

ВЛИЯНИЕ КЕРАТОРЕФРАКЦИОННЫХ ОПЕРАЦИЙ CLEAR И FEMTO-LASIK НА БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РОГОВИЦЫ У ПАЦИЕНТОВ С МИОПИЕЙ В ДИНАМИКЕ

Чупров А.Д.¹, Канюкова Ю.В.¹, Трубников В.А.¹

¹ *Оренбургский филиал ФГАУ НМИЦ «МНТК “Микрохирургия глаза” имени академика С.Н. Федорова» МЗ РФ, Оренбург, e-mail: nauka@ofmntk.ru*

Целью данного исследования явилась проверка гипотезы, что кераторефракционная операция CLEAR в меньшей степени влияет на биомеханические параметры роговицы у пациентов с миопией, чем FEMTO-LASIK. В исследовании участвовали 20 пациентов (40 глаз) с миопией слабой и средней степени, которым была выполнена рефракционная операция по технологиям CLEAR (1-я группа) и FEMTO-LASIK (2-я группа). Биомеханические показатели роговицы оценивались с помощью бесконтактного тонометра с коллимированным воздушным импульсом с фиксированным давлением и Шаймпфлюг-мониторингом формации роговицы Corvis ST в сроки 1 день, 1 месяц, 3 месяца после операции. В результате наблюдения отмечены изменения биомеханических показателей роговицы, темп восстановления которых был разным в исследуемых группах. Динамика биомеханических параметров роговицы у пациентов после рефракционной операции с использованием технологии CLEAR схожа с динамикой биомеханических параметров роговицы у пациентов после FEMTO-LASIK, однако темп восстановления отдельных показателей в случае операции CLEAR достоверно выше, что может говорить о более щадящем воздействии данной операции на ткани роговицы.

Ключевые слова: кератоконус, биомеханические показатели, рефракционная хирургия, жесткость роговицы, эластичность роговицы.

EFFECT OF CLEAR AND FEMTO-LASIK KERATO-REFRACTIVE SURGERY ON CORNEAL BIOMECHANICAL PARAMETERS IN PATIENTS WITH MYOPIA IN DYNAMICS

Chuprov A.D.¹, Kanyukova Yu.V.¹, Trubnikov V.A.¹

¹ *Orenburg branch of S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution, Orenburg, email: nauka@ofmntk.ru*

The purpose of this study was to test the hypothesis that keratorefractive surgery CLEAR has a less effect on the biomechanical parameters of the cornea in patients with myopia than FEMTO-LASIK. The study involved 20 patients (40 eyes) with mild to moderate myopia who underwent refractive surgery using the CLEAR (Group 1) and FEMTO-LASIK (Group 2) technologies. The biomechanical parameters of the cornea were assessed using a non-contact tonometer with a collimated air pulse at a fixed pressure and Scheimpflug monitoring of the corneal formation Corvis ST at 1 day, 1 month, 3 months after surgery. As a result of the observation, changes in the biomechanical parameters of the cornea were noted, the rate of recovery of which was different in the studied groups. The dynamics of the biomechanical parameters of the cornea in patients after refractive surgery using the CLEAR technology is similar to the dynamics of the biomechanical parameters of the cornea in patients after FEMTO-LASIK, however, the rate of recovery of individual parameters in the case of CLEAR surgery is significantly higher, which may indicate a more gentle effect of this operation on corneal tissues.

Keywords: keratoconus, biomechanical parameters, refractive surgery, corneal stiffness, corneal elasticity.

Рефракционная хирургия продолжает активно развиваться в настоящее время и широко применяется в коррекции как первичной, так и вторичной аметропии [1–4]. Широкое распространение рефракционной хирургии не может не направить вектор внимания офтальмологов на изучение биомеханических свойств роговицы, так как эксимерлазерная абляция стромы роговицы и формирование роговичного лоскута при клапанных кераторефракционных технологиях (LASIK, FemtoLasik) наряду с нарушением анатомической целостности роговицы способствуют изменению ее биомеханических свойств. Ряд

исследователей показали, что причиной послеоперационной кератэктазии могут выступать биомеханические факторы роговицы, что приводит к ее неспособности поддерживать необходимую форму [5, 6].

Для достижения высокого клинического результата и снижения вероятности развития послеоперационных осложнений эксимерлазерных кераторефракционных операций рекомендуется учитывать биомеханические свойства роговицы [7, 8]. Сведения о биомеханических свойствах роговицы можно получить, применяя бесконтактный тонометр CORVIS ST, который с помощью камеры Шаймпфлюга для мониторинга деформации роговицы представляет данные по основным биомеханическим параметрам изучаемого объекта [9, 10].

