

Ян Лунінь
С.В. Павлов
Л.І. Шкільняк
Я.Г. Скорюкова
Т.М. Канішина

ЗАСТОСУВАННЯ ЗГОРТКОВИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ДІАГНОСТИЧНОЇ ТОЧНОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ ЛІКУВАННЯ ХВОРИХ НА ДІАБЕТ В ПУЛЬСОДІАГНОСТИЦІ

Вінницький національний технічний університет
Вінницький національний медичний університет ім. М.Пирогова

Анотація

Показано, що застосування фотоплетизмографічного даного методу у щелепно-лицевій хірургії шляхом інтеграції її в передові моделі глибоких нейронних мереж, такі як архітектури ResNet, дозволяє: точно визначити ефективність лікування; уточнити тривалість реабілітаційного періоду; виявити всілякі судинні порушення у хворих на цукровий діабет; оцінити ефективність місцевого знеболювання (оскільки анестезія викликає спазм судин, за зниженням амплітуди можна судити про ефективність анестезії).

Ключові слова: пульсодіагностика, фото плетизмографія, згорткові нейронні мережі, цукровий діабет

Вступ. Ідея створення пульсодіагностичного методу досліджень належить фахівцю в області китайської медицини Пак Сон Черу. Цими методами володіли багато китайських лікарів. Доктор Пак поставив перед групою дослідників завдання створити прилад, здатний за пульсом проводити діагностику внутрішніх органів людини і його стану в цілому з наступними рекомендаціями по лікуванню. Для виконання цієї роботи були залучені тибетологи, буддологи, лікарі з тибетською і європейською освітою, когнітологи (фахівці зі знань), фізики, математики, програмісти і т.д [1,2,3].

Незважаючи на свою довгу історію та широке використання, пульсова діагностика в традиційній китайській медицині зіткнулася з проблемами з точки зору діагностичної точності та послідовності через її залежність від суб'єктивної інтерпретації та теоретичного аналізу.

Проблеми. Це дослідження представляє підхід до підвищення точності діагностики пульсу в китайській медицині при діабетичних захворюваннях шляхом використання алгоритмів глибокого навчання, зокрема моделей LeNet і ResNet, для аналізу пульсових хвиль. Моделі LeNet і ResNet були застосовані для аналізу форм імпульсних хвиль з використанням різноманітного набору даних, що включає як здорових осіб, так і пацієнтів з діабетом. Інтеграція цих передових алгоритмів із сучасними приладами вимірювання пульсу демонструє великі перспективи у зменшенні варіабельності, що залежить від практикуючого лікаря, та підвищенні надійності діагнозів. Це дослідження дозволяє шляхом використання передових інформаційних технологій в охороні здоров'я LeNet-F покращити точність навчання та тестів (75% та 70% відповідно, порівняно з 70% та 65% у LeNet). Крім того, моделі ResNet стабільно перевершували LeNet: ResNet18-F досягла найвищої точності (84%) на тренуваннях і 76% у тестуванні.

Метод. Останніми роками сфера глибокого навчання зазнала значного прогресу, особливо в таких сферах, як розпізнавання зображень та обробка природної мови. Серед різних архітектур нейронних мереж, які були розроблені, ResNets привернули значну кількість уваги завдяки своїй винятковій продуктивності. У цьому розділі досліджується вибір ResNet для прогнозування діабету, висвітлюються його архітектурні переваги та конкретні застосування в цьому контексті. Розроблений Каймінгом Хе та його командою у 2015 році [1], ResNet дозволив отримати гарні результати в глибокому навчанні, покращивши градієнтний потік через залишкові блоки. Для прогнозування діабету ця архітектурна особливість дозволяє моделі фіксувати складні закономірності та тонкі особливості, пов'язані з факторами

ризиком діабету. Структура ResNet особливо корисна для виявлення складних деталей у даних, пов'язаних з оцінюванням діабетичних захворювань.

Роль ResNet у прогнозуванні діабету є ключовою завдяки його здатності долати поширені проблеми глибокого навчання. Введення залишкових блоків в ResNet дозволяє мережі плавно вивчати відображення ідентичностей, ефективно вирішуючи проблему зникаючого градієнта. Ці блоки підвищують здатність мережі виконувати глибоке вилучення функцій, що має вирішальне значення для точного прогнозування діабету [1].

Функцію залишкового блоку в ResNet математично можна описати як [2]

$$Y(t) = F(X_i(t), \{W_i\}) + X_i(t)$$

де $X_i(t)$ є вхідними даними, $Y(t)$ є виходом, $F(X_i(t), \{W_i\})$ представляє функцію відображення залишкової гілки, $\{W_i\}$ — це ваги, пов'язані із залишковою гілкою. Ця формула сприяє ефективному навчанню та оптимізації градієнта, тим самим підвищуючи загальну продуктивність моделі.

