

В.П. Боюн¹, У.Б. Лущик², Л.Б. Малиновський¹, В.В. Новицький³

¹ Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Київ

² Київський науково-методичний центр ультразвукової медичної діагностики «Істина», Київ

³ Інститут математики НАН України, Київ

ГЕМОДИНАМІЧНА ЛАБОРАТОРІЯ «МакроМікроПоток» ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ЕФЕКТИВНОЇ КОРЕКЦІЇ СУДИННОЇ СИСТЕМИ ЛЮДСЬКОГО ОРГАНІЗМУ



Розглянуто стан досліджень і лікування серцево-судинних захворювань в Україні та в світі. Надано короткий огляд проблем у цій галузі медицини. Висвітлено методологічні основи гемодинамічної лабораторії «МакроМікроПоток», її структуру та складники. Відзначено переваги гемодинамічної лабораторії для практичного застосування в лікувальних закладах, сферу застосування гемодинамічного моніторингу та його економічну вигоду для практичної охорони здоров'я.

Ключові слова: гемодинамічна лабораторія, мікроциркуляція, цифровий оптичний капіляроскоп, ультразвуковий доплерограф.

СЕРЦЕВО-СУДИННІ ЗАХВОРЮВАННЯ — НАПАСТЬ XXI ст.

Серцево-судинна система (ССС) важлива складова здоров'я людини, оскільки від рівня кровопостачання залежить фоновий рівень роботи практично всіх органів та систем людського організму.

На сьогодні від серцево-судинної патології страждає 3/4 населення України, а в 62,5 % випадків вона є причиною смерті, що значно вище, ніж у розвинених країнах. Останнім часом захворюваність на ішемічну хворобу серця (ІХС) в Україні зросла від 10 тис. до більш ніж 20 тис. осіб на 100 тис. населення, а хворих на гіпертонічну хворобу в Україні зареєстровано понад 5 млн. осіб [1]. Нині хвороби системи кровообігу, посідаючи перше місце за поширеністю, зумовлюють (за статистичними даними ВООЗ та МОЗ України) понад поло-

вину всіх випадків смерті й спричиняють третину випадків інвалідності, переважно за рахунок некомпенсованих судинних станів — інфарктів та інсультів.

Упродовж останніх двох десятиліть багато наукових досліджень було спрямовано на дослідження проблем діагностики та патогенезу серцево-судинних захворювань. З'явилися методи прижиттєвого неінвазивного обстеження судинної системи на макро- та мікрорівнях. Спостерігається тенденція до створення відділень судинної патології. Дедалі більше уваги приділяють поєднаній судинній кардіоневрологічній патології. Однак це лише вершина айсберга під назвою «патологія судинного русла». Адже сьогодні медицина не контролює ситуацію щодо венозного застою в органах малого таза, артеріальних гіпертензій у вагітних, судинних аномалій у новонароджених, а в плані боротьби з артеріальною гіпертензією в населення застосовується хіба що регулярна тонометрія. Це свідчить про те, що загальноприй-

няті підходи забезпечують малу ефективність діагностичних та лікувальних процедур у зв'язку з низькою чутливістю використовуваних методів діагностики щодо ранніх розладів у функціонуванні ССС та відсутністю ефективних технологій застосування цих методів. Так, у стандартах МОЗ України щодо обстеження пацієнта із синдромом вегето-судинної дистонії (<http://www.moz.gov.ua/ua/main/?docID=12144>) не передбачено жодного з методів обстеження судин, тобто бездоказово ставиться діагноз «*синдром судинної дистонії*».

Наведений вище факт свідчить про те, що навіть у теорії (не кажучи вже про практику) лікарі сьогодні не мають єдиного комплексного погляду на судинну систему. Щодо наявних методів діагностики судинної системи можемо говорити про домінування статичних досліджень — рентгеноконтрастної ангіографії, магнітно-резонансної томографії в ангіорежимі. Можливість визначати атеросклеротичні бляшки та тромбоемболі за допомогою новітніх методів дослідження породила нову галузь медицини — *ангіохірургію* та *кардіохірургію* з нібито радикальним підходом: знайшли причину й оперативно усунули стан судинної декомпенсації. Все начебто правильно. Але чому ж тоді в прооперованих пацієнтів лише тимчасово поліпшується якість життя й часто виникає рецидив захворювання в післяопераційний період тривалістю до року?

Саме такий катамнез перебігу серцево-судинних захворювань (ССЗ) свідчить про глибину ураження всієї ССС як складної системи взаємопов'язаних різнокаліберних трубок зі специфічними властивостями їхніх стінок та не менш специфічними біофізичними властивостями крові, яку тільки умовно можна вважати рідиною.

СТИСЛИЙ ОГЛЯД ПРОБЛЕМ ПРИ СУЧАСНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ СИСТЕМИ

Незважаючи на значні зусилля вчених, сьогодні не помічено тенденції до зменшення ін-

дексу захворюваності й смертності через ССЗ. Це свідчить про ряд чинників, які не було враховано при фундаментальних та прикладних дослідженнях у попередні роки. Назвемо першорядні з них:

1. Локальні дослідження ССС здійснюються без взаємозв'язку між динамікою сегментів та загальною динамікою судинної системи на різних регіональних рівнях. Тому запропоновані методи лікування мають суто паліативний характер і не орієнтовані на потребу первинної та вторинної профілактики ССЗ.

2. Не існує системного підходу при дослідженні ССС як цілісної системи судинного «гемопроводу» із численними внутрішньосистемними зв'язками. Ігноровано роль артеріальних та венозних демпферів для перерозподілу крові в різних регіональних басейнах.

3. Немає єдиного системного (тобто коли організм сприймається як керована система) погляду на особливості дотримання законів гідрогемодинаміки *in vivo* для забезпечення функціонування взаємопов'язаних сегментів замкненої ССС: *серце — магістральні артерії — периферичні артерії — артеріоли — капіляри — вени — периферичні вени — магістральні вени — серце*.

