

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРТАНИ: ОПЫТ И ПЕРСПЕКТИВЫ

М.В. Субботина^{1*}, М.И. Пыков²

¹ ФГБОУ ВО «Иркутский государственный медицинский университет» Минздрава России, Иркутск

² ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, Москва

ULTRASOUND EXAMINATION OF THE LARYNX: EXPERIENCE AND PROSPECTS

M.V. Subbotina^{1*}, M.I. Pykov²

¹ Irkutsk State Medical University, Irkutsk, Russia

² Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia

*E-mail: lor-igmu@yandex.ru

Аннотация

С целью изучения клинического применения ультразвукового исследования (УЗИ) гортани был проведен обзор литературы за 20 лет по базам данных PubMed, EBSCO и eLibrary до января 2024 г. с использованием ключевых слов: ультразвуковое исследование гортани, эхография гортани, доплерография гортани. Работы, включенные в обзор, были разделены на 11 тем: исследование нормальной гортани; эхография гортани и верхних дыхательных путей в интересах анестезиологов (подбор интубационной трубки, выполнение коникотомии, прогнозирование трудной интубации); определение подвижности складок после операций на органах шеи и грудной клетки (повреждение возвратного нерва); диагностика опухолей гортани; выявление у взрослых и детей заболеваний и травм гортани, проявляющихся дисфонией и/или стридором; диагностика патологии гортани в условиях пандемии COVID-19; диагностика сонного апноэ; определение места введения иглы для инъекции в гортань и при миографии; оценка глотания; возможности доплерографии гортани; перспективные направления ультразвукового исследования гортани. Результаты обзора продемонстрировали, что УЗИ может быть эффективным методом оценки состояния гортани и дыхательных путей, так как является неинвазивной процедурой без использования анестезии и хорошо переносится пациентами.

Ключевые слова: эхография гортани, ультразвуковое исследование гортани, доплерография гортани.

Abstract

The authors have made a literature analysis on the clinical effectiveness of laryngeal ultrasound for the 20-year period, till January 2024. They looked for pertinent articles in PubMed, EBSCO and E-library databases using the following keywords: laryngeal ultrasound, laryngeal echography, laryngeal Dopplerography and transcutaneous laryngeal ultrasound. The selected works were divided into 11 topics: normal larynx, measurement of vocal fold lengths and mobility. To continue: mobility of folds after surgeries on the neck and chest (namely, recurrent nerve injury); laryngeal tumors; laryngeal diseases and injuries in adults and children manifested by dysphonia and/or stridor; laryngeal pathologies under COVID-19 pandemics; sleep apnea; sites for needle insertion in larynx injections and in myography; state of swallowing act; potentials of laryngeal Dopplerography; future-oriented areas for ultrasound examination of the larynx. Ultrasonography of the larynx and upper respiratory tract is an interesting topic for anesthesiologists (namely, for proper selection of intubation tube, conicotomy, predicting difficult intubation). The obtained results have demonstrated that ultrasound can be an effective tool for assessing the state of larynx and respiratory tract. Laryngeal ultrasound is non-invasive, does not require special training and anesthesia, accessible for doctors and patients, well-tolerated by the latter.

Keywords: laryngeal echography, laryngeal ultrasound examination, laryngeal Dopplerography.

Ссылка для цитирования: Субботина М.В., Пыков М.И. Ультразвуковое исследование гортани: опыт и перспективы. Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2024; 2: 93–99.

Введение

Ультразвуковая диагностика была впервые применена К. Dussik в 40-х гг. прошлого века для выявления опухолей головного мозга [1]. В 60-х гг. Т. Kitamura и соавт. подробно описали возможность ультразвукового исследования (УЗИ) лор-органов [2]. В настоящее время трудно представить современную клинику без ультразвукового сканера для обследования сердца, сосудов, щитовидной железы, органов брюшной полости и малого таза, почек. Однако исследовать таким способом лор-органы еще не стало рутинной практикой. И причиной тому несколько факторов: затухание ультразвука в кости или окостеневшем хряще и отражение его на границе с воздухом.

Оба эти фактора присутствуют при исследовании гортани [3, 4], что создает препятствия для использования ультразвукового сканирования в распознавании заболеваний гортани у взрослых пациентов с выраженной оксификацией ее хрящей, которая начинается уже с семилетнего возраста. Для преодоления этой проблемы было предложено использовать гелевые прокладки, низкочастотный датчик, осмотр через подъязычно-щитовидную мембрану и коническую связку, через заднебоковую поверхность щитовидного хряща, где позднее образуются участки окостенения, использовать режим цветового доплеровского картирования (ЦДК) [5–9]. Невозможно достоверно судить о наличии и характере патологических про-

цессов в задних отделах гортани и трахеи при сканировании через переднюю поверхность шеи [3]. Чтобы избежать ошибок, УЗИ проводят в нескольких плоскостях – спереди и сбоку, комбинируя сканирование с эндоскопией [1, 9, 10]. Появление в гортани патологического процесса уменьшает воздушность просвета и создает среду для проведения ультразвука, благодаря чему становится возможной визуализация папиллом и других образований в гортани [11].

Оториноларингологам привычнее обследовать гортань с помощью зеркала или эндоскопа, хотя это не всегда просто, особенно у маленьких детей или тучных пациентов с особым строением надгортанника. В период эпидемии COVID-19 произошло повышение интереса к УЗИ гортани как методу, уменьшающему вирусную нагрузку на врача по сравнению с ларингоскопией [12]. Известно два способа УЗИ гортани: эндоларингеальный, с использованием специального датчика, совмещенного с фиброскопом [1, 10], и чрескожный, с использованием обычных датчиков для исследования поверхностных органов [1]. Второй метод более востребован и проще в использовании. Благодаря применению этого метода в последние пять лет врачи многих специальностей стали более детально исследовать гортань, не прибегая к услугам оториноларингологов: анестезиологи – при проведении интубации или коникотомии; хирурги и онкологи – во время и после операций на щитовидной железе и органах грудной клетки; неонатологи – при выхаживании новорожденных.

