



УДК: 616.22-008.5-057

## ВЫСОКОСКОРОСТНАЯ СЪЕМКА ГОРТАНИ КАК МЕТОД ОЦЕНКИ ВИБРАТОРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОЛОСОВЫХ СКЛАДОК

Е. В. Осипенко<sup>1</sup>, К. Б. Султонова<sup>2</sup>

### HIGH-SPEED VIDEO AS A METHOD TO DIAGNOSE VIBRATION CHARACTERISTICS OF VOCAL FOLDS

E. V. Osipenko, K. B. Sultonova

<sup>1</sup> ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр оториноларингологии» ФМБА России  
(Директор – проф. Н. А. Дайхес)

<sup>2</sup> Детский консультативно-диагностический ЛОР-центр Южного округа при ГБУЗ ДГП № 91  
Департамента здравоохранения г. Москвы  
(Главный врач – М. В. Левитский)

В статье описывается значимость высокоскоростной съемки гортани (ВСГ) в диагностическом алгоритме различных голосовых расстройств для определения характера колебательных движений голосовых складок в сравнении с другими методами визуализации на основе собственного практического опыта, обосновывающего целесообразность его внедрения в фониатрическую практику.

**Ключевые слова:** смещение слизистой оболочки голосовой складки, видеоларингостробоскопия, электроглоттография, фиброларингоскопия, нарушение голоса.

**Библиография:** 14 источников.

In article the importance of High-Speed Video (HSV) in a diagnostic algorithm of various vocal disorder to determine a character of fluctuation movements in vocal folds, as compared with other methods of visualization based on the own practical experience which proves reasonability of its use in the phoniatrics.

**Key words:** vocal folds vibration, videolaryngostroboscopy, electroglottography, fibrolaryngoscopy, voice disorder.

**Bibliography:** 14 sources.

Неотъемлемыми компонентами стандартного оториноларингологического обследования являются визуализация гортани и акустический анализ голоса. Качество голосообразования неразрывно связано с четко координированной работой голосовых складок. Во время их колебаний слизистая оболочка вибраторного края перемещается особым образом, создавая так называемую слизистую волну [13]. Это явление также известно как «феномен смещения слизистой оболочки по свободному краю голосовой складки». Поскольку процесс смещения слизистой оболочки зависит от структуры голосовой складки, то изменения ее анатомической целостности или функциональные отклонения в работе всего нервно-мышечного аппарата гортани вызывают нарушения и в образовании слизистой волны [11].

В последнее десятилетие, в связи с повсеместным внедрением эндоскопического оборудования, все большее распространение получают системы, позволяющие производить фотографирование или (и) видеозапись ларингоскопической и ларингостробоскопической картины, что за истекший период способствовало большему пониманию физиологических и патофизиологических процессов в гортани, ранее недоступных глазу клинициста, использовавшего непрямую зеркальную ларингоскопию [1, 2].

Основным преимуществом фиброэндоскопического осмотра гортани является возможность получения изображения гортани в увеличенном виде, позволяющее оценить функциональное состояние голосового аппарата, определить патологию, провести при необходимости консилиум специалистов в целях уточнения диагноза, наглядно объяснить пациенту причину нарушения голоса, обсудить с ним характер заболевания и определить наиболее адекватную программу лечения [1, 3].

Видео- и фотодокументирование дает возможность формирования доказательной базы для экспертизы, разрешения спорных ситуаций, проведения дифференциальной диагностики с использованием увеличенных изображений и ведения научных исследований [4].

При этом важно отметить, что если раньше подобные технические возможности являлись прерогативой лишь некоторых фониатрических и оториноларингологических центров, то в настоящее время ими располагают также и рядовые фониатрические кабинеты поликлиник в Российской Федерации.

Указанные преобразования в последние годы способствовали улучшению качества оказания помощи пациентам с патологией гортани и позволили во многом переосмыслить известные

данные о возникновении расстройств голосовой функции, их проявлениях и динамике [8].

Диагностика голосового расстройства различной этиологии была еще более усовершенствована с появлением видеокамеры высокого разрешения. Наряду с получением увеличенного и более четкого изображения стали возможными сохранение и архивирование данных, а это, в свою очередь, значительно облегчило динамическое наблюдение в отдаленном периоде. Данные методы исследования получили название видеоларингоскопии и видеоларингостробоскопии, в том числе и мультимедийной [7, 9, 12].

