

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ АРТЕРІАЛЬНОЇ ГІПЕРТЕНЗІЇ НА ОСНОВІ КОМПЛЕКСНОГО ЗАСТОСУВАННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ МЕТОДИК ІЗ РОЗРОБКОЮ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНО-ДІАГНОСТИЧНИХ КРИТЕРІЇВ ПРИ НАДАННІ ПЕРВИННОЇ МЕДИЧНОЇ ДОПОМОГИ

В. П. Марценюк, П. Р. Сельський¹, Б. П. Сельський¹

Університет Бельсько-Бялої, Республіка Польща

*¹ДВНЗ «Тернопільський державний медичний університет
імені І. Я. Горбачевського МОЗ України»*

У роботі запропоновано оптимізацію прогнозування розвитку захворювань на первинному рівні надання медико-санітарної допомоги з комплексним поетапним застосуванням інформаційних методик. Проведено аналіз середніх значень показників, коефіцієнтів кореляції, результатів багатопараметричної нейромережної кластеризації, ROC-аналізу і дерева рішень.

Як дані для аналізу використані результати обстеження 63 пацієнтів з артеріальною гіпертензією в навчально-практичних центрах первинної медико-санітарної допомоги. Встановлено, що нейромережна кластеризація дозволяє ефективно і об'єктивно розподілити пацієнтів у відповідні категорії за рівнем середніх показників результатів обстеження. Визначення чутливості і специфічності показників гемодинаміки, зокрема артеріального тиску, при первинному і повторному обстеженні проведено за допомогою ROC-аналізу.

Розроблено діагностичні критерії для оптимізації прогнозування розвитку захворювань на первинному рівні з метою корекції обстеження і лікування на основі аналізу показників обстеження хворих з комплексним поетапним застосуванням інформаційних методик.

Ключові слова: первинний рівень медико-санітарної допомоги, артеріальна гіпертензія, інформаційні методики, алгоритм прийняття рішень, нейромережна кластеризація, ROC-аналіз, дерево рішень.

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАЗВИТИЯ АРТЕРИАЛЬНОЙ ГИПЕРТЕНЗИИ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНОГО ПРИМЕНЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ МЕТОДИК С РАЗРАБОТКОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНО-ДИАГНОСТИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ ПРИ ОКАЗАНИИ ПЕРВИЧНОЙ МЕДИЦИНСКОЙ ПОМОЩИ

В. П. Марценюк, П. Р. Сельський¹, Б. П. Сельський¹

Університет Бельсько-Бялої, Республіка Польща

*¹ГВУЗ «Тернопольский государственный медицинский университет
имени И. Я. Горбачевского МОЗ Украины»*

В работе предложена оптимизация прогнозирования развития заболеваний на первичном уровне предоставления медико-санитарной помощи с комплексным поэтапным применением информационных методик. Подход основан на анализе средних значений показателей, коэффициентов корреляции, использовании многопараметрической нейросетевой кластеризации и ROC-анализа.

В качестве данных для анализа использованы результаты обследования 63 пациентов с артериальной гипертензией в учебно-практических центрах первичной медико-санитарной помощи. Установлено, что нейросетевая кластеризация позволяет эффективно и объективно распределить пациентов в соответствующие категории по уровню средних показателей результатов обследования. Определение чувствительности и специфичности показателей гемодинамики, в частности артериального давления, при первичном и повторном обследовании проведено с помощью ROC-анализа.

Разработаны диагностические критерии для оптимизации прогнозирования развития заболеваний на первичном уровне с целью коррекции обследования и лечения на основе анализа показателей обследования больных с комплексным поэтапным применением информационных методик.

Ключевые слова: первичный уровень медико-санитарной помощи, артериальная гипертензия, информационные методики, алгоритм принятия решений, нейросетевая кластеризация, ROC-анализ, дерево решений.

