

Ультразвук в руках анестезиолога – эксклюзив или рутина?

Д. В. Заболотский, Г. Э. Ульрих, Н. С. Малашенко, А. Г. Кулев

Санкт-Петербургская государственная педиатрическая медицинская академия

Ultrasound in anesthesiological practice – exclusive or routine?

D. V. Zabolotskiy, G. E. Ulrikh, N. S. Malashenko, A. G. Kulev

Saint Petersburg State Pediatric Medical Academy

Наряду с фундаментальными медицинскими знаниями, мануальные навыки анестезиолога, необходимые для выполнения инвазивных процедур, во многом определяют его профессиональный уровень. Доля регионарного обезбоживания в структуре анестезиологической помощи на современном этапе значима и в развитых странах составляет 35–40%. Сегодня отмечается общая тенденция к увеличению частоты использования регионарной анестезии (РА) в анестезиологической практике с повсеместным увеличением количества периферических блокад (Giaufre E., Dalens B. et al., 1996).

Появляются новые или модифицированные методы доступа к периферическим нейрональным структурам: блокада поперечного пространства живота (transverse abdominus plane block – TAP block), блокады подвздошно-пахового нерва, подвздошно-гипогастрального нерва, поясничного сплетения и паравертебральная блокада, а также продленные катетеризационные методики в амбулаторных условиях (Davies R., 2006; McDonnell J., Laffey J., 2007).

При выполнении РА специалист, как правило, основывается только на знание топографической анатомии и личный опыт. При таком положении опыт врача является основополагающей составляющей снижения частоты осложнений и неудач (Bernard R. W., Stahl W. M., 1971).

Детский возраст длительное время был противопоказанием для регионарного обезбоживания, особенно это касалось стволовых и плексусных блокад (Айзенберг В. Л., Цыпин Л. Е., 1998). В качестве аргументов приводился определенный процент неудач из-за топографических вариантов расположения нервных стволов. После

публикаций С. J. Lourey (1973) и Е. Melman (1975), посвященных комбинации местного обезболивания и общей анестезии, методы РА начали завоевывать прочные позиции в анестезиологии у детей.

По данным Американского общества анестезиологов, частота выплат страховых исков, связанных с осложнениями, возникшими при выполнении блокад периферических нервов значительно ниже (39%), чем при осложнениях, возникших от нейроаксиальных блоков (Lee L. A., Domino K. B., 2005). Однако, за счет использования косвенных методов идентификации нервных стволов, поиска нервов путем проб и ошибок, периферические блоки могут быть просто неэффективными или стать причиной немногочисленных, но серьезных осложнений.

При выполнении РА повреждение нервных стволов, по данным различных авторов, составляет от 0,4 до 2,2% (Peer S. et al., 2002). Частота пункций соседних анатомических структур варьирует от вида блокад: клинические проявления пневмоторакса при надключичном доступе возникают в 3% случаев (Stan T. et al., 1995), парез возвратного нерва при межлестничной блокаде – 1,5% (Dalens B., 1989), высокая спинальная анестезия – в единичных случаях (Marhofer P. et al., 2005).

Большинство осложнений, ведущих к судебным разбирательствам, связаны с повреждением нервов. Механическая травма нервного ствола иглой и эндоневральное введение анестетика – основные причины длительных неврологических расстройств (Borgeat A., 2006). Также возможны пункции сосудов с развитием гематомы, кровотечения, проблемы, специфичные для определенной области и блока, такие как пневмоторакс, пункция

субарахноидального пространства, пункция пищевода (Augoy Y., Benhamou D., 2002).

Необходимо учитывать, что переоценка собственных показателей в повседневной клинической практике и неизвестное количество незарегистрированных осложнений занижают фактическое число неудовлетворительных блокад.

Теоретические и практические разделы проводниковой анестезии изначально основывались на знаниях, которые врачи приобретали в анатомических театрах. На практике выполняли хирургический доступ к нерву и анестетик вводили в непосредственной близости от нервного ствола. С целью снижения инвазивности специалисты разработали «слепые» методики, основанные на знании анатомических ориентиров.