Последний метод исследования в настоящее время считается одним из наиболее диагностически значимых, поскольку позволяет анализировать движения голосовых складок во время фонации. Однако и для него высокая частота колебаний голосовых складок является некоторым препятствием их адекватной визуализации [8].

Разработанные системы для ВСГ (в англоязычной литературе известной как High-Speed Video) позволяют воспроизводить до 4000 (в среднем 2000) изображений в секунду и, таким образом, наблюдать вибрацию голосовых складок внутри пределов нормального регистра певческого голоса (приблизительно 60–1000 Hz).

Технически высокая скорость захвата (2000–4000 кадров/с против 25–30 кадров/с стандартной видеокамеры) достигается за счет использования специально разработанной, многопортовой, высокочувствительной камеры. Благодаря тому что сигнал записывается со скоростью, значительно превосходящей скорость колебаний голосовых складок, исследователю не требуется при просмотре отслеживать основной тон, как на стробоскопических приборах. Серия изображений записывается в высокоскоростную видеопамять со скоростью 384 Мб/с. Затем воспроизведение можно запустить на меньшей скорости для удобного просмотра и диагностики.

Высокоскоростная съемка гортани требует минимальных временных затрат, не сопровождается дискомфортом для пациента, что в полной мере соответствует условиям амбулаторного приема [5, 9]. Усовершенствованное временное разрешение в них обладает следующими клиническими преимуществами:

- возможностью точной записи индивидуальных колебаний голосовых складок даже при отсутствии звукового сигнала;
- возможностью визуальной регистрации начала и конца голосообразования;
- наличием аperiодических колебаний, спазмов, нерегулярных колебаний голосовых складок, уровень мышечной напряженности пациента в процессе голосообразования.

Внедрение данной технологии в практику зарубежных ларингологов способствовало пониманию наиболее тонких механизмов голосообразования, которые ранее были недоступны для исследования, в частности при диагностике пареза гортани, новообразованиях гортани различной этиологии [6, 10, 14].

Таким образом, несмотря на сравнительную новизну методики, достаточно быстро была определена специфическая ниша, в которой ее применение наиболее показано.

**Цель работы.** Проведение сравнительного исследования различных техник оценки вибраторных характеристик голосовых складок.

**Пациенты и методы.** Исследование проводили с 2010 г. на базе отдела фониатрии с лабораторией певческого и сценического голоса «Федерального научно-клинического центра оториноларингологии». Для оценки вибраторного цикла у 67 пациентов с различной патологией голосового аппарата нами были применены видеоларингостробоскопия, фиброларингоскопия, компьютерная электроглоттография и ВСГ аппаратом Endocam.

В исследование вошли как пациенты, использующие в своей профессии речевой голос (преподаватели, менеджеры, дикторы, переводчики и др.) – 32 человека (47,8%), так и представители певческих профессий – 35 пациентов (52,23%). Среди них 9 человек (13,43%) являлись студентами вокальных отделений I–V курсов, а 26 (38,8%) – профессиональными вокалистами со стажем работы не менее 1 года.

Результаты нашего исследования показали, что фиброларингоскопия, являющаяся наиболее доступным в России методом для осмотра гортани и имеющая ряд преимуществ перед другими диагностическими методами, прежде всего с точки зрения мобильности и экономичности, не отвечает требованиям, предъявляемым для оценки собственно вибраторных характеристик голосовых складок.

Компьютерная электроглоттография количественно отображает продолжительность, координированность движений голосовых складок, показывает начало открытия голосовой щели, анализирует нерегулярные вибраторные параметры. Так как данная диагностическая процедура выполняется в рамках акустического анализа голоса, то при изолированном применении она малоинформативна, поскольку получаемые количественные и графические изображения оторваны от реального изображения слизистой волны голосовых складок.

Видеоларингостробоскопия как метод, основанный на принципе визуальной иллюзии, безусловно является рутинным методом выбора для большинства оториноларингологов мира, специ-



ализирующихся на заболеваниях гортани. Эта методика имеет значительное диагностическое значение в дифференцировании органических расстройств голоса. Смещение слизистой оболочки голосовых складок оценивается на основе двухмерного изображении последних. Однако регистрация и интерпретация колебательных движений голосовых складок в ее рамках ограничены во времени и носят строго описательный характер. Немалое значение имеет и то, что результаты стробоскопического анализа зависят от правильности их интерпретирования врачом.