THE OPTIMIZATION OF HYPERTENSION DEVELOPMENT FORECASTING ON THE BASIS OF COMPREHENSIVE APPLICATION OF INFORMATION TECHNIQUES TO THE DEVELOPMENT OF DIFFERENTIAL DIAGNOSTIC CRITERIA FOR PRIMARY CARE

V. P. Martsenyuk, P. R. Selsky¹, B. P. Selsky¹

University of Bielsko-Biala, the Republic of Poland

¹I. Ya. Horbachevsky Ternopil Medical State University of Ministry of Health of Ukraine

The paper describes the optimization of the prediction of disease at the primary health care level with a complex phased application of information techniques. The approach is based on analysis of the average values of indicators, correlation coefficients, using multi-parameter neural network clustering, ROC-analysis and decision tree.

The data of 63 patients with arterial hypertension obtained at teaching and practical centers of primary health care were used for the analysis. It has been established that neural network clusterization can effectively and objectively allocate patients into the appropriate categories according to the level of average indices of patient examination results. Determination of the sensitivity and specificity of hemodynamic parameters, including blood pressure, and repeated during the initial survey was conducted using ROC-analysis.

The diagnostic criteria of decision-making were developed to optimize the prediction of disease at the primary level in order to adjust examination procedures and treatment based on the analysis of indicators of patient examination with a complex gradual application of information procedures.

Key words: the primary health care level, hypertension, information methods decision algorithm, neural network clustering, ROC-analysis, decision tree.

Вступ. Застосування інформаційних технологій та інформаційних систем у медицині набуває все більшого значення [3, 4]. Ціла низка досліджень спрямована на вирішення проблем впровадження інноваційних медичних інформаційних технологій [1, 8]. Однак невирішеною залишається проблема інформатизації у сільській медицині. При цьому для підвищення ефективності первинної медичної допомоги важливим є оптимізація прогнозування перебігу захворювань з використанням недорогих і доступних інформаційних методик.

Мета роботи: проаналізувати результати обстеження пацієнтів з артеріальною гіпертензією на основі кореляційних показників, багатопараметричної нейромережної кластеризації та ROC-аналізу і розробити діагностичні критерії для оптимізації прогнозування перебігу захворювань при наданні первинної медико-санітарної допомоги.

Матеріали та методи дослідження. Проведено комплексний аналіз результатів обстеження 63 хворих з артеріальною гіпертензією у навчально-практичних центрах первинної медико-санітарної допомоги (НПЦ ПМСП) сіл Гнилиці і Зарубинці Тернопільській області [2]. Групу контролю становили 19 жителів даних населених пунктів, у яких не зафіксовано жодної патології. Статистична обробка матеріалу була проведена з використанням пакету програм Microsoft Excel (Microsoft Office 2003). Статистична значимість відмінностей між середніми арифметичними і відносними величина-

ми оцінювалася за критерієм Стюдента – Фішера (t). При порівнянні однотипних груп проводився кореляційний аналіз з урахуванням коефіцієнта кореляції (r) за допомогою методу квадратів Пірсона.

Для більш глибокого аналізу показників обстеження з метою прогнозування перебігу захворювання використаний нейромережний підхід із застосуванням надбудови NeuroXL Classifier для програми Microsoft Excel. Програма NeuroXL Classifier (розробка компанії AnalyzerXL) реалізує самоорганізаційні нейромережі, що виконують категоріювання шляхом вивчення трендів і взаємозв'язків усередині даних. Не зважаючи на високу ефективність, нейромережі часто не використовуються в силу своєї складності і тривалого навчання, необхідного для їх правильної реалізації. NeuroXL Classifier усуває такі бар'єри, приховуючи складність методів на основі нейромереж і використовуючи переваги робочих книг Microsoft Excel [5, 6].

Для оптимізації прогнозування захворювань на первинному рівні використано також аналіз класифікацій із застосуванням ROC-кривих. ROC-крива (англ. receiver operating characteristic – операційна характеристика приймача) – графік, що дозволяє оцінити якість бінарної класифікації, який відображає співвідношення між часткою вірних позитивних класифікацій від загального числа позитивних класифікацій (англ. true positive rate – TPR) і часткою помилкових позитивних класифікацій від

загального числа негативних класифікацій (англ. false positive rate – FPR) при варіюванні порогу вирішального правила. При цьому TPR називають чутливістю (sensitivity) алгоритму класифікації, а FPR визначають як 1-специфічність (1-specificity). Відповідно, специфічність (specificity) алгоритму класифікації називають частку вірних негативних класифікацій (англ. true negative rate – TNR) від загального числа негативних класифікацій. Інтерпретацію ROC-аналізу дає показник AUC (англ. area under ROC curve – площа під ROC-кривою) – площа, обмежена ROC-кривою та віссю частки помилкових позитивних класифікацій. По суті, цей показник є мірою якості класифікатора [7].