Использование регионарных методов обезболивания в педиатрической практике сопряжено с рядом трудностей. С одной стороны, нейроаксиальные и периферические блокады у детей младшего возраста выполняют в комбинации с общим обезболиванием, что исключает субъективные ощущения у пациентов. С другой стороны, анатомия нервных стволов и сплетений имеет широкие вариации. Сегодня в практической работе анестезиолог не вправе использовать принцип «нет парестезии – нет анестезии», т. к. парестезии – это следствие контакта иглы с нейрональной структурой, в результате которого возникает высокий риск неврологических осложнений. Прокалывание периневрия иглой и вхождение ее в нервный пучок дает парестезию примерно в 30 % случаев, и только непосредственный контакт с нервным волокном вызывает 100 % парестезию.

Распознавание нервных структур при проведении всех локальных анестезиологических техник является краеугольным камнем их эффективного и безопасного выполнения. Должна быть проведена четкая дифференциация между косвенными и прямыми методами идентификации нервов.

К косвенным методам, помимо субъективной оценки, относится метод нейростимуляции, предложенный В. Л. Айзенбергом в 1970 г. (Айзенберг В. Л., 1972). Возникновение фасцикуляций необходимой группы мышц информирует оператора о правильном расположении иглы относительно нервного волокна, иннервирующего данную мышечную группу. Техника последовательной электрической нейростимуляции (Sequential Electrical Nerve Stimulation, SENS) позволяет за счет изменения длительности серии импульсов вызывать моторный ответ на различном удалении иглы от нерва (Urmey W., Grossi P.,

2006). Для предупреждения осложнений, связанных с эндоневральным введением анестетика, нейростимуляторы последнего поколения позволяют измерять сопротивление тканей, в которых находится кончик иглы. При попадании иглой в нерв или сосуд сопротивление резко изменяется (Айзенберг В. Л. и др., 2011).

Сегодня нейростимуляция стала стандартом регионарной анестезии. Но работа с нейростимулятором не актуальна в комбинации с миорелаксантами и у детей с нарушением нервно-мышечной проводимости. Кроме того, «слепые» пункции всегда могут стать причиной серьезных осложнений, таких как повреждение нерва или случайная пункция соседних анатомических структур (в/с введение местного анестетика, пневмоторакс). Более того, в некоторых случаях (при переломах) важно избегать использования нейростимулятора, поскольку мышечные сокращения болезненны.

Среди современных методов прямой визуализации нейрональных структур можно выделить такие, как магнитно-резонансная томография (МРТ) и ультразвук (УЗ). Даже на современном этапе сложно представить использование МРТ в условиях операционной за счет громоздкости конструкции и высокой стоимости. Именно поэтому ультразвук является единственным эффективным методом для прямой визуализации в повседневной клинической практике анестезиолога (Marhofer P., Chan V. W., 2007). Возможно, самое существенное преимущество технологии ультразвука – способность дать анатомическую экспертизу области интереса в реальном времени (Perlas A. et al., 2003). Ультразвуковая визуализация позволяет рассмотреть нервные волокна (сплетения и периферические нервы) и окружающие структуры (например, кровеносные сосуды и плевра), проводить иглу направленно к намеченным нервам и визуализировать процесс распространения местного анестетика (Chan V. W. S. et al., 2003).

Описание использования УЗ для контроля проведения периферических блокад было опубликовано в 1978 г. La Grange (La Grange P. et al., 1978). Он выполнил блокаду плечевого сплетения надключичным способом с применением УЗ в режиме доплеровского сканирования. Однако знания по визуализации нейрональных структур были в то время недостаточными и ультразвуковые технологии не позволяли сканировать нервные стволы. Для накопления достаточного уровня знаний и развития ультразвуковых технологий

потребовалось более 10 лет. С ростом популярности УЗ в работе анестезиолога развивалось производство портативных УЗ-машин и совершенствовалось их программное обеспечение. Появление высокочастотных УЗ-датчиков повысило качество изображения анатомических структур. Современные аппараты УЗ с каждым годом становятся компактнее и дешевле (Marhofer P., 2010).