4. Проблема адекватної діагностики серцево-судинної патології полягає в обмежених підходах до оцінювання цілісної судинної системи як узагальненої моделі судинного «гемопроводу» та ігноруванні змінних параметрів у структурі й функціонуванні ССС.

5. Існує розрив між локальними медичними дослідженнями та глобальним підходом при математичному моделюванні серцево-судинної системи з позицій кібернетики за відсутності локальних індикаторів стану судинної системи.

6. Відсутність єдиного підходу *in vivo* до крові як біологічної та біомеханічної ньютонівської рідини зумовлює неправильний погляд на кров як звичайну рідину.

7. Використання абсолютних величин як факту констатації неправильної роботи систе-

ми без урахування параметрів реактивності й адаптивності ССС в умовах порушення внутрішнього гомеостазу та змін параметрів довкілля (метеофакторів), нехтування інтегральними параметрами при оцінюванні роботи ССС зумовлює принципово неправильний статичний (а не динамічний) підхід до аналізу роботи всієї динамічної системи.

8. Переважання підходу, нав'язаного представниками фармакологічного бізнесу, над логічним прагненням до глибокого дослідження на доказовій основі патологічних та саногенних адаптивних перебудов у спровокованій захворюванням ССС. Відсутність ефективних лікувальних технологій корекції судинної патології заводить проблему ССЗ в глухий кут.

9. Відсутність глибоких досліджень зв'язку імунodefіцитних станів із розвитком судинної патології, що створює сприятливі умови для прогресування та поширення ССЗ.

10. Нинішній підхід до медичного маркетингу діагностичних приладів аж ніяк не враховує кінцевої мети споживача — відновлення здоров'я, натомість йому пропонують нескінченне діагностування.

Результатом такого багатовекторного каскаду проблем стосовно діагностики ССЗ та лікування ССС є відсутність логічного підходу лікарів до ССЗ та брак ефективного клінічного мислення щодо шляхіввилікування пацієнтів судинного профілю.

Саме тому сучасний рівень дослідження ССЗ потребує нових аналітичних підходів у процесі оброблення різновекторних характеристик усіх локальних сегментів і регіональних рівнів ССС із конкретизацією місця ураження та локального впливу цього ураження на функціонування цілісної системи. У процесі лікування доконечне потрібним є моніторинг ССС для аналізу гемодинамічних змін адаптивної чи патологічної перебудови судинного русла.

Багаторічний досвід інструментальної діагностики розладів у серцево-судинній системі шляхом ультразвукової доплерографії, ультразвукового сканування й цифрової оптичної

капіляроскопії та ефективні клінічні результати комплексного лікування ССЗ у пацієнтів різного віку на власній клінічній базі протягом 1996—2008 рр. поступово сформував думку про доконечну потребу комплексного підходу до діагностики та корекції змін у ССС за умови дотримання таких принципів:

- ✦ індивідуальний підхід до одночасного комплексного дослідження конкретної ССС конкретного хворого;
- ✦ перевіряння ефективності плану лікування шляхом проведення індивідуальних гострих медикаментозних проб зі змогою його корекції завдяки опції зворотного зв'язку;
- ✦ контроль ефективності лікування завдяки моніторингу методами доказової медицини;
- ✦ закріплення отриманого результату шляхом переведення ССС на фізіологічно стабільний тип роботи із відновленням сталої рівноваги в динамічній системі.

Сьогодні динамічне дослідження ССС має вийти на принципово новий етап. Слід аналітично розглядати результати розрізаних локальних інструментальних досліджень із узагальненням їх у межах єдиної судинної системи організму й аналізом синхронності функціонування різних її регіональних басейнів. Необхідно створити єдиний технологічний комплекс для цілісної прижиттєвої динамічної діагностики ССС пацієнта одномоментно на різних регіональних і системному рівнях з виведенням аналітично оброблених результатів дослідження для клінічної інтерпретації та оцінювання лікарем ходу перебудови ССС в нормі й при різних патологічних станах.

Названі заходи є нагальними і необхідними у боротьбі з «епідемією» серцево-судинної патології.

МОДЕЛЬ СЕРЦЕВО-СУДИННОЇ СИСТЕМИ ЯК АНАЛОГ СИСТЕМИ ВОДОПОСТАЧАННЯ

ССС людського організму є надзвичайно складним динамічним механізмом за типом замкненої системи сполучених посудин зі змінними параметрами в усіх її структурних сегмен-

тах — серці, судинних стінках, а також і внутрішньосудинній рідині — крові. Ця система чимось нагадує водопровід, хоча практично всі величини в ній є змінними, починаючи від параметрів нагнітальної функції помпи (серця) й закінчуючи нестабільними величинами калібру судин, напору крові, лінійної та об'ємної швидкостей, поперечного й поздовжнього внутрішньосудинного гідродинамічного тиску залежно від навантаження судинного «гемопроводу».

Водопровід відрізняється від ССС саме ригідністю складників системи та незмінністю наперед заданих параметрів. Тобто водопровід слід розцінювати як сталу динамічну систему сполучених посудин із наперед заданими й чітко прорахованими параметрами її діяльності з огляду на опір матеріалів, граничні гідродинамічні навантаження та запасні механізми випускання при надлишковому тиску в систе-

мі. ССС являє собою структуровану живу систему із певним діапазоном змінних параметрів функціонування. Якщо розглядати модель ССС, то слід підкреслити особливість її роботи як єдиного цілого з певними правилами сегментарного функціонування на мікро- та макrorівнях, а також принципом автономного регулювання в рамках регіонального басейну.