Результати та їх обговорення. Всього було обстежено 63 хворих, серед яких 15 чоловіків і 48 жінок. Пересічний вік хворих становив $(64,30 \pm 1,81)$ років. Пересічне значення положення електричної осі серця склало $(37,83 \pm 1,92)^\circ$. Пересічний показник пульсу становив $(78,24 \pm 1,15)$ ударів за хвилину. При першому зверненні пацієнтів показники артеріального тиску були наступними: систолічний – $(154,76 \pm 2,29)$ мм рт. ст., діастолічний – $(92,94 \pm 1,04)$ мм рт. ст., пульсовий тиск – $(61,83 \pm 1,95)$ мм рт. ст. Середній показник пульсу – $(78,59 \pm 1,07)$ ударів за хвилину і пульсовий тиск – $(57,06 \pm 1,57)$ мм рт. ст. при повторному обстеженні статистично не різнилися ($p > 0,05$). Показники верхнього і нижнього артеріального тиску були значно нижчі в порівнянні з аналогічними показниками до лікування: систолічний – $(145,86 \pm 2,01)$ мм рт. ст. ($p < 0,01$), діастолічний – $(88,49 \pm 1,08)$ мм рт. ст. ($p < 0,001$). У 13 (19,40 %) хворих спостігалось погіршення стану і розвиток ускладнень. При першому і повторному обстеженні виявлено прямий кореляційний зв'язок між показниками пульсу (+0,5), верхнього (+0,1), нижнього (+0,4) і пульсового (+0,1) тиску.

При обстеженні групи 50 пацієнтів із стабільним перебігом захворювання (табл. 1) встановлено, що серед них переважали жінки – $(72,00 \pm 6,35)$ %. Пересічний вік хворих дорівнював $(63,76 \pm 1,80)$ років. Пересічне значення положення електричної осі серця було нормальним і становило $(37,72 \pm 2,00)^\circ$. Пересічний показник пульсу дорівнював $(77,28 \pm 1,17)$ ударів за хвилину. Показники артеріального тиску при першому зверненні пацієнтів були наступними: систолічний – $(155,80 \pm 2,29)$ мм рт. ст., діастолічний – $(93,10 \pm 1,01)$ мм рт. ст., пульсовий тиск – $(62,70 \pm 1,95)$ мм рт. ст. При повторному обстеженні пересічний показник пульсу

– $(78,62 \pm 1,07)$ ударів за хвилину статистично не різнився від аналогічного показника, отриманого при першому обстеженні ($p > 0,05$). Показники артеріального тиску були значно нижчими, порівняно з аналогічними показниками до лікування: систолічний – $(145,28 \pm 1,84)$ мм рт. ст. ($p < 0,01$), діастолічний – $(88,30 \pm 1,04)$ мм рт. ст. ($p < 0,01$) та пульсовий тиск – $(56,60 \pm 1,36)$ мм рт. ст. ($p < 0,05$).