Схематично УЗ-машины состоят из сканера и монитора. УЗ-волны генерируются пьезоэлектрическими кристаллами датчика, которые преобразуют электрические сигналы в механическую энергию, в форме вибрации, приводящую к ультразвуковым волнам. Различные ткани в зависимости от акустического импеданса по-разному проводят УЗ: некоторые полностью отражают сигналы, в то время как другие его рассеивают. Тот же датчик, являясь одновременно трансмиттером и ресивером, воспринимает отраженные волны, преобразуя их в электрические сигналы, которые проходят обработку машиной ультразвука, чтобы дать изображение на экране. Разрешение изображения зависит как от датчика (например, количество кристаллов и возможность изменения частоты излучения), так и от УЗИ-аппарата (процесс обработки сигнала). Благодаря наличию портативных, ударопрочных приборов с экранами высокого разрешения, максимальной автоматизацией настроек и простым управлением, УЗ стал рутинным инструментом у анестезиолога за рубежом (Заболотский Д. В., 2010).

В анестезиологии используют два вида датчиков – линейные и микроконвексные. Чем выше частота датчика, тем лучше визуализация поверхностных анатомических структур (Brull R. et al., 2010).

Визуализация поверхностно расположенных нейрональных структур (плечевое сплетение) требует использования высокочастотных линейных датчиков (12–15 МГц) (Marhofer P. et al., 2005). Однако проникновение луча ограничено до 3–4 см. Исследования с более низкой частотой (4–7 МГц) подходят для того, чтобы просмотреть более глубокие структуры, такие как плечевое сплетение в нижнеключичной области и/или седалищный нерв у взрослых.

Для педиатрической практики оптимальны датчики с небольшой площадью подошвы. Сосуды визуализируются как анэхогенные пульсирующие образования с четким контуром. Периферические нервы выглядят на УЗ-картинке как гипо-, так

и гиперэхогенными структурами. При поперечном сканировании можно наблюдать эффект «пчелиных сот» – гипоэхогенные образования округлой формы с гиперэхогенным ободком (периневрием) (Peer S. et al., 2002). При продольном сечении периферические нервы под УЗ выглядят в виде множественных прерывистых гиперэхогенных полос с чередованием гипоэхогенных линий (Nasel C., 1998).

У детей с возрастом меняется взаимоотношение основных анатомических структур (кости, мышцы, сосуды). Также изменяется эхогенность тканей. У новорожденных фасции отчетливо гиперэхогенны, что позволяет идентифицировать нервы, располагающиеся в непосредственной близости к фасции (бедренный нерв). Сканирование мышц брюшной стенки позволяет отчетливо определить межфасциальное пространство между поперечной и внутренней косой мышцами живота, что способствует более легкому выполнению ТАР-блока.

Нейрональные структуры у детей младшего возраста залегают на меньшей глубине и обладают низкой эхогенностью.

При расположении датчика в сагиттальной плоскости парамедиально относительно позвоночного столба, можно легко идентифицировать у взрослых и детей поперечные отростки, которые будут давать акустическую тень – «знак трезубца» (пальцевидные, темные зоны) (Karmakar M. K. et al., 2008). При парамедиальном сагиттальном косом расположении датчика даже у взрослого пациента можно идентифицировать желтую связку и эпидуральное пространство (Karmakar M. K. et al., 2009).

За счет незначительной минерализации костной ткани у детей до 3 лет, на УЗ-картине отчетливо определяются желтая связка, твердая мозговая оболочка и нервные структуры (спинной мозг, конский хвост). С 3-летнего возраста УЗ не может пройти через плотные костные ткани, и четкая визуализация центральных нейрональных структур становится не всегда возможной.

Прямая визуализация нейрональных структур и соседних анатомических образований, распространение местного анестетика (МА) позволяет достичь адекватной блокады и избежать осложнений даже в условиях амбулаторной клиники (Трухин К. С. и др., 2011). Эндоневральное введение препаратов приводит к ишемизации периферических нейрональных структур, степень которой прямо пропорциональна инъецируемому объему МА. Пациенты под наркозом не реагируют на

травму нерва, а увеличение сопротивления при инъекции является субъективным ощущением оператора и не всегда может быть расценено правильно. Применение УЗ позволяет избежать этих осложнений.