Учитывая особенности техники выполнения рассматриваемых оперативных вмешательств, следует предположить, что операция CLEAR в меньшей степени влияет на биомеханические параметры роговицы, чем FEMTO-LASIK, однако в настоящее время этот вопрос недостаточно изучен.

Целью данного исследования явилась проверка гипотезы, что кераторефракционная операция CLEAR в меньшей степени влияет на биомеханические параметры роговицы у пациентов с миопией, чем FEMTO-LASIK.

Материал и методы исследования

В исследовании принимали участие пациенты с миопией слабой и средней степени (n=20, 40 глаз). Место проведения исследования – Оренбургский филиал ФГАУ «НМИЦ «МНТК “Микрохирургия глаза” им. акад. С.Н. Федорова» Минздрава России. Продолжительность исследования – 3 месяца.

Пациенты были разделены на две группы по 10 человек (20 глаз). Средний возраст – $30,52 \pm 1,15$ года. Пациентам из 1-й группы была проведена операция CLEAR. Пациентам из 2-й группы была выполнена операция FEMTO-LASIK. Всем пациентам было проведено стандартное обследование в предоперационном периоде (рефракционный пакет обследования). Биомеханические показатели роговицы оценивались с помощью бесконтактного тонометра с коллимированным воздушным импульсом с фиксированным давлением и Шаймпфлюг-мониторингом формации роговицы Corvis ST (OCULUS Optikgerate GmbH, Wetzlar, Germany). Техническая поддержка: фемтосекундный лазер Ziemer Femto LDV Z 8, эксимерный лазер «Микроскан Визум» 1100 Гц. Критерии исключения: кератоконус, сосудистые заболевания органа зрения, дистрофические заболевания роговицы, катаракта.

Для сравнения двух групп были проанализированы биомеханические показатели роговицы в сроки 1 сутки, 1 месяц и 3 месяца после операции. Измерение параметров проводилось до оперативного вмешательства, на первые сутки, а также через 1, 3 месяца после

операции.

Анализируемые биомеханические показатели: Applanation Length 1 – длина аппланации роговицы в направлении внутрь глаза (уплощение); Applanation Length 2 – длина аппланации роговицы в обратном направлении (кнаружи); Applanation Velocity 1 – скорость прогиба роговицы, характеризующая ее вязкость; Applanation Velocity 2 – скорость возврата роговицы в обратное положение; Deformation Amplitude – амплитуда деформации роговицы по времени с учетом и без учета движения глаза; Peak Distance (PD) – пиковая дистанция, характеризующая расстояние между наивысшими точками (темпоральной и назальной) при выгибании роговицы во время наибольшего ее вдавления; Integr. Radius – обратное значение радиуса, который вписан в вогнутую поверхность роговицы, Ratio (DA Ratio) – соотношение между амплитудой деформации роговицы на вершине и в 2-миллиметровой зоне; CCT – центральная толщина роговицы (мкм); IOPnct, bIOP – ВГД без учета и с учетом биомеханических свойств роговицы; SP-A1 – параметр жесткости роговицы, разность между силой воздушного импульса на поверхности роговицы и биомеханически скорректированным ВГД; CBI (Corvis Biomechanical Index) – биомеханический индекс, который сочетает биомеханические свойства и данные пахиметрической прогрессии.

Количественные переменные описывались при предварительной их оценке на соответствие закону нормального распределения. Так как все переменные соответствовали закону нормального распределения, то они были представлены в виде $M \pm \sigma$. Достоверность различий количественных признаков по сравниваемым группам оценивалась с помощью t-критерия Стьюдента.

Результаты исследования и их обсуждение. Среднее значение параметров Applanation Length 1 и 2, полученных у пациентов 1-й и 2-й группы до операции, существенно не отличалось (табл. 1). Также не установлены статистически значимые различия по Applanation Velocity 1 и 2, Deformation Amplitude, Peak Distance, Radius, DA Ratio, IOPnc и CBI. Достоверные различия установлены по CCT ($p=0,009$) и SP-A1 ($p=0,001$). Так, среднее значение толщины роговицы и значение SP-A1 у пациентов, вошедших в группу CLEAR, были выше, чем у пациентов, вошедших в группу FEMTO-LASIK (табл. 1).