Технологія оцінювання. Фізіологічні основи фотоплетизмографічного методу полягають у тому, що цей метод дозволяє визначати рівень перфузії тканинної мікроциркуляції тканин. Складовою частиною ФПМ є аналіз коливань кровотоку, зареєстрованих фотоплетизмограмо. Ритми коливань (флуктуацій) та їх співвідношення грають важливу діагностичну роль. Спонтанні коливання кровотоку багато в чому обумовлені вазомоціями - ритмічними змінами діаметра прекапілярних резистивних судин, які викликають ритмічні коливання швидкості руху еритроцитів у мікроциркуляторному руслі.

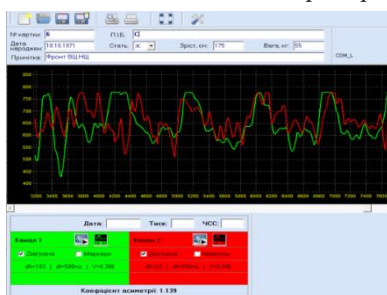
В основі патогенезу багатьох захворювань лежить порушення мікроциркуляції. Тому оцінка стану судинного русла, включаючи капіляри, дозволяє виявити на ранніх стадіях різні хвороби, а також контролювати процес лікування пацієнта. Оптимальною методикою скринінгової судинної діагностики є фотоплетизмографічний метод. Це простий, неінвазивний, безболісний і надійний експрес-метод, заснований на визначенні обсягу крові в мікросудинному руслі.

Клінічні дослідження.

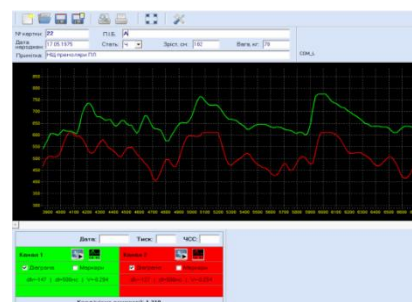
Клінічне обстеження пацієнтів проводилося на базі кафедри хірургічної стоматології і щелепно-лицевої хірургії Вінницького національного медичного університету ім. М. І. Пирогова у відділенні щелепно-лицевої хірургії Вінницької обласної клінічної лікарні ім. М. І. Пирогова. Дослідження виконані з дотриманням основних положень «Правил етичних принципів проведення наукових медичних досліджень за участю людини», затверджених Гельсінською декларацією (1964-2013 рр.), ICH GCP (1996 р.), Директиви ЄС № 609 (від 24.11.1986 р.), наказів МОЗ України № 690 від 23.09.2009 р., № 944 від 14.12.2009 р., № 616 від 03.08.2012 р. Усі пацієнти заздалегідь дали добровільну письмову інформовану згоду на проведення обстеження.

Пацієнти були спрямовані у відділення з різних державних установ і комерційних клінік, а також зверталися для консультації і лікування самостійно. Дослідження проводилися в період з 2016 по 2021 роки. Для дослідження були відібрані 3 групи пацієнтів: група порівняння (30 пацієнтів) – пацієнти що не хворіють на цукровий діабет, яким проводилось видалення зубів та для лікування застосований стандартизований метод лікування (див. опис методу лікування), основна група 1 (30 пацієнтів) – пацієнти, що хворіють на цукровий діабет, яким проводилось видалення зубів без застосування додаткового місцевого лікування, основна група 2 (30 пацієнтів) – пацієнти, що хворіють на цукровий діабет, яким проводилось видалення зубів, застосовувалась фотонна терапія та внесення в лунку видаленого зуба PRF.

Фотоплетизмографічні графіки представлені на рис. 1, а, б за допомогою оптико-електронного пристрою для оцінювання тканинної мікроциркуляції



а)



б)

Рисунок 1 – Фотоплетизмографічні графіки у контрольній групі (а) та хворих на цукровий діабет (б)
Фотоплетизмографічне обстеження проводили пацієнтам всіх трьох груп на 1, 3, 7, 14 день дослідження. Обстеження проводили на оптоелектронному діагностичному оптико-електронному

комплексі аналізу тканинної мікроциркуляції. Оптичне випромінювання проєктували на ділянку ясен, на відстані 5 мм від ясенного краю з вестибулярного і також з піднебінного боку в ділянці видаленого зуба.

Результати експериментальних досліджень

Нижче наведені результати дослідження.

