


## Моделювання ендотеліозалежної вазодилатації в осіб чоловічої статі молодого віку на основі параметрів компонентів маси тіла

О. П. Кентеш \*<sup>B,C,D,F</sup>, М. І. Немеш <sup>B,C</sup>, О. С. Паламарчук <sup>B,C</sup>,  
Ю. М. Савка <sup>C,E</sup>, Я. І. Сливка <sup>C</sup>, В. П. Фекета <sup>A</sup>

ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Україна

A – концепція та дизайн дослідження; B – збір даних; C – аналіз та інтерпретація даних; D – написання статті; E – редагування статті;  
F – остаточне затвердження статті

**Ключові слова:**  
ендотеліальна дисфункція, компонентний склад маси тіла, ендотеліозалежна вазодилатація, молодий вік, ожиріння, кореляційно-регресійний аналіз.

Запорізький медичний журнал.  
2021. Т. 23, № 6(129).  
С. 784-790

\*E-mail:  
oksanakentesh@gmail.com

**Мета роботи** – аналіз результатів ендотеліозалежної вазодилатації плечової артерії в осіб із різним вмістом компонентів маси тіла та розробити моделі прогнозування реакції ендотеліозалежної вазодилатації на основі параметрів компонентів маси тіла.

**Матеріали та методи.** Обстежили 31 чоловіка молодого віку, котрих поділили на три групи залежно від вмісту загального жиру в організмі: 16 (51,6 %) осіб – I група, 11 (35,5 %) – II, 4 особи (12,9 %) – III група. Такі параметри, як індекс маси тіла (ІМТ, кг/м<sup>2</sup>), відсотковий вміст загального жиру (ВЗЖ, %), вміст вісцерального жиру (ВВЖ, од.) та вміст безжирової маси (ВБМ, %) визначали за допомогою біоімпедансного аналізатора TANITA BC-601.

Ендотеліальну регуляцію оцінювали на основі активності судиннорухового розширення плечової артерії до та після оклюзійної проби за допомогою чотириканального реографа РеоКом (ХАІ-МЕДИКА).

**Результати.** На підставі результатів оклюзійної проби розрізняли три типи ендотеліозалежної вазодилатації (ЕЗВД). У 62,50 % чоловіків I групи визначили нормоергічну реакцію плечової артерії, 31,25 % мали гіперергічну, 6,25 % – гіпоергічну реакцію. У 45,4 % осіб II групи виявили нормоергічний тип післяоклюзійної реакції, у 36,4 % – гіперергічний, у 18,2 % – гіпоергічний тип. У 75 % осіб III групи встановили гіперергічний тип ЕЗВД, у 25 % – нормоергічний, гіпоергічний тип реакції не виявили.

Для з'ясування вазорегулювальної функції ендотелію на основі кореляційно-регресійного аналізу побудували моделі, коефіцієнт детермінації R<sup>2</sup> становив 0,277 (ІМТ), 0,126 (ВЗЖ), 0,189 (ВВЖ) та 0,146 (ВБМ). Моделі мали такий вигляд: між ЕЗВД та ІМТ –  $y = -4,5297 + 0,865x$ , ВЗЖ –  $y = 10,7389 + 0,4x$ ; ВВЖ –  $y = 13,8119 + 1,0041x$ ; ВБМ –  $y = 52,7904 - 0,4464x$ . Між ними встановили статистично значущі кореляційні зв'язки від  $r = +0,335$  до  $r = +0,526$ .

**Висновки.** Результати показали, що функціональний стан ендотелію та його активність залежать від вмісту компонентів маси тіла в організмі.

**Key words:**  
endothelial dysfunction, body composition, vasodilation, young adult, obesity, correlation study, regression analysis.

Zaporozhye medical journal  
2021; 23 (6), 784-790

### Simulation of endothelium-dependent vasodilation in young male persons based on the parameters of body weight components

O. P. Kentesh, M. I. Nemesh, O. S. Palamarchuk, Yu. M. Savka, Ya. I. Slyvka, V. P. Feketa

**The aim of the work.** To analyze the results of endothelium-dependent vasodilation of the brachial artery in persons with different content of body weight components and to develop models for predicting the response of endothelium-dependent vasodilation based on the parameters of body weight components.

**Materials and methods.** In total, 31 young men were examined and divided into three groups depending on the total body fat value: 16 people (51.6 %) – group I, 11 people (35.5 %) – group II and 4 people (12.9 %) – group III. Determination of such parameters as body mass index (BMI, kg/m<sup>2</sup>), the percentage of total fat (TFP, %), the visceral fat content (VFC, units) and the content of free-fat mass (FFM, %) was performed using a bioimpedance analyzer TANITA BC-601.

Endothelial regulation was assessed on the basis of vasomotor dilation of the brachial artery activity before and after the occlusion test using a four-channel rheograph ReoCom (XAI-MEDICA).

**Results.** During the occlusion test, three types of endothelium-dependent vasodilation (EDVD) were identified in individuals examined. 62.50 % of men in group I had a normoergic reaction of the brachial artery, 31.25 % had a hyperergic and 6.25 % had a hypoergic reaction. Among group II persons, a normoergic type of post-occlusive reaction was in 45.4 %, hyperergic – in 36.4 %, and hypoergic type – in 18.2 %. Regarding group III, 75 % of individuals had the hyperergic type of endothelium-dependent vasodilation, 25 % had the normoergic type, and no hypoergic type of reaction was observed at all.

To determine the endothelial vasoregulatory function on the basis of correlation-regression analysis, models were constructed with coefficients of determination R<sup>2</sup> of 0.277 (BMI), 0.126 (TFP), 0.189 (VFC) and 0.146 (FFM). The models themselves had the following form: between EDVD and BMI –  $y = -4.5297 + 0.865x$ ; TFP –  $y = 10.7389 + 0.4x$ ; VFC –  $y = 13.8119 + 1.0041x$ ; FFM –  $y = 52.7904 - 0.4464x$ . In addition, statistically significant correlations were found between them – from  $r = +0.335$  to  $r = +0.526$ .

**Conclusions.** The data obtained allow us to note that the functional state of the endothelium and its activity depends on the content of body weight components in the organism.

