

МОДЕРНІЗАЦІЯ ІНСТРУМЕНТУ ФАКОЕМУЛЬСИФІКАЦІЇ ДЛЯ РІЗНИХ ТИПІВ КОЛИВАНЬ

Наумкіна З.М.,

zoyanaumkina@gmail.com

Зубчук В. І., к.т.н., доцент каф. БМІ

grany@meta.ua

Факультет біомедичної інженерії

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

м. Київ, Україна

Реферат – На сьогоднішній день новим стандартом в хірургії видалення катарактальних утворень став метод факоемульсифікації, тому необхідно досліджувати головні проблеми та методи їх вирішення задля проведення успішних операцій.

В роботі було проведено аналіз впливу кожного виду ультразвукових коливань факоголки на утворення термічних пошкоджень ока та втрату оклюзії, модернізовано ручний блок факоручки та визначено акустичний тракт для оновленого ультразвукового інструменту факоемульсифікатора.

Розроблена оновлена конструкція факоголки дозволила провести аналіз технології її застосування при проведенні хірургічних операцій по видаленню катарактальних мас, їх класифікацію.

Ключові слова – ультразвук, кристалик, катаракта, факоемульсифікація, іригація, аспірація, н'єзоелементи.

I. ВСТУП

Природно, людське око функціонує для забезпечення зору шляхом передачі світла через рогівку і кристалик, фокусування зображення сітківці. Через вік або різні патологічні захворювання зір погіршується, утворюються помутніння та нальоти на кристалику. Цей дефект ока в медицині відомий як катаракта[1].

На сьогоднішній день, більшість уражених катарактою кристаликів видаляється за допомогою хірургічної технології під назвою факоемульсифікація [2]. Це метод видалення пошкодженого кристалика за допомогою спеціальної голки (факоголки) або ультразвуку і заміна його на гнучку інтраокулярну лінзу.

Застосування новітніх моделей факоемульсифікаторів дозволять хірургу точно дозувати потужність, довжину і частоту УЗ коливань, вибирати різні режими роботи ультразвукового перетворювача, що модулює як поздовжні, так і складні торсіонні коливання ультразвукової голки, щоб дозувати обсяг подачі розчину в передню камеру ока і швидкість аспірації катарактальних мас[3].

Крім того, модернізація дає можливість хірургу видаляти травматичну катаракту самим м'яким способом, уникнути значної втрати ендотею задніх клітин, вираженого набряку рогівки і її дистрофії.

II. МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета роботи: на основі аналізу існуючих методів модернізувати робочу частину апарата факоемульсифікації і визначити її основні акустичні характеристики.

III. МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ

Традиційно механізм ультразвукового руйнування кристалика полягає у впливі на нього факоголки, що здійснює надшвидкі зворотно-поступальні коливання в ультразвуковому діапазоні.

Ультразвукові коливання можуть мати характер поздовжніх, крутильних або вигинистих, а також поєднуватися в різних пропорціях, утворюючи композитні коливання різної форми в поєднанні з вигнутою факоголкою Кельмана[4].

Основні елементи, які використовуються в факоемульсифікаторах:

- ультразвуковий інструмент;

- порожниста голка;
- силіконова манжета;
- концентратор ультразвукових коливань;
- парна кількість п'єзоелементів;
- опорна муфти, розміщена в корпусі;

Робоча частина ультразвукового інструменту у вигляді порожнистої голки виробляє ультразвукові коливання, які використовуються для дроблення і емульсифікації щільних мас кришталіків. Внутрішня порожнина факоголки є аспіраційним каналом для видалення зруйнованих фрагментів кришталікових мас. Через коаксіально розташовану щодо порожнистої голки силіконову манжету проводиться подача замісної іригаційної рідини.[5]

В сучасних факоемульсифікаторах джерелом ультразвуку найбільш часто є п'єзоелектричний кристал, осцилюючий з частотою 20000-60000 разів в секунду. Ця частота встановлюється виробником факомашини з урахуванням стандартного ряду частот 22; 26.5; 44; 66 кГц.

Операція триває кілька хвилин, не вимагає накладення швів і госпіталізації. Факоемульсифікація проводиться під місцевою, крапельною анестезією. Працездатність пацієнту повертається вже на наступний день після проведеного хірургічного втручання.

