УДК 616.22-006.2:616.22-089:616.22-072.7

ДИНАМИКА АКУСТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГОЛОСА ПОСЛЕ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ДОБРОКАЧЕСТВЕННЫХ ЗАБОЛЕВАНИЙ ГОРТАНИ: СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТРАДИЦИОННОЙ, РАДИОВОЛНОВОЙ И ЛАЗЕРНОЙ ТЕХНОЛОГИЙ

Лутфуллаев Гайрат Умрилаевич *– д.м.н., профессор, заведующий кафедры ФУВ оториноларингологии*
Файзуллаев Али Ибодуллаевич *– самостоятельный научный соискатель кафедры оториноларингологии Самаркандский государственный медицинский университет Самарканд, Узбекистан*

Аннотация: В работе проведена сравнительная оценка динамика акустических характеристик голоса у пациентов с доброкачественными заболеваниями гортани после хирургического лечения с использованием традиционной, радиоволновой и лазерной технологий. Оценивались основные показатели голосовой функции: диапазон частоты и интенсивности, основная частота голоса, максимальное время фонации, взаимосвязь частотно-интенсивностных параметров и индекс дисфонии (DSI).

После хирургического лечения во всех группах отмечалось улучшение исследуемых показателей. При этом после лазерного вмешательства восстановление ряда акустических характеристик происходило более выраженно уже на ранних сроках наблюдения. К шестому месяцу различия между методами лечения по большинству показателей становились менее заметными. Полученные результаты показывают, что комплексная акустическая оценка позволяет объективно проследить восстановление голосовой функции и оценить особенности различных хирургических технологий.

Ключевые слова: доброкачественные заболевания гортани; фонохирургия; хирургическое лечение; акустический анализ голоса; голосовая функция; лазерная хирургия; радиоволновая хирургия; диапазон голоса; максимальное время фонации; индекс дисфонии.

Abstract: This article examines changes in the acoustic characteristics of the voice following surgical treatment of benign laryngeal diseases using traditional, radio wave, and laser technologies. Key voice function parameters were assessed: frequency and intensity range, fundamental voice frequency, maximum phonation time, frequency-intensity relationship, and the dysphonia index (DSI).

After surgical treatment, improvements in the studied parameters were noted in all groups. Moreover, after laser intervention, the recovery of several acoustic characteristics was more pronounced already at the early stages of observation. By the sixth month, the differences between treatment methods for most parameters became less noticeable. The obtained results demonstrate that a comprehensive acoustic assessment allows for objective monitoring of voice function recovery and the evaluation of the characteristics of various surgical techniques.

Keywords: benign laryngeal diseases; phonosurgery; surgical treatment; acoustic voice analysis; voice function; laser surgery; radiowave surgery; vocal range; maximum phonation time; dysphonia index.

Annotatsiya: Maqolada an’anaviy, radioto‘lqinli va lazer texnologiyalaridan foydalangan holda hiqildoqning xavfsiz kasalliklarini jarrohlik yo‘li bilan davolashdan so‘ng ovozning akustik xususiyatlaridagi o‘zgarishlar ko‘rib chiqiladi. Ovoz funksiyasining asosiy ko‘rsatkichlari baholandi: chastota va intensivlik diapazoni, ovozning asosiy chastotasi, fonatsiyaning maksimal vaqti, chastota-intensivlik parametrlarining o‘zaro bog‘liqligi va disfoniya indeksi (DSI).

Jarrohlik davolashdan so‘ng barcha guruhlarda o‘rganilayotgan ko‘rsatkichlarning yaxshilanishi qayd etildi. Shu bilan birga, lazer aralashuvidan so‘ng bir qator akustik xususiyatlarning tiklanishi kuzatuvning dastlabki muddatlaridayoq yaqqol namoyon bo‘ldi. Oltinchi oyga kelib, aksariyat ko‘rsatkichlar bo‘yicha davolash usullari o‘rtasidagi farqlar kamroq sezilarli bo‘ldi. Olingan natijalar shuni ko‘rsatadiki, kompleks akustik baholash ovoz funksiyasining tiklanishini obyektiv kuzatish va turli jarrohlik texnologiyalarining xususiyatlarini baholash imkonini beradi.

Kalit so’zlar: hiqildoqning xavfsiz kasalliklari; fonoxirurgiya; xirurgik davolash; ovozning akustik tahlili; ovoz funksiyasi; lazer jarrohligi; radioto‘lqinli jarrohlik; ovoz diapazoni; fonatsiyaning maksimal vaqti; disfoniya indeksi.

Введение. Доброкачественные заболевания голосовых складок являются одной из наиболее распространённых причин дисфонии и могут существенно нарушать качество и функциональные возможности голоса. К наиболее частым поражениям относятся узелки, полипы, кисты и отёк Рейнке. Изменение структуры голосовой складки сопровождается нарушением её вибрационных свойств, нерегулярностью колебаний и изменением акустических характеристик голосового сигнала. Поэтому оценка эффективности лечения должна включать не только визуальную оценку патологического процесса, но и объективное исследование голосовой функции [1,2].

Современная фонохирургия направлена не только на удаление патологически изменённой ткани, но и на максимальное сохранение нормальных структур голосовой складки. Это имеет принципиальное значение для восстановления слизистой волны и полноценной вибрационной функции после вмешательства [1,3]. В настоящее время применяются различные хирургические технологии, включая традиционный «холодный» инструментарий, радиоволновую и лазерную хирургию.

Традиционная эндоларингеальная микрохирургия сохраняет важное значение и обеспечивает достоверное улучшение субъективных, акустических и стробоскопических показателей голоса после удаления доброкачественных поражений [2,4,5]. Радиоволновая хирургия также продемонстрировала эффективность при лечении поверхностных поражений голосовых складок. В рандомизированном исследовании было показано значимое улучшение голосовых показателей после вмешательства как при использовании радиоволновой технологии, так и при применении холодного инструментария, без достоверных различий между группами [6]. Это свидетельствует о необходимости дальнейшего изучения функциональных преимуществ различных хирургических подходов.

Лазерные технологии получили широкое распространение благодаря возможности точного воздействия на патологически изменённые ткани. Сравнительные исследования показали улучшение голосовой функции после лазерного лечения, однако в ряде работ достоверных различий между лазерной и традиционной хирургией не выявлено [7,8]. Современные систематические обзоры также подтверждают эффективность лазерного лечения доброкачественных поражений голосовых складок, одновременно подчёркивая значительную неоднородность методик и критериев оценки голосовых результатов [7].

Объективная акустическая оценка позволяет количественно характеризовать изменения голосовой функции после хирургического лечения. Наиболее часто анализируются основная частота (F0), jitter, shimmer, гармонико-шумовое соотношение и другие параметры, отражающие регулярность вибрации голосовых складок и степень шумовой составляющей голоса [1,4,5]. Однако современные подходы предполагают

использование многомерной оценки, поскольку отдельные акустические показатели не всегда позволяют полностью охарактеризовать функциональный результат лечения [1]. Особое значение имеет исследование показателей в динамике. После фонохирургических вмешательств акустические характеристики могут изменяться в течение первых недель и месяцев, отражая процессы заживления и функциональной адаптации голосовых складок [9,10]. Поэтому сравнение хирургических технологий целесообразно проводить при одинаковых сроках наблюдения и с использованием единого комплекса объективных критериев.

