

УДК 621.3 : 681.5 : 616.24-008.331.1

**МЕТОД АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИЗНАЧЕННЯ РАННІХ ОЗНАК
ЛЕГЕНЕВОЇ ГІПЕРТЕНЗІЇ***Клочко Т. Р., Якобчук Є. О.**Національний технічний університет України**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна**E-mail: t.klochko@kpi.ua, agfarkpi@i.ua*

Актуальною проблемою сучасних діагностичних методів медицини є розвиток неінвазивних методів, що використовують системи обробки інформаційних сигналів від біологічного об'єкта дослідження. Доцільним технічним рішенням подібних проблем є застосування штучного інтелекту в системах і комплексах, що поєднують функції діагностування за параметрами порушення фізіологічного стану пацієнта.

Наслідками розвитку фізіологічних патологій в організмі людини, як патології серцево-судинної системи, є можливість виникнення легеневої гіпертензії та її різновидів, які залежать від особливостей гемодинаміки малого кола кровообігу, підвищення тиску в легеневому колі кровообігу. Ці особливості захворювання можуть призводити до розвитку легеневої артеріальної гіпертензії.

Запропоновано для реалізації методу застосування ланцюгу зворотного зв'язку. Таким чином, принцип зворотного зв'язку надає можливості реалізації програми, яка обраховує вимірювані значення параметрів функціонального стану пацієнта, а надалі порівнює з межовими значеннями цих параметрів для отримання заключного висновку та надання результатів одночасно і лікареві, і користувачеві.

З отриманих результатів видно, що час отримання попередніх результатів діагностики за запропонованою схемою реалізації методу в десятки разів швидший за умови використання методу зворотного зв'язку ніж у традиційно застосованих методів. Запропоновано основні критерії надійності та швидкодії роботи визначення критичних ситуацій за допомогою розроблених алгоритмів реалізації методики визначення ранніх ознак легеневої гіпертензії та її наслідків.

Важливо відмітити, що незважаючи на те, що результати отримуються надзвичайно швидко, кінцевий діагноз ставить лікар на основі власних спостережень та аналізу плинного стану пацієнта.

Запропоновані алгоритми реалізації методу, які застосовують принципи роботи портативного комплексу на основі монітору для отримання плинних характеристик стану пацієнта та передачі їх в режимі використання принципів телемедицини для визначення діагнозу.

Отримані в роботі принципи функціонування автоматизованих систем діагностики, які призначені для моніторингу можуть бути підґрунтям для створення в подальшому нових методів та вдосконалення систем автоматизованої діагностики та визначення ранніх ознак порушень функціонального стану пацієнта засобами діагностики.

***Ключові слова:** метод; автоматизована система; алгоритми; критерії; легенева гіпертензія; діагностика; моніторинг; функціональний стан; інтегрований метод.*

Вступ

Актуальною проблемою сучасних діагностичних методів медицини є розвиток неінвазивних методів, що використовують системи обробки інформаційних сигналів від біологічного об'єкта дослідження. Доцільним технічним рішенням подібних проблем є застосування штучного інтелекту в системах і комплексах [1], що поєднують функції діагностування за параметрами порушення фізіологічного стану пацієнта.

Наслідками розвитку фізіологічних патологій в організмі людини, як патології серцево-судинної системи (ССС), є можливість виникнення легеневої гіпертензії (ЛГ) та її різновидів, які залежать від особливостей гемодинаміки малого кола кровообігу, підвищення тиску в легеневому колі кровообігу. Ці особливості захворювання можуть призводити до розвитку легеневої артеріальної гіпертензії (ЛАГ) [2 – 5].

За останні роки, клінічне управління легеневою гіпертензією стало складнішим через необхідність точної та ранньої діагностики, а також прогнозування можливих ускладнень. В такому контексті, використання технологій штучного інтелекту надає великий потенціал для оптимізації процесу діагностики та прогнозування, завдяки своїм здатностям аналізувати величезні обсяги даних, включаючи клінічні параметри, образи легень, результати функціональних тестів та генетичні дослідження. Це відкриває можливості для виявлення ранніх ознак легеневої гіпертензії, а також для індивідуалізованого прогнозування ризику ускладнень та вибору оптимального підходу до лікування для кожного пацієнта.