Етапи операції з видалення катаракти[2]:

1. Проводиться дозований розріз шириною в 2,5 міліметра. Доступ до кришталіка виконується через зону Лімба (де прозора частина рогівки переходить в непрозору). При цьому використовується одноразове хірургічне лезо. Цей прокол має властивість самогерметизації і не вимагає накладення шва. Що значно скорочує час реабілітації і дозволяє уникнути ускладнень.
2. За допомогою ультразвукового зонда проводиться дроблення мутного кришталіка на дрібні частинки.
3. Аспірація (відсмоктування) залишкових мас кришталіка.
4. Через той же розріз, виробляють імплантацію еластичної інтраокулярної лінзи (штучного кришталіка).

Штучний кришталік після імплантації самостійно розкривається і центрується в задній камері ока. По закінченню операції вся маса віскоеластіка вимивається з передньої камери ока за допомогою іригаційного розчину. Тривалість операції - від 4 до 10 хвилин..

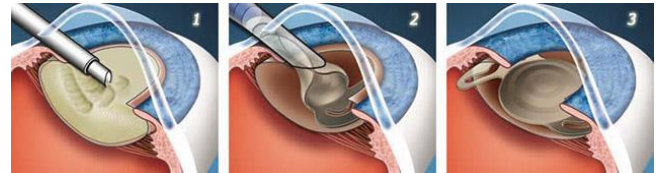


Рис. 1. Схематичне зображення процесу видалення катарактальних мас[6]

У даній схемі: 1 – введення пристрою з випромінюючою голкою, 2 – видалення катарактальних мас, омивка середовища іригаційною червоною, 3 – заміна кришталіка на інтраокулярну лінзу.

Протягом усієї процедури іригаційне текуче середовище закачується в око, проходячи між іригаційної втулкою і ріжучою голкою, і виходячи в око на кінчику іригаційної втулки з одного або більше отворів, прорізаних біля кінця трубки.

Іригаційне текуче середовище істотно важливе, оскільки воно запобігає колапсу очного яблука в процесі видалення емульсифікованого кришталіка. Воно також охороняє тканини ока від теплової нагрівки, що генерується внаслідок вібрацій ультразвукової ріжучої голки.

Крім того, іригаційне текуче середовище утримує фрагменти емульсифікованого кришталіка для аспірації з ока.

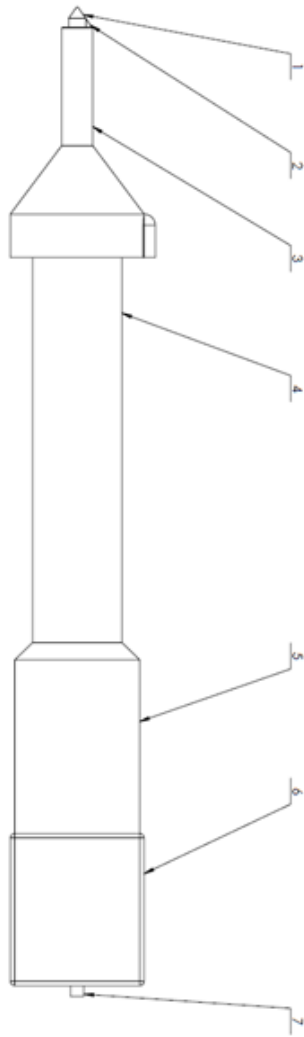


Рис. 2.Схематичне зображення факоручки.

У даній схемі: 1 – ріжуча голка, 2 – трубка аспірації, 3 – захисний ковпачок, 4 – захисний кожух, 5 – рупор, 6 – трансформатор(генератор імпульсів), 7– іригаційна лінія.

Корпус ручного блоку закінчується на ділянці зменшеного діаметра або носовому конусі на дистальному кінці корпусу. Зазвичай на носовому конусі є зовнішня різьба для прийому порожнистої аспіраційної втулки, що охоплює ріжучу голку по довжині.

Аналогічним чином отвір рупора має внутрішню різьбу на своєму дистальному кінці для прийому зовнішньої різьби ріжучого наконечника. Іригаційна втулка також має отвір з внутрішнім різьбленням і загвинчена по зовнішній різьбі носового конуса.

