

УДК 617.713:616-009.6:616.379-008.64+617.713-002-073-65.011.8

Ефективність нового пристрою для безконтактної діагностики чутливості рогівки при визначенні її нейротрофічного стану у хворих на цукровий діабет I типу та бактеріальний кератит

О. В. Заволока ¹, канд. мед. наук; П. А. Бездітко ¹, д-р мед. наук, професор;О. О. Луханін ², канд. тех. наук

¹ Харківський національний медичний університет;
Харків (Україна)

² Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут»;
Харків (Україна)

E-mail: Olesya_zavoloka@yahoo.com

Ключові слова:

альгезиметр, пристрій для безконтактної діагностики чутливості рогівки, цукровий діабет, бактеріальний кератит

Мета роботи: розробити новий пристрій для безконтактної діагностики чутливості рогівки та визначити його ефективність для оцінки нейротрофічного стану рогівки у хворих на цукровий діабет I типу та бактеріальний кератит.

Матеріал та методи. Нами був розроблений новий пристрій для безконтактної діагностики чутливості рогівки та визначена його ефективність для оцінки нейротрофічного стану рогівки на основі даних обстеження 30 хворих на цукровий діабет I типу з бактеріальними кератитами та 30 здорових осіб.

Результати. Було доведено, що дослідження чутливості рогівки за допомогою нового пристрою є неінвазивним, точним та відтворюваним. Використання низьких температур струменя повітря приводить до більшої точності при безконтактній альгезиметрії. Дослідження чутливості рогівки у дев'яти визначених точках та розрахування середнього порогу чутливості дозволяє більш комплексно оцінити функціональний стан рогівки з урахуванням її периферії.

Висновки. У хворих на цукровий діабет I типу з бактеріальним кератитом відмічається значне зниження чутливості рогівки. Розроблений нами пристрій для безконтактної діагностики чутливості рогівки є ефективним для діагностики нейротрофічного стану рогівки у хворих на цукровий діабет I типу та бактеріальний кератит.

Актуальність. Бактеріальні кератити у хворих на цукровий діабет (ЦД) зустрічаються частіше та характеризуються більш тяжким перебігом, ніж у загальній популяції [1]. Це може бути обумовлено порушенням нейротрофічного стану рогівки у хворих на ЦД за рахунок розвитку діабетичної нейропатії рогівки, що є локальним проявом діабетичної полінейропатії [2].

Вперше для дослідження чутливості рогівки Фрей у 1894 році використав кінський волос [3]. Сьогодні для проведення більш точної і об'єктивної діагностики використовується спеціальне обладнання – альгезиметр. Найбільш популярним і поширеним у світі є контактний альгезиметр Коше-Бонне (Cochet-Bonnet esthesiometer), оснований на використанні нейлонових ниток різної довжини діаметром 0,12 мм, що наносяться аплікатором на поверхню рогівки та подразнюють механо-ноцицептори рогівки [4]. В Україні здебільшого користуються контактним альгезиметром Б.Л. Радзиховського, який базується на визначенні середньої кількості чутливих точок рогівки у дев'яти визначених точках для трьох типів альгезиметрів (вагою 2, 10, 50 мг), що послідовно ставляться на рогівку на 1 секунду [5]. Однак контактні альгезиметри мають ряд суттєвих недоліків: контактність методу, вплив тільки на механорецептори, суб'єктивність дослідження, обмеження діапазону інтенсивності стимулів, низька точність приладу при вимірюванні чутливості рогівки до низь-

коінтенсивних стимулів, низька можливість відтворюваності методу, вплив фізіологічного мигального рефлексу при наблизненні альгезиметра, складність у проведенні стерилізації [6].

Саме тому були зроблені зусилля для розробки безконтактного й більш точного приладу, які привели до появи альгезиметра Белмонте, робота якого основана на стимуляції рогівки струменем повітря шляхом компресії її поверхні [7]. На даний час найбільш точним та інформативним є модифікований альгезиметр Белмонте, який відрізняється від звичайного можливістю досліджувати чутливість рогівки при різних температурах струменя повітря (від 20 до 34° С), що забезпечує вплив не тільки на механо-ноцицептори (відносяться до нервів типу Аδ), але й на холодові рецептори (відносяться до нервів типу Аδ і С), які активізуються при зниженні температури поверхні рогівки нижче 33° С. Недоліком цього пристрою є його недостатня ефективність, обумовлена обмеженням діапазону вибору температури струменя повітря (20-34° С), що зменшує значення приладу у діагностиці функціонального стану холодових рецепторів рогівки. Крім того, дослідження проводяться тільки в центральній зоні рогівки, не враховується чутливість периферії ро-

гівки, не вимірюється середня чутливість рогівки. До того ж в Україні на цей час немає жодного безконтактного альгезиметра.