Аналіз потенціалу та перспектив використання технологій штучного інтелекту в діагностиці та прогнозуванні легеневої гіпертензії, а також можливі перешкоди та виклики, які можуть виникнути

в процесі їх впровадження в клінічну практику є важливим завданням для подальшого удосконалення клінічної практики та поліпшення якості життя пацієнтів з даною патологією. Використання технологій штучного інтелекту в діагностиці та прогнозуванні легеневої гіпертензії отримало значний інтерес останнім часом. Штучний інтелект дозволяє аналізувати величезні масиви клінічних даних та зображень, що дозволяє виявляти складні закономірності та прогнозувати ризик розвитку легеневої гіпертензії. Зокрема, інтеграція алгоритмів машинного навчання та глибокого навчання дозволяє автоматизувати процеси обробки даних, виявлення різних паттернів, що можуть служити важливими маркерами для діагностики легеневої гіпертензії.

Однією з переваг використання штучного інтелекту в цій сфері є здатність до аналізу даних в реальному часі. Це відкриває можливості для оперативного втручання та моніторингу пацієнтів з легеневою гіпертензією, що сприяє покращенню якості діагностики та ефективності лікування. Крім того, аналіз індивідуальних факторів ризику за допомогою штучного інтелекту може сприяти вчасному виявленню пацієнтів, які потребують найбільш інтенсивного моніторингу та лікування. Застосування штучного інтелекту також сприяє розвитку персоналізованої медицини у галузі легеневої гіпертензії. Алгоритми глибокого навчання дозволяють враховувати індивідуальні особливості пацієнта та вибирати оптимальний підхід до лікування, забезпечуючи оптимальні результати.

Отже, використання технологій штучного інтелекту в діагностиці та прогнозуванні легеневої гіпертензії відкриває нові можливості для поліпшення діагностики, лікування та підходів до керування станом пацієнта за наявності такого серйозного захворювання.

Постановка задачі

Нормальний легеневий кровообіг дорослої людини є системою з низьким опором, яка дозволяє підтримувати високий кровообіг у правому шлуночку при відносно низькому тиску.

Однак при кількох окремих клінічних розладах опір легневих судин підвищується, що призводить до легеневої артеріальної гіпертензії. Оскільки опір і тиск продовжують зростати, відбувається прогресуюче порушення функції правого шлуночка серця. Звуження легеневої судинної мережі та порушення серцевого викиду призводять до задишки та обмеження фізичних навантажень. Зрештою, збільшення після навантаження призводить до правобічної серцевої недостатності та навіть передчасної смерті пацієнта. Хоча значний прогрес у розумінні механізмів ЛАГ призвів до розробки нових методів лікування, прогноз залишається поганим: до 50 % пацієнтів помирають протягом 5 років, незважаючи на найагресивніші методи лікування. Таким чином, вкрай необ-

хідні нові вимірювані параметри функціонального стану пацієнта, визначення параметрів діагностики, патофізіології та лікування ЛАГ [6].

Наразі існують прилади та системи, які призначені для аналізу та діагностики ознак легеневої артеріальної гіпертензії [4, 6 – 9].

Окрім того, авторами запропоновано загальний устрій систем автоматизованої діагностики ознак ЛГ в режимі моніторингу (рис. 1) [10]. Принципи запропонованої системи передбачають застосування інтегрованого блоку сенсорів реєстрації та перетворення параметрів залежно від призначення лікаря.

Застосування подібного устрою реалізує засади інтернету речей в частині забезпечення взаємодії комплексу сенсорів та блоків їх обробки, аналізу цих масивів даних та формування команди дистанційної передачі діагнозу лікарю. Водночас, створюють повідомлення для пацієнта з метою прийняття власних рішень та узгодження з лікарем або проведення подвійних консультацій щодо стану [10].

