

- System for Measuring Microwave Radiation of Biological Objects”, CEUR Workshop Proceedings, 2023, 3628, pp. 483–490. <https://ceur-ws.org/Vol-3628/short25.pdf>
- [6] A.V. Kyrylova, M. F. Tereshchenko, H. S. Tymchyk and V.Yu. Rudyk, “Alhorytm avtomatyzovanoho otsiniuvannia vplyvu ultrazvuku na biolohichnu tkanynu”, Visnyk of NTUU “KPI”. Series Instrument Making, vol. 5, pp. 98-102, 2013. (in Ukrainian)
- [7] Дейнеко Б.С., Боруца М.І., Терещенко М.Ф Високоточна ультразвукова комп’ютерно-інтегрована медична система / Автоматизація, електроніка, інформаційно-вимірювальні технології: освіта, наука, практика : матеріали V Міжнарод. наук.-техн. конфер., 28-29 листопада 2024 р. / Р.В. Кривобок (голова оргком.) X. 2024. с.66-67.
- [8] Jain, A., & Das, S. (2023). Integrated Medical Systems: The Role of Ultrasound in Modern Diagnostics. Academic Press.
- [9] Kyrylova and N. Tereshchenko. Estimation of ultrasound influence on biological tissue, in Proc. XIII Int. Ph.D. Workshop OWD 2011, Conference Archives PTETIS, Wisla, Poland, 2011, pp. 319–323.

УДК 617.7-007.681

ШЛЯХИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИВЕДЕННЯ ВНУТРІОЧНОЇ РІДИНИ ПРИ ГЛАУКОМІ В ДИТЯЧОМУ ВІЦІ

¹⁾Ткачук Р.А., ¹⁾Ткачук Р.М., ¹⁾Дедів Л.Є., ²⁾Яненко О.П.

¹⁾Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
Тернопіль, Україна

²⁾Національний технічний університет України
Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського, Київ, Україна
E-mail: romantkachuk48@gmail.com; op291@meta.ua

Авторами розроблена математична модель для розрахунку кількісної витрати рідини через дренажну систему із застосуванням формули Хагена-Пуазейля та швидкості витоку внутріочної рідини, яка дозволяє з вищою ефективністю та точністю (до 10%), враховувати реальні значення параметрів на початковому етапі розвитку глаукоми у дітей. Останнім часом випадки повної або часткової втрати зорових функцій дітей, що характеризує підвищення внутріочного тиску, все частіше виявляють серед осіб, в тому числі у дитячій офтальмології [1,2]. Авторами розглянута ця задача, яка потребує швидкого вирішення, а саме своєчасного виявлення та індивідуального підходу при лікуванні складних стадій розвитку глаукоми у дитячому віці. В цьому випадку застосування фармацевтичних засобів часто буває недостатнім, тому, як альтернатива: рекомендується хірургічне втручання. Встановлено, що існує потреба зосереджити увагу на більш точному моделюванні процесу витоку внутріочної рідини у дітей при пошкодженні їхньої трабекулярної мережі та пошук шляхів створення ефективних засобів регулювання внутріочного тиску (ВОТ). В цих складних умовах в якості технічних засобів часто використовували клапани Ахмеда, хоча у випадку дитячої хірургії, враховуючи проблему росту, необхідно більш ретельно проводити вибір елементів дренажу з враховуванням індивідуальних особливостей дитячого організму[3,4]

потрібно визначати кількість утвореної рідини з метою регулювання швидкості її руху і об'єму витoku протягом тривалого часу застосування, забезпечуючи оптимальні значення параметрів при періодичному контролі тиску. Бо під дією підвищеного ВОТ у дітей в межах від 21 мм.рт.ст. та вище спостерігаються часті випадки, де відбувається прогин трабекулярної мережі, в результаті чого може виникати функціональне блокування каналу витoku, тому вирішення цієї задачі може потребувати негайного оперативного хірургічного втручання.

Для вибору більш ефективних засобів виведення рідини та їх застосування, необхідно удосконалити математичну модель руху в дренажній мережі для розрахунку витрати. Ми скористаємося дослідженнями Пуазейля для руху крові у капілярах та судинах людини, на основі, яких використовували вивчення динаміки та реєструючи зміни виявленої різниці тисків в мережі. Таким чином була застосована удосконалена формула Хагена-Пуазейля, яка виведена на основі відомих рівнянь Бернуллі й вдало верифікована для аналогічних досліджень в практичній медицині [5-8]. Запропонований підхід дозволяє реально обчислити, яка кількість внутрішньої рідини витікає через дренажну систему за одиницю часу. При застосуванні даної моделі зможемо розглядати процес витікання через трабекулярну мережу і, як рух стаціонарного потоку в'язкої нестисливої рідини й ретельно визначити швидкість виведення внутрішньочеревної рідини (для здорової людини в нормі вона становить 2-2,5 мкл/хв). Показники руху рідини у нормі для дітей є нижчими, ніж у дорослої людини, а також ВОТ (в нормі новонародженого дорівнює приблизно 9-11 мм рт.ст.), вже у віці до 4-5 років цей показник зростає до позначки 14 мм рт.ст. [9,10]. Тому при постійному підвищенні ВОТ, яка часто є показовою напередодні операції, необхідно проводити індивідуальне оцінювання параметрів витoku з контролем її швидкості для окремого пацієнта.

