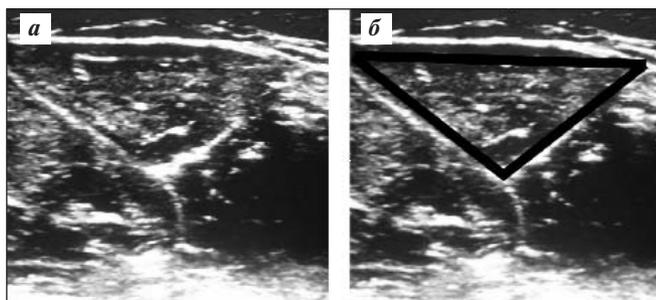


Рис. 3. а, б – лучевой сгибатель кисти (*m. flexor carpi radialis*) имеет характерный контур

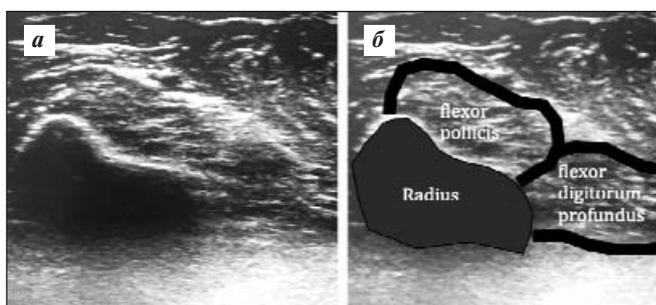


Рис. 4. а – УЗ-контур сгибателя большого пальца (*m. flexor pollicis*) сливается с глубоким сгибателем пальцев (*m. flexor digitorum profundus*); б – знание анатомического расположения сгибателя большого пальца (*m. flexor pollicis*) позволяет легко различить его над лучевой костью (*radius*)

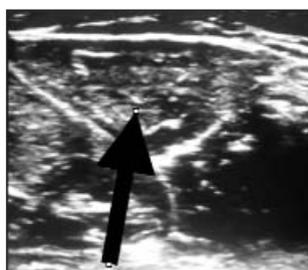


Рис. 5. Кончик иглы – в лучевом сгибателе запястья (*m. flexor carpi radialis*, стрелка)



Рис. 6. Распространение препарата в лучевом сгибателе запястья (*m. flexor carpi radialis*, стрелка)

жушейся мышцы во время сканирования. Таким образом, можно четко различить даже отдельные пучки мышцы, например поверхностного и глубокого сгибателей пальцев [6].

Введение ботулотоксина

После определения мышцы, в которую планируется проведение инъекции ботулотоксина, перпендикулярно к центру широкой стороны УЗ-датчика и по ходу УЗ-луча, в мышцу пациента вводится игла. При этом врач имеет возможность наблюдать положение кончика иглы в мышце (рис. 5). Если игла введена в нужную мышцу, проводится инъекция ботулотоксина. При УЗ-сканировании можно видеть, как изменяется эхоструктура мышцы вокруг кончика иглы (рис. 6). Таким образом, врач может контролировать в режиме реального времени весь процесс инъекции.

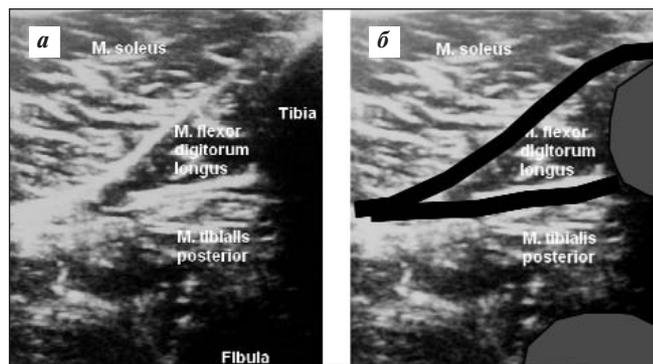


Рис. 7. а, б – УЗ-сканирование на уровне средней трети голени (мышцы расположены в три слоя). В зависимости от глубины введения иглы из одного прокола можно инъецировать три разные мышцы