Група 1. Фототерапія проводилася чотири дні (на 1, 3, 7, 14 день дослідження). випромінюванням червоного діапазону спектра (670 нм), тривалість кожної процедури - 5 хвилин.

Середнє вихідне значення показника рівня мікроциркуляції (Н) % + 13,1 % ($p < 0,05$) (1 день) по відношенню до значення мікроциркуляції (Н) до фотонної процедури (посилення мікроциркуляції крові на 13,1 % ($p < 0,05$)). Середнє вихідне значення показника рівня мікроциркуляції (Н) % + 47,3 % ($p < 0,05$) (3 день) по відношенню до значення мікроциркуляції (Н) до фотонної процедури (посилення мікроциркуляції крові на 47,3 % ($p < 0,05$)), середнє вихідне значення показника рівня мікроциркуляції (Н) % + 16,6 % ($p < 0,05$) (7 день) по відношенню до значення мікроциркуляції (Н) до фотонної процедури (посилення мікроциркуляції крові на 16,6 % ($p < 0,05$)), середнє вихідне значення показника рівня мікроциркуляції (Н) % + 31,9 % ($p < 0,05$) (14 день) по відношенню до значення мікроциркуляції (Н) до фотонної процедури (посилення мікроциркуляції крові на 31,9 % ($p < 0,05$)).

Середнє значення посилення мікроциркуляції по першій групі за повний період лікування склало 29,2 % ($p < 0,05$).

Приклад 1. Ефект впливу фотонного випромінювання за досліджуваними показниками у хворого 1 групи

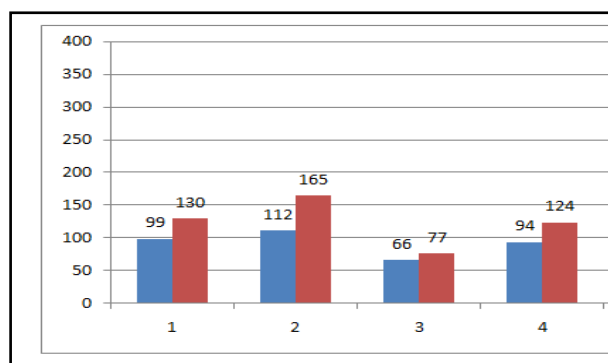


Рисунок 2 – Оцінювання рівня тканинної мікроциркуляції при впливі фотонного випромінювання (приклад 1)

Обговорення. Порівнюючи LeNet і LeNet-F, ми спостерігаємо, що LeNet-F досягає дещо вищих точностей навчання та тестів (73% та 67% відповідно) порівняно з LeNet (70% та 65% відповідно). Це поліпшення можна пояснити впровадженням передових методів попередньої обробки даних і додаткових функцій в LeNet-F. Ці вдосконалення дозволяють LeNet-F краще фіксувати та використовувати характеристики, пов'язані з діабетом, що призводить до покращення прогностичних показників.

Таблиця 1.

Порівняння продуктивності різних моделей.

Модель	Точність навчання (%)	Точність тестування (%)
LeNet	70	65
LeNet-F	75	70
ResNet18	73	69
RseNet18-F	84	76

Результати також демонструють, що моделі ResNet стабільно перевершують свої аналоги LeNet. Глибока залишкова структура ResNet допомагає пом'якшити проблему зникаючого градієнта, дозволяючи будувати більш глибокі мережеві архітектури. Це дозволяє моделям ResNet більш ефективно навчатися та представляти складні функції, підвищуючи їхню здатність фіксувати абстрактні характеристики, що мають відношення до прогнозування діабету.

На цьому етапі ми спочатку визначили деякі базові статистичні вимірювання трьох імпульсних хвиль для кожного пацієнта, включаючи коефіцієнт дисперсії, стандартне відхилення (SD), середнє, мінімальне та максимальне. Згодом ми використовували широко використовувану модель машинного навчання XGBoost і використовували вищезгадані статистичні вимірювання як особливості для навчання моделей. Використовуючи бінарний класифікаційний підхід (0 — без діабету; 1 — діабет), ми провели попередню класифікацію. У цій спробі модель досягла точності 70 %

Висновки

1. Застосування даного методу у щелепно-лицевій хірургії дозволяє: точно визначити ефективність лікування; уточнити тривалість реабілітаційного періоду; виявити всілякі судинні порушення у хворих на цукровий діабет; оцінити ефективність місцевого знеболювання (оскільки анестезія викликає спазм судин, за зниженням амплітуди можна судити про ефективність анестезії); застосовувати даний метод у пластичній хірургії та трансплантології.