Нижче наведена удосконалена математична модель, розроблена авторами для розрахунку кількісної витрати внутрішньої рідини Q через трабекулярну мережу та дренажну систему у дітей, для більш точного визначення параметрів, що прискорить швидкість та якість підбору важливих елементів дренажу:

$$Q = \pi \frac{(P_1 - P_2)}{128l\eta} D^4 \quad (1)$$

де Q - об'єм витрати внутрішньої рідини через дренажну трубку, P_1 – тиск на вході дренажної трубки, P_2 – тиск на виході дренажної трубки, l – довжина дренажної трубки, D – внутрішній діаметр дренажної трубки, η - коефіцієнт в'язкості внутрішньої рідини.

При застосуванні запропонованої моделі розглядається витікання внутрішньої рідини, як рух ламінарного стаціонарного потоку в'язкої нестисливої рідини вздовж круглої трубки діаметром D , довжиною l з врахуванням в'язкості.

Отже, вираз (1) дозволяє розрахувати витрату рідини через дренажну систему клапана, яка підтверджує, що швидкість витoku прямо-пропорційна

діаметру трубки в четвертій степені і різницевого значенню внутрішньоочного тиску та обернено пропорційна довжині трубки клапана з уточненням умов ламінарності потоку і інших додаткових параметрів, в тому числі з врахуванням в'язкості внутрішньоочної рідини.

Висновки

1. В роботі вибрано параметри для розробки удосконаленої моделі визначення швидкості витоку внутріочної рідини в реальних умовах процесу руху.

2. Розроблено удосконалену модель розрахунку швидкості та об'єму витоку внутріочної рідини враховуючи значення параметрів на реальному етапі розвитку глаукоми у дітей (з розрахованою точністю -до 10%).

3. Створено алгоритм перевірки ефективності дренажної системи при виявлених порушеннях функціонування трабекулярної мережі у дітей, що підтверджує необхідність підвищення точності при виборі значень параметрів та їх допустимих відхилень.

4. Наведені результати дослідження підтверджують потребу в індивідуальному підході до розрахунку параметрів з більш високою точністю застосованих дренажних пристроїв в залежності від стадії захворювання.

Ключові слова: дитяча глаукома, внутрішньоочний тиск, математична модель витоку внутріочної рідини, дренажні пристрої.

Література

- [1]. American Academy of Ophthalmology. Primary congenital glaucoma, by Robert A. Clark M.D. https://eyewiki.org/Primary_Congenital_Glaucoma Accessed February 2024.
- [2]. J. Cheng, L. Beltran-Agullo, Y. M. Buys, E. B. Moss, J. Gonzalez, & G. E. 6. Trope, Flow Test to Predict Early Hypotony and Hypertensive Phase After Ahmed Glaucoma Valve (AGV) Surgical Implantation. Journal of Glaucoma, 25(6), 493–496, 2016. doi:10.1097/ijg.0000000000000318
- [3]. Acetaz olamide-loaded intravitreal implants for the treatment of glaucoma: formulation, physicochemical characterization and assessment of in vitro and in vivo safety . PHR da Silva, MA de Castro, MCS Ribeiro... - International Journal of ..., 2025
- [4]. Tkachuk R., Yanenko O. Features of Testing and Selection of Implant-Valves to Reduce Intraocular Pressure./ Visnyk NTUU KPI, Serii – Radiotekhnika Radioaparotobuduvannia, 2020, Iss. 81, pp. 65 – 71. doi: 10.20535/RADAP.2020.81.65-71//
- [5]. [HTML] Optimizing deep learning models for glaucoma screening with vision transformers for resource efficiency and the pie augmentation method. S Sngchocanonta, P Pooprasert, N Lerthirunvibul... - PloS one, 2025
- [6]. M Kiełbus, D Kuźmiuk, AM Skrzyniarz, A Zynkowska [HTML] Changes in the Protein Composition of the Aqueous Humor in Patients with Glaucoma: An Update Review-International Journal, 2025.
- [7]. Нестеров, А. П. Глаукома: Научное издание / Под общ. ред. А.С.Петрова. – М. МИА. - 2014. – 360 с.
- [8]. В.М.Турик. Гідрогазодинаміка.-К:НТУУ «КПІ»ім.І.Сікорського.2021.-145с.
- [9]. С.Г.Корнюшенко, У.С.Швець, Л.Ф.Суходуб. Медична та біологічна фізика. Навч. пос. Пр.– Видавництво: СумДУ-2017. - 188с.
- [10]. Ткачук Р.М. та др., “Моделювання процесу утворення напружень в оболонці ока при глаукомі в дитячому віці,” у 23-я МНТК «Приладобудування: стан і перспективи», 14-15.05.2024, Київ, Україна. С.165-168, 2024.