



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 105410

(13) C2

(51) МПК

A61B 5/02 (2006.01)

A61B 5/022 (2006.01)

A61B 5/0295 (2006.01)

G01N 21/39 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД

(21) Номер заявки:	а 2012 09086	(72) Винахідник(и):	Кондратов Владислав Тимофійович (UA)
(22) Дата подання заявки:	23.07.2012	(73) Власник(и):	ІНСТИТУТ КІБЕРНЕТИКИ ІМ. В.М. ГЛУШКОВА НАН УКРАЇНИ,
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід:	12.05.2014		вул. Академіка Глушкова, 40, м. Київ-187, 03187 (UA)
(41) Публікація відомостей про заявку:	27.01.2014, Бюл.№ 2	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту:	12.05.2014, Бюл.№ 9		UA 98366 C2; 10.05.2012 UA 14937 A; 04.03.1997 UA 71984 C2; 15.01.2005 UA 72016 C2; 15.01.2005 RU 2118120 C1; 27.08.1998 RU 2396911 C1; 20.08.2010 US 6223069 B1; 24.04.2001 EP 0193120 A1; 06.05.1999 DE 19629342 A1; 29.01.1998

(54) СПОСІБ НЕІНВАЗИВНОГО ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ МІКРОЦИРКУЛЯЦІЇ КРОВІ В КІНЦІВКАХ ЛЮДИНИ

(57) Реферат:

Винахід належить до медицини і стосується способу неінвазивного визначення параметрів процесу мікроциркуляції крові в пальцях кінцівок людини, оснований на формуванні потоків червоного та інфрачервоного випромінювання з довжинами хвиль λ_1 і λ_2 почергової дії на ті чи інші пальці правої та/чи лівої руки людини сформованими потоками червоного та інфрачервоного випромінювання протягом заданого інтервалу часу, за яким має місце поглинання потоків оптичного випромінювання неокисленим гемоглобіном крові та меланіном, почерговому, з частотою Ω_k , перетворенні у напруги потужності відбитих і послаблених потоків інфрачервоного та червоного випромінювання, почерговому підсиленні та синхронному детектуванні отриманих сигналів, виділенні різницевого сигналу частоти комутації Ω_k , його усередненні та використанні для управління силою струму I_1 або/та I_2 , від яких залежить потужність зазначених потоків оптичного випромінювання, зміні сили струму до моменту рівності потужностей відбитих (від кістки пальця) та послаблених потоків червоного та інфрачервоного випромінювань на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 , тобто до забезпечення рівності $k_{\lambda 1}\{\Phi_{01}\} = k_{\lambda 2}\{\Phi_{02}\}$, де $k_{\lambda 1}$ і $k_{\lambda 2}$ коефіцієнти перепускання відбитих потоків оптичного випромінювання, $\Phi_{01} = S_{\Phi \lambda 1} I_1$, $\Phi_{02} = S_{\Phi \lambda 2} I_2$, $S_{\Phi \lambda 1}$ і $S_{\Phi \lambda 2}$ - крутість перетворення струмів у потужність потоків оптичного випромінювання на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 , фіксації встановлених значень потужностей потоків червоного та інфрачервоного випромінювань протягом заданого інтервалу часу Δt_Σ , практично миттєвій дії на пальці граничним тиском P_r для перекриття

UA 105410 C2

шляху крові через судини пальців, вимірюванні протягом часу Δt_{Σ} миттєвих значень вихідного різницевого сигналу отриманого, відповідно, з першого та другого пальців (їх мікроциркуляторних русел), витримки дії тиску P_f протягом апіорі визначеного часу Δt_T , раптовому знятті дії тиску, витриманні цього стану протягом часу Δt_B відновлення капілярного і венозного кровотоків до стаціонарного рівня, перетворенні протягом часу $\Delta t_{\Sigma} = \Delta t_T + \Delta t_B$ потужностей потоків червоного випромінювання у інформативні сигнали $u_{x1}(t)$ і $u_{x2}(t)$, які відображають процес мікроциркуляції крові у двох мікроциркуляторних руслах, перетворенні миттєвих значень сигналів $u_{x1}(t)$ і $u_{x2}(t)$ у коди чисел та їх запам'ятовуванні, математичної обробки, у тому числі фільтрації, та візуалізації отриманих сигналів.

Винахід належить до медицини, зокрема до оптичних методів діагностики, зокрема до неінвазивної медичинської спектродіагностики, і може бути використаний для створення цифрових вимірювачів параметрів процесів мікроциркуляції крові в пальцях кінцівок людини, що являють собою досліджувані периферичні мікроциркуляторні русла.

Відомий спосіб неінвазивного визначення параметрів процесу мікроциркуляції крові в кінцівках людини (див., наприклад, Боюн В.П. та ін. Спосіб неінвазивного вимірювання кровонаповнення ділянок тіла та пристрій для його реалізації. Патент України №71984 А. Бюл. №1, 17.01.05. МПК А61В 5/026, G01N 21/25), заснований на опроміненні досліджуваної ділянки тіла світловим потоком, вимірюванні спектральної інтенсивності світлового потоку, що пройшов крізь ділянку тіла, обчисленні за знайденими значеннями інтенсивності концентрації гемоглобіну в даному об'ємі тіла і визначенні кровонаповнення досліджуваної ділянки тіла за відношенням знайдених концентрації гемоглобіну.

Недоліком відомого способу є обмежені функціональні можливості, відсутність операцій метрологічного самоконтролю та неможливість використання відомого способу для неінвазивного визначення параметрів процесу мікроциркуляції крові в кінцівках людини.

Відомий спосіб неінвазивного визначення параметрів процесу мікроциркуляції крові в пальцях кінцівок людини (див., наприклад, Корсунський В.М., Снігур О.О, Сичок А.М. Спосіб вимірювання загального гемоглобіну крові. Патент України № 14937 А, МПК А61В 5/00, G0W 33/48 МПК (2006) від 04.03.1997. Промислова власність. Офіційний бюлетень № 3, 1997), згідно з яким досліджувану ділянку тіла опромінюють модульованим світловим потоком, вимірюють інтенсивності світлового потоку, що пройшов крізь тіло в двох спектральних інтервалах, обробляють отримані сигнали і обчислюють вміст гемоглобіну в крові досліджуваної ділянки тіла, фіксують результат, при цьому опромінюючий світловий потік модулюють, а перед вимірюванням інтенсивності сигнали в спектральних інтервалах синхронно детектують, інтегрують і фіксують отриманий результат.

Недоліком відомого способу є обмежені функціональні можливості, відсутність операцій метрологічного самоконтролю та неможливість використання відомого способу для неінвазивного визначення параметрів процесу мікроциркуляції крові в кінцівках людини.

Відомий спосіб неінвазивного визначення параметрів процесу мікроциркуляції крові в пальцях кінцівок людини (див., наприклад, Войтович І.Д., Дегтярук В.І., Брайко Ю.О. та ін. Спосіб неінвазивного визначення параметрів гемодинаміки системи кровообігу. Патент України № 98366 С2, МПК А61В 5/026, G01N 21/25, від 10.05.2012, Бюл. № 9), згідно з яким досліджувану ділянку тіла опромінюють модульованим світловим потоком, вимірюють спектральні інтенсивності світлових потоків, які пройшли крізь досліджувану ділянку тіла, перед вимірюванням інтенсивностей сигнали в спектральних інтервалах синхронно детектують, потім інтегрують і фіксують результати вимірювань, який відрізняється тим, що інтегрування виконують на визначених суміжних інтервалах часу, протягом першого з яких досліджувана ділянка тіла перебуває під дією змінених зовнішніх умов, а сигнал, який використовують для відображення результату, є різницею інтегралів.

Недоліком відомого способу є обмежені функціональні можливості, недостатня інформативність, низька точність діагностики та неможливість порівнювати результати поточних вимірювань з даними, що отримані у інший час, при інших умовах, для різно- чи однойменних пальців лівої та/або правої руки людини чи з нормованою за значенням параметрів кривою (моделлю) мікроциркуляції чи мікрогемодинаміки крові у кінцівках. Відомий спосіб не забезпечує також здійснення метрологічної самоперевірки вимірювача, що його реалізує. Результати вимірювання залежать від кольору шкіри людини.

На сьогодні відомі способи неінвазивного визначення параметрів процесу мікроциркуляції крові в пальцях кінцівок людини забезпечують відображення результатів дослідження процесу мікроциркуляції у вигляді не дуже якісних кривих, одна з яких наведена на фіг. 1. Відсутні шкали та відмітки поточного та реального часу, не наводяться результати графічного або графо-аналітичного аналізу тощо. Навіть представлення графіку процесу мікроциркуляції крові у пальці руки у декартовій системі координат (див. фіг. 2), не забезпечує необхідну якість представлення інформації. Як видно з наведеного графіку процесу, на криву накладаються імпульси дихальних циклів та пульсової хвилі (див. фіг. 2, імпульси, що обведені колом і пронумеровані). У цьому випадку по кривій неможливо точно визначити час зняття дії тиску. З іншого боку, неможливо порівнювати характеристичні точки кривої за абсолютними значеннями. Всі результати повинні бути відносними. Тільки відносні дані (можливо й у відсотках) можуть ефективно порівнюватися між собою. Тому відомі методи потребують подальшого вдосконалення й розширення їх функціональних можливостей.

Одночасне визначення та представлення двох кривих (наприклад, для однойменних пальців лівої та правої руки) сучасні способи та засоби також не забезпечують. Відомо, що симетрія чи асиметрія процесів, що течуть у однойменних мікроциркуляторних руслах пацієнтів має велику діагностичну цінність та інформативність.

5 Поставлена технічна задача створення такого способу визначення параметрів процесу мікроциркуляції крові в пальцях кінцівок людини, який забезпечував би підвищення точності вимірювань, розширення функціональних можливостей, відображення інформації у вигляді "Діагностичної карти" та забезпечення метрологічного контролю за станом оптичної системи та оптико-електронного каналу приладу, що реалізує запропонований спосіб. Для підвищення
10 інформативності і точності повинно здійснюватися вимірювання додаткових інформативних параметрів процесу мікроциркуляції крові (час кровонаповнення "пустих" чи не повністю наповнених кров'ю периферичних судів, середню швидкість та час кровонаповнення у різних фазах процесу, максимальне значення сигналу кровонаповнення, потужність потоків оптичного випромінювання на робочих довжинах хвиль, дрейф нуля оптико-електронного, каналу,
15 вимірювання частоти дихання та пульсу, синхронізація процесів встановлення тиску з фазами частоти дихання та пульсової хвилі з метою виключення їх дії на результати вимірювань тощо).

Поставлена технічна задача досягається тим, що спосіб неінвазивного визначення параметрів процесів мікроциркуляції крові в пальцях кінцівок людини, оснований на формуванні
20 потоків червоного та інфрачервоного випромінювання з довжинами хвиль λ_1 і λ_2 почергової дії на ті чи інші пальці правої та/чи лівої руки людини сформованими потоками червоного та інфрачервоного випромінювання протягом заданого інтервалу часу, за яким має місце поглинання потоків оптичного випромінювання неокисленим гемоглобіном крові та меланіном,
25 почерговому, з частотою Ω_k , перетворенні у напруги потужності відбитих і послаблених потоків інфрачервоного та червоного випромінювання, почерговому підсиленні та синхронному детектуванні отриманих сигналів, виділенні різницевого сигналу частоти комутації Ω_k , його усередненні та використанні для управління силою струму I_1 або/та I_2 , від яких залежить потужність зазначених потоків оптичного випромінювання, зміні сили струму до моменту рівності потужностей відбитих (від кістки пальця) та послаблених потоків червоного та інфрачервоного випромінювань на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 , тобто до забезпечення рівності
30 $k_{\lambda 1}\{\Phi_{01}\} = k_{\lambda 2}\{\Phi_{02}\}$, де $k_{\lambda 1}$ і $k_{\lambda 2}$ коефіцієнти перепускання відбитих потоків оптичного випромінювання, $\Phi_{01} = S_{\Phi \lambda 1} I_1$, $\Phi_{02} = S_{\Phi \lambda 2} I_2$, $S_{\Phi \lambda 1}$ і $S_{\Phi \lambda 2}$ - крутість перетворення струмів у потужність потоків оптичного випромінювання на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 , фіксації встановлених значень потужностей потоків червоного та інфрачервоного випромінювань протягом заданого інтервалу часу Δt_Σ , практично миттєвій дії на пальці граничним тиском P_r для перекриття
35 шляху крові через судини пальців, вимірюванні протягом часу Δt_Σ миттєвих значень вихідного різницевого сигналу отриманого, відповідно, з першого та другого пальців (мікроциркуляторних русел), витримки дії тиску P_r протягом апріорі визначеного часу Δt_r , раптового зняття дії тиску, витриманні цього стану протягом часу Δt_b відновлення капілярного і венозного кровотоку до стаціонарного рівня, перетворенні протягом часу $\Delta t_\Sigma = \Delta t_r + \Delta t_b$ потужностей потоків червоного
40 випромінювання у інформативні сигнали $u_{x1}(t)$ і $u_{x2}(t)$, які відображають процес мікроциркуляції крові у двох мікроциркуляторних руслах, перетворенні миттєвих значень сигналів $u_{x1}(t)$ і $u_{x2}(t)$ у коди чисел та їх запам'ятовуванні, математичної обробки (у тому числі фільтрації) та візуалізації отриманих сигналів. Від відомих він відрізняється тим, що потоки червоного та інфрачервоного випромінювання з довжинами хвиль λ_1 і λ_2 формують з
45 однаковими смугами перепускання $\Delta \lambda_0$ ($\{\Delta \lambda_0\} = \{\Delta \lambda_1\} = \{\Delta \lambda_2\}$), довжину хвилі λ_1 вибирають такою, при якій коефіцієнти поглинання гемоглобіну та оксигемоглобіну крові були б практично рівними між собою (з заданою похибкою), тобто $k_{r\lambda 1} = k_{o\lambda 1} = k_{\lambda 1}$, довжину хвилі λ_2 вибирають такою, при якій коефіцієнти поглинання меланіну для європейця та афроамериканця були б практично рівними між собою (з заданою похибкою), тобто $k_{e\lambda 2} = k_{a\lambda 2} = k_{\lambda 2}$, після дії на пальці
50 потоків інфрачервоного та червоного випромінювання з частотою Ω_k , почергово перетворюють у сигнали $u_{x1}(t)$ і $u_{x2}(t)$ потужності відбитих і послаблених гемоглобіном і оксигемоглобіном крові та меланіном потоків інфрачервоного та червоного випромінювань за проміжок часу Δt_r , що кратний періоду T_d дихального процесу, одночасно визначають та запам'ятовують

просторово-часові параметри характеристичних точок А, В, С, D, Е на графіку процесу мікроциркуляції крові, що відповідають зміні швидкості наповнення судин кров'ю та відновлення кровотоку, після миттєвого установлення значення граничного тиску P_r (P_r' та P_r'') для кожного пальця, додатково визначають та запам'ятовують значення часу

5 $\Delta t_k = t_{1|при \{u_x(t_1)\}=\{\Delta U\}} - t_{0|при \{u_x(t_0)\}=0}$ адаптації і кровонаповнення "пустих" або не повністю наповнених кров'ю периферичних судин (капілярів та артерій) при раптовому підвищенні тиску в манжеті, визначають та запам'ятовують миттєве значення сигналів $u_{x1}(t)$ і $u_{x2}(t)$ у момент часу t_1 початку дії тиску, тобто $U_1' = u_{x1}(t_1)$ та $U_1'' = u_{x2}(t_1)$, при заданому значенні граничного тиску, що діє протягом нормованого за значенням часу $\Delta t_p = t_3 - t_0$, додатково визначають та

10 запам'ятовують значення інтервалів часу швидкого Δt_{h1} ($\Delta t_{h1}' = t_2' - t_1'$ і $\Delta t_{h1}'' = t_2'' - t_1''$) та повільного Δt_{h2} ($\Delta t_{h2}' = t_3' - t_2'$ і $\Delta t_{h2}'' = t_3'' - t_2''$), де t_3' і t_3'' - моменти часу досягнення інформативними сигналами $u_{x1}(t)$ і $u_{x2}(t)$ максимального значення U_m наповнення судин (капілярів) кров'ю, одночасно визначають та запам'ятовують миттєве значення сигналів у моменти часу t_2 і t_3 , тобто $U_2' = u_{x1}(t_2)$ і $U_2'' = u_{x2}(t_2)$ та $U_3' = U_3' = u_{x1}(t_3)$ і $U_3'' = U_3'' = u_{x2}(t_3)$

15 виключають дію граничного тиску P_r (P_r' та P_r'') на кожний палець у момент часу t_3 (t_3' і t_3'') визначають та запам'ятовують значення інтервалу часу швидкого Δt_{b1} ($\Delta t_{b1}' = t_4' - t_3'$ і $\Delta t_{b1}'' = t_4'' - t_3''$), де t_4' і t_4'' - моменти часу зміни швидкості відновлення кровонаповнення та повільного Δt_{b2} ($\Delta t_{b2}' = t_5' - t_4'$ і $\Delta t_{b2}'' = t_5'' - t_4''$) відновлення кровонаповнення судин (артерій та вен) кров'ю, визначають та запам'ятовують миттєве значення сигналів у момент часу t_4 (t_4' і t_4'')