Использование вышеназванных диагностических методик не дало возможности получения одновременно качественного и количественного анализа. В то время как при стробоскопии возможен анализ только 25 полных изображений в секунду, цифровой захват изображения, который мы получали с помощью аппарата Endocam, отличался высокой кадровой частотой – 4000 и более изображений в секунду.

Применение ВСГ у обследованных пациентов позволило нам сделать подробную детализированную запись периодических и непериодических смещений слизистой оболочки по свободному краю голосовой складки, а также наблюдать этот процесс поэтапно, в деталях и провести затем количественный анализ. Высокоскоростная съемка гортани позволяет:

- визуально детализировать состояние различных анатомических структур гортани и характер их движения;
- визуально и полуколичественно оценивать вибраторные характеристики голосовых складок в виде кимограмм в трехмерном изображении, графиков, коэффициентов открытия голосовой щели;
- проводить визуальный и графический сравнительный анализ вибраторных параметров голосовых складок относительно друг друга;
- проводить сравнительный анализ патологических изменений в процессе лечения (совершенствование вибраторных параметров в процессе обучения вокалу);
- определять приемы коррекции голосовых расстройств с учетом полученных визуальных и количественных данных о вибраторном цикле.

В ходе исследования мы определили следующие показания к применению ВСГ:

- функциональные и органические нарушения голоса;
- последующий анализ выявленных изменений, полученных при видеоларингостробоскопии, в ходе предоперационного обследования перед фонохирургическим вмешательством, в послеоперационном периоде, перед началом этапа реабилитации, в динамике на этапе реабилитации, в рамках профотбора, диспансеризации лиц голосоречевых профессий;

3) решение вопроса о трудоспособности лиц голосоречевых профессий в рамках КЭК или МСЭК.

Клинический пример. Пациентка М., 19 лет – студентка 1-го курса кафедры академического пения и оперной подготовки Московского государственного музыкального института им. А. Шнитке, обратилась с жалобами на осиплость, возникающую при пении, в особенности в области переходных нот и на верхних тонах диапазона, понижение тональности, повышенную утомляемость голоса при пении, длительное восстановление постоянно в течение 6 месяцев. Ранее периодически проблемы с голосом возникали, но не носили столь стойкого характера, что пациентка связывала с резко возросшим объемом голосовой нагрузки. В связи с невозможностью выполнения учебной программы по месту учебы, пациентке был рекомендован академический отпуск по состоянию здоровья.

При видеоларингостробоскопическом обследовании нами было выявлено следующее: слизистая оболочка голосовых складок серого цвета, амплитуда колебаний обеих голосовых складок была синхронна, но уменьшена в заднем отделе. Феномен смещения слизистой оболочки регистрировался. Голосовая щель при фонации в заднем отделе не замыкалась и имела форму треугольника. Был выставлен диагноз функциональной гипотонусной дисфонии. На рис. 1 показаны начальные этапы проведения количественного анализа в рамках ВСГ.

Графическое изображение рассчитанных областей траектории колебаний голосовых складок в переднем отделе показано на рис. 2, в совокупности с кимограммой, представляющей вибраторные циклы от начала замыкания до 1,32 с, где регистрируются нормальное замыкание всех представленных вибраторных циклов.

При изучении областей колебания (рис. 3) во всех отделах голосовых складок одновременно можно заметить, что их траектории в заднем