Таким чином, на даний час існує необхідність у розробці сучасного безконтактного альгезиметра для більш точного вимірювання чутливості рогівки, що має важливе значення у діагностиці нейротрофічного стану рогівки у хворих на ЦД та бактеріальний кератит.

Мета роботи: розробити новий пристрій для безконтактної діагностики чутливості рогівки та визначити його ефективність для оцінки нейротрофічного стану рогівки у хворих на ЦД I типу та бактеріальний кератит.

Матеріал та методи

Нами був розроблений пристрій для безконтактної діагностики чутливості рогівки (рис.1), що складається з компресора (1) для накачки повітря, ресивера (2) для створення запасу повітря для забезпечення безперервної роботи більше однієї години. Компресор має контрольний манометр та запобіжний клапан, установлений на тиск 6 атмосфер. Ресивер може закриватися вентилем (3) для тривалого зберігання повітря або іншого газу. Для живлення компресора використовується блок живлення (4). Стабілізація потоку повітря здійснюється за допомогою створення постійного тиску 0,05 атмосфери в буферній ємності (5) за допомогою редуктора (6) та контролюється манометром (7). При випадковому перевищенні тиску в буферній ємності більше 0,1 атмосфери спрацьовує запобіжний клапан (8). Величина потоку повітря 18–240 см³/хвилину (0,3–4 см³/секунду) вимірюється витратоміром (9) і регулюється натікачем (10). Повітря додатково очищується від пилу та аерозолів в фільтрі (11). Для створення 1–8 посилок повітряного струменя трива-

лістю 0,5–2 секунди з заданою тривалістю пауз 0,5–2 секунди між послідами використовується триходовий електромагнітний вентиль (12), який спрямовує потік повітря між основним соплом (13) та аналогічним додатковим соплом (14). Завдяки використанню методу комутації потоку та електромагнітного вентиля з малим часом переключення зменшуються перехідні процеси зміни тиску в повітряному потоці та забезпечується однакова швидкість та однорідність швидкості у всіх повітряних послідах. Тривалість посилок повітряного струменя та інтервалів між послідами в основному соплі задається дискретно з кроком 0,5 секунди та точністю 10%. Для усунення першого перехідного процесу попередньо перед подачею повітря в робоче сопло використовується допоміжний вентиль (15), який відкривається на 3 секунди раніше відкриття основного вентиля. Наявність допоміжного вентиля зменшує непродуктивні витрати повітря, що збільшує час роботи обладнання без підкачки повітря в ресивер. Управління електромагнітними вентилями здійснюється генератором імпульсів (15), який генерує задану кількість імпульсів, їх тривалість та тривалість періоду між імпульсами на основний вентиль. На допоміжний вентиль подається імпульс, який починається на 3 секунди раніше першого основного та закінчується разом з закінченням останнього основного. Крім того, в будь-який час можна зупинити імпульси та здійснювати безперервну подачу повітря в робоче сопло для визначення та установки величини повітряного потоку. Для установки температури повітря в діапазоні 5–40°C використовується кондиціонер (16) з контролером температури (17). Технічні характеристики пристрою: швидкість потоку повітря на осі струменя – 0–4 м/с; похибка вимірювання швидкості повітря на об'єкті – $\pm 20\%$; тривалість посліди струменя – 0,5, 1, 1,5, 2 с; тривалість паузи – 0,5, 1, 1,5, 2 с; кількість по-