## Моделирование эндотелийзависимой вазодилатации у лиц мужского пола молодого возраста на основе параметров компонентов массы тела

О. П. Кентеш, М. И. Немеш, О. С. Паламарчук, Ю. М. Савка, Я. И. Сливка, В. П. Фекета

**Цель работы** – анализ результатов эндотелийзависимой вазодилатации плечевой артерии у лиц с различным содержанием компонентов массы тела и разработать модели прогнозирования реакции эндотелийзависимой вазодилатации на основе параметров компонентов массы тела.

**Материалы и методы.** Обследовали 31 мужчину молодого возраста, которых поделили на три группы в зависимости от содержания общего жира в организме: 16 (51,6 %) человек – I группа, 11 (35,5 %) – II, 4 (12,9 %) – III группа. Такие параметры, как индекс массы тела (ИМТ, кг/м<sup>2</sup>), содержание общего жира (СОЖ, %), содержание висцерального жира (СВЖ, ед.) и содержание безжировой массы (СБМ, %) определяли с помощью биоимпедансного анализатора TANITA BC-601.

Эндотелиальную регуляцию оценивали на основе активности сосудодвигательного расширения плечевой артерии до и после окклюзионной пробы с помощью четырехканального реографа РеоКом (ХАИ-МЕДИКА).

**Результаты.** В результате проведения окклюзионной пробы выделили три типа эндотелийзависимой вазодилатации (ЭЗВД). У 62,50 % мужчин I группы установлена нормоэргическая реакция плечевой артерии, 31,25 % – гиперэргическая, 6,25 % – гипозэргическая реакция. У 45,4 % обследованных II группы отмечен нормоэргический тип постокклюзионной реакции, 36,4 % – гиперэргический, 18,2 % – гипозэргический тип. В III группе у 75 % обследованных установлен гиперэргический тип ЭЗВД, у 25 % – нормоэргический, гипозэргический тип реакции не отмечен.

Для выяснения вазорегулирующей функции эндотелия на основе корреляционно-регрессионного анализа построены модели, коэффициент детерминации R<sup>2</sup> составлял 0,277 (ИМТ), 0,126 (СОЖ), 0,189 (СВЖ) и 0,146 (СБМ). Модели имели следующий вид: между ЭЗВД и ИМТ –  $y = -4,5297 + 0,865x$ ; СОЖ –  $y = 10,7389 + 0,4x$ ; СВЖ –  $y = 13,8119 + 1,0041x$ ; СБМ –  $y = 52,7904 - 0,4464x$ . Между ними установлены статистически значимые корреляционные связи от  $r = +0,335$  до  $r = +0,526$ .

**Выводы.** Результаты показали, что функциональное состояние эндотелия и его активность зависят от содержания компонентов массы тела в организме.

**Ключевые слова:** эндотелиальная дисфункция, компонентный состав массы тела, эндотелийзависимая вазодилатация, молодой возраст, ожирение, корреляционно-регрессионный анализ.

Запорожский медицинский журнал. 2021. Т. 23, № 6(129). С. 784-790

За висновками міжнародного дослідження Глобального тягаря хвороб (Global Burden of Disease) за 2019 рік, питома вага захворювань серцево-судинної системи залишається основною причиною смертності й визначальним фактором інвалідизації в усьому світі [1]. У численних дослідженнях наголошено, що неправильний спосіб життя – основа для появи кардіометаболічних факторів ризику, як-от ожиріння, дисліпідемія, гіпертензія та інсулінорезистентність, що спричиняють і пришвидшують розвиток кардіальної патології [2].

Оскільки для сучасного суспільства властиве нерациональне харчування, малорухливий спосіб життя, постійне психоємційне перевантаження, то невпинно зростає кількість осіб із надмірною вагою та ожирінням [3]. Небажані наслідки для організму при ожирінні пов'язані з метаболічно-гормональною пертурбацією внаслідок зміни секреції та експресії жировою тканиною біологічно активних пептидів (адипокінів), які мають локальний і центральний впливи [4,5]. Один із наслідків – ліпотоксичність, тобто накопичення реактивних форм ліпідів у нежировій тканині, що викликає появу орган-специфічних реакцій, котрі виявляються як клітинна дисрегуляція та погіршення функціонального потенціалу тканин [6].

Прогресування ожиріння супроводжується також хронічним запаленням у жировій тканині, що змінює синтез, спринняє зростання секреції прозапальних факторів – гострофазових білків і запальних цитокінів, котрі є однією з причин розвитку оксидативного стресу з накопиченням вільних радикалів, патофізіологічного механізму формування хронічного системного запалення в осіб із надлишковим умістом жиру в організмі.

Отже, ожиріння, для якого характерна дисфункція жирової тканини, – основа формування багатьох патологічних станів і порушень функцій майже всіх органів.

Його наслідки вважають значущими для розвитку ендотеліальної дисфункції, що може бути визначена як неадекватне (збільшене або знижене) утворення в ендотелії різних біологічно активних речовин [7,8]. Наслідки ендотеліальної дисфункції прямо співвідносяться з патофізіологією атеросклерозу, зростанням жорсткості артерій, зміною реактивності судин і зрушеннями гемостатичного/фібринолітичного балансів, що є незалежними предикторами кардіоваскулярних патологій.

Наведені аргументи зумовлюють невпинний пошук факторів, які провокують появу ендотеліальної дисфункції для їхнього усунення. Однак у кейсах сьогодення відсутні чіткі дані щодо впливу компонентів маси тіла: вмісту загального жиру (ВЗЖ), вмісту висцерального жиру (ВВЖ) і вмісту безжирових мас (ВБМ) – на функціональний стан ендотелію та можливе формування ендотеліальної дисфункції при відхиленні їхніх референтних значень.

У рутинній медичній практиці все більшої популярності набуває імпедансометрія (порівняно з каліперометрією, номограмами, таблицями, формулами та іншими методами для визначення компонентного складу тіла), оскільки цей метод забезпечує оперативність та об'єктивність оцінювання широкого спектра морфологічних і фізіологічних параметрів організму [9,10]. Завдяки біоімпедансному аналізу складу тіла стає можливим контроль стану ліпідного, білкового й водного обмінів, що є запорукою фізіологічної гармонії організму.

### Мета роботи

Аналіз результатів ендотеліязалежної вазодилататії плечової артерії в осіб із різним вмістом компонентів маси тіла та розробити моделі прогнозування реакції ендотеліязалежної вазодилататії на основі параметрів компонентів маси тіла.

