



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **146433** (13) **U**
(51) МПК (2021.01)
A61B 8/00
A61B 5/20 (2006.01)
A61P 13/00

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО
"УКРАЇНСЬКИЙ ІНСТИТУТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ"

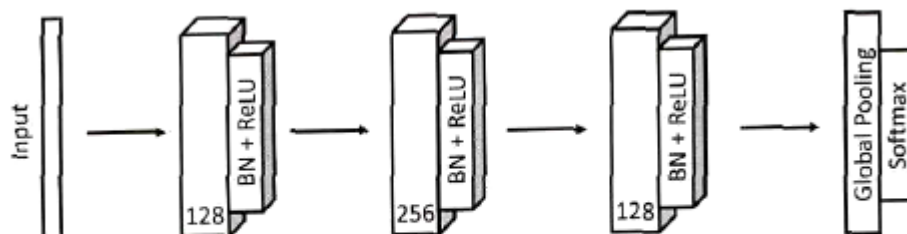
(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки:	u 2020 04194	(72) Винахідник(и):	Квятковський Олександр Євгенович (UA), Квятковська Тетяна Олександрівна (UA), Квятковський Євген Аркадійович (UA)
(22) Дата подання заявки:	08.07.2020	(73) Володілець (володільці):	Квятковський Олександр Євгенович, вул. Гоголя, 13, кв. 8, м. Дніпро, 49044 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності:	25.02.2021		
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію:	24.02.2021, Бюл.№ 8		

(54) СПОСІБ АВТОМАТИЧНОЇ КЛАСИФІКАЦІЇ РЕЗУЛЬТАТІВ УРОФЛОУМЕТРІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ САМОНАВЧАЛЬНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

(57) Реферат:

Спосіб автоматичної класифікації результатів урофлоуметрії з використанням самонавчальних нейронних мереж, що включає розпізнавання даних урофлоуметрії на основі чисельних параметрів урофлоуграм та віку пацієнта, причому на вхід самонавчальної нейронної мережі додатково подають усю урофлоуметричну криву та номограми максимальної і середньої об'ємної швидкості потоку сечі при сечовипусканні, а також стать пацієнта, від якої залежить автоматичний вибір номограм, при цьому включають чотири головні типи урофлоуметричних кривих з точністю тестування норми 96,64 %, переривчастого, обструктивного та обструктивно-перервного типів урофлоуграм з точністю 90,00 %, 90,11 % і 94,82 % відповідно, крім того, застосовують п'ятишарову архітектуру нейронної мережі із збільшеними фільтрами і загальним збільшенням середнього показника точності системи на 14,4 %.



Архітектура мережі FCN.

UA 146433 U

UA 146433 U

Корисна модель належить до галузі медицини, зокрема до урології, та може бути використаною для діагностики порушень сечовипускання у хворих з симптомами нижніх сечових шляхів.

Симптоми нижніх сечових шляхів спостерігаються у 15-60 % чоловіків віком старше 40 років [1]. За результатами популяційного дослідження, яким було охоплено 30 тисяч жіночого населення різних регіонів України, розлади сечовипускання мають місце у 52,0 % жінок [2].

Пріоритетним методом дослідження функціонального стану нижніх сечових шляхів є урофлоуметрія - клінічний метод неінвазивного дослідження уродинаміки, що полягає в графічній реєстрації об'ємної швидкості потоку сечі під час сечовипускання і сумарно відображає функціональний стан м'язів сечового міхура (детрузора) і прохідність сечівника. Метод може використовуватися як скринінговий. Результати урофлоуметрії не є специфічними для того чи іншого захворювання, але відображають функціональний стан нижніх сечових шляхів і в комплексі з іншими методами дослідження допомагають у визначенні діагнозу і призначенні адекватного лікування.