У наведеній таблиці ми спробували систематизувати наші напрацювання та відобразити сучасний стан математичного моделювання тих чи інших процесів у людському організмі. З таблиці видно, що існують спрощені математичні моделі, які дуже наближено та схематично можуть відображати деякі особливості безперебійної роботи ССС.

Відомо, що неправильно поставлене завдання не сприятиме вирішенню проблеми. Саме таку ситуацію й спостерігаємо при дослідженні ССС: мінімальні одновекторні підходи до

Порівняльна характеристика математичних моделей гідродинамічної та гемодинамічної систем на прикладі системи водопостачання, магістральної судинної системи й системи мікроциркуляції живого організму

Елементи системи	У гідродинаміці	У макрогемодинаміці	У мікрогемодинаміці	Математичні моделі
	Водопровід	Магістральна судинна система живого організму	Судинна система мікроциркуляції живого організму	
Стінка трубки	Незмінна жорстка	Еластична пульсуюча	Слабко пульсуюча, пульсові хвилі практично не візуалізуються	Існують спрощені математичні моделі, які не мають підтвердження <i>in vivo</i> .
Пористість стінки труби	Відсутня	У дрібних судинах наявні ефекти проникнення рідини крізь судинну стінку	Велика, наявні ефекти змочуваності та проникнення рідини крізь судинну стінку	Існують математичні моделі змочуваності біоматеріалів <i>in vitro</i> , які не мають підтвердження <i>in vivo</i> та недиференційовані як варіанти норми й патології.
Вміст трубки	Реальна рідина зі сталою густиною	Кров як неньютонівська рідина зі змінною густиною	Кров як неньютонівська рідина зі змінною густиною та малою в'язкістю, яка залежить від розміру мікросудин	Існують моделі крові як неньютонівської рідини із вкрапленням сферичних та дископодібних елементів. Реальні спостереження за мікроциркуляцією не підтверджують висновків, які отримано щодо цих моделей.

Продовження табл.

Елементи системи	У гідродинаміці	У макрогемодинаміці	У мікрогемодинаміці	Математичні моделі
	Водопровід	Магістральна судинна система живого організму	Судинна система мікроциркуляції живого організму	
Насос	Сталі параметри функціонування насоса	Нагнітальна функція міокарда є величина змінна	Спостерігається різке зменшення тиску та напору по довжині мікросудини	Наявні моделі не дають адекватної оцінки нагнітальної функції для периферичних судин та мікросудин.
Сегменти системи для забезпечення плинності води, крові	Привідні магістралі водопроводу та відвідний трубопровід каналізації, насос для нагнітання води Діаметр відвідного трубопроводу має перевищувати діаметр привідного трубопроводу Трикомпонентна система: помпа, привідна та відвідна ланки	Магістральні артерії та вени, периферичні артерії та вени Діаметр артерій має не перевищувати діаметра вен З'являється четверта ланка — периферичне русло (периферичні артерії та вени)	Артеріоли, перехідні колінця, венули та шунти Діаметр артеріол не повинен перевищувати діаметр венул З'являється п'ята ланка — капілярна система	Окремих моделей для мікроциркуляції не існує, а спроби застосування до неї моделей для макросудин призводять до хибних висновків. Наявні моделі не перевірено адекватно <i>in vivo</i> , вони не враховують принципів дотримання артеріо-венозного й артеріоловенулярного балансів. Відсутні реальні полівекторні моделі з урахуванням усіх ланок судинного водопроводу в нормі та при патологічних перебудовах живого організму.
Характеристики замкненості контуру системи	Відкрита система водопроводу та каналізації Замкнена — система водяного опалення	Відкрита система розцінюється як патологічна при порушенні цілісності судинного русла (кровотеча) з розвитком гіповольемічного шоку	При порушенні цілісності судинного русла виникає капілярна кровотеча, яка є вельми небезпечною, оскільки її важко діагностувати	Відсутні моделі ефективного впливу на відкриту систему судинного водопроводу, внаслідок чого медицина не має ефективних алгоритмів зупинення кровотечі зі збереженням життєздатності ушкодженого органа замість його резекції. Відсутні ефективні моделі саногенного виведення судинної системи зі стазу — судинної рецесії.
Авторегуляторні механізми	Відсутні або контролюються ззовні	Наявні	Наявні, однак математичні моделі відсутні	Наявні сьогодні моделі судинної системи не враховують авторегуляторних механізмів, які можуть патологічно або саногенно діяти в судинній системі.
Характер руху	Напірний	Не є в класичному розумінні напірним, вирізняється можливістю формування депозитів крові за рахунок розтягнення стінок судини	Напірний, математичні моделі руху відсутні	Відсутні моделі в мікроциркуляторному руслі.
Демпфери	Практично відсутні	Наявні	Наявні при патологічному розтягненні венулярного сегмента	Відсутні математичні моделі.

Закінчення табл.

Елементи системи	У гідродинаміці	У макрогемодинаміці	У мікрогемодинаміці	Математичні моделі
	Водопровід	Магістральна судинна система живого організму	Судинна система мікроциркуляції живого організму	
Динамічність системи	Статодинамічні характеристики наявні за рахунок градієнта тиску	Статодинамічні характеристики наявні й визначаються еластико-тонічними властивостями судинної стінки та градієнтом тиску	Наявні моделі прив'язано до макросистеми, вони не відображають реальної ситуації в системі мікроциркуляції	Відсутні моделі, які могли б урахувати й водночас моделювати зміну основних параметрів судинної системи як на макро-, так і на мікрорівні.
Вплив гравітаційних сил	Сталий	Змінний	Робота мікросудин має бути сталою незалежно від впливу гравітаційних сил	Наявні моделі взагалі не акцентують поняття автономної сталості живої системи при зміні зовнішніх чинників.

дослідження цієї системи не можуть дати максимально обґрунтованих полівекторних результатів. У цьому й криється глибинний зміст прогресування ССЗ: не можна за одним параметром ССС зробити глобальні висновки про всю систему. Такий примітивний підхід до дослідження ССС занадто дорого коштує, оскільки спричиняє «помолодшання» та прогресування ССЗ.