Таблица 1

Средние значения биомеханических параметров роговицы у пациентов до проведения лазерной рефракционной операции

Параметр	1-я группа (CLEAR)	2-я группа (FEMTO-LASIK)	p
Applanation Length 1 (мм)	2,32±0,15	2,31±0,05	0,769
Applanation Length 2 (мм)	2,01±0,35	2,12±0,09	0,342

Applanation Velocity 1 (м/с)	0,14±0,02	0,14±0,02	0,910
Applanation Velocity 2 (м/с)	-0,27±0,05	-0,27±0,02	0,787
Deform. Amplitude	1,07±0,14	1,10±0,15	0,583
Peak Distance (мм)	4,91±0,13	4,81±0,23	0,277
Radius (мм)	7,01±0,76	7,44±0,58	0,171
DA Ratio	3,78±0,36	3,96±0,31	0,240
CCT (мкм)	575,70±31,7	540,2±21,42	0,009
IOPnc (мм рт. ст.)	17,10±0,66	17,11±0,24	0,948
bIOP (мм рт. ст.)	17,19±0,77	17,29±0,65	0,764
SP-A1	129,0±15,95	104,43±11,8	0,001
CBI	0,12±0,11	0,13±0,1	0,840

На следующий день после проведенной операции в обеих группах отмечено незначительное снижение значений показателей Applanation Length 1 и 2, приблизительно на -5% и -7% соответственно (табл. 2). В 1-й группе значение Applanation Velocity 1 увеличилось в 2 раза, однако установленные различия статистически незначимы ($p>0,05$). Также в обеих группах отмечается снижение параметров IOPnc, bIOP, SP-A и CCT. Достоверные различия установлены только по показателю CCT. По остальным переменным установлены незначительные изменения.

Таблица 2

Средние значения биомеханических параметров роговицы у пациентов на первые сутки после проведения лазерной рефракционной операции

Параметр	1-я группа (CLEAR)	2-я группа (FEMTO-LASIK)	p
Applanation Length 1 (мм)	2,20±0,15	2,13±0,08	0,186
Applanation Length 2 (мм)	1,87±0,32	2,02±0,06	0,153
Applanation Velocity 1 (м/с)	0,32±0,59	0,14±0,02	0,339
Applanation Velocity 2 (м/с)	-0,26±0,04	-0,26±0,02	0,949
Deform. Amplitude	1,09±0,14	1,13±0,15	0,473
Peak Distance (мм)	5,09±0,31	4,86±0,24	0,073
Radius (мм)	6,70±0,75	6,93±0,53	0,446
DA Ratio	3,81±0,37	3,97±0,34	0,352
CCT (мкм)	500,9±39,4	453,3±27,2	0,004
IOPnc (мм рт. ст.)	16,35±0,51	16,1±0,22	0,107

bIOP (мм рт. ст.)	16,35±0,51	16,05±0,7	0,559
SP-A1	103,43±0,83	94,87±0,7	0,265
CBI	0,16±0,01	0,22±0,1	0,171

Оценка биомеханических параметров роговицы у пациентов через 1 месяц после проведения лазерной рефракционной операции установила достоверное различие по Applanation Length 1 ($p=0,037$). Так, значение показателя было выше у пациентов из 1-й группы. Также установлены статистически значимые различия по IOPnc ($p=0,05$) и SP-A1 ($p=0,048$). Значения данных показателей были выше у пациентов из 1-й группы. Также сохраняются достоверные различия по толщине роговицы (табл. 3).

Таблица 3

Средние значения биомеханических параметров роговицы у пациентов через 1 месяц после проведения лазерной рефракционной операции

Параметр	1-я группа (CLEAR)	2-я группа (FEMTO-LASIK)	p
Applanation Length 1 (мм)	2,25±0,15	2,13±0,1	0,037
Applanation Length 2 (мм)	1,94±0,34	1,98±0,16	0,763
Applanation Velocity 1 (м/с)	0,32±0,059	0,14±0,01	0,339
Applanation Velocity 2 (м/с)	-0,26±0,04	-0,26±0,02	0,889
Deform. Amplitude	1,07±0,15	1,12±0,14	0,459
Peak Distance (мм)	4,99±0,26	4,89±0,23	0,394
Radius (мм)	6,76±0,76	7,37±1,18	0,192
DA Ratio	3,79±0,36	3,98±0,3	0,205
CCT (мкм)	501,1±39,4	453,3±24,7	0,004
IOPnc (мм рт. ст.)	16,41±0,52	16,04±0,23	0,050
bIOP (мм рт. ст.)	16,8±0,8	17,05±0,7	0,539
SP-A1	109,8±19,9	95,21±8,8	0,048
CBI	0,15±0,1	0,23±0,1	0,052

Через 3 месяца наблюдения пациентов достоверные различия между сравниваемыми группами установлены по значениям Applanation Length 2, CCT и SP-A1. В частности, отмечается дальнейший прирост значения Applanation Length 2 и SP-A1 у пациентов из 1-й группы по сравнению с пациентами из 2-й группы.

Для оценки возможного влияния исходного значения CCT на величину параметров, по которым установлены статистически значимые отличия в сравниваемых группах (Applanation

Length 1, SP-A1) по прошествии 3 месяцев наблюдения, был проведен корреляционный анализ. По итогам анализа установлена умеренная прямая статистическая зависимость между CCT и SP-A1 ($r=0,58$). В свою очередь, между CCT и Applanation Length 1 статистическая взаимосвязь отсутствует ($r=0,06$) (табл. 4).