20 зміни швидкості відновлення кровонаповнення, тобто $U_4' = u_{x1}(t_4)$ і $U_4'' = u_{x2}(t_4)$, визначають і запам'ятовують миттєві значення сигналів $u_{x1}(t)$ і $u_{x2}(t)$ у момент часу t_5 припинення дослідження процесу мікроциркуляції, тобто $U_5' = u_{x1}(t_5)$ і $U_5'' = u_{x2}(t_5)$, після закінчення загального часу $\Delta t_\Sigma = \Delta t_T + \Delta t_B$ дослідження процесу мікроциркуляції крові або часу Δt_B ($\{\Delta t_B\} = \{\Delta t_{b1}\} + \{\Delta t_{b2}\}$) відновлення капілярного і венозного кровотоку, визначають напругу

25 зміщення ΔU_{3m} ($\Delta U_{3m}'$ та $\Delta U_{3m}''$) при нульових значеннях потужностей потоків інфрачервоного та червоного випромінювань, отримані значення напруг зміщення запам'ятовують, визначають нормований за значенням амплітуди і приведений до одиничного значення або у відсотках інформативний сигнал, що відображає процес мікроциркуляції крові у пальці людини, за рівняннями вимірювань:

$$30 \quad N_x'(t_i)[\text{в.о.}] = \frac{u_{x1}(t_i) - \Delta U_{3m}'}{U_m' - \Delta U_{3m}'} \quad \text{або} \quad N_x'(t_i)[\%] = \frac{u_{x1}(t_i) - \Delta U_{3m}'}{U_m' - \Delta U_{3m}'} 100\%,$$

- для пальця правої руки чи одного пальця і

$$N_x''(t_i)[\text{в.о.}] = \frac{u_{x2}(t_i) - \Delta U_{3m}''}{U_m'' - \Delta U_{3m}''} \quad \text{або} \quad N_x''(t_i)[\%] = \frac{u_{x2}(t_i) - \Delta U_{3m}''}{U_m'' - \Delta U_{3m}''} 100\%,$$

- для пальця лівої руки чи для другого пальця,

де t_i - дискретні моменти часу перетворення у коди чисел миттєвих значень

35 інформативного сигналу; [в.о.] - відносні одиниці,

визначають відносні значення напруг (у відсотках), отриманих в характеристичні моменти часу t_1, \dots, t_5 інформативних сигналів $u_{x1}(t)$ і $u_{x2}(t)$ за рівняннями вимірювань:

а) для одного мікроциркуляторного русла (пальця) (позначено одним штрихом):

$$\delta_1' = \frac{u_{x1}(t_1) - \Delta U_{3m}'}{U_m' - \Delta U_{3m}'} 100\% = \frac{U_1' - \Delta U_{3m}'}{U_m' - \Delta U_{3m}'} 100\%,$$

$$40 \quad \delta_2' = \frac{u_{x1}(t_2) - \Delta U_{3m}'}{U_m' - \Delta U_{3m}'} 100\% = \frac{U_2' - \Delta U_{3m}'}{U_m' - \Delta U_{3m}'} 100\%,$$

$$\delta_3' = \delta_m' \frac{u_{x1}(t_3) - \Delta U_{3m}'}{U_m' - \Delta U_{3m}'} 100\% = \frac{U_3' - \Delta U_{3m}'}{U_m' - \Delta U_{3m}'} 100\%,$$

$$\delta'_4 = \frac{u_{x1}(t_4) - \Delta U'_{3M}}{U'_m - \Delta U'_{3M}} 100\% = \frac{U'_4 - \Delta U'_{3M}}{U'_m - \Delta U'_{3M}} 100\%,$$

$$\delta'_5 = \frac{u_{x1}(t_5) - \Delta U'_{3M}}{U'_m - \Delta U'_{3M}} 100\% = \frac{U'_5 - \Delta U'_{3M}}{U'_m - \Delta U'_{3M}} 100\%,$$

б) для другого мікроциркуляторного русла (пальця) (позначено двома штрихами):

$$\delta''_1 = \frac{u_{x2}(t_1) - \Delta U''_{3M}}{U''_m - \Delta U''_{3M}} 100\% = \frac{U''_1 - \Delta U''_{3M}}{U''_m - \Delta U''_{3M}} 100\%,$$

$$5 \quad \delta''_2 = \frac{u_{x2}(t_2) - \Delta U''_{3M}}{U''_m - \Delta U''_{3M}} 100\% = \frac{U''_2 - \Delta U''_{3M}}{U''_m - \Delta U''_{3M}} 100\%,$$

$$\delta''_1 = \delta''_m = \frac{u_{x2}(t_3) - \Delta U''_{3M}}{U''_m - \Delta U''_{3M}} 100\% = \frac{U''_3 - \Delta U''_{3M}}{U''_m - \Delta U''_{3M}} 100\%,$$

$$\delta''_4 = \frac{u_{x2}(t_4) - \Delta U''_{3M}}{U''_m - \Delta U''_{3M}} 100\% = \frac{U''_4 - \Delta U''_{3M}}{U''_m - \Delta U''_{3M}} 100\%,$$

$$\delta''_5 = \frac{u_{x2}(t_5) - \Delta U''_{3M}}{U''_m - \Delta U''_{3M}} 100\% = \frac{U''_5 - \Delta U''_{3M}}{U''_m - \Delta U''_{3M}} 100\%,$$

визначають показники інтегрального шляху кровонаповнення капілярів (в умовних відсотках)

10 за рівнянням числових значень виду:

а) для одного пальця (позначено одним штрихом):

$$k_{i_{H1}} = \sqrt{\Delta \delta'^2_{H1} + \{\Delta t'_{H1}\}^2} [\%], \quad k_{i_{H2}} = \sqrt{\Delta \delta'^2_{H2} + \{\Delta t'_{H2}\}^2} [\%],$$

$$k_{i_{B1}} = \sqrt{\Delta \delta'^2_{B1} + \{\Delta t'_{B1}\}^2} [\%], \quad k_{i_{B2}} = \sqrt{\Delta \delta'^2_{B2} + \{\Delta t'_{B2}\}^2} [\%],$$

$$15 \quad \text{де } \{\Delta t'_{H1}\} = \{t'_2\} - \{t'_1\}; \{\Delta t'_{H2}\} = \{t'_3\} - \{t'_2\}; \{\Delta t'_{B1}\} = \{t'_4\} - \{t'_3\}; \{\Delta t'_{B2}\} = \{t'_5\} - \{t'_4\}; \\ \{\Delta \delta'_{H1}\} = \{\delta'_2\} - \{\delta'_1\}; \{\Delta \delta'_{H2}\} = \{\delta'_3\} - \{\delta'_2\}; \{\Delta \delta'_{B1}\} = \{\delta'_4\} - \{\delta'_3\}; \{\Delta \delta'_{B2}\} = \{\delta'_5\} - \{\delta'_4\};$$

б) для другого пальця (позначено двома штрихами):

$$k_{i_{H1}} = \sqrt{\Delta \delta''^2_{H1} + \{\Delta t''_{H1}\}^2} [\%], \quad k_{i_{H2}} = \sqrt{\Delta \delta''^2_{H2} + \{\Delta t''_{H2}\}^2} [\%],$$

$$k_{i_{B1}} = \sqrt{\Delta \delta''^2_{B1} + \{\Delta t''_{B1}\}^2} [\%], \quad k_{i_{B2}} = \sqrt{\Delta \delta''^2_{B2} + \{\Delta t''_{B2}\}^2} [\%],$$

$$20 \quad \text{де } \{\Delta t''_{H1}\} = \{t''_2\} - \{t''_1\}; \{\Delta t''_{H2}\} = \{t''_3\} - \{t''_2\}; \{\Delta t''_{B1}\} = \{t''_4\} - \{t''_3\}; \{\Delta t''_{B2}\} = \{t''_5\} - \{t''_4\}; \\ \{\Delta \delta''_{H1}\} = \{\delta''_2\} - \{\delta''_1\}; \{\Delta \delta''_{H2}\} = \{\delta''_3\} - \{\delta''_2\}; \{\Delta \delta''_{B1}\} = \{\delta''_4\} - \{\delta''_3\}; \{\Delta \delta''_{B2}\} = \{\delta''_5\} - \{\delta''_4\};$$

визначають значення показників швидкості ($k_{v_{H1}}, k_{v_{H2}}, k_{v_{B1}}, k_{v_{B2}}$) швидкого (індекс "1") та

повільного (індекс "2") наповнення (індекс "н") судин (капілярів) кров'ю (у %/с) та швидкого (індекс "1") та повільного (індекс "2") відновлення (індекс "в") кровотоку за рівняннями вимірювань:

25 а) для показників швидкості кровотоку у одному мікроциркуляторному руслі (пальці) (позначено одним штрихом):

$$k_{v_{H1}} = \frac{\sqrt{\Delta \delta'^2_{H1} + \{\Delta t'_{H1}\}^2}}{\Delta t'_{H1}} [\%/с], \quad k_{v_{H2}} = \frac{\sqrt{\Delta \delta'^2_{H2} + \{\Delta t'_{H2}\}^2}}{\Delta t'_{H2}} [\%/с],$$

$$k_{v_{B1}} = \frac{\sqrt{\Delta \delta'^2_{B1} + \{\Delta t'_{B1}\}^2}}{\Delta t'_{B1}} [\%/с], \quad k_{v_{B2}} = \frac{\sqrt{\Delta \delta'^2_{B2} + \{\Delta t'_{B2}\}^2}}{\Delta t'_{B2}} [\%/с];$$

б) для показників швидкості кровотоку у другому мікроциркуляторному руслі (пальці) (позначено двома штрихами):

30

$$k_{v_{H1}} = \frac{\sqrt{\Delta \delta''^2_{H1} + \{\Delta t''_{H1}\}^2}}{\Delta t''_{H1}} [\%/с], \quad k_{v_{H2}} = \frac{\sqrt{\Delta \delta''^2_{H2} + \{\Delta t''_{H2}\}^2}}{\Delta t''_{H2}} [\%/с],$$

$$k_{v_{B1}} = \frac{\sqrt{\Delta\delta_{B1}''^2 + \{\Delta t_{B1}''\}^2}}{\Delta t_{B1}''} [\%/c], \quad k_{v_{B2}} = \frac{\sqrt{\Delta\delta_{B2}''^2 + \{\Delta t_{B2}''\}^2}}{\Delta t_{B2}''} [\%/c];$$

визначають показник (k_R) опору судин тиску крові (у мм.рт.ст./с) у кожній фазі процесу мікроциркуляції для першого та другого мікроциркуляторного русел за рівняннями вимірювань:

а) для першого мікроциркуляторного русла (позначено одним штрихом):

$$5 \quad k_{R_{H1}} = \frac{\Delta P_{H1}'}{\Delta t_{H1}'} [\text{мм.рт.ст./с}], \quad k_{R_{H2}} = \frac{\Delta P_{H2}'}{\Delta t_{H2}'} [\text{мм.рт.ст./с}], \quad k_{R_{B1}} = \frac{\Delta P_{B1}'}{\Delta t_{B1}'} [\text{мм.рт.ст./с}],$$

$$k_{R_{B2}} = \frac{\Delta P_{B2}'}{\Delta t_{B2}'} [\text{мм.рт.ст./с}],$$

$$\text{де } \{\Delta P_{H1}'\} = \{P_2'\} - \{P_1'\}, \quad \{\Delta P_{H2}'\} = \{P_3'\} - \{P_2'\}, \quad \{\Delta P_{B1}'\} = \{P_3'\} - \{P_4'\}, \quad \{\Delta P_{B2}'\} = \{P_4'\} - \{P_5'\};$$

б) для другого мікроциркуляторного русла (позначено двома штрихами):

$$k_{R_{H1}}'' = \frac{\Delta P_{H1}''}{\Delta t_{H1}''} [\text{мм.рт.ст./с}], \quad k_{R_{H2}}'' = \frac{\Delta P_{H2}''}{\Delta t_{H2}''} [\text{мм.рт.ст./с}], \quad k_{R_{B1}}'' = \frac{\Delta P_{B1}''}{\Delta t_{B1}''} [\text{мм.рт.ст./с}],$$

$$10 \quad k_{R_{B2}}'' = \frac{\Delta P_{B2}''}{\Delta t_{B2}''} [\text{мм.рт.ст./с}],$$

$$\text{де } \{\Delta P_{H1}''\} = \{P_2''\} - \{P_1''\}, \quad \{\Delta P_{H2}''\} = \{P_3''\} - \{P_2''\}, \quad \{\Delta P_{B1}''\} = \{P_3''\} - \{P_4''\}, \quad \{\Delta P_{B2}''\} = \{P_4''\} - \{P_5''\},$$

визначають значення показника пропускної спроможності (у %/с) мікроциркуляторного русла для кожної з чотирьох ділянок за рівняннями вимірювань:

а) для першого мікроциркуляторного русла (одного пальця) (позначено одним штрихом):

$$15 \quad S_{H1}' = \text{tg} \alpha_{H1}' = \Delta \delta_{H1}' / \Delta t_{H1}' [\%/c], \quad S_{H2}' = \text{tg} \alpha_{H2}' = \Delta \delta_{H2}' / \Delta t_{H2}' [\%/c],$$

$$S_{B1}' = \text{tg} \alpha_{B1}' = \Delta \delta_{B1}' / \Delta t_{B1}' [\%/c], \quad S_{B2}' = \text{tg} \alpha_{B2}' = \Delta \delta_{B2}' / \Delta t_{B2}' [\%/c];$$

б) для другого мікроциркуляторного русла (другого пальця) (позначено двома штрихами):

$$S_{H1}'' = \text{tg} \alpha_{H1}'' = \Delta \delta_{H1}'' / \Delta t_{H1}'' [\%/c], \quad S_{H2}'' = \text{tg} \alpha_{H2}'' = \Delta \delta_{H2}'' / \Delta t_{H2}'' [\%/c],$$

$$S_{B1}'' = \text{tg} \alpha_{B1}'' = \Delta \delta_{B1}'' / \Delta t_{B1}'' [\%/c], \quad S_{B2}'' = \text{tg} \alpha_{B2}'' = \Delta \delta_{B2}'' / \Delta t_{B2}'' [\%/c],$$

20 визначають асиметрію визначених показників мікроциркуляції крові між першим і другим мікроциркуляторними руслами (пальцями) (у %), за рівняннями числових значень зокрема:

а) коефіцієнт асиметрії γ_{δ} відносних значень напруг, отриманих в характеристичні моменти часу t_1, \dots, t_5 :

$$\gamma_{\delta 1} = \left(\frac{\delta_1''}{\delta_1'} - 1 \right) 100\%, \quad \gamma_{\delta 2} = \left(\frac{\delta_2''}{\delta_2'} - 1 \right) 100\%, \quad \gamma_{\delta 3} = \left(\frac{\delta_3''}{\delta_3'} - 1 \right) 100\%, \quad \gamma_{\delta 4} = \left(\frac{\delta_4''}{\delta_4'} - 1 \right) 100\%,$$

$$25 \quad \gamma_{\delta 5} = \left(\frac{\delta_5''}{\delta_5'} - 1 \right) 100\%;$$

б) коефіцієнт асиметрії швидкостей кровотоку у порівнювальних мікроциркуляторних руслах

$$\gamma_{v_{H1}} = \left(\frac{k_{v_{H1}}'}{k_{v_{H1}}''} - 1 \right) 100\%, \quad \gamma_{v_{H2}} = \left(\frac{k_{v_{H2}}'}{k_{v_{H2}}''} - 1 \right) 100\%, \quad \gamma_{v_{B1}} = \left(\frac{k_{v_{B1}}'}{k_{v_{B1}}''} - 1 \right) 100\%, \quad \gamma_{v_{B2}} = \left(\frac{k_{v_{B2}}'}{k_{v_{B2}}''} - 1 \right) 100\%;$$

30 в) коефіцієнт асиметрії показників пропускної спроможності мікроциркуляторних русел для кожної з чотирьох ділянок:

$$\gamma_{S1} = \left(\frac{S_1''}{S_1'} - 1 \right) 100\%, \quad \gamma_{S2} = \left(\frac{S_2''}{S_2'} - 1 \right) 100\%, \quad \gamma_{S3} = \left(\frac{S_3''}{S_3'} - 1 \right) 100\%, \quad \gamma_{S4} = \left(\frac{S_4''}{S_4'} - 1 \right) 100\%,$$

г) коефіцієнт асиметрії інтегральних шляхів кровонаповнення капілярів для кожної з фази процесу мікроциркуляції порівнювальних мікроциркуляторних руслах:

$$\gamma_{l_{H1}} = \left(\frac{k_{l_{H1}}''}{k_{l_{H1}}'} - 1 \right) 100\%, \quad \gamma_{l_{H2}} = \left(\frac{k_{l_{H2}}''}{k_{l_{H2}}'} - 1 \right) 100\%, \quad \gamma_{l_{B1}} = \left(\frac{k_{l_{B1}}''}{k_{l_{B1}}'} - 1 \right) 100\%, \quad \gamma_{l_{B2}} = \left(\frac{k_{l_{B2}}''}{k_{l_{B2}}'} - 1 \right) 100\%$$

і тільки після цього отримані дані візуалізують у системах координат 100 %, t_x (чи $(1, t_x)$), $(P_T, 0)$ та $(t_{x(60)}, 0)$ з позначеннями: граничного значення тиску на шкалі тиску та значень тиску, що відповідають характеристичним моментам часу t_1, \dots, t_5 на шкалі часу системи координат 100 %, t_x (чи $(1, t_x)$); всіх імпульсів, що характеризують характер дихання і число дихальних процесів пацієнта за одну хвилину; характеристичних точок (O, A, B, C, D і E) кривої мікроциркуляції крові та відповідні моменти часу, отримані дані структурують та порівнюють з даними, що отримані у інший час, при інших умовах, для різно- чи однойменних пальців лівої та/або правої руки людини чи з нормованою за значенням параметрів кривою (моделлю) мікроциркуляції чи мікрогемодинаміки крові.

