

УДК 616.379-008.64 : 616.833-002.001.57

# Прогнозування ризику розвитку периферичної нейропатії у пацієнтів з цукровим діабетом 2-го типу: математична модель

Саєнко Я. А., Писарук А. В., Кошель Н. М., Маньковський Б. М.

<https://doi.org/10.57105/2415-7252-2025-3-01>

## Резюме

Діабетична периферична нейропатія (ДПН) є одним з найпоширеніших і найнебезпечніших ускладнень у людей з цукровим діабетом (ЦД) 2-го типу. Мета нашої роботи — розробка математичної моделі прогнозування ризику розвитку ДПН у пацієнтів з ЦД 2-го типу. Обстежено 358 пацієнтів з ЦД 2-го у віці 30–80 років. Проаналізовані такі показники, як вік пацієнтів, вік дебюту ЦД 2-го типу і тривалість ЦД 2-го типу, рівень глікемії натще, глікованого гемоглобіну, показники ліпідогрामी, артеріальний тиск, наявність ускладнень діабету, спосіб життя, сімейний анамнез та дані про голодування батьків в 1932–33 роках. Математична модель прогнозування розвитку ДПН у пацієнтів з ЦД 2-го типу розроблена з використанням методу РОК-аналізу та множинної логістичної регресії. В результаті проведення РОК-аналізу було визначено прогностичне значення окремо для кожного з вибраних 7 основних показників. Було розроблено формулу для розрахунку ймовірності ДПН, що включає найбільш інформативні змінні з прогностичною значущістю. У формулу увійшли такі показники: вік пацієнта з ЦД 2-го типу, стать пацієнта, тривалість захворювання, ОТ/ОС, глікований гемоглобін, швидкість клубочкової фільтрації, наявність ІХС. Здійснено прогноз розвитку ДПН з використанням отриманої формули та визначено чутливість, специфічність, проведено оцінку діагностичної ефективності моделі, її прогностичної цінності. Прогноз ймовірності ДПН має високу точність ( $AUC = 0,738$  ( $0,688-0,785$ ),  $\chi^2$ -квадрат = 57,5;  $P < 0,001$ ). Ймовірність розвитку ДПН визначається моделлю з точністю 78,5 %, прогностична ефективність моделі 66,3 %. Отримані результати дозволили нам встановити статистично значущі зв'язки між вивченими факторами ризику та розвитком ДПН у осіб з ЦД 2-го типу. На основі отриманих даних ми розробили математичну модель прогнозування ризику розвитку ДПН у пацієнтів з ЦД 2-го типу, яка може бути використана у клінічній практиці.

**Ключові слова:** цукровий діабет 2-го типу, діабетична периферична нейропатія, математична модель, фактори ризику, прогнозування.

---

**Саєнко Яніна Андріївна, к. мед. н.**

Відділ вивчення вік-асоційованих кардіометаболічних захворювань, ДУ «Інститут геронтології ім. Д. Ф. Чеботарьова НАМН України», м. Київ, вул. Вишгородська, 67  
ORCID: 0000-0003-1953-1066  
E-mail: ysaenko1981@gmail.com

---

**Писарук А. В., д. мед. н., завідувач лабораторії**

Лабораторія математичного моделювання процесів старіння ДУ «Інститут геронтології ім. Д. Ф. Чеботарьова НАМН України», м. Київ, вул. Вишгородська, 67  
ORCID: 0000-0001-5522-0172  
E-mail: avpisaruk54@gmail.com

---

**Кошель Н. М., к. біол. н., провідний науковий співробітник**

Лабораторія математичного моделювання процесів старіння ДУ «Інститут геронтології ім. Д. Ф. Чеботарьова НАМН України», м. Київ, вул. Вишгородська, 67  
ORCID: 0000-0003-1429-2326  
E-mail: nkoshel11@gmail.com

---

**Маньковський Б. М., д. м. н., професор**

ДУ «Інститут геронтології ім. Д. Ф. Чеботарьова НАМН України», м. Київ, вул. Вишгородська, 67  
ORCID: 0000-0001-8289-3604