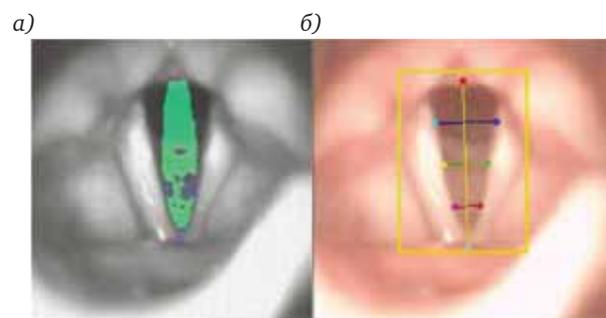
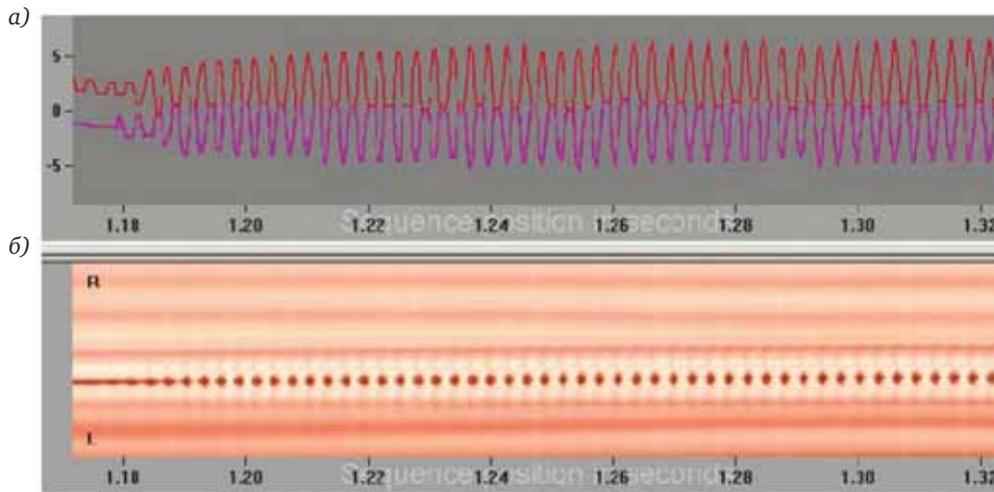
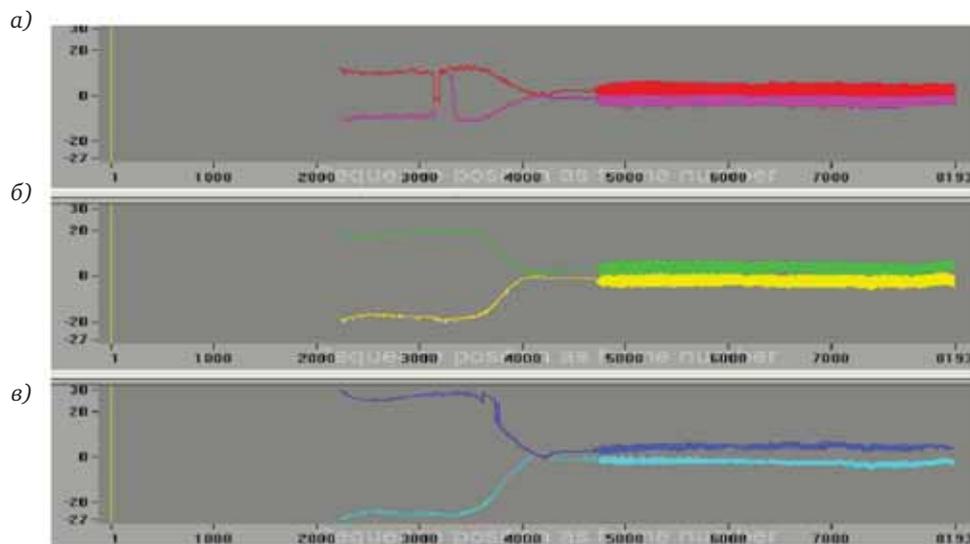


Рис. 1. ВСГ пациентки М., 19 лет: а – сегментация голосовой щели перед началом количественного анализа колебательных движений голосовых складок; б – определение коэффициента открытия голосовой щели на протяжении всей длины вибраторного края голосовых складок.



**Рис. 2.** ВСГ пациентки М., 19 лет: а – отображение рассчитанных областей траектории колебаний в переднем отделе голосовых складок за период времени, равный 1,32 с; б – кимограмма за период времени, равный 1,32 с, где R – правая голосовая складка, L – левая голосовая складка.



**Рис. 3.** ВСГ пациентки М., 19 лет. Рассчитанные области траекторий колебаний: а – в переднем; б – в среднем; в – в заднем отделах голосовых складок одновременно. Ед. времени в изображении кимограмм количество кадров ( $t = 8193$  кадрам за 2 с).

отделе не совпадают, при этом коэффициент замыкания голосовой щели становится ниже нормальных значений.

**Заключение.** Поведение волны слизистой оболочки – значимый индикатор качества голосообразования и наличия заболевания гортани. Вследствие этого квалифицированное ее измерение может помочь специалистам диагностировать патологические изменения в гортани на очень тонком уровне. По нашему мнению, высокоскоростная съемка отвечает всем требованиям

к осуществлению оценки параметров смещения слизистой оболочки по свободному краю голосовой складки и позволяет провести их количественный анализ, имеет большое диагностическое значение в оценке ларингоскопической картины как функциональных, так и органических дисфоний.