## Матеріали і методи дослідження

Для оцінювання функціонального стану ендотелію судин в осіб із різним співвідношенням компонентів маси тіла та з'ясування їхнього впливу на його стан обстежили 31 особу чоловічої статі. Вік учасників експерименту – 18–24 роки (середній вік становив  $22,00 \pm 2,46$  року), всі обстежені – європеоїдної раси. У вибірку не включали курців, осіб із недостатньою масою тіла, з будь-якою гострою на час здійснення експерименту, хронічною чи в анамнезі соматичною патологією, а також віком менше ніж 18 років та старше за 44 роки. Отже, контингент дослідження – практично здорові молоді особи. Поділ осіб на групи здійснили залежно від значення вмісту загального жиру в організмі. В результаті сформували 3 групи: I – 16 (51,6 %) осіб, в яких ВЗЖ становив 18,0–18,9 %; II – 11 (35,5 %) осіб із ВЗЖ 19,0–24,9 %; III – 4 (12,9 %) особи із ВЗЖ 25,0 % і більше.

Дослідження здійснили на базі кафедри фундаментальних медичних дисциплін медичного факультету № 2 ДВНЗ «Ужгородський національний університет» із дотриманням основних положень «Правил етичних принципів здійснення наукових медичних досліджень за участю людини», що затверджені Гельсінською декларацією [11, 12]. Перед дослідженням учасників проінформували про методи вимірювання компонентів маси тіла й оцінювання стану ендотелію судин; вони підписали інформовану добровільну згоду на участь.

Стан і функціональні можливості ендотелію оцінювали на підставі аналізу ендотеліюзалежної вазодилатації (ЕЗВД) плечової артерії (ПА), яку визначали шляхом проведення оклюзійної проби з реактивною гіперемією (РГ) («золотий стандарт») [13]. Вимірювання потокозалежної вазодилатації (ПЗВД) плечової артерії здійснювали за допомогою чотириканального реографа «РеоКом» (ХАІ-МЕДИКА) за методикою D. Celermajer. Обстеження за допомогою цього апарату передбачає використання виносних блоків RVG1 і RVG2, накладання на кожне передпліччя трьох стрічкових електродів. Для створення оклюзії необхідне накладання манжетки на праве плече, в ній створюється тиск на 30 мм рт. ст. більший від систолічного тиску конкретного обстеженого. Загальна тривалість проби – 13 хвилин зі створенням оклюзії в часовому інтервалі 150–450 секунд.

Збільшення внутрішньопросвітнього діаметра плечової артерії у фазу реактивної гіперемії на 10–20 % від вихідного значення оцінювали як нормоергічний тип реакції, на 20–40 % – гіперергічний, відсутність реакції або збільшення діаметра до 10 % – гіпоергічний тип, а зменшення діаметра артерії – парадоксальний тип реакції [13].

Для діагностики структури тіла використовували ваги-аналізатори TANITA BC-601 (Японія), механізм роботи яких ґрунтується на методиці біоімпедансного аналізу, тобто вимірювання біоелектричного опору різних тканин організму при проходженні через тіло безпечного електричного струму з наступним комп'ютерним опрацюванням. За допомогою пристрою визначали індекс маси тіла (ІМТ,  $\text{кг}/\text{м}^2$ ), ВЗЖ (%), ВВЖ (%), ВБМ (кг). Для зручності вміст безжирової маси з одиниць вимірювання кілограми конвертували у відсотки. Обстеження починалося з внесення інформації в комірку для вводу даних: вік, зріст, фізична підготовка, стать.

Потім обстежений ставав босоніж на платформу, в яку вмонтовано 4 електроди, щоб стопи не торкалися одна одної, та одночасно мав тримати витягнутими руками ручки ваги-аналізаторів, у яких також розміщено 4 електроди. Тривалість пропускання електричних сигналів через тканини організму – 10 секунд, після чого на екрані з'являлися результати визначення параметрів.

Значення ВЗЖ від 8,0 % до 18,9 %, ВВЖ від 1 до 4 од., ВБМ – від 70 % до 80 % оцінювали як належні для цієї вікової групи. ВЗЖ 19,0–24,9 % і ВВЖ 5–8 од. трактували як надмірний уміст жиру, показники ВЗЖ більше ніж 25 % і ВВЖ 9 і більше одиниць – як ожиріння. Якщо значення ВБМ становило понад 80 %, говорили про хороший розвиток скелетної мускулатури та постійне фізичне тренування, а менше ніж 70 % – про недостатність м'язової маси. Межі значень ІМТ відомі: 18,5–25,0  $\text{кг}/\text{м}^2$  – норма, менше ніж 18,5  $\text{кг}/\text{м}^2$  – дефіцит маси тіла, 25–30  $\text{кг}/\text{м}^2$  – надмірна вага, понад 30  $\text{кг}/\text{м}^2$  – ожиріння.

Аналіз результатів здійснювали за допомогою програми для статистичного опрацювання даних Statistica v. 10.0 (StatSoft Inc., USA, ліцензійний № STA999K347156-W). Нормальність розподілу кількісних ознак аналізували за допомогою W-критерію Шапіро–Вілка. Результати описового аналізу кількісних параметрів наведені як оцінки вибіркового середнього (Mean) і стандартного відхилення (SD), а також як медіана (Median), верхній і нижній квартилі [Q1–Q3]. Статистичну значущість відмінностей середніх величин у групах оцінювали за допомогою дисперсійного аналізу (Analysis of Variance, ANOVA). З-поміж непараметричних методів використовували критерій Краскела–Волліса, який є узагальненням U-критерію Манна–Вітні. Статистично значущою вважали різницю при  $p < 0,05$ .

За допомогою кореляційно-регресійного аналізу побудували математичні моделі – рівняння регресії для з'ясування зв'язків, оцінювання вираженості та ступеня щільності між потокозалежною вазодилатацією та компонентами маси тіла (ІМТ, ВЗЖ, ВВЖ, ВБМ). Шляхом статистичного аналізу встановили коефіцієнти кореляції (r), коефіцієнти детермінації ( $R^2$ ), значення критеріїв Фішера (F), а також кількість ступенів вільності критеріїв Фішера та Стьюдента. На адекватність моделі перевіряли за допомогою критерію Фішера. Для перевірки значущості коефіцієнтів рівняння регресії  $b_0$  і  $b_1$  використовували встановлені значення критерію Стьюдента для кожного коефіцієнта та знаходили критичні значення критерію Стьюдента з рівнем значущості  $\alpha = 0,05$ . Висновок про близькість зв'язку між ознаками робили, ґрунтуючись на значенні коефіцієнта кореляції: якщо  $0,9 < |r_{xy}| < 1$ , то зв'язок щільний; якщо  $0,6 < |r_{xy}| < 0,9$  – достатній; якщо  $0,3 < |r_{xy}| < 0,6$  – слабкий; якщо  $0 < |r_{xy}| < 0,3$ , то зв'язку немає.