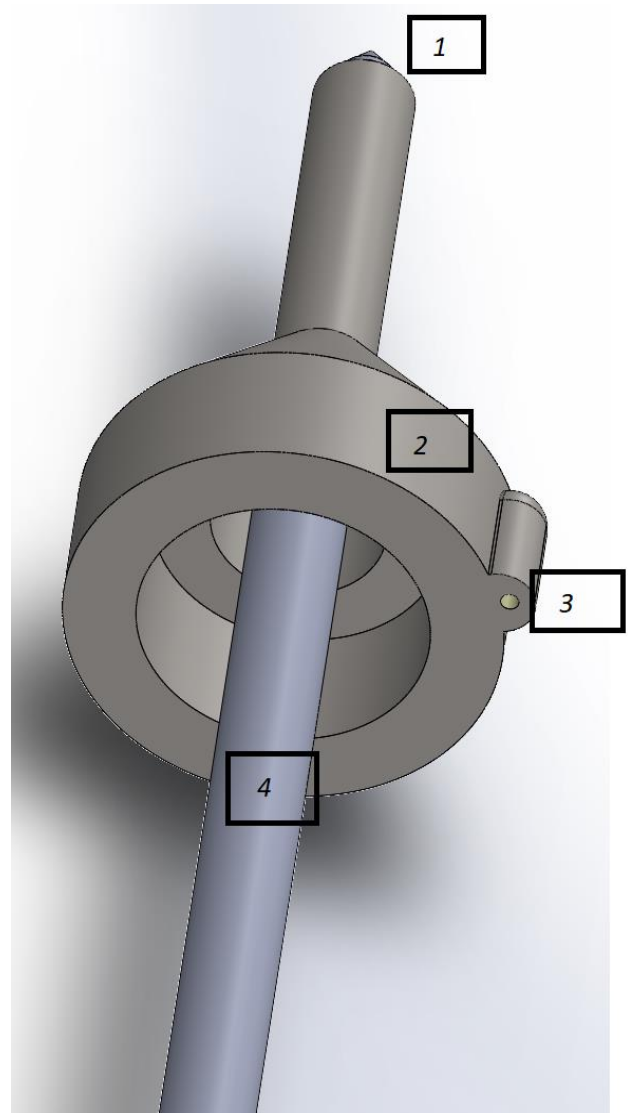


Рис. 3. Модельне зображення факоручки

На даному рисунку позначені головні системні блоки: 1 – ріжуча голка, 2 – захисний ковпачок, 3 – лінія аспірації, 4 – рупор.

В ході проведення факоемюльсифікації представленою модернізованою ручкою кінчик ріжучої голки і кінець аспіраційної втулки вводяться в передній сегмент ока через малий розріз в зовнішній тканині ока. Хірург призводить факоголку в зіткнення з кристаликом ока, так що вібруючий кінчик фрагментував кристалик. Отримані рештки аспіруються з ока через внутрішній отвір захисного кожуха разом з іригаційним розчином, що подається в око під час процедури, і надходять в резервуар для відходів.

П'єзоелектричні елементи з'єднані з ультразвуковим хвилеводом, до якого

приєднується ультразвукова голка. Ультразвуковий хвилевід і ультразвукова голка містить безліч діагональних щілин або борозен. Щілини або борозни забезпечують торсіонні коливання ультразвукової голки при порушенні на другий резонансній частоті



Рис. 4. Прототипна модель ручки факоемультсифікатора[7]

Також при виконанні ультразвукової факоемультсифікації необхідно підтримувати стабільний тиск в передній камері ока, що перешкоджає пошкодженню ендотелію рогівки. У разі ж закупорки аспіраційної магістралі факоаспіратора щільними фрагментами ядра і наступному зменшенні оклюзії, відбувається різке зниження тиску в передній камері і її колапс, що сприяє підвищеному ризику травматизації тканин ока за рахунок аспірації тканини райдужки і капсули кришталика [8].

Було також розраховано акустичний тракт для ультразвукового інструменту факоемультсифікатора.

Акустичний тракт – це шлях ультразвукової (УЗ) хвилі від випромінюючого перетворювача до біологічної тканини. При цьому ми знехтуємо заломленнями, обумовленими проходженням ультразвуку через контактний провід, безпосередньо приєднаний до п'єзоелемента, протектор,

нижню частину корпусу, оскільки товщина вище перелічених елементів дуже мала і заломлення незначне. Також у розрахунок не враховується заломлення УЗ хвиль при проходженні їх через контактне середовище.