Материалом для обзора литературы по теме явились базы данных PubMed, EBSCO и eLibrary за последние 20 лет до января 2024 г., из них 72 рандомизированных клинических исследования и 15 обзоров в PubMed, 58 – в EBSCO, девять – в eLibrary. Были удалены статьи о применении УЗИ у животных, при диагностике плода, рентгенологические исследования, дублированные статьи одного автора, материалы конференций. Все источники были разделены на 11 тем использования УЗИ гортани.

Исследование нормальной гортани

В норме с помощью В-режима в проекции гортани определяются подкожно-жировая клетчатка, наружные мышцы гортани, щитовидный хрящ, черпаловидные хрящи, голосовая щель, передняя комиссура, преднадгортанниковое клетчаточное пространство, голосовые и вестибулярные складки, оцениваются их подвижность, размеры (чаще сканируют орган в поперечной плоскости) [11, 13, 14]. Визуализация голосовых складок у пациентов с патологией щитовидной железы варьировала от 72,8 до 100%. Среди мужчин этот показатель был значительно ниже (17–100%) по сравнению с женщинами (83–100%) из-за окостенения щитовидного хряща [14]. Ожирение, возраст, мужской пол, рост, кальцифицированный хрящ и разрез вблизи него были независимыми факторами необозримости голосовых складок. Маневр Вальсальвы, низкочастотный датчик и полипозиционность расположения датчика могут улучшить изображения, полученные при УЗИ. Эхография может быть удобной альтернативой ларингоскопии [15]. В исследовании, проведенном с участием 229 лиц женского пола в возрасте от двух месяцев до 81 года, голосовые и вестибулярные складки были видны у всех [16]. В то же время у лиц мужского пола визуализация складок была 100% только в возрасте до 18 лет и постепенно снижалась до 40% в возрасте старше 60 лет из-за кальцификации щитовидного хряща; при этом устойчиво выявляемой меткой в гортани являлись черпаловидные хрящи [16, 17]. Эхография гортани, выполненная синхронно с видеоларингоскопией, у 35 детей в возрасте двух – восьми лет без

заболеваний гортани позволила хорошо визуализировать все структуры гортани, движения голосовых складок и сделать вывод о ее высокой информативности [18]. Голосовые и вестибулярные складки лучше всего были видны при поперечном сканировании шеи через щитовидный хрящ, внутренние голосовые мышцы выглядели как треугольные гипоэхогенные структуры, очерченные медиально гиперэхогенными голосовыми складками, симметрично сближающимися по средней линии во время фонации и при задержке дыхания на выдохе [11, 14, 19]. Во время перемещения датчика вверх/вниз хрящевые структуры (надгортанник, щитовидный хрящ, перстневидный хрящ и кольца трахеи) выглядели гипоэхогенными, а граница с просветом дыхательных путей визуализировалась яркой гиперэхогенной линией раздела «воздух – слизистая оболочка». При этом задние отделы гортани и трахеи не визуализировались из-за воздушного столба на пути ультразвука [3, 19]. Всю длину голосовых связок и грушевидный синус можно было определить при косо-поперечном расположении датчика параллельно пластине щитовидного хряща. Перстневидный хрящ визуализировался как подкова при поперечном сканировании [19, 20]. Продольное исследование позволяло определить коническую связку. С помощью УЗИ гортани у начинающих вокалистов измеряли длину голосовых складок при дыхании и фонации [21]. Поперечное ультразвуковое сканирование на уровне гортани и над подъязычной костью позволяло визуализировать грушевидный синус и преднадгортанниковое пространство, остатки пищи в них как участки высокой эхогенности с чувствительностью 86–92% и специфичностью 64–72%, что важно для профилактики аспирационной пневмонии [22]. УЗИ голосовых складок у недоношенных детей при рождении помогало диагностировать закрытие голосовой щели как причины апноэ [23]. Стандартного линейного высокочастотного датчика (13–16 МГц) было достаточно для сканирования структур верхних дыхательных путей. Сильное отражение ультразвука на границе с воздухом отмечается в подскладковом пространстве, создавая артефакты [13, 19, 20].

Проведение эхографии гортани в интересах анестезиологов

В задачи УЗИ в реанимации входят обнаружение щито-перстневидной мембраны для выполнения коникотомии, расчет размеров интубационной трубки по диаметру дыхательных путей, расчет трудной ларингоскопии и интубации по анатомическим размерам лица и шеи, выявление в гортани образований, пареза, отека, секрета до интубации или перед экстубацией [13]. Большинство исследователей пришли к выводу, что идентификация щито-перстневидной мембраны с помощью ультразвука более точна, чем при пальпации [24], при этом поперечное сканирование шеи позволяет идентифицировать ее быстрее, чем продольное, но точность идентификации сходна [25]. Продольная техника называется техникой «нитки жемчуга»: щитовидный, ниже перстневидный и трахеальный хрящи кажутся расположенными в виде гиперэхогенных структур-шариков. Щито-перстневидная мембрана легко идентифицируется между ними. При поперечном УЗИ щитовидный хрящ легко идентифицируется как треугольная крыша, потом по средней линии появляется ярко-белая линия – щито-перстневидная мембрана. Еще ниже перстневидный хрящ узнаваем в виде «черной подковы» [25].

УЗИ используется для прогнозирования трудной интубации или вентиляции через маску, нарушений подвижности складок и аспирации при экстубации [26]. Расстояние от кожи до надгортанника, подъязычной кости, передней комиссуры

Таблица 1

Пороговые значения для предикторов затрудненного прохождения трубки, маски по дыхательным путям

Предикторы	ТПЛ, ТМВ	Пороговое значение (чувствительность, специфичность)
Расстояние от кожи до надгортанника, см	ТПЛ, ТМВ	> 2.54 (82.0; 91.0)
Расстояние от подъязычной кости до подбородка, см	ТПЛ	< 1.085 (75.0; 85.3)
Толщина основания языка, см	ТМВ	> 5.87 (85.0; 91.0)

Примечание. ТПЛ – трудная прямая ларингоскопия; ТМВ – трудная вентиляция через маску.