## Результати

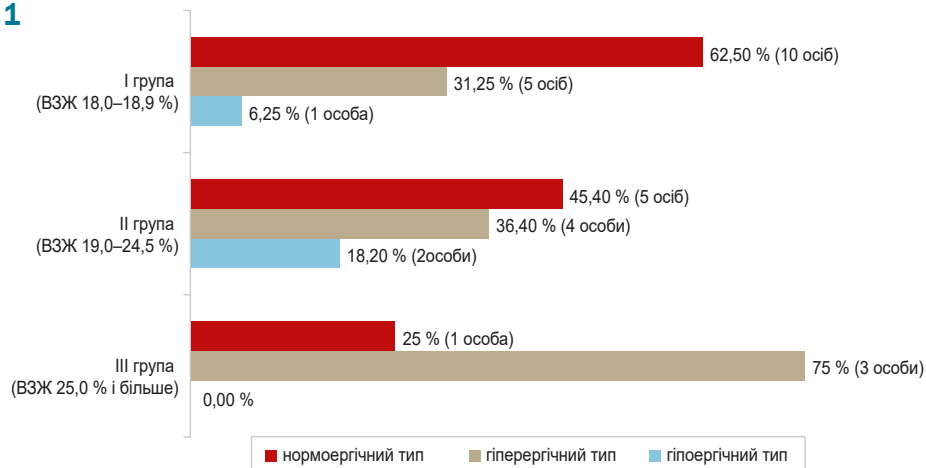
Поділ осіб на групи дав змогу встановити вірогідну різницю між умістом кожного з компонентів маси тіла та з'ясувати тип реакції плечової артерії на оклюзійну пробу з «реактивною гіперемією».

Зіставляючи середнє збільшення діаметра плечової артерії у відповідь на оклюзію, не виявили вірогідну різницю між групами. Втім тип реакції плечової арте-

**Таблиця 1.** Поділ осіб чоловічої статі молодого віку на групи, враховуючи значення вмісту загального жиру в організмі

Показники	I група (n = 16)	II група (n = 11)	III група (n = 4)	Статистична значущість відмінності
ІМТ, кг/м <sup>2</sup>	23,681 ± 3,374	27,491 ± 2,599	31,725 ± 2,229	p < 0,001
ВЗЖ, %	13,900 ± 3,378	20,536 ± 1,513	29,050 ± 3,272	p < 0,001
ВВЖ, од.	2,188 ± 1,167	5,091 ± 1,136	9,750 ± 2,630	p < 0,001
ВБМ, %	82,001 ± 3,147	75,743 ± 1,568	67,275 ± 3,189	p < 0,001
ЕЗВД, %	17,025 ± 6,033	17,755 ± 7,703	22,850 ± 5,442	p = 0,301

1



**Рис. 1.** Типи післяоклюзійної реакції плечової артерії у групах осіб із різним умістом загального жиру в організмі.

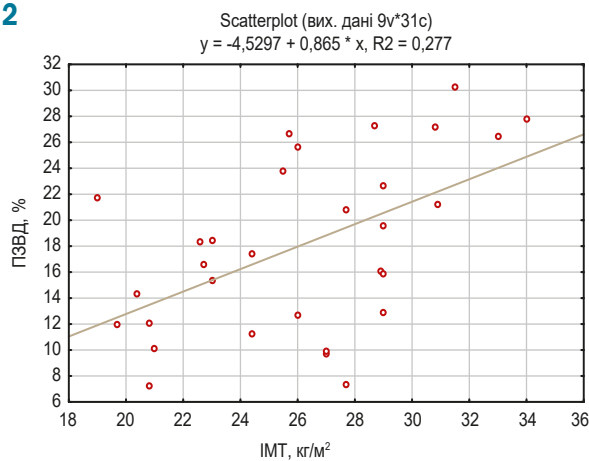
**Рис. 2.** Залежність між реакцією потокозалежної вазодилатації та значенням індексу маси тіла.

**Рис. 3.** Залежність між реакцією потокозалежної вазодилатації та вмістом загального жиру в організмі.

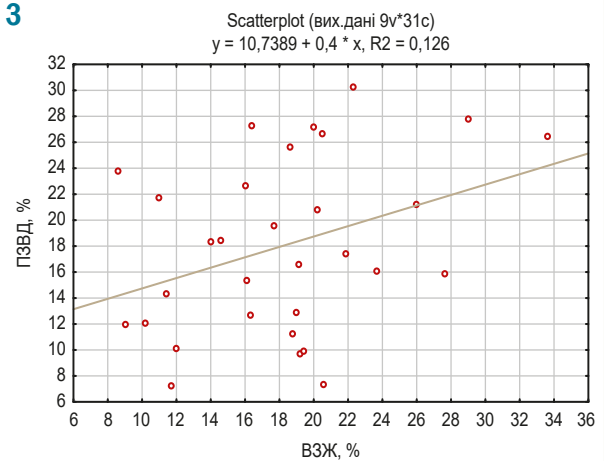
**Рис. 4.** Залежність між реакцією потокозалежної вазодилатації та вмістом вісцерального жиру в організмі.