Периферична нейропатія є одним з найпоширеніших ускладнень цукрового діабету (ЦД) 2-го типу. Діабетична периферична полінейропатія (ДПН) може вражати майже 50 % осіб з ЦД 2-го типу протягом їхнього життя [1]. ДПН є одним з основних мікросудинних ускладнень ЦД 2-го типу і є основною причиною ампутації нижніх кінцівок [2, 3, 4]. Щоб запобігти цим катастрофічним ускладненням необхідна адекватна профілактика, а отже, і раннє належне діагностичне обстеження та прогнозування ризику розвитку ДПН [5]. Численні епідеміологічні дослідження однозначно показали, що на розвиток нейропатії у пацієнтів з ЦД 2-го типу впливає комплекс взаємопов'язаних факторів. Серед них особливе місце займають вік, тривалість діабету та його тяжкість, обтяжена спадковість. Це пов'язано з кумулятивним пошкодженням судинних стінок під впливом гіперглікемії та інших метаболічних порушень. Крім того, відповідну роль у розвитку пошкодження нейронів грає підвищена кількість кінцевих продуктів глікації (AGE), які значно збільшені у людей з гіперглікемічним статусом. AGE утворюються шляхом неферментативної агрегації глюкози або інших сахаридів з білками, ліпідами та нуклеотидами і мають тенденцію накопичуватися в периневрії, ендотеліальних клітинах, перицитах ендоневральних мікросудин, мієлінізованих і немієлінізованих волокнах [6, 7, 8, 9]. Тяжкість діабету, оцінювана за рівнем глікемії, глікованого гемоглобіну, наявністю ускладнень та потребою в інсулінотерапії, також є важливим фактором ризику. Декомпенсація цукрового діабету прискорює розвиток ДПН.

Прогнозування захворювань та їх ускладнень є важливим для своєчасного втручання, покращення результатів лікування та збереження здоров'я. Математичні методи прогнозування захворювань підвищують ефективність та точність прогнозу.

**Метою** нашого дослідження було розробити математичну модель, яка б дозволила прогнозувати ризик розвитку ДПН у пацієнтів з ЦД 2-го типу.

## Матеріали і методи досліджень

Дослідження виконано відповідно до вимог дотримання етичних норм та принципів Гельсінської Декларації. Всім учасникам до початку дослідження було надано детальну письмову інформацію про дослідження. Кожна особа, включена в дослідження, добровільно підписала форму згоди щодо участі у дослідженні. Обстежено 358 пацієнтів з ЦД 2-го типу у віці 30–80 років. Був проведений ретроспективний аналіз медичних карт пацієнтів з ЦД 2-го типу, які спостерігалися в клініці. Проаналізовані такі показники, як вік пацієнтів, вік дебюту і тривалість ЦД 2-го типу, рівень глікемії та глікованого гемоглобіну, показники ліпідогрामी, артеріальний тиск, наявність ускладнень діабету, спосіб життя та сімейний анамнез.

Всім обстежуваним вимірювали масу тіла та зріст за допомогою повірених електронних ваг і зростоміру, обвід талії (ОТ) та обвід стегон (ОС) вимірювали у положенні стоячи сантиметровою стрічкою, систолічний і діастолічний артеріальний тиск (САТ і ДАТ) вимірювали провіреним тонометром Omron у положенні сидячи. Індекс маси тіла (ІМТ) розраховували як відношення маси тіла у кг до квадрату зросту у метрах. Антропометрична та клінічна характеристика досліджуваних осіб наведена у табл. 1.

**Таблиця 1.** Характеристика обстежених пацієнтів із цукровим діабетом 2-го типу

Показник	M ± SD; n = 358
Вік, років	64,57 ± 11,29
Зріст, см	170,68 ± 9,50
Маса тіла, кг	95,17 ± 18,79
Індекс маси тіла, кг/м <sup>2</sup>	32,65 ± 5,83
Обвід талії (ОТ), см	109,16 ± 13,68
Обвід стегон (ОС), см	109,09 ± 12,27
ОТ/ОС	1,00 ± 0,08
Глюкоза крові натще, ммоль/л	9,59 ± 3,52
Глікований гемоглобін, %	7,75 ± 1,89
Наявність периферичної нейропатії, %	60,00

**Примітка:** M±SD — значення середнього та стандартного відхилення; категоріальна змінна представлена у %.

Отже, обстежені нами пацієнти з ЦД 2-го типу мають надмірну масу тіла (ІМТ >25) або І ступінь ожиріння (ІМТ 30–34,9 кг/м<sup>2</sup>).