и толщина мягких тканей передней части шеи на уровне подъязычной кости являются показателями для прогнозирования сложной ларингоскопии и интубации, затрудненного прохождения дыхательных путей [28]. Соотношение расстояний служит предиктором трудной прямой ларингоскопии, а толщина основания языка является предиктором трудной вентиляции через ларингеальную маску – эти дистанции вынесены в табл. 1 в помощь практикующим врачам [29].

При подозрении на стеноз дыхательных путей рекомендуется в качестве первого шага провести УЗИ дыхательных путей, исключить опухоль или объемное образование гортани, которое приводит к сужению дыхательных путей. Прогнозирование и выбор размера интубационной трубки у детей на основании УЗИ путем измерения минимального поперечного диаметра перстневидного хряща и трахеи, а также надувание манжеты трубки под контролем УЗИ способствуют ускорению послеоперационного восстановления пациента и снижают риск осложнений, связанных с интубацией [30–32]. Метаанализы и систематические обзоры показали, что УЗИ дыхательных путей может точнее предсказать размер трахеальной трубки, чем формулы на основе возраста и длины тела [31, 32]. В будущем станет рутинным УЗИ дыхательных путей у постели больного для диагностики причин дисфагии и одышки в общей и неотложной медицине, ортопедии и педиатрии [33].

Определение подвижности складок после операций на органах шеи и грудной клетки

Повреждение возвратного нерва после операций на шее, щитовидной железе, грудной клетке, сердце, пищеводе может проявляться дисфонией, дисфагией, одышкой и диагностироваться с помощью УЗИ гортани [5, 8, 10, 34, 35]. «Золотым стандартом» для оценки движения голосовых связок является фибриноларингоскопия. Несмотря на безопасность, эндоскопия может вызвать дисбаланс между легочным и системным кровообращением и потенциально привести к коллапсу кровообращения, который тем опаснее, чем младше пациент, а при УЗИ гортани статистически значимо меньше были изменения диастолического артериального давления, пульса и насыщения кислородом [5, 36, 37]. Черпаловидные хрящи были хорошо видны при эхографии у большинства пациентов – они предложены в качестве основных эхографических ориентиров при оценке подвижности складок во время УЗИ-мониторинга возвратного нерва интра- и периоперационно в хирургии щитовидной железы [14, 15, 35, 38], в том числе с помощью ЦДК и дуплексного сканирования: скорость смещения голосовых складок при парезе и параличе гортани уменьшалась [34].

При сравнении УЗИ гортани с фиброларингоскопией для оценки подвижности голосовых складок после операций на щитовидной железе, органах грудной клетки и шее определили, что его чувствительность 75–95% и специфичность 95–99% для выявления пареза [7, 34, 36, 39, 40]. Только при двустороннем параличе были трудности в интерпретации полученных результатов [39, 41]. Необходимо создать единый протокол

УЗИ подвижности голосовых складок, что будет способствовать повышению эффективности методики [15, 38], и только в трудных случаях применять фиброларингоскопию [42].

Диагностика опухолей гортани

Эхография позволяет диагностировать опухоли гортани, их стадийность, распространение опухоли на окружающие анатомические образования: гортаноглотку, щитовидный, перстневидный хрящи, мягкие ткани шеи, щитовидную железу, а также выявить рецидив, оценить динамику после лечения, в том числе после ларингэктомии [43–47]. Опухоль чаще выглядит неомогенной гипэхогенной структурой неправильной формы с повышенной васкуляризацией [1, 44, 46]. При оценке инвазии хряща опухолью чувствительность и специфичность УЗИ были аналогичны таковым при компьютерной томографии (КТ) в большинстве внутри- и экстраларингеальных структур. Применение тонкоигльной аспирационной пункционной цитологии и биопсии (в том числе гарпунной) под контролем ультразвука позволяет верифицировать опухоль гортани в 94.8% случаев [43, 45, 46], а также диагностировать метастазы в лимфоузлы шеи. В 2013–2019 гг. в Национальном медицинском исследовательском центре онкологии им. Н.Н. Блохина было проведено исследование, где была показана высокая информативность ультразвуковой диагностики в выявлении опухолей гортани и гортаноглотки. Результаты, полученные при УЗИ, сравнивали с другими методами диагностики, данными операции и морфологического исследования. Чувствительность УЗИ в выявлении опухоли гортани и гортаноглотки составила 94.1%, точность – 91.9%, прогностическая ценность положительного результата – 97.5%, а при распространении опухоли на хрящи гортани чувствительность, специфичность, точность и прогностическая ценность положительного результата составили соответственно: на щитовидный хрящ – 95.7, 98.4, 97.7, 95.7%; на перстневидный хрящ – 77.8, 100.0, 97.7, 100%; на черпаловидный хрящ – 91.7, 97.3, 96.5, 84.6%; на надгортанник – 28.6, 100.0, 94.2, 100.0% [45]. УЗИ чаще демонстрировало инвазию внутренней пластинки щитовидного хряща, чем КТ (41 в сравнении с 23%). УЗИ и КТ имели коэффициент совпадения 81% при определении стадии опухолевого поражения [46]. Большие перспективы за эндоскопическим (трансоральным) и контрастным УЗИ в диагностике эндофитных и рецидивных опухолей глотки и гортани [45, 46], при оценке состояния неоглотки и раннего выявления глоточного свища после ларингэктомии [47].

Выявление травм и заболеваний гортани, проявляющихся дисфонией и/или стридором

УЗИ гортани позволяло выявлять полипы, папилломы, кисты, рубцы, гемангиомы, узелки голосовых складок, отек Рейнке, а также установленные трахеальные стенты [10, 13, 48–53]. Рецидивирующие респираторные папилломы при эхографии гортани визуализировались в виде экзогенных образований в просвете гортани, соответствующих по раз-

мерам и локализации эндоскопической картине. Если папилломы были на ножке, то ультразвуковое изображение могло изменяться, увеличиваясь при контакте папилломы со стенками гортани [11, 50].