Згідно із ще одним аспектом винаходу спосіб характеризується тим, що спочатку, до здійснення почергової дії потоків інфрачервоного та червоного оптичного випромінювання на палець руки людини, їх відомим чином перетворюють у напруги, які вирівнюють між собою і підсилюють (нормують) до наперед заданого значення $\{U_0\}$, вимірюють і запам'ятовують отриманий результат, установлені значення струмів I_1 і I_2 перетворюють у пропорційні напруги, вимірюють їх, отримані значення перетворюють у коди чисел, запам'ятовують, візуалізують їх значення і порівнюють з апіорі заданими допустимими значеннями метрологічних чисел, за якими судять про відповідність значень основних параметрів процесу вимірювань апіорі заданим.

Згідно із ще одним додатковим аспектом винаходу спосіб характеризується тим, що після досягнення рівності потужностей відбитих потоків червоного та інфрачервоного випромінювання, виділяють дихальну та пульсову складові інформативного сигналу шляхом цифрової (чи аналогової) фільтрації, вимірюють, при необхідності, їх частоту чи/та періоди T_d і T_n , отримані значення запам'ятовують і візуалізують, здійснюють синхронізацію початку та кінця процесів миттєвого установлення та зняття граничного значення тиску P_r при безперервному диханні, причому початковий та кінцевий моменти часу дії граничного тиску встановлюють у ті моменти часу, коли амплітуда пульсової хвилі досягає мінімального (чи максимального) значення, уточнюють фактичний час дії Δt_r граничного значення тиску P_r ($\{\Delta t_r'\} = \{\Delta t_r\} \pm \{T_n\}$), результат запам'ятовують, отримане значення візуалізують.

Згідно із ще одним додатковим аспектом винаходу спосіб характеризується тим, що індивідуальні до конкретної людини порогові значення тиску P_n ($\{P_n\} \neq \{P_r\}$) визначають шляхом формування лінійно зростаючого тиску і дії його на пальці лівої та/чи правої руки протягом часу Δt_b , за яким амплітуда U_{mn} пульсової хвилі зменшиться до наперед заданого значення, наприклад до $(0,01-0,1)U_{mn}$, отримане порогове значення тиску P_n запам'ятовують, візуалізують і використовують при оцінці якості мікроциркуляції крові у кінцівках при режимі щадної (помірної чи адекватної) дії.

Згідно із ще одним додатковим аспектом винаходу спосіб характеризується тим, що визначення параметрів мікроциркуляції крові у окремих груп пацієнтів здійснюють і при затримці дихання на 60-100 секунд на фазі видиху чи вдиху.

Згідно із ще одним додатковим аспектом винаходу спосіб характеризується тим, що отримані результати дослідження мікроциркуляторних русел кінцівок людини структурують за значенням та формою і відображають на екрані дисплею чи на паперовому носії у вигляді "Діагностичної карти", на якій зображені два графічні портрети процесу мікроциркуляції крові в мікроциркуляторних руслах пальців лівої та/чи правої руки пацієнта в реальному часі та динаміка дихальних циклів на окремій осі поточного часу, "Висновки" лікаря та результати розрахунків параметрів та показників процесу мікроциркуляції крові для першого та другого мікроциркуляторних русел кінцівок пацієнта.

На фіг. 1 наведено графік процесу мікроциркуляції крові в пальці руки; на фіг. 2 - графіки процесу мікроциркуляції крові в пальці руки у декартовій системі координат; на фіг. 3 - спектри поглинання гемоглобіну і оксигемоглобіну; на фіг. 4 - відносні коефіцієнти відбивання шкіри європейця і афроамериканця; на фіг. 5 - кусково-лінійна апроксимація графіка процесу мікроциркуляції крові; на фіг. 6 - Графік процесу мікроциркуляції крові з відносними змінами (у %) миттєвих значень кривої мікроциркуляції крові й прив'язкою її вершини до істинного порогового значення тиску; на фіг. 7 - графічний портрет процесу мікроциркуляції крові в мікроциркуляторних руслах (пальців лівої та правої руки); на фіг. 8 і фіг. 9 - діагностична картка та таблиця результатів обчислення параметрів та показників процесу мікроциркуляції крові; на фіг. 10 і фіг. 11 - заповнені демонстраційна діагностична картка та таблиці; на фіг. 12 -

спрощена структурна схема пристрою, що реалізує запропонований спосіб визначення параметрів мікроциркуляції крові у кінцівках людини, де ОБ1 і ОБ2 - перший та другий об'єкти вимірювань (мікроциркуляторні русла); М1 і М2 - перша та друга манжети; КК - керований клапан; МКр - мікрокомпресор; ДТ - датчик тиску; КЛ - клавіатура (набірне поле); ГОВ1,..., ГОВ4 - перший, другий, третій та четвертий генератори оптичного випромінювання; ФП1 і ФП2 - перший та другий фотоприймачі; СД1 і СД2 - перший та другий синхронні детектори; СП - сигнальний процесор; ВП - відліковий пристрій, у якості якого може бути використаний дисплей; Тг - тригер; КДС1,..., КДС4 - перший, другий, третій та четвертий керовані джерела струму.

Зазначимо, що функція перетворення вимірювального каналу є лінійною, тобто

$$U_x = S'_\lambda \Phi_x + \Delta U'_{3m}, \quad (1)$$

де Φ_x - потік оптичного випромінювання; S'_λ - крутість перетворення, причому $S'_\lambda = S_\lambda(1 + \gamma_\lambda)$, а S_λ - номінальне значення крутості перетворення, γ_λ - відносне відхилення крутості перетворення під дією зовнішніх дестабілізуючих факторів; $\Delta U'_{3m}$ - зміщення функції перетворення, причому $\Delta U'_{3m} = \Delta U_{3m} + \Delta_{ад}$, ΔU_{3m} - номінальне значення зміщення, $\Delta_{ад}$ - адитивна похибка перетворювання, що є складовою напруги зміщення.

Запропоновано спосіб неінвазивного визначення параметрів процесів мікроциркуляції крові в пальцях кінцівок людини, оснований на формуванні потоків червоного та інфрачервоного випромінювання з довжинами хвиль λ_1 і λ_2 .

Зазначеними потоками по чергово діють на ті чи інші пальці правої та/чи лівої руки людини сформованими потоками червоного та інфрачервоного випромінювання протягом заданого інтервалу часу Δt_Σ , за яким має місце поглинання потоків оптичного випромінювання неокисленим гемоглобіном крові та меланіном.

Оскільки поглинання потужності потоку оптичного випромінювання здійснюється за законом Ламберта-Бугера-Бера, то напруга на виході вимірювального каналу може бути записана наступним чином

$$U_x = S'_\lambda \Phi_0 e^{-(k_{\lambda 1} C_x + k_{\lambda 2} (C_\Sigma - C_x) + k_p) l_e} + \Delta U'_{3m}, \quad (2)$$

де Φ_0 - нормований за значенням потужності потік оптичного випромінювання з заданою довжиною хвилі λ_1 чи λ_2 та напівшириною полоси пропускання $\pm \Delta \lambda$, причому $\Phi_0 = S_{\Phi \lambda} I_0$, а $S_{\Phi \lambda}$ - крутість перетворення струму I_0 у потік Φ_0 .

Потік оптичного випромінювання Φ_0 поступає через поверхневий шар кінцівки (меланін) на капілярну кров і поглинається гемоглобіном крові; $k_{\lambda 1}$ - коефіцієнт поглинання гемоглобіну крові; $k_{\lambda 2}$ - коефіцієнт поглинання меланіну; C_Σ - загальна концентрація гемоглобіну і меланіну; C_x - концентрація гемоглобіну; k_p - коефіцієнт розсіювання (вважаємо що k_p не залежить від довжини хвилі, а залежить від структури об'єкту); $l_e = V_e / s_e$ - ефективна товщина слою меланіну та гемоглобіну, що дорівнює відношенню ефективного об'єму V_e простору, що зондується, до ефективної площі s_e світлової плями.

Незважаючи на те, що функція перетворення (1) вимірювального каналу є лінійною, залежність вихідної напруги від концентрації гемоглобіну є нелінійною функцією (2).

Згідно з запропонованим способом, потужності відбитих і послаблених потоків інфрачервоного та червоного випромінювання по чергового, з частотою Ω_K , перетворюють у сигнали

$$u_{x1}(t) = S'_\lambda k_{\lambda 1} \Phi_0(t) e^{-(k_{\lambda 1} C_x + k_{\lambda 2} (C_\Sigma - C_x) + k_p) l_e} + \Delta U'_{3m}, \quad (3)$$

$$u_{x2}(t) = S'_\lambda k_{\lambda 2} \Phi_0(t) e^{-(k_{\lambda 1} C_x + k_{\lambda 2} (C_\Sigma - C_x) + k_p) l_e} + \Delta U'_{3m}, \quad (4)$$

де $k_{\lambda 1}$ та $k_{\lambda 2}$ - коефіцієнти передачі оптичних каналів на відповідних довжинах хвиль з урахуванням спектральної характеристики фотоприймача.

Сигнали (3) і (4) по чергово підсилюють та синхронно детектують. Після цього виділяють різницьевий сигнал частоти комутації Ω_K та його усереднюють. В результаті отримують напругу

$$\Delta U = S'_\lambda \Phi_0 \left[e^{-(k_{\lambda 1} C_x + k_{\lambda 2} (C_\Sigma - C_x) + k_p) l_e} - e^{-(k_{\lambda 2} C_x + k_{\lambda 1} (C_\Sigma - C_x) + k_p) l_e} \right], \quad (5)$$

яку використовують для управління силою струму I_1 або/та I_2 , від яких залежить потужність зазначених потоків оптичного випромінювання.

Змінюють силу струму до моменту рівності потужностей відбитих від кістки пальця та послаблених потоків червоного та інфрачервоного випромінювань на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 , тобто до забезпечення рівності $k_{\lambda 1}\{\Phi_{01}\} = k_{\lambda 2}\{\Phi_{02}\} = k_{\lambda}\{\Phi_0\}$, де $k_{\lambda 1}$ і $k_{\lambda 2}$ - коефіцієнти перепускання відбитих потоків оптичного випромінювання відповідно, $\Phi_{01} = S_{\Phi \lambda 1} I_1$, $\Phi_{02} = S_{\Phi \lambda 2} I_2$, $S_{\Phi \lambda 1}$ і $S_{\Phi \lambda 2}$ - крутість перетворення струмів у потужність потоків оптичного випромінювання на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 ;

Фіксують встановлені значення потужностей потоків червоного та інфрачервоного випромінювань протягом заданого інтервалу часу Δt_{Σ} ($\Delta t_{\Sigma} = (60 - 120)\text{с}$).

Далі, згідно з запропонованим способом, практично миттєво діють на пальці граничним тиском P_r в межах, наприклад, 100 мм.рт.ст. - 500 мм.рт.ст., для перекриття шляху крові через судини (артерії та вени) пальців (мікроциркуляторних русел).

Одночасно, протягом часу Δt_{Σ} , починають вимірювати вихідний різницевий сигнал отриманого, відповідно, з першого та другого пальців (мікроциркуляторних русел):

$$u_{x1}(t) = \Delta u_1(t) = S'_{\lambda} \Phi_0(t) \left[e^{-(k_{r\lambda} C_{x1} + k_{m\lambda} (C_{\Sigma} - C_{x1}) + k_{p1}) I_{e1}} - e^{-(k_{r\lambda} C_{x1} + k_{m\lambda} (C_{\Sigma} - C_{x1}) + k_{p1}) I_{e1}} \right], \quad (6)$$

$$u_{x2}(t) = \Delta u_2(t) = S'_{\lambda} \Phi_0(t) \left[e^{-(k_{r\lambda} C_{x2} + k_{m\lambda} (C_{\Sigma} - C_{x2}) + k_{p2}) I_{e2}} - e^{-(k_{r\lambda} C_{x2} + k_{m\lambda} (C_{\Sigma} - C_{x2}) + k_{p2}) I_{e2}} \right]. \quad (7)$$

де C_{x1} і C_{x2} - концентрація гемоглобіну у першому та другому пальцях відповідно; k_{p1} і k_{p2} - коефіцієнти розсіювання для першого та другого пальців відповідно; I_{e1} і I_{e2} - ефективні товщини слою меланіну та гемоглобіну для першого та другого пальців відповідно, $k_{r\lambda 1} = k_{r\lambda 2} = k_{r\lambda}$ та $k_{m\lambda 1} = k_{m\lambda 2} = k_{m\lambda}$.

Витримують дію тиску P_r протягом апіорі визначеного часу Δt_T . За звичай час $\Delta t_T = (10 - 30)\text{с}$. Але цей час може бути вибраним будь-яким, але не більшим ніж 60 с.

Після закінчення визначеного часу Δt_T практично раптово знімають дію тиску. Цей стан (без дії тиску) витримують протягом часу Δt_B відновлення капілярного і венозного кровотоку до стаціонарного рівня. Як правило час відновлення кровотоку Δt_B повинен бути більшим за час Δt_T дії тиску більше, ніж у 2 рази.

Потужності потоків червоного випромінювання перетворюють у інформативні сигнали $u_{x1}(t)$ і $u_{x2}(t)$, які відображають процес мікроциркуляції крові у двох мікроциркуляторних руслах, безперервно протягом часу $\Delta t_{\Sigma} = \Delta t_T + \Delta t_B$. Одночасно миттєві значення сигналів $u_{x1}(t)$ і $u_{x2}(t)$ перетворюють у коди чисел, які запам'ятовують.

Отримані дані математично оброблюють (у тому числі масиви даних фільтрують) та візуалізують.

Від відомих запропонований спосіб відрізняється тим, що потоки червоного та інфрачервоного випромінювання з довжинами хвиль λ_1 і λ_2 формують з однаковою напівшириною смуг перепускання $\pm \Delta \lambda_0$ ($\{\Delta \lambda_1\} = \{\Delta \lambda_2\} = \{\Delta \lambda_0\}$). Це необхідно для забезпечення однакової потужності потоків оптичного випромінювання при однакових за значенням смуг перепускання $\pm \Delta \lambda_0$.

Довжину хвилі λ_1 вибирають такою, при якій коефіцієнти поглинання гемоглобіну та оксигемоглобіну крові були б практично рівними між собою з заданою похибкою, тобто $k_{r\lambda 1} \cong k_{o\lambda 1} = k_{\lambda 1}$. Як приклад, на фіг. 3 наведені спектри поглинання гемоглобіну та оксигемоглобіну.

Необхідні довжини хвиль можна вибрати з наведених кривих. Як правило, довжину хвилі λ_2 вибирають такою, при якій коефіцієнти поглинання меланіну для європейця та афроамериканця були б практично рівними між собою (з заданою похибкою), тобто $k_{e\lambda 2} \cong k_{a\lambda 2} = k_{\lambda 2}$. Для прикладу на фіг. 4 наведені спектри відбивання шкіри європейця і афроамериканця у діапазоні довжин хвиль від 300 нм до 2000 нм, за якими можна вибрати необхідну довжину хвилі. Краще вибрати довжину хвилі $\lambda_2 = 1400\text{ нм}$, на якій відносний коефіцієнт відбивання шкіри дорівнює 0,05.

Після дії на пальці потоків інфрачервоного та червоного випромінювання з частотою Ω_k , почергово перетворюють у сигнали $u_{x1}(t)$ і $u_{x2}(t)$ потужності відбитих і послаблених гемоглобіном і оксигемоглобіном крові та меланіном потоків інфрачервоного та червоного випромінювань за проміжок часу Δt_r , що кратний періоду T_d дихального процесу. Це необхідно для точного визначення функції, що характеризує процес мікроциркуляції крові та урахування дії дихального процесу на кровонаповнення капілярів, артерій та вен.

Одночасно визначають та запам'ятовують просторовочасові параметри характеристичних точок O, A, B, C, D, E на графіку процесу мікроциркуляції крові, що відповідають зміні швидкості наповнення судин кров'ю та відновлення кровотоку. Параметри цих точок є найбільш інформативними і використовуються для визначення параметрів та показників процесу мікроциркуляції крові у мікроциркуляторних руслах.

Практично миттєво діють на пальці тиском P_r одного з дискретних значень граничним в межах 100 мм.рт.ст. - 500 мм.рт.ст. з метою для перекриття шляху крові через артерії та вени пальців. Слід зазначити, що при початку дії тиску у фазі вдиху (видиху) і закінчення дії тиску у фазі видиху (вдиху) будуть отримані недостовірні результати. Необхідно, щоб фазі співпадали, тобто початок і кінець дії тиску були у фазі вдиху чи видиху та були прив'язані до фази пульсової хвилі, як буде зазначено нижче.

Після миттєвого установлення значення граничного тиску P_r для кожного пальця додатково визначають та запам'ятовують значення часу $\Delta t_k = t_{1|при \{u_x(t_1)\}=\{\Delta U\}} - t_{0|при \{u_x(t_0)\}=0}$ адаптації і кровонаповнення "пустих" або не повністю наповнених кров'ю периферичних судин (капілярів та артерій) при раптовому підвищенні тиску в манжеті. Як видно з фіг. 1, скачок сигналу у початковий момент часу як раз й характеризує цей процес.