Всім обстежуваним особам проводили забір венозної крові натщесерце. В сироватці крові визначали рівень загального холестерину (ХС), тригліцеридів (ТГ), ліпопротеїдів низької (ЛПНЩ), високої щільності (ЛПВЩ), креатиніну. Концентрацію глюкози в плазмі крові визначали глюкозооксидазним методом на біохімічному аналізаторі. Глікований гемоглобін визначали імунохімічним методом за допомогою автоматизованого біохімічного аналізатору Cobas. Швидкість клубочкової фільтрації (ШКФ) розраховували за формулою СКД-ЕРІ відповідно до рекомендацій KDIGO [11].

Діагностику ДПН проводили відповідно до сучасних клінічних рекомендацій з використанням стандартизованих методик, спрямованих на оцінку чутливості, функціонального стану периферичних нервів та клінічної симптоматики. Збирали детальний анамнез, пацієнти проходили опитування щодо наявності симптомів нейропатії, проводили клінічний огляд. Вібраційну чутливість оцінювали за допомогою камертону з частотою 128 Гц на медіальній поверхні великого пальця або голівці першої плеснової кістки. Больову чутливість визначали стерильною голкою, а температурну — за допомогою тип терму. Для оцінки тактильної чутливості застосовували монофіламент, прикладаючи до визначених точок стопи [12].

Для аналізу отриманих даних використані методи варіаційної статистики за допомогою програми MedCalc® Statistical Software version 19.7.2 (MedCalc Software Ltd, Ostend, Belgium; <https://www.medcalc.org>; 2021) (TRAIL-version). Розподіл даних на нормальність був проаналізований з використанням тесту Shapiro-Wilk W тест. Всі неперервні значення, що мають нормальний розподіл даних, наведені у вигляді середнього та стандартного відхилення  $M \pm SD$ . Категоріальні змінні представлені як %. Статистичні відмінності між групами неперервних змінних порівнювали за допомогою Т-критерію. Для порівняння категоріальних змінних між групами використано критерій

χ<sup>2</sup>. Відмінності середніх величин вважалися значимими при  $p < 0,05$ .

Для побудови прогностичної моделі використано методологію ROC (Receiver Operating Characteristic) аналізу для виявлення незалежних факторів, асоційованих з ризиком розвитку ДПН, приймаючи як контрольну групу хворих з ЦД2Т без ДПН. Визначали чутливість (Se), специфічність (Sp), прогностичну оцінку позитивного (ПОПР, PPV) та негативного результатів (ПОНР, NPV), площу під ROC кривою (ППК, AUC) та прогностичну ефективність моделі. Математична модель прогнозування розвитку ДПН у осіб з ЦД 2-го типу розроблена з використанням множинної логістичної регресії [10].

### Результати та їх обговорення

Згідно з отриманими даними (табл. 2), середній вік пацієнтів з ЦД 2-го типу із нейропатією був статистично значуще більшим, ніж вік пацієнтів без ДПН. Це цілком зрозуміло, тому що вік сам по собі є важливим фактором ризику розвитку ДПН. Крім того, як видно з отриманих даних, у пацієнтів з ЦД 2-го типу з ДПН тривалість захворювання на ЦД 2-го типу достовірно більша. Чим довше протікає захворювання, тим більше виражені зміни набувають нервові волокна, що сприяє розвитку ДПН.

У обстежених осіб з ЦД 2-го типу з ДПН захворювання протікає важче, у них відмічався вищий рівень глюкози та глікованого гемоглобіну в крові (табл. 2). Збільшення співвідношення талія/стегна у пацієнтів з ДПН свідчить про розвиток центрального ожиріння внаслідок метаболічних розладів. У осіб з ЦД 2-го типу у поєднанні з ДПН також достовірно вищий рівень креатиніну у плазмі крові та знижена швидкість клубочкової фільтрації, що свідчить про ураження нирок.

В табл. 3 приведена частота зустрічаємості відомих факторів ризику ЦД 2-го типу та його ускладнень в залежності від наявності ДПН.

