

Завгородня Н.Г., Дорошенко Ю.Ю.

Запорізький державний медичний університет, м. Запоріжжя, Україна

Клініка сучасної офтальмології «Візус», м. Запоріжжя, Україна

Динаміка показників офтальмотонусу, рогівкового гістерезису та фактора резистентності рогівки на очах з міопією та міопічним астигматизмом при рефракційній хірургії методами FEMTO-LASIK та ReLEx SMILE в ранньому післяопераційному періоді

Резюме. Розвиток лазерних технологій та удосконалення операційних технік привели до того, що на сьогодні рефракційна хірургія стала пріоритетним вибором для корекції міопії та міопічного астигматизму у пацієнтів старше від 18 років. Головним напрямком у розробці нових лазерних методик є використання безпечних видів корекції, які б давали прогнозований результат та забезпечували швидкий і безболісний реабілітаційний період. Проаналізовано результати оперативного лікування 40 пацієнтів (80 очей) з міопією слабкого та середнього ступеня та міопічним астигматизмом, яким була виконана корекція зору методами ReLEx SMILE та FEMTO-LASIK у клініці сучасної офтальмології «Візус» (м. Запоріжжя), що є клінічною базою кафедри офтальмології Запорізького державного медичного університету. Серед пацієнтів було 16 чоловіків (40 %) та 24 жінки (60 %) віком від 19 до 38 років (середній вік $27,28 \pm 1,08$ року). Усім пацієнтам проводилась стандартна офтальмологічна та рефракційна діагностика, яка включала оцінку біомеханічних властивостей рогівки і вимірювання внутрішньоочного тиску (ВОТ), проведене з урахуванням індивідуальних властивостей тканин рогівки на Ocular Response Analyzer виробництва Reichert, США. Фемтосекундні втручання виконувалися на лазері Visumax (Carl Zeiss Mediatec, Німеччина). Ексимерлазерна частина корекції за методом FEMTO-LASIK виконувалася на лазері Allegretto Wave Light EX 500 (Alcon, США). Досягнення рефракційного результату оцінювалось на 1-й день, через 10 днів та через 1 місяць після операції. Усі досліджувані очі мали кориговану гостроту зору 1,0, що відповідає показникам рефрактометрії. У результаті проведеного хірургічного лікування на всіх прооперованих очах досягнуто значне підвищення гостроти зору без корекції. Цікаві дані отримані при вивченні змін офтальмотонусу. Відомо, що показники ВОТ деякою мірою залежать від пружно-еластичних властивостей рогівки та її товщини. Тому основною причиною неточностей при вимірюванні ВОТ після перенесених кераторефракційних втручань є значні зміни топографії рогівки, її товщини та міцнісних властивостей, особливо це стосується тонометрії за Гольдманом, результати якої залежать також і від кривизни рогівки, яка суттєво змінюється після рефракційної хірургії. Вважається, що при апланаційній тонометрії за Гольдманом послаблення рефракції на кожні 3 Д приводить до зниження внутрішньоочного тиску на 1 мм рт.ст., тоді як показники пневмотонометрії суттєво не змінюються. У нашому дослідженні показники ВОТ, що визначалися методом пневмотонометрії, теж знижувалися, причому вже наступного дня після операції, з поступовим відновленням на 10-й день та подальшим зниженням через місяць після рефракційної корекції.

Ключові слова: міопія; міопічний астигматизм; офтальмотонус; рогівковий гістерезис; фактор резистентності рогівки; рефракційна хірургія; FEMTO-LASIK; ReLEx SMILE

Вступ

Порушення рефракції, а саме міопія та міопічний астигматизм, є найчастішою причиною звернення до рефракційних хірургів. Як правило, це молоді, соціально активні люди, які бажають позбутися необхідності користування окулярами чи контактними лінзами. Розвиток лазерних технологій та удосконалення операційних технік привели до того, що на сьогодні рефракційна хірургія стала пріоритетним вибором для корекції міопії та міопічного астигматизму [1] у пацієнтів старше від 18 років. Головним напрямком у розробці нових лазерних методик є використання безпечних видів корекції, які б давали прогнозований результат та забезпечували швидкий і безболісний реабілітаційний період [2]. Під такі критерії підпадають методи ReLEx (Femtosecond Lenticule Extraction), а сьогодні це ReLEx SMILE: видалення сформованої фемтосекундним лазером рогівкової оптичної лінзи (лентикули) через невеликий рогівковий розріз, та FEMTO-LASIK (Laser-Assisted in Situ Keratomileusis — «лазерний кератомільоз»). Технологія FEMTO-LASIK заснована на поєднанні фемтосекундного формування рогівкового клаптя та випаровування рогівкової поверхні за допомогою ексимерлазерної технології. При цьому відбувається ослаблення біомеханічних властивостей рогівки [3, 4], що може призвести до певних обмежень у повсякденному житті та, інколи, виключення контактних видів спорту.