Несмотря на наличие исследований, посвящённых отдельным хирургическим методам, непосредственное сравнение традиционного «холодного» инструментария, радиоволновой и лазерной технологий по динамике акустических характеристик голоса остаётся недостаточно изученным. Это определяет актуальность проведения сравнительного исследования, позволяющего объективно оценить особенности восстановления голосовой функции после различных вариантов хирургического лечения.

Цель исследования. Задачей данного исследования стало сопоставительное изучение изменений акустических параметров голоса у больных с доброкачественными патологиями гортани, перенесших хирургическое вмешательство с применением традиционного «холодного» инструмента, а также радиоволновых и лазерных методик. Целью являлось выявление специфики функционального восстановления голосовой функции в зависимости от выбранного хирургического подхода.

Материалы и методы исследования. В исследование были включены пациенты с сопоставимыми клиническими диагнозами, распределённые на три группы в зависимости от применённой хирургической технологии: традиционной эндоларингеальной, радиоволновой и лазерной. Акустическое исследование голоса проводили до операции, а также на 14-е сутки, через 1 и 6 месяцев после вмешательства. Оценивали тональный и динамический диапазоны, частоту основного тона (F0), максимальную продолжительность фонации и индекс дисфонии (DSI). Для характеристики взаимосвязи между частотными и интенсивностными параметрами голоса определяли коэффициент корреляции Пирсона.

Динамику показателей оценивали относительно исходных значений. Для статистического анализа использовали ковариационный анализ с учётом исходного показателя, времени наблюдения, группы лечения и взаимодействия «время × группа». Проводили попарные сравнения между хирургическими технологиями. Статистически значимыми считали различия при $p<0,05$.

Результаты. Оценка акустических параметров речевого голоса показала положительную динамику после хирургического лечения во всех трех исследуемых группах. До операции средний тональный диапазон составлял 18,97 ± 9,25 полутона в первой группе, 16,13 ± 6,27 — во второй и 21,10 ± 9,09 — в третьей группе (табл. 1).

Уже на 14-е сутки после вмешательства отмечалось расширение тонального диапазона во всех группах. Наиболее выраженная динамика наблюдалась после лазерного лечения: показатель увеличился до 30,00 ± 6,61 полутона. В первой и второй группах он составил соответственно 23,33 ± 8,07 и 19,87 ± 5,97 полутона. В дальнейшем рост показателя продолжался, однако наиболее выраженная динамика сохранялась у пациентов третьей группы.

К шестому месяцу наблюдения тональный диапазон достиг 29,45 ± 7,12 полутона в первой группе, 27,96 ± 6,07 — во второй и 33,62 ± 4,14 — в третьей группе. Таким образом, наиболее высокие значения к концу наблюдения были отмечены после лазерного вмешательства (рис. 1).

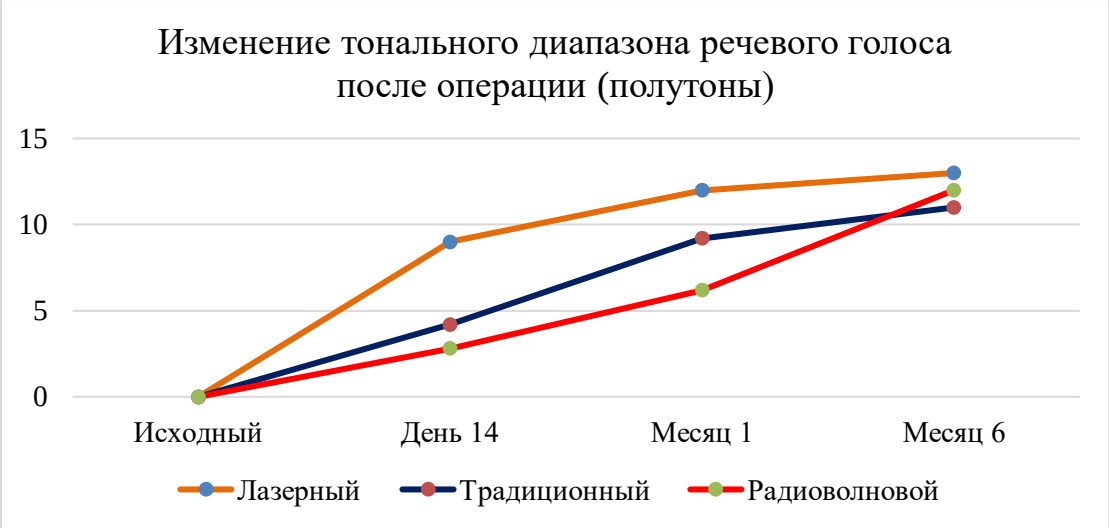


Рисунок 1. Динамика тонального диапазона речевого голоса (в полутонах) после хирургического лечения у пациентов с ДЗГ в зависимости от применённого метода.

На рисунке 1 представлена динамика показателя на различных этапах послеоперационного наблюдения. По оси X отражены сроки обследования, по оси Y — величина тонального диапазона в полутонах.

Ковариационный анализ подтвердил статистически значимое влияние исходного уровня, времени наблюдения и метода лечения на изменение тонального диапазона. Значимым также оказалось взаимодействие «время × группа лечения» ($p=0,00594$). При попарном сравнении наиболее выраженные различия выявлены между лазерной и радиоволновой группами ($p<0,0001$), тогда как различия между традиционным и радиоволновым методами не достигали статистической значимости ($p>0,05$) (табл. 1).

Таблица 1. Результаты ковариационного анализа динамики тонального диапазона речевого голоса (в полутонах) после хирургического лечения пациентов с ДЗГ.

Фактор	Количество степеней свободы	F значение	p-value
Исходное значение	1	86.158	<0.00301
Группа лечения	2	15.494	<0.0001
Время	3	107.183	<0.0001
Время * группа лечения	6	3.104	0.00594
Традиционный vs. Радиоволновой			
Исходное значение	1	40.512	<0.0001
Группа лечения	1	2.970	0.0904
Время	3	66.568	<0.0001
Время * группа лечения	3	1.459	0.228
Традиционный vs. Лазерный			
Исходное значение	1	83.353	<0.0001
Группа лечения	1	13.197	0.0006
Время	3	76.881	<0.0001
Время * группа лечения	3	2.467	0.0639
Лазерный vs. Радиоволновой			
Исходное значение	1	62.065	<0.0001
Группа лечения	1	36.198	<0.0001
Время	3	73.761	<0.0001
Время * группа лечения	3	5.318	0.00158

Аналогичная положительная динамика была выявлена при анализе частотного диапазона речевого голоса, выраженного в герцах (табл. 2).