**Рис. 5.** Залежність між реакцією потокозалежної вазодилатації та вмістом безжирових мас в організмі.

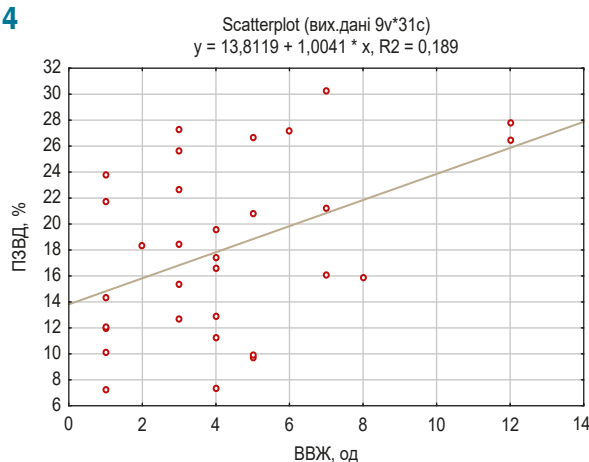
2



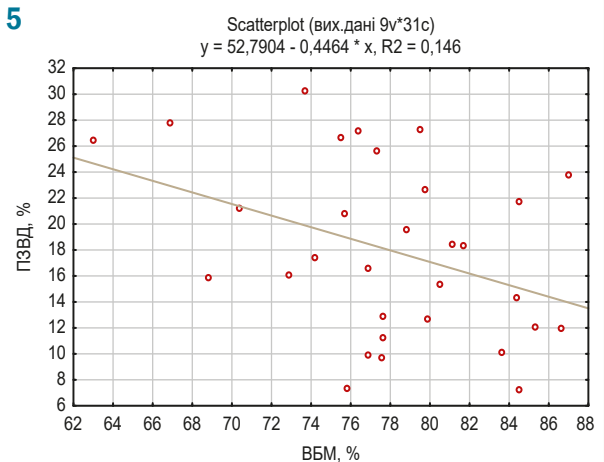
3



4



5



рії на оклюзію мав певні відмінності. Так, однакова післяоклюзійна реакція зафіксована в I та II групах: приріст діаметра плечової артерії на  $17,025 \pm 6,033$  % у I групі, на  $17,755 \pm 7,703$  % у II групі; це вказує на нормоергічний тип реакції. У III групі зареєстровано збільшення діаметра на  $22,850 \pm 5,442$  %, що свідчить про гіперергічний тип.

Після з'ясування типу реакції загалом у групах здійснили детальний аналіз збільшення діаметра плечової артерії на ішемічну компресію в кожній особі, яка ввійшла у вибірку (рис. 1). Серед чоловіків, які ввійшли у I групу, в 10 (62,50 %) зафіксували нормоергічний тип реакції плечової артерії, у 5 (31,25 %) – гіперергічний, у 1 (6,25 %) – гіпоергічний тип. У II групі, де вміст жиру відповідав «сірій зоні», нормоергічну реакцію плечової артерії мали 5 (45,4 %) осіб, гіперергічну – 4 (36,4 %), гіпоергічну – 2 (18,2 %) чоловіки. У III групі 3 (75 %) обстежених мали гіперергічний тип реакції, 1 (25 %) – нормоергічний.

Далі здійснили кореляційно-регресійний аналіз для з'ясування залежності ЕЗВД від компонентів маси тіла, а також оцінювання ступеня щільності встановлених між ними зв'язків.

Результати кореляційного аналізу свідчать про наявність прямого зв'язку між реакцією ПЗВД і значенням ІМТ (рис. 2). Коефіцієнт кореляції між цими показниками виявився статистично значущим, однак вказує на слабкий зв'язок ( $r = +0,526$ ). Побудована регресійна модель мала такий вигляд:  $y = -4,5297 + 0,865x$ ; для перевірки значущості коефіцієнтів  $b_0$  і  $b_1$  використовували встановлені значення критерію Стьюдента для кожного коефіцієнта ( $t_{\text{спост.}}(b_0) = -0,662$ ,  $t_{\text{спост.}}(b_1) = 3,33$ ), а також розраховували критичне значення критерію Стьюдента з рівнем значущості  $\alpha = 0,05$  ( $t(29) = 2,04$ ). Оскільки встановлені значення критерію Стьюдента для кожного коефіцієнта були меншими за критичне значення, коефіцієнти  $b_0$  і  $b_1$  не вважали статистично значущими. На адекватність модель перевіряли за допомогою критерію Фішера. Так, значення критерію Фішера  $F_{\text{спост.}} = (F(1,29)) = 11,12$  більше за критичне значення  $F(1,29) = 4,183$ , а отже лінійна модель адекватна. Коефіцієнт детермінації ( $R^2 = 0,277$ ) показує, що 27,7 % варіацій ПЗВД зумовлені значенням ІМТ, а інші 72,3 % варіації ПЗВД залежать від варіацій факторів, що не включені в регресійну модель.

Також за допомогою цього аналізу моделювали залежність між зміною внутрішньопросвітнього діаметра плечової артерії та ВЗЖ в організмі. Залежність між цією парою показників показує прямий лінійний зв'язок (рис. 3).

Коефіцієнт кореляції ( $r = +0,355$ ) та оцінка адекватності лінійної регресійної моделі  $y = 10,7389 + 0,4x$  (значення F-критерію Фішера становило  $F_{\text{спост.}} = (F(1,29)) = 4,188$ , а його критичне значення – з рівнем значущості  $\alpha = 0,05$   $F = 4,183$ ) показують недостатній рівень кореляції між цією парою показників. Коефіцієнт детермінації ( $R^2 = 0,126$ ) показує, що варіація ПЗВД тільки на 12,6 % зумовлена ВЗЖ в організмі. Коефіцієнт залишкової детермінації (1,000–0,126) свідчить, що ПЗВД на 87,4 % залежить від інших чинників. Коефіцієнти рівняння  $b_0 = 10,7389$ ,  $b_1 = 0,4$  оцінені як статистично значущі, тому що встановлені значення критерію Стьюдента для кожного коефіцієнта  $t_{\text{спост.}}(b_0) = 2,872$  і  $t_{\text{спост.}}(b_1) = 2,046$

були більшими за критичне значення ( $t(29) = 2,045$ ). При цьому збільшення в організмі загального жиру на 1 % призведе до зростання внутрішньопросвітнього діаметра на 0,4 %.

За допомогою кореляційно-регресійного аналізу вдалося встановити кореляційну залежність між реакцією ПЗВД плечової артерії та значенням ВВЖ в організмі. Графічне зображення за допомогою кореляційного поля підтверджує наявність прямої лінійної залежності між цими показниками, однак коефіцієнт кореляції ( $r = 0,434$ ) вказує на слабкий зв'язок (рис. 4). Побудована модель мала вигляд  $y = 13,8119 + 1,0041x$ . Модель адекватна, оскільки значення критерію Фішера  $F_{\text{спост.}} = (F(1,29)) = 6,719$  є більшим за критичне значення з рівнем значущості  $\alpha = 0,05$   $F(1,29) = 4,183$ . Розглянувши результати цієї моделі, можна стверджувати, що збільшення ВВЖ в організмі на 1 од. спричинить приріст діаметра плечової артерії на 1,0041 %. Коефіцієнт детермінації цієї моделі становив  $R^2 = 0,189$ ; це означає, що на 18,9 % реакція ПЗВД залежить від зміни ВЗЖ, а  $(1-R^2) = 0,811$ , тобто на 81,1 % – від інших факторів.