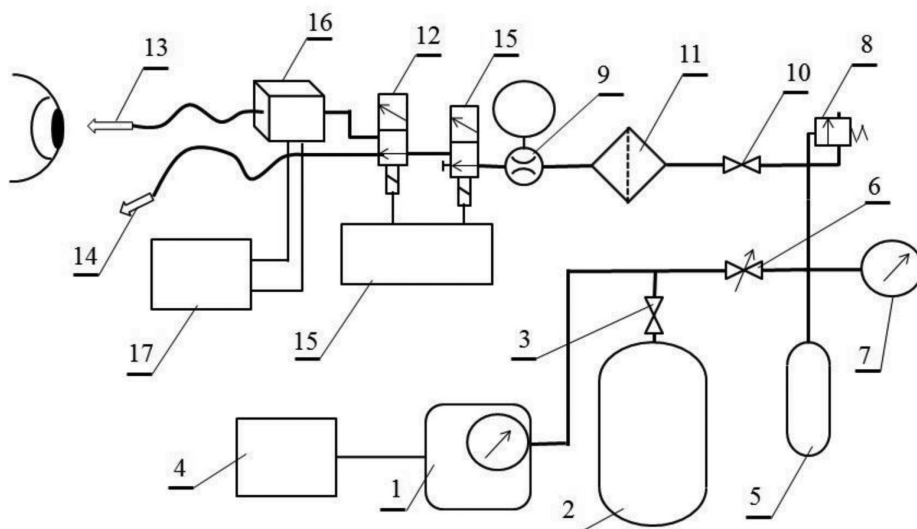


Рис. 1. Схема пристрою для безконтактної діагностики чутливості рогівки

силок струменя – 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8; витрата повітря – 0,3–4 см³/с; температура повітря в струмені (при використанні кондиціонера) – 5–40 °С; діаметр форсунок – 0,5, 1,0, 1,2, 1,5 мм; напруга живлення – 220±10% вольт; споживана потужність – не більше 200 ват; максимальний тиск в ресивері – 6 атм; час безперервної роботи – не більше години.

Пристрій для безконтактної діагностики чутливості рогівки використовують наступним чином. Перед дослідженням чутливості рогівки необхідно подати напругу 220 вольт на блок живлення компресора (4), генератора імпульсів (15) та, за необхідності, на контролер кондиціонера (17). Накачати повітря компресором (1) в ресивер (2) до тиску 6 атмосфер. Установити редуктором (6) тиск повітря в буферній ємності (5) – 0,05 атмосфери. Включити генератор імпульсів (15) та включити на ньому режим установки величини повітряного потоку. Встановити необхідну величину потоку. Зупинити потік повітря. Встановити необхідну кількість посилок повітряного потоку, тривалість посилок та інтервал між послідами. Встановити основне сопло на необхідній відстані від рогівки в одній із досліджуваних точок.

Ефективність нового пристрою для безконтактної діагностики чутливості рогівки була визначена експериментально у 30 здорових добровольців у віці 18–50 років (16 жінок, 14 чоловіків) та у 30 хворих на ЦД І типу у віці 18–49 років з бактеріальним кератитом (13 жінок, 17 чоловіків).

Дозвіл на проведення досліджень отримали на засіданні комісії з питань етики та біоетики Харківського національного медичного університету (протокол №11 від 5 грудня 2018 року).

Дослідження проводили у визначених дев'яти точках (верхній, верхній назальний, верхній темпоральний, назальний, центральний, темпоральний, нижній назаль-

ний, нижній темпоральний, нижній) та розраховували середній поріг чутливості рогівки. При користуванні безконтактним альгезиметром використовували наступні параметри: діаметр отвору для виходу струменя повітря – 0,5 мм, тривалість імпульсу – 1 с, відстань до поверхні рогівки – 4 мм, температура струменя повітря: 5, 15, 20, 30, 40 °С. Спочатку використовували мінімальну силу потоку повітря, яку поступово збільшували до появи відчуття досліджуваним «легкого вітерцю», про що просили повідомити. Для оцінки відтворюваності методу дослідження проводили 10 разів. Повторну стимуляцію однієї й тієї ж точки проводили не раніше, ніж через 1 хвилину для уникнення адаптації чи сумації. Дослідження чутливості рогівки при різних температурах струменя повітря проводили з 20-хвилинним інтервалом, необхідним для врівноваження рецепторів до зміни температури подразника.

Користувались параметричними і непараметричними методами статистики. Розраховували коефіцієнти повторюваності ($1,96 \times$ в межах стандартного відхилення суб'єктів).