Як видно з отриманих даних (табл. 3) у осіб з ЦД 2-го типу у поєднанні з ДПН частіше мають місце такі ускладнення ЦД 2-го типу як хронічна хвороба нирок, ішемічна хвороба серця (ІХС) та серцева недо-

**Таблиця 2.** Середні значення клінічних та лабораторних показників у людей із цукровим діабетом 2-го типу в залежності від наявності діабетичної периферичної полінейропатії

Показники	ЦД2Т без ДПН M ± SD; n = 139	ЦД2Т з ДПН M ± SD; n = 219
Вік, років	62,4 ± 12,49	65,95 ± 10,25 *
Вік дебюту ЦД2Т, років	54,46 ± 11,74	53,77 ± 10,85
Тривалість ЦД2Т, років	7,79 ± 7,05	11,92 ± 7,95 *
Маса тіла, кг	96,61 ± 20,18	94,25 ± 17,84
Індекс маси тіла, кг/м <sup>2</sup>	33,35 ± 5,9	32,2 ± 5,75
Обвід талії (ОТ), см	108,64 ± 13,59	109,49 ± 13,76
Обвід стегон (ОС), см	110,24 ± 11,95	108,33 ± 12,45
ОТ/ОС	0,99 ± 0,09	1,01 ± 0,07 *
САТ, мм рт. ст.	139,32 ± 17,92	137,08 ± 18,48
ДАТ, мм рт. ст.	86,53 ± 12,33	83,11 ± 11,69 *
Глюкоза крові натще, ммоль/л	8,95 ± 3,27	10,01 ± 3,61 *
Глікований гемоглобін, %	7,37 ± 1,86	7,99 ± 1,87 *
Холестерин, моль/л	5,31 ± 1,51	4,96 ± 1,69
ЛПВЩ, моль/л	1,27 ± 0,46	1,2 ± 0,52
ЛПНЩ, моль/л	3,25 ± 1,11	3,1 ± 1,13
Тригліцериди, моль/л	1,99 ± 1,3	2,13 ± 1,37
Креатинін в плазмі крові, мкмоль/л	98,03 ± 32,75	111,24 ± 64,02 *
ШКФ, мл/хв/1,73см <sup>2</sup>	72,32 ± 18,88	65,56 ± 19,62 *

**Примітки:** M±SD — значення середнього та стандартного відхилення; \* — p < 0,05 у порівнянні з групою ЦД2Т без ДПН. ДПН — діабетична периферична полінейропатія, ЦД2Т — цукровий діабет 2-го типу, ОТ — обвід талії, ОС — обвід стегон, ХС ЛПВЩ — холестерин ліпопротеїдів високої щільності, ХС ЛПНЩ — холестерин ліпопротеїдів низької щільності, ШКФ — швидкість клубочкової фільтрації.

**Таблиця 3.** Частота (%) факторів ризику цукрового діабету 2-го типу та його ускладнень в залежності від наявності діабетичної периферичної полінейропатії

Показники	ЦД2Т без ДПН n = 139	ЦД2Т з ДПН n = 219
Частота ЦД2Т у батька	12	13
Частота ЦД2Т у матері	18	19
Частота ЦД2Т у сибсів	11	13
Батько голодував в 1932-33 роках	33	42
Мати голодувала в 1932-33 роках	34	43
Вища освіта	54	54
Куріння	17	15
Вживання алкоголю	51	44
Дотримання дієти	60	49 *
Хронічна хвороба нирок	24	41 *
Ішемічна хвороба серця	31,0	48,0 *
Артеріальна гіпертензія	86,0	88,0
Серцева недостатність	77,0	87,0 *

**Примітки:** \* — p < 0,05 у порівнянні з групою ЦД2Т без ДПН. ДПН — діабетична периферична полінейропатія, ЦД2Т — цукровий діабет 2-го типу.

статність. Вони рідше дотримуються дієти. Все ці фактори сприяють розвитку ДПН.

### Математична модель прогнозування ризику розвитку діабетичної периферичної полінейропатії

Отримані дані було використано для розробки прогностичної математичної моделі, що дозволяє оцінити ризик розвитку ДПН у людини з ЦД 2-го типу. В результаті проведення РОК-аналізу були обрані показники з максимальними значеннями чутливості та специфічності для диференціації пацієнтів з високою або низькою ймовірністю ДПН. Використано методологію ROC (Receiver Operating Characteristic) аналізу з побудовою кривої, яка характеризує залежність кількості вірно діагнованих позитивних випадків від кількості невірно діагнованих негативних випадків. Оцінку адекватності отриманої моделі та характеристику якості діагностичного тесту проводили за коефіцієнтом AUC (Area Under Curve) та її шкали значень.