Межа факоголка – рогівка

Кут падіння на межу 45° .

При проходженні УЗ коливань від перетворювача до шкіри заломлення не відбувається, тому що між ними знаходиться шар контактного гелю. Тобто: $\theta_{шкіра} = 45^\circ$

Межа рогівка – передня камера

Кут падіння на межу:

$$\frac{C_p}{C_{п.к}} = \frac{\sin \theta_p}{\sin \theta_{п.к}}$$

C_p - швидкість проходження ультразвуком рогівки;

$C_{п.к}$ - швидкість проходження ультразвуком жирового прошарку;

$\theta_p, \theta_{п.к}$ - кути відхилення ультразвуку від уявної осі

$$\begin{aligned} \theta_{п.к} &= \sin^{-1} \left[\frac{C_{п.к}}{C_p} * \sin \theta_p \right] \\ &= \arcsin \left(\left(\frac{1532}{1640} \right) \sin 45 \right) \approx 41.34^\circ \end{aligned}$$

Межа рогівка – кришталик

Кут падіння на межу: $\theta_{п.к} = 41.34$

Аналогічно визначаємо кут, під яким хвиля виходить із шару передньої камери в наступну межу

$$\begin{aligned} \theta_{кр} &= \sin^{-1} \left[\frac{C_{кр}}{C_{п.к}} * \sin \theta_{п.к} \right] \\ &= \arcsin \left(\left(\frac{1641}{1532} \right) \sin 41.34 \right) \approx 45.03^\circ \end{aligned}$$

Межа кришталик – скловидне тіло

Кут падіння на межу: $\theta_{кр} = 45.03$

$$\begin{aligned} \theta_{с.т} &= \sin^{-1} \left[\frac{C_{с.т}}{C_{кр}} * \sin \theta_{кр} \right] \\ &= \arcsin \left(\left(\frac{1532}{1641} \right) \sin 45.03 \right) \approx 41.34^\circ \end{aligned}$$

Межа скловидне тіло–жовта пляма

Кут падіння на межу: $\theta_{c.т.} = 41.34$

$$\theta_{ж.п.} = \sin^{-1} \left[\frac{C_{ж.п.}}{C_{c.т.}} * \sin \theta_{c.т.} \right]$$
$$= \arcsin \left(\left(\frac{1510}{1532} \right) \sin 41.34 \right) \approx 40.62^\circ$$

Межа жовта пляма–сітківка

Кут падіння на межу: $\theta_{ж.п.} = 40.62$

$$\theta_c = \sin^{-1} \left[\frac{C_c}{C_{ж.п.}} * \sin \theta_{ж.п.} \right]$$
$$= \arcsin \left(\left(\frac{1490}{1510} \right) \sin 40.62 \right) \approx 39.97^\circ$$

Межа сітківка–склера

Кут падіння на межу: $\theta_{ж.п.} = 39.97$

$$\theta_{ск.} = \sin^{-1} \left[\frac{C_{ск.}}{C_c} * \sin \theta_c \right]$$
$$= \arcsin \left(\left(\frac{1680}{1490} \right) \sin 39.97 \right) \approx 46.41^\circ$$

Формули акустичного тракту враховує променеву картинку даного модернізованого блоку факогалки, характеристики спрямованості випромінювання-прийому та структурну схему акустичного тракту (акустичні характеристики та розміри середовищ, через які проходить акустичний промінь).

IV. РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ

У роботі, виходячи із отриманих даних, був вибраний метод для модернізації робочого інструменту факоемулсифікації, а також проведено дослідження акустичного тракту для отримання значень, на основі яких можна проводити подальший аналіз доцільності застосування модернізованого блоку, а саме – визначення коефіцієнтів прямого та зворотного УЗ п'єзоєфектів, розрахунок частоти та швидкості роботи факомашини.

V. ВИСНОВКИ

У ході даної роботи аналіз існуючих методів лікування катаракти дав поштовх до виокремлення головних проблем традиційної факоемулсифікації, які потребують вирішення методами комбінації різних типів коливань, проаналізовано головні особливості видалення катарактальних мас із зіниці.

В статті розроблено схематичну та 3D модель факоручки на основі прототипу.