Узелки, фибромы и полипы голосовых складок могут быть обнаружены с помощью УЗИ как экзогенные образования голосовых складок соответствующей локализации [11, 49, 51]. Кисты гортани, локализующиеся в области основания надгортанника, в вестибулярных складках, на голосовых складках визуализировались в виде гипоехогенных округлых образований с дистальным усилением, что позволяло отличить их от полипа [1, 52, 53]. Ларингоцеле (воздушная киста) плохо визуализировалось в просвете гортани, но пиоцеле и мукоцеле – хорошо [1]. Подскладковые гемангиомы могут выявляться гипоехогенными образованиями, как округлыми, так и неоднородной эхогенности, при их локализации на передней и боковых стенках, ЦДК помогало оценить гиперваскуляризацию данных образований [54]. Амилоидоз гортани при эхографии был представлен структурой неоднородной сниженной эхогенности, в режиме ЦДК кровотока регистрировался преимущественно по его периферии [55]. УЗИ выявляло у детей заболевания гортани, проявляющиеся дисфонией и стридором, с чувствительностью 87–88% и специфичностью 100% по сравнению в фиброларингоскопией [52, 56].

Ларингомалация – известная причина стридора у новорожденных и детей грудного возраста, который обычно сам проходит к двум-трем годам. Такой ребенок обязательно должен пройти ларингоскопию для подтверждения диагноза, исключить паралич голосовых связок или кисту гортани. Альтернативой может быть УЗИ гортани. Чувствительность эхографии гортани при диагностике ларингомалации составила 78% и специфичность 90% [57].

УЗИ гортани в В-режиме и в режиме доплерографии с фонаторными пробами позволяло визуализировать нарушение координации работы мышц гортани в виде напряжения вестибулярного отдела гортани, ограничения подвижности, наличия неполного смыкания и отсутствия вибрации голосовых складок при фонации у 17 пациентов с функциональной дисфонией [58].

На основании опыта обследования 15 детей с травмами гортани УЗИ гортани рекомендуют в качестве дополнительного неинвазивного диагностического метода в каждом случае повреждения гортани [59]. Проведение эхографии позволило увидеть рыбную кость в мягких тканях гортаноглотки [60].

Диагностика сонного апноэ

По результатам УЗИ структур верхних дыхательных путей у 82 детей с синдромом обструктивного апноэ сна (СОАС) не было выявлено существенной разницы в размерах миндалин между детьми с СОАС и детьми с первичным храпом, но среднее значение боковой стенки глотки и общая толщина шеи на уровне неба были больше у детей с апноэ. УЗИ гортани при этом позволяло исключить ларингеальные причины дыхательной обструкции [61].

Определение места введения препарата при лечении пареза гортани и спастической дисфонии

Введение иглы в гортань для проведения электромиографии или инъекции при лечении паралича гортани выполнимо под контролем УЗИ, что доказано на трупном материале и в клинике [62–64]. Под контролем эхографии перспективными

являются инъекции ботулинического токсина пациентам со спастической дисфонией [65].

Оценка глотания

Заинтересованность врачей в диагностике дисфагии существует, УЗИ может помочь решить эту проблему [13, 22, 66, 67]. До настоящего времени было трудно исследовать функцию глотания без использования инвазивных и дорогостоящих методов, таких как видеофлюорографическое исследование или волоконно-оптическая эндоскопия. УЗИ является неинвазивной и относительно недорогой процедурой, а необходимое оборудование отличается высокой портативностью благодаря таким инновациям, как беспроводные зонды и планшетные устройства мониторинга. Процесс использования ультразвука для визуализации мышц, участвующих в глотании, пищевода и гортани, а также методы, используемые для оценки этих структур, подробно описаны и могут применяться на практике [67].

Оценка функций гортани при COVID-19

Для пациентов с подозрением на патологию гортани в условиях пандемии SARS-CoV-2 с целью снижения воздействия инвазивных маневров, производящих аэрозоль, таких как эндоскопия, может быть использовано чрескожное УЗИ гортани для оценки функции голосовых связок, диагностики заболеваний гортани у младенцев и детей, оценки нарушений глотания, выявления рака гортани, выполнения крикотиреоидотомии и электромиографии гортани под ультразвуковым контролем. Это исследование обеспечивает быструю и неинвазивную оценку движения голосовых складок для принятия обоснованных решений о безопасности кормления, проходимости дыхательных путей и продолжении лечения [12, 68].

Допплерография гортани

В исследовании Е.Б. Ольховой и соавт. оценивали возможности доплерографии гортани у детей [53]. Допплеровское окрашивание вестибулярных складок отмечалось на всем их протяжении симметрично по интенсивности и продолжительности с обеих сторон. Голосовые складки окрашивались только по свободному краю, и цветом выделялся находящийся в просвете воздух, размеры цветового воздушного столба выходили за пределы просвета гортани, что не позволяло оценить размеры голосовой щели [53, 69]. При диагностике рубцовых стенозов передних отделов гортани выявлялись границы рубца по краю окрашенной зоны и просвет из-за цветного окрашивания проходящего воздуха. Расположение патологического процесса в передних 2/3 голосовой щели позволяло определить «дефект наполнения» в окрашенном потоке воздуха через гортань. Парез гортани при ЦДК выявлялся нагляднее, чем в В-режиме: на неподвижной половине гортани были более слабые цветовые сигналы [11, 53, 70], а благодаря окрашиванию движущегося столба воздуха лучше выявлялись стенозы дыхательных путей, травматические изменения, гемангиомы гортани, дискоординация мышц при функциональной дисфонии [3, 53, 54, 58, 69, 71].

Перспективы использования УЗИ гортани

Благодаря использованию 3D-моделирования, высокочастотных исследований, панорамных изображений, техники Nakagami, ЦДК, дуплексного сканирования становится возможным количественное измерение параметров движения голосовых складок, фонационной функции гортани [20, 27, 34, 54, 72–74]. Ультразвуковая эластография применима для оценки жесткости, динамических движений и симметрии

вестибулярных складок у взрослых, у здоровых пожилых людей может наблюдаться повышенная их жесткость [74]. Ультразвуковая визуализация Nakagami, основанная на статистике сигналов обратного рассеяния, является новым параметрическим методом визуализации, который дополняет обычное В-сканирование определением морфологических характеристик тканей, визуализацией относительных концентраций коллагеновых и эластических волокон, которые являются ключевыми факторами, влияющими на биомеханические свойства голосовых складок [54].