Технологія ReLEx SMILE є подальшим розвитком фемтосекундних технологій. Під час втручання за спеціально розробленим алгоритмом проводиться два високоточні лазерні розрізи тканини рогівки, унаслідок чого в стромі рогівки формується рогівковий диск (лентикула), який видаляється через невеликий поверхневий розріз. Це дозволяє пацієнтам отримати не лише максимально можливий функціональний результат, але й значно скоротити терміни реабілітації [5, 6]. Вважається, що така технологія менше впливає на зміни міцнісних характеристик рогівки, тому є більш безпечною.

До недавнього часу визначення біомеханічних властивостей фіброзної оболонки ока *in vivo* становило великі труднощі. Зараз для неінвазивного вимірювання пружних властивостей рогівки використовується аналізатор очної відповіді (Ocular Response Analyzer, ORA, США), який дає можливість визначити показник корнеального гістерезису (КГ), тобто умовну величину, що відображає здатність рогової оболонки поглинати енергію повітряного імпульсу і характеризує її пружно-еластичні властивості. Встановлено, що корнеальний гістерезис у здорових осіб становить у середньому 11 мм рт.ст. та не має суттєвої різниці у чоловіків та жінок [7]. Фактор резистентності рогівки (ФРП) характеризує її пружні властивості та прямо корелює з її товщиною.

І.В. Шаргородська при вивченні характеристик рогівки після проведення ексимерлазерних операцій вказує, що застосування аналізатора біомеханічних властивостей ока (ORA) в одних і тих самих пацієнтів дозволяє лише констатувати наявність деяких тенден-

цій до змін цих показників, які автор характеризує як статистично незначимі і такі, що не дозволяють диференціювати характер цих змін.

Що стосується змін властивостей рогівки при застосуванні фемтолазерних технологій, то дані літератури свідчать про менший вплив методики ReLEx SMILE на зміни показників пружності рогівки [9], однак не визначена доцільність аналізу цих показників при виборі методу оперативного втручання на очах з міопією та міопічним астигматизмом, що й зумовило актуальність проведення даного дослідження.

Мета: підвищення якості хірургічного лікування міопії та міопічного астигматизму шляхом уточнення показань до вибору методу корекції на основі визначення показників рогівкового гістерезису та фактора резистентності рогівки.

Матеріали та методи

Проаналізовано результати оперативного лікування 40 пацієнтів (80 очей) з міопією слабкого та середнього ступеня та міопічним астигматизмом, яким була виконана корекція зору методами ReLEx SMILE та FEMTO-LASIK у клініці сучасної офтальмології «Візуз» (м. Запоріжжя), що є клінічною базою кафедри офтальмології Запорізького державного медичного університету.

Критеріями включення в дослідження були: наявність міопії до -6 дптр, міопічного астигматизму до $-4,0$ дптр; товщина рогівки > 500 мк, інформована згода на проведення лазерної корекції зору та участь у дослідженні.

Критеріями виключення — мінімальна центральна товщина рогівки менше ніж 500 мк; метаболічні порушення, захворювання щитоподібної залози; гострі та хронічні запальні захворювання ока, глаукома, катаракта; перенесені раніше корекції порушень рефракції.

Серед пацієнтів було 16 чоловіків (40 %) та 24 жінки (60 %) віком від 19 до 38 років (середній вік $27,28 \pm 1,08$ року). Усім пацієнтам проводились стандартні офтальмологічні обстеження (візометрія, авторефрактометрія, біомікроскопія, пряма офтальмоскопія, периметрія) та рефракційна діагностика, яка включала оцінку біомеханічних властивостей рогівки і вимірювання внутрішньоочного тиску (ВОТ), проведене з урахуванням індивідуальних властивостей тканин рогівки на Ocular Response Analyzer (ORA) виробництва Reichert, США), кератотопографію з пахіметрією на діагностичному приладі Orbscan Pz, (Bausch&Lomb Incorporated, США), оптичну когерентну томографію переднього відрізка ока (Visante OCT, Karl Zeiss Mediatec, Німеччина), оптичну біометрію оптичним біометром IOL Master 700 (Karl Zeiss Mediatec, Німеччина). Фемтосекундні втручання виконувалися на лазері Visumax (Carl Zeiss Mediatec, Німеччина). Ексимерлазерна частина корекції за методом FEMTO-LASIK виконувалася на лазері Allegretto Wave Light EX 500 (Alcon, США). Досягнення рефракційного результату оцінювалось на 1-й день, через 10 днів та через 1 місяць після операції.