Результати дослідження та їх обговорення

Встановлено, що у здорових осіб середній поріг чутливості рогівки при безконтактній альгезиметрії струменем повітря з температурою 5 °С коливався від 28,3 до 62,6 мл/хв і в середньому складав $47,3 \pm 8,9$ мл/хв з коефіцієнтом повторюваності 15,3 (табл.1). При температурі струменя повітря 15 °С середній поріг чутливості рогівки у групі здорових осіб коливався від 34,3 до 74,5 мл/хв, в середньому складав $52,9 \pm 9,1$ мл/хв з коефіцієнтом повторюваності 17,5. При температурі струменя повітря 20 °С середній поріг чутливості рогівки коливався від 38,2 до 76,2 мл/хв, в середньому складав 57 ± 9 мл/хв з коефіцієнтом повторюваності 19,1. При температурі струменя повітря 30 °С середній

Таблиця 1. Середній поріг чутливості рогівки (мл/хв) залежно від температури струменя повітря у хворих на ЦД І типу з бактеріальним кератитом та у групи здорових осіб

t°С	Група	Середнє значення $\pm$ стандартне відхилення	Діапазон коливань	Коефіцієнт повторюваності
5°С	ЦД, n=30	127,9±15,7*	101,4–154,7	14,1
	Здорові, n=30	47,3±8,9	28,3–62,6	15,3
15°С	ЦД, n=30	135,2±14,5*	111,5–159,6	15,2
	Здорові, n=30	52,9±9,1	34,3–74,5	17,5
20°С	ЦД, n=30	143,8±14,9*	119,8–167,8	16,9
	Здорові, n=30	57,0±9,0	38,2–76,2	19,1
30°С	ЦД, n=30	152,4±14,2*	127,3–174,8	18,3
	Здорові, n=30	72,0±9,8	50,2–98,6	26,2
40°С	ЦД, n=30	159,5±14,2*	135,8–182,4	19,6
	Здорові, n=30	78,3±9,1	57,9–101,4	28,1

Примітка. * – оцінка статистичної значимості відмінностей між хворими на ЦД з бактеріальним кератитом та групою здорових осіб при відповідній температурі повітря $p < 0,05$.

поріг чутливості рогівки коливався від 50,2 до 98,6 мл/хв, в середньому складав $72 \pm 9,8$ мл/хв з коефіцієнтом повторюваності 26,2. При температурі струменя повітря 40°C у здорових осіб середній поріг чутливості рогівки коливався від 57,9 до 101,4 мл/хв, в середньому складав $78,3 \pm 9,1$ мл/хв з коефіцієнтом повторюваності 28,1.

У хворих на ЦД І типу з бактеріальним кератитом середній поріг чутливості рогівки при безконтактній альгезиметрії струменем повітря з температурою 5°C коливався від 101,4 до 154,7 мл/хв, в середньому складав $127,9 \pm 15,7$ мл/хв з коефіцієнтом повторюваності 14,1. При температурі струменя повітря 15°C середній поріг чутливості рогівки коливався від 111,5 до 159,6 мл/хв, в середньому складав $135,2 \pm 14,5$ мл/хв з коефіцієнтом повторюваності 15,2. При температурі струменя повітря 20°C середній поріг чутливості рогівки коливався від 119,8 до 167,8 мл/хв, в середньому складав $143,8 \pm 14,9$ мл/хв з коефіцієнтом повторюваності 16,9. При температурі струменя повітря 30°C середній поріг чутливості рогівки коливався від 127,3 до 174,8 мл/хв, в середньому складав $152,4 \pm 14,2$ мл/хв з коефіцієнтом повторюваності 18,3. При температурі струменя повітря 40°C середній поріг чутливості рогівки у хворих на ЦД І типу з бактеріальним кератитом коливався від 135,8 до 182,4 мл/хв, в середньому складав $159,5 \pm 14,2$ мл/хв з коефіцієнтом повторюваності 19,6.

Найнижчий поріг чутливості рогівки при усіх температурах струменя повітря у хворих на ЦД І типу з бактеріальним кератитом, як і у здорових осіб, був виявлений у центральній точці, а найвищий – у нижній точці рогівки ($p < 0,05$).

При всіх температурах струменя повітря середній поріг чутливості рогівки у хворих на ЦД І типу з бактеріальним кератитом значно перевищував відповідний показник групи здорових осіб: при температурі струменя повітря 5°C – у 2,7 разів, 15°C – у 2,6 разів, 20°C – у 2,5 разів, 30°C – у 2,1 разів, 40°C – у 2 рази ($p < 0,05$).