Аналогічно побудували модель для ПЗВД і ВБМ. Оскільки регресійна залежність між активністю судинорухового розширення плечової артерії на ішемічну компресію та вмістом безжирових мас в організмі мала вигляд  $y = 52,7904 - 0,4464x$ , то можна стверджувати, що в цьому випадку залежність між факторами є обернено пропорційною, тобто має зворотний зв'язок (рис. 5). Аналізуючи параметри рівняння регресії, можна зробити висновок: при збільшенні ВБМ в організмі на 1 % внутрішньопросвітний діаметр плечової артерії зменшиться на 0,446 %, а якщо значення ВБМ дорівнюватимуть 0, то значення діаметра плечової артерії становитиме 52,7904. Оскільки  $F_{\text{спост.}} > F_{1,29}(F_{\text{спост.}} = 4,903$ ;  $F_{1,29}(0,05) = 4,183$ ), то побудовану регресійну модель вважали адекватною з імовірністю 0,95. Для перевірки значущості коефіцієнтів  $b_0$  і  $b_1$  розраховували значення критерію Стьюдента для кожного коефіцієнта та його критичне значення з рівнем вірогідності  $\alpha = 0,05$ ; оскільки значення ( $t_{\text{спост.}}(b_0) = 3,353$ ;  $t_{\text{спост.}}(b_1) = -2,214$ ) більші за  $t_{29}(0,05) = 2,045$ , то обчислені значення  $b_0$  і  $b_1$  є статистично значущими. Коефіцієнт детермінації  $R^2 = 0,146$  свідчить, що тільки на 14,6 % значення результуючої ознаки (зміна внутрішньопросвітнього діаметра плечової артерії) визначається саме значеннями цієї пояснювальної змінної (ВБМ в організмі), а на 85,4 % – іншими факторами.

## Обговорення

Застосування методу кореляційно-регресійного аналізу для оцінювання ЕЗВД показало: варіації приросту діаметра плечової артерії на 27,7 % залежать від значення ІМТ, на 12,6 % – від ВЗЖ, на 18,9 % – ВВЖ, на 14,6 % – від ВБМ. Між реакцією ЕЗВД і значенням ІМТ, ВЗЖ і ВВЖ є прямий зв'язок, а з ВБМ – обернений.

Експериментальні та клінічні дослідження свідчать: в осіб із надлишковою масою тіла розвиток ендотеліальної дисфункції пов'язаний із ліпід/цитокін-опосередкованими зрушеннями, що формуються під впливом збільшення жирової тканини в організмі,

а особливо вісцеральної [14]. Також опубліковано дані, що в осіб з ожирінням виявляють збільшення метаболітів оксиду азоту, зумовлене підвищенням у крові рівня ліпопротеїнів низької щільності (ЛПНЩ), які стимулюють секрецію та активність індуцибельної синтази оксиду азоту адипоцитами [15]. Водночас є відомості, що провідним механізмом дисфункції ендотелію при ожирінні може бути активація локальної судинної ренін-ангіотензинової системи. Рівень ангіотензину у крові зростає внаслідок його секреції адипоцитами, що супроводжується вазоконстрикцією судинної стінки внаслідок стимуляції АТ1 рецепторів гладком'язових клітин, виділенням ендотеліоцитами ендотеліну 1 та супероксиду. Також відбувається синтез численних факторів росту та мітогенів (bFGF – фактор росту фібробластів, PDGF – тромбоцитарний фактор росту, TGF b1 – трансформувальний фактор росту бета тощо), під дією яких змінюється структура судинної стінки [16,17].

Отже, для людей із надлишковим умістом жирової тканини в організмі характерними є зміни локальної реакції судинної стінки на звичайні стимули. Враховуючи наведені дані, гіперергічний тип післяоклюзійної реакції у III групі може бути компенсаторною відповіддю на додаткове навантаження. Але з часом унаслідок виснаження механізмів компенсації можуть розвинути більш несприятливі типи реагування – гіпоергічний і парадоксальний.

## Висновки

1. Функціональний стан ендотелію та його активність залежать від умісту компонентів маси тіла в організмі.

2. У результаті кореляційного аналізу встановили, що на ендотеліозалежну вазодилатацію впливає компонентний склад тіла. Коефіцієнт кореляції між потокозалежною вазодилатацією та індексом маси тіла становить 0,526, умістом загального жиру – 0,355, вмістом вісцерального жиру – 0,435 та вмістом безжирових мас – 0,381.

3. Більшість моделей, що отримали в результаті кореляційно-регресійного аналізу, адекватні та статистично значущі. Застосування цих моделей дасть змогу прогнозувати ендотеліальну регуляцію зміни просвіту судин при зміні в організмі жирової та м'язової тканин.

**Перспективи подальших досліджень** полягають у детальнішому вивченні стану ендотелію та його активності в осіб із некомпактним умістом жирової та м'язової тканин в організмі, визначенні можливостей поліпшення його вазорегулювальної функції за допомогою нормалізації компонентного складу тіла.

## Фінансування

Дослідження виконане в рамках НДР ДВНЗ «Ужгородський національний університет»: «Функціональний стан вегетативних систем в залежності від співвідношення жирової та м'язової тканини в нормі і при патології», № держреєстрації 0118U000713.

Надійшла до редакції / Received: 14.06.2021

Після доопрацювання / Revised: 05.07.2021

Прийнято до друку / Accepted: 13.07.2021

## Відомості про авторів:

Кентеш О. П., д-р філософії, асистент каф. фізіології та патофізіології медичного факультету, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Україна.

ORCID ID: [0000-0001-6326-5178](https://orcid.org/0000-0001-6326-5178)

Немеш М. І., д-р філософії, асистент каф. фундаментальних медичних дисциплін медичного факультету № 2, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Україна.