Досліджувані пацієнти були розподілені на 2 групи залежно від обраного методу корекції аномалій рефракції. Першу групу становили 25 пацієнтів (50 очей), яким була виконана корекція зору методом ReLEx SMILE. Серед них на 25 очах (50 %) була міопія слабого ступеня, на 25 очах (50 %) — середнього ступеня. До другої групи були віднесені 15 пацієнтів (30 очей), яким була проведена корекція зору методом FEMTO-LASIK. Серед них на 15 очах (50 %) була міопія слабого ступеня та на 15 очах (50 %) — міопія середнього ступеня. За віком, статтю та ступенем міопії обидві групи були порівнянними.

Стандартний післяопераційний супровід включав місцеве застосування стероїдних протизапальних засобів, антибактеріальних препаратів та натрію гіалуронату (0,15 %) у вигляді очних крапель.

Статистична обробка отриманих даних проводилась із розрахунком середньої арифметичної варіаційного ряду (M) та її стандартної помилки (m). Для порівняння кількісних величин у парних рядах використовували t -критерій Стьюдента з попередньою оцінкою нормальності розподілу у варіаційному ряду. За відсутності нормального розподілу величин у досліджуваних вибірках застосовувався непараметричний критерій Манна — Уїтні. Відмінності вважалися вірогідними при $p < 0,05$. Систематизація матеріалу і подання результатів розрахунків виконувалися з використанням статистичного пакета електронних програм Microsoft Excel 2017, Statistica® for Windows 10.0 (Stat Soft Inc.).

Результати

Аналіз результатів дослідження показав, що досліджувані групи були порівнянними за статтю та віком, некоригованою гостротою зору та рефракцією за вихідними даними. Усі досліджувані очі мали кориговану гостроту зору 1,0, що відповідає показникам рефрактометрії. У результаті проведеного хірургічного лікування на всіх прооперованих очах досягнуто значне підвищення гостроти зору без корекції (рис. 1).

Так, гострота зору до операції в 1-й групі становила $0,100 \pm 0,006$ Од без корекції при міопії слабого ступеня та $0,060 \pm 0,003$ Од без корекції при міопії середнього ступеня. Після проведеного втручання за методом ReLEx SMILE вже наступного дня гострота зору без корекції становила $0,89 \pm 0,01$ Од ($p < 0,05$) (поліпшення на 79 %) при міопії слабого ступеня та $0,95 \pm 0,01$ Од ($p < 0,05$) (поліпшення на 89 %) при міопії середнього ступеня. Через 1 місяць після втручання зберігалася висока некоригована гострота зору $0,980 \pm 0,001$ Од ($p < 0,05$) при міопії слабого ступеня та $0,980 \pm 0,007$ Од ($p < 0,05$) при міопії середнього ступеня.

У 2-й групі, у якій оперативне втручання проводилося за методом FEMTO-LASIK, також зазначено значне підвищення некоригованої гостроти зору вже наступного дня після операції. Показники гостроти зору при міопії слабого ступеня підвищилися на 70 %, з $0,19 \pm 0,30$ Од до $0,89 \pm 0,08$ Од ($p < 0,05$), при міопії

середнього ступеня збільшення гостроти зору спостерігалось на 88 % — з $0,070 \pm 0,001$ Од до $0,95 \pm 0,01$ Од ($p < 0,05$). Через 1 місяць після втручання зберігався хороший рефракційний результат — некоригована гострота зору становила $0,98 \pm 0,01$ Од ($p < 0,05$) при міопії слабого ступеня та $0,95 \pm 0,02$ Од ($p < 0,05$) при міопії середнього ступеня. Різниця між відповідними показниками у 1-й та 2-й групі через 1 місяць після операції невірогідна, у всіх випадках $p > 0,05$.

Далі були вивчені зміни офтальмотонусу та біомеханічних властивостей рогівки на прооперованих очах. Результати досліджень, одержані за допомогою аналізатора біомеханічних властивостей рогівки (ORA), наведені в табл. 1.

Привертає увагу вірогідне зниження показників ВОТ за Гольдманом наступного дня після операції в 1-й групі на 26,5 % при міопії слабого ступеня (з $15,64 \pm 0,55$ мм рт.ст. до $11,50 \pm 0,28$ мм рт.ст. ($p < 0,05$)) та на 34,7 % при міопії середнього ступеня (з $14,70 \pm 0,59$ мм рт.ст. до $9,6 \pm 0,3$ мм рт.ст. ($p < 0,05$)). Вказані показники залишаються зниженими і через місяць спостереження ($10,6 \pm 1,6$ мм рт.ст. та $9,5 \pm 0,6$ мм рт.ст. відповідно при міопії слабого та середнього ступеня), хоча на 10-й день після втручання спостерігається тенденція до відновлення показників ВОТ майже до вихідних величин ($14,7 \pm 0,8$ мм рт.ст. при міопії слабого ступеня та $12,8 \pm 0,6$ мм рт.ст. при міопії середнього ступеня).