Як критерій інформативності моделі було використано площу під ROC-кривою (c-statistic, діапазон значень — від 0 до 1). Якщо площа під кривою значно перевищує 0,5 — це свідчить про те, що збільшені значення показника є інформативними у передбаченні ДПН; значення 0,7–0,8 вказують на добру інформативність; показник із площею під ROC-кривою 0,8–1,0 належать до високоінформативних, може використовуватись самостійно в медичному тестуванні; значення нижчі за 0,50 вказують, відповідно, на низьку інформативність показника.

Для комплексної оцінки прогнозу ДПН у пацієнтів з ЦД 2-го типу нами була застосована множинна логістична регресія. В результаті проведення логістичної регресії з використанням 7 показників було отримано формулу визначення ймовірності ДПН.

$$Y(1,0) = 0,008 \times \text{Вік, роки} - 0,552 \times \text{Стать} + 0,073 \times \text{Тривалість діабету, роки} + 3,601 \times \text{ОТ/ОС} - 0,017 \times \text{ШКФ} + 0,180 \times \text{Глікований гемоглобін, \%} + 0,363 \times \text{Наявність ІХС} - 3,975$$

де: стать: 1 — чоловік, 2 — жінка;  
ІХС: 0 — немає, 1 — є.

Модель має хорошу прогностичну силу, про що свідчить оцінка визначення ймовірності ДПН (AUC = 0,738 (0,688–0,785)), хі-квадрат = 57,54; P < 0,001). Загальна точність моделі дорівнює 68,3 %. Приналежність до групи 0 «Немає ризику розвитку ДПН» визначається моделлю з точністю 52,3 %, а приналежність до групи 1 «Є ризик ДПН» — з точністю 78,5 %. Хі-квадрат являє собою міру того, наскільки сильно незалежні змінні впливають на залежну змінну. Показники «Стать», «Глікований гемоглобін», «Тривалість діабету», «ОТ/ОС», «ШКФ» достовірно увійшли в формулу, інші показники — «Вік», «Наявність ІХС» слабо дискримінують залежну змінну «ДПН» (табл. 4).

Зазвичай, при використанні формули застосовують логістичне перетворення, в результаті якого значення розрахованої ймовірності ДПН коливатиметься в діапазоні від 0 до 1. Якщо для пацієнта отримали значення

**Таблиця 4.** Характеристика показників, що увійшли в формулу визначення ймовірності діабетичної периферичної полінейропатії

Показник	Коефіцієнт	Стандартна похибка	Тест Вальда	P
Вік, роки	0,008	0,014	0,37	0,545
Стать	-0,552	0,280	3,87	0,049
Тривалість діабету, роки	0,073	0,021	12,45	0,000
ОТ/ОС	3,601	1,808	3,97	0,046
Глікований гемоглобін, %	0,180	0,071	6,43	0,011
ШКФ, мл/хв/1,73см <sup>2</sup>	-0,017	0,008	4,82	0,028
Наявність ІХС	0,363	0,260	1,94	0,163
Константа	-3,975	2,388	2,77	0,096

**Примітки:** ОТ — обвід талії, ОС — обвід стегон, ШКФ — швидкість клубочкової фільтрації, ІХС — ішемічна хвороба серця.

близьке до 1, це означає високу ймовірність наявності ДПН, інакше, коли результати розрахунку прямують до 0, це буде вказувати на низьку ймовірність наявності хвороби.

#### Формула логістичного перетворення

Застосовуючи формулу логістичного перетворення, отримуємо значення ймовірності виникнення ДПН в діапазоні від 0 (низька ймовірність) до 1 (висока ймовірність).

Для перевірки отриманої нами формули

$$P = \frac{1}{1 + e^{-y}}$$

де  $e$  — константа 2,71.

застосували РОК-аналіз до результатів розрахованого (за вищенаведеною формулою) прогнозу ДПН у обстежених осіб з ЦД 2-го типу та визначили чутливість, специфічність, провели оцінку прогностичної ефективності моделі (табл. 5). Прогноз ймовірності ДПН має високу точність ( $z = 6,94$ ;  $P < 0,001$ ,  $AUC = 0,697$  (0,646–0,744)).