Проводили також порівняльний аналіз групи пацієнтів із погіршенням стану, яке визначали на основі таких проявів, як встановлені при обстеженні і зафіксовані в діагнозі тяжча стадія чи ступінь розвитку захворювання, або поява ускладнень. Встановлено, що у цій групі також переважали жінки – $(92,31 \pm 7,69)$ %, проте ця частка була достовірно вищою, порівняно з групою із стабільним перебігом захворювання ($p < 0,05$). Пересічний вік хворих суттєво не різнився і дорівнював $(66,38 \pm 3,74)$ років. Пересічне значення положення електричної осі серця було нормальним – $(38,23 \pm 2,67)^\circ$ і також суттєво не різнилося. Пересічний показник пульсу був значно вищий ($p < 0,05$), порівняно з групою із стабільним перебігом, і дорівнював $(81,92 \pm 1,64)$ ударів за хвилину. Інші показники гемодинаміки не різнилися, порівняно з аналогічними показниками при стабільному перебігу хвороби ($p > 0,05$). Показники артеріального тиску при першому зверненні пацієнтів були наступними: систолічний – $(150,77 \pm 4,28)$ мм рт. ст., діастолічний – $(92,31 \pm 2,40)$ мм рт. ст., пульсовий тиск – $(58,46 \pm 3,74)$ мм рт. ст. При повторному обстеженні пересічний показник пульсу – $(78,46 \pm 2,20)$ ударів за хвилину статистично не різнився ($p > 0,05$). Не різнилися, порівняно з аналогічними показниками до лікування, і показники артеріального тиску: систолічний – $(148,08 \pm 5,51)$ мм рт. ст., діастолічний – $(89,23 \pm 2,49)$ мм рт. ст. та пульсовий тиск – $(58,85 \pm 4,86)$ мм рт. ст. ($p > 0,05$).

Кореляційний аналіз виявив прямий кореляційний зв'язок між показниками гемодинаміки при першому та повторному обстеженні пацієнтів у групах із стабільним перебігом (пульс + 0,5, артеріальний тиск: діастолічний + 0,3, пульсовий + 0,1) та з погіршенням стану (пульс + 0,6, артеріальний тиск: систолічний + 0,5, діастолічний + 0,7, пульсовий + 0,3).

Порівняльний аналіз результатів обстеження пацієнтів з артеріальною гіпертензією в НПЦ ПМСП на основі середніх значень і кореляційних показників виявив статистично достовірну відмінність частоти пульсу в групах зі стабільним перебігом

Таблиця 1

Показники обстеження пацієнтів з гіпертензією в групах із стабільним перебігом та з погіршенням стану у НПЦ ПМСД с. Гнилиці та с. Зарубинці, (M ± m)

Група пацієнтів	Кількість обстежених, n	Вік, років	Положення електричної осі, °	Показник гемодинаміки							
				перше звернення				повторне обстеження в процесі лікування			
				пульс, ударів/хв	АТ, мм рт. ст.			пульс, ударів/хв	АТ, мм рт. ст.		
					систоличний	діастолічний	пульсовий		систоличний	діастолічний	пульсовий
Стабільний перебіг	50	63,8 ±1,8	37,7 ±2,0	77,3 ±1,2	155,8 ±2,3	93,1 ±1,0	62,7 ±2,0	78,6 ±1,1	145,3 ±1,8**	88,3 ±1,0**	56,6 ±1,4*
Погіршення стану, розвиток ускладнень	13	66,4 ±3,7	38,2 ±2,7	81,9 ±1,6****	150,8 ±4,3	92,3 ±2,4	58,5 ±3,7	78,5 ±2,2	148,1 ±5,5	89,2 ±2,5	58,9 ±4,9
Загальна група	63	64,3 ±1,8	37,8 ±1,9	78,2 ±1,2	154,8 ±2,3	92,9 ±1,0	61,8 ±2,0	78,6 ±1,1	145,9 ±2,0**	88,5 ±1,1***	57,1 ±1,6

Примітки: 1. * – $p < 0,05$, ** – $p < 0,01$, *** – $p < 0,001$ порівняно з першим зверненням; 2. **** – $p < 0,05$ порівняно з групою із стабільним перебігом

хвороби та погіршенням стану. Встановлено, що рівень тахікардії є істотним вихідним показником, який вказує на велику ймовірність погіршення стану і, зокрема, розвиток ускладнень. При цьому виявлений прямий кореляційний зв'язок між переважною більшістю показників гемодинаміки при першому і повторному обстеженні пацієнтів у всіх групах з артеріальною гіпертензією свідчить про значення зміни частоти пульсу і артеріального тиску як об'єктивних маркерів перебігу захворювання, а, отже, і ефективності лікування. Водночас з'ясовано, що аналіз на підставі середніх значень

і обчислення коефіцієнтів кореляції середніх значень показників віку, положення електричної осі серця, низки гемодинамічних показників є первинним інструментом, який не дає змогу встановити значення поєднаних зміни тих чи інших параметрів для прогнозування перебігу захворювання у бік погіршення або поліпшення. В той же час, ефективно й об'єктивно розподілити пацієнтів у відповідні категорії дозволяє нейромережна кластеризація.