Аналогічне зниження показників ВОТ за Гольдманом наступного дня після операції спостерігалось і в 2-й групі, у якій корекція виконувалась за методом FEMTO-LASIK. При міопії слабого ступеня ВОТ знизився на 27,1 % (з $16,45 \pm 0,40$ мм рт.ст. до $12,0 \pm 0,9$ мм рт.ст. ($p < 0,05$)), а при міопії середнього ступеня — на 31,6 % (з $16,5 \pm 0,9$ мм рт.ст. до $11,3 \pm 0,4$ мм рт.ст. ($p < 0,05$)). Через 10 днів після втручання ВОТ також

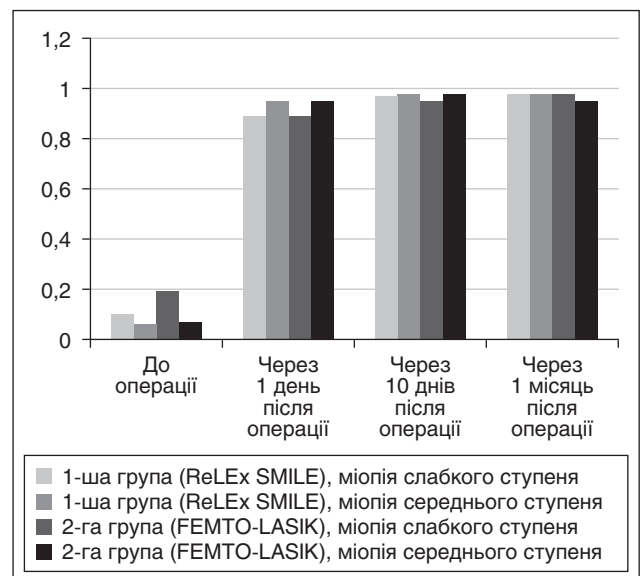


Рисунок 1. Динаміка гостроти зору на очах з міопією та міопічним астигматизмом до та після рефракційної хірургії методами ReLEx SMILE та FEMTO-LASIK

дещо підвищився ($12,25 \pm 0,20$ мм рт.ст. та $14,4 \pm 1,3$ мм рт.ст. при міопії слабкого та середнього ступеня відповідно), однак через місяць спостереження так само, як і в 1-й групі, відмічалася тенденція до зниження цих показників ($11,9 \pm 0,4$ мм рт.ст. при міопії слабкого ступеня та $11,7 \pm 0,7$ мм рт.ст. при міопії середнього ступеня).

Така ж динаміка спостерігається і при аналізі показників рогівково-компенсованого внутрішньоочного тиску в обох групах (табл. 1).

На тлі зниження внутрішньоочного тиску на всіх прооперованих очах, незалежно від методу корекції, знижуються і міцнісні показники рогової оболон-

ки. Так, показник фактора резистентності рогівки на очах з міопією слабкого ступеня знизився на 28,5 % ($10,5 \pm 0,2$ до $7,74 \pm 0,17$) при застосуванні методики ReLEx SMILE і на 21,5 % ($11,6 \pm 0,2$ до $8,6 \pm 0,3$) — при застосуванні методики FEMTO-LASIK. На очах з міопією середнього ступеня наступного дня після операції ФПП зменшився на 33,5 % ($11,05 \pm 0,30$ до $6,8 \pm 0,2$) при виконанні ReLEx SMILE і на 26,4 % ($10,60 \pm 1,12$ до $7,5 \pm 0,5$) — при виконанні FEMTO-LASIK. У подальшому спостерігається незначне відновлення вказаних показників, однак і через місяць після хірургічного втручання зберігається їх значний дефіцит.

Таблиця 1. Показники офтальмотонусу, рогівкового гістерезису та фактора резистентності рогівки на очах з міопією та міопічним астигматизмом до та після рефракційної хірургії методами RELEX SMILE та FEMTO-LASIK ($M \pm m$)

