

ПІДВИЩЕННЯ ТОЧНОСТІ ПІДБОРУ ДРЕНАЖІВ ДЛЯ КОНТРОЛЮ ВНУТРІОЧНОГО ВИТОКУ РІДИНИ ПРИ ДІТЯЧІЙ ГЛАУКОМІ

В сучасній дитячій офтальмології однією з актуальних проблем захворювання очей є глаукома, де приблизно 10-15% всіх хворих з підвищеним рівнем внутріочного тиску (ВОТ) та при періодичній його дії на зоровий нерв, приречені на повну сліпоту. Незважаючи на виявлені механізми порушення зорових функцій в морфології ранніх стадій глаукоми, до теперішнього часу залишаються недостатньо вивченими індивідуальні причини хвороби з використанням навіть сучасних технологій і методів лікування [1-2].

Розвиток відкритокутової глаукоми у дітей пов'язаний із труднощами витoku вологи в каналі Шлемма. Під впливом підвищеного ВОТ в межах 11 - 22 мм.рт.ст. відбувається прогин трабекулярної мережі в просвіті склерального синуса, в результаті чого виникає функціональне блокування каналу витoku. Поступово решітчаста мережа склери прогинається, викликаючи тиск на волокна і судини зорового нерву. Коли райдужка притискається до кришталика, й волога практично не може проникнути до передньої камери, а градієнт тиску підвищується. Внаслідок цього ВОТ у задній камері буде вищим, ніж у передній камері. Ця різниця тисків змищує райдужку вперед. Таким чином, трабекулярна мережа блокується райдужкою [3,4], що призводить до раптового підвищення ВОТ за межі норми, яке характеризується як приступ глаукоми.

Зміна параметрів гідродинаміки відтоку вологи призводить до ураження зорового нерва, атрофії нервових волокон, що викликає глаукомну оптичну нейропатію, яка характеризується екскавацією диска зорового нерва на очному дні з прогресуючим порушенням зорових функцій. Відомо, що після народження дитини в зоровому нерві визначається від 1 – 1,5 млн нервових волокон. Протягом життєвого циклу близько 5000 волокон на рік (а іноді більше) гине із-за відсутності раннього виявленої патології зору. Спочатку виникають характерні дефекти поля зору, а суттєве зниження гостроти зору відбувається на більш пізніх стадіях виявлення захворювання.

Для індивідуального уточнення параметрів моделі руху внутріочної рідини в пошкодженій трабекулярній мережі дітей із застосуванням дренажу, необхідно удосконалити модель процесу витoku рідини [3,4] та забезпечити тестування. Для розрахунку необхідних параметрів та точнішого моделювання процесу витoku рідини в трабекулярній мережі розглянемо витікання її через пристрій звуження, яким у цьому випадку може служити трубка Вентурі чи клапан Ахмеда. Рідина, що витікає характеризується наступними ознаками: незмінність об'єму (нестискувана рідина); відсутністю в'язкості, тобто мінімізація сил тертя під час руху. Через трабекулярну мережу [5] виводиться надлишкова рідина, схематично представлену на рис.1 (в перерізі пристрою 1).

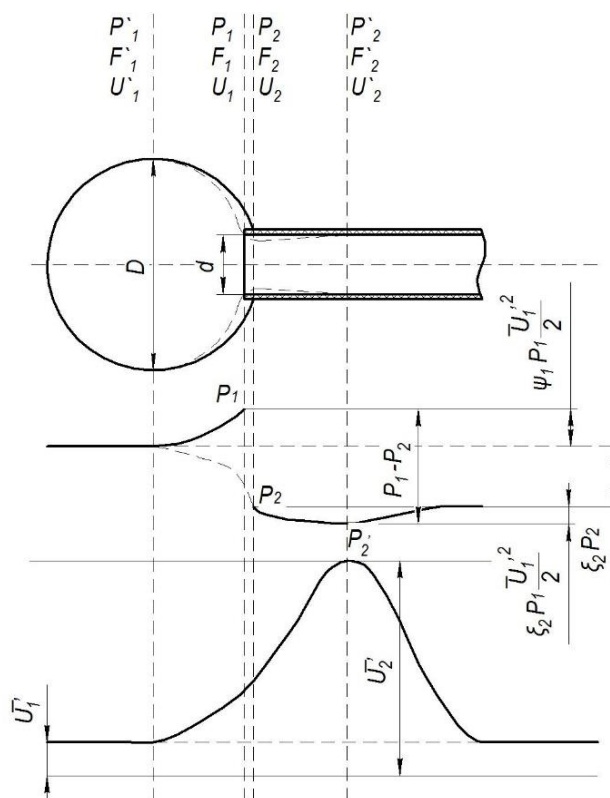


Рисунок 1. Перепад тисків і схема витікання реальної рідини через елементи клапана та трабекулярну мережу

До звуження струмину витoku площею F_1 середовище знаходиться під тиском p_1 , а швидкість дорівнює U_1 . Після (в перерізі пристрою 2) починається звуження струмину витoku і поступове зростання швидкості потоку U_2 . Зміна

швидкості відбувається внаслідок зміни кінетики потоку рідини від значення p_1 до значення p_2 . Відбір тисків p_1 та p_2 здійснюється відповідно на вхідному та вихідному діаметрах (в перерізах 1 та 2). При цьому на вхідному та вихідному перерізах виникає змінний напір ψ_1 та ψ_2 , який збільшує значення тисків від p_1 до p_2 .

