

УДК 33**Экономические аспекты применения технологий ИИ в медицине:
на примере технологии фемтосекундного лазера в
офтальмохирургии****Торосян Марлен Саакович**

Магистрант,
Воронежский государственный технический университет,
394026, Российская Федерация, Воронеж, пр. Московский, 14;
e-mail: torosyan.marlen@yandex.ru

Аннотация

Цель работы – экономических аспектов применения технологий ИИ в медицине на примере возможных рисков во время процедуры создания флэпа, масштабов влияния несостоявшихся резекций из-за неконтролируемых факторов. Модернизация модулей для исключения рисков неверной резекции под действием вакуума. Методы, модули, параметры и алгоритмы позволяющие проводить контроль с помощью искусственного интеллекта над процессом резекции, на базе нового программного обеспечения, а также дополнительных датчиков, камер. Интеграция технологии Фемтосекундного лазера в офтальмохирургию. Автоматизированный трекинг, обнаружение и фиксации зоны резекции роговицы в режиме реального времени, слежение за движением роговицы во время процедуры на Фемтосекундном лазере, с последующим предотвращением пропуска или наложения в зонах резекции и обеспечение контроля над процессом создания флэпа. Применение искусственного интеллекта (ИИ) в наши дни в процедурах, где он необходим, было бы решением многих проблем, в частности связанных с процедурой резекции роговицы. В основу ИИ входит само внедрение автоматизированной системы трекинга, которая и будет фиксировать, отслеживать, и давать возможность в продолжение процедуры резекции с помощью алгоритмов, в уже существующую ФЛ установку, для проведения манипуляций. Это направленно не только на усовершенствование технологий, но и на выполнение задач, которые стоят перед всеми медицинскими вмешательствами – это уменьшение рисков, осложнений и проведения повторных процедур, в данном случае резекций роговицы, которые выполняются на ФЛ установках.

Для цитирования в научных исследованиях

Торосян М.С. Экономические аспекты применения технологий ИИ в медицине: на примере технологии фемтосекундного лазера в офтальмохирургии // Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2024. Том 14. № 4А. С. 822-827.

Ключевые слова

Фемтосекундный лазер, резекция роговицы, автоматизация, искусственный интеллект, искусственный интеллект.

Введение

Коррекция зрения – это изменение оптических свойств глаза путем использования различных хирургических методов на сегодняшний день. Одним из таких методов является – Фемтоласик с использованием Фемтосекундного лазера (ФЛ). Суть процедуры заключается в том, чтобы световые лучи точно фокусировались на сетчатке, что увеличивает показатели рефракции зрения.

Фемтосекундные лазеры (ФЛ) широко используются в офтальмологии для коррекции зрения, в частности, для лазерной коррекции аномалий рефракции, имплантации интраокулярных линз, хирургии катаракты и других целей. Проведения процедур не имеют ограничений в манипуляции на глазу, в данный аппаратный комплекс семейства ФЛ возможно включение любой процедуры, даже такой как Smile, где создается «карман». В статье рассматривается процедура FemtoLasik, так как есть возможность проведения лазерной абляции по индивидуальной топографической карте роговицы пациента, это особенно актуально при декорациях после замена хрусталика на линзу, либо, когда было выполнена процедура FemtoLasik / Lasik. По сравнению Lasik с использованием микрокератома, ФЛ обеспечивают более точный и визуализированный процесс создания роговичных лоскутов заданной толщины. Они также позволяют легко исправить ошибки при неудачном формировании лоскута, например, при срыве вакуумного кольца или смещении глаза пациентом.

Однако проблема смещения глаза во время процедуры по-прежнему актуальна. Она может возникать по нескольким причинам:

- высокая исходная кривизна роговицы;
- большая разница в сагиттальной и горизонтальной кривизне роговицы;
- неправильная установка вакуумного кольца или аппланационного конуса;
- отсутствие контроля пациентом фиксации взгляда (Fork, 1987).