При використанні штучного інтелекту для діагностики легеневої гіпертензії існують і переваги, і недоліки. Серед переваг можна виділити автоматизацію процесу аналізу великих обсягів клінічних даних, що дозволяє швидше й точніше виявляти патологічні показники та закономірності, що можуть бути легко пропущені при ручному аналізі. Це може сприяти виявленню хвороби на ранній стадії та покращенню прогнозів для пацієнтів, оскільки раннє виявлення легеневої гіпертензії часто дозволяє почати лікування на ранніх стадіях, що зменшує ризик ускладнень.

Однак, недоліки використання штучного інтелекту в діагностиці легеневої гіпертензії включають питання пов'язані з безпекою та конфіденційністю медичних даних, які передають лікареві за принципами телемедицини. Це вимагає введення строгих заходів щодо забезпечення конфіденційності та захисту даних пацієнтів. Крім того, інтерпретація результатів, отриманих за допомогою алгоритмів штучного інтелекту, може бути складною, оскільки ці алгоритми працюють на основі попередньої обробки даних, а не на основі клінічного досвіду та інтуїції медичного спеціаліста.

Додатково, використання штучного інтелекту для діагностики легеневої гіпертензії може створити залежність від технологій та зменшити важливість клінічного досвіду та експертної оцінки медичних працівників. Це може призвести до зменшення відповідальності та активної участі лікаря в процесі діагностики та лікування, що потенційно може вплинути на якість медичної допомоги.

Отже, впровадження штучного інтелекту в діагностику легеневої гіпертензії потребує уважного балансу між автоматизацією та ручною експертною оцінкою для забезпечення найкращих результатів для пацієнтів.