Окрім того, застосування примітивних методів вимірювання мікропроцесів призводить до того, що ми закономірно отримуємо первинний результат вимірювання вже з макропомилками й вочевидь неправильний клінічний результат.

**ВРАХУВАННЯ ОСОБЛИВОСТЕЙ БУДОВИ
ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ ССС
У МОДЕЛІ СУДИННОГО ГЕМОПРОВІДУ
ЖИВОГО ОРГАНІЗМУ**

1. Серце як насос для перекачування крові в ССС

Оскільки серце є помпою для перекачування великого об'єму крові й поєднує артеріальну та венозну ланки кровообігу, то дослідження його функціонального стану, клапанного апарату, структури, розмірів камер, присмоктувальної функції правих відділів міокарда та

нагнітальної функції лівих відділів міокарда (фракції викиду лівого шлуночка) мають увійти до алгоритму дослідження кожного пацієнта із судинною патологією незалежно від топографії ураження регіонального басейну.

**2. Артеріальні та венозні сегменти ССС
як різнокаліберний «гемопровід»
із збереженням принципу Бернуллі**

Сама ССС складається з артеріальних та венозних сегментів різного калібру, форми й структури з різноманітними гемодинамічними характеристиками руху крові як суспензії її формених елементів. Поєднання в одному комплексі різних неінвазивних методик ультразвукового та оптичного дослідження сприятиме отриманню інформації з різних регіональних басейнів ССС, які залягають на різних глибинах і є недоступними для візуалізації за допомогою якогось одного методу діагностики. З огляду на фізіологію кровообігу обов'язковою умовою збереження гармонійного кровоплину є дотримання принципу Бернуллі — зниження швидкості кровоплину та діаметра судин в артеріальній ланці пропорційно віддаленості від серця (насоса).

3. Принцип дотримання артеріовенозного та судинно-гідродинамічного балансу

Глибоке знання принципів функціонування не лише артеріальної ланки кровообігу, але й механізмів формування венозного відтоку [2—4] дає змогу по-новому інтерпретувати збої в роботі мікроциркуляторного русла й тканинному обміні. Саме кінцеву функцію судинного «гемопроводу» спрямовано на забезпечення регіональної перфузії органів і тканин на мікрорівні, достатньої для їхнього адекватного функціонування. На мікроциркуляторному рівні найчіткіше та найвідчутніше проявляється порушення принципу сталої рівноваги, який застосовують до гідродинамічних моделей. Найефектнішим індикатором такої рівноваги слугує артеріовенозна, артеріоловенулярна та судинно-водна рівновага.

4. Найвіддаленіший сегмент ССС — капілярне русло

Капіляри, які формують мікроциркуляторне русло, є кінцевою ланкою системи кровопостачання. Отже, візуалізація мікроангіоархітекτονіки та кровонаповнення капілярів є визначальною при оцінюванні якості функціонування всієї гемодинамічної системи. Порушення капілярного кровопостачання як дистального сегмента ССС свідчить про негаразди у функціонуванні всієї системи.

5. Еластико-тонічні властивості судинної стінки — своєрідний винахід природи для систем зі змінними параметрами

Еластико-тонічні властивості артеріальної стінки слугують забезпеченню формування й утримання округлого каркаса судини та захисту від спадання судинної стінки. Завдяки еластико-тонічним властивостям по судинній трубці переміщується певний об'єм крові від серця до голови проти сили земного тяжіння. Пульсаторні властивості артеріальної стінки забезпечують проштовхування маси крові. За відсутності еластико-тонічних властивостей реактування артеріальної стінки серце мало б за об'ємом бути у 80 разів більшим. Тому збере-

ження еластичності артеріальної стінки є важливим складником гармонійного функціонування серця й судин, а порушення еластичності — це один із факторів розвитку серцево-судинної недостатності. Саме такий комплекс, який одно-моментно отримує інформацію з усіх регіональних басейнів на макро- та мікрорівні, здатен забезпечити ефективне проведення комплексної діагностики ССС та формування реальних індивідуально орієнтованих алгоритмів лікування з інструментальним контролем (в ідеалі — моніторингом) його ефективності.

МЕТОДОЛОГІЧНА ОСНОВА ГЕМОДИНАМІЧНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ «МакроМікроПоток»

Методологічною основою створення гемодинамічної лабораторії для комплексного дослідження функціонального стану ССС та індивідуально орієнтованого лікування за принципами доказової медицини є науково-методичні праці й патенти [5—14].

З огляду на особливості дослідження функціонального стану ССС та можливості ефективного впливу на цю систему перспективним є розроблення багатовекторного гемодинамічного фантома для моделювання різноманітних процесів *in vitro*, а також удосконалення програмно-аналітичного забезпечення в плані формування ефекту зворотного зв'язку з когерентним аналізом адекватності зовнішнього впливу на систему, кореляційним аналізом фонових і змінених після вазоактивної терапії гемодинамічних параметрів.

Апаратно-програмний комплекс «Гемодинамічна лабораторія «МакроМікроПоток» (рис. 1) має об'єднати ряд різних сучасних діагностичних приладів, що дадуть можливість дослідити як макро-, так і мікрорівень судинної системи й порівняти одержані початкові дані.