Многие исследователи утверждают, что хорошие навыки УЗИ пациентов с патологией головы и шеи позволяют экономически более выгодно и безопасно обследовать пациента [11, 19, 20].

Заключение

Результаты обзора продемонстрировали, что УЗИ гортани может быть эффективным методом оценки состояния органа и дыхательных путей, оно неинвазивно, не требует специальной подготовки и анестезии, доступно для врачей и пациентов, хорошо переносится последними по сравнению с фиброларингоскопией и безопаснее в сравнении с КТ. УЗИ гортани может применяться как для диагностики различной патологии гортани – парезов, папилломатоза, ларингомалиции, узелков голосовых складок, опухолей, рубцов, кист, полипов, так и для определения размеров интубационной трубки, прогнозирования трудной интубации, выявления нарушений глотания, решения вопросов определения певческого голоса у молодых вокалистов, определения точного места для выполнения коникотомии. Развитие новых УЗИ-технологий будет способствовать усовершенствованию методов исследования гортани.

Литература

1. Велькоборски Х.-Ю. и др. Ультразвуковая диагностика заболеваний головы и шеи. – Москва: МЕДпресс-Информ. – 2016. – С. 176. [Welkoborsky H.-J. et al. Ultrasound diagnostics of the head and neck diseases. – Moscow: MEDpress-Inform. – 2016. – P. 176. In Russian].
2. Kitamura T. et al. Ultrasonic diagnosis in otorhinolaryngology // *The Eye, Ear, Nose and Throat Monthly*. – 1969. – V. 48. – No 5. – С. 329–337.
3. Ольхова Е.Б. и др. Ультразвуковое исследование гортани: возможности, перспективы, ограничения // *Вестник оториноларингологии*. – 2009. – Т. 5. – С. 9–12. [Ol'khova E.B. et al. Laryngeal ultrasound studies: potential, prospects, limitations // *Vestnik otorinolaringologii*. – 2009. – No 5. – P. 9–12. In Russian].
4. Zajkowski P. et al. Ultrasound imaging in laryngology // *Otolaryngol. Pol.* – 2007. – V. 61. – No 4. – P. 544–549. In Polish. DOI: 10.1016/S0030-6657(07)70481-X.
5. Hamilton C.E. et al. Assessment of vocal cord motion using laryngeal ultrasound in children: a systematic review and meta-analysis // *Pediatr. Crit. Care Med.* – 2021. – V. 22. – No 10. – P. e532–e539. DOI: 10.1097/PCC.0000000000002734.
6. Woo J.W. et al. Novel gel pad laryngeal ultrasound for vocal cord evaluation // *Thyroid*. – 2017. – V. 27. – No 4. – P. 553–557. DOI: 10.1089/thy.2016.0402.
7. Woo J.W. et al. Comparison of ultrasound frequency in laryngeal ultrasound for vocal cord evaluation // *Surgery*. – 2017. – V. 161. – No 4. – P. 1108–1112. DOI: 10.1016/j.surg.2016.10.013.
8. Сипачев Н.В. и др. Диагностическая эффективность ультрасонографии гортани у пациентов с заболеваниями щитовидной железы // *Вестник оториноларингологии*. – 2022. – Т. 87. – № 1. – С. 27–32. [Sipachev N.V. et al. Diagnostic efficiency of transcutaneous laryngeal ultrasound in assessing the mobility of vocal cord in patients with thyroid disease // *Vestnik otorinolaringologii*. – 2022. – V. 87. – No 1. – P. 27–32. In Russian]. DOI: 10.17116/otorino20228701127.
9. Beale T. et al. High-resolution laryngeal US: imaging technique, normal anatomy, and spectrum of disease // *Radiographics*. – 2020. – V. 40. – No 3. – P. 775–790. DOI: 10.1148/rg.2020190160.
10. Arens C. et al. Endoscopic ultrasound of the larynx // *Curr. Opin. Otolaryngol. Head Neck Surg.* – 2016. – V. 24. – No 2. – P. 128–134. DOI: 10.1097/MOO.0000000000000242.
11. Субботина М.В. Диагностическая эффективность ультразвукового сканирования и доплерографии при патологии гортани. *Вестник оториноларингологии*. – 2023. – Т. 88. – № 5. – С. 27–33. [Subbotina M.V. Diagnostic efficiency of transcutaneous ultrasound scanning and Dopplerography in laryngeal pathology // *Vestnik otorinolaringologii*. – 2023. – V. 88. – No 5. – P. 27–33. In Russian]. DOI: 10.17116/otorino20238805127.
12. Cergan R. et al. Ultrasonography of the larynx: Novel use during the SARS-CoV-2 pandemic (Review) // *Exp. Ther. Med.* – 2021. – V. 21. – No 3. – P. 273. DOI: 10.3892/etm.2021.9704.
13. You-Ten K.E. et al. Point-of-care ultrasound (POCUS) of the upper airway // *Can. J. Anaesth.* – 2018. – V. 65. – No 4. – P. 473–484. DOI: 10.1007/s12630-018-1064-8.
14. Carneiro-Pla D. et al. Feasibility of surgeon-performed transcutaneous vocal cord ultrasonography in identifying vocal cord mobility: a multi-institutional experience // *Surgery*. – 2014. – V. 156. – P. 1597–1602. DOI: 10.1016/j.surg.2014.08.071.
15. Ветшев П.С. и др. Ультразвуковое исследование гортани в диагностике нарушений подвижности голосовых складок // *Эндокринная хирургия*. – 2016. – Т. 10. – № 3. – С. 5–14. [Vetshev P.S. et al. Ultrasonography of the larynx for diagnosis of the vocal folds mobility impairment // *Endocrine Surgery*. 2016. – V. 10. – No 3. – P. 5–14. In Russian]. DOI: 10.14341/serg201635-14.
16. Wang C.P. et al. Transcutaneous ultrasound for evaluation of vocal fold movement in patients with thyroid disease // *Eur. J. Radiol.* – 2012. – V. 81. – No 3. – P. e288–291. DOI: 10.1016/j.ejrad.2011.09.020.
17. Hu Q. et al. High-frequency sonographic measurements of true and false vocal cords // *J. Ultrasound Med.* – 2010. – V. 29. – No 7. – P. 1023–1030. DOI: 10.7863/jum.2010.29.7.1023.
18. Klinge K. et al. Synchronous video laryngoscopy and sonography of the larynx in children // *Eur. Arch. Otorhinolaryngol.* – 2016. – V. 273. – No 2. – P. 439–445. DOI: 10.1007/s00405-015-3788-1.
19. Singh M. et al. Use of sonography for airway assessment: an observational study // *J. Ultrasound Med.* – 2010. – V. 29. – No 1. – P. 79–85. DOI: 10.7863/jum.2010.29.1.79.
20. Costache A. et al. Ultrasonographic anatomy of head and neck – a pictorial for the ENT specialist // *Med. Ultrason.* – 2015. – V. 17. – No 1. – P. 104–108. DOI: 10.11152/mu.2013.2066.171.aco.
21. Субботина М.В. и др. Влияние длины голосовых складок на диапазон голоса у начинающих вокалистов // *Российская оториноларингология*. – 2021. – Т. 20. – № 2. – С. 43–49. [Subbotina M.V. et al. Effect of voice fold length on voice range in novice vocalists // *Russian otorhinolaryngology*