Современные ФЛ (например, FS200 или LDV) поддерживают постоянный уровень вакуума, поэтому при небольшом смещении глаза вакуум «не теряется». Глаз зачастую смещается из-за отсутствия контроля самим пациентом, а также из-за высоких перепадов кривизны роговицы, по ее параметрам горизонтальной и сагиттальной кривизны роговицы, в разнице значений более 3 единиц, что является отклонением от нормы, но проведение процедуры все так же возможно. В подобных случаях возможно не только смещение глаза благодаря постоянному набору вакуума, но и потеря самого вакуума в процессе резекции. В результате, при наличии вакуума, лазер не может отследить это смещение и продолжает движение по заданной траектории относительно «конуса» (расходный материал, то, что давит на глаз пациенту, находящийся между головкой лазера и самим глазом), а не относительно глаза пациента. Либо, при значительном смещении, происходит срыв вакуума, прерывается процедура, ФЛ не фиксирует на каком этапе было выполнено прекращение процедуры резекции, пациент отправляется на реабилитационный период [Svelto, 1989; Simon, 1989; Christov, 1996; Pshenichnikov, 1994].

Проблема является достаточно актуальной, на данный момент решение одно – это восстановление тканей роговицы в течении 1-3 месяцев, при отсутствии осложнений, с повторным полным процессом резекции флэпа на ФЛ. Подобный исход может быть исключен применением искусственного интеллекта, позволяющего регистрировать, сопровождать и фиксировать каждый этапы резекции, что позволит не останавливать процесс, и продолжить резекцию.

Материалы и методы исследования

С выборкой в рефракционной хирургии с численностью 10 000 пациентов, и 40% из которых выбрали процедуру FemtoLasik, было зафиксировано, что каждый третий пациент сталкивался со смещением глаза во время процедуры аппланации, и каждый пятый во время резекции роговицы.

Смещением глаза во время резекции под действием вакуума нельзя пренебрегать, система слежения за глазом могла бы улучшить результаты резекции роговицы при лечении миопии, гиперметропии, астигматизма и иных патологий, связанных с рефракцией зрения. Реализация систем слежения за глазом в процессе лазерной абляции внедрена и успешно используется более десяти лет. Для решения этой проблемы необходимо модернизировать ФЛ, добавив следующие возможности:

- регистрация положения зрачка относительно краев аппланационного конуса после установки;
- функция трекинга;
- отслеживание периметра зрачка и оценка его смещения по осям;
- фиксация этапов и охранение последней точки резекции;
- применение алгоритмов, позволяющих ФЛ в автоматическом режиме следить за положением глаза в допустимых пределах и корректировать движение лазерного луча при смещении, сохраняя выполненную траекторию реза [Rose-Petruck, 1999].

Такая модернизация системы поможет избежать повторных процедур при смещении глаза, а также устранил возможные пропуски или наложения в зонах резекции, что повысит точность и безопасность применения фемтосекундных лазеров в офтальмохирургии.

Важными компонентами являются ИК датчики, которые регистрируют местоположение зрачка и захватывают полученное изображение, основываясь на индивидуальных параметрах каждого глаза, вне зависимости от параметров освещения операционного поля, цвета радужной оболочки и иных факторов. После аппланации первым шагом является фаза диагностики, которая состоит из получения ИК изображения зрачкового контура. Затем следует этап планирования, на котором полученные данные передаются в лазерную систему [Donnenfeld, 2004; Rieke, 2018]. Определяя положение аппланационного пятна, зрачка и возможного диапазона в зоне данной аппланации, система регистрирует возможность слежения за зрачком в случае смещения, а также регистрируются граничные зоны. В случае, если взгляд был достаточно сильно смещен в сторону, лазерная система автоматически прекращает процесс резекции, но с сохранением данных о том, где была выполнена последняя секционная резекция, для ее повтора и продолжения резекции, в случае возможного продолжения операционного процесса.

Правильная схема обработки полученных данных, на которых сможет основываться искусственный интеллект, вшитый в программное обеспечение ФС лазера, очень важен для полного контроля над процессом операционного вмешательства. Чтобы наблюдать и отслеживать движение глаза пациентов во время процедуры, лазер дополнительно оснащается не только ИК датчиками получения и регистрации индивидуальных особенностей, таких как контур роговицы и особенности ее формы, фиксирующими положение глаза, но и дополнительной камерой. Данная камера оснащается системой слежения за глазом, которая фиксирует движение глаза в направлениях по горизонтальной и вертикальной оси. Фиксация изображения оптимизирована для области вокруг зрачка, так как офтальмохирургические процессы всегда центрируются относительно центра зрачка. Рабочая частота систем слежения

составляет не менее 200 Гц, для оптимального обновления и получения данных о выполненных шагах.