На нашу думку, ССС слід досліджувати та оцінювати одночасно за багатьма різновекторними характеристиками з наступним узагальненням, зокрема за:

✦ структурою серця й судин (магістральних, периферичних артерій та вен, артеріол і венул, капілярів);

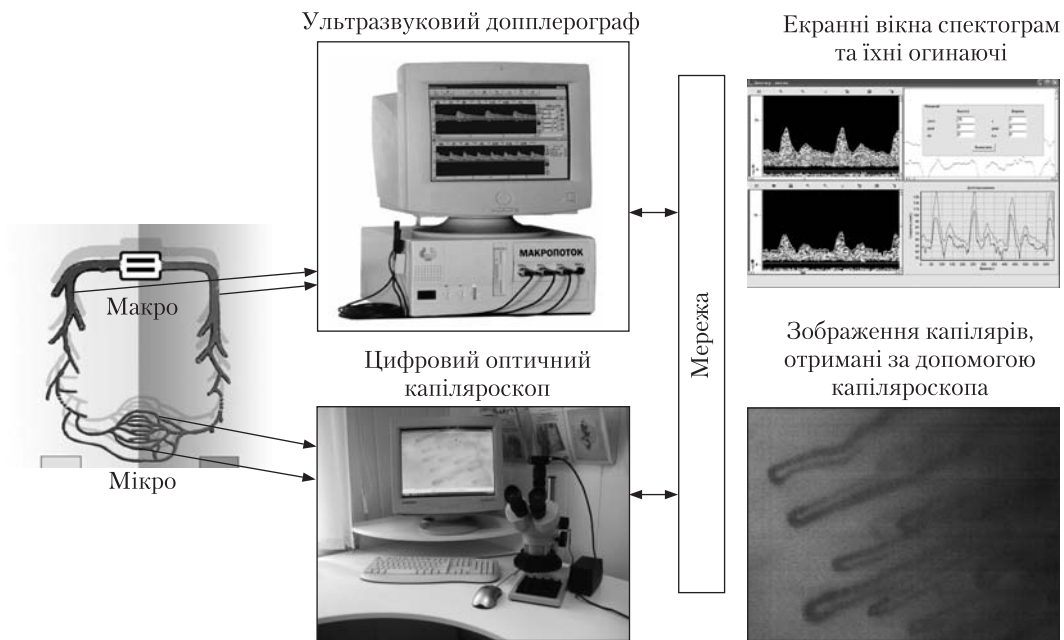


Рис. 1. Гемодинамічна лабораторія «МакроМікроПоток»

- ✦ функціональною активністю серця як помпи;
- ✦ функціонуванням судин із позицій калібру, прохідності, здатності переносити масу крові судинним руслом, пульсації;
- ✦ еластико-тонічними характеристиками артеріальної та венозної стінок;
- ✦ фоновим тиском та адекватністю градієнтів змін кровоплину в ССС;
- ✦ станом артеріовенозно-гідродинамічної рівноваги в судинній системі на регіональному, макро- та мікрорівнях;
- ✦ адекватністю реагування ССС на можливі гідродинамічні удари;
- ✦ достатністю рівня перфузії в органах і тканинах;
- ✦ рівнем тиску в судинній системі (поздовжнього та поперечного тиску, периферичного опору);
- ✦ реологічними властивостями крові як неньютонівської рідини;
- ✦ стабільністю гемодинамічних параметрів ССС;
- ✦ адекватністю реагування ССС щодо змін

внутрішніх та зовнішніх факторів впливу на організм (психоемоційної неврівноваженості, метеочутливості, ангіодистонії тощо).

СТРУКТУРА ТА СКЛАДНИКИ ГЕМОДИНАМІЧНОЇ ЛАБОРАТОРІЇ

В основу комплексу дослідження ССС покладено метод цифрової оптичної капіляроскопії, який виступає арбітром благополуччя всієї ССС живого організму, оскільки дає змогу візуалізувати найвіддаленіший сектор судинної системи й відображає артеріолярну та венолярну патології. Такі порушення мікроциркуляції потребують визначення їхніх можливих причин на рівні серця, магістральних і периферичних судин.

Першим складником апаратного комплексу є цифровий оптичний капіляроскоп, створений в НМЦУЗМД «Істина» разом з Інститутом кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України [15, 16], який вигідно відрізняється від аналогічних приладів виробництва Росії та



Рис. 2. Алгоритм комплексного дослідження серцево-судинної системи

Італії. Його виробництво освоєно інженерно-виробничим підприємством «Поток».

По зображеннях капілярної сітки візуально за допомогою ряду запропонованих програмою значень оцінюють такі характеристики: наявність капілярної сітки, характер розгалуження, тонус капіляра, артеріовенозне співвідношення діаметрів (це співвідношення артеріального та венозного діаметрів), рівень кровопостачання, реологічні зміни мікроциркуляторного русла, венозну недостатність, форму розладу мікроциркуляції тощо. Для оцінювання кількісних характеристик капілярів розроблено інструментарій, який дає змогу вимірювати, усереднювати та оцінювати похибку вимірювання діаметра, довжини, площі капілярів, ширини периваскулярної зони тощо із заповненням зведеної таблиці параметрів ССС.

З огляду на велику кількість параметрів капілярів, які треба вимірювати, для підвищення продуктивності комплексу розроблено методи автоматичного вимірювання зазначених вище статичних параметрів капілярів, а також методи візуальної оцінки таких динамічних параметрів, як швидкість і прискорення руху крові в артері-

олярній та веноулярній ділянках капіляра. Реєстрація лінійної швидкості та прискорення капілярного кровоплину за відділами у графічному вигляді є найбільш інформативними й цікавими для медиків, оскільки швидкість капілярного кровоплину зумовлена багатьма факторами: пропульсивною роботою серця, рівнем системного артеріального тиску, станом артеріолярного відділу мікроциркуляторного русла, станом ендотелію капілярів, величиною посткапілярного опору веноулярного відділу тощо.