**Таблиця 5.** Характеристика РОК-кривої для прогностичної моделі ризику розвитку діабетичної периферичної полінейропатії

Площа під ROC-кривою (AUC)	0,697
Стандартна похибка	0,029
95% довірчий інтервал	0,646-0,764
z статистика	6,94
P (Area=0,5)	<0,001

**Таблиця 6.** Прогностичні показники моделі у передбаченні діабетичної периферичної полінейропатії

Критеріальне значення	> 0,517
Чутливість, %	57,8
95 % довірчий інтервал чутливості	50,9–64,4
Специфічність, %	74,64
95 % довірчий інтервал специфічності	66,5–81,7
Площа під ROC-кривою (AUC)	0,697
P	< 0,0001

Ймовірність ДПН визначається моделлю з точністю 57,8 % (чутливість, %) (табл. 6). Прогностична ефективність (ПЕ) моделі 68,3 %, прогноз позитивного результату здійснено на рівні 78,3 % (табл. 7). Отже, можемо з ймовірністю, яка перевищує 70 %, прогнозувати наявність ДПН у пацієнта з ЦД 2-го типу, застосовуючи розроблену модель.

снено на рівні 78,3 % (табл. 7). Отже, можемо з ймовірністю, яка перевищує 70 %, прогнозувати наявність ДПН у пацієнта з ЦД 2-го типу, застосовуючи розроблену модель.

**Таблиця 7.** Прогностична ефективність моделі у передбаченні діабетичної периферичної полінейропатії

Точність, або прогностична ефективність моделі	68,3
Прогностична оцінка позитивного результату (ПОПР), %	78,3
95 % довірчий інтервал ПОПР	72,6–83,0
Прогностична оцінка негативного результату (ПОНР), %	52,8
95 % довірчий інтервал ПОНР	48,2–57,4

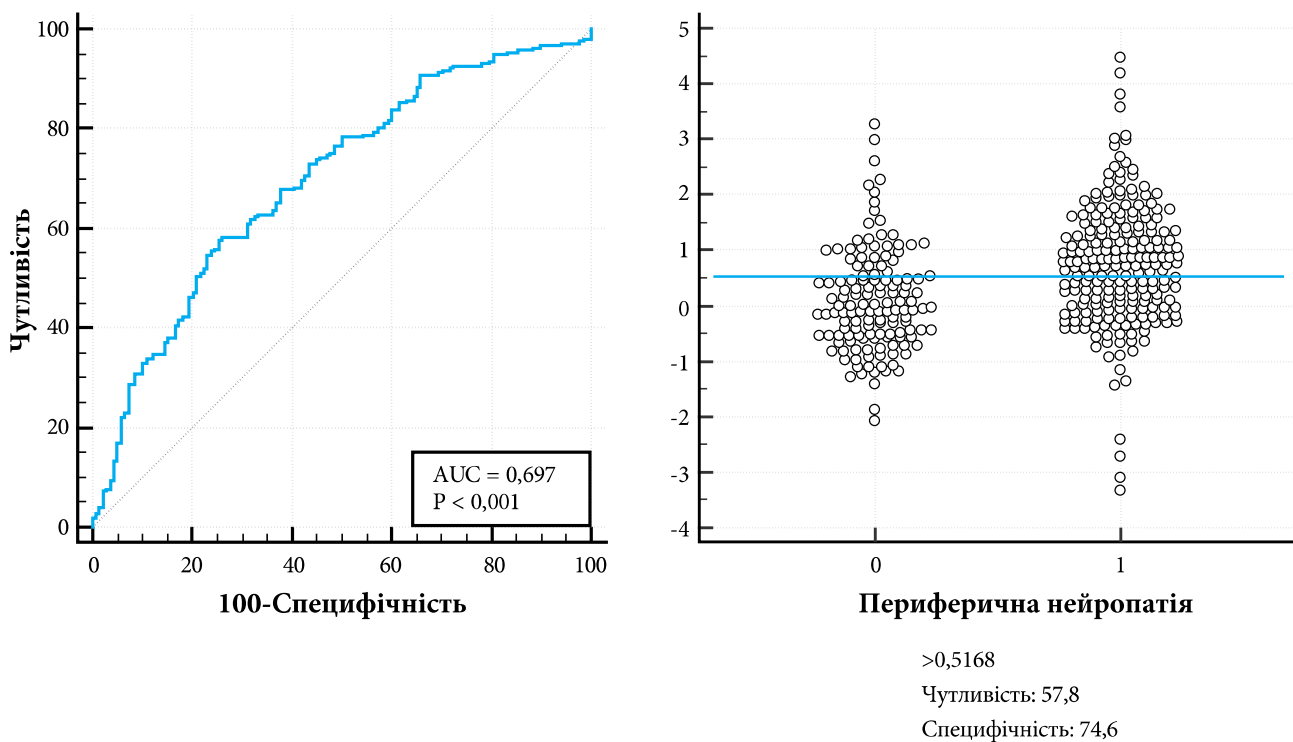
**Примітки:** ПОПР — прогностична оцінка позитивного результату, ПОНР — прогностична оцінка негативного результату.