Далі, згідно з запропонованим способом, визначають та запам'ятовують миттєве значення сигналів $u_{x1}(t)$ і $u_{x2}(t)$ у початковий момент t_1 дії тиску, тобто ($U'_1 = u_{x1}(t_1)$ та $U''_1 = u_{x2}(t_1)$) (див. фіг. 5).

При заданому значенні граничного тиску, що діє протягом нормованого за значенням часу $\Delta t_p = t_3 - t_0$, додатково визначають та запам'ятовують значення інтервалів часу швидкого Δt_{n1} ($\Delta t'_{n1} = t'_2 - t'_1$ і $\Delta t''_{n1} = t''_2 - t''_1$) та повільного Δt_{n2} ($\Delta t'_{n2} = t'_3 - t'_2$ і $\Delta t''_{n2} = t''_3 - t''_2$), де t'_3 і t''_3 - моменти часу досягнення сигналами $u_{x1}(t)$ і $u_{x2}(t)$ максимального значення U_m наповнення судин (капілярів) кров'ю (див. фіг. 5 для пальця правої руки). Це необхідно для подальшого визначення показників швидкості кровонаповнення судин.

Одночасно визначають та запам'ятовують миттєві значення сигналів у моменти часу t_2 і t_3 , тобто $U'_2 = u_{x1}(t_2)$ і $U''_2 = u_{x2}(t_2)$ та $U'_m = U'_3 = u_{x1}(t_3)$ і $U''_m = U''_3 = u_{x2}(t_3)$ (Фіг. 5).

Виключають дію граничного тиску P_r на кожний палець у момент часу t_3 (t'_3 і t''_3). Визначають та запам'ятовують значення інтервалу часу швидкого Δt_{b1} ($\Delta t'_{b1} = t'_4 - t'_3$ і $\Delta t''_{b1} = t''_4 - t''_3$), де t'_4 і t''_4 - моменти часу зміни швидкості відновлення кровонаповнення та повільного Δt_{b2} ($\Delta t'_{b2} = t'_5 - t'_4$ і $\Delta t''_{b2} = t''_5 - t''_4$) відновлення кровонаповнення судин (артерій та вен) кров'ю. Ці вимірювання необхідно для подальшого визначення показників мікроциркуляції крові.

Визначають та запам'ятовують миттєве значення сигналів $u_{x1}(t)$ і $u_{x2}(t)$ у момент часу t_4 (t'_4 і t''_4) зміни швидкості кровонаповнення. В результаті отримують числові значення напруг $U'_4 = u_{x1}(t_4)$ і $U''_4 = u_{x2}(t_4)$.

Аналогічним чином визначають та запам'ятовують миттєве значення сигналів $u_{x1}(t)$ і $u_{x2}(t)$ у момент часу t_5 (t'_5 і t''_5) припинення дослідження процесу мікроциркуляції. В результаті отримують значення напруг $U'_5 = u_{x1}(t_5)$ і $U''_5 = u_{x2}(t_5)$, що відповідають мінімальним значенням інформативних сигналів $u_{x1}(t)$ і $u_{x2}(t)$.

Після закінчення загального часу $\Delta t_\Sigma = \Delta t_r + \Delta t_b$ досліджений процесу мікроциркуляції крові або часу Δt_b ($\{\Delta t_b\} = \{\Delta t_{b1}\} + \{\Delta t_{b2}\}$) відновлення капілярного і венозного кровотоку, визначають напругу зміщення ΔU_{3m} ($\Delta U'_{3m}$ та $\Delta U''_{3m}$) при нульових значеннях потужностей потоків

інфрачервоного та червоного випромінювань. Отримані значення напруг зміщення $\Delta U'_{3M}$ і $\Delta U''_{3M}$ запам'ятовують.

Здійснюють лінійно-кусову апроксимацію отриманих графіків процесу мікроциркуляції крові для кожного пальця з використанням координат характеристичних точок А і В, В і С, С і D, D і Е (див. наприклад, графічні побудови на фіг. 5 для пальця правої руки). Це необхідно для подальшого отримання усереднених даних про кровоток у мікроциркуляторних руслах та обчислення його параметрів та показників.

Дали, згідно з запропонованим способом неінвазивного визначення параметрів процесу мікроциркуляції крові в кінцівках людини, визначають нормований за значенням амплітуди і приведений до одиничного значення або у відсотках інформативний сигнал, що відображає процес мікроциркуляції крові у пальці людини, за рівнянням вимірювань:

$$N'_x(t_i)[\text{в.о.}] = \frac{u_{x1}(t_i) - \Delta U'_{3M}}{U'_m - \Delta U'_{3M}} \text{ або } N'_x(t_i)[\%] = \frac{u_{x1}(t_i) - \Delta U'_{3M}}{U'_m - \Delta U'_{3M}} 100\%,$$

- для пальця правої руки чи одного пальця і

$$N''_x(t_i)[\text{в.о.}] = \frac{u_{x2}(t_i) - \Delta U''_{3M}}{U''_m - \Delta U''_{3M}} \text{ або } N''_x(t_i)[\%] = \frac{u_{x2}(t_i) - \Delta U''_{3M}}{U''_m - \Delta U''_{3M}} 100\%,$$

- для пальця лівої руки чи для другого пальця,

де t_i - дискретні моменти часу перетворення у коди чисел миттєвих значень

інформативного сигналу (див. моменти часу t_1, t_2, t_3, t_4, t_5 на фіг. 6); U'_m і U''_m - максимальні значення сигналів $u_{x1}(t)$ і $u_{x2}(t)$ відповідно; $\Delta U'_{3M}$ і $\Delta U''_{3M}$ - напруга зміщення для першого і другого сигналів оптико-електронних каналів для пальців лівої і правої руки відповідно; [в.о.] - відносних одиниць.

Графік процесу мікроциркуляції крові з відносними змінами (у %) миттєвих значень кривої мікроциркуляції крові й прив'язкою її вершини до істинного порогового значення тиску будують для кожного мікроциркуляторного русла. Мінімально - це два, а максимально — це п'ять графіків. Але в останньому випадку повинно бути п'ять сенсорів і п'ять оптико-електронних каналів.

Як вже було зазначено вище, при відсутності поняття "норма" для усіх людей, неможливо порівнювати результати досліджень за абсолютними значеннями. Усі результати вимірювань, особливо миттєвих значень сигналів $u_{x1}(t)$ і $u_{x2}(t)$ повинні бути відносними. Тільки відносні дані (краще у відсотках) можна ефективно порівнювати між собою для різних мікроциркуляторних русел, для різних пацієнтів тощо.

Згідно з запропонованим способом, відносні значення напруг, отриманих в характеристичні моменти часу t_1, \dots, t_5 інформативних сигналів $u_{x1}(t)$ і $u_{x2}(t)$, визначають за рівнянням вимірювань:

а) для одного мікроциркуляторного русла (пальця) (позначено одним штрихом):

$$\delta'_1 = \frac{u_{x1}(t_1) - \Delta U'_{3M}}{U'_m - \Delta U'_{3M}} 100\% = \frac{U'_1 - \Delta U'_{3M}}{U'_m - \Delta U'_{3M}} 100\%,$$

$$\delta'_2 = \frac{u_{x1}(t_2) - \Delta U'_{3M}}{U'_m - \Delta U'_{3M}} 100\% = \frac{U'_2 - \Delta U'_{3M}}{U'_m - \Delta U'_{3M}} 100\%,$$

$$\delta'_3 = \delta'_m \frac{u_{x1}(t_3) - \Delta U'_{3M}}{U'_m - \Delta U'_{3M}} 100\% = \frac{U'_3 - \Delta U'_{3M}}{U'_m - \Delta U'_{3M}} 100\%,$$

$$\delta'_4 = \frac{u_{x1}(t_4) - \Delta U'_{3M}}{U'_m - \Delta U'_{3M}} 100\% = \frac{U'_4 - \Delta U'_{3M}}{U'_m - \Delta U'_{3M}} 100\%,$$

$$\delta'_5 = \frac{u_{x1}(t_5) - \Delta U'_{3M}}{U'_m - \Delta U'_{3M}} 100\% = \frac{U'_5 - \Delta U'_{3M}}{U'_m - \Delta U'_{3M}} 100\%,$$

б) для другого мікроциркуляторного русла (пальця) (позначено двома штрихами):

$$\delta''_1 = \frac{u_{x2}(t_1) - \Delta U''_{3M}}{U''_m - \Delta U''_{3M}} 100\% = \frac{U''_1 - \Delta U''_{3M}}{U''_m - \Delta U''_{3M}} 100\%.$$

$$\delta_2'' = \frac{u_{x2}(t_2) - \Delta U_{3M}''}{U_m'' - \Delta U_{3M}''} 100\% = \frac{U_2'' - \Delta U_{3M}''}{U_m'' - \Delta U_{3M}''} 100\%,$$

$$\delta_1'' = \delta_m'' = \frac{u_{x2}(t_3) - \Delta U_{3M}''}{U_m'' - \Delta U_{3M}''} 100\% = \frac{U_3'' - \Delta U_{3M}''}{U_m'' - \Delta U_{3M}''} 100\%,$$

$$\delta_4'' = \frac{u_{x2}(t_4) - \Delta U_{3M}''}{U_m'' - \Delta U_{3M}''} 100\% = \frac{U_4'' - \Delta U_{3M}''}{U_m'' - \Delta U_{3M}''} 100\%,$$

$$\delta_5'' = \frac{u_{x2}(t_5) - \Delta U_{3M}''}{U_m'' - \Delta U_{3M}''} 100\% = \frac{U_5'' - \Delta U_{3M}''}{U_m'' - \Delta U_{3M}''} 100\%.$$

- 5 Потім визначають показники інтегрального шляху кровонаповнення капілярів за рівнянням числових значень виду:

а) для одного пальця (позначено одним штрихом):

$$k_{i_{H1}}' = \sqrt{\Delta \delta_{H1}'^2 + \{\Delta t_{H1}'\}^2} [\%], \quad k_{i_{H2}}' = \sqrt{\Delta \delta_{H2}'^2 + \{\Delta t_{H2}'\}^2} [\%],$$

$$k_{i_{B1}}' = \sqrt{\Delta \delta_{B1}'^2 + \{\Delta t_{B1}'\}^2} [\%], \quad k_{i_{B2}}' = \sqrt{\Delta \delta_{B2}'^2 + \{\Delta t_{B2}'\}^2} [\%],$$

- 10 де $\{\Delta t_{H1}'\} = \{t_2'\} - \{t_1'\}$; $\{\Delta t_{H2}'\} = \{t_3'\} - \{t_2'\}$; $\{\Delta t_{B1}'\} = \{t_4'\} - \{t_3'\}$; $\{\Delta t_{B2}'\} = \{t_5'\} - \{t_4'\}$;
 $\{\Delta \delta_{H1}'\} = \{\delta_2'\} - \{\delta_1'\}$; $\{\Delta \delta_{H2}'\} = \{\delta_3'\} - \{\delta_2'\}$; $\{\Delta \delta_{B1}'\} = \{\delta_4'\} - \{\delta_3'\}$; $\{\Delta \delta_{B2}'\} = \{\delta_5'\} - \{\delta_4'\}$;

б) для другого пальця (позначено двома штрихами):

$$k_{i_{H1}}'' = \sqrt{\Delta \delta_{H1}''^2 + \{\Delta t_{H1}''\}^2} [\%], \quad k_{i_{H2}}'' = \sqrt{\Delta \delta_{H2}''^2 + \{\Delta t_{H2}''\}^2} [\%],$$

$$k_{i_{B1}}'' = \sqrt{\Delta \delta_{B1}''^2 + \{\Delta t_{B1}''\}^2} [\%], \quad k_{i_{B2}}'' = \sqrt{\Delta \delta_{B2}''^2 + \{\Delta t_{B2}''\}^2} [\%],$$

- 15 де $\{\Delta t_{H1}''\} = \{t_2''\} - \{t_1''\}$; $\{\Delta t_{H2}''\} = \{t_3''\} - \{t_2''\}$; $\{\Delta t_{B1}''\} = \{t_4''\} - \{t_3''\}$; $\{\Delta t_{B2}''\} = \{t_5''\} - \{t_4''\}$;
 $\{\Delta \delta_{H1}''\} = \{\delta_2''\} - \{\delta_1''\}$; $\{\Delta \delta_{H2}''\} = \{\delta_3''\} - \{\delta_2''\}$; $\{\Delta \delta_{B1}''\} = \{\delta_4''\} - \{\delta_3''\}$; $\{\Delta \delta_{B2}''\} = \{\delta_5''\} - \{\delta_4''\}$.

Далі визначають значення показників швидкості ($k_{v_{H1}}$, $k_{v_{H2}}$, $k_{v_{B1}}$, $k_{v_{B2}}$) швидкого (індекс "1") та повільного (індекс "2") наповнення (індекс "н") судин (капілярів) кров'ю та швидкого (індекс "1") та повільного (індекс "2") відновлення (індекс "в") кровотоку за рівняннями вимірювань:

- 20 а) для показників швидкості кровотоку у одному мікроциркуляторному руслі (пальці) (позначено одним штрихом):

$$k_{v_{H1}}' = \frac{\sqrt{\Delta \delta_{H1}'^2 + \{\Delta t_{H1}'\}^2}}{\Delta t_{H1}'} [\%/c], \quad k_{v_{H2}}' = \frac{\sqrt{\Delta \delta_{H2}'^2 + \{\Delta t_{H2}'\}^2}}{\Delta t_{H2}'} [\%/c],$$

$$k_{v_{B1}}' = \frac{\sqrt{\Delta \delta_{B1}'^2 + \{\Delta t_{B1}'\}^2}}{\Delta t_{B1}'} [\%/c], \quad k_{v_{B2}}' = \frac{\sqrt{\Delta \delta_{B2}'^2 + \{\Delta t_{B2}'\}^2}}{\Delta t_{B2}'} [\%/c];$$

- 25 б) для показників швидкості кровотоку у другому мікроциркуляторному руслі (пальці) (позначено двома штрихами):

$$k_{v_{H1}}'' = \frac{\sqrt{\Delta \delta_{H1}''^2 + \{\Delta t_{H1}''\}^2}}{\Delta t_{H1}''} [\%/c], \quad k_{v_{H2}}'' = \frac{\sqrt{\Delta \delta_{H2}''^2 + \{\Delta t_{H2}''\}^2}}{\Delta t_{H2}''} [\%/c],$$

$$k_{v_{B1}}'' = \frac{\sqrt{\Delta \delta_{B1}''^2 + \{\Delta t_{B1}''\}^2}}{\Delta t_{B1}''} [\%/c], \quad k_{v_{B2}}'' = \frac{\sqrt{\Delta \delta_{B2}''^2 + \{\Delta t_{B2}''\}^2}}{\Delta t_{B2}''} [\%/c].$$

Після цього визначають показник (k_R) опору судин тиску крові (у мм.рт.ст./с) у кожній фазі процесу мікроциркуляції для першого та другого мікроциркуляторного русел за рівняннями вимірювань:

- 30 а) для першого мікроциркуляторного русла (позначено одним штрихом):

$$k_{R_{H1}}' = \frac{\Delta P_{H1}'}{\Delta t_{H1}'} [\text{мм.рт.ст./с}], \quad k_{R_{H2}}' = \frac{\Delta P_{H2}'}{\Delta t_{H2}'} [\text{мм.рт.ст./с}], \quad k_{R_{B1}}' = \frac{\Delta P_{B1}'}{\Delta t_{B1}'} [\text{мм.рт.ст./с}],$$

$$k_{R_{B2}}' = \frac{\Delta P_{B2}'}{\Delta t_{B2}'} [\text{мм.рт.ст./с}],$$

де $\{\Delta P_{H1}'\} = \{P_2'\} - \{P_1'\}$, $\{\Delta P_{H2}'\} = \{P_3'\} - \{P_2'\}$, $\{\Delta P_{B1}'\} = \{P_3'\} - \{P_4'\}$, $\{\Delta P_{B2}'\} = \{P_4'\} - \{P_5'\}$;

б) для другого мікроциркуляторного русла (позначено двома штрихами):

$$5 \quad k_{R_{H1}}'' = \frac{\Delta P_{H1}''}{\Delta t_{H1}''} [\text{мм.рт.ст./с}], \quad k_{R_{H2}}'' = \frac{\Delta P_{H2}''}{\Delta t_{H2}''} [\text{мм.рт.ст./с}], \quad k_{R_{B1}}'' = \frac{\Delta P_{B1}''}{\Delta t_{B1}''} [\text{мм.рт.ст./с}],$$

$$k_{R_{B2}}'' = \frac{\Delta P_{B2}''}{\Delta t_{B2}''} [\text{мм.рт.ст./с}],$$

де $\{\Delta P_{H1}''\} = \{P_2''\} - \{P_1''\}$, $\{\Delta P_{H2}''\} = \{P_3''\} - \{P_2''\}$, $\{\Delta P_{B1}''\} = \{P_3''\} - \{P_4''\}$, $\{\Delta P_{B2}''\} = \{P_4''\} - \{P_5''\}$.