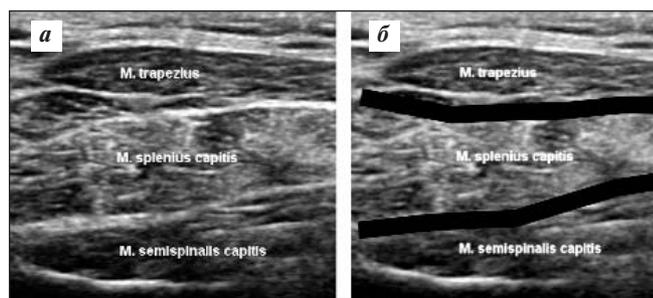


Рис. 8. а, б – УЗ-сканирование шеи на уровне С₁. Тонкие мышцы, прилежат друг к другу и неразличимы при пальпации. Точная инъекция в мышцу-мишень крайне сложна

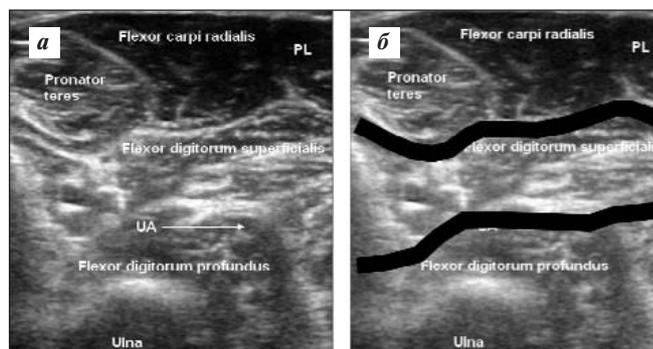


Рис. 9. а, б – УЗ-сканирование на уровне верхней трети предплечья. Сложное, многослойное строение мышц предплечья очень часто является причиной ошибок при инъекциях ботулотоксина в эту зону. UA – локтевая артерия (стрелка)

Основные преимущества УЗ-контроля инъекций

К важнейшим преимуществам УЗ-контроля инъекций можно отнести:

1) возможность точно определить необходимую глубину инъекции, что особенно важно при инъекциях в глубокие мышцы предплечья, голени, ягодичной области [4] и мышцы шеи, где имеется несколько мышечных слоев и существует большая вероятность ошибки попадания в нужную мышцу (рис. 7–9);

2) возможность контролировать положение иглы непосредственно во время введения препарата, поскольку очень

часто при давлении на поршень шприца кончик иглы выходит из нужной мышцы, даже если первоначально был введен верно. Используя УЗ-контроль, врач может корректировать положение иглы в ходе процедуры и точно выполнить инъекцию;

3) возможность избежать повреждения сосудов и нервов, расположенных в межмышечных пространствах. Положение сосудисто-нервных пучков отчетливо дифференцируется при проведении УЗ-контроля инъекции (рис. 10, а, б).

4) возможность УЗ-сканирования мышц перед инъекцией БТА с целью оценки анатомических особенностей мышцы, например степени фиброзного перерождения мышечной ткани, что крайне важно в случае длительно существующей спастичности, когда мышечные волокна частично замещаются соединительной тканью (рис. 11, а, б), инъекции в такие измененные ткани не принесут желаемого результата. В данном случае необходима визуализация участков сохранившейся мышечной ткани и проведение инъекции именно в эти участки мышцы для получения эффекта от ботулинотерапии.

В настоящее время УЗ-контроль инъекций все чаще используется во многих регионах нашей страны, все больше врачей приобретают навыки проведения инъекций под УЗ-контролем, что существенно повышает эффективность ботулинотерапии и удовлетворенность пациентов результатами лечения.

Однако все еще существуют проблемы при проведении инъекций в мышцы, расположенные глубже 5 см от поверхности кожных покровов, поскольку их невозможно визуализировать ни с помощью стандартного УЗ-сканирования, ни, тем более, пальпаторно. Инъекции в глубоко расположенные мышцы могут проводиться под контролем КТ. Такими мышцами являются: нижняя косая мышца головы, большая поясничная и грушевидная мышцы. Опубликовано много работ, посвященных технике проведения инъекций в эти мышцы под УЗ-контролем. В них показано, что УЗ-контроль не обеспечивает 100% попадания препарата в мышцу-мишень. Чаще всего это связано с использованием не линейного, а коаксиального датчика УЗ-аппарата, что не позволяет четко визуализировать процесс инъекции. Недостаточно точная визуализация этих мышц может быть очень опасна в связи с возможностью травмирования глубоко расположенных нервов, сосудов и внутренних органов. Поэтому предпочтительным методом контроля инъекций глубоко расположенных мышц остается КТ, эффективность и точность которой продемонстрированы в ряде работ [1].