ORCID ID: [0000-0001-8287-7225](https://orcid.org/0000-0001-8287-7225)

Паламарчук О. С., д-р філософії, асистент каф. фундаментальних медичних дисциплін медичного факультету № 2, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Україна.

ORCID ID: [0000-0002-8236-040X](https://orcid.org/0000-0002-8236-040X)

Савка Ю. М., канд. мед. наук, доцент, зав. каф. фізіології та патофізіології медичного факультету, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Україна.

ORCID ID: [0000-0003-0052-8537](https://orcid.org/0000-0003-0052-8537)

Сливка Я. І., канд. мед. наук, доцент каф. фізіології та патофізіології медичного факультету, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Україна.

ORCID ID: [0000-0002-9364-7254](https://orcid.org/0000-0002-9364-7254)

Фекета В. П., д-р біол. наук, професор, зав. каф. фундаментальних медичних дисциплін медичного факультету № 2, ДВНЗ «Ужгородський національний університет», Україна.

ORCID ID: [0000-0002-4951-4040](https://orcid.org/0000-0002-4951-4040)

## Information about authors:

Kentesh O. P., MD, PhD, Assistant of the Department of Physiology and Pathophysiology, Medical Faculty, SHEI "Uzhhorod National University", Ukraine.

Nemesh M. I., MD, PhD, Assistant of the Department of Fundamental Medical Disciplines, Medical Faculty No. 2, SHEI "Uzhhorod National University", Ukraine.

Palamarchuk O. S., MD, PhD, Assistant of the Department of Fundamental Medical Disciplines, Medical Faculty No. 2, SHEI "Uzhhorod National University", Ukraine.

Savka Yu. M., MD, PhD, Associate Professor of the Department of Physiology and Pathophysiology, Medical Faculty, SHEI "Uzhhorod National University", Ukraine.

Slyvka Ya. I., MD, PhD, Associate Professor of the Department of Physiology and Pathophysiology, Medical Faculty, SHEI "Uzhhorod National University", Ukraine.

Feketa V. P., PhD, DSc, Professor, Head of the Department of Fundamental Medical Disciplines, Medical Faculty No. 2, SHEI "Uzhhorod National University", Ukraine.

## Сведения об авторах:

Кентеш О. П., д-р философии, ассистент каф. физиологии и патофизиологии медицинского факультета, ГВУЗ «Ужгородский национальный университет», Украина.

Немеш М. И., д-р философии, ассистент каф. фундаментальных медицинских дисциплин медицинского факультета № 2, ГВУЗ «Ужгородский национальный университет», Украина.

Паламарчук О. С., д-р философии, ассистент каф. фундаментальных медицинских дисциплин медицинского факультета № 2, Украина.

Савка Ю. М., канд. мед. наук, доцент, зав. каф. физиологии и патофизиологии медицинского факультета, ГВУЗ «Ужгородский национальный университет», Украина.

Сливка Я. И., канд. мед. наук, доцент каф. физиологии и патофизиологии медицинского факультета, ГВУЗ «Ужгородский национальный университет», Украина.

Фекета В. П., д-р биол. наук, профессор, зав. каф. фундаментальных медицинских дисциплин медицинского факультета № 2, ГВУЗ «Ужгородский национальный университет», Украина.

## Список літератури

- [1] Серцево-судинні захворювання – головна причина смерті українців. Висновки з дослідження Глобального тягаря хвороб у 2019 році. Центр громадського здоров'я МОЗ України. 04 січня 2021. URL : <https://phc.org.ua/news/sercevo-sudinni-zakhvoryuvannya-golovna-prichina-smerti-ukrainciv-visnovki-z-doslidzhennya>