Исходно частотный диапазон составлял 192,66 ± 111,13 Гц в первой группе, 168,06 ± 92,51 Гц во второй и 217,22 ± 106,42 Гц в третьей группе. К 14-м суткам после операции показатели увеличились соответственно до 251,51 ± 97,99, 201,86 ± 85,82 и 327,14 ± 84,62 Гц. Наиболее выраженное расширение наблюдалось у пациентов после лазерного вмешательства.

К шестому месяцу частотный диапазон составил 316,78 ± 88,54 Гц в первой группе, 286,54 ± 86,17 Гц во второй и 371,15 ± 52,43 Гц в третьей группе. Следовательно, на протяжении всего периода наблюдения наиболее высокие значения сохранялись в группе лазерного лечения (рис. 2).

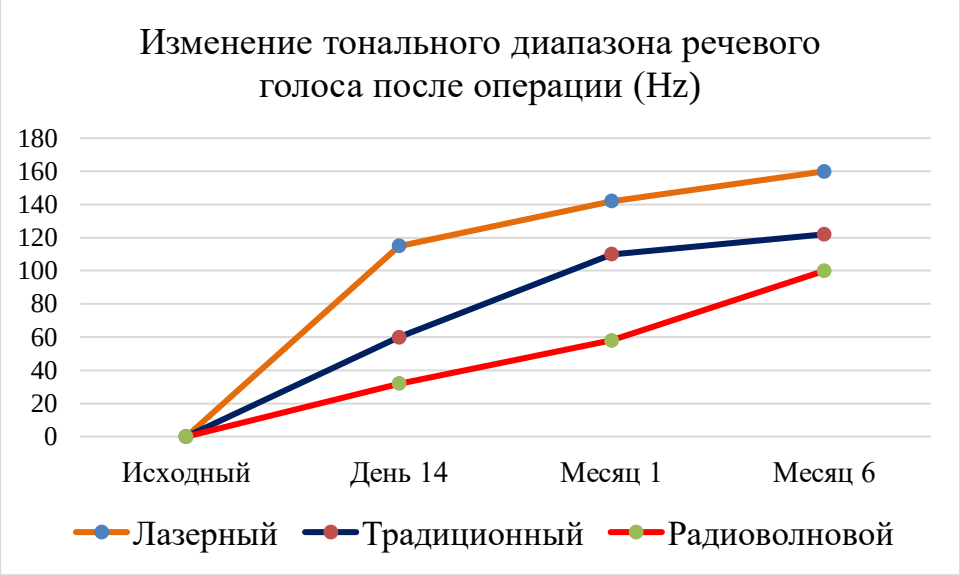


Рисунок 2. Изменение частотного диапазона речевого голоса у пациентов с ДЗГ после хирургического лечения в трёх группах.

На рисунке 2 видно, что наиболее выраженное расширение частотного диапазона происходит в группе лазерного лечения уже на раннем этапе наблюдения. В первой группе восстановление происходит несколько медленнее, а во второй группе раннее увеличение показателя выражено в меньшей степени.

В последующем положительная динамика сохранялась во всех трех группах. К шестому месяцу прирост относительно исходного уровня составил **160,71 ± 97,16 Гц** в третьей группе, **128,98 ± 106,73 Гц** в первой и **125,08 ± 101,01 Гц** во второй.

Таким образом, результаты, представленные на рисунке 2, в целом соответствуют данным по тональному диапазону: наиболее быстрые изменения наблюдались после лазерного вмешательства.

Таблица 2. Сравнительная характеристика изменений тонального диапазона речевого голоса у пациентов с ДЗГ после операции относительно исходных значений в трёх исследуемых группах.

Параметр	**Тональный диапазон речевого голоса: в полутонах**			**Тональный диапазон речевого голоса: частота Hz**		
Метод	**Традиционный (группа 1)**	**Радиоволновой (группа 2)**	**Лазерный (3 группа)**	**Традиционный (группа 1)**	**Радиоволновой (группа 2)**	**Лазерный (3 группа)**
	Исходный уровень					

M ± m (min – max)	18,97 ± 9,25 (7 – 38)	16,13 ± 6,27 (7 – 34)	21,10 ± 9,09 (8 – 38)	192,66 ± 111,13 (71,47 – 413,65)	168,06 ± 92,51 (48,82 – 401,51)	217,22 ± 106,42 (74,18 –413,65)
	День 14					
M ± m (min – max)	23,33± 8,07 (8 – 38)	19,87 ± 5,97 (9 – 32)	30,00 ± 6,61 (11 – 37)	251,51 ± 97,99 (64,32 – 413,65)	201,86 ± 85,82 (64,32 – 383,76)	327,14 ± 84,62 (64,32 –411,8)
	Месяц 1					
M ± m (min – max)	28,13 ± 6,45 (16 – 38)	22,83 ± 7,29 (11 – 36)	33,20 ± 3,97 (26 – 38)	300,68 ± 82,76 (120,42 – 413,65)	223,88 ± 105,20 (76,79 – 407,9)	362,30 ± 53,88 (204,25 – 413,65)
	Месяц 6					
M ± m (min – max)	29,45 ± 7,12 (13 – 38)	27,96 ± 6,07 (13 – 37)	33,62 ± 4,14 (25 –38)	316,78 ± 88,54 (157,07 –413,65)	286,54 ± 86,17 (157,07 – 407,9)	371,15 ± 52,43 (204,25 – 413,65)

Из данных таблицы видно, что расширение частотного диапазона продолжалось после всех вариантов хирургического лечения. К шестому месяцу в третьей группе его значение достигло 371,15 ± 52,43 Гц, тогда как в первой и второй группах составило соответственно 316,78 ± 88,54 Гц и 286,54 ± 86,17 Гц.

Для оценки достоверности различий между группами был проведен ковариационный анализ.

Таблица 3. В ходе проведения итогого проведенного ковариационного анализа, посвящённого оценке изменений частотного диапазона речевого голоса (в герцах) после операции у пациентов с доброкачественными опухолевидными заболеваниями гортани в трёх исследуемых группах.

Фактор	Количество степеней свободы	F значение	p-value
Исходное значение	1	90.385	<0.0001
Группа лечения	2	20.520	<0.0001
Время	3	69.705	<0.0001
Время * группа лечения	6	3.144	0.00543
Традиционный vs. Радиоволновой			
Исходное значение	1	45.732	<0.0001
Группа лечения	1	6.884	0.0112
Время	3	37.387	<0.0001
Время * группа лечения	3	1.867	0.137
Традиционный vs. Лазерный			
Исходное значение	1	94.830	<0.0001
Группа лечения	1	15.414	0.00024
Время	3	59.221	<0.0001
Время * группа лечения	3	1.721	0.164
Лазерный vs. Радиоволновой			
Исходное значение	1	58.189	<0.0001
Группа лечения	1	40.620	0.00151
Время	3	46.737	<0.0001
Время * группа лечения	3	5.791	0.00086

Полученные результаты показали статистически значимое влияние группы лечения (**F=20,520; p<0,0001**) и времени наблюдения (**F=69,705; p<0,0001**).

Взаимодействие факторов «время × группа лечения» также оказалось достоверным (**F=3,144; p=0,00543**).