На рис. 1 а, б наведено деякі результати виконання програми для пацієнтів з артеріальною гіпертензією. Найбільша частка пацієнтів виявилась у 5-му

кластері. Цей кластер сформовано з найбільшої частки пацієнтів із погіршенням стану, порівняно з 1–4-м кластерами. Аналіз кластерних портретів (1 а) виявив, що саме поєднання високих показників артеріального тиску (систоличного (max),

діастолічного (min) і пульсового (d)) дає підставу прогнозувати погіршення стану пацієнтів, тоді як поєднання високих показників віку (Age) і пульсу (Ps) має істотне, проте не першорядне значення для прогнозу.

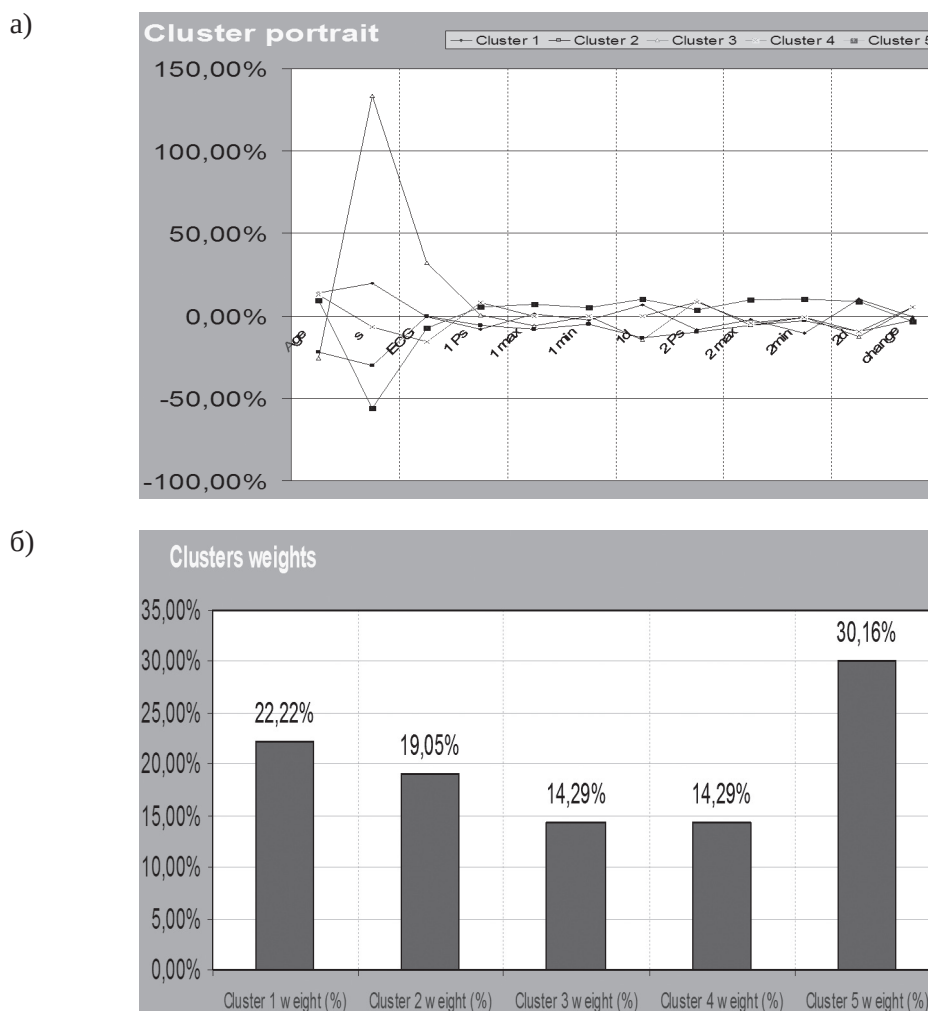


Рис. 1. Результати кластеризації хворих з артеріальною гіпертензією за результатами обстеження у НПЦ ПМСД: а) кластерний портрет – значення параметрів, включно із показниками гемодинаміки при першому та повторно-му обстеженнях, в межах розподілених кластерів; б) частки кластерів – відсотки пацієнтів, які потрапили у певний кластер