Показники		Ступінь міопії	До операції	Через 1 день після операції	Через 10 днів після операції	Через 1 місяць/ Ступінь зниження (%)
ВОТ за Гольдманом (мм рт.ст.)	1-ша група (ReLEx SMILE), n = 50	Слабкий	$15,64 \pm 0,55$	$11,50 \pm 0,28^*$	$14,7 \pm 0,8$	$10,6 \pm 1,6^{***}$ 26,5
		Середній	$14,70 \pm 0,59$	$9,6 \pm 0,3^*$	$12,8 \pm 0,6$	$9,5 \pm 0,6^{***}$ 34,7
	2-га група (FEMTO-LASIK), n = 30	Слабкий	$16,45 \pm 0,40$	$12,0 \pm 0,9^*$	$12,25 \pm 0,20^{**}$	$11,9 \pm 0,4^{***}$ 27,1
		Середній	$16,5 \pm 0,9$	$11,3 \pm 0,4^*$	$14,4 \pm 1,3$	$11,7 \pm 0,7^{***}$ 31,6
Рогівково-компенсований ВОТ (мм рт.ст.)	1-ша група (ReLEx SMILE), n = 50	Слабкий	$15,95 \pm 0,68$	$14,40 \pm 0,27$	$15,60 \pm 1,08$	$13,6 \pm 1,6^{***}$ 14,7
		Середній	$14,2 \pm 0,6$	$13,2 \pm 0,3$	$13,8 \pm 0,4$	$11,5 \pm 0,7$ 19
	2-га група (FEMTO-LASIK), n = 30	Слабкий	$15,5 \pm 0,6$	$12,9 \pm 0,8^*$	$13,4 \pm 0,6$	$11,2 \pm 0,2^{***}$ 27,7
		Середній	$16,03 \pm 0,30$	$11,7 \pm 0,4^*$	$13,4 \pm 0,5^{**}$	$11,3 \pm 0,3^{***}$ 29,5
ФПП (мм рт.ст.)	1-ша група (ReLEx SMILE), n = 50	Слабкий	$10,5 \pm 0,2$	$7,74 \pm 0,17^*$	$8,08 \pm 0,20$	$7,5 \pm 0,2$ 28,5
		Середній	$11,05 \pm 0,30$	$6,8 \pm 0,2^*$	$7,5 \pm 0,3^{**}$	$7,34 \pm 0,40^{***}$ 33,5
	2-га група (FEMTO-LASIK), n = 30	Слабкий	$11,6 \pm 0,2$	$8,6 \pm 0,3^*$	$8,7 \pm 0,3$	$9,1 \pm 0,1$ 21,5
		Середній	$10,60 \pm 1,12$	$7,5 \pm 0,5$	$7,7 \pm 0,1$	$7,8 \pm 0,3$ 26,4
КГ (мм рт.ст.)	1-ша група (ReLEx SMILE), n = 50	Слабкий	$10,50 \pm 0,27$	$8,60 \pm 0,16$	$8,06 \pm 0,20$	$8,7 \pm 0,2$ 17,1
		Середній	$11,4 \pm 0,2$	$8,2 \pm 0,2^*$	$7,90 \pm 0,34^{**}$	$8,84 \pm 0,40$ 22,4
	2-га група (FEMTO-LASIK), n = 30	Слабкий	$11,5 \pm 0,3$	$9,8 \pm 0,4$	$9,2 \pm 0,7$	$10,4 \pm 0,1$ 9,5
		Середній	$10,3 \pm 0,9$	$8,0 \pm 0,2$	$8,7 \pm 0,3$	$9,4 \pm 0,2$ 8,7

Примітки: * — вірогідна різниця ($p < 0,05$) між відповідними показниками до операції та через 1 день після операції; ** — вірогідна різниця ($p < 0,05$) між відповідними показниками до операції та через 10 днів після операції; *** — вірогідна різниця ($p < 0,05$) між відповідними показниками до операції та через 1 місяць після операції.

Так, при міопії слабого ступеня показник ФРР на 28,5 % менший за його вихідні значення на очах, прооперованих методом ReLEx SMILE і на 21,5 % менший від вихідного на очах, прооперованих методом FEMTO-LASIK. При міопії середнього ступеня показник ФРР через місяць на 33,5 % нижчий від вихідного на очах, прооперованих за методом ReLEx SMILE, та на 26,4 % нижчий на очах, прооперованих методом FEMTO-LASIK.

Зниження спостерігається і при аналізі змін показника корнеального гістерезису. Він також знижується вже наступного дня після втручання, незалежно від стадії міопії та обраного методу корекції, причому і через 10 днів, і через місяць після операції всі показники КГ майже не відрізняються від таких на 1-й день після операції (у всіх випадках різниця показників невірогідна, $p > 0,05$).

Обговорення

Аналізуючи результати проведених досліджень, слід зазначити, що незалежно від обраного методу рефракційної операції з використанням енергії фемтосекундного лазера — ReLEx SMILE чи FEMTO-LASIK відбуваються значні зміни як у показниках, що характеризують міцнісні властивості рогівки, так і в показниках офтальмотонусу. На незначне зниження показників фактора резистентності рогівки та корнеального гістерезису при фемтолазерних технологіях вказували і інші дослідники (Шаргородська І.В., 2016; Agca A. et al., 2014; Iben B.P. et al., 2014) [3, 8, 10]. Причому більшість із них вказують на відсутність вірогідної різниці в динаміці цих показників залежно від способу формування рогівкового лоскута при LASIK чи FEMTO-LASIK — механічного (за допомогою мікрокератома) чи фемтолазерного (з використанням фемтосекундного лазера) (Hashemi H. et al., 2014; El-Mayah E. et al., 2018) [1, 2]. У нашому дослідженні через місяць після операції показник ФРР був значно нижчий при використанні методики ReLEx SMILE. Його дефіцит на очах, прооперованих за цим методом, у середньому становив 28,5 % проти 17,4 % на очах, прооперованих за методом FEMTO-LASIK (різниця вірогідна, $p < 0,05$). Цікавим є також факт динаміки ФРР протягом першого післяопераційного місяця. Найбільше зниження фіксувалося наступного дня після втручання з частковим поступовим відновленням на кінець місяця спостереження.