Далі визначають значення показника пропускної спроможності мікроциркуляторного русла для кожної з чотирьох ділянок за рівняннями вимірювань:

10 а) для першого мікроциркуляторного русла (одного пальця) (позначено одним штрихом):

$$S_{H1}' = \text{tg} \alpha_{H1}' = \Delta \delta_{H1}' / \Delta t_{H1}' [\% / \text{с}], \quad S_{H2}' = \text{tg} \alpha_{H2}' = \Delta \delta_{H2}' / \Delta t_{H2}' [\% / \text{с}],$$

$$S_{B1}' = \text{tg} \alpha_{B1}' = \Delta \delta_{B1}' / \Delta t_{B1}' [\% / \text{с}], \quad S_{B2}' = \text{tg} \alpha_{B2}' = \Delta \delta_{B2}' / \Delta t_{B2}' [\% / \text{с}];$$

б) для другого мікроциркуляторного русла (другого пальця) (позначено двома штрихами):

$$S_{H1}'' = \text{tg} \alpha_{H1}'' = \Delta \delta_{H1}'' / \Delta t_{H1}'' [\% / \text{с}], \quad S_{H2}'' = \text{tg} \alpha_{H2}'' = \Delta \delta_{H2}'' / \Delta t_{H2}'' [\% / \text{с}],$$

$$15 \quad S_{B1}'' = \text{tg} \alpha_{B1}'' = \Delta \delta_{B1}'' / \Delta t_{B1}'' [\% / \text{с}], \quad S_{B2}'' = \text{tg} \alpha_{B2}'' = \Delta \delta_{B2}'' / \Delta t_{B2}'' [\% / \text{с}].$$

За рівняннями числових значень визначають асиметрію визначених показників мікроциркуляції крові між одним і другим мікроциркуляторними руслами (пальцями), зокрема:

а) коефіцієнт асиметрії γ_δ відносних значень напруг, отриманих в характеристичні моменти часу t_1, \dots, t_5 :

$$20 \quad \gamma_{\delta 1} = \left(\frac{\delta_1''}{\delta_1'} - 1 \right) 100\%, \quad \gamma_{\delta 2} = \left(\frac{\delta_2''}{\delta_2'} - 1 \right) 100\%, \quad \gamma_{\delta 3} = \left(\frac{\delta_3''}{\delta_3'} - 1 \right) 100\%, \quad \gamma_{\delta 4} = \left(\frac{\delta_4''}{\delta_4'} - 1 \right) 100\%,$$

$$\gamma_{\delta 5} = \left(\frac{\delta_5''}{\delta_5'} - 1 \right) 100\%;$$

б) коефіцієнт асиметрії швидкостей кровотоку у порівнювальних мікроциркуляторних руслах:

$$\gamma_{v_{H1}} = \left(\frac{k_{v_{H1}}'}{k_{v_{H1}}''} - 1 \right) 100\%, \quad \gamma_{v_{H2}} = \left(\frac{k_{v_{H2}}'}{k_{v_{H2}}''} - 1 \right) 100\%, \quad \gamma_{v_{B1}} = \left(\frac{k_{v_{B1}}'}{k_{v_{B1}}''} - 1 \right) 100\%, \quad \gamma_{v_{B2}} = \left(\frac{k_{v_{B2}}'}{k_{v_{B2}}''} - 1 \right) 100\%;$$

25 в) коефіцієнт асиметрії показників пропускної спроможності мікроциркуляторних русел для кожної з чотирьох ділянок:

$$\gamma_{S1} = \left(\frac{S_1''}{S_1'} - 1 \right) 100\%, \quad \gamma_{S2} = \left(\frac{S_2''}{S_2'} - 1 \right) 100\%, \quad \gamma_{S3} = \left(\frac{S_3''}{S_3'} - 1 \right) 100\%, \quad \gamma_{S4} = \left(\frac{S_4''}{S_4'} - 1 \right) 100\%,$$

г) коефіцієнт асиметрії інтегральних шляхів кровонаповнення капілярів для кожної з фази процесу мікроциркуляції порівнювальних мікроциркуляторних руслах:

$$\gamma_{l_{H1}} = \left(\frac{k_{l_{H1}}''}{k_{l_{H1}}'} - 1 \right) 100\%, \quad \gamma_{l_{H2}} = \left(\frac{k_{l_{H2}}''}{k_{l_{H2}}'} - 1 \right) 100\%, \quad \gamma_{l_{B1}} = \left(\frac{k_{l_{B1}}''}{k_{l_{B1}}'} - 1 \right) 100\%, \quad \gamma_{l_{B2}} = \left(\frac{k_{l_{B2}}''}{k_{l_{B2}}'} - 1 \right) 100\%.$$

30 Тільки після цього отримані дані візуалізують у системах координат 100 %, t_x (чи $(1, t_x)$), $(P_T, 0)$ та $(t_{x(60)}, 0)$ з позначеннями: граничного значення тиску на шкалі тиску та значень тиску, що відповідають характеристичним моментам часу t_1, \dots, t_5 на шкалі часу системи координат 100 %, t_x (чи $(1, t_x)$); всіх імпульсів, що характеризують характер дихання і число дихальних процесів пацієнта за одну хвилину; характеристичних точок (О, А, В, С, D і Е) кривої мікроциркуляції крові та відповідні моменти часу, отримані дані структурують та порівнюють з

35 даними, що отримані у інший час, при інших умовах, для різно- чи однойменних пальців лівої

та/або правої руки людини чи з нормованою за значенням параметрів кривою (моделлю) мікроциркуляції чи мікрогемодинаміки крові (див. фіг. 7).

Представлені на фіг. 7 графічні портрети процесу мікроциркуляції крові в мікроциркуляторних руслах (пальців лівої та правої руки) відображаються на електронних чи паперових носіях інформації. На ньому додатково введена шкала часу, що прив'язана до шкали часу системи координат (100 %, t_x), яка відображає характер дихання і число дихальних процесів пацієнта за одну хвилину. Це розширює функціональні можливості способу та інформативність отриманих даних.

Сучасні вимоги щодо методів вимірювання, що реалізуються у приладах шостого та сьомого покоління, потребують необхідності проведення додаткових вимірювань інформативних сигналів, що характеризують стан самого приладу чи важливих його функціональних блоків. Тому у сучасних способах вимірювання передбачають виконання додаткових вимірювальних операцій.

Тому спосіб за п. 1, який відрізняється від відомих тим, що спочатку, до здійснення почергової дії потоків інфрачервоного та червоного оптичного випромінювання на палець руки людини, відомим чином їх перетворюють у напруги. Отримані напруги вирівнюють між собою, підсилюють (нормують) до наперед заданого значення $\{U_0\}$, вимірюють і запам'ятовують отриманий результат. Це робиться для кожного оптико-електронного каналу.

Установлені значення струмів I_1 і I_2 перетворюють у пропорційні напруги, які вимірюють. Отримані чисельні значення (коди чисел) запам'ятовують, візуалізують їх значення і порівнюють з апіорі заданими допустимими значеннями метрологічних чисел. За результатами порівняння яких судять про відповідність значень основних параметрів процесу вимірювань апіорі заданим. Тобто проведення додаткових тактів вимірювань дає можливість порівнювати стан, наприклад, лазерних джерел монохроматичного випромінювання, за значеннями напруг, які пропорційні струмам через лазерні джерела (лазерні діоди). Значення метрологічних чисел або значення напруг з заданими відхиленнями їх від оптимальних значень, як правило, отримують у час введення приладу в експлуатацію. Ці значення є зразковими. Тому значення напруг, що отримані в конкретний період експлуатації приладу, порівнюють з зразковими. При наявності різниці між напругами здійснюється зміна робочого струму через лазерний діод до значень, при яких генерується потік оптичного випромінювання заданої (нормованої за значенням) потужності. Це скорочує витрати на перевірку приладів і дає можливість своєчасного отримання інформації про стан приладу.

Як було показано вище на графіках процесу мікроциркуляції крові (див. фіг. 1, фіг. 2, фіг. 5, фіг. 6), на результат вимірювання основних показників цього процесу впливають дихальні цикли та пульсова хвиля, їх дія призводить до додаткового тиску на кров, зміни її швидкості, а значить й до зміщення характеристичних точок на кривій процесу мікроциркуляції крові. Тому є два підходи щодо урахування чи виключення їх дії: а) виділення дихальних циклів та пульсової хвилі шляхом, наприклад, аналогової чи цифрової фільтрації сигналів з наступним виключенням відповідних складових з інформативних сигналів і б) шляхом синхронізації початку та кінця дії тиску на судини з фазами дихального циклу та пульсової хвилі.

Тому спосіб за п. 1, який відрізняється тим, що після досягнення рівності потужностей відбитих потоків червоного та інфрачервоного випромінювання, виділяють дихальну та пульсову складові інформативного сигналу шляхом цифрової (чи аналогової) фільтрації. Вимірюють, при необхідності, їх частоту чи/та періоди T_d і T_p з метою отримання додаткової інформації про стан пацієнта. Одержані значення запам'ятовують і візуалізують, тобто показують на графічному дисплеї чи на паперовому носії (на фіг. 7 наведені графіки з виключеними складовими дихального циклу та пульсової хвилі). Дихальні імпульси наведені на додатковій часовій осі для оцінки характеру та кількості циклів за хвилину.

Згідно з запропонованим способом, синхронізацію початку та кінця процесів миттєвого установлення та зняття граничного значення тиску P_r здійснюють при безперервному диханні. Причому початковий та кінцевий моменти часу дії граничного тиску встановлюють у ті моменти часу, коли амплітуда пульсової хвилі досягає мінімального (чи максимального) значення. Це забезпечує виключення паразитних імпульсів (див. фіг. 1 та фіг. 2), які викривляють графік.

Далі уточнюють фактичний час дії $\Delta t'_T$ граничного значення тиску P_r ($\{\Delta t'_T\} = \{\Delta t_T\} \pm \{T_p\}$), результат запам'ятовують, отримане значення візуалізують. Слід зазначити, що процес синхронізації призводить до відхилення заданого часу дії тиску на вельми мале значення, що обумовлено часом очікування співпадіння імпульсів дихання з імпульсами пульсової хвилі.

Запропонований спосіб від відомих відрізняється ще тим, що індивідуальні до конкретної людини порогові значення тиску P_n ($\{P_n\} \neq \{P_r\}$) визначають до початку досліджень

мікроциркуляторних русел шляхом формування лінійно зростаючого тиску і дії його на пальці лівої та/чи правої руки протягом часу Δt_b . За цей час амплітуда U_{mn} пульсової хвилі зменшиться до наперед заданого значення, наприклад до $(0,01-0,1)U_{mn}$. Отримане порогове значення тиску P_n запам'ятовують, візуалізують і використовують при оцінці якості мікроциркуляції крові у кінцівках при режимі щадної (помірної чи адекватної) дії. При проведенні досліджень стану мікроциркуляції крові у кінцівках людини бажано, як ми вважаємо, здійснювати при дискретних значеннях тиску, але не більше порогового на 5-10 мм.рт.ст. У супротивному випадку значний за значенням тиск призведе до невідновлених порушень структури мікроциркуляторного русла, його судин.

Відомо, що лікарі (кардіологи, терапевти та інші) при обстеженнях часто-густо просять затримати дихання, зробити повних вдих чи видих. Тому у даному способі запропоновано дослідження мікроциркуляторного русла проводити як при безперервному диханні, так й при затримці дихання, але для окремих груп пацієнтів (спортсменів, військових тощо).

У зв'язку з цим запропонований спосіб від відомих відрізняється тим, що визначення параметрів мікроциркуляції крові у окремих груп пацієнтів здійснюють і при затримки дихання на 60-100 секунд на фазі видиху чи вдиху.

Отримані результати дослідження представляють у формі документу, як показано на фіг. 8 і фіг. 9.

Тому спосіб за п. 1, відрізняється від відомих ще тим, що отримані результати дослідження мікроциркуляторних русел кінцівок людини структурують за значенням та формою і відображають на екрані дисплею чи на паперовому носії у вигляді "Діагностичної карти", на якій зображені два графічні портрети процесу мікроциркуляції крові в мікроциркуляторних руслах пальців лівої та/чи правої руки пацієнта в реальному часі та динаміка дихальних циклів на окремій осі поточного часу, що прив'язана по осі часу процесу мікроциркуляції, "Висновки" лікаря та результати розрахунків параметрів та показників процесу мікроциркуляції крові для першого та другого мікроциркуляторних русел кінцівок пацієнта (див. фіг. 8 і фіг. 9).

Слід підкреслити, що розрізняють першу (швидку) та другу (повільну) фази наповнення судин кров'ю і першу (швидку) та другу (повільну) фази відновлення кровотоку у судинах мікроциркуляторних русел.

На фіг. 10 і фіг. 11, як приклад, наведені приклади практичних розрахунків параметрів та показників мікроциркуляції крові за результатами отриманих сигналів (див. графічні портрети процесів мікроциркуляції крові).

На фіг. 9 введена наступна аббревіатура (позначення):

МЦК - мікроциркуляція крові;

МЦР - мікроциркуляторне русло;

ВЗН - точне відносне значення напруг;

ВЗН - точне відносне значення напруг для графіка;

ЗІЧ - інформативні значення інтервалів часу кровотоку;

ПІШ - показник інтегрального шляху кровонаповнення;

ПШв - показник швидкості;

ПОС - показник опору судин;

ППС - показник пропускної спроможності;

КАСН - коефіцієнти асиметрії напруг;

КАСЧ - коефіцієнти асиметрії інтервалів часу;

КАСШ - коефіцієнти асиметрії шляху кровонаповнення;

КАСО - коефіцієнти асиметрії опору судин тиску крові;

КАСП - коефіцієнти асиметрії пропускної спроможності;

КАШ - коефіцієнти асиметрії швидкості кровонаповнення.

Таким чином, запропонований спосіб неінвазивного визначення параметрів процесу мікроциркуляції крові в пальцях кінцівок людини забезпечує досягнення поставленої технічної задачі і забезпечує високоточне визначення параметрів та показників процесу мікроциркуляції крові у пацієнтів, розширення функціональних можливостей, отримання більшого об'єму інформації про стан периферійних судин, його структурування та графічне представлення даних у новітній, більш інформативній формі у вигляді відповідного документу.

Розглянемо сутність способу на прикладі роботи цифрового вимірювача параметрів процесів мікроциркуляції крові в пальцях кінцівок людини, узагальнена схема якого представлена на фіг. 12.

Цифровий вимірювач має два ідентичні оптико-електронні канали, - для пальців лівої чи правої руки (або для двох пальців однієї руки) (фіг. 12).

Формування потоків оптичного випромінювання здійснюється за допомогою генераторів оптичного випромінювання ГОВ1 і ГОВ2, ГОВ3 і ГОВ4, що працюють на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 відповідно. Перший (третій) з них живиться струмом, що генерується кодованим джерелом струму КДС1 (КДС 3), а другий — КДС2 (КДС4). Причому почасове керування джерелами струму здійснюється за допомогою тригера Тг почергово, з частотою комутації Ω_k . Рахунковий вхід тригера Тг підключається до цифрового виходу сигнального процесора СП.

Відбиті та послаблені за рахунок поглинання та розсіювання потужності потоки оптичного випромінювання у кожному оптико-електронному каналі почергово поступають на фотоприймач ФП1 (ФП2), перетворюються у напругу, підсилюються до заданого рівня і синхронно детектуються за допомогою синхронного детектора СД1 (СД2). Встановлення заданого значення тиску в манжеті М1 (М2) здійснюється за допомогою мікрокомпресора МКр, який управляється від сигнального процесора СП. Контроль тиском здійснюється за допомогою датчика тиску ДТ і керованого клапану КК. Стравлення тиску в атмосферу здійснюється за допомогою клапана КК за командою з сигнального процесора СП. Вихідний сигнал датчика тиску ДТ поступає на сигнальний вхід СП, перетворюється у коди чисел і використовується для управління роботою мікрокомпресора МКр, який повинен забезпечити наперед задане значення тиску у манжетах і витримувати його протягом заданого інтервалу часу, наприклад, 10 с - 60 с. Цей інтервал часу задається в залежності від стану пацієнта та його віку.

Інформативний сигнал з виходів синхронного детектора СД1 (СД2) поступає на аналоговий вхід сигнального процесора СП, який одночасно є входом аналогового перемикача. С його виходу сигнали поступають на вбудований в СП аналого-цифровий перетворювач, за допомогою якого аналогові сигнали перетворюються у цифрові. Кожне миттєве значення сигналу кодується за амплітудою та у часі. Це необхідно для подальшої їх обробки за наведеними рівняннями вимірювань та формулами. Обробка миттєвих значень здійснюється за програмою, апріорі записаною в пам'ять сигнального процесора СП. За програмою виділяються й сигнали частоти дихання та частоти пульсу, обчислюються їх значення, визначаються інші параметри та показники процесу мікроциркуляції крові в пальцях рук. Отримані результати обробки використовуються для візуалізації кривої процесу мікроциркуляції, значень її параметрів та показників. Ввід початкових даних в СП здійснюється за допомогою набірної поля чи клавіатури КП. Цифровий вимірювач містить ще відліковий пристрій ВП, за допомогою якого здійснюється візуалізація і документування отриманих даних.

Результат визначення параметрів та показників процесу мікроциркуляції крові представляється також у роздрукованому виді. Форма документа наведена на фіг. 8 і фіг. 9.

Таким чином, запропонований спосіб неінвазивного визначення параметрів процесів мікроциркуляції крові в пальцях кінцівок людини забезпечує вирішення поставленої технічної задачі і забезпечує підвищення точності вимірювань, розширення функціональних можливостей, відображення інформації у вигляді "Діагностичної карти", забезпечення метрологічного контролю за станом оптичної системи та оптико-електронного каналу приладу, що реалізує запропонований спосіб.