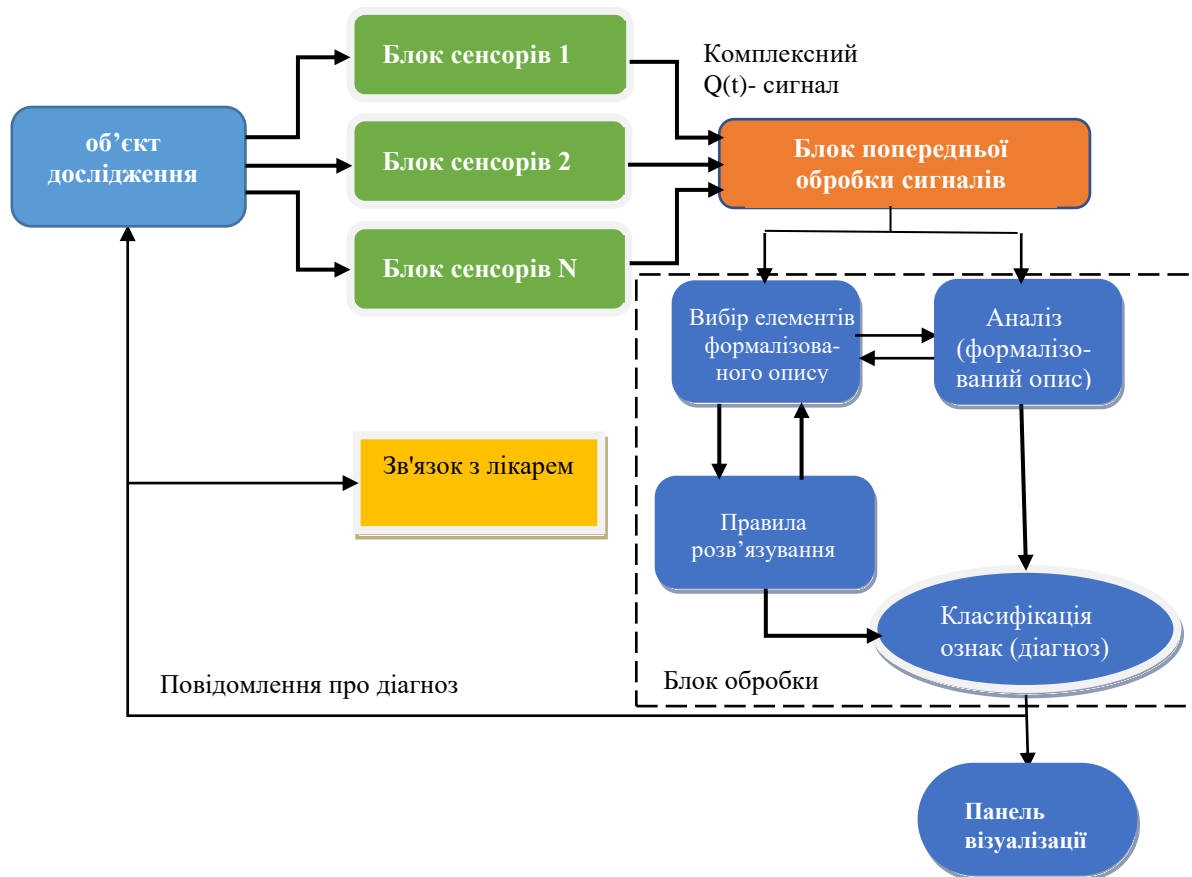


Рис. 1. Схема реалізації методу автоматизованого визначення ознак легеневої гіпертензії [10]

Отже, необхідною є задача створення алгоритмічного забезпечення роботи подібних автоматизованих комплексів, що забезпечують плинну діагностику стану з наступним визначенням межових станів, прогнозування критичних ситуацій роботи ССС пацієнта за умови визначення діагнозу щодо появи ЛГ, ЛАГ.

Мета цієї роботи полягає у дослідженні та створенні алгоритмів, які реалізують автоматизований метод визначення ранніх ознак легеневої гіпертензії та її можливих ускладнень. Алгоритми роботи, які реалізують цей метод, призначені для обробки результатів вимірних значень параметрів функціонального стану, зокрема параметрів, пов'язаних з характерними особливостями ССС.

Тому особливості роботи автоматизованого комплексу, що на основі моніторингу стану застосовують визначення плинних параметрів, спряжені з формулюванням низки основних критеріїв щодо реалізації запропонованого методу.

Визначення основних критеріїв діагностування стану

Запропоновано, як показано в устрої технічної реалізації автоматизованого методу діагностування (рис. 1), застосування ланцюгу зворотного

зв'язку. Таким чином, принцип зворотного зв'язку надає можливості реалізації програми, яка обраховує вимірювані значення параметрів функціонального стану пацієнта (табл. 1), а надалі порівнює з межовими значеннями цих параметрів для отримання заключного висновку та надання результатів одночасно і лікареві, і користувачеві.

Основні застосовані параметри для визначення ранніх ознак появи патологій роботи організму типу ЛГ, ЛАГ:

P – вимірний артеріальний тиск;

P_s – систолічний артеріальний тиск;

P_d – діастолічний артеріальний тиск;

P_p – пульсовий тиск;

HR – частота серцевих скорочень;

SV – ударний об'єм крові;

P_s^{PA} – систолічний артеріальний тиск в легеневій артерії;

P_s^{sys} – систолічний артеріальний тиск в системній артерії.

EDV – кінцево-діастолічний об'єм лівого шлуночка;

ESV – кінцево-систолічний об'єм лівого шлуночка.

Табл. 1. Основні параметри діагностики плинного стану серцево-судинної системи при визначенні ЛАГ

Параметр	Формула
Систолічний артеріальний тиск	$P_s = \max(P)$
Діастолічний артеріальний тиск	$P_d = \min(P)$
Пульсовий тиск	$P_p = P_s - P_d$
Хвилинний об'єм крові	$Q = HR * SV$
Індекс резистентності легеневої артерії	$R_{PA} = \frac{P_s^{PA}}{P_s^{sys}}$
Ударний об'єм крові	$V = (EDV - ESV) / (\frac{EDV}{100})$

Отже, на основі аналізу дії модуля зворотного зв'язку можна виділити певні критерії інформаційної ефективності плану активного моніторингу стану пацієнта та вимірювання необхідних показників для діагностики легеневої гіпертензії, серед них головними є:

- висока точність вимірювання внаслідок використання програмного забезпечення;
- висока частота вимірювання, яка дозволяє вчасно виявляти зміни у стані хворого. Тобто можливий моніторинг 24 години на добу;
- передбачення виникнення тривожних сигналів, тобто можливість реагування лікаря на погіршення стану пацієнта;
- простота використання пацієнтами, та сприяння їх активній участі у власному моніторингу показників.