Другим важным вопросом является объем МА, необходимый для достижения адекватной блокады. Ранее большие объемы препарата использовали для компенсации неточной техники идентификации нервов. Однако зачастую это не дает качественных результатов (Eichenberg U. et al., 2009). Благодаря появлению гипоехогенной тени при инъекции местного анестетика на УЗ-картинке, можно, используя мультиинъекционную технику, обеспечить успешную анестезию меньшими дозами МА. Установлено, что распространение МА при моноинъекции непредсказуемо, поэтому изменение положения кончика иглы под УЗ-навигацией относительно нервных стволов является необходимым перед каждой инъекцией (Eichenberg U. et al., 2010).

Принципиально методики УЗ-сканирования при выполнении инвазивных анестезиологических манипуляций можно разделить на статическую и динамическую. Статическая методика заключается в контрольном ультразвуковом исследовании с визуализацией интересующих анатомических областей с нанесением на кожу разметки до стерилизации операционного поля. Предварительное УЗ-сканирование позволяет определить глубину расположения анатомических образований (нервов и сосудов) и их ход (Быков М. В. и др., 2008). Накожную разметку необходимо проводить у пациентов, уложенных в нужное для выполнения манипуляции положение. Если не придерживаться этого правила, то при укладывании пациента происходит смещение разметки и реального расположения анатомических структур.

Предпочтительнее использовать динамическую методику, которая позволяет в режиме реального времени визуализировать проводимую блокаду периферических нервов и катетеризацию магистральных сосудов (Yen C. L. et al., 2008). Для этого необходимо обеспечить стерильность датчика с помощью одноразовых рукавов или перчаток. Учитывая, что главный враг УЗ – воздух, для повышения качества УЗ-картинки необходимо нанесение стерильного геля на датчик и на чехол (Быков М. В., 2009). Для УЗ-сканирования инвазивных манипуляций используют перпендикулярную и продольную техники. При ориентировании иглы перпендикулярно по отношению к поверхности датчика сигнал от иглы слабый и трудно

дифференцируемый в виде точки и косвенных признаков движения мягких тканей. При продольной технике (ось иглы располагается вдоль оси датчика) на картинке визуализируется весь длинник иглы (Fredrickson M., 2008). Для усиления визуализации иглы за последние годы внедрено достаточное количество технических усовершенствований используемого инструментария. Насечки на современных иглах отражают УЗ в разных проекциях и усиливают их «свечение» на экране монитора (Maacken T. et al., 2007).

В настоящее время появился ряд приспособлений для игл, облегчающих сопоставление луча от ультразвукового датчика и проходящей в тканях иглы. Насадка на датчик с направителем для иглы или лазерная насадка на иглу в виде прицела облегчают работу при ее продольном расположении относительно ультразвукового датчика. Чем параллельнее игла датчику, тем четче картинка на экране (Wang A. Z. et al., 2009).

Широко распространено мнение, что использование УЗ в анестезиологии неоправданно дорого. Действительно, приобретение УЗ-оснащения связано со значимыми тратами, но разработки заводов-производителей позволяют снизить рыночную стоимость товара. Как и другое электронное оборудование (мобильные телефоны, ноутбуки, GPS-навигаторы), УЗ-машины становятся более компактными и дешевыми (Marhofer P., 2010). Благодаря использованию УЗ оптимизируется работа в операционной: уменьшается время работы медицинского персонала, снижается расход местного анестетика вследствие возможности контроля за его распределением в тканях, меньше средств затрачивается на лекарственные препараты и расходные материалы. Все это приводит к существенной экономии средств (Gonano C. et al., 2009).

Одним из основных препятствий широкого внедрения УЗ в рутинную работу анестезиолога является то, что специалист должен поменять свое восприятие. Опытного анестезиолога тяжело убедить в преимуществе альтернативных методов идентификации нервов и сосудов. Как правило, требуется несколько лет интенсивного научного и практического развития для внедрения новых техник в применении в клинической практике (Ivani G., Ferrante F. M., 2009). Оптимального метода внедрения УЗ-навигации в практическую деятельность анестезиолога сегодня не существует. Довольно трудно обеспечить постоянный контроль опытными пользователями за большим количеством интересующихся специалистов.

Полезным обучающим материалом являются фильмы, демонстрирующие практические основы УЗ-визуализации, и специализированные книги. Тем не менее прицельный контроль за навыками обучающегося специалиста должен быть частью образовательной работы. Для подготовки врачей необходимо проведение мастер-классов по основам УЗ, после чего анестезиолог должен быть способен выполнить инвазивные манипуляции под УЗ эффективно и безопасно (Sites B. D. et al., 2009).