До певної міри трактовка урофлоуграм полегшується завдяки автоматизованому обчисленню показників урофлоуграм, закладеному у програмах більшості урофлоуметрів, з визначенням таких параметрів як максимальна і середня об'ємна швидкість потоку сечі, прискорення потоку сечі, час сечовиділення та сечовипускання, час досягнення максимального потоку сечі та очікування сечовипускання, об'єм сечі, виділеної при сечовипусканні. Але для визначення синдромів, які спостерігаються при захворюваннях нижніх сечових шляхів, таких як синдром детрузорно-сфінктерної диссинергії, гіперактивного сечового міхура, інфравезикальної обструкції, або декомпенсації детрузора нейрогенного чи обструктивного походження з так званим "черевним сечовипусканням", значення має якісна оцінка урофлоуграфічних кривих. Разом з тим, якісна візуальна оцінка урофлоуграм є операторзалежною. Вона залежить від суб'єктивної оцінки виду кривих лікарем, його досвіду в проведенні даних досліджень, а також вимагає певних витрат часу. Тому робляться спроби автоматизації класифікації урофлоуграм за типом з метою швидкого визначення їх характеристик. Автоматична оцінка характерних особливостей кривих може не тільки заощадити час, але і зробити якісну оцінку урофлоуграм більш надійною.

Удосконалення комп'ютерних методів обробки результатів урофлоуметрії, які дозволять підвищити ефективність проведення скринінгових досліджень шляхом виявлення характерних ознак урофлоуметричних кривих, є актуальною проблемою урології.

Відомий спосіб автоматизованої діагностики порушень уродинаміки нижніх сечових шляхів, описаний в патенті України № 72778 [3], згідно з яким оцифровані дані урофлоуметрії обробляють шляхом програмної цифрової фільтрації та спектрального аналізу, на основі яких реалізують процедуру ідентифікації та послідовного виключення типів урофлоуметричних кривих за їх характерними ознаками. Програмна класифікація реалізується шляхом оцінки значень суми коефіцієнтів спектра потужності сигналу, а також додаткового аналізу характерних ознак кожного з шести типів урофлоуграм, який служить для процедури послідовного виключення певних станів: "норма", "обструктивне сечовипускання" (м'яка обструкція уретри), "високий старт" (жорстка обструкція уретри), "стрімке сечовипускання" (гіперактивний сечовий міхур), "переривчасте сечовипускання" (неузгодженість роботи детрузора і зовнішнього сфінктера уретри), "обструктивно-перерване сечовипускання" (декомпенсація некоректність сформульованого завдання. Встановлення діагнозу ДГПЗ або стриктури уретри лише за даними урофлоуметрії неможливе і неприпустиме без всього комплексу клінічного обстеження хворого. Даний метод не є специфічним для того чи іншого захворювання, так як при різних захворюваннях у визначеному відсотку зустрічаються різні типи урофлоуграм [5, 6]. Наприклад, при стриктурах уретри найчастіше спостерігається обструктивний тип у вигляді "коробки", а не лише представлений авторами обструктивно-перервний тип урофлоуграм, який визначається також і при ДГПЗ [5, 6]. Тому декларований у висновках ступінь точності 95 % без попереднього наведення підтверджуючих даних і з огляду на некоректність завдання викликає сумніви.

У статті [7] запропоновано модель прогнозування вродженого заднього уретрального клапана (PUV) у хлопчиків із симптомами нижніх сечових шляхів (LUTS) за допомогою застосування штучної нейронної мережі для оцінки результатів урофлоуметрії. Використане чотиришарове зворотно-поширювальне навчання із двома прихованими шарами з чотирма нейронами кожен. Ймовірність виявлення PUV оцінювали за допомогою кількісних параметрів урофлоуметрії (максимальної і середньої об'ємної швидкості потоку сечі, часу досягнення максимального потоку сечі, часу сечовиділення і сечовипускання, об'єму виділеної сечі) та віку пацієнта. У багатоваріантному аналізі значущими змінами на користь PUV були ознаки: слабкий потік/переривчастість потоку сечі та збільшення частоти сечовипускань. Набір даних включав 87

урофлюограм дітей з PUV і 114 урофлюограм дітей, віднесених до норми. За допомогою нейронних мереж при оцінці урофлюограм було точно прогнозовано 92,7 % випадків PUV. У випадках слабого потоку чи переривчастості потоку сечі при урофлюометрії з урахуванням підвищеної частоти сечовипускання одержаний таким чином прогноз може сприяти своєчасному лікуванню.