При попарном сравнении групп различия между традиционной и радиоволновой технологиями составили **p=0,0112**, между традиционной и лазерной — **p=0,00024**, между лазерной и радиоволновой — **p=0,00151**.

Таким образом, частотный диапазон увеличивался после всех трех вариантов хирургического лечения, однако наиболее выраженная динамика наблюдалась после лазерной операции.

Таблица 4. Динамика частоты основного тона F0 (Гц) после хирургического лечения у пациентов с ДЗГ относительно исходных значений.

Параметр	**Динамика частоты основного тона F (0)**		
Метод	**Традиционный (группа 1)**	**Радиоволновой (группа 2)**	**Лазерный (3 группа)**
	Исходный уровень		
M ± m (min – max)	172,82 ± 68,18 (102,16 - 450,23)	173,89 ± 61,70 (115,8 - 386,26)	170,26 ± 70,21 (97,73 - 450,23)
	День 14		
M ± m (min – max)	179,05 ± 49,00 (124,97 - 293,14)	160,16 ± 45,06 (115,41 - 293,14)	174,79 ± 42,44 (96,14 – 276)
	Месяц 1		
M ± m (min – max)	178,49 ± 48,26 (66,71 – 293)	163,27 ± 45,91 (120,85 – 293)	174,86 ± 49,38 (96,13 - 278,07)
	Месяц 6		
M ± m (min – max)	182,11 ± 53,01 (119,86 - 395,82)	189,67 ± 60,95 (1119,86 - 395,82)	174,60 ± 54,15 (66,72 - 281,8)

В отличие от диапазонных характеристик, частота основного тона речевого голоса в послеоперационном периоде оставалась относительно стабильной.

Исходные значения F0 были сопоставимы между группами и составляли 172,82 ± 68,18 Гц в первой, 173,89 ± 61,70 Гц во второй и 170,26 ± 70,21 Гц в третьей группе. На 14-е сутки и через один месяц отмечались небольшие колебания показателя без выраженной направленной динамики. К шестому месяцу значения F0 составили 182,11 ± 53,01, 189,67 ± 60,95 и 174,60 ± 54,15 Гц соответственно (табл. 4).

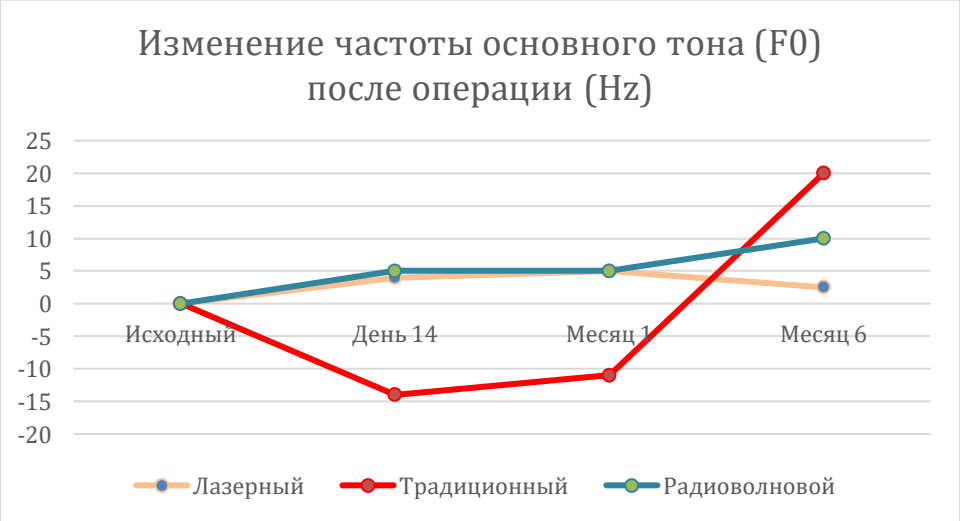


Рисунок 3. Динамика частоты основного тона F0 (Гц) у пациентов с ДЗГ в послеоперационном периоде относительно исходных значений.

На рисунке 3 представлена динамика F0 на этапах послеоперационного наблюдения. По оси X указаны сроки обследования, по оси Y — частота основного тона в герцах.

Ковариационный анализ не выявил статистически значимого влияния метода лечения, времени наблюдения или их взаимодействия на динамику F0 (p>0,05) (табл. 5).

Таблица 5. Результаты ковариационного анализа динамики частоты основного тона F0 после хирургического лечения у пациентов с ДЗГ.

Фактор	Количество степеней свободы	F значение	p-value
Исходное значение	1	146.761	<0.0001
Группа лечения	2	0.283	0.754
Время	3	0.920	0.432
Время * группа лечения	6	0.981	0.439

Следовательно, частота основного тона в течение шестимесячного периода наблюдения оставалась относительно стабильной. Статистически значимых различий между применёнными хирургическими технологиями по динамике F0 не установлено (p>0,05). Кроме того, не было выявлено достоверных различий в динамике F0 между пациентами, которым хирургическое лечение проводилось с применением различных методик (p>0,05).

Анализ динамики изменения динамического диапазона речевого голоса в послеоперационном периоде у пациентов с ДЗГ во всех трех группах

Оценка динамического диапазона показала положительную послеоперационную динамику во всех исследуемых группах. По сравнению с исходными значениями увеличение показателя имело статистически значимый характер (p<0,0001). Данные о динамике изменений динамического диапазона речевого голоса (в децибелах) у пациентов с ДЗГ после операции относительно исходного уровня представлены в таблице 6.

Таблица 6. Сравнение изменений динамического диапазона речевого голоса (дБ) у пациентов с ДЗГ после операции по отношению к исходным значениям в трех группах.

Параметр	**Сравнение динамического изменения диапазона речевого голоса**		
Метод	**Традиционный (группа 1)**	**Радиоволновой (группа 2)**	**Лазерный (3 группа)**
	Исходный уровень		
M ± m (min – max)	23,56 ± 8,43 (1 - 38)	24,32 ± 7,07 (14 - 46)	23,28 ± 7,24 (7 – 38)
	День 14		
M ± m (min – max)	26,27 ± 6,54 (13 – 41)	26,12 ± 5,71 (15 – 39)	31,37 ± 7,55 (13 – 46)
	Месяц 1		
M ± m (min – max)	32,01 ± 5,48 (20 – 44)	30,11 ± 5,11 (19 – 44)	34,81 ± 7,82 (13 – 57)
	Месяц 6		
M ± m (min – max)	35,51 ± 6,11 (27 – 57)	33,11 ± 3,48 (27 – 44)	35,05 ± 8,54 (20 – 57)

Еще одним важным показателем восстановления голосовой функции являлся динамический диапазон речевого голоса.

До операции его величина составляла 23,56 ± 8,43 дБ в первой группе, 24,32 ± 7,07 дБ во второй и 23,28 ± 7,24 дБ в третьей группе. Уже на 14-е сутки отмечалось увеличение показателя, наиболее выраженное после лазерного вмешательства — до 31,37 ± 7,55 дБ. В первой и второй группах значения составляли 26,27 ± 6,54 и 26,12 ± 5,71 дБ соответственно (табл. 6).