Методика моніторингу та дослідження характеристик модуля функціональної діагностики легеневої гіпертензії

Модуль обробки сигналів стану судинної системи є пристроєм, який використовується для діагностики ранніх ознак легеневої гіпертензії. Він отримує інформацію про стан судинної системи з різних датчиків та надалі згодом обробляє ці дані для виявлення будь-яких патологічних змін.

Для отримання інформації про стан судинної системи такий пристрій використовує різні типи датчиків, які вимірюють артеріальний тиск, частоту серцевих скорочень та дихальний об'єм.

Після отримання сигналів від датчиків цей пристрій аналізує стану використовує різні методи обробки сигналів для вилучення шумів та інших спотворень із сигналів. Крім того, він використовує ці методи для отримання інформації про різні

параметри, які є визначальними для формування поточного типу діагностування стану пацієнта.

Таким чином, використовують різні методи аналізу сигналів для виявлення патологічних змін. Ці зміни включають підвищення артеріального тиску, зниження хвилинного об'єму крові та зміни в формі серцевих хвиль.

Параметри, які повинна визначати й обробляти система, є наступними:

- систолічний та діастолічний артеріальний тиск;
- пульсовий тиск;
- хвилинний об'єм крові;
- індекс резистентності легеневої артерії.

Формули для обчислення параметрів [11], які повинні визначатися та оброблятися модулем обробки сигналів стану судинної системи наведені у табл. 1.

Хвилинний об'єм крові: визначається як добуток частоти серцевих скорочень і ударного об'єму крові. Частота серцевих скорочень - це кількість разів, коли серце скорочується за хвилину. Ударний об'єм крові - це кількість крові, яку серце перекачує за одне скорочення. Отже, хвилинний об'єм крові може бути обчислений як добуток цих двох параметрів.

Індекс резистентності легеневої артерії: визначається як відношення систолічного артеріального тиску в легеневій артерії до систолічного артеріального тиску в системній артерії. Отже, він може бути обчислений як відношення цих двох параметрів.

Визначені числові значення цих параметрів є основою для прийняття рішення щодо виявлення ознак патологічних порушень в контексті появи ЛГ, ЛАГ. Отже, на підставі такого методу обчислень можна реалізувати запропонований метод в автоматизованих умовах використання.

Алгоритми роботи за визначенням параметрів ранніх ознак легеневої гіпертензії

В результаті дослідження було запропоновано варіант блок-схеми з таким переліком дій:

1-2) отримання та запис даних про артеріальний тиск, частоту серцевих скорочень та ударний об'єм крові;

3) обчислення систолічного артеріального тиску;

4) обчислення пульсового тиску, хвилинного об'єму крові та індексу резистивності легеневої артерії залежно від отриманих даних;

5) виведення результатів прогнозування критичних ситуацій стану пацієнта на екран засобу візуалізації монітору (Рис. 2).

На рис. 3 наведено блок-схему алгоритмів модуля зворотного зв'язку, які можна застосовувати для інтегрованої системи функціональної діагностики легеневої гіпертензії.