На рисунку 1 представлено графік ROC-кривої та критичного рівня для результатів розрахунку за прогностичною формулою, який демонструє достатню точність прогнозування ДПН у пацієнтів з ЦД 2-го типу.

## Висновки

Таким чином, отримані результати дозволили нам встановити статистично значущі зв'язки між вивченими факторами ризику та розвитком ДПН у осіб з ЦД 2-го типу. Так, головними факторами, від яких залежить ризик розвитку ДПН у пацієнтів з ЦД 2-го типу, були: вік і стать пацієнтів, тривалість і тяжкість хвороби (показник глікованого гемоглобіну), знижена функція нирок (ШКФ), наявність центрального ожиріння та ІХС. На основі отриманих даних ми розробили математичну модель прогнозування ризику розвитку ДПН у пацієнтів з ЦД 2-го типу. Перевірка прогностичної моделі показала її достатню для клінічної практики інформативність. Застосування математичних моделей до прогнозування ДПН у пацієнтів з ЦД 2-го типу має важливе значення для персоналізованої медицини.

**Особистий внесок:** Саєнко Я. А. — обстеження пацієнтів, створення електронної бази даних, аналіз даних, написання рукопису; Писарук А. В. — аналіз та інтерпре-



**Рис. 1.** Графік ROC-кривої та критичного рівня для результатів розрахунку за прогностичною формулою

**Примітки:** AUC — площа під ROC-кривою, яка демонструє точність прогнозування ДПН у осіб з ЦД 2-го типу (група 1) порівняно з ЦД 2-го типу без ДПН (група 0); Sensitivity — чутливість моделі, Specificity — специфічність моделі, >0,517 — критичний рівень.

тація даних, написання рукопису; Кошель Н. М. — статистичний аналіз даних; Маньковський Б. М. — ідея дослідження, редагування рукопису.

**Конфлікт інтересів.** Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів та власної фінансової зацікавленості при підготовці даної статті.

**Інформація про фінансування.** Стаття підготовлена в рамках бюджетного фінансування НАМН України науково-дослідницької роботи Відділу вивчення вік асоційованих кардіометаболічних захворювань ДУ «Інститут геронтології ім. Д. Ф. Чеботарьова НАМН України» на тему «Дослідження фенотипічних і генетичних факторів, особливостей клінічного перебігу вік асоційованих кардіометаболічних захворювань, та їх впливу на розвиток ускладнень», Державний реєстраційний номер: 0124U004408 та в рамках проведення клінічного дослідження докторантом кафедри терапії, вік асоційованих захворювань та діабетоло-

гії Національного університету охорони здоров'я України ім. П. Л. Шупика к. мед. н. Саєнко Я. А.

**Декларація з етики:** автори задекларували відсутність конфлікту інтересів і фінансових зобов'язань.

#### Література

1. Pop-Busui, R.; Ang, L.; Boulton, A.J.M.; Feldman, E.L.; Marcus, R.L.; Mizokami-Stout, K.; Robinson Singleton, J.; Ziegler, D. Diagnosis and Treatment of Painful Diabetic Peripheral Neuropathy. *ADA Clin. Compend.* 2022, 2022, 1–32. doi.org/10.2337/db2022-01.
2. Selvarajah, D.; Kar, D.; Khunti, K.; Davies, M.J.; Scott, A.R.; Walker, J.; Tesfaye, S. Diabetic peripheral neuropathy: Advances in diagnosis and strategies for screening and early intervention. *Lancet Diabetes Endocrinol.* 2019, 7, 938–948. doi: 10.1016/S2213-8587(19)30081-6.
3. Wu, B.; Wan, X.; Ma, J. Cost-effectiveness of prevention and management of diabetic foot ulcer and amputation in a health resource-limited setting. *J. Diabetes* 2018, 10, 320–327. doi.org/10.1111/1753-0407.12612.
4. Sasso, F.C.; Carbonara, O.; Persico, M.; Iafusco, D.; Salvatore, T.; D'Ambrosio, R.; Torella, R.; Cozzolino, D. Irbesartan reduces the albumin excretion rate in microalbuminuric type 2 diabetic patients independently of hypertension: A randomized double-blind placebo-controlled crossover study. *Diabetes Care* 2002, 25, 1909–1913. doi.org/10.2337/diacare.25.11.1909.
5. Sasso, F.C.; Pafundi, P.C.; Gelso, A.; Bono, V.; Costagliola, C.; Marfella, R.; Sardu, C.; Rinaldi, L.; Galiero, R.; Acierio, C.; et al. Relationship between albuminuric CKD and diabetic retinopa-