Для підвищення інформативності і точності запропонований спосіб забезпечує вимірювання додаткових інформативних параметрів процесу мікроциркуляції крові (час кровонаповнення "пустих" чи не повністю наповнених кров'ю периферичних судів, середню швидкість та час кровонаповнення у різних фазах процесу, максимальне значення сигналу кровонаповнення, потужність потоків оптичного випромінювання на робочих довжинах хвиль, дрейф нуля оптико-електронного, каналу, вимірювання частоти дихання та пульсу, синхронізація процесів встановлення тиску з фазами частоти дихання та пульсової хвилі з метою виключення їх дії на результати вимірювань тощо.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб неінвазивного визначення параметрів процесів мікроциркуляції крові в пальцях кінцівок людини, оснований на формуванні потоків червоного та інфрачервоного випромінювання з довжинами хвиль λ_1 і λ_2 почергової дії на ті чи інші пальці правої та/чи лівої руки людини сформованими потоками червоного та інфрачервоного випромінювання протягом заданого інтервалу часу, за яким має місце поглинання потоків оптичного випромінювання неокисленим гемоглобіном крові та меланіном, почерговому, з частотою Ω_k , перетворенні у напруги потужності відбитих і послаблених потоків інфрачервоного та червоного випромінювання, почерговому підсиленні та синхронному детектуванні отриманих сигналів,

виділенні різницевого сигналу частоти комутації Ω_k , його усередненні та використанні для управління силою струму I_1 або/та I_2 , від яких залежить потужність зазначених потоків оптичного випромінювання, зміні сили струму до моменту рівності потужностей, відбитих від кістки пальця, та послаблених потоків червоного та інфрачервоного випромінювань на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 , тобто до забезпечення рівності $k_{\lambda 1}\{\Phi_{01}\}=k_{\lambda 2}\{\Phi_{02}\}$, де $k_{\lambda 1}$ і $k_{\lambda 2}$ - коефіцієнти перепускання відбитих потоків оптичного випромінювання, $\Phi_{01}=S_{\Phi \lambda 1}I_1$, $\Phi_{02}=S_{\Phi \lambda 2}I_2$, $S_{\Phi \lambda 1}$ і $S_{\Phi \lambda 2}$ - крутість перетворення струмів у потужність потоків оптичного випромінювання на довжинах хвиль λ_1 і λ_2 , фіксації встановлених значень потужностей потоків червоного та інфрачервоного випромінювань протягом заданого інтервалу часу Δt_{Σ} , практично миттєвій дії на пальці граничним тиском P_r для перекриття шляху крові через судини пальців, вимірюванні протягом часу Δt_{Σ} миттєвих значень вихідного різницевого сигналу, отриманого, відповідно, з першого та другого пальців (їх мікроциркуляторних русел), витримки дії тиску P_r протягом апіорі визначеного часу Δt_T , раптовому знятті дії тиску, витриманні цього стану протягом часу Δt_B відновлення капілярного і венозного кровотоків до стаціонарного рівня, перетворенні протягом часу $\Delta t_{\Sigma} = \Delta t_T + \Delta t_B$ потужностей потоків червоного випромінювання у інформативні сигнали $u_{x1}(t)$ і $u_{x2}(t)$, які відображають процес мікроциркуляції крові у двох мікроциркуляторних руслах, перетворенні миттєвих значень сигналів $u_{x1}(t)$ і $u_{x2}(t)$ у коди чисел та їх запам'ятовуванні, математичної обробки, у тому числі фільтрації, та візуалізації отриманих сигналів, який **відрізняється** тим, що потоки червоного та інфрачервоного випромінювання з довжинами хвиль λ_1 і λ_2 формують з однаковими смугами перепускання $\Delta \lambda_0$ ($\{\Delta \lambda_0\} = \{\Delta \lambda_1\} = \{\Delta \lambda_2\}$), довжину хвилі λ_1 вибирають такою, при якій коефіцієнти поглинання гемоглобіну та оксигемоглобіну крові були б практично рівними між собою (з заданою похибкою), тобто $k_{r\lambda 1} = k_{o\lambda 1} = k_{\lambda 1}$, довжину хвилі λ_2 вибирають такою, при якій коефіцієнти поглинання меланіну для європейця та афроамериканця були б практично рівними між собою (з заданою похибкою), тобто $k_{e\lambda 2} = k_{a\lambda 2} = k_{\lambda 2}$, після дії на пальці потоків інфрачервоного та червоного випромінювання з частотою Ω_k , по чергово перетворюють у сигнали $u_{x1}(t)$ і $u_{x2}(t)$ потужності відбитих і послаблених гемоглобіном і оксигемоглобіном крові та меланіном потоків інфрачервоного та червоного випромінювань за проміжок часу Δt_r , що кратний періоду T_d дихального процесу, одночасно визначають та запам'ятовують просторово-часові параметри характеристичних точок А, В, С, D, Е на графіку процесу мікроциркуляції крові, що відповідають зміні швидкості наповнення судин кров'ю та відновлення кровотоку, після миттєвого установлення значення граничного тиску P_r (P'_r та P''_r) для кожного пальця, додатково визначають та запам'ятовують значення часу $\Delta t_k = t_{1|при \{u_x(t_1)\}=\{\Delta U\}} - t_{0|при \{u_x(t_0)\}=0}$ адаптації і кровонаповнення "пустих" або не повністю наповнених кров'ю периферичних судин (капілярів та артерій) при раптовому підвищенні тиску в манжеті, визначають та запам'ятовують миттєве значення сигналів $u_{x1}(t)$ і $u_{x2}(t)$ у момент часу t_1 початку дії тиску, тобто $U'_1 = u_{x1}(t_1)$ та $U''_1 = u_{x2}(t_1)$, при заданому значенні граничного тиску, що діє протягом нормованого за значенням часу $\Delta t_p = t_3 - t_0$, додатково визначають та запам'ятовують значення інтервалів часу швидкого Δt_{n1} ($\Delta t'_{n1} = t'_2 - t'_1$ і $\Delta t''_{n1} = t''_2 - t''_1$) та повільного Δt_{n2} ($\Delta t'_{n2} = t'_3 - t'_2$ і $\Delta t''_{n2} = t''_3 - t''_2$, де t'_3 і t''_3 - моменти часу досягнення інформативними сигналами $u_{x1}(t)$ і $u_{x2}(t)$ максимального значення U_m) наповнення судин, капілярів кров'ю, одночасно визначають та запам'ятовують миттєве значення сигналів у моменти часу t_2 і t_3 , тобто $U'_2 = u_{x1}(t_2)$ і $U''_2 = u_{x2}(t_2)$ та $U'_m = U'_3 = u_{x1}(t_3)$ і $U''_m = U''_3 = u_{x2}(t_3)$ виключають дію граничного тиску P_r (P'_r та P''_r) на кожний палець у момент часу t_3 (t'_3 і t''_3), визначають та запам'ятовують значення інтервалу часу швидкого Δt_{b1} ($\Delta t'_{b1} = t'_4 - t'_3$ і $\Delta t''_{b1} = t''_4 - t''_3$, де t'_4 і t''_4 - моменти часу зміни швидкості відновлення кровонаповнення) та повільного Δt_{b2} ($\Delta t'_{b2} = t'_5 - t'_4$ і $\Delta t''_{b2} = t''_5 - t''_4$) відновлення кровонаповнення судин - артерій та вен, кров'ю, визначають та запам'ятовують миттєве значення сигналів у

момент часу t_4 (t_4' і t_4'') зміни швидкості відновлення кровонаповнення, тобто $U_4' = u_{x1}(t_4)$ і $U_4'' = u_{x2}(t_4)$, визначають і запам'ятовують миттєві значення сигналів $u_{x1}(t)$ і $u_{x2}(t)$ у момент часу t_5 припинення дослідження процесу мікроциркуляції, тобто $U_5' = u_{x1}(t_5)$ і $U_5'' = u_{x2}(t_5)$, після закінчення загального часу $\Delta t_{\Sigma} = \Delta t_{\tau} + \Delta t_{\nu}$ дослідження процесу мікроциркуляції крові або часу Δt_{ν} ($\{\Delta t_{\nu}\} = \{\Delta t_{\nu 1}\} + \{\Delta t_{\nu 2}\}$) відновлення капілярного і венозного кровотоку, визначають напругу зміщення ΔU_{3M} ($\Delta U_{3M}'$ та $\Delta U_{3M}''$) при нульових значеннях потужностей потоків інфрачервоного та червоного випромінювань, отримані значення напруг зміщення запам'ятовують, здійснюють кусково-лінійну апроксимацію отриманих графіків процесу мікроциркуляції крові для кожного пальця з використання координат характеристичних точок А і В, В і С, С і D, D і Е, визначають нормований за значенням амплітуди і приведений до одиничного значення або у відсотках інформативний сигнал, що відображає процес мікроциркуляції крові у пальці людини, за рівнянням вимірювань

$$N_x'(t_i)[\text{в.о.}] = \frac{u_{x1}(t_i) - \Delta U_{3M}'}{U_m' - \Delta U_{3M}'} \text{ або } N_x'(t_i)[\%] = \frac{u_{x1}(t_i) - \Delta U_{3M}'}{U_m' - \Delta U_{3M}'} 100 \%,$$

- для пальця правої руки чи одного пальця і

$$15 \quad N_x''(t_i)[\text{в.о.}] = \frac{u_{x2}(t_i) - \Delta U_{3M}''}{U_m'' - \Delta U_{3M}''} \text{ або } N_x''(t_i)[\%] = \frac{u_{x2}(t_i) - \Delta U_{3M}''}{U_m'' - \Delta U_{3M}''} 100 \%,$$

для пальця лівої руки чи для другого пальця,

де t_i - дискретні моменти часу перетворення у коди чисел миттєвих значень інформативного сигналу; [в.о.] - відносні одиниці,

визначають відносні значення напруг (у відсотках), отриманих в характеристичні моменти часу t_1, \dots, t_5 інформативних сигналів $u_{x1}(t)$ і $u_{x2}(t)$ за рівняннями вимірювань:

а) для одного мікроциркуляторного русла (пальця) (позначено одним штрихом):

$$\delta_1' = \frac{u_{x1}(t_1) - \Delta U_{3M}'}{U_m' - \Delta U_{3M}'} 100 \% = \frac{U_1' - \Delta U_{3M}'}{U_m' - \Delta U_{3M}'} 100 \%,$$

$$\delta_2' = \frac{u_{x1}(t_2) - \Delta U_{3M}'}{U_m' - \Delta U_{3M}'} 100 \% = \frac{U_2' - \Delta U_{3M}'}{U_m' - \Delta U_{3M}'} 100 \%,$$

$$\delta_3' = \delta_m' \frac{u_{x1}(t_3) - \Delta U_{3M}'}{U_m' - \Delta U_{3M}'} 100 \% = \frac{U_3' - \Delta U_{3M}'}{U_m' - \Delta U_{3M}'} 100 \%,$$

$$25 \quad \delta_4' = \frac{u_{x1}(t_4) - \Delta U_{3M}'}{U_m' - \Delta U_{3M}'} 100 \% = \frac{U_4' - \Delta U_{3M}'}{U_m' - \Delta U_{3M}'} 100 \%,$$

$$\delta_5' = \frac{u_{x1}(t_5) - \Delta U_{3M}'}{U_m' - \Delta U_{3M}'} 100 \% = \frac{U_5' - \Delta U_{3M}'}{U_m' - \Delta U_{3M}'} 100 \%,$$

б) для другого мікроциркуляторного русла (пальця) (позначено двома штрихами):

$$\delta_1'' = \frac{u_{x2}(t_1) - \Delta U_{3M}''}{U_m'' - \Delta U_{3M}''} 100 \% = \frac{U_1'' - \Delta U_{3M}''}{U_m'' - \Delta U_{3M}''} 100 \%,$$

$$\delta_2'' = \frac{u_{x2}(t_2) - \Delta U_{3M}''}{U_m'' - \Delta U_{3M}''} 100 \% = \frac{U_2'' - \Delta U_{3M}''}{U_m'' - \Delta U_{3M}''} 100 \%,$$

$$30 \quad \delta_1'' = \delta_m'' = \frac{u_{x2}(t_3) - \Delta U_{3M}''}{U_m'' - \Delta U_{3M}''} 100 \% = \frac{U_3'' - \Delta U_{3M}''}{U_m'' - \Delta U_{3M}''} 100 \%,$$

$$\delta_4'' = \frac{u_{x2}(t_4) - \Delta U_{3M}''}{U_m'' - \Delta U_{3M}''} 100 \% = \frac{U_4'' - \Delta U_{3M}''}{U_m'' - \Delta U_{3M}''} 100 \%,$$

$$\delta_5'' = \frac{u_{x2}(t_5) - \Delta U_{3M}''}{U_m'' - \Delta U_{3M}''} 100 \% = \frac{U_5'' - \Delta U_{3M}''}{U_m'' - \Delta U_{3M}''} 100 \%,$$

визначають показники інтегрального шляху кровонаповнення капілярів (в умовних відсотках) за рівнянням числових значень виду:

а) для одного пальця (позначено одним штрихом):

$$k_{i'_{H1}} = \sqrt{\Delta\delta_{H1}'^2 + \{\Delta t_{H1}'\}^2} [\%], \quad k_{i'_{H2}} = \sqrt{\Delta\delta_{H2}'^2 + \{\Delta t_{H2}'\}^2} [\%],$$

$$k_{i'_{B1}} = \sqrt{\Delta\delta_{B1}'^2 + \{\Delta t_{B1}'\}^2} [\%], \quad k_{i'_{B2}} = \sqrt{\Delta\delta_{B2}'^2 + \{\Delta t_{B2}'\}^2} [\%],$$

$$\text{де } \{\Delta t_{H1}'\} = \{t_2'\} - \{t_1'\}; \{\Delta t_{H2}'\} = \{t_3'\} - \{t_2'\}; \{\Delta t_{B1}'\} = \{t_4'\} - \{t_3'\}; \{\Delta t_{B2}'\} = \{t_5'\} - \{t_4'\}; \\ \{\Delta\delta_{H1}'\} = \{\delta_2'\} - \{\delta_1'\}; \{\Delta\delta_{H2}'\} = \{\delta_3'\} - \{\delta_2'\}; \{\Delta\delta_{B1}'\} = \{\delta_3'\} - \{\delta_4'\}; \{\Delta\delta_{B2}'\} = \{\delta_4'\} - \{\delta_5'\};$$

5 б) для другого пальця (позначено двома штрихами):

$$k_{i''_{H1}} = \sqrt{\Delta\delta_{H1}''^2 + \{\Delta t_{H1}''\}^2} [\%], \quad k_{i''_{H2}} = \sqrt{\Delta\delta_{H2}''^2 + \{\Delta t_{H2}''\}^2} [\%],$$

$$k_{i''_{B1}} = \sqrt{\Delta\delta_{B1}''^2 + \{\Delta t_{B1}''\}^2} [\%], \quad k_{i''_{B2}} = \sqrt{\Delta\delta_{B2}''^2 + \{\Delta t_{B2}''\}^2} [\%],$$

$$\text{де } \{\Delta t_{H1}''\} = \{t_2''\} - \{t_1''\}; \{\Delta t_{H2}''\} = \{t_3''\} - \{t_2''\}; \{\Delta t_{B1}''\} = \{t_4''\} - \{t_3''\}; \{\Delta t_{B2}''\} = \{t_5''\} - \{t_4''\}; \\ \{\Delta\delta_{H1}''\} = \{\delta_2''\} - \{\delta_1''\}; \{\Delta\delta_{H2}''\} = \{\delta_3''\} - \{\delta_2''\}; \{\Delta\delta_{B1}''\} = \{\delta_3''\} - \{\delta_4''\}; \{\Delta\delta_{B2}''\} = \{\delta_4''\} - \{\delta_5''\};$$

10 визначають значення показників швидкості ($k_{v_{H1}}, k_{v_{H2}}, k_{v_{B1}}, k_{v_{B2}}$) швидкого (індекс "1") та повільного (індекс "2") наповнення (індекс "н") судин (капілярів) кров'ю (у %/с) та швидкого (індекс "1") та повільного (індекс "2") відновлення (індекс "в") кровотоку за рівняннями вимірювань:

а) для показників швидкості кровотоку у одному мікроциркуляторному руслі (пальці) (позначено одним штрихом):

$$k_{v'_{H1}} = \frac{\sqrt{\Delta\delta_{H1}'^2 + \{\Delta t_{H1}'\}^2}}{\Delta t_{H1}'} [\% / \text{с}], \quad k_{v'_{H2}} = \frac{\sqrt{\Delta\delta_{H2}'^2 + \{\Delta t_{H2}'\}^2}}{\Delta t_{H2}'} [\% / \text{с}],$$

$$k_{v'_{B1}} = \frac{\sqrt{\Delta\delta_{B1}'^2 + \{\Delta t_{B1}'\}^2}}{\Delta t_{B1}'} [\% / \text{с}], \quad k_{v'_{B2}} = \frac{\sqrt{\Delta\delta_{B2}'^2 + \{\Delta t_{B2}'\}^2}}{\Delta t_{B2}'} [\% / \text{с}];$$