Недоліком способу є те, що завідомо відбиралися пацієнти з однією патологією - вродженим клапаном уретри. Головні ознаки, призначені авторами для даної патології, такі як "слабкий потік" або "переривчастість", спостерігаються і при інших захворюваннях у дітей, таких як вроджені фімоз, дивертикул уретри, контрактура шийки сечового міхура, гіпертрофія сім'яного горбка, часткова облітерація уретри. Також урофлюограми не розрізняли за окремими типами, а визначали загальні відхилення від норми.

Найбільш близьким до запропонованого способу за сукупністю ознак є спосіб, представлений у статті [8] та вибраний авторами як найближчий аналог.

В найближчому аналогу представлено класифікатор нейронної мережі, в якому виходить штучних нейронних мереж підрозділяються на три класи урофлюограм: "здорові", "можливі патологічні" і "патологічні". Система навчається за допомогою методу зворотного поширення та вхідних даних пацієнтів, у яких попередньо було встановлено діагноз фахівцями з урології. Була застосована тришарова нейронна мережа. Вхідний шар використовує виводи алгоритму вилучення функцій. Прихований шар містить відносини між нейронами штучної нейронної мережі у матричній формі. Вихідний рівень генерує рішення як "здорові", "можливі патологічні" і "патологічні".

Розроблені нейронні мережі використовують програмне середовище MATLAB і реалізуються через графічний Інтерфейс користувача з визначенням площі під кривою та застосуванням деяких виявлених функцій, таких як локальні максимуми і мінімуми урофлюограм. Загальна кількість урофлюограм, використаних для машинного навчання, становила 72. Продуктивність системи тестувалася за даними 78 урофлюограм, які не використовувалися у навчанні. Показник "успішності" (точності) для визначення урофлюограм як "здорові" склав 88 %, "можливі патологічні" - 73 % і "патологічні" - 77 %, середній показник успішності (точності) системи склав 79 %.

Недоліком способу є класифікація урофлюограм лише за такими ознаками як норма, патологія та сумнівні криві. До недоліків також належать незначна кількість урофлюограм, використаних для навчання системи, і лише три шари нейронної мережі, застосованої для самонавчання, що знижує її точність.

В основу корисної моделі поставлено задачу створити спосіб, який дає можливість визначення чотирьох основних типів урофлюограм, покращити здатність до навчання штучної нейронної мережі та точність якісної оцінки урофлюограм.

Поставлена задача вирішується за рахунок того, що в способі автоматичної класифікації даних урофлюометрії з використанням самонавчальних нейронних мереж, що включає розпізнавання даних урофлюометрії на основі чисельних параметрів урофлюограм та віку пацієнта, відповідно до корисної моделі, на вхід самонавчальної нейронної мережі додатково подають усю урофлюометричну криву та номограми максимальної і середньої об'ємної швидкості потоку сечі при сечовипусканні, а також стать пацієнта, від якої залежить автоматичний вибір номограм, при цьому включають чотири головні типи урофлюометричних кривих з точністю тестування норми 96,64 %, переривчастого, обструктивного та обструктивно-переривного типів урофлюограм з точністю 90,00 %, 90,11 % і 94,82 % відповідно, крім того, застосовують п'ятишарову архітектуру нейронної мережі із збільшеними фільтрами і загальним збільшенням середнього показника точності системи на 14,4 %.

Запропонований спосіб дає можливість на 8,64 % підвищити точність визначення нормального типу урофлюограм та з точністю більшою на 13 %-17,82 % визначати такі типи патологічних урофлюограм: переривчастий, що відповідає синдрому детрузорно-сфінктерної диссинергії (на 13 %), обструктивний, що відповідає інфравезикальній обструкції (на 13,11 %), обструктивно-переривний, що відповідає "черевному" сечовипусканню при декомпенсації детрузора (17,82 %).