Показник корнеального гістерезису також знижується на прооперованих очах. Тенденція його змін така ж сама, як і показника ФРР. На очах, прооперованих за методом ReLEx SMILE, через місяць після операції середній дефіцит значення КГ становив 19,8 %, тоді як на очах, прооперованих за методом FEMTO-LASIK, його дефіцит становив 9,1 % (різниця вірогідна, $p \leq 0,05$). На відміну від ФРР показник КГ практично не змінювався протягом місячного періоду спостереження і через 30 днів залишався в межах значень, отриманих одразу після оперативного втручання, незалежно від його методу.

Цікаві дані отримані при вивченні змін офтальмотонусу. Відомо, що показники внутрішньоочного тиску деякою мірою залежать від пружно-еластичних

властивостей рогівки та її товщини. Тому основною причиною неточностей при вимірюванні внутрішньоочного тиску після перенесених кераторефракційних втручань є значні зміни топографії рогівки, її товщини та міцнісних властивостей, особливо це стосується тонометрії за Гольдманом, результати якої залежать також і від кривизни рогівки, яка суттєво змінюється після рефракційної хірургії. Вважається, що при аплакатичній тонометрії за Гольдманом послаблення рефракції на кожні 3 Д призводить до зниження внутрішньоочного тиску на 1 мм рт.ст., тоді як показники пневмотонометрії суттєво не змінюються. У нашому дослідженні показники ВОР, що визначалися методом пневмотонометрії, теж знижувалися, причому вже наступного дня після операції, з поступовим відновленням на 10-й день та подальшим зниженням через місяць після рефракційної корекції. Причому зниження показників ВОР теж було зафіксоване більше після застосування методики ReLEx SMILE (на 32,2 та 35,3 % при міопії слабого та середнього ступеня відповідно), ніж при застосуванні методики FEMTO-LASIK (на 27,6 % при міопії слабого ступеня та на 29 % при міопії середнього ступеня). Одержані дані дещо не узгоджуються з даними деяких авторів про стабільність показників пневмотонометрії після рефракційних операцій. Можливо, така різниця пов'язана із застосуванням різних рефракційних методик, тому що дані про стабільність показників пневмотонометрії були одержані при використанні в основному поверхневих корекцій, таких як фото-рефракційна кератектомія. З огляду на вплив товщини рогівки, її кривизни та міцнісних характеристик склери, що змінюються при проведенні рефракційних операцій, найбільш надійними є показники рогівково-компенсованого внутрішньоочного тиску, які враховують вплив вищезазначених змін. При оцінюванні цих показників була відмічена зворотна тенденція, тобто більше зниження рогівково-компенсованого тиску відбувалося при використанні методики FEMTO-LASIK (на 27,7 та 29,5 % відповідно при міопії слабого та середнього ступеня), ніж при використанні технології ReLEx SMILE (14,7 % при міопії слабого ступеня та 19 % при міопії середнього ступеня). Привертає увагу також і той факт, що на 10-й день після операції показники рогівково-компенсованого тиску трохи збільшуються, потім знову відмічається тенденція до їх зниження. Це може свідчити про наявність інших факторів впливу на формування цього показника, і його динаміка може бути спричинена не тільки змінами кривизни та товщини рогівки. На наш погляд, одним із таких факторів може бути безпосередній вплив на судинну систему ока дії вакууму під час роботи фемтолазера (у середньому час вакуумізації становить 20–30 с).

Висновки

1. Застосування фемтосекундних технологій у рефракційній хірургії дозволяє досягти доброго рефракційного результату при використанні як методу FEMTO-LASIK, так і ReLEX SMILE.

2. Обидві технології супроводжуються зниженням міцнісних характеристик рогової оболонки вже в 1-й день після операції, однак їх відновлення відбувається швидше при застосуванні методики FEMTO-LASIK (дефіцит КГ на кінець 1-го місяця спостереження при застосуванні методики ReLEX SMILE становить 19,78 проти 9,1 % при FEMTO-LASIK), що може бути пов'язано з різним перебігом репаративних процесів при різних технологіях.

3. Використання методик FEMTO-LASIK і ReLEX SMILE супроводжується зниженням внутрішньоочно-го тиску вже наступного дня після оперативного втручання, що залежить від ступеня міопії, відновлюється до майже вихідних показників на 10-й день після операції та знову знижується через місяць після операції.