б) для показників швидкості кровотоку у другому мікроциркуляторному руслі (пальці) (позначено двома штрихами):

$$20 \quad k_{v''_{H1}} = \frac{\sqrt{\Delta\delta_{H1}''^2 + \{\Delta t_{H1}''\}^2}}{\Delta t_{H1}''} [\% / \text{с}], \quad k_{v''_{H2}} = \frac{\sqrt{\Delta\delta_{H2}''^2 + \{\Delta t_{H2}''\}^2}}{\Delta t_{H2}''} [\% / \text{с}],$$

$$k_{v''_{B1}} = \frac{\sqrt{\Delta\delta_{B1}''^2 + \{\Delta t_{B1}''\}^2}}{\Delta t_{B1}''} [\% / \text{с}], \quad k_{v''_{B2}} = \frac{\sqrt{\Delta\delta_{B2}''^2 + \{\Delta t_{B2}''\}^2}}{\Delta t_{B2}''} [\% / \text{с}];$$

визначають показник (k_R) опору судин тиску крові (у мм. рт. ст./с) у кожній фазі процесу мікроциркуляції для першого та другого мікроциркуляторного русел за рівняннями вимірювань:

а) для першого мікроциркуляторного русла (позначено одним штрихом):

$$25 \quad k_{R'_{H1}} = \frac{\Delta P'_{H1}}{\Delta t_{H1}'} [\text{мм рт. ст.} / \text{с}], \quad k_{R'_{H2}} = \frac{\Delta P'_{H2}}{\Delta t_{H2}'} [\text{мм рт. ст.} / \text{с}], \quad k_{R'_{B1}} = \frac{\Delta P'_{B1}}{\Delta t_{B1}'} [\text{мм рт. ст.} / \text{с}],$$

$$k_{R'_{B2}} = \frac{\Delta P'_{B2}}{\Delta t_{B2}'} [\text{мм рт. ст.} / \text{с}],$$

$$\text{де } \{\Delta P'_{H1}\} = \{P_2'\} - \{P_1'\}, \{\Delta P'_{H2}\} = \{P_3'\} - \{P_2'\}, \{\Delta P'_{B1}\} = \{P_3'\} - \{P_4'\}, \{\Delta P'_{B2}\} = \{P_4'\} - \{P_5'\};$$

б) для другого мікроциркуляторного русла (позначено двома штрихами):

$$k_{R''_{H1}} = \frac{\Delta P''_{H1}}{\Delta t_{H1}''} [\text{мм рт. ст.} / \text{с}], \quad k_{R''_{H2}} = \frac{\Delta P''_{H2}}{\Delta t_{H2}''} [\text{мм рт. ст.} / \text{с}], \quad k_{R''_{B1}} = \frac{\Delta P''_{B1}}{\Delta t_{B1}''} [\text{мм рт. ст.} / \text{с}],$$

$$30 \quad k_{R''_{B2}} = \frac{\Delta P''_{B2}}{\Delta t_{B2}''} [\text{мм рт. ст.} / \text{с}],$$

$$\text{де } \{\Delta P''_{H1}\} = \{P_2''\} - \{P_1''\}, \{\Delta P''_{H2}\} = \{P_3''\} - \{P_2''\}, \{\Delta P''_{B1}\} = \{P_3''\} - \{P_4''\}, \{\Delta P''_{B2}\} = \{P_4''\} - \{P_5''\},$$

визначають значення показника пропускної спроможності (у %/с) мікроциркуляторного русла для кожної з чотирьох ділянок за рівняннями вимірювань:

а) для першого мікроциркуляторного русла (одного пальця) (позначено одним штрихом):

$$S'_{H1} = \operatorname{tg} \alpha'_{H1} = \Delta \delta'_{H1} / \Delta t'_{H1} [\%/c], \quad S'_{H2} = \operatorname{tg} \alpha'_{H2} = \Delta \delta'_{H2} / \Delta t'_{H2} [\%/c],$$

$$S'_{B1} = \operatorname{tg} \alpha'_{B1} = \Delta \delta'_{B1} / \Delta t'_{B1} [\%/c], \quad S'_{B2} = \operatorname{tg} \alpha'_{B2} = \Delta \delta'_{B2} / \Delta t'_{B2} [\%/c];$$

б) для другого мікроциркуляторного русла (другого пальця) (позначено двома штрихами):

$$S''_{H1} = \operatorname{tg} \alpha''_{H1} = \Delta \delta''_{H1} / \Delta t''_{H1} [\%/c], \quad S''_{H2} = \operatorname{tg} \alpha''_{H2} = \Delta \delta''_{H2} / \Delta t''_{H2} [\%/c],$$

$$5 \quad S''_{B1} = \operatorname{tg} \alpha''_{B1} = \Delta \delta''_{B1} / \Delta t''_{B1} [\%/c], \quad S''_{B2} = \operatorname{tg} \alpha''_{B2} = \Delta \delta''_{B2} / \Delta t''_{B2} [\%/c],$$

визначають асиметрію визначених показників мікроциркуляції крові між першим і другим мікроциркуляторними руслами (пальцями) (γ %), за рівняннями числових значень, зокрема:

а) коефіцієнт асиметрії γ_{δ} відносних значень напруг, отриманих в характеристичні моменти часу t_1, \dots, t_5 :

$$10 \quad \gamma_{\delta 1} = \left(\frac{\delta_1''}{\delta_1'} - 1 \right) 100 \%, \quad \gamma_{\delta 2} = \left(\frac{\delta_2''}{\delta_2'} - 1 \right) 100 \%, \quad \gamma_{\delta 3} = \left(\frac{\delta_3''}{\delta_3'} - 1 \right) 100 \%, \quad \gamma_{\delta 4} = \left(\frac{\delta_4''}{\delta_4'} - 1 \right) 100 \%,$$

$$\gamma_{\delta 5} = \left(\frac{\delta_5''}{\delta_5'} - 1 \right) 100 \%;$$

б) коефіцієнт асиметрії швидкостей кровотоку у порівнювальних мікроциркуляторних руслах:

$$\gamma_{V_{H1}} = \left(\frac{k_{V_{H1}}'}{k_{V_{H1}}''} - 1 \right) 100 \%, \quad \gamma_{V_{H2}} = \left(\frac{k_{V_{H2}}'}{k_{V_{H2}}''} - 1 \right) 100 \%, \quad \gamma_{V_{B1}} = \left(\frac{k_{V_{B1}}'}{k_{V_{B1}}''} - 1 \right) 100 \%, \quad \gamma_{V_{B2}} = \left(\frac{k_{V_{B2}}'}{k_{V_{B2}}''} - 1 \right) 100 \%;$$

в) коефіцієнт асиметрії показників пропускної спроможності мікроциркуляторних русел для кожної з чотирьох ділянок:

$$15 \quad \gamma_{S1} = \left(\frac{S_1''}{S_1'} - 1 \right) 100 \%, \quad \gamma_{S2} = \left(\frac{S_2''}{S_2'} - 1 \right) 100 \%, \quad \gamma_{S3} = \left(\frac{S_3''}{S_3'} - 1 \right) 100 \%, \quad \gamma_{S4} = \left(\frac{S_4''}{S_4'} - 1 \right) 100 \%,$$

г) коефіцієнт асиметрії інтегральних шляхів кровонаповнення капілярів для кожної з фази процесу мікроциркуляції у порівнювальних мікроциркуляторних руслах:

$$\gamma_{I_{H1}} = \left(\frac{k_{I_{H1}}''}{k_{I_{H1}}'} - 1 \right) 100 \%, \quad \gamma_{I_{H2}} = \left(\frac{k_{I_{H2}}''}{k_{I_{H2}}'} - 1 \right) 100 \%, \quad \gamma_{I_{B1}} = \left(\frac{k_{I_{B1}}''}{k_{I_{B1}}'} - 1 \right) 100 \%, \quad \gamma_{I_{B2}} = \left(\frac{k_{I_{B2}}''}{k_{I_{B2}}'} - 1 \right) 100 \%$$

20 і тільки після цього отримані дані візуалізують у системах координат 100 %, t_x (чи $(1, t_x)$), $(P_T, 0)$ та $(t_{x(60)}, 0)$ з позначеннями: граничного значення тиску на шкалі тиску та значень тиску, що відповідають характеристичним моментам часу t_1, \dots, t_5 на шкалі часу системи координат 100 %, t_x (чи $(1, t_x)$); всі імпульси, що характеризують характер дихання і число дихальних процесів пацієнта за одну хвилину, характеристичних точок - О, А, В, С, D і Е кривої мікроциркуляції крові та відповідні моменти часу, отримані дані структурують та порівнюють з даними, що отримані у інший час, при інших умовах, для різно- чи однойменних пальців лівої та/або правої руки людини чи з нормованою за значенням параметрів кривою (моделлю) мікроциркуляції чи мікрогемодинаміки крові.

25 2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що спочатку, до здійснення почергової дії потоків інфрачервоного та червоного оптичного випромінювання на палець руки людини, їх відомим чином перетворюють у напруги, які вирівнюють між собою і підсилюють (нормують) до наперед заданого значення $\{U_0\}$, вимірюють і запам'ятовують отриманий результат, установлені значення струмів I_1 і I_2 перетворюють у пропорційні напруги, вимірюють їх, отримані значення перетворюють у коди чисел, запам'ятовують, візуалізують їх значення і порівнюють з апіорі заданими допустимими значеннями метрологічних чисел, за якими судять про відповідність значень основних параметрів процесу вимірювань апіорі заданим.

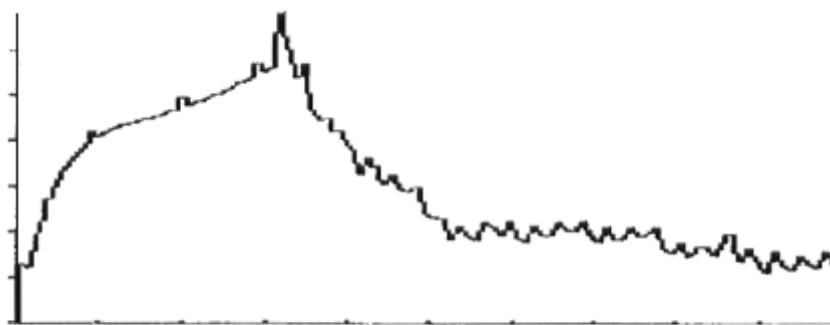
30 3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що після досягнення рівності потужностей відбитих потоків червоного та інфрачервоного випромінювання, виділяють дихальну та пульсову складові інформативного сигналу шляхом цифрової чи аналогової фільтрації, вимірюють, при необхідності, їх частоту або/та періоди T_d і T_n , отримані значення запам'ятовують і візуалізують, здійснюють синхронізацію початку та кінця процесів миттєвого установлення та зняття граничного значення тиску P_r при безперервному диханні, причому початковий та кінцевий моменти часу дії граничного тиску встановлюють у ті моменти часу, коли амплітуда пульсової хвилі досягає мінімального чи максимального значення, уточнюють фактичний час дії

$\Delta t'_r$ граничного значення тиску P_r ($\{\Delta t'_r\} = \{\Delta t_r\} \pm \{T_n\}$), результат запам'ятовують, отримане значення візуалізують.

4. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що індивідуальні для конкретної людини порогові значення тиску P_n ($\{P_n\} \neq \{P_r\}$) визначають шляхом формування лінійно зростаючого тиску і дії його на пальці лівої та/або правої руки протягом часу Δt_b , за яким амплітуда U_{mn} пульсової хвилі зменшиться до наперед заданого значення, наприклад до $(0,01-0,1)U_{mn}$, отримане порогове значення тиску P_n запам'ятовують, візуалізують і використовують при оцінці якості мікроциркуляції крові у кінцівках при режимі щадної, помірної чи адекватної дії.

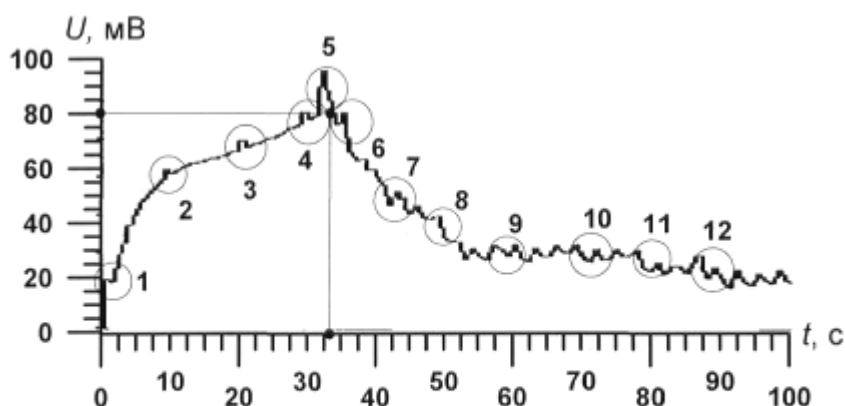
5. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що визначення параметрів мікроциркуляції крові у окремих груп пацієнтів здійснюють і при затримці дихання на 60-100 секунд на фазі видиху чи вдиху.

6. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що отримані результати дослідження мікроциркуляторних русел кінцівок людини структурують за значенням та формою і відображають на екрані дисплея чи на паперовому носії у вигляді "Діагностичної карти", на якій зображені два графічні портрети процесу мікроциркуляції крові в мікроциркуляторних руслах пальців лівої та/або правої руки пацієнта в реальному часі та динаміка дихальних циклів на окремій осі поточного часу, "Висновки" лікаря та результати розрахунків параметрів та показників процесу мікроциркуляції крові для першого та другого мікроциркуляторних русел кінцівок пацієнта.



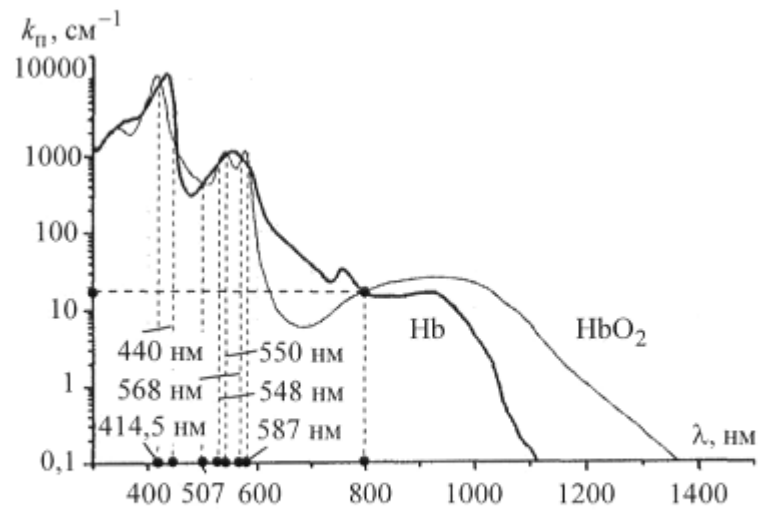
Фиг. 1

Графіки процесу мікроциркуляції крові в пальці руки



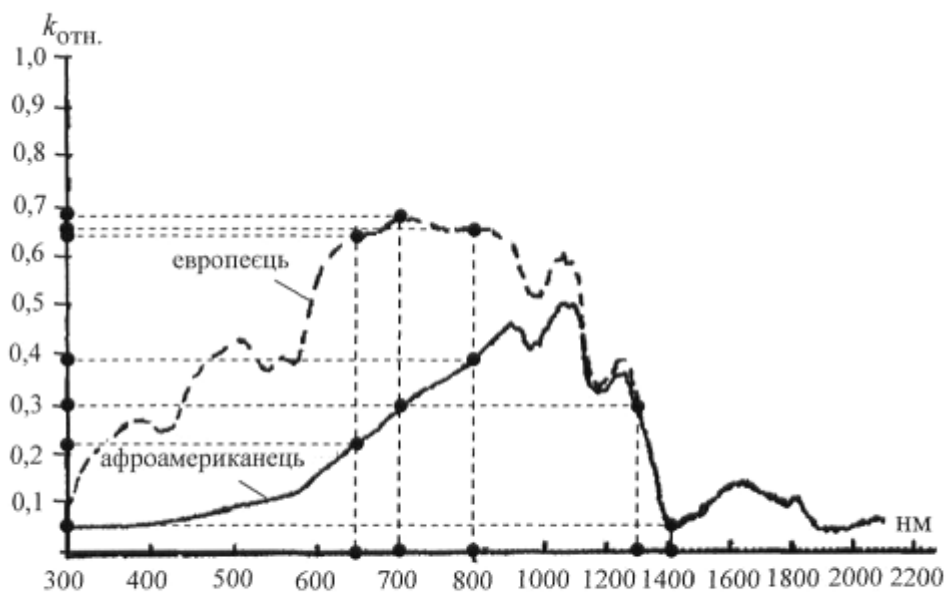
Фиг. 2

Графіки процесу мікроциркуляції крові в пальці руки у декартовій системі координат