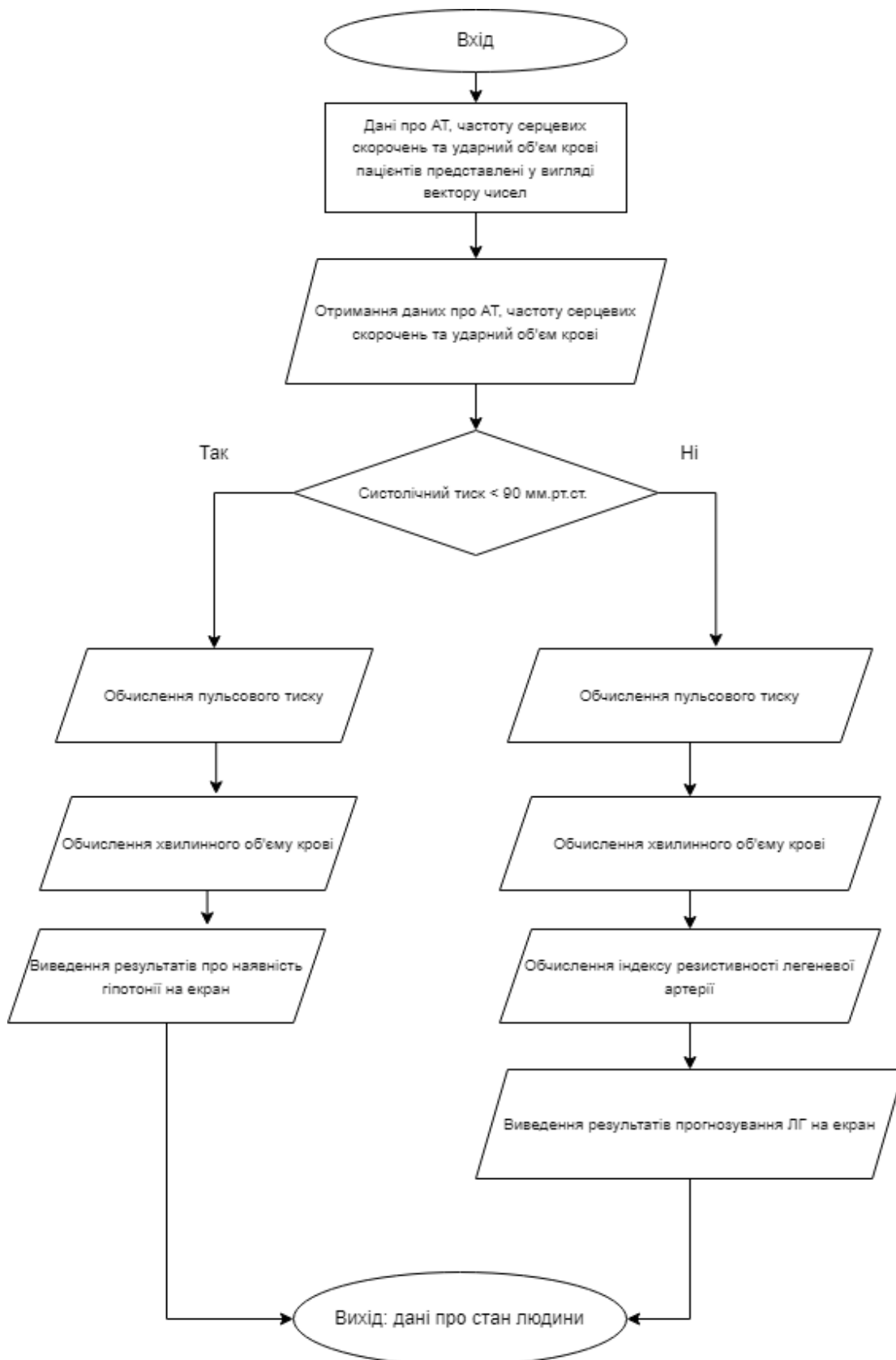


Рис. 2. Блок схема алгоритму роботи модуля зворотного зв'язку функціональної діагностики легеневої гіпертензії



Рис. 3. Блок схема алгоритму роботи модуля зворотного зв'язку функціональної діагностики легеневої гіпертензії

Алгоритм використовує дані про параметри функціонального стану пацієнта, отримані з інших модулів інтегрованої системи, а саме:

- діастолічний тиск
- систолічний тиск
- середній тиск
- тиск у легеневій артерії
- тиск у правому шлуночку.

На основі цих даних алгоритм визначає рівень легеневої гіпертензії у пацієнта. Рівень легеневої гіпертензії визначається як відношення тиску в легеневій артерії до середнього тиску.

Таким чином, отримані дані параметрів є підставою для отримання висновку щодо конкретних

значень рівня легеневої гіпертензії, на основі чого алгоритм надає лікарю рекомендації щодо подальшого ведення пацієнта.

Отримані результати та їх обговорення

У результаті експериментальних досліджень, було встановлено переваги у використанні даного комплексу порівняно з традиційними методами діагностики:

1) Зменшення часу на виконання самої процедури діагностики: традиційні методи можуть вимагати більше часу через необхідність багатовіткової обробки даних або більш тривалого збору інформації, у свою чергу комплекс зможе забезпе-

чити швидший та ефективніший процес діагностики завдяки автоматизованому аналізу даних. Результат експериментального дослідження запропонованих алгоритмів роботи портативного монітору наведено на рис. 3 та рис. 4.