Таким образом, в современной анестезиологической практике необходимо осуществлять

контроль за проведением «слепых» манипуляций при выполнении методов регионарного обезболивания. Единственным объективным методом сегодня считается УЗ-визуализация, которая благодаря наличию современных портативных машин позволяет проводить динамическое сканирование за продвижением иглы к необходимым нейрональным структурам и распространением местного анестетика. Модернизация и технический прогресс позволят в ближайшее время анестезиологу использовать УЗ в рутинной практике, и к этому необходимо быть готовым.

Литература

1. Айзенберг В. А. Высокие регионарные анестезии конечностей в сочетании с анальгезией закисью азота у детей // Вестник хирургии. 1972. № 5. С. 88–92.
2. Айзенберг В. А., Цыпин Л. Е., Михельсон В. А., Блаженков М. Б. Регионарная анестезия у детей – концепции, преимущества, общие принципы // Анестезиология и реаниматология. 1998. № 1. С. 22–24.
3. Айзенберг В. А., Ульрих Г. Э., Цыпин Л. Е., Заболотский Д. В. Регионарная анестезия в педиатрии. СПб.: Синтез Бук, 2011. 304 с.
4. Быков М. В., Неретин А. А., Быков Д. Ф. и др. Ультразвуковые исследования при катетеризации центральных вен // Сборник материалов Всероссийского конгресса анестезиологов и реаниматологов и XI съезда Федерации анестезиологов и реаниматологов / под ред. Ю. С. Полушина. СПб., 2008. С. 285–286.
5. Быков М. В. Ультразвуковые исследования в обеспечении инфузионной терапии. М., 2009. 22 с.
6. Гордеев В. И., Вахрушев А. И., Воробьева И. В. Этические и медико-юридические проблемы в анестезиологии и реаниматологии и понятие о страховом риске. СПб., 1995. 14 с.
7. Заболотский Д. В. Роль технического сопровождения блокад плечевого сплетения у детей // Эфферентная терапия. 2010. Т. 16, № 2. С. 32–36.
8. Трухин К. С., Заболотский Д. В., Малащенко Н. С. и др. Анестезия при артроскопических операциях на плечевом суставе в амбулаторной практике // Беломорский симпозиум IV: Сборник докладов и тезисов. 2011. 41 с.
9. Auroy Y., Benhamou D. Major Complications of Regional Anesthesia in France. The SOS Regional Anesthesia Hotline Service // Anesthesiology. 2002; 97(5).
10. Bernard R. W., Stahl W. M. Subclavian vein catheterizations: A prospective study // Ann. Surg. 1971; 173: 184–190.
11. Borgeat A. Regional anaesthesia, intrapleural, puncture and damage of the nerve // Anesthesiology. 2006; 105: 647–648.
12. Brull R., Macfarlane A., Tse C. Practical Knobology for Ultrasound-Guided Regional Anesthesia // Reg. Anesth. Pain Med. 2010; 35: 68–73.
13. Chan V. W., Perlas A., Rawson R., Odukoja O. Ultrasound Guided Supraclavicular Brachial Plexus Block // Anesth. Analg. 2003; 97: 514–517.
14. Dalens B. Regional anesthesia in children // Anesth. Analg. 1989; 68: 654–672.
15. Davies R. et al. A comparison of the analgesic efficacy and side-effects of paravertebral blockade vs epidural blockade for thoracotomy: a systematic review and meta-analysis of randomized trials // Br. J. Anaesth. 2006; 96: 418–426.
16. Eichenberg U., Stockli S., Marhofer P. et al. Minimal local anesthetic volume for peripheral nerve block: a new ultrasound-guided, nerve dimension-based method // Reg. Anesth. Pain Med. 2009; 34(3): 242–246.
17. Fredrickson M. «Oblique» needle-probe alignment to facilitate ultrasound-guided femoral catheter placement // Reg. Anesth. Pain Med. 2008; 33(4): 383–384.
18. Giaufre E., Dalens B., Gombert A. Epidemiology and morbidity of regional anesthesia in children. A one year prospective survey of the french language society of pediatric anesthesiologists // Anesth. Analg. 1996; 83: 904–912.
19. Gonano C., Kettner S. C., Ernstbrunner M. et al. Comparison of economical aspects of interscalene brachial plexus blockade and general anaesthesia for arthroscopic shoulder surgery // Br. J. Anaesth. 2009; 103(3): 428–433.
20. Ivani G., Ferrante F. M. The American Society of Regional Anesthesia Pain Medicine and the European Society of Regional Anaesthesia and Pain Therapy Joint Committee recommendations for education and training in ultrasound-guided regional anaesthesia: why do we need these guidelines? // Reg. Anesth. Pain Med. 2009; 34(1): 8–9.
21. Karmakar M. K., Ho A. M., Li X. et al. Ultrasound-guided lumbar plexus block through the acoustic window of the lumbar ultrasound trident // Br. J. Anaesth. 2008; 100: 533–537.
22. Karmakar M. K. Ultrasound for central neuraxial blocks. Techniques in Regional Anesthesia // Reg. Anesth. Pain Management. 2009; 13: 161–170.