Таким чином, дослідження чутливості рогівки за допомогою нового пристрою для безконтактної діагностики чутливості рогівки є неінвазивним, точним та відтворюваним. Використання низьких температур струменя повітря приводить до більшої точності при безконтактній альгезиметрії, оскільки забезпечує вплив

не тільки на механо-ноцицептори, але й на холодові рецептори, тобто на нервові волокна двох типів (типу Аδ і С). Дослідження чутливості рогівки у дев'яти визначених точках та розрахування середнього порогу чутливості дозволяє більш комплексно оцінити функціональний стан рогівки з урахуванням її периферії.

У хворих на ЦД І типу з бактеріальним кератитом відмічається значне зниження чутливості рогівки, яке може бути обумовлено комплексним порушенням нейротрофічного стану рогівки внаслідок бактеріального запалення, що розвивається на фоні діабетичної нейропатії рогівки.

Висновки

Дослідження чутливості рогівки за допомогою нового пристрою для безконтактної діагностики чутливості рогівки є неінвазивним, точним та відтворюваним та може використовуватись для діагностики нейротрофічного стану рогівки у хворих на ЦД І типу і бактеріальний кератит.

Література

1. **Vieira-Potter V. J., Karamichos D., Lee D. J.** Ocular complications of diabetes and therapeutic approaches // *Biomed Res Int.* – 2016. – 3801570. [PubMed: 27119078].
2. **Bikbova G., Oshitari T., Baba T., Yamamoto S.** Neuronal Changes in the Diabetic Cornea: Perspectives for Neuroprotection // *Biomed Res Int.* – 2016. – 2016: 5140823.
3. **Von Frey M.** Berichte über die verhandlungen der königlich sachsichen // *Ges Wiss.* – 1894. – Vol.46. – P.185–96.
4. **Cochet P., Bonnet R.** L'esthésie corneenne // *La Clin Ophthalmol.* – 1960. – Vol.4. – P.3–27.
5. **Радзиховский Б. Л., Лучик В. И.** Чувствительность роговицы и ее диагностическое значение в патологии глаза и организма. – К.: Здоров'я; 1974. – 88 с.
6. **Golebiowski B., Papas E., Stapleton F.** Assessing the sensory function of the ocular surface: implications of use of a non-contact air jet aesthesiometer versus the Cochet-Bonnet aesthesiometer // *Exp Eye Res.* – 2011. – Vol. 92. – P.408–13.
7. **Murphy P. J., Patel S., Marshall J.** A new non-contact corneal aesthesiometer (NCCA) // *Ophthal Physiol Opt.* – 1996. – Vol. 16. – P. 101–7.

Автори засвідчують про відсутність конфлікту інтересів, які б могли вплинути на їх думку стосовно предмету чи матеріалів, описаних та обговорених в даному рукопису.

Поступила 25.10.2019

Эффективность нового устройства для бесконтактной диагностики чувствительности роговицы при определении ее нейротрофического состояния у больных сахарным диабетом I типа и бактериальным кератитом

Заволока О.В., Бездетко П.А., Луханин А.А.

Харьковский национальный медицинский университет; Харьков (Украина)

Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»; Харьков (Украина)

Цель: разработать новое устройство для бесконтактной диагностики чувствительности роговицы и определить его эффективность для оценки нейротрофического состояния роговицы у больных с сахарным диабетом I типа и бактериальным кератитом.

Материал и методы. Нами было разработано новое устройство для бесконтактной диагностики чувствительности роговицы и определена его эффективность для оценки нейротрофического состояния роговицы на основе данных обследования 30 больных сахарным диабетом I типа с бактериальными кератитами и 30 здоровых лиц.

Результаты. Было доказано, что исследование чувствительности роговицы с помощью нового устройства является неинвазивным, точным и повторя-

ющимся. Использование низких температур струи воздуха приводит к большей точности при бесконтактной альгезиметрии. Исследование чувствительности роговицы в 9 определенных точках и расчет среднего порога чувствительности позволяет более комплексно оценить функциональное состояние роговицы с учетом ее периферии.

Выводы. У больных сахарным диабетом I типа с бактериальным кератитом отмечается значительное снижение чувствительности роговицы. Разработанное нами устройство для бесконтактной диагностики чувствительности роговицы является эффективным для диагностики нейротрофической состояния роговицы у больных сахарным диабетом I типа и бактериальным кератитом.

Ключевые слова: альгезиметр, устройство для бесконтактной диагностики чувствительности роговицы, сахарный диабет, бактериальный кератит