З діаграми (рис. 3) видно, що середній час на діагностику комплексом у 5-6 разів менший, ніж традиційними методами, що у свою чергу досягається завдяки використанню модуля зворотного зв'язку. Також важливим чинником тут є оцінка діагностики лікарем, який на основі власного досвіду та аналізу результатів може приймати рішення про подальшу діагностику пацієнта.

2) Зменшення часу на отримання попередніх результатів діагностики: Очікування результатів традиційних методів може займати більше часу через необхідність обробки та інтерпретації даних, а комплекс з зворотнім зв'язком здатний надавати результат майже миттєво завдяки швидкій обробці інформації. Результат дослідження наведено на рис. 4.



Рис. 3. Порівняння часу на виконання процедури діагностики у хвиликах



Рис. 4. Порівняння часу на отримання попередніх результатів діагностики у хвиликах

З отриманих результатів можна дійти висновку, що час на отримання попередніх результатів діагностики у десятки разів швидший за умови використання методу зворотного зв'язку ніж у традиційно застосованих методів. Важливо відзначити, що незважаючи на те, що результати отримуються надзвичайно швидко, кінцевий діагноз ставить лікар на основі власних спостережень та аналізу плинного стану пацієнта.

Висновки

Проведені у роботі дослідження дозволяють дійти наступних висновків.

Проаналізовано сучасні принципи та моделі функціонування автоматизованих систем діагностики, які призначені для моніторингу та діагностики стану пацієнтів, та є підґрунтям для створення нових методів і засобів у сфері лікування та діагностики.

Отже, на підставі аналізу цих принципів діагностики стану пацієнтів обрано найбільш дієвий метод визначення ранніх ознак виникнення легеневої гіпертензії та її можливих ускладнень. Таким методом є автоматизований моніторинг поточного стану пацієнта за допомогою портативного комплексу, який реєструє визначену сукупність функціональних параметрів та на підставі їх аналізу створює діагностичний висновок.

Запропоновано основні критерії надійності та швидкодії роботи визначення системою критичних ситуацій серед яких: скорочення часу діагностики, зменшення витрат, доступність отримання результатів діагностики на засадах дослідження плинного стану об'єкта дослідження.

Запропоновані алгоритми реалізації методу, які застосовують принципи роботи портативного комплексу на основі монітору для отримання плинних характеристик стану пацієнта та передачі їх в режимі використання принципів телемедицини для визначення діагнозу.

Отримані в роботі принципи функціонування автоматизованих систем діагностики, які призначені для моніторингу, можуть бути підґрунтям для створення в подальшому нових методів та вдосконалення систем автоматизованої діагностики, а також визначення ранніх ознак порушень функціонального стану пацієнта засобами діагностики.

Література

- [1] О. П. Мінцер, В. О. Романов, І. Б. Галелюка, О. В. Вороненко, "Технології штучного інтелекту в медичній практиці", *Медична інформатика та інженерія*, № 2, pp. 17-27, 2020.
DOI: 10.11603/mie.1996-1960.2020.2.11171.
- [2] G. Simoneau, N. Gaile, L. J. Rubin et al., "Clinical classification of pulmonary hypertension", *J. Am. Coll. Cardiol.*, 43, pp. 5-12, 2004.
- [3] L. Konopliova, and Y. Konopliova, "A complex case of pulmonary hypertension associated with portal hypertension", *Hypertension*, no 3.59, pp. 50-56, 2021. DOI:10.22141/2224-1485.3.59.2018.139905.
- [4] WO2022081646. Noninvasive methods for detection of pulmonary hypertension. Appl. Date 13.10.2021. Appl. No PCT/US2021/054693. Pub.Date 21.04.2022.
- [5] Ю. М. Сіренко, В. А. Жовнір, Л. Ф. Конопльова та ін. Легенева гіпертензія. Адаптована клінічна настанова, заснована на доказах. Державний експертний центр МОЗ України. 2016.