- (Rossiiskaya otorinolaringologiya). – 2021. – V. 20. – No 2. – P. 43–49. In Russian]. DOI: 10.18692/1810-4800-2021-2-43-49.
22. Miura Y. et al. Establishing a methodology for ultrasound evaluation of pharyngeal residue in the pyriform sinus and epiglottic vallecula // *Respir. Care*. 2020. – V. 65. – No 3. – P. 304–313. DOI: 10.4187/respcare.07002.
 23. Heesters V. et al. The vocal cords are predominantly closed in preterm infants <30 weeks gestation during transition after birth // *Resuscitation*. – 2024. – V. 194. – P. 110053. DOI: 10.1016/j.resuscitation.2023.110053.
 24. Hung K.C. et al. Comparison between ultrasound-guided and digital palpation techniques for identification of the cricothyroid membrane: a meta-analysis // *Br. J. Anaesth.* – 2021. – V. 126. – No 1. – P. e9–e11. DOI: 10.1016/j.bja.2020.08.012.
 25. Kristensen M.S. et al. A randomised cross-over comparison of the transverse and longitudinal techniques for ultrasound-guided identification of the cricothyroid membrane in morbidly obese subjects // *Anaesthesia*. – 2016. – V. 71. – No 6. – P. 675–683. DOI: 10.1111/anae.13465.
 26. Sotoodehnia M. et al. Prediction of difficult laryngoscopy / difficult intubation cases using upper airway ultrasound measurements in emergency department: a prospective observational study // *BMC Emerg. Med.* – 2023. – V. 23. – No 1. – P. 78. DOI: 10.1186/s12873-023-00852-4.
 27. Ning L. et al. A quantitative study of airway ultrasound in predicting difficult laryngoscopy: A prospective study // *Chin. J. Traumatol.* – 2023. – V. 26. – No 6. – P. 351–356. DOI: 10.1016/j.cjtee.2023.09.005.
 28. Wang X. et al. Ultrasound measurements for evaluation of changes in upper airway during anesthesia induction and prediction difficult laryngoscopy: a prospective observational study // *Sci. Rep.* – 2022. – V. 12. – No 1. – P. 18564. DOI: 10.1038/s41598-022-21695-2.
 29. Nakazawa H. et al. Airway ultrasound for patients anticipated to have a difficult airway: Perspective for personalized medicine // *World J. Clin. Cases.* – 2023. – V. 11. – No 9. – P. 1951–1962. DOI: 10.12998/wjcc.v11.i9.1951.
 30. Parpucu U.M. et al. The effect of the ultrasonography measurement method and the conventional measurement method used in endotracheal tube size selection in the pediatric patient group on postextubation complications and patient recovery // *Cureus*. – 2023. – V. 15. – No 9. – P. e46184. DOI: 10.7759/cureus.46184.
 31. Gupta B. et al. Prediction of endotracheal tube size in the pediatric age group by ultrasound: A systematic review and meta-analysis // *J. Anaesthesiol. Clin. Pharmacol.* – 2022. – V. 38. – No 3. – P. 371–383. DOI: 10.4103/joacp.JOACP_650_20.
 32. Saravia A. et al. Examining the pediatric subglottic airway by ultrasound: A systematic review // *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol.* – 2023. – V. 166. – P. 111482. DOI: 10.1016/j.ijporl.2023.111482.
 33. Gottlieb M. et al. Ultrasound for airway management: An evidence-based review for the emergency clinician // *Am. J. Emerg. Med.* – 2020. – V. 38. – No 5. – P. 1007–1013. DOI: 10.1016/j.ajem.2019.12.019.
 34. Wolff S. et al. Transcutaneous laryngeal ultrasonography in vocal fold assessment before and after thyroid surgery in light of recent studies // *Pol. J. Radiol.* – 2022. – V. 87. – P. e195–e201. DOI: 10.5114/pjr.2022.115154.
 35. Su E. et al. Laryngeal ultrasound detects vocal fold immobility in adults: a systematic review // *J. Ultrasound Med.* – 2022. – V. 41. – No 8. – P. 1873–1888. DOI: 10.1002/jum.15884.