К концу первого месяца динамический диапазон продолжал увеличиваться и составил 32,01 ± 5,48 дБ в первой, 30,11 ± 5,11 дБ во второй и 34,81 ± 7,82 дБ в третьей группе. Через шесть месяцев показатели стали более близкими между группами: 35,51 ± 6,11, 33,11 ± 3,48 и 35,05 ± 8,54 дБ соответственно.

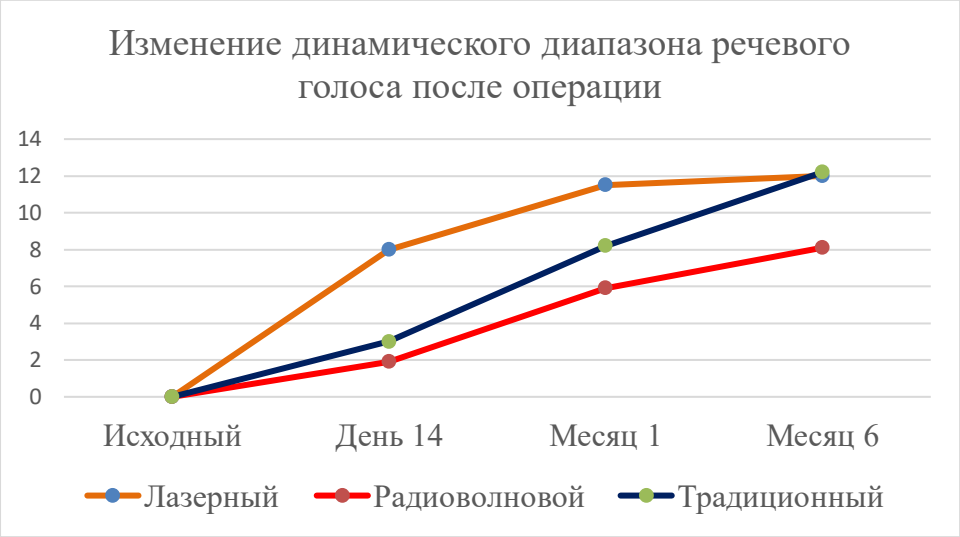


Рисунок 4. Таким образом, наиболее раннее увеличение динамического диапазона наблюдалось после лазерной операции, тогда как к шестому месяцу различия между группами уменьшались.

Ковариационный анализ выявил статистически значимое влияние метода лечения и времени наблюдения, а также взаимодействия «время × группа лечения» (p=0,0317) (табл. 7). Наиболее выраженные различия отмечались при сравнении лазерной и радиоволновой методик.

Таблица 7. Результаты ковариационного анализа динамики динамического диапазона речевого голоса (дБ) после хирургического лечения относительно исходного уровня.

Фактор	Количество степеней свободы	F значение	p-value
Исходное значение	1	176.192	<0.0001
Группа лечения	2	5.351	0.00647
Время	3	56.192	<0.0001
Время * группа лечения	6	2.328	0.0317
Традиционный vs. Радиоволновой			
Исходное значение	1	288.023	<0.0001
Группа лечения	1	4.930	0.0305
Время	3	39.116	<0.0001
Время * группа лечения	3	1.126	0.332
Традиционный vs. Лазерный			
Исходное значение	1	111.456	<0.0001
Группа лечения	1	2.931	0.0904

Время	3	39.542	<0.0001
Время * группа лечения	3	2.338	0.0737
Лазерный vs. Радиоволновой			
Исходное значение	1	78.719	<0.0001
Группа лечения	1	8.161	0.00597
Время	3	37.803	<0.0001
Время * группа лечения	3	3.551	0.0139

Согласно результатам ковариационного анализа, динамика динамического диапазона речевого голоса статистически значимо различалась между исследуемыми группами. Наиболее заметные различия наблюдались у пациентов третьей группы после лазерного вмешательства по сравнению с традиционным и радиоволновым методами ($p<0,0001$). Уже на 14-е сутки после операции в этой группе отмечалось более раннее увеличение показателя ($p<0,0001$).

В послеоперационном периоде проведена оценка взаимосвязи между частотой и интенсивностью голоса при различных уровнях голосовой нагрузки, включая тихую, обычную и громкую речь, а также крик.

У здорового человека изменение высоты голоса обычно сопровождается соответствующим изменением его интенсивности. С учётом этого у пациентов с ДЗГ для количественной оценки данной взаимосвязи рассчитывали коэффициент корреляции Пирсона между частотой и интенсивностью разговорной речи до операции и на последующих этапах наблюдения. Полученные индивидуальные значения использовали для сравнительного анализа динамики голосовой функции в трёх исследуемых группах. Для оценки координации основных акустических характеристик голоса был рассчитан коэффициент корреляции Пирсона между частотой и интенсивностью речевого голоса.

До операции коэффициент корреляции составлял 0,59 ± 0,39 в первой группе, 0,73 ± 0,23 во второй и 0,45 ± 0,41 в третьей. На 14-е сутки наиболее заметное увеличение отмечалось после лазерного вмешательства — до 0,81 ± 0,27. Через один месяц значения во всех трех группах стали близкими: 0,83 ± 0,21, 0,82 ± 0,19 и 0,84 ± 0,16 соответственно (табл. 8).

К шестому месяцу коэффициент корреляции достиг 0,91 ± 0,08 в первой группе, 0,86 ± 0,21 во второй и 0,87 ± 0,12 в третьей группе (рис. 5).

Метод	**Традиционный (Группа 1)**	**Радиоволновой (Группа 2)**	**Лазерный (Группа 3)**
Исходный уровень			
M ± m (min – max)	0,59 ± 0,39 (-0,541 - 0,992)	0,73 ± 0,23 (0,112 - 0,996)	0,45 ± 0,41 (-0,539 - 0,961)
День 14			
M ± m (min – max)	0,69 ± 0,38 (-0,33 1 0,991)	0,73 ± 0,29 (-0,229 - 0,995)	0,81 ± 0,27 (-0,33 - 0,994)
Месяц 1			
M ± m (min – max)	0,83 ± 0,21 (0,148 - 0,998)	0,82 ± 0,19 (0,148 - 0,99)	0,84 ± 0,16 (0,305 - 0,989)
Месяц 6			
M ± m (min – max)	0,91 ± 0,08 (0,674 - 0,996)	0,86 ± 0,21 (0,159 – 1)	0,87 ± 0,12 (0,417 - 0,994)

На рисунке 5 представлена динамика коэффициента корреляции Пирсона между частотой и интенсивностью разговорного голоса после хирургического лечения относительно исходного уровня.