Спосіб здійснюють наступним чином.

Дані, що подаються на вхід нейронної мережі, являють собою графік швидкості сечовипускання, записаний з частотою 56 вимірювань в секунду. Крім того, враховують стать і вік пацієнта, а також обчислюють урофлюометричні параметри і проценти номограм максимальної і середньої об'ємної швидкості потоку сечі. Урофлюометричні параметри включають максимальну і середню об'ємну швидкість потоку сечі, прискорення потоку сечі, час сечовиділення та сечовипускання, час досягнення максимального потоку сечі та очікування

сечовипускання, об'єм сечі, виділеної при сечовипусканні. Для зменшення часу обчислень часовий ряд стискають в 4 рази. Таким чином, отримують вектор з 2000 значень, що відповідає урофлоуграм з максимальною тривалістю в 143 секунди, а також 13 скалярних значень параметрів і даних пацієнта.

В результаті розгляду різних варіантів нейронних мереж нами була вибрана п'ятишарова архітектура мережі FCN (Fully Convolutional Network), запропонована в роботі Zhiguang Wang (2016) [9] (фіг. 1 Архітектура мережі FCN). В оглядах і зведених тестуваннях методів класифікації часових рядів вона зарекомендувала себе однією з кращих [11].

Квятковським О.Є. були внесені деякі поліпшення в оригінальну архітектуру FCN: істотний приріст точності класифікації дали збільшення розміру фільтрів в 2 рази, а також облік 13 чисельних параметрів шляхом впровадження їх перед шаром Softmax.

Частка вірних відповідей автоматичної класифікації урофлоуграм за типами з використанням самонавчальних нейронних мереж в залежності від архітектури мережі, в тому числі запропонованої Квятковським О.Є., (виділено жирним шрифтом), відображена в таблиці 1.

Таблиця 1

Частка вірних відповідей автоматичної класифікації урофлоуграм з використанням самонавчальних нейронних мереж (в %)

Архітектура	Відсоток вірних відповідей
FCN	91,0 %
FCN + збільшені фільтри + врахування параметрів	93,4 %

Для розробки системи розпізнавання даних урофлоуметрії на основі нейромережевого класифікатора, глибокого навчання і тестування нейронної мережі ми використовували набір з 3830 результатів урофлоуметрії, які пройшли експертну оцінку. Дані 3040 урофлоуграм і 6080 номограм були класифіковані нами за 4 типами на підставі вивчення наукової літератури з даного питання і багаторічного досвіду проведення урофлоуметрії. Було обстежено 2115 чоловіків і 925 жінок, що склало 69,6 % і 30,4 % від загальної кількості досліджень відповідно. Вік пацієнтів варіював від 18 до 90 років. Розподіл урофлоуграм за типами представлений у таблиці 2.

Таблиця 2

Розподіл урофлоуграм за класами (типами)

№	Клас (тип) урофлоуграм	Кількість	%
1	Норма	1090	35,86
2	Переривчастий	680	22,37
3	Обструктивний	646	21,24
4	Обструктивно-перервний	624	20,53
Σ	Усього	3040	100

Дані випадковим чином розбивалися на навчальну і тестову вибірку в співвідношенні 70 % і 30 %.

В таблиці 3 представлені матриці неточностей автоматичної класифікації урофлоуграм за 4 типами з використанням самонавчальних нейронних мереж.

Таблиця 3

Матриці неточностей автоматичної класифікації урофлоуграм

№	1	2	3	4	Σ	%
1	316	11	0	0	327	96,64
2	18	189	0	3	210	90,00
3	0	0	164	18	182	90,11
4	0	5	5	183	193	94,82
Σ	334	205	169	204	912	

Примітка: в затінених клітинках таблиці вказана кількість правильно автоматично розпізнаних урофлоуграм за допомогою запропонованої Квятковським О.Є. комп'ютерної програми, в останньому стовпчику - їх відсоткове відношення щодо загальної кількості тестованих урофлоуграм даного класу, вказане в передостанньому стовпці.