- thy in a real-world setting of type 2 diabetes: Findings from No blind study. *Nutr. Metab. Cardiovasc. Dis.* 2019, 29, 923–930. doi.org/10.1016/j.numecd.2019.05.065.
6. Thornalley, P.J. Glycation in diabetic neuropathy: Characteristics, consequences, causes, and therapeutic options. *Int. Rev. Neurobiol.* 2002, 50, 37–57. doi.org/10.1016/S0074-7742(02)50072-6.
  7. Metz CE. Basic principles of ROC analysis. *Semin Nucl Med.* 1978;8(4):283–98. https://doi.org/10.1016/s00012998(78)80014-2
  8. Salvatore T, Pafundi, P.C.; Morgillo, F.; Di Liello, R.; Galiero, R.; Nevola, R.; Marfella, R.; Monaco, L.; Rinaldi, L.; Adinolfi, L.E.; et al. Metformin: An old drug against old age and associated morbidities. *Diabetes Res. Clin. Pract.* 2020, 160, 108025. /doi.org/10.1016/j.diabres.2020.108025.
  9. Huang JX, Liao YF, Li YM. Clinical features and microvascular complications risk factors of early-onset type 2 diabetes mellitus. *Curr Med Sci.* 2019 39(5):754–8. doi: 10.1007/s11596-019-2102-7.
  10. Ulrich, P.; Cerami, A. Protein glycation, diabetes, and aging. *Recent Prog. Horm. Res.* 2001, 56, 1–21.
  11. KDIGO Clinical Practice Guidelines. Kidney Disease: Improving Global Outcomes. Clinical Practice Guideline for the Evaluation and Management of Chronic Kidney Disease. *Kidney Int Suppl* 2013; 3(1): 1–150.
  12. Маньковський Б.М. Діабетична нейропатія: від голови до кінчиків пальців. - Київ: Віра Проджект, 2017. – 448 ст.

## Prediction of peripheral neuropathy risk in patients with type 2 diabetes mellitus: a mathematical model

Saienko Y.A., Koshel N.M., Pysaruk A.V., Mankovsky B.M.  
D.F. Chebotarev Institute of Gerontology of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine

### Abstract

Diabetic peripheral neuropathy (DPN) is one of the most prevalent and life-threatening complications in individuals with type 2 diabetes mellitus (T2DM). The aim of this study was to develop a mathematical model for predicting the risk of PN in patients with T2DM. A total of 358 patients with T2DM, aged 30–80 years, were examined. The following parameters were analyzed: patient age, age at T2DM onset, disease duration, fasting glucose levels, glycosylated hemoglobin levels, lipid profile parameters, blood pressure, presence of diabetic complications. The predictive mathematical model for DPN development in T2DM patients was constructed using receiver operating characteristic (ROC) analysis and multiple logistic regression. ROC analysis identified the prognostic value of each of the seven key independent variables, which do not depend on the patient's current health status and can be considered independent at the time of DPN diagnosis. Formula for calculating DPN probability was developed, incorporating the most informative variables with predictive significance. These included the patient's age, T2DM duration, presence of chronic kidney disease, paternal history of T2DM, maternal famine exposure during pregnancy, rural residence, and patient sex. The developed formula was used to predict DPN risk, and its sensitivity, specificity, and diagnostic performance were evaluated. The model demonstrated high predictive accuracy (AUC = 0.738 [0.688–0.785], chi-square = 57.5;  $P < 0.001$ ). The probability of neuropathy development was determined with an accuracy of 78.5%, and the model's predictive efficiency was 66.3%. The obtained results allowed us to establish statistically significant associations between the studied risk factors and DPN development in T2DM patients. Based on these findings, we have developed a mathematical model for predicting DPN risk in T2DM patients, which can be implemented in clinical practice.

**Key words:** type 2 diabetes mellitus, diabetic peripheral neuropathy, mathematical model, risk factors, prediction