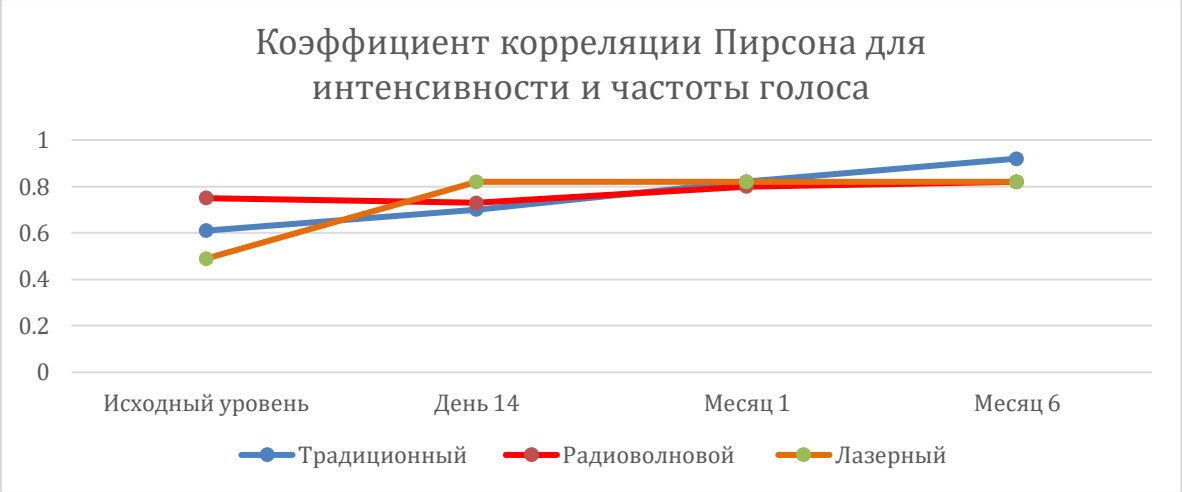


Рисунок 5. Динамика коэффициента корреляции Пирсона между интенсивностью и частотой разговорного голоса после операции относительно исходного уровня у пациентов с ДЗГ в трех группах.

Полученные результаты свидетельствуют о постепенном восстановлении физиологической взаимосвязи между высотой и интенсивностью голоса. При этом после лазерного вмешательства улучшение данной характеристики наблюдалось уже на раннем послеоперационном этапе.

Ковариационный анализ показал значимое влияние времени наблюдения ($p<0,0001$), однако общий эффект группы лечения не достиг статистической значимости ($p=0,127$). При этом взаимодействие «время × группа» было значимым ($p=0,0015$), что указывает на различия именно в характере динамики показателя на отдельных этапах наблюдения (табл. 9).

Таблица 9 – Результаты ковариационного анализа коэффициента корреляции Пирсона между интенсивностью и частотой голоса у пациентов с ДЗГ в трех группах.

Фактор	Количество степеней свободы	F значение	p-value
Исходное значение	1	146.856	<0.0001
Группа лечения	2	2.114	0.127
Время	3	23.047	<0.0001
Время * группа лечения	6	3.708	0.0015
Традиционный vs. Радиоволновой			
Исходное значение	1	80.698	<0.0001
Группа лечения	1	0.692	0.409
Время	3	10.092	<0.0001
Время * группа лечения	3	1.695	0.17
Традиционный vs. Лазерный			
Исходное значение	1	112.471	<0.0001
Группа лечения	1	1.401	0.242
Время	3	23.014	<0.0001
Время * группа лечения	3	2.761	0.0437
Лазерный vs. Радиоволновой			
Исходное значение	1	100.459	<0.0001
Группа лечения	1	4.872	0.0315
Время	3	16.549	<0.0001
Время * группа лечения	3	7.593	<0.0001

Продолжительность максимальной фонации также увеличивалась после хирургического лечения.

Исходно показатель составлял 12,44 ± 6,02 с в первой группе, 13,02 ± 5,55 с во второй и 10,65 ± 5,16 с в третьей. Уже на 14-е сутки наиболее выраженное увеличение наблюдалось после лазерного вмешательства — до 20,03 ± 8,30 с. В первой группе показатель составил 16,01 ± 7,80 с, тогда как во второй — 13,22 ± 6,44 с (табл. 10).

Через один месяц максимальное время фонации достигло 23,73 ± 9,01 с в первой группе, 17,88 ± 7,00 с во второй и 21,56 ± 8,65 с в третьей. К шестому месяцу показатели составили соответственно 24,04 ± 9,29, 21,24 ± 7,41 и 22,13 ± 8,56 с.

Параметр	Сравнение динамического изменения диапазона речевого голоса		
Метод	**Традиционный (группа 1)**	**Радиоволновой (группа 2)**	**Лазерный (3 группа)**
	Исходный уровень		
M ± m (min – max)	12,44 ± 6,02 (6,08 - 25,31)	13,02 ± 5,55 (6,07 - 24,45)	10,65 ± 5,16 (5,62 - 26,38)
	День 14		
M ± m (min – max)	16,01 ± 7,80 (7,4 - 32,38)	13,22 ± 6,44 (1,3 – 31)	20,03 ± 8,30 (10,33 - 36,82)
	Месяц 1		
M ± m (min – max)	23,73 ± 9,01 (8,29 - 37,89)	17,88 ± 7,00 (8,29 - 37,89)	21,56 ± 8,65 (12,65 - 41,43)
	Месяц 6		
M ± m (min – max)	24,04 ± 9,29 (9,42 - 41,43)	21,24 ± 7,41 (9,42 - 39,59)	22,13 ± 8,56 (14,02 - 41,76)

На рисунке 6 представлена динамика максимального времени фонации (ВМФ) после хирургического лечения в трёх исследуемых группах. По оси X отражены сроки контрольных обследований, при которых проводилась акустическая оценка, по оси Y — продолжительность максимальной фонации в секундах.

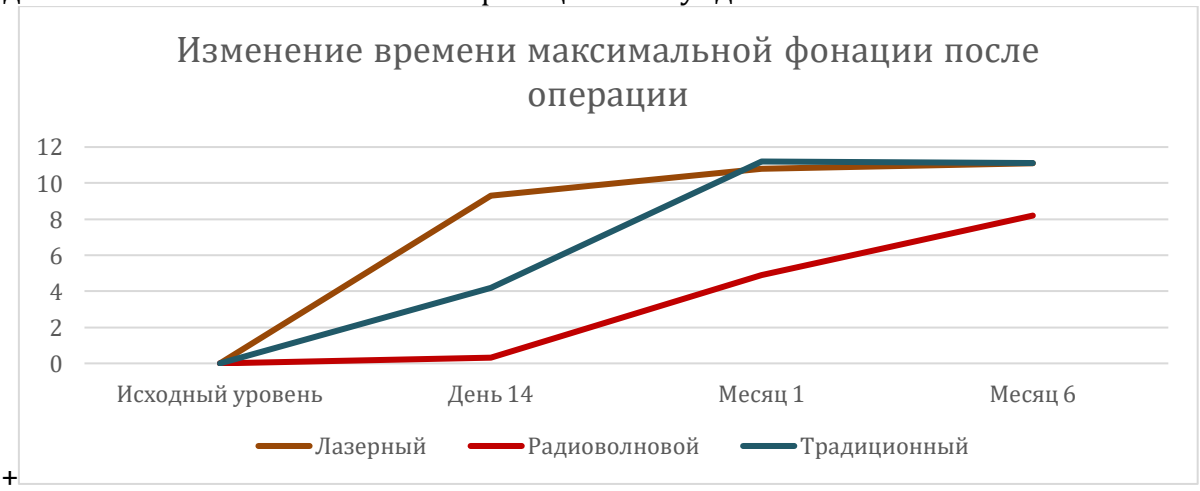


Рисунок 6. Динамика максимального времени фонации после хирургического лечения относительно исходного уровня у пациентов с ДЗГ.