Тепер, визначивши значення тиску p_1 та p_2 формулами (1.1) та (1.2):

$$p_1 = p_1 - \psi_1 \rho \frac{\bar{U}_1^2}{2}; \quad (1.1)$$

Значення p_2 ерез тиск p_1 отримаємо:

$$p_2 = p_2 - \psi_2 \rho \frac{\bar{U}_2^2}{2}; \quad (1.2)$$

Після проведених перетворень, отримано рівняння витоку реальної рідини в пацієнта (1.3):

$$\frac{p_1}{\rho} + \phi_1 \frac{\bar{U}_1^2}{2} - \psi_1 \rho \frac{\bar{U}_1^2}{2} = \frac{p_2}{\rho} + \phi_2 \frac{\bar{U}_2^2}{2} - \psi_2 \rho \frac{\bar{U}_2^2}{2} + \xi \frac{\bar{U}_2^2}{2}, \quad (1.3)$$

де коефіцієнт витоку рідини визначається наступним чином:

$$C = \frac{\mu_d \sqrt{1 - \beta^4}}{\sqrt{\phi_2 - \psi_2 + \xi - (\phi_1 - \psi_1) \beta^4 \mu_d^2}}. \quad (1.4)$$

Як видно з рівняння (1.4) визначені коефіцієнти витоку реальної рідини, можуть відрізнятися при зміні параметрів витоку.

Запропонована уточнена модель руху внутріочної рідини в пошкодженій трабекулярній мережі зорової системи дітей, що покращує точність моделювання для індивідуального підбору клапанів. Також виконано імітаційну модель дренажу, для цього потрібно задати значення μ_d , ϕ_1 , ϕ_2 , ψ_1 , ψ_2 , ξ коефіцієнта витікання C . Під дією сил інерції вздовж ділянки витоку рідини переріз січення буде зменшуватись, яке оцінюється коефіцієнтом звуження потоку μ_d в дренажі, а розподіл швидкостей, в свою чергу залежить від числа Re і шорсткості стінок дренажу.

Коефіцієнти швидкісного напору ψ_1 , ψ_2 , визначається місцем контролю тиску P_1 , P_2 , які залежать від знаходження передньої чи задньої камери відбору. Коефіцієнт гідравлічного опору ξ для більшості випадків, у тому числі для пристроїв звуження потоків, зменшується.

Отже, індивідуальне уточнення параметрів моделі руху внутріочної рідини в пошкодженій трабекулярній мережі дітей із застосуванням дренажу, вимагає розрахунку додаткових параметрів процесу та уточнення діаметра вивідної трубки.

Висновки.

1. Визначено додаткові умови для розробки удосконаленої моделі розрахунку швидкості витоку внутріочної рідини при глаукомі.

2. Розроблена удосконалена модель розрахунку швидкості витоку внутріочної рідини на початковому етапі розвитку глаукоми.

3. Створено імітаційну монель та алгоритм роботи дренажу при порушенні функціонування трабекулярної мережі ока у дітей, яка підтвердила підвищення точності до 10 % при виборі параметрів витоку.

4. Використання запропонованих моделей та технології підготовки і вибору клапанів для імплантації збільшує вірогідність успішного проведення операційного втручання та підвищує ефективність цього важливого методу лікування дитячої глаукоми.

Список використаних джерел

1. Primary congenital glaucoma, by Robert A., Clark D [Electronic resource] // American Academy of Ophthalmology. – 2024. – Access mode: https://eyewiki.org/Primary_Congenital_Glaucoma (date of application: February, 2024).

2. Law S.K., Nguyen A., Coleman A.L., Caprioli J. Comparison of safety and efficacy between silicone and polypropylene Ahmed glaucoma valves in refractory glaucoma // Ophthalmology. – 2005 Vol.112. – No. 9. – P. 1514–1520.

3. Tkachuk, R., Tkachuk, A., Yanenko, O. Implant testing device for regulation of intraocular pressure: Patent 143236 UA, IPC A 61B 1/00. No. 2019 09764; 12.09.2019.

4. Tkachuk R., Yanenko O. Features of Testing and Selection of Implant-Valves to Reduce Intraocular Pressure / Visnyk NTUU KPI, Seriya – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia, 2020, Iss. 81, pp. 65 – 71.

5. Ткачук Р.М. та інші. Моделювання процесу утворення напружень в оболонці ока при глаукомі в дитячому віці / 23-я МНТК «Приладобудування: стан і перспективи», 14-15 травня 2024, Київ, Україна. – КПІ ім. Ігора Сікорського. – С. 165–168.