4. Динаміка показника рогівково-компенсовано-го внутрішньоочного тиску свідчить про можливість впливу на цей показник інших факторів, окрім товщини та кривизни рогової оболонки. Одним із таких факторів може бути вплив вакууму на судинне русло ока під час роботи фемтосекундного лазера.

Конфлікт інтересів. Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів та власної фінансової зацікавленості при підготовці даної статті.

Інформація про внесок кожного автора. *Завгородня Н.Г.* — концепція і дизайн дослідження, написання тексту; *Дорошенко Ю.Ю.* — збір та обробка матеріалів, написання тексту.

Список літератури

1. El-Mayah E., Anis M., Salem M., Pinero D., Hosny M. Comparison Between Q-Adjusted LASIK and Small Incision Lenticule Extraction for Correction of Myopia and Myopic Astigmatism. *Eye Contact Lens*. 2018 Nov. 44 Suppl 2. S426-S432. DOI: 10.1097/ICL.0000000000000532.
2. Hashemi H., Mirafteb M., Ghaffari R., Asgari S. Femtosecond-Assisted LASIK Versus PRK: Comparison of 6-Month Visual Acuity and Quality Outcome for High Myopia. *Eye Contact Lens*. 2016. DOI: 10.1097/ICL.0000000000000216.
3. Agca A., Ozgurhan E.B., Demirok A., Bozkurt E., Celik U., Ozkaya A., Cankaya I., Yilmaz O.F. Comparison of corneal hysteresis and corneal resistance factor after small incision lenticule extraction and femtosecond laser-assisted LASIK: a prospective fellow eye study. *Cont. Lens Anterior Eye*. 2014. 37. (2). 77-80. DOI: 10.1016/j.clae.2013.05.003.
4. Cartwright N.E., Tyrer J.R., Jaycock P.D., Marshall J. Effects of variation in depth and side cut angulations in LASIK and thin-flap LASIK using a femtosecond laser: a biomechanical study. *J. Refract. Surg*. 2012. 28. (6). 419-425. DOI: 10.3928/1081597X-20120518-07.
5. Sekundo W., Kunert K.S., Blum M. Small incision corneal refractive surgery using the small incision lenticule extraction

(SMILE) procedure for the correction of myopia and myopic astigmatism: results of a 6 month prospective study. *Br. J. Ophthalmol*. 2011. 95. (3). 355-359.

6. Zhou X.T., Dong Z.X., Yao P.J., Zu Y., Xu H.P. The clinical study of femtosecond lenticule extraction for myopia. *Chinese Journal of Ophthalmology*. 2011. 47(7). P. 584-588.

7. Doughty M.J., Zaman M.L. Human corneal thickness and its impact on intraocular pressure measures: a review and meta-analysis approach. *Survey of Ophthalmology*. 2000 Mar-Apr. 44(5). 367-408. DOI: 10.1016/s0039-6257(00)00110-7.

8. Шаргородська І.В. Порівняльний аналіз вимірювання біомеханічних показників рогівки при застосуванні різних методів. *Архів офтальмології України*. 2016. № 4 (1). С. 61-66.

9. Di Wu, Yan Wang, Lin Zhang, Shengsheng Wei, Xin Tang. Corneal biomechanical effects: small-incision lenticule extraction versus femtosecond laser-assisted laser in situ keratomileusis. *J. Cataract. Refract. Surg*. 2014 Jun. 40(6). 954-62. DOI: 10.1016/j.jcrs.2013.07.056.

10. Pedersen I.B., Bak-Nielsen S., Vestergaard A.H., Ivarsen A., Hjortdal J. Corneal biomechanical properties after LASIK, ReLEX flex, and ReLEX smile by Scheimpflug-based dynamic tonometry. *Graefes Arch. Clin. Exp. Ophthalmol*. 2014 Aug. 52(8). 1329-35. DOI: 10.1007/s00417-014-2667-6.

11. Hua Li, Yan Wang, Rui Dou, Pinghui Wei, Jiamei Zhang, Wei Zhao, Liuyang Li. Intraocular Pressure Changes and Relationship With Corneal Biomechanics After SMILE and FS-LASIK. *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci*. 2016 Aug 1. 57(10). 4180-6. DOI: 10.1167/iovs.16-19615.

12. Chen M.C., Lee N., Bourla N., Hamilton D.R. Corneal biomechanical measurements before and after laser in situ keratomileusis. *J. Cataract. Refract. Surg*. 2008 Nov. 34(11). 1886-91. DOI: 10.1016/j.jcrs.2008.06.035.