Наиболее раннее восстановление максимального времени фонации наблюдалось после лазерной операции. В дальнейшем показатели всех групп постепенно сближались.

Ковариационный анализ подтвердил значимое влияние времени наблюдения и взаимодействия «время × группа лечения» (p<0,0001). Наиболее выраженные различия отмечались между лазерной и радиоволновой группами (табл. 11).

	Фактор	Кол-во степеней свободы	F-значение	P-value
1	Исходное значение	1	1.112	0.29468
2	Группа лечения	2	7.099	0.00143
3	Время	3	127.942	<0.0001
4	Время * группа лечения	6	9.334	<0,0001
Традиционный vs. Радиоволновой				
	Фактор	**Кол-во степеней свободы**	**F-значение**	**P-value**
1	Исходное значение	1	0.013	0.9113
2	Группа лечения	1	10.758	0.0018
3	Время	3	89.852	<0,0001
4	Время * группа лечения	3	7.517	<0,0001
Традиционный vs. Лазерный				
	Фактор	**Кол-во степеней свободы**	**F-значение**	**P-value**
1	Исходное значение	1	0.216	0.644
2	Группа лечения	1	0.974	0.328
3	Время	3	124.277	<0,0001
4	Время * группа лечения	3	7.336	<0,0001
Лазерный vs. Радиоволновой				
	Фактор	**Кол-во степеней свободы**	**F-значение**	**P-value**
1	Исходное значение	1	6.144	0.0163
2	Группа лечения	1	8.685	0.0047
3	Время	3	60.05	<0,0001
4	Время * группа лечения	3	12,29	<0.0001

Комплексная оценка голосовой функции проводилась с использованием индекса дисфонии (DSI). До операции средние значения DSI составляли −5,09 ± 3,82 в первой группе, −3,42 ± 2,79 во второй и −3,78 ± 4,36 в третьей, что свидетельствовало о выраженном нарушении голосовой функции.

После хирургического лечения во всех группах отмечалось последовательное увеличение DSI. Уже на 14-е сутки показатель достиг −0,10 ± 2,12 в первой группе, −0,03 ± 1,19 во второй и 1,36 ± 2,08 в третьей. Через один месяц значения составили соответственно 1,58 ± 1,62, 0,53 ± 1,09 и 2,21 ± 1,48. К шестому месяцу наиболее высокий уровень DSI сохранялся в третьей группе — 2,34 ± 2,01, тогда как в первой и второй группах он составил 1,82 ± 1,51 и 1,52 ± 1,09 соответственно (табл. 12).

Таблица 12 Динамика индекса дисфонии (DSI) после хирургического лечения пациентов с доброкачественными заболеваниями гортани в трёх клинических группах.

Метод	Традиционный (Группа 1)	Радиоволновой (Группа 2)	Лазерный (Группа 3)
Исходный уровень			
M ± m (min – max)	-5,09 ± 3,82 (-10 - 4,6)	-3,42 ± 2,79 (-10 - 0,2)	-3,78 ± 4,36 (-10 - 6,6)
День 14			
M ± m (min – max)	-0,10 ± 2,12 (-4,1 - 8,1)	-0,03 ± 1,19 (-2,4 - 2,5)	1,36 ± 2,08 (-3,5 - 5,8)
Месяц 1			

M ± m (min – max)	1,58 ± 1,62 (-1,19 - 8,2)	0,53 ± 1,09 (-1,2 - 2,5)	2,21 ± 1,48 (-0,7 – 6)
Месяц 6			
M ± m (min – max)	1,82 ± 1,51 (-0,2 - 7,8)	1,52 ± 1,09 (-0,2 - 4,9)	2,34 ± 2,01 (-1,9 - 6,8)

Комплексная оценка голосовой функции проводилась с использованием индекса дисфонии (DSI). До операции средние значения DSI составляли −5,09 ± 3,82 в первой группе, −3,42 ± 2,79 во второй и −3,78 ± 4,36 в третьей, что свидетельствовало о выраженном нарушении голосовой функции.

После хирургического лечения во всех группах отмечалось последовательное увеличение DSI. Уже на 14-е сутки показатель достиг −0,10 ± 2,12 в первой группе, −0,03 ± 1,19 во второй и 1,36 ± 2,08 в третьей. Через один месяц значения составили соответственно 1,58 ± 1,62, 0,53 ± 1,09 и 2,21 ± 1,48. К шестому месяцу наиболее высокий уровень DSI сохранялся в третьей группе — 2,34 ± 2,01, тогда как в первой и второй группах он составил 1,82 ± 1,51 и 1,52 ± 1,09 соответственно (табл. 12).

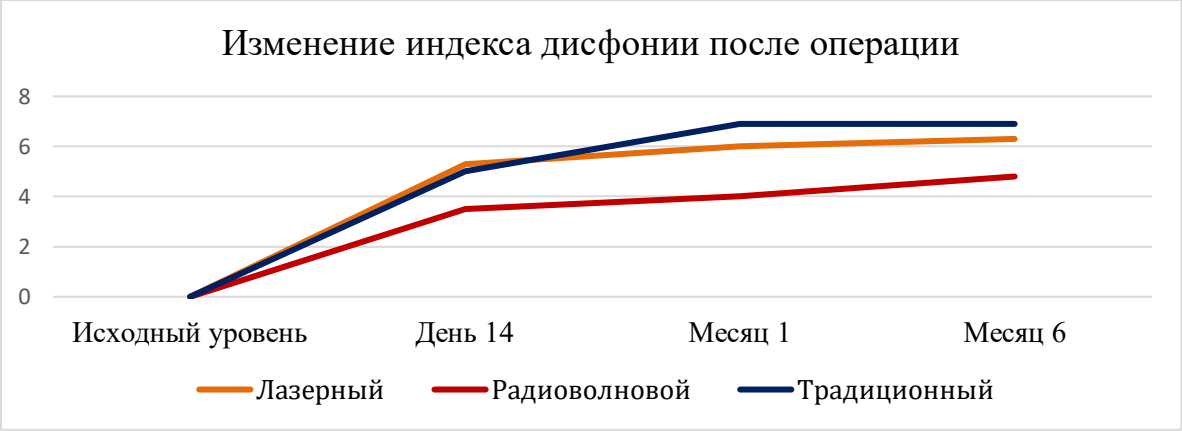


Рисунок 7. Изменение индекса дисфонии после операции у пациентов с ДЗГ в трех группах.

Таким образом, улучшение DSI наблюдалось после всех трех методов лечения, однако наиболее выраженная положительная динамика была характерна для лазерной группы. При этом абсолютные значения DSI к шестому месяцу еще не достигали условно нормального уровня, что указывает на сохраняющиеся остаточные нарушения голосовой функции.