Актуальным остается и метод проведения инъекций ботулотоксина при помощи «двойного контроля»: УЗ-и ЭМГ-контроля. Суть метода заключается в точном попадании иглы в конкретную мышцу под УЗ-контролем с последующим проведением стимуляции данной мышцы. Это позволяет убедиться в том, что инъекция проводится в нужную мышцу. Воздействие электрического импульса вызывает сокращение мышцы, в которой находится кончик специальной миографической иглы, что также может способствовать наилучшему захвату препарата в нервно-мышечных си-

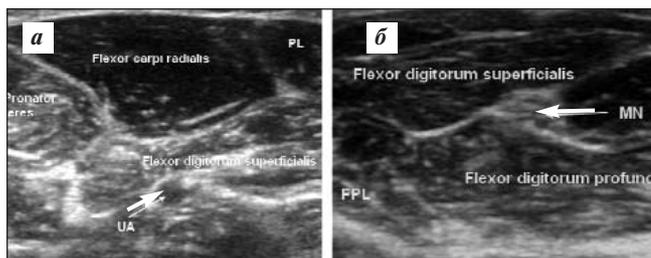


Рис. 10. 10. а – UA – локтевая артерия (стрелка); б – MN – срединный нерв (стрелка)

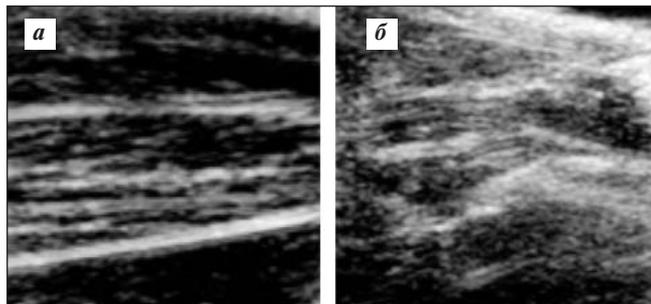


Рис. 11. а – увеличенные УЗ-сканы икроножной (*m. gastrocnemius*) и камбаловидной (*m. soleus*) мышц в норме. В нормальной мышце мышечная ткань темная, гипоэхогенная; б – те же мышцы у пациентки с эквиноварусной деформацией стопы, через 10 лет после инсульта. В фиброзо-измененной мышце мышечные волокна почти не прослеживаются, так как замещены светлыми гиперэхогенными волокнами фиброзной ткани

напах и, следовательно, повышению эффективности процедуры. Проведение такого «двойного контроля» позволяет достичь максимальной точности инъекции. УЗ-контроль становится все более популярным среди врачей, занимающихся ботулинотерапией, в связи с простотой, доступностью и высокой эффективностью.

В последние годы появилось много учебных материалов, пособий, атласов посвященных УЗ-контролю инъекций БТА, подготовленных как иностранными, так и российскими авторами. Как показывает практика, врачи, хорошо знающие анатомию, легче осваивают метод УЗ-контроля инъекций ботулотоксина. Кроме того, большую практическую помощь в работе оказывают диссекционные тренинги на трупном материале [13], гелевых фантомах и др., а также многочисленные интернет-ресурсы, широко доступные в настоящее время.

Таким образом, развитие современных технологий контроля точности инъекций при ботулинотерапии, в частности внедрение метода УЗ-контроля, позволяют повысить эффективность лечения больных со спастичностью и другими заболеваниями и снизить риск осложнений после инъекций, что делает метод очень привлекательным для врачей и пациентов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Wissel J, Ward AB, Erztgaard P, et al. European consensus table on the use of botulinum toxin type A in adult spasticity. *J Rehabil Med*. 2009 Jan;41(1):13-25. doi:

10.2340/16501977-0303.
2. Wissel J, Poewe W. EMG for identification of dystonic, tremulous and spastic muscles and techniques for guidance of injections.