Якщо картина мікроциркуляції в нормі, то цілком упевнено можна вести мову про достатність та адекватність функціонування ССС в єдиній інтегрованій системі «серце – магістральні артерії – капіляри – магістральні вени – серце» (рис. 2). Якщо ж виявлено ознаки порушення в картині мікроциркуляції, слід шукати ураження як мінімум однієї з ланок єдиної замкненої ССС:

- ✦ зниження нагнітальної функції міокарда з вираженим зниженням напору крові в дистальних сегментах артеріальної системи, сладж-феноменом у мікроциркуляторному руслі;

- ✦ порушення еластико-тонічних властивостей судинної стінки магістральних артерій із виходом у формування стенотичних уражень регіональних артерій;
- ✦ розбалансування артеріовенозно-гідродинамічної рівноваги при виражених розладах функціонування судинної системи організму.

Єдиною досконалою технологією контролю цих функцій на макрорівні є ультразвукова доплерографія. Її переваги полягають у розгорнутому відображенні функціонування судин на доплерограмі — графічному зображенні змін швидкості потоку крові, що залежить від еластичності й тону судинної стінки, напору крові та інших гемодинамічних характеристик, які полівекторно відображають загальний стан судинної системи при локальному дослідженні. Саме вивчення функціонування судинної системи під кутом зору її адаптації до перебудов на тлі виявлених структурних змін у судині має бути покладено в основу дослідження серцево-судинних захворювань для подальшого їх ефективного лікування.

Ультразвуковий доплерограф — другий складник апаратного комплексу — свого часу було вдосконалено Інститутом кібернетики НАНУ в плані розробки програмного комплексу для визначення інформаційних ознак доплерограм не лише артерій, але й вен. Технічний прилад для УЗДГ випускає інженерно-виробниче підприємство «Поток».

Окрім визначення первинних параметрів за допомогою ультразвукового доплерографа за авторською методикою Луцик У.Б. [17] в Інституті кібернетики створено програмний інструментарій для обробки даних, який дає можливість виділити ряд характерних точок на доплерограмі та обчислити додаткові амплітудні, спектральні й часові параметри, що заносяться в зведену таблицю параметрів ССС. Це допомагає отримати детальнішу та глибшу картину кровоплину в судинах і зіставити процеси в артеріальних та венозних руслах.

ПРОГРАМНО-АНАЛІТИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Програмне забезпечення акумулює початкові дані, одержані з індикаторних точок, обробляє їх залежно від змін гемодинамічних параметрів на макро- та мікрорівнях, порівнює ці дані й аналітично узагальнює їх разом із допустимими відхиленнями щодо змін тону, напору, прохідності, еластичності, артеріовенозного балансу, реактивності судинної системи тощо та зводить оброблені дані у вигляді узагальненого графіку стану ССС, який відображає розбалансованість судинної системи. Завдяки цьому апаратно-програмний комплекс «Гемодинамічна лабораторія «МакроМікроПоток» дає можливість:

- ✦ зіставити гемодинамічні показники макро- та мікроциркуляцій у плані синхронізації функціонування магістрального й периферичного судинного русла;
- ✦ визначити гідрогемодинамічну ієрархію адаптивних перебудов;
- ✦ виявити порушення артеріовенозної, гідрогемодинамічної, енергетичної та механічної рівноваги.

Створення цілісного комплексу гемодинамічної лабораторії сприятиме швидкому впровадженню відпрацьованих методик діагностики та накопиченого досвіду лікування в медичну практику.

Отже, капіляроскопія та функціональна доплерографія магістральних і периферичних судин є саме той адекватний критерій, який у поєднанні з ефективними методами дослідження структури ССС на макрорівні надає широкі можливості щодо інтегрального оцінювання гемодинаміки загалом.

ФОРМУВАННЯ МЕДИЧНОГО ВИСНОВКУ

Формування медичного висновку — це прерогатива лікаря. На базі спостереження за ходом вимірювання й аналізу параметрів він висловлює власну думку про стан серцево-судинної системи пацієнта. Оцінювання окремих характеристик капілярів або судин здійснюється лікарем згідно з обчисленими параметрами. Загальний висновок щодо стану пацієнта фор-

мується за багатьма параметрами [18]. Авторами роботи в рамках програмного комплексу розроблено «Довідник», що допомагає фахівцю зберегти час при написанні висновку. У процесі аналізу основних вимірюваних параметрів «Довідник» автоматично формулює окремі вислови та фрази, які ймовірно можуть стати частиною висновку лікаря. Якщо лікар вважає, що фрагмент тексту автоматично згенеровано і відбиває реальний стан речей, він включає цей фрагмент до складу свого висновку, а при необхідності корегує його. Таким чином, лікар буде витрачати менше часу на рутинну роботу і ретельніше опрацьовувати суть висновку.

ПЕРЕВАГИ КОМПЛЕКСУ ЩОДО ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ В ЛІКУВАЛЬНИХ ЗАКЛАДАХ

Поєднання даних обстеження макро- й мікросудин дає змогу фахівцеві ефективно діагностувати, прогнозувати критичні стани та запобігати їм, тобто він отримує можливість:

- ✦ дослідження не лише артеріальної системи шиї, голови та кінцівок, але й супутньої їй венозної системи;
- ✦ аналізу зміщення артеріовенозно-лікворної рівноваги;
- ✦ виявлення артеріовенозного та артеріолярно-венулярного шунтування;
- ✦ детекції емболів та контролю ефективності лікування;
- ✦ виявлення недорозвинених судин;
- ✦ неінвазивного контролю рівня внутрішньочерепного тиску на макрорівні та периваскулярного набряку на мікрорівні;
- ✦ неінвазивного дослідження та візуалізації капілярів нігтьового ложа пальців верхніх і нижніх кінцівок;
- ✦ багатовекторної інтерпретації порушень структури, кровонаповнення, тонуусу, ангіоархитектоніки шляхом отримання узагальненого графіка стану ССС;
- ✦ виявлення аномалій закладення судин та факторів ризику виникнення судинних захворювань;

- ✦ дослідження стану та функції периферичної судинної системи при проведенні паспортизації новонароджених;
- ✦ моніторингу мікроциркуляції при критичних станах;
- ✦ впливу гострих фармакологічних проб із метою індивідуального добору схеми ефективного лікування;
- ✦ динамічного контролю гемодинамічної перебудови організму в процесі лікування після критичних станів;
- ✦ виявлення та контролю в динаміці порушення помпової функції міокарда у вигляді серцево-судинної недостатності;
- ✦ контролювання периваскулярного набряку тканин.