Ковариационный анализ подтвердил статистически значимое влияние времени наблюдения и метода лечения на динамику DSI ($p<0,001$). Наиболее выраженные различия были выявлены при сравнении лазерной и радиоволновой методик ($p=0,0001$). При сравнении традиционного и лазерного методов достоверных различий не установлено ($p>0,05$) (табл. 13).

Таблица 13 – Результаты ковариационного анализа для изменения индекса дисфонии после операции у пациентов с ДЗГ в трех группах

Фактор	Количество степеней свободы	F значение	p-value
Исходное значение	1	514.657	<0.0001
Группа лечения	2	8.269	0.000531
Время	3	167.199	<0.0001
Время * группа лечения	6	3.076	0.00633
Традиционный vs. Радиоволновой			

Исходное значение	1	366.401	<0.0001
Группа лечения	1	3.295	0.075
Время	3	119.136	<0.0001
Время * группа лечения	3	5.674	0.0001
Традиционный vs. Лазерный			
Исходное значение	1	308.673	<0.0001
Группа лечения	1	3.873	0.0541
Время	3	121.145	<0.0001
Время * группа лечения	3	0.921	0.432
Лазерный vs. Радиоволновой			
Исходное значение	1	357.084	<0.0001
Группа лечения	1	16.794	0.0001
Время	3	96.407	<0.0001
Время * группа лечения	3	3.279	0.0224

В целом результаты акустического исследования показывают, что хирургическое лечение сопровождалось улучшением основных параметров голосовой функции во всех трех группах. Наиболее ранняя и выраженная положительная динамика наблюдалась после лазерного вмешательства, особенно в отношении тонального и частотного диапазона, динамического диапазона и максимального времени фонации. Частота основного тона F0 при этом оставалась относительно стабильной. К шестому месяцу наблюдения большинство показателей улучшалось во всех группах, а межгрупповые различия частично уменьшались.

Выводы

1. Хирургическое лечение во всех исследуемых группах сопровождалось улучшением голосовой функции. Наиболее раннее расширение тонального и частотного диапазонов отмечалось после лазерного вмешательства. Различия в динамике этих показателей были статистически значимыми (p=0,00594 и p=0,00543 соответственно).
2. Частота основного тона (F0) в течение наблюдения существенно не менялась. Статистически значимых различий во времени и между группами не выявлено (p>0,05).
3. После лечения во всех группах увеличивался динамический диапазон голоса (p<0,0001). Более выраженные изменения на ранних сроках отмечались после лазерной операции; различия в динамике между лазерной и радиоволновой технологиями были значимыми (p=0,0139).
4. К шестому месяцу улучшалась координация между частотой и интенсивностью голоса. Хотя общий межгрупповой эффект был статистически незначимым (p=0,127), выявленное взаимодействие «время × группа» (p=0,0015) указывает на различия в темпах восстановления.
5. Максимальное время фонации достоверно увеличивалось после всех видов хирургического лечения (p<0,0001). Наиболее заметное улучшение в ранние сроки наблюдалось после лазерного вмешательства, при этом к шестому месяцу различия между группами становились менее выраженными.
6. В целом традиционная, радиоволновая и лазерная технологии обеспечивали положительную динамику акустических показателей. Преимущество лазерного метода проявлялось главным образом в более быстром восстановлении отдельных параметров в раннем послеоперационном периоде, тогда как к шестому месяцу различия между методами в большинстве случаев уменьшались.
7.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dejonckere P.H., Bradley P., Clemente P., Cornut G., Crevier-Buchman L., Friedrich G., Van De Heyning P., Remacle M., Woisard V. A basic protocol for functional assessment of voice pathology, especially for investigating the efficacy of phonosurgical treatments and evaluating new assessment techniques // European Archives of Oto-Rhino-Laryngology. – 2001. – Vol. 258, № 2. – P. 77–82. – DOI: 10.1007/s004050000299.
2. Jensen J.B., Rasmussen N. Phonosurgery of vocal fold polyps, cysts and nodules is beneficial // Danish Medical Journal. – 2013. – Vol. 60, № 2. – A4577.
3. Kang D.W., Kim S.I., Noh J.K., Jeong S.J., Lee Y.C., Ko S.G., Eun Y.G. Voice outcome after cold knife surgery according to the characteristics of vocal fold polyp // Journal of Voice. – 2024. – Vol. 38, № 3. – P. 780–787. – DOI: 10.1016/j.jvoice.2021.10.012.
4. Kunieda C., Kanazawa T., Komazawa D., Ree Y., Indo K., Akagi Y., Nakamura K., Matsushima K., Suzuki T., Watanabe Y. The correlation between the size of vocal polyps, vocal nodules and vocal dysfunction, before and after laryngeal microsurgery // Nihon Jibiinkoka Gakkai Kaiho. – 2015. – Vol. 118, № 10. – P. 1212–1219. – DOI: 10.3950/jibiinkoka.118.1212.
5. Miri M., Hamdan A.-L., Huet K., Delvaux V., Lechien J.R. Surgical and voice outcomes of office-based laser therapy for benign lesions of the vocal folds: a systematic review of the literature // Journal of Voice. – 2025. – DOI: 10.1016/j.jvoice.2025.09.035.
6. Mitsuhashi T., Umeno H., Chitose S.-I., Kurita T., Furukawa K., Sato F., Sato K., Fukahori M., Ono T., Sueyoshi S., Hamakawa S. Phonosurgery for vocal fold polyps: a comprehensive analysis of multidimensional voice outcomes in 201 cases and the impact of polyp size // Auris Nasus Larynx. – 2025. – Vol. 52, № 6. – P. 633–642. – DOI: 10.1016/j.anl.2025.08.012.
7. Ragab S.M., Elsheikh M.N., Saafan M.E., Elsherief S.G. Radiophonosurgery of benign superficial vocal fold lesions // Journal of Laryngology & Otology. – 2005. – Vol. 119, № 12. – P. 961–966. – DOI: 10.1258/002221505775010670.
8. Singh A., Upadhyay A., Shrivastava A., Mundra R.K. A comprehensive voice analysis in benign vocal fold lesions treated by cold knife endolaryngeal surgery using subjective, objective and video-stroboscopic parameters // Indian Journal of Otolaryngology and Head & Neck Surgery. – 2019. – Vol. 71, Suppl. 1. – P. 905–911. – DOI: 10.1007/s12070-019-01638-6.
9. Stajner-Katusić S., Horga D., Vrban Zrinski K. A longitudinal study of voice before and after phonosurgery for removal of a polyp // Clinical Linguistics & Phonetics. – 2008. – Vol. 22, № 10–11. – P. 857–863. – DOI: 10.1080/02699200802130813.
10. Voloch L., Icht M., Ben-David B.M., Neiderman N.N.C., Levenberg G., Manor Y., Shpunt D., Oestreicher-Kedem Y. Seven days of voice rest post-phonosurgery is not better than 3 days: a prospective randomized short-term outcome study // The Laryngoscope. – 2024. – Vol. 134, № 11. – P. 4661–4666. – DOI: 10.1002/lary.31556.