- [2] 2013 AHA/ACC Guideline on Lifestyle Management to Reduce Cardiovascular Risk: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines / R. H. Eckel et al. *Circulation*. 2014. Vol. 129. Issue 25. Suppl. 2. P. S76-S99. <https://doi.org/10.1161/01.cir.0000437740.48606.d1>
- [3] Ермоленко Н. О., Зарудна О. І. Надлишкова маса тіла та основні фактори, що сприяють її розвитку. *Медсестринство*. 2016. № 2. С. 38-40. <https://doi.org/10.11603/2411-1597.2016.2.7426>
- [4] Урбанович А. М. Гормони жирової тканини та їх клінічне значення. *Ендокринологія*. 2013. Т. 18. № 1. С. 69-72.
- [5] Cao H. Adipocytokines in obesity and metabolic disease. *Journal of Endocrinology*. 2014. Vol. 220. Issue 2. P. 47-59. <https://doi.org/10.1530/JOE-13-0339>
- [6] Роль липотоксичності в патогенезі сахарного діабета 2 типу і ожиріння / Ф. Р. Абдулкадірова, А. С. Аметов, Е. В. Доскіна, Р. А. Покровська. *Ожирение и метаболизм*. 2014. Т. 11. № 2. С. 8-12. <https://doi.org/10.14341/omet201428-12>
- [7] Коваленко О. М., Родіонова В. В. Корекція ендотеліальної дисфункції в терапевтичній стратегії серцево-судинної патології. *Кардіологія: от науки к практике*. 2016. № 2. С. 31-38.
- [8] Ждан В. М., Катеренчук І. П. Оптимізація корекції ендотеліальної дисфункції у пацієнтів з метаболічним синдромом у практиці сімейного лікаря. *Здобутки клінічної і експериментальної медицини*. 2014. № 1. С. 39-43.
- [9] Іванчикова С. М. Біоімпедансний аналіз компонентного складу тіла студентів університетів у процесі занять фітнесом. *Науковий часопис Національного педагогічного університету імені М. П. Драгоманова. Серія № 15. Науково-педагогічні проблеми фізичної культури (фізична культура і спорт)*. 2016. Т. 3К. № 1. С. 13-16.
- [10] Bartels E. M., Sørensen E. R., Harrison A. P. Multi-frequency bioimpedance in human muscle assessment. *Physiological Reports*. 2015. Vol. 3. Issue 4. P. e12354. <https://doi.org/10.14814/phy2.12354>
- [11] WMA Declaration of Helsinki – Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects. *World Medical Association*. 09 July 2018. URL : <https://www.wma.net/policies-post/wma-declaration-of-helsinki-ethical-principles-for-medical-research-involving-human-subjects/>
- [12] Аксьонов С. В. Ендотеліальна дисфункція та шляхи її профілактики при проведенні рентгенендоваскулярних процедур по реканалізації коронарних артерій. *Український журнал медицини, біології та спорту*. 2019. Т. 4. № 5. С. 102-108. <https://doi.org/10.26693/jmbs04.05.102>
- [13] Квашніна Л. В., Ігнатова Т. Б. Профілактика порушень ендотеліальної функції у дітей у період переходу від здоров'я до синдрому вегетативної дисфункції. *Современная педиатрия*. 2016. № 5. С. 16-24. <https://doi.org/10.15574/SP.2016.77.16>
- [14] Федонюк Л. Я. Роль дисфункції ендотелію у формуванні вад клапанів серця. *Здобутки клінічної і експериментальної медицини*. 2019. № 3. С. 40-47. <https://doi.org/10.11603/1811-2471.2019.v.i3.10507>
- [15] Неалкогольна жирова хвороба печінки як новий фактор ризику ішемічної хвороби серця / М. М. Долженко та ін. *Ліки України*. 2011. № 8. С. 73-77.
- [16] Жаринова В. Ю. Эндотелиальная дисфункция как мультидисциплинарная проблема. *Кровообіг та гемостаз*. 2015. № 1-2. С. 9-15.
- [17] The effects of stenting on shear stress: relevance to endothelial injury and repair / K. Van der Heiden et al. *Cardiovascular Research*. 2013. Vol. 99. Issue 2. P. 269-275. <https://doi.org/10.1093/cvr/cvt090>
- [5] Cao, H. (2014). Adipocytokines in obesity and metabolic disease. *Journal of Endocrinology*, 220(2), T47-T59. <https://doi.org/10.1530/JOE-13-0339>
- [6] Abdulkadirova, F. R., Ametov, A. S., Doskina, E. V., & Pokrovskaya, R. A. (2014). Rol' lipotoksichnosti v patogeneze sakharnogo diabetu 2 tipa i ozhirenii [The role of the lipotoxicity in the pathogenesis of type 2 diabetes mellitus and obesity]. *Ozhirenie i metabolizm*, 11(2), 8-12. [in Russian]. <https://doi.org/10.14341/omet201428-12>
- [7] Kovalenko, O. M., & Rodionova, V. V. (2016). Korektsiia endotelialnoi dysfunktsii v terapevtychnii strategii sercevo-sudynnoi patologii [Correction of endothelial dysfunction in therapeutic strategy for cardiovascular pathology]. *Kardiologiya: ot nauki k praktike*, (2), 31-38. [in Russian].
- [8] Zhdan, V. M., & Katerenchuk, I. P. (2014). Optymizatsiia korektsii endotelialnoi dysfunktsii u patsientiv z metabolichnym syndromom u praktysi simeinoho likaria [Optimization of endothelial function correction in patients with metabolic syndrome in family doctors practice]. *Zdobutky klinichnoi i eksperymentalnoi medytsyny*, (1), 39-43. [in Ukrainian].
- [9] Ivanchikova, S. (2016). Bioimpedansnyi analiz komponentnogo skladu tila studentiv universytetiv u protsesi zaniat fitnesom [Bioimpedance analysis component of body composition of university students in the process of fitness]. *Naukovyi chasopys Natsionalnogo pedahohichnogo universytetu imeni M. P. Drahomanova. Seriya № 15. Naukovo-pedahohichni problemy fizychnoi kultury (fizychna kultura i sport)*, 3K(1), 13-16. [in Ukrainian].
- [10] Bartels, E. M., Sørensen, E. R., & Harrison, A. P. (2015). Multi-frequency bioimpedance in human muscle assessment. *Physiological Reports*, 3(4), Article e12354. <https://doi.org/10.14814/phy2.12354>
- [11] World Medical Association. (2018, July 9). WMA Declaration of Helsinki – Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects. <https://www.wma.net/policies-post/wma-declaration-of-helsinki-ethical-principles-for-medical-research-involving-human-subjects/>
- [12] Aksenov, E. V. (2019). Endotelialna dysfunktsiia ta shliakhy yii profilyaktyky pry provedenni rethenendovaskuliarnykh protsedur po rekanalizatsii koronarnykh arterii [Endothelial Dysfunction and Ways of its Prevention during Percutaneous Coronary Interventions by Recanalization of Coronary Arteries]. *Ukrainskyi zhurnal medytsyny, biolohii ta sportu*, 4(5), 102-108. <https://doi.org/10.26693/jmbs04.05.102> [in Ukrainian].
- [13] Kvashnina, L. V., & Ignatova, T. B. (2016). Profilyaktyka porushen endotelialnoi funktsii u ditei u period perekhodu vid zdorovia do syndromu vehetatyvnoi dysfunktsii [Prophylaxis of disturbances of endothelial function within the children during transition from health to a syndrome of vegetative dysfunction]. *Sovremennaya pediatriya*, (5), 16-24. <https://doi.org/10.15574/SP.2016.77.16> [in Ukrainian].
- [14] Fedoniuk, L. Ya. (2019). Rol' dysfunktsii endoteliiu u formuvanni vad klapaniv sertsia [The role of the endothelial dysfunction in the formation of the heart valves defects]. *Zdobutky klinichnoi i eksperymentalnoi medytsyny*, (3), 40-47. <https://doi.org/10.11603/1811-2471.2019.v.i3.10507> [in Ukrainian].
- [15] Dolzhenko, M. M., Bazylevych, A. Ya., Lyymar, Yu. V., Konoplianyk, L. I., & Volosheniuk, I. O. (2011). Nealkoholna zhyrova khvoroba pechinky yak novyi faktor ryzyku ishemichnoi khvorobi sertsia [Non-alcoholic fatty liver disease as a new risk factor for coronary heart disease]. *Liky Ukrainy*, (8), 73-77. [in Ukrainian].
- [16] Zharinova, V. Yu (2015). Endotelial'naya disfunktsiya kak multydisyplinarnaya problema [Endothelial dysfunction as a multidisciplinary problem]. *Krovoobih ta hemostaz*, (1-2), 9-15. [in Russian].
- [17] Van der Heiden, K., Gijzen, F. J., Narracott, A., Hsiao, S., Halliday, I., Gunn, J., Wentzel, J. J., & Evans, P. C. (2013). The effects of stenting on shear stress: relevance to endothelial injury and repair. *Cardiovascular Research*, 99(2), 269-275. <https://doi.org/10.1093/cvr/cvt090>

## References