СФЕРИ ЗАСТОСУВАННЯ КОМПЛЕКСУ «МакроМікроПоток»

Апаратно-програмний комплекс «Гемодинамічна лабораторія «МакроМікроПоток» призначений для надання лікарю комплексної інформації стосовно оперативного оцінювання стану макро- та мікроциркуляції в людському організмі з метою:

- ✦ одержання повної інформації про стан ССС організму;
- ✦ оцінки фонового стану ССС;
- ✦ динамічної оцінки резервних можливостей ССС при адаптивних перебудовах під впливом тих чи інших факторів ризику;
- ✦ комплексного програмно-аналітичного оцінювання стану макро- й мікроциркуляції та розрахунку дисбалансу між артеріовенозним магістральним і периферичним мікросудинним кровопостачанням у конкретного пацієнта.

Тому сьогодні вищезазначений комплекс є найефективнішим засобом для проведення комплексної неінвазивної діагностики адекватності функціонування ССС. До того ж унікальність застосовуваної технології полягає у формуванні індивідуально орієнтованих алгоритмів лікування ССС.

Апаратний комплекс «Гемодинамічна лабораторія «МакроМікроПоток» може успішно використовуватися:

- ✦ в діагностичних відділеннях функціональної діагностики;
- ✦ у палатах інтенсивної терапії кардіологічних, кардіохірургічних, ангіоневрологічних та судинних нейрохірургічних відділень для моніторингу стану пацієнтів;
- ✦ у відділеннях неврології, дитячої неврології й ангіоневрології;
- ✦ у відділеннях та операційних блоках судинної хірургії, кардіохірургії й судинної нейрохірургії;
- ✦ у пологових будинках і перинатальних центрах;
- ✦ у реанімаційних відділеннях.

Предбачено також мобільний варіант для обслуговування пацієнтів при необхідності в домашніх умовах.

Відвідуючи міжнародні та європейські конгреси й виставки, ми зрозуміли, що основною метою продажу діагностичної техніки є, на жаль, одноразове одержання коштів від пацієнта або медичної клініки без елементарної відповідальності за здоров'я конкретної людини. Тому маркетингову індустрію такого типу спрямовано на постачання дорогої, однак примітивної апаратури у країни «третього світу», до яких, хоч як це прикро, нині зараховано й Україну. Наслідком такої недалекогоглядної маркетингової стратегії стає безрезультатне обстеження сегментів судинної системи з констатацією наявності атеросклеротичних бляшок та іншої неістотної гемодинамічної патології. Як результат, ми отримуємо зневіреного в сучасній медицині та її можливостях пацієнта.

Нами запропонована нова сучасна медична технологія як комплекс технічної, методологічної бази й адекватного програмного забезпечення. Підкріплена глибокими знаннями з основ гемо- та гідродинаміки та 12-річним досвідом застосування в медичній практиці, вона дає змогу впевнено стверджувати, що ризик розвитку судинних катастроф у вигляді інсульту й інфаркту може зменшитися наполовину, а перебіг хронічних за-

хворювань не лише стане контрольованим, але й своєчасно корегованим.

ЕКОНОМІЧНА ВИГОДА ДЛЯ ПРАКТИЧНОЇ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я

Сьогодні заклади охорони здоров'я обласного, міського та районного рівнів оснащено переважно сучасними УЗД-системами. Однак ці технічні прилади здебільшого тільки створюють гарний інтер'єр, оскільки відповідні технології їх застосування відсутні. Ми пропонуємо інтелектуальні технології для лікарів, які прагнуть іти в ногу з життям, і навчаємо їх цим технологіям.

Як результат розумного використання коштів та застосування інноваційних сучасних медичних технологій, зокрема апаратного комплексу «Гемодинамічна лабораторія «МакроМікроПоток», кожен лікувальний заклад може одержати такі позитивні економічні результати:

- ✦ максимальну ефективність показника «*ціна — якість*»: ціна приладу з порівняно низькою собівартістю діагностичних послуг забезпечує максимальну якість та адекватність лікування завдяки застосуванню новітніх гемодинамічних технологій і медичних методик;
- ✦ зменшення витрат на неефективне лікування, для якого характерна відсутність періодичного контролю, за допомогою приладів доказової медицини;
- ✦ зменшення кількості ліжко-днів, значне прискорення одужання та наблизених й віддалених позитивних результатів лікування завдяки виваженій стабілізації гемодинамічних параметрів ССС пацієнта.

Саме критерій ефективного лікування та конкурентоспроможності може стати основним критерієм провідного становища лікувального закладу на ринку медичних послуг України.

ВИСНОВКИ

1. Зазначена вище інноваційна технологія працює на позитивний кінцевий результат: вона допомагає виявити конкретні чинники сер-

цево-судинної патології та знайти адекватний алгоритм правильної ефективної тактики лікування.

2. Зазначена технологія допомагає значно зменшити рівень кризової серцево-судинної патології у вигляді інфарктів та інсультів як проявів декомпенсації судинної системи й вийти на рівень адекватного лікування, корекції ранніх та початкових змін у ССС (вегетосудинної дистонії, артеріальної гіпо- чи гіпертензії тощо);

3. Інноваційна технологія, втілена в сучасному апаратно-програмному комплексі «Гемодинамічна лабораторія «МакроМікроПоток», є перспективною, самоокупною та конкурентоспроможною.