13. Lin Zhang, Yan Wang, Xiaoyan Yang. Ablation depth and its effects on corneal biomechanical changes in laser in situ keratomileusis and epipolis laser in situ keratomileusis. *Int. Ophthalmol*. 2014 Apr. 34(2). 157-64. DOI: 10.1007/s10792-013-9798-3. Epub 2013 Jun 9.

14. Uthoff D., Hebestedt K., Duncker G.I.W., Spörl E. Influence of corneal biomechanical properties on myopic regression after laser in situ keratomileusis. *Controlled Clinical Trial Ophthalmology*. 2013 Jan. 110(1). 41-7. DOI: 10.1007/s00347-012-2633-9.

15. Ihab Mohamed Osman, Hany Ahmed Helaly, Moones Abdalla, Mohsen Abou Shousha. Corneal biomechanical changes in eyes with small incision lenticule extraction and laser assisted in situ keratomileusis. *BMC Ophthalmol*. 2016 Jul 26. 16. 123. DOI: 10.1186/s12886-016-0304-3.

16. Fang Fan, Congyi Li, Yuehua Li, Xuanchu Duan, Dongning Pan. Intraocular pressure instrument reading comparisons after LASIK. *Optom. Vis. Sci*. 2011 Jul. 88(7). 850-4. DOI: 10.1097/OPX.0b013e31821909df.

Отримано/Received 15.11.2022

Рецензовано/Revised 30.11.2022

Прийнято до друку/Accepted 06.12.2022 ■

Information about authors

N.G. Zavgornodnia, MD, PhD, Professor; Head of the Ophthalmology Department, Zaporizhzhia State Medical University; e-mail: nataliyamail1@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-5678-4196>
Y.Y. Doroshenko, Master of Medicine, PhD-graduate student of the Ophthalmology Department, Zaporizhzhia State Medical University; e-mail: doroshenkovisus@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-7565-5314>

Conflicts of interests. Authors declare the absence of any conflicts of interests and own financial interest that might be construed to influence the results or interpretation of the manuscript.

N.G. Zavgorodnia, Y.Y. Doroshenko
Zaporizhzhia State Medical University, Zaporizhzhia, Ukraine
Clinic of Modern Ophthalmology "Visus", Zaporizhzhia, Ukraine

Dynamics of indicators of ophthalmotonus, corneal hysteresis and corneal resistance factor in eyes with myopia and myopic astigmatism during refractive surgery using FEMTO-LASIK and ReLEx SMILE methods in the early postoperative period

Abstract. The development of laser technologies and an improvement of surgical techniques have led to the fact that today refractive surgery has become a priority choice for the correction of myopia and myopic astigmatism in patients older than 18 years. The main direction in the development of new laser techniques is the use of safe types of correction that would give a predictable result and ensure a quick and painless rehabilitation period. We have analyzed the results of surgical treatment of 40 patients (80 eyes) with mild and moderate myopia and myopic astigmatism who underwent vision correction using the ReLEx SMILE and FEMTO-LASIK methods in the clinic of modern ophthalmology "Visus" (Zaporizhzhia), which is the clinical base of the Department of Ophthalmology of Zaporizhzhia State Medical University. Among patients, there were 16 men (40 %) and 24 women (60 %) aged 19 to 38 years (average of 27.28 ± 1.08 years). All of them underwent standard ophthalmological and refractive diagnosis, which included assessment of the biomechanical properties of the cornea and measurement of intraocular pressure (IOP) carried out taking into account the individual properties of corneal tissues on the Ocular Response Analyzer (Reichert, USA). Femtosecond interventions were performed on the VisuMax laser (Carl Zeiss Meditec, Germany). The excimer laser part of the FEMTO-LASIK correction was performed on an Allegretto WaveLight EX500 laser

(Alcon, USA). Refractive outcome was assessed on the first day, 10 days, and 1 month after surgery. All studied eyes had a corrected visual acuity of 1.0, which corresponded to refractometry indicators. As a result of the surgical treatment, a significant increase in visual acuity was achieved in all operated eyes without correction. Interesting data were obtained when studying changes in ophthalmotonus. It is known that IOP to some extent depend on the elastic properties of the cornea and its thickness. Therefore, the main cause of inaccuracies in measuring IOP after keratorefractive interventions are significant changes in the topography of the cornea, its thickness and strength properties. This is especially true for Goldmann tonometry whose results also depend on the corneal curvature, which changes significantly after refractive surgery. It is believed that during Goldmann applanation tonometry, a weakening of refraction for every 3 D leads to a decrease in intraocular pressure by 1 mmHg, while pneumotonometry indicators do not change significantly. In our study, the IOP indicators determined using pneumotonometry also reduced, already the day after surgery, with a gradual recovery on the tenth day and a subsequent decrease a month after refractive correction.

Keywords: myopia; myopic astigmatism; ophthalmotonus; corneal hysteresis; corneal resistance factor; refractive surgery; FEMTO-LASIK, ReLEx SMILE