Отже, запропонований спосіб дає можливість автоматично визначити тип урофлоуграми із загальним збільшенням середнього показника точності системи на 14,4 %.

5 Джерела інформації:

1. Пасечніков С.П. Силодозин в лечении симптомов нижних мочевых путей: максимальная фармакологическая селективность Медичні аспекти здоров'я чоловіка. 2017. № 1 (24): 13-17.

2. Яцина О.І. Якість життя жінок в її взаємозв'язку із поширеністю розладів сечовипускання в Україні. Урологія. 2018. № 4: 17-23.

10 3. Спосіб автоматизованої діагностики порушень уродинаміки нижніх сечових шляхів. Квятковський О.Є., Глухова Н.В., Квятковська Т.О., Квятковський Є.А. Патент України № 72778, МПК (20.12.01) А61В 8/00, № заявки u 2012 02410, дата подання 29.02.2012, опубл. 27.08.2012, Бюл. № 16.

4. Ершов А.В., Капсаргин Ф.П., Бережной А.Г., Мылтыгашев М.П. Экспертные системы в оценке данных урофлоуграм. Вестник урологии. 2018. Т. 6, № 3: 12-16.

5. Вишневский Е.Л., Пушкарь Д.Ю., Лоран О.Б., Данилов В.В., Вишневский А.Е. Урофлоуметрия. – М.: Печатный Город, 2004. 220 с.

6. Квятковская Т.А., Квятковский Е.А., Квятковский А.Е. Урофлоуметрия: монография. Днепр: Лира, 2019. 276 с.

20 7. Abdovic S., Cuk M. Cekada N. Milosevic M. Geljic A. Fusic S. Bastic M. Bahtijarevic Z. Predicting posterior urethral obstruction in boys with lower urinary tract symptoms using deep artificial neural network. World Journal of Urology. 2019. 37:1973-1979.

8. Altunay S. A new approach to urinary system dynamics problems: Evaluation and classification of uroflowmeter signals using artificial neural networks /S, Altunay, Z. Telatar, O. Erogul [et al.] //Expert Systems with Applications. 2009. 36, 3: 4891-4895.

25 9. Wang Z. Time series classification from scratch with deep neural networks: A strong baseline /Z. Wang, W. Van, T. Oates //ArXiv: 1611.06455v4 [cs. LG]. 2016. 9 p.

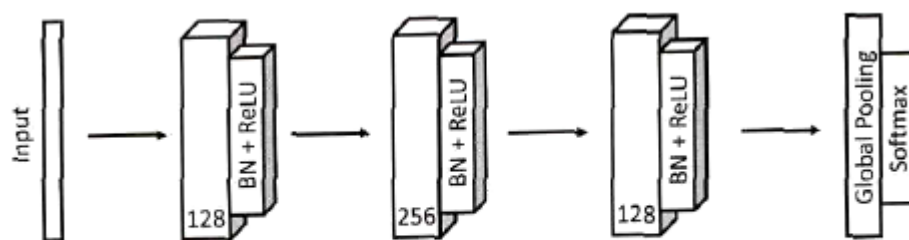
ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

30

Спосіб автоматичної класифікації результатів урофлоуметрії з використанням самонавчальних нейронних мереж, що включає розпізнавання даних урофлоуметрії на основі чисельних параметрів урофлоуграм та віку пацієнта, який **відрізняється** тим, що на вхід самонавчальної нейронної мережі додатково подають усю урофлоуметричну криву та номограми максимальної і середньої об'ємної швидкості потоку сечі при сечовипусканні, а також стать пацієнта, від якої залежить автоматичний вибір номограм, при цьому включають чотири головні типи урофлоуметричних кривих з точністю тестування норми 96,64 %, переривчастого, обструктивного та обструктивно-переривного типів урофлоуграм з точністю 90,00 %, 90,11 % і 94,82 % відповідно, крім того, застосовують п'ятишарову архітектуру нейронної мережі із збільшеними фільтрами і загальним збільшенням середнього показника точності системи на 14,4 %.

35

40



Архітектура мережі FCN.