Возможность одновременной визуализации и качественного анализа свойств волны слизистой оболочки могут оказать неоценимую помощь в диагностике патологии гортани.

### Выводы

Применение современных методов исследования в фониатрических кабинетах позволяет значительно снизить процент диагностических ошибок, максимально эффективно подобрать необходимый лечебный комплекс и мониторировать динамику развития клинического процесса в гортани, открывает новые возможности для научно-исследовательской деятельности в области фониатрии и



позволяет переосмыслить некоторые устоявшиеся мнения по поводу тех или иных заболеваний гортани и их классификации.

Количественное и качественное описание движений голосовых складок являются необходимыми с точки зрения доказательной медицины в сравнении результатов до и после консервативной терапии, фонопедии, хирургической коррекции.

Высокоскоростная съемка гортани является на сегодняшний момент наиболее информативным методом исследования с точки зрения количественного анализа вибраторного цикла голосовых складок и отвечает всем требованиям к осуществлению его оценки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Богомильский М. Р., Орлова О. С. Анатомия, физиология и патология органов слуха и речи. – М.: Авторская академия; Товарищество научных изданий КМК, 2008. – 399 с.
2. Василенко Ю. С. Голос. Фониатрические аспекты. – М: Энергоиздат, 2002. – 480 с.
3. Степанова Ю. Е. Современная диагностика нарушений голоса у детей // Вестн. оторинолар. – 2000. – № 3. – С. 47–49.
4. Юрков А. Ю., Степанова Ю. Е. Применение цифрового фотодокументирования при обследовании гортани у детей // Рос. оторинолар. – 2004. – № 5. – С. 166–168.
5. Analysis of Longitudinal Phase Differences in Vocal-Fold Vibration Using Synchronous High-Speed Videoendoscopy and Electrolaryngography / F. Robert [et al.] // J. Voice. – 2012. – Vol. 26, N 6. – P. 816.e13–816.e20.
6. Bruno M. J. Magnification endoscopy, high resolution endoscopy, and chromoscopy: towards a better optical diagnosis // Gut. – 2003. – N 52. – P. 7–11.
7. Digital image processing of laryngeal lesions by electronic videoendoscopy / M. Kawaida [et al.] // Laryngoscope. – 2002. – N 112. – P. 559–564.
8. Johns M. M. Update on the etiology, diagnosis, and treatment of vocal fold nodules, polyps, and cysts // Curr. Opin. Otolaryngol. Head Neck Surg. – 2003. – N 11. – P. 456–61.
9. Kendall K. A. High-speed laryngeal imaging compared with videostroboscopy in healthy subjects // Arch. Otolaryngol. Head Neck Surg. – 2009. – N 135. – P. 274–281.
10. Mortensen M., Woo P. High-speed imaging used to detect vocal fold paresis: a case report. // Ann. Otol. Rhinol. Laryngol. – 2008. – N 117. – P. 684–687.
11. Mucosal Wave: A Normophonic Study Across Visualization Techniques / S. Heather [et al.] // J. Voice. – 2008. – Vol. 22, N 6. – P. 699–708.
12. Preliminary experience with contact endoscopy of the larynx / E. Carriero [et al.] // Eur. Arch. Otorhinolaryngol. – 2000. – N 257. – P. 68–71.
13. Preprocessing Techniques for High-Speed Videoendoscopy Analysis / T. Ikuma [et al.] // J. Voice. – 2013. – Vol. 27, N 4. – P. 500–505.
14. Visualizing Phase Relations of the Vocal Folds by Means of High-Speed Videoendoscopy / A. Krenmayr [et al.] // J. Voice. – 2012. – Vol. 26, N 4. – P. 471–479.

**Осипенко** Екатерина Владимировна – канд. мед. наук, руководитель отдела фонологии с лабораторией певческого и сценического голоса «Федерального научно-клинического центра оториноларингологии». 123182, Москва, Волоколамское шоссе, д. 30/6; тел.: +7 (499) 720-41-17, +7-903-746-95-07, e-mail: nxhosipenko71@yandex.ru

**Султонова** Камола Балташевна – канд. мед. наук, врач-оториноларинголог, фонолог Детского консультативно-диагностического ЛОР-центра Южного округа при ГБУЗ ДГП 91 ДЗМ. 115446, Москва, ул. Академика Миллионщикова, д. 22; тел: +7-916-209-41-29 e-mail: kamola81@list.ru