Таблица 4

Средние значения биомеханических параметров роговицы у пациентов через 3 месяца наблюдения после проведения лазерной рефракционной операции

Параметр	1-я группа (CLEAR)	2-я группа (FEMTO-LASIK)	p
Applanation Length 1 (мм)	2,28±0,16	2,13±0,1	0,014
Applanation Length 2 (мм)	1,96±0,36	1,97±0,16	0,962
Applanation Velocity 1 (м/с)	0,32±0,59	0,14±0,01	0,339
Applanation Velocity 2 (м/с)	-0,26±0,04	-0,26±0,02	0,786
Deform. Amplitude	1,06±0,13	1,11±0,14	0,414
Peak Distance (мм)	4,92±0,13	4,89±0,21	0,716
Radius (мм)	3,78±0,37	3,96±0,3	0,250
DA Ratio	3,79±0,36	3,98±0,29	0,213
CCT (мкм)	491,80±39	448,70±30	0,012
IOРnc (мм рт. ст.)	16,35±0,5	16,14±0,39	0,329
bIOР (мм рт. ст.)	16,92±0,78	16,84±0,79	0,818
SP-A1	128,22±15,6	95,21±8,8	0,000
CBI	0,15±0,1	0,22±0,1	0,134

Заключение

Динамика биомеханических параметров роговицы у пациентов после рефракционной операции с использованием технологии CLEAR схожа с динамикой биомеханических параметров роговицы у пациентов после FEMTO-LASIK, однако темп восстановления отдельных показателей в случае операции CLEAR достоверно выше, что может говорить о более щадящем воздействии данной операции на ткани роговицы.

Список литературы

1. Тарутта Е.П., Иомдина Е.Н., Тарасова Н.А., Маркосян Г.А., Максимова М.В. Комплексный подход к профилактике и лечению прогрессирующей миопии у школьников // РМЖ. Клиническая офтальмология. 2018. № 2. С. 70-76. DOI: 10.21689/2311-7729-2018-18-2-

70-76.

2. Ang M., Farook M., Htoon H.M., Mehta J.S. Randomized Clinical Trial Comparing Femtosecond LASIK and Small-Incision Lenticule Extraction // *Ophthalmology*. 2020. Vol. 127. No. 6. P. 724-730. DOI: 10.1016/j.ophtha.2019.09.006.
3. Bohac M., Pauk Gulic M., Biscevic A., Gabric I. Surgical Correction of Myopia [Internet]. *Intraocular Lens*. IntechOpen, 2020. DOI: 10.5772/intechopen.85644.
4. Li L., Schallhorn J.M., Ma J., Cui T., Wang Y. Energy setting and visual outcomes in SMILE: a retrospective cohort study // *J. Refract Surg.* 2018. Vol. 34. P. 11–16. DOI: 10.3928/1081597X20171115-01.
5. Бубнова И.А., Асатрян С.В. Биомеханические свойства роговицы и показатели тонометрии // *Вестник офтальмологии*. 2019. Т. 135. №4. С. 27-32.
6. Солодкова Е.Г., Балалин С.В., Фокин В.П., Лобанов Е.В. Оценка зависимости биомеханических свойств роговицы от топометрических и биометрических показателей // *Современные проблемы науки и образования*. 2021. № 3. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=30895> (дата обращения: 25.07.2023).
7. Иомдина Е.Н., Петров С.Ю., Антонов А.А., Новиков И.А., Пахомова И.А., Арчаков А.Ю. Корнеосклеральная оболочка глаза: возможности оценки биомеханических свойств в норме и при патологии // *Офтальмология*. 2016. Т. 13. №2. С. 62–68. DOI: 10.18008/1816-5095-2016-2-62-68.
8. Азнабаев Б.М., Загидуллина А.Ш., Лакман И.А., Исламова Р.Р., Саттарова Р.Р. Взаимосвязи между биомеханическими свойствами корнеосклеральной оболочки и морфометрическими показателями глаза у пациентов с первичной открытоугольной глаукомой // *Офтальмология*. 2019. Т.16. №3. С. 335–343. DOI: 10.18008/1816-5095-2019-3-335-343.
9. Hong J., Xu J., Wei A., et al. A new tonometer- the Corvis ST tonometer: clinical comparison with noncontact and Goldmann applanation tonometers // *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2013. Vol. 54. No.1. P. 659-665. DOI: 10.1167/iovs.12-10984.
10. Fang L., Wang R., Yang R., Deng S., Deng J., Wan L. Effects of the LASIK flap thickness on corneal biomechanical behavior: a finite element analysis // *BMC. Ophthalmol.* 2020. Vol. 20. Article number: 67. DOI: 10.1186/s12886-020-01338-8.