 36. Ongkasuwan J. et al. Laryngeal ultrasound and vocal fold movement in the pediatric cardiovascular intensive care unit // *Laryngoscope*. – 2017. – V. 127. – No 1. – P. 167–172. DOI: 10.1002/lary.26051.
 37. Sanchez-Jacob R. et al. Ultrasound of the vocal cords in infants // *Pediatr. Radiol.* – 2022. – V. 52. – No 9. – P. 1619–1626. DOI: 10.1007/s00247-021-05235-0.
 38. Patel A. et al. Transcutaneous laryngeal ultrasound for vocal cord paralysis assessment in patients undergoing thyroid and parathyroid surgery – a systematic review and meta-analysis // *J. Clin. Med.* – 2021. – V. 10. – No 22. – P. 5393. DOI: 10.3390/jcm10225393.
 39. Shah M.K. et al. Comparison of transcutaneous laryngeal ultrasound with video laryngoscope for assessing the vocal cord mobility in patients undergoing thyroid surgery // *Auris Nasus Larynx*. – 2019. – V. 46. – No 4. – P. 593–598. DOI: 10.1016/j.anl.2018.12.007.
 40. Friesen T.L. et al. Feasibility and accuracy of laryngeal ultrasound for the assessment of vocal cord mobility in children // *Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol.* – 2022. – V. 159. – P. 111193. DOI: 10.1016/j.ijporl.2022.111193.
 41. Izadi S. et al. Diagnostic accuracy of laryngeal ultrasound for evaluating vocal fold movement impairment in children // *J. Pediatr. Surg.* – 2024. – V. 59. – No 1. – P. 109–116. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2023.09.017.
 42. Da Costa B.O.I. et al. Transcutaneous laryngeal ultrasonography for the assessment of laryngeal function after thyroidectomy: a review // *Ear Nose Throat J.* – 2021. – V. 100. – No 6. – P. 439–446. DOI: 10.1177/0145561319870487.
 43. Гафурова А.И. Возможности УЗ-диагностики органов головы и шеи // *Российская оториноларингология*. – 2018. – Т. 97. – № 6. – С. 91–97. [Gafurova A.I. The opportunities of ultrasonic diagnostics of head and neck organs // *Russian Otorhinolaryngology*. – 2018. – V. 97. – No 6. – P. 91–97. In Russian]. DOI: 10.18692/1810-4800-2018-6-91-97.
 44. Кожанов Л.Г. и др. Клиническое значение эхосонаграфии гортани в диагностике рака // *Вестник оториноларингологии*. – 2008. – Т. 2 (прил.). – С. 46–49. [Kozhanov L.G. et al. The clinical significance of laryngeal echosonography in the diagnosis of cancer // *Vestnik otorinolaringologii*. – 2008. – V. 2(suppl.). – P. 46–49. In Russian].
 45. Аллахвердиева Г.Ф. и др. Возможности ультразвукового исследования в диагностике опухолей гортани и гортаноглотки // *Опухоли головы и шеи*. – 2019. – Т. 9. – № 2. – С. 17–28. [Allakhverdieva G.F. et al. Utility of ultrasound examination in the diagnosis of laryngeal and hypopharyngeal cancers // *Head and Neck Tumors (Opukholi golovy i shei)*. – 2019. – V. 9. – No 2. – P. 17–28. In Russian]. DOI: 10.17650/2222-1468-2019-9-2-17-28.
 46. Ahn D. et al. Ultrasonography for masses of the pharynx and larynx and assessment of laryngeal squamous cell carcinoma // *Auris Nasus Larynx*. – 2022. – V. 49. – No 5. – P. 868–874. DOI: 10.1016/j.anl.2022.03.002.
 47. Ahn D. et al. Ultrasonographic swallowing examination for early detection of neopharyngeal fistula after salvage total laryngectomy: a preliminary study // *Head Neck*. – 2019. – V. 41. – No 6. – P. 1804–1808. DOI: 10.1002/hed.25617.
 48. Tsui P.H. et al. Ultrasound imaging of the larynx and vocal folds: recent applications and developments // *Curr. Opin. Otolaryngol. Head Neck Surg.* – 2012. – V. 20. – No 6. – P. 437–442. DOI: 10.1097/MOO.0b013e32835896b4.
 49. Bisetti M.S. et al. Non-invasive assessment of benign vocal folds lesions in children by means of ultrasonography // *Int. J.*