Результаты и обсуждение

Оценка и правильный выбор инфракрасного инструмента лазерного аппарата ФЛ играет важную роль в четкости получаемых изображений, на основе которых регистрируется глаз, комбинируются характеристики с помощью программного обеспечения на основе искусственного интеллекта и впоследствии осуществляется управление фемтосекундным лазером.

Использованы формулы расчета значения максимальной энергии для группы импульсов MPE_{SP} .

Максимальная энергия для групп импульсов при одиночном импульсе от $100 \cdot 10^{-15}$ до 10^{-12} секунд:

$$MPE_{SP} = 1.5 * C_C * 10^{-7}, \left(\frac{J}{cm^2} \right), \quad (1)$$

Геометрия воздействия излучения на глаз

За фокальной плоскостью лучи света сходятся в конус с углом θ , который ударяет в плоскость на расстоянии r . Плотность светового потока, наблюдаемая на поверхности, равна F . Свет сходится в конус с углом θ :

$$F = \frac{E}{\pi d^2} = \frac{E}{\pi r^2 \tan^2 \theta}, \quad (2)$$

где E – это значение максимальной энергии при одиночном импульсе.

При средней мощности воздействия, P_{AVG} , интенсивность излучения рассчитывается по формуле 4, исходя из формулы расчета расстояния на одиночный импульс, r_{NOHD} :

$$r_{NOHD} = \left(\frac{P_{AVG}}{\pi (MPE_{AVG}) * \tan^2 \theta} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

$$I = \frac{P_{AVG}}{\pi * d^2} = \frac{P_{AVG}}{\pi * r^2 * \tan^2 \theta}, \quad (4)$$

При допусках от 375 мВт +/- 6,7% от средней мощности лазера очевидно, что одним из лучших вариантов для использования спектрометра является спектрометр ближнего инфракрасного диапазона (БИС), поскольку диапазон длин волн многоимпульсного лазера составляет 1054 нм +/- 10%. Электромагнитный БИК-спектральный диапазон составляет 650-1400 нм. В этом диапазоне камера отражает инфракрасный свет от поверхности объекта. В результате красные, синие и зеленые объекты будут выглядеть на изображении «белыми», а цвета, поглощающие инфракрасное излучение (черный и темные цвета), останутся «черными» на изображении.

See3CAM_CU55M поддерживает технологию БИС с разрешением пикселя 2,2 мкм на 2,2 мкм, что обеспечивает высокое соотношение сигнал/шум и чувствительность при ближнем освещении. See3CAM_CU55M способен формировать высококачественные монохромные изображения при любых условиях освещения и может также использоваться в устройствах ФЛ 150-200 кГц с аналогичной архитектурой.

Принцип работы БИС в ФЛ состоит из следующих этапов:

- Пучок ИК-света направляется на глаз пациента
- Колебательное движение молекул возбуждается электромагнитным излучением. Часть энергии поглощается глазом. Другая часть поглощается детектором.
- Электромагнитное излучение преобразуется в электрический сигнал, с последующей обработкой после передачи на вычислительное устройство. Таким образом создается инфракрасное изображение.

Заключение

Применение искусственного интеллекта (ИИ) в наши дни в процедурах, где он необходим, было бы решением многих проблем, в частности связанных с процедурой резекции роговицы. В основу ИИ входит само внедрение автоматизированной системы трекинга, которая и будет фиксировать, отслеживать, и давать возможность в продолжение процедуры резекции с помощью алгоритмов, в уже существующую ФЛ установку, для проведения манипуляций. Это направленно не только на усовершенствование технологий, но и на выполнение задач, которые стоят перед всеми медицинскими вмешательствами – это уменьшение рисков, осложнений и проведения повторных процедур, в данном случае резекций роговицы, которые выполняются на ФЛ установках.