Крім того було проведено розрахунок акустичного тракту по переходу ультразвукових хвиль від резонуючої голки до склери, що дозволив отримати значення до порівняння їх уже з відомими та зробити висновок, що модернізована модель факогалки є більш точною в проведенні хірургічних операцій.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] Мобильное устройство для введения интраокулярной линзы: пат.№ 2538633C2; заяв.10.01.2010; опуб.27.05.2010 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://patents.google.com/patent/RU2538633C2/ru?oq=RU2538633C2> (дата звернення 12.05.2019).
- [2] Ультразвуковая Факоэмульсификация: [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://mocentro.com/katarakta/fakoemulsifikaciya/>
- [3] Азнабаев Б. М., Мухамедеев Т. Р., Дибаяв Т. И. Ультразвуковая факоэмульсификация на основе непродольных колебаний // Медицинский вестник Башкортостана. 2012. №6. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ultrazvukovaya-fakoemulsifikatsiya-na-osnove-neprodolnyh-kolebaniy> (дата обращения: 14.05.2020).
- [4] Азнабаев, Б.М. Ультразвуковая хирургия катаракты – факоэмульсификация / Б.М. Азнабаев. – М.: Август Борг, 2005. – 136 с..
- [5] Ультразвуковой инструмент факоэмульсификатора: пат.№ 2470620; [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://findpatent.ru/patent/247/2470620.html> (дата звернення 14.05.2019).
- [6] Операция по удалению катаракты: [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://neoskin.com.ua/hirurgicheskoe-lechenie-katarakty.html> (дата звернення 14.05.2019).
- [7] Ручка для факоэмульсификации: [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://dorcglobal.com/ru/produkt/ruchka-dlya-fakoemulsifikacii> (дата звернення 14.05.2019).
- [8] Иванова Е. В. МЕХАНИЧЕСКИЙ ФАКОАСПИРАТОР ДЛЯ РАЗРУШЕНИЯ И АСПИРАЦИИ ХРУСТАЛИКА ПРИ КАТАРАКТЕ / Е. В. Иванова // Международный научно-исследовательский журнал. — 2018. — № 3 (69). — С. 117—120. — URL: <https://research-journal.org/medical/mexanicheskij-fakoaspirator-dlya-razrusheniya-i-aspiracii-xrustalika-pri-katarakte/> (дата обращения: 14.05.2020.), doi: 10.23670/IRJ.2018.69.009

УДК 615.837.3

МОДЕРНИЗАЦИЯ ИНСТРУМЕНТА ФАКОЕМУЛЬСИФИКАЦИИ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ КОЛЕБАНИЙ

Наумкина З.Н.,

zoyanaumkina@gmail.com

Зубчук В. И., к.т.н., доцент каф. БМИ

grany@meta.ua

Факультет биомедицинской инженерии

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

г. Киев, Украина

Реферат – На сегодняшний день новым стандартом в хирургии удаление катарактальных образований стал метод факоемульсификации, поэтому необходимо исследовать главные проблемы и методы их решения для проведения успешных операций.

В работе был проведен анализ влияния каждого вида ультразвуковых колебаний факоиглы на образование термических повреждений глаза и потерю окклюзии, модернизировано ручной блок факоручки и определен акустический тракт для обновленного ультразвукового инструмента факоемульсификатора.

Разработанная обновленная конструкция факоиглы позволила провести анализ технологии ее применения при проведении хирургических операций по удалению катарактальных масс, их классификацию.

Ключевые слова - ультразвук, хрусталик, катаракта, факоемульсификация, ирригация, аспирация, пьезоэлементы.

UDC 615.837.3

THE PHACOEMULSIFICATION TOOL MODERNIZATION FOR DIFFERENT TYPES OF OSCILLATIONS

Zoia Naumkina

zoyanaumkina@gmail.com

Zubchuk VI, Ph.D., Professor BMI

grany@meta.ua

Faculty of Biomedical Engineering

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

Kyiv, Ukraine

Abstract – Today, the phacoemulsification method has become a new standard in cataract surgery. Ultrasonic vibrations, which came from different nature and also combined in different proportions were analyzed.

The article provides an overview of the technology for carrying out surgical operations to remove cataract masses, their classification and a possible way to modernize the pen is seen.

The topic of the article is related to scientific research in the field of healthcare and medical technology.

.Keywords – ultrasound, lens, cataract, phacoemulsification, irrigation, aspiration, piezoelectric elements.