- Pediatr. Otorhinolaryngol. – 2009. – V. 73. – No 8. – P. 1160–1162. DOI: 10.1016/j.ijporl.2009.05.004.
50. Bryson P.C. et al. High-resolution ultrasound in the evaluation of pediatric recurrent respiratory papillomatosis // Archives of Otorhinolaryngology-Head & Neck Surgery. – 2009. – V. 135. – No 3. – P. 250–253. DOI: 10.1001/archoto.2008.544.
 51. Ongkasuwan J. et al. Laryngeal ultrasound and pediatric vocal fold nodules // Laryngoscope. – 2017. – V. 127. – No 3. – P. 676–678. DOI: 10.1002/lary.26209.
 52. Gadalla A.A.E.H. et al. Value of laryngeal ultrasound in comparison with flexible laryngoscope in diagnosis of various laryngeal masses: a cross-sectional study // Egypt J. Radiol. Nucl. Med. – 2022. – V. 53. – P. 223. DOI: 10.1186/s43055-022-00904-y.
 53. Ольхова Е.Б. и др. Диагностическая роль ультразвукового доплеровского исследования гортани у детей // Ультразвуковая и функциональная диагностика. – 2006. – № 3. – С. 42–51. [Ol'khova E.B. et al. Diagnostic role of the ultrasound Doppler study of larynx in children // Ultrasound and functional diagnostics. – 2006. – No 3. – P. 42–51. In Russian].
 54. Sun X. et al. Applied value of color Doppler flow imaging in diagnosis of congenital subglottic haemangioma in infant // Lin Chuang Er. Bi Yan Hou Tou Jing Wai Ke Za Zhi. – 2021. – V. 35. – No 4. – P. 321–324. In Chinese. DOI: 10.13201/j.issn.2096-7993.
 55. Субботина М.В. и др. Случай амилоидоза гортани у 13-летней девочки // Вестник оториноларингологии. – 2019. – Т. 84. – № 4. – С. 48–50. [Subbotina M.V. et al. A case report of amyloidosis of the larynx in a 13-year-old girl // Bulletin of Otorhinolaryngology (Vestnik otorinolaringologii). – 2019. – V. 84. – No 4. – P. 48–50. In Russian]. DOI: 10.17116/otorino20198404148
 56. Friedman S. et al. The role of laryngeal ultrasound in the assessment of pediatric dysphonia and stridor // Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol. – 2019. – V. 122. – P. 175–179. DOI: 10.1016/j.ijporl.2019.04.017.
 57. Friedman S. et al. Laryngeal ultrasound for the diagnosis of laryngomalacia in infants // Pediatr. Pulmonol. – 2018. – V. 53. – No 6. – P. 772–777. DOI: 10.1002/ppul.23964.
 58. Криштопова М.А. и др. Ультрасонография гортани в диагностике и лечении функциональных дисфоний // Голова и шея. Российский журнал. – 2020. – Т. 8. – № 4. – С. 42–51. [Kryshoptova M.A. et al. The laryngeal ultrasound in the assessment and treatment of functional dysphonia // Head and neck. Russian Journal. – 2020. – V. 8. – No 4. – P. 42–51. In Russian]. DOI: 10.25792/HN.2020.8.4.42–51.
 59. Zawadzka-Glos L. et al. External laryngeal injuries in children – comparison of diagnostic methods // Int. J. Pediatr. Otorhinolaryngol. – 2013. – V. 77. – No 9. – P. 1582–4. DOI: 10.1016/j.ijporl.2013.07.016.
 60. Уполовнева М.В. и др. Возможности ультразвуковой диагностики в выявлении инородных тел глотки и пищевода (клинический случай) // Вестник Челябинской областной клинической больницы. – 2021. – Т. 52. – № 4. – С. 13–15. [Upolovneva M.V. et al. The ability of ultrasound diagnostics in foreign bodies detection of pharynx and esophagus (clinical case) // Bulletin of the Chelyabinsk Regional Clinical Hospital (Vestnik Chelyabinskoy oblastnoj klinicheskoy bol'nicy). – 2021. – V. 52. – No 4. – P. 13–15. In Russian].
 61. Lin C.Y. et al. Ultrasonographic evaluation of upper airway structures in children with obstructive sleep apnea // JAMA Otolaryngol. Head Neck Surg. – 2018. – V. 144. – No 10. – P. 897–905. DOI: 10.1001/jamaoto.2018.1809.
 62. Schneider-Stickler B. et al. Ultrasound-guided injection into the lateral crico-arytenoid muscle: a pilot study // Eur. Arch. Otorhinolaryngol. – 2023. – V. 280. – No 6. – P. 2877–2883. DOI: 10.1007/s00405-023-07843.
 63. Klinge K. et al. Ultrasonography-guided electromagnetic needle tracking in laryngeal electromyography // Eur. Arch. Otorhinolaryngol. – 2019. – V. 276. – No 4. – P. 1109–1115. DOI: 10.1007/s00405-019-05360-5.
 64. Ng S.K. et al. Combined ultrasound/endoscopy-assisted vocal fold injection for unilateral vocal cord paralysis: a case series // Eur. Radiol. – 2012. – V. 22. – No 5. – P. 1110–1113. DOI: 10.1007/s00330-011-2337-6.
 65. Kunieda C. et al. Botulinum toxin injection for abductor spasmodic dysphonia under cervical ultrasonography guidance // Auris Nasus Larynx. – 2023. – V. 51. – No 2. – P. 361–364. DOI: 10.1016/j.anl.2023.09.008.
 66. Viviers M. et al. Enhanced rapid review of the applicability of ultrasound in the assessment of sucking, swallowing and laryngeal function in the paediatric population // Int. J. Lang Commun. Disord. – 2022. – V. 57. – No 2. – P. 422–440. DOI: 10.1111/1460-6984.12695.
 67. Maeda K. et al. Ultrasonography for eating and swallowing assessment: a narrative review of integrated insights for noninvasive clinical practice // Nutrients. – 2023. – V. 15. – No 16. – P. 3560. DOI: 10.3390/nu15163560.
 68. Sciancalepore P.I. et al. Clinical usefulness of transcutaneous laryngeal ultrasonography in otolaryngology practice during COVID-19 pandemic: a literature review // J. Ultrasound. – 2023. – V. 26. – No 1. – P. 1–12. DOI: 10.1007/s40477-022-00720-0.
 69. Агаева З.А. и др. Возможности ультразвукового исследования с применением цветового доплеровского картирования при оценке патологических изменений в гортани // Кубанский научный медицинский вестник. – 2011. – Т. 129. – № 6. – С. 15–17. [Agaeva Z.A. et al. Potential of ultrasonic scanning involving of color doppler mapping in estimating of pathologic changes in larynx // Kuban Scientific Medical Bulletin (Kubanskij nauchnyj medicinskij vestnik). – 2011. – V. 129. – No 6. – P. 15–17. In Russian].
 70. Lu Y.A. et al. Pathophysiological mechanisms underlying unilateral vocal fold paralysis in female patients: an ultrasonographic study // Clin. Exp. Otorhinolaryngol. – 2023. – V. 16. – No 4. – P. 395–402. DOI: 10.21053/ceo.2023.01046.
 71. Nair A.D. et al. Diagnostic dilemma in an infant with stridor: ultrasound to the rescue! // Emerg. Radiol. – 2022. – V. 29. – No 5. – P. 929–932. DOI: 10.1007/s10140-022-02064-y.
 72. Hsiao T.Y. et al. Noninvasive assessment of laryngeal phonation function using color Doppler ultrasound imaging // Ultrasound Med. Biol. – 2001. – V. 27. – No 8. – P. 1035–1040. DOI: 10.1016/s0301-5629(01)00399-4.
 73. Rai S. et al. Normative data for certain vocal fold biomarkers among young normophonic adults using ultrasonography // Eur. Arch. Otorhinolaryngol. – 2023. – V. 280. – No 9. – P. 4165–4173. DOI: 10.1007/s00405-023-08025-6.
 74. Chandra L. et al. Ultrasound elastography detects age-related changes in adult false vocal folds // J. Ultrasound Med. – 2023. – V. 42. – No 3. – P. 575–583. DOI: 10.1002/jum.16033.