https://www.dec.gov.ua/wp-content/uploads/2019/11/2016_614_akn_leggipe_r.pdf

- [6] Pat. US20120295797 USA. Methods for diagnosis and prognosis of pulmonary hypertension. Appl.Date 02.04.2009. Appl.No 12936389. Pub.Date 22.11.2012.
- [7] B. A. Maron, E. L. Brittain, E. Hess et al., "Pulmonary vascular resistance and clinical outcomes in patients with pulmonary hypertension: a retrospective cohort study", *Lancet Respir Med.*, vol. 8, pp. 873–884, 2020. DOI: 10.1016/S2213-2600(20)30317-9.
- [8] Pat. US20100094122 USA. System and method for automatic, non-invasive diagnosis of pulmonary hypertension and measurement of mean pulmonary arterial pressure. Appl.Date 11.09.2009. Appl.No 12557689. Pub.Date 15.04.2010.
- [9] S. Anand, A. Sadek, A. Vaidya, E. Oliveros, "Diagnostic Evaluation of Pulmonary Hypertension: A Comprehensive Approach for Primary Care Physicians", *J. Clin. Med.*, vol. 12, is. 23, p. 7309, 2023 Nov 25. DOI: 10.3390/jcm12237309.
- [10] Автоматизована система ранньої діагностики легеневої гіпертензії. Вх. № 347930. Номер заявки r202300191. 09.06.2023. Заявн. Клочко Т. Р., Якобчук Є. О. Власник НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського».
- [11] S. Rosenkranz, Ioana R Preston, "Right heart catheterisation: best practice and pitfalls in pulmonary hypertension", *European Respiratory Review*, is. 24(138), pp. 642-652, 2015. DOI: 10.1183/16000617.0062-2015.

UDC 621.3 : 681.5 : 616.24-008.331.1

T. R. Klotchko, E. O. Yakobchuk

National Technical University of Ukraine "Ihor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv Ukraine

METHOD OF AUTOMATED DETERMINATION OF EARLY SIGNS OF PULMONARY HYPERTENSION

An urgent problem of modern diagnostic methods of medicine is the development of non-invasive methods that use information signal processing systems from the biological object of research. An expedient technical solution to such problems is the use of artificial intelligence in systems and complexes that combine diagnostic functions based on the parameters of the patient's physiological condition.

The consequences of the development of physiological pathologies in the human body, such as pathologies of the cardiovascular system, are the possibility of the occurrence of pulmonary hypertension and its varieties, which depend on the characteristics of the hemodynamics of the small blood circulation, increasing the pressure in the pulmonary blood circulation. These features of the disease can lead to the development of pulmonary arterial hypertension. It is proposed to implement the method of applying the feedback chain. Thus, the feedback principle makes it possible to implement a program that calculates the measured values of the parameters of the patient's functional state, and then compares them with the limit values of these parameters to obtain a final conclusion and provide results simultaneously to the doctor and the user. From the obtained results, it can be seen that the time of obtaining preliminary diagnostic results according to the proposed implementation scheme of the method is ten times faster under the condition of using the feedback method than with traditionally applied methods. The main criteria for the reliability and speed of the work of determining critical situations with the help of developed algorithms for the implementation of the methodology for determining the early signs of pulmonary hypertension and its consequences are proposed. It is important to note that despite the fact that the results are obtained extremely quickly, the final diagnosis is made by the doctor based on his own observations and analysis of the patient's current condition. Algorithms for the implementation of the method are proposed, which apply the principles of operation of a portable complex based on a monitor to obtain continuous characteristics of the patient's condition and transmit them in the mode of using the principles of telemedicine to determine the diagnosis.

The principles of the functioning of automated diagnostic systems, which are intended for monitoring, obtained in the work can be the basis for the further creation of new methods and improvement of automated diagnostic systems and the identification of early signs of violations of the patient's functional state of the diagnostic tools.

Key words: method; automated system; algorithms; criteria; pulmonary hypertension; diagnosis; monitoring; functional state; integrated method.

*Надійшла до редакції
28 вересня 2023 року*

*Рецензовано
01 листопада 2023 року*



© 2023 Copyright for this paper by its authors.
Use permitted under Creative Commons License Attribution 4.0 International (CC BY 4.0).