Библиография

1. Christov I.P. Sub-10-fs operation of Kerr-lens mode-locked lasers // Opt Lett. 1996. 21 (18). 1493-5.
2. Donnenfeld E. The pupil is a moving target: centration, repeatability, and registration // J Refract Surg. 2004. 20(5). S593-6.
3. Fork L. Compression of optical pulses to six femtoseconds by using cubic phase compensation // Opt Lett. 1987. 12(7). 483-5.
4. Prakash G. Surface ablation with iris recognition and dynamic rotational eye tracking-based tissue saving treatment with the Technolas 217z excimer laser // J Refract Surg. 2011. 27(3). P. 223-31.
5. Pshenichnikov M.S. Generation of 13-fs, 5-MW pulses from a cavity-dumped Ti: sapphire laser // Opt Lett. 1994. 19(8). 572-4.
6. Rieke N. Computer Vision and Machine Learning for Surgical Instrument Tracking. 2018.
7. Rose-Petruck C. et al. Picosecond-milliangstrom lattice dynamics measured by ultrafast X-ray diffraction // Nature. 1999. 398(6725). P. 310-312.
8. Simon J. Ultrashort light pulses // Rev. Sci. Instrum. 1989. 60. P. 3597-3624.
9. Svelto O. Principles of Lasers. New York, 1989. 92 p.
10. Lee D. H., Yoon S. N. Application of artificial intelligence-based technologies in the healthcare industry: Opportunities and challenges // International journal of environmental research and public health. – 2021. – Т. 18. – №. 1. – С. 271.

Economic aspects of the use of AI technologies in medicine: on the example of femtosecond laser technology in ophthalmic surgery

Marlen S. Torosyan

Master's Student,
Voronezh State Technical University,
394026, 14, Moskovskii ave., Voronezh, Russian Federation;
e-mail: torosyan.marlen@yandex.ru

Marlen S. Torosyan

Abstract

The purpose of the work is to study the resection of Femtosecond lasers using the example of Femtolasik operations. Assessment of possible risks during the procedure of creating a flap, the extent of the impact of failed resections due to uncontrolled factors. Modernization of modules to eliminate the risks of incorrect resection under the influence of vacuum. Methods, modules, parameters and algorithms that allow artificial intelligence to control the resection process based on new software, as well as additional sensors and cameras. Integration of femtosecond laser technology into ophthalmic surgery. Automated tracking, detection and fixation of the corneal resection zone in real time, tracking the movement of the cornea during the procedure on a femtosecond laser, followed by preventing skipping or overlapping in the resection zones and ensuring control over the process of creating a flap. The application of artificial intelligence (AI) today in procedures where it is needed would be a solution to many problems, particularly those associated with the corneal resection procedure. The basis of AI is the very implementation of an automated tracking system, which will record, track, and make it possible to continue the resection procedure using algorithms into an existing laser installation for manipulation. This is aimed not only at improving technologies, but also at fulfilling the tasks that face all medical interventions, reducing risks, complications and repeat procedures, in this case corneal resections, which are performed on laser machines.

For citation

Torosyan M.S. (2024) Ekonomicheskie aspekty primeneniya tekhnologii II v meditsine: na primere tekhnologii femtosekundnogo lazera v oftal'mokhirurgii [Economic aspects of the use of AI technologies in medicine: on the example of femtosecond laser technology in ophthalmic surgery]. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* [Economics: Yesterday, Today and Tomorrow], 14 (4A), pp. 822-827.

Keywords

Femtosecond laser, corneal resection, automation, artificial intelligence, AI.

References

1. Christov I.P. (1996) Sub-10-fs operation of Kerr-lens mode-locked lasers. *Opt Lett*, 21 (18), 1493-5.
2. Donnenfeld E. (2004) The pupil is a moving target: centration, repeatability, and registration. *J Refract Surg.*, 20 (5), S593-6.
3. Fork L. (1987) Compression of optical pulses to six femtoseconds by using cubic phase compensation. *Opt Lett.*, 12 (7), pp. 483-5.
4. Prakash G. (2011) Surface ablation with iris recognition and dynamic rotational eye tracking-based tissue saving treatment with the Technolas 217z excimer laser. *J Refract Surg.*, 27(3), pp. 223-31.
5. Pshenichnikov M.S. (1994) Generation of 13-fs, 5-MW pulses from a cavity-dumped Ti: sapphire laser. *Opt Lett.*, 19 (8), 572-4.
6. Rieke N. (2018) *Computer Vision and Machine Learning for Surgical Instrument Tracking*.
7. Rose-Petruck C. et al. (1999) Picosecond-milliangstrom lattice dynamics measured by ultrafast X-ray diffraction. *Nature*, 398 (6725), pp. 310-312.
8. Simon J. (1989) Ultrashort light pulses. *Rev. Sci. Instrum.*, 60, pp. 3597-3624.
9. Svelto O. (1989) *Principles of Lasers*. New York.
10. Lee, D., & Yoon, S. N. (2021). Application of artificial intelligence-based technologies in the healthcare industry: Opportunities and challenges. *International journal of environmental research and public health*, 18(1), 271.