23. *La Grange P., Foster P. A., Pretorius L. K.* Application of the Doppler ultrasound bloodflow detector in supraclavicular brachial plexus block // *Br. J. Anaesth.* 1978; 50: 965–967.
24. *Lee L. A., Domino K. B.* Complications associated with peripheral nerve blocks: lessons from the ASA closed claims project // *Int. Anesth. Clin.* 2005; 43: 111–118.
25. *Lourey C. J.* Caudal anaesthesia in infants and children // *J. Anaesth. Int. Care.* 1973; 1: 547–548.
26. *Maecken T., Zenz M., Grau T.* Ultrasound Characteristics of Needles for Regional Anesthesia // *Reg. Anesth. Pain Med.* 2007; 32(5): 440–447.
27. *Marhofer P.* Ultrasound-guided regional anesthesia. Principles and Practical Implementation // Oxford university press. 2010. 236 p.
28. *Marhofer P., Chan V. W.* Ultrasound-guided regional anesthesia: current concepts and future trends // *Anesth. Analg.* 2007; 104: 265–269.
29. *Marhofer P., Greher M., Kapral S.* Ultrasound guidance in regional anesthesia // *Br. J. Anaesth.* 2005; 94: 7–17.
30. *McDonnell J., Laffey J.* The Transversus Abdominis Plane Block // *Anesth. Analg.* 2007; 105: 282–283.
31. *Melman E., Penuelas J., Marrufo J.* Regional anesthesia in children // *Anesth. Analg.* 1975; 54: 387–390.
32. *Narouze S. N.* Atlas of Ultrasound-Guided Procedures in Interventional Pain Management. 2011. P. 372.
33. *Peer S., Kovacs P., Harpf C. et al.* High resolution sonography of lower extremity peripheral nerves: anatomic correlation and spectrum of diseases // *J. Ultrasound Med.* 2002; 21: 315–322.
34. *Perlas A., Chan V. W. S., Simons M.* Brachial Plexus Examination and Localization Using Ultrasound and Electrical Stimulation- A Volunteer Study // *Anesthesiology.* 2003; 99: 429–435.
35. *Sites B. D., Brull R., Chan V. W. et al.* Artifacts and pitfall errors associated with ultrasound-guided regional anesthesia. Part II: a pictorial approach to understanding and avoidance // *Reg. Anesth. Pain Med.* 2007; 32(5): 419–433.
36. *Urmey W., Grossi P.* Use of sequential electrical nerve stimuli (SENS) for location of the sciatic nerve and lumbar plexus // *Reg. Anesth. Pain Med.* 2006; 31: 463–469.
37. *Wang A. Z., Zhang W. X., Jiang W.* A needle guide can facilitate visualization of needle passage in ultrasound-guided nerve blocks // *J. Clin. Anesth.* 2009; 21(3): 230–232.
38. *Yen C. L., Jeng C. M., Yang S. S.* The benefits of comparing conventional sonography, real-time spatial compound sonography, tissue harmonic sonography, and tissue harmonic compound sonography of hepatic lesions // *Clin. Imaging.* 2008; 32(1): 11–15.