2. Це дослідження дозволило шляхом використання сучасних технологій оцінювання пульсу підвищити точність досліджень шляхом застосування ResNet моделей. Наші результати підкреслюють важливість використання технологічних досягнень для вдосконалення практик охорони здоров'я, особливо в діагностиці таких захворювань, як цукровий діабет та застосування цього методу для прогнозування тривалості реабілітаційного періоду.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. He, K.; Zhang, X.; Ren, S.; Sun, J. Deep residual learning for image recognition. In Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Las Vegas, NV, USA, 27–30 July 2016; pp. 770–778.
2. Yeh, W.-C.; Kuo, C.-Y.; Chen, J.-M.; Ku, T.-H.; Yao, D.-J.; Ho, Y.-C.; Lin, R.-Y. Pioneering Data Processing for Convolutional Neural Networks to Enhance the Diagnostic Accuracy of Traditional Chinese Medicine Pulse Diagnosis for Diabetes. *Bioengineering* 2024, 11, 561. <https://doi.org/10.3390/bioengineering11060561>.
3. Wójcik, W., Pavlov, S., Kalimoldayev, M. (2019). *Information Technology in Medical Diagnostics II*. London: Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book. – 336 Pages, <https://doi.org/10.1201/9780429057618>. eBook ISBN 9780429057618.
4. Pavlov, S.V., Kozhukhar, A. T., Electro-optical system for the automated selection of dental implants according to their colour matching, *Przegląd elektrotechniczny*, ISSN 0033-2097, R. 93 NR 3, 2017, pp. 121-124.
5. Fu, S.E.; Lai, S.P. A system for pulse measurement and analysis of Chinese medicine. In Proceedings of the IEEE Engineering in Medicine & Biology Society's 11th Annual International Conference, Seattle, WA, USA, 9–12 November 1989; pp. 1695–1696. 2. Yu, Y.C.; Yeh, S.J.; Chiu, C.C. Analysis of autonomic nervous system by applying artificial neural network to categorize pulse signals from Finapres. *Clin. Auton. Res.* 1996, 5, 295–1996.

Ян Лунінь – аспірант кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, e-mail: longyinyang966@gmail.com.

Павлов Сергій Володимирович – д.т.н., професор кафедри біомедичної інженерії та оптико-електронних систем, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна, e-mail: psv@vntu.edu.ua

Шкільняк Людмила Іванівна – к.м.н., доцент, Вінницький національний медичний університет, e-mail: lusinkalusja@gmail.com

Скорюкова Янина Германівна – к. т. н, доцент кафедри опору матеріалів, теоретичної механіки та інженерної графіки, Вінницький національний технічний університет, Вінниця, Україна, e-mail: yaskor@vntu.edu.ua.

Канішина Тетяна Миколаївна – PhD in medicine, Вінницький національний медичний університет, e-mail: kanyshyna@gmail.com

Yang Longyin, S.V. Pavlov, L.I. Shkilniak, Ya.G. Skoriukova, T.M. Kanyshyna APPLICATION OF CONVULSIVE NEURAL NETWORKS TO INCREASE DIAGNOSTIC ACCURACY AND EFFECTIVENESS OF TREATMENT OF PATIENTS WITH DIABETES IN PULSE DIAGNOSTIC

Abstract

It has been shown that the use of this photoplethysmographic method in maxillofacial surgery by integrating it into advanced models of deep neural networks, such as ResNet architectures, allows: to accurately determine the effectiveness of treatment; to specify the duration of the rehabilitation period; to identify all kinds of vascular disorders in patients with diabetes; to assess the effectiveness of local anesthesia (since anesthesia causes vasospasm, the effectiveness of anesthesia can be judged by a decrease in the amplitude).

Keywords: pulse diagnostics, photoplethysmography, convolutional neural networks, diabetes mellitus.

Yan Lunin – PhD student at the Department of Biomedical Engineering and Optoelectronic Systems, Vinnytsia National Technical University, e-mail: longyinyang966@gmail.com.

Pavlov Sergii Volodymyrovych – Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Biomedical Engineering and Optoelectronic Systems, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: psv@vntu.edu.ua.

Shkilniak Liudmyla Ivanivna – Candidate of Medical Sciences (PhD in Medicine), Associate Professor, Vinnytsia National Medical University, e-mail: lusinkalusja@gmail.com.

Skoriukova Yanyna Hermanivna – Candidate of Technical Sciences (PhD in Technical Sciences), Associate Professor at the Department of Strength of Materials, Theoretical Mechanics and Engineering Graphics, Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, Ukraine, e-mail: yaskor@vntu.edu.ua.

Kanishyna Tetiana Mykolaivna – PhD in Medicine, Vinnytsia National Medical University, e-mail: kanyshyna@gmail.com.