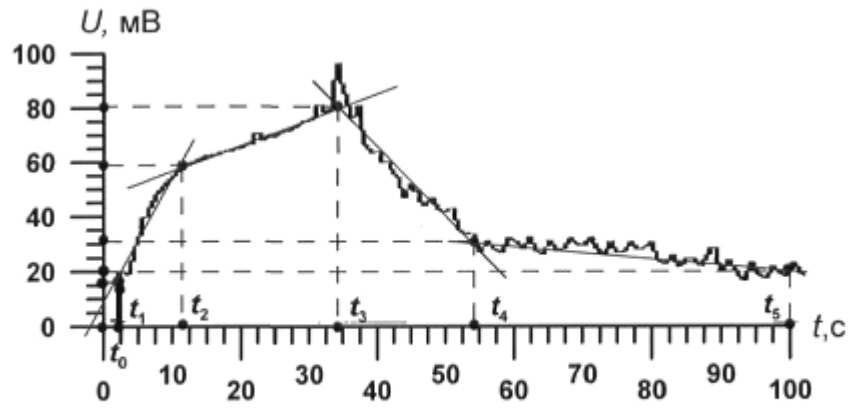
Фиг. 3

Спектри поглинання гемоглобіну і оксигемоглобіну



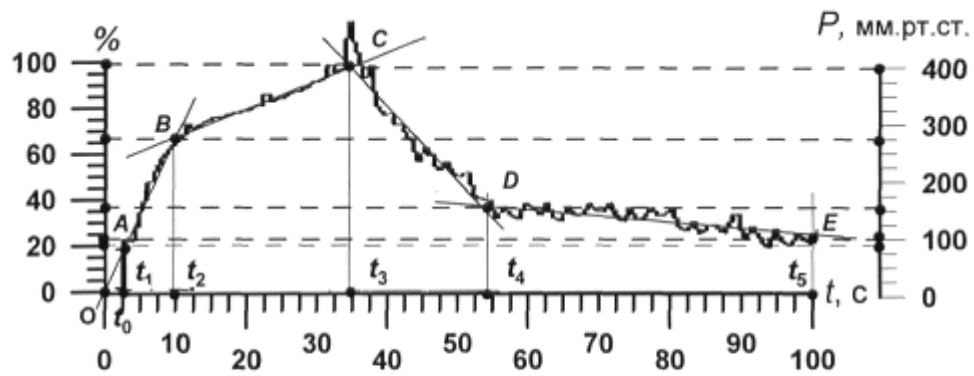
Фиг. 4

Відносні коефіцієнти відбивання шкіри європейця і афроамериканця



Фиг. 5

Кусково-лінійна апроксимація графіка процесу мікроциркуляції крові



Фиг. 6

Графік процесу мікроциркуляції крові з відносними змінами (y %) миттєвих значень кривої мікроциркуляції крові й прив'язкою її вершини до істинного порогового значення тиску

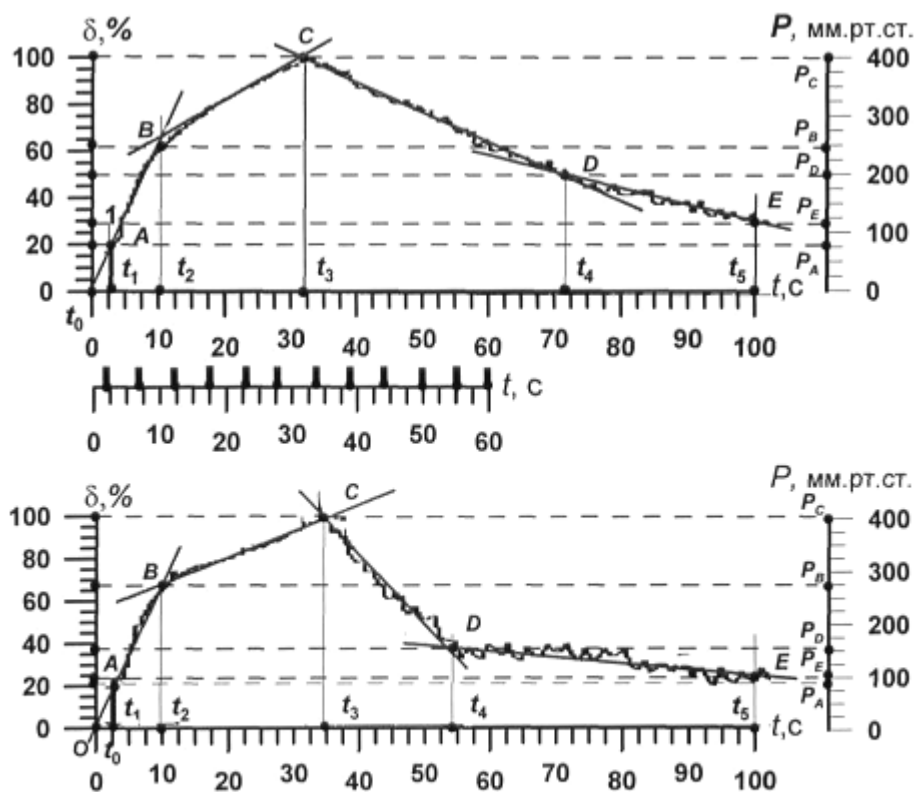


Fig. 7

Графічний портрет процесу мікроциркуляції крові в мікроциркуляторних руслах (пальців лівої та правої руки)

[illegible]

Fig. 8

№ п/п	Назва параметру чи показника	Числові значення параметрів та показників
1.1.	Напруги в характеристичних точках графіку 1 МЦК, мВ:	
1.2.	Напруги в характеристичних точках графіку 2 МЦК, мВ:	
Висновки:		
1.1.	ВЗН (точне відносне значення напруг для графіка 1 МЦК), %:	
1.2.	ВЗН2 (точне відносне значення напруг для графіка 2 МЦК), %:	
1.3.	КАСН (коефіцієнти асиметрії напруг), %:	
Висновки:		
1.1.	ЗЧІ (інформативні значення інтервалів часу кровотоку), с:	
1.2.	ЗЧІ2 (інформативні значення інтервалів часу кровотоку), с:	
1.3.	КАСЧ (коефіцієнти асиметрії інтервалів часу), %:	
Висновки:		
1.1.	ПШІ (показник інтегрального шляху кровонаповнення), %:	
1.2.	ПШІ2 (показник інтегрального шляху кровонаповнення), %:	
1.3.	КАСІ (коефіцієнти асиметрії шляху кровонаповнення), %:	
Висновки:		
1.1.	ПШВ1 (показник швидкості у першому руслі), %:	
1.2.	ПШВ2 (показник швидкості у другому руслі), %:	
1.3.	КАП (коефіцієнти асиметрії швидкості кровонаповнення), %:	
Висновки:		
1.1.	ПОС1 (показник опору судин у 1-му руслі), мм. рт. ст. / %:	
1.2.	ПОС1 (показник опору судин у 2-му руслі), мм. рт. ст. / %:	
1.3.	КАСО (коефіцієнти асиметрії опору судин тиску крові), %:	
Висновки:		
1.1.	ППС1 (показник пропускної спроможності 1-го русла), %/с:	
1.2.	ППС2 (показник пропускної спроможності 2-го русла), %/с:	
1.3.	КАСП (коефіцієнти асиметрії пропускної спроможності), %/с:	
Висновки:		

Показники якості роботи приладу: U_0 (норма $U_0 = (1 \pm 0,001) В$); I_1 (норма $I_{d1} = 0,015 A \pm 0,001 A$); I_2 (норма $I_{d2} = 0,015 A \pm 0,001 A$); ΔU_{cm}

Fig. 9

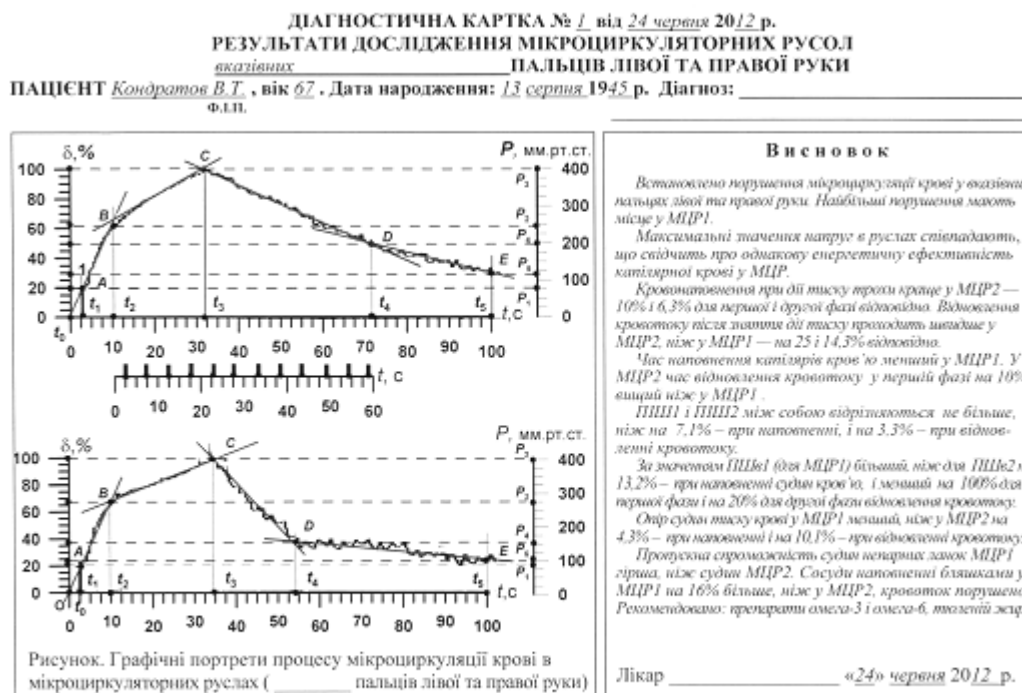
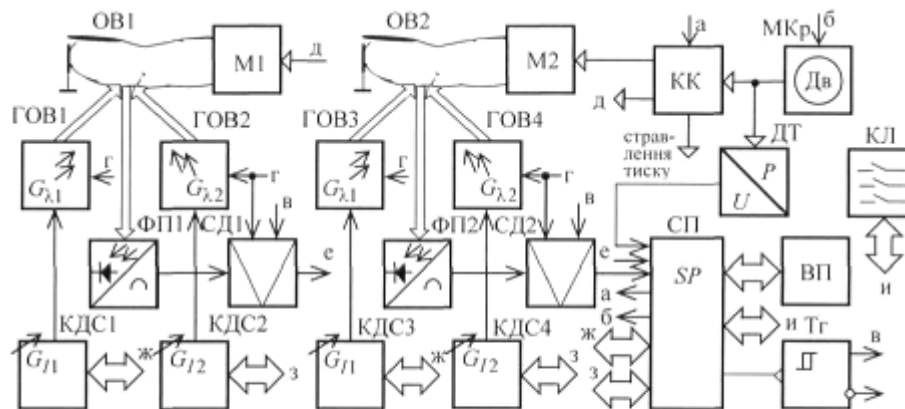


Fig. 10

№ п/п	Назва параметру чи показника	Числові значення параметрів та показників				
1.1.	Напруги в характеристичних точках графіку 1 МЦК, мВ:	$U_1' = 16,0$	$U_2' = 50,4$	$U_3' = 80,0$	$U_4' = 40,0$	$U_5' = 22,4$
1.2.	Напруги в характеристичних точках графіку 2 МЦК, мВ:	$U_1'' = 17,6$	$U_2'' = 53,6$	$U_3'' = 80,0$	$U_4'' = 30,0$	$U_5'' = 19,2$
Висновки: Максимальні значення напруг в руслах співпадають, що свідчить про однакову енергетичну ефективність капілярної крові у МЦР.						
1.1.	ВЗП1 (точне відносне значення напруг для графіка 1 МЦК), %:	$\delta_1' = 20,0$	$\delta_2' = 63,0$	$\delta_3' = 100,0$	$\delta_4' = 50$	$\delta_5' = 28$
1.2.	ВЗП2 (точне відносне значення напруг для графіка 2 МЦК), %:	$\delta_1'' = 22,0$	$\delta_2'' = 67,0$	$\delta_3'' = 100,0$	$\delta_4'' = 37,5$	$\delta_5'' = 24$
1.3.	КАСН (коефіцієнти асиметрії напруг), %:	$\gamma_{\delta 1} = 10,0$	$\gamma_{\delta 2} = 6,3$	$\gamma_{\delta 3} = 0,0$	$\gamma_{\delta 4} = -25$	$\gamma_{\delta 5} = -14,3$
Висновки: Кровонаповнення при одній тиску краще у МЦР2 на 10% і 6,3%. Відновлення кровотоку після зняття однієї тиску швидше у МЦР2 на 25 і 14,3%.						
1.1.	ЗПЧ1 (інформативні значення інтервалів часу кровотоку), с:	$\Delta t_{01}' = 2,65$	$\Delta t_{01}'' = 7,5$	$\Delta t_{02}' = 21,9$	$\Delta t_{02}'' = 39,5$	$\Delta t_{02}''' = 28$
1.2.	ЗПЧ2 (інформативні значення інтервалів часу кровотоку), с:	$\Delta t_{01}'' = 2,6$	$\Delta t_{01}''' = 7,3$	$\Delta t_{02}'' = 24,1$	$\Delta t_{02}''' = 20,1$	$\Delta t_{02}^{IV} = 45,9$
1.3.	КАСЧ (коефіцієнти асиметрії інтервалів часу), %:	$\gamma_{t1} = -1,9$	$\gamma_{t2} = -2,7$	$\gamma_{t3} = 10,0$	$\gamma_{t4} = -49,1$	$\gamma_{t5} = 63,9$
Висновки: Час наповнення капілярів кров'ю менший у МЦР2. У МЦР2 час відновлення кровотоку у першій фазі на 10% вищий ніж у МЦР1.						
1.1.	ПШП1 (показник інтегрального шляху кровонаповнення), %:	$k_{r01}' = 49,1$	$k_{r02}' = 43,0$	$k_{r01}'' = 63,7$	$k_{r02}'' = 35,6$	$k_{r01}''' > k_{r02}'''$
1.2.	ПШП2 (показник інтегрального шляху кровонаповнення), %:	$k_{r01}'' = 45,6$	$k_{r02}'' = 40,9$	$k_{r01}''' = 65,4$	$k_{r02}''' = 47,8$	$k_{r01}^{IV} > k_{r02}^{IV}$
1.3.	КАСП (коефіцієнти асиметрії шляху кровонаповнення), %:	$\gamma_{k01} = -7,1$	$\gamma_{k02} = -4,9$	$\gamma_{k03} = 2,7$	$\gamma_{k04} = 3,3$	і т.ін.
Висновки: ПШП1 і ПШП2 між собою відрізняються не більше, ніж на 7,1% – при наповненні, і на 3,3% – при відновленні кровотоку.						
1.1.	ПШВ1 (показник швидкості у першому руслі), %:	$k_{v01}' = 6,5$	$k_{v02}' = 1,96$	$k_{v01}'' = 1,6$	$k_{v02}'' = 1,3$	$k_{v01}''' > k_{v02}'''$
1.2.	ПШВ2 (показник швидкості у другому руслі), %:	$k_{v01}'' = 6,2$	$k_{v02}'' = 1,7$	$k_{v01}''' = 3,2$	$k_{v02}''' = 1,04$	$k_{v01}^{IV} > k_{v02}^{IV}$
1.3.	КАШ (коефіцієнти асиметрії швидкості кровонаповнення), %:	$\gamma_{v01} = -4,6$	$\gamma_{v02} = -13,2$	$\gamma_{v03} = 100,0$	$\gamma_{v04} = -20,0$	і т.ін.
Висновки: ПШВ1 більше ПШВ2 на 13,2% – при наповненні судин кров'ю, і менше на 100% - 20% – при відновленні кровотоку.						
1.1.	ПОС1 (показник опору судин у 1-му руслі), мм. рт. ст. / %:	$k_{R01}' = 5,3$	$k_{R02}' = 6,9$	$k_{R01}'' = 5,1$	$k_{R02}'' = 3,5$	$k_{R01}''' > k_{R02}'''$
1.2.	ПОС2 (показник опору судин у 2-му руслі), мм. рт. ст. / %:	$k_{R01}'' = 22,6$	$k_{R02}'' = 5,2$	$k_{R01}''' = 12,4$	$k_{R02}''' = 0,9$	$k_{R01}^{IV} > k_{R02}^{IV}$
1.3.	КАСО (коефіцієнти асиметрії опору судин тиску крові), %:	$\gamma_{R01} = 326,4$	$\gamma_{R02} = -24,6$	$\gamma_{R03} = 143,1$	$\gamma_{R04} = -74,3$	і т.ін.
Висновки: Опір судин тиску крові у МЦР1 менше, ніж у МЦР2 на 4,3% – при наповненні і на 10,1% – при відновленні кровотоку.						
1.1.	ППС1 (показник пропускання спроможності 1-го русла), %/с:	$S_{01}' = 5,7$	$S_{02}' = 1,7$	$S_{01}'' = 1,3$	$S_{02}'' = 0,77$	$S_{01}''' > S_{02}'''$
1.2.	ППС2 (показник пропускання спроможності 2-го русла), %/с:	$S_{01}'' = 6,3$	$S_{02}'' = 1,4$	$S_{01}''' = 3,1$	$S_{02}''' = 0,29$	$S_{01}^{IV} > S_{02}^{IV}$
1.3.	КАСП (коефіцієнти асиметрії пропускання спроможності), %/с:	$\gamma_{S01} = 10,5$	$\gamma_{S02} = -17,6$	$\gamma_{S03} = 138,5$	$\gamma_{S04} = -62,3$	і т.ін.
Висновки: Пропускання спроможності судин некардинально: МЦР1 менше, ніж судин МЦР2 при наповненні і більше для нормальних даних.						

Показники якості роботи приладу: $U_0 = 1\text{В}$ (норма $U_0 = (1 \pm 0,001)\text{В}$), $I_1 = 0,015\text{А}$ (норма $I_1 = 0,015\text{А} \pm 0,001\text{А}$), $I_2 = 0,014\text{А}$ (норма $I_2 = 0,015\text{А} \pm 0,001\text{А}$).

Фіг. 11



Фіг. 12

Функціональна схема цифрового вимірювача параметрів мікроциркуляції крові