Від Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України роботу було виконано за підтримки Програми науково-технічних інноваційних проектів (постанова Президії НАН України від 19.03.08 р. № 85) відповідно до теми «Гемодинамічна лабораторія «МакроМікроПоток»» (шифр ВК-200.12.08). Другою стороною виступало МПП НМЦУЗМД «Істина».

ЛІТЕРАТУРА

1. Корнацький В.М. Проблеми здоров'я суспільства та продовження життя. — К.: Інститут кардіології ім. М.Д. Стражеска, 2006. — 46 с.
2. Луцик У.Б., Браницька Н.С. Дослідження артеріовенозної рівноваги. — К.: НМЦУЗМД «Істина», 2003. — 39 с.
3. Луцик У.Б. Основы методики ультразвуковой диагностики сосудов головного мозга: артериальный и венозный аспекты, клиническая интерпретация. — К.: НМЦУЗМД «Істина», 1997. — 107 с.
4. Луцик У.Б. «Слепой» доплер для клинических интеллектуалов (качественная оценка церебральных дизгемий). — К.: НМЦУЗМД «Істина», 2004. — 264 с.
5. Луцик У.Б., Луцик Н.Г., Новицький В.В., Бабій І.П., Алексеєва Т.С. Сучасні можливості цілісної функціональної оцінки артеріовенозної рівноваги в замкненій судинній системі на макро- та мікрорівні. — К.: НМЦУЗМД «Істина», 2006. — 120 с.
6. Луцик У.Б., Новицький В.В. Деякі аспекти прикладної прижиттєвої гемодинаміки в епоху візуалізуючих технологій. — К.: НМЦУЗМД «Істина», 2005. — 134 с.
7. Чернух А.М., Александров П.Н., Алексеев О.В. Микроциркуляция. — М.: Медицина, 1975. — 455 с.
8. Бегун П.И., Афонин П.Н. Моделирование в биомеханике. — М.: Высшая школа, 2004. — 390 с.
9. Луцик У.Б., Новицький В.В., Колосова Ю.О., Бабій І.П., Алексеєва Т.С. Сучасні можливості капіляроскопії. — К.: НМЦУЗМД «Істина», 2005. — 34 с.
10. Луцик У.Б. та ін. Прилад для реєстрації капілярного кровотоку. Патент України на корисну модель № 22944, Опубл. БВ № 5, 25.04.07.
11. Луцик У.Б. та ін. Спосіб оцінки порушень мікроциркуляції в нормі та при патології у людей різного віку за допомогою методу капіляроскопії. Патент України № 67709 А, Опубл. БВ № 6, 15.06.04.
12. Боюн В.П. та ін. Спосіб неінвазійного вимірювання кровонаповнення ділянок тіла та пристрій для його реалізації. Патент України № 71984, Опубл. БВ № 1, 17.01.05.
13. Боюн В.П. та ін. Спосіб неінвазійного дослідження стану мікроциркуляторної ланки системи кровообігу та пристрій для його реалізації. Патент України № 72016, Опубл. БВ № 1, 17.01.05.
14. Боюн В.П. Интеллектуальні відеосистеми реального часу / Праці міжнародної конференції «50 років Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України». — К.: ІК НАНУ, 2008. — С. 177—181.
15. Луцик У.Б., Новицький В.В. Деякі аспекти прикладної гемодинаміки в епоху прижиттєвих візуалізуючих технологій. — К.: НМЦУЗМД «Істина», 2005. — 136 с.
16. Луцик У.Б., Новицький В.В., Колосова Ю.А. Современные возможности капилляроскопии. — К.: НМЦУЗМД «Істина», 2004. — 40 с.
17. Луцик У.Б. та ін. Спосіб ультразвукової діагностики стану судин головного мозку. Патент N 10262 А від 19.07.95р.
18. Луцик У.Б., Новицький В.В. Полівекторна динамічна діагностика судинної системи як сучасна інноваційна медична технологія: від локальних обстежень до інтегративного розуміння цілісної системи / Медична техніка. — 2008. — № 3. — 2008. — С. 64—67.

В.П. Боюн, У.Б. Луцкич,
Л.Б. Малиновский, В.В. Новицкий

ГЕМОДИНАМИЧЕСКАЯ ЛАБОРАТОРИЯ
«МакроМикроПоток» ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО
ИССЛЕДОВАНИЯ И ЭФФЕКТИВНОЙ КОРРЕКЦИИ
СОСУДИСТОЙ СИСТЕМЫ
ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ОРГАНИЗМА

Рассмотрено состояние исследований и лечения сердечно-сосудистых заболеваний в Украине и в мире. Представлен краткий обзор проблем в этой области медицины. Освещены методологические основы гемодинамической лаборатории «МакроМикроПоток», ее структуру и составные части. Отмечено преимущества гемодинамической лаборатории для практического применения в лечебных заведениях, сферу применения гемодинамического мониторинга и его экономическую выгоду для практического здравоохранения.

Ключевые слова: гемодинамическая лаборатория, микроциркуляция, цифровой оптический капилляроскоп, ультразвуковой доплерограф.

V. Boyun, U. Lushchuk,
L. Malynovskyi, V. Novytskyi

HEMODYNAMIC LABORATORY
«MacroMicroPotok» FOR COMPLEX ANALYSIS
AND EFFECTIVE VASCULAR SYSTEM
CORRECTION OF HUMAN ORGANISM

The paper examines the state of investigations and curing of cardiovascular diseases in Ukraine and in the world. Short review of the problems existing in this field of medicine is presented. The methodological grounds for hemodynamic laboratory «MacroMicroPotok», its structure and components are covered. The advantages of hemodynamic laboratory for practical usage in patient care institutions, the scope and economic evaluation for health protection are shown.

Key words: hemodynamic laboratory, microcirculation, digital optical capillaroscope, ultrasonic dopplerograph.

Надійшла до редакції 22.04.09