In: Moore AP, Naumann M, editors. Handbook of Botulinum Toxin Treatment. 2nd edition. Wiley&Sons Ltd; 2003. P. 76-100.
3. Walter U, Dressler D. Ultrasound-guided

botulinum toxin injections in neurology: technique, indications and future perspectives. *Expert Rev Neurother.* 2014 Aug;14(8):923-36.

4. Бальберт АА, Мякотных ВС. Использование компьютерной томографии для контроля точности введения ботулотоксина при лечении синдрома грушевидной мышцы. Невский радиологический форум 2015. 4–6 апреля 2014 г., Санкт-Петербург: Сборник научных работ. Санкт-Петербург: ЭЛБИ-СПб; 2015. С. 55-6. [Bal'bert AA, Myakotnykh VS. *Ispol'zovanie komp'yuternoi tomografii dlya kontrolya tochnosti vvedeniya botulotoksina pri lechenii sindroma grushevidnoi myshtsy. Nevskii radiologicheskii forum 2015. 4–6 aprelya 2014 g., Sankt-Peterburg. Sbornik nauchnykh rabot* [The use of computed tomography to control the accuracy of the introduction of botulinum toxin in the treatment of piriformis syndrome. Nevsky radiological forum 2015. April 4–6, 2014, Saint-Petersburg. Collection of scientific works]. Saint-Petersburg: ELBI-SPb; 2015. P. 55-6.]

5. Picelli A, Tamburin S, Bonetti P, et al. Botulinumtoxin type A injection into the gastrocnemius muscle for spastic equinus in adults with stroke: a randomized controlled trial com-

paring manual needle placement, electrical stimulation and ultrasonography-guided injection techniques. *Am J Phys Med Rehabil.* 2012 Nov; 91(11):57-64.

6. Berweck S, Feldkamp A, Francke A, et al. Sonography-guided injection of botulinum toxin a in children with cerebral palsy. *Neuropediatrics.* 2002 Aug;33(4):221-3.

7. Chin TY, NatrassGR, Selber P, Graham HK. Accuracy of intramuscular injection of botulinum toxin A in juvenile cerebral palsy: a comparison between manual needle placement and placement guided by electrical stimulation. *J Pediatr Orthop.* 2005 May-Jun;25(3):286-91.

8. Picelli A, Roncari L, Baldessarelli S, et al. Accuracy of botulinum toxin type A injection into the forearm muscles of chronic stroke patients with spastic flexed wrist and clenched fist: manual needle placement evaluated using ultrasonography. *J Rehabil Med.* 2014 Nov; 46(10):1042-5. doi: 10.2340/16501977-1871.

9. Henzel MK, Munin MC, Niyonkuru C, et al. Comparison of surface and ultrasound localization to identify forearm flexor muscles for botulinum toxin injections. *PM R.* 2010 Jul;2(7):642-6. doi: 10.1016/j.pmrj.2010.05.002.

10. Santamato A, Micello MF, Panza F, et al.

Can botulinum toxin type A injection technique influence the clinical outcome of patients with post-stroke upper limb spasticity? A randomized controlled trial comparing manual needle placement and ultrasound-guided injection techniques. *J Neurol Sci.* 2014 Dec 15;347(1-2):39-43. doi: 10.1016/j.jns.2014.09.016. Epub 2014 Sep 19.

11. Schroeder AS, Berweck S, Lee SH, Heinen F. Botulinum toxin treatment of children with cerebral palsy – a short review of different injection techniques. *Neurotox Res.* 2006 Apr;9(2-3):189-96.

12. Li Jiang, Zu-Lin Dou, Quing-Yuan Wang, et al. Evaluation of clinical outcomes of patients with post-stroke wrist and finger spasticity after ultrasonography-guided BTX-A injection and rehabilitation training. *Front Hum Neurosci.* 2015 Sep 2;9:485. doi: 10.3389/fnhum.2015.00485. eCollection 2015.

13. Boon AJ, Oney-Marlow TM, Murthy NS, et al. Accuracy of electromyography needle placement in cadavers: non-guided vs. ultrasound guided. *Muscle Nerve.* 2011 Jul;44(1): 45-9. doi: 10.1002/mus.22008.

Исследование не имело спонсорской поддержки. 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.