Проведено визначення чутливості і специфічності показників гемодинаміки, зокрема артеріального тиску, при первинному і повторному обстеженні. З метою дослідження даних показників як маркерів включення в групи ризику погіршення стану і розвитку ускладнень у хворих з артеріальною гіпертензією проведено ROC-аналіз. Встановлено, що при прогнозуванні перебігу артеріальної гіпертензії на основі поєднаних змін показників артеріального тиску як маркерів включення в групу ризику погіршення стану і розвитку ускладнень до-

цільно використовувати дані обстеження до початку лікування. При цьому ROC-аналіз результатів дослідження показників систолічного і пульсового артеріального тиску показав більшу чутливість при первинному обстеженні хворих в порівнянні з повторним. Аналіз пульсового артеріального тиску виявив також переважання на більшості рівнів показників специфічності при первинному обстеженні. Відповідно, площа, обмежена ROC-кривою і віссю частки помилкових позитивних класифікацій, була більшою при обстеженні до

призначеного лікування, що вказує на високу якість даного класифікатора. В той же час на більшості рівнів систолічного і діастолічного артеріального тиску показники специфічності не різнилися за результатами першого та другого обстежень. Введення методики ROC-аналізу для прогнозування перебігу захворювань при наданні первинної медичної допомоги з метою визначення чутливості і специфічності досліджуваних показників у різні періоди і за різними методиками є перспективним, враховуючи доступність і простоту у використанні.

На підставі комплексного поетапного дослідження гемодинамічних показників при первинному і повторному обстеженнях (в процесі лікування) на основі середніх значень, обчислення коефіцієнтів кореляції та використання нейромережних алгоритмів і ROC-аналізу виділено клінічні диференціально-діагностичні критерії включення до групи ризику погіршення стану та розвитку ускладнень хворих з артеріальною гіпертензією (табл. 2).

Клінічні диференціально-діагностичні критерії груп із стабільним перебігом та ризиком погіршення стану і розвитку ускладнень на основі комплексного аналізу гемодинамічних показників пацієнтів з артеріальною гіпертензією за допомогою інформаційних методик

Ці критерії можуть допомогти практикуючим лікарям в оптимізації прогнозування погіршення стану та розвитку ускладнень у хворих з артеріальною гіпертензією з метою корекції діагностики та лікування.

Висновки. В роботі запропонована методика аналізу результатів обстеження пацієнтів з артеріальною гіпертензією у навчально-практичних центрах первинної медико-санітарної допомоги на основі середніх значень, кореляційних показників, алгоритмів нейромережної кластеризації і ROC-аналізу.

З метою ефективного та об'єктивного розподілу пацієнтів у відповідні категорії за рівнем показників результатів обстеження застосована

Таблиця 2

Клінічні диференціально-діагностичні критерії груп із стабільним перебігом та ризиком погіршення стану і розвитку ускладнень на основі комплексного аналізу гемодинамічних показників пацієнтів з артеріальною гіпертензією за допомогою інформаційних методик

Група пацієнтів	Показник гемодинаміки при першому обстеженні				Відмінність між показниками артеріального тиску при першому і повторному обстеженнях, мм рт. ст.		
	пульс, ударів / хв	артеріальний тиск, мм рт.ст.			систолічний	діастолічний	пульсовий
		систолічний	діастолічний	пульсовий			
Стабільний перебіг	77,3 ±1,2	155,8 ±2,3	93,1 ±1,0	62,7 ±2,0	≥ 11	≥ 5	≥ 6
Погіршення стану	82,0 ±1,6	150,8 ±4,3	92,3 ±2,4	58,5 ±3,7	≤ 3	≤ 3	0

нейромережна кластеризація. Визначення чутливості і специфічності показників гемодинаміки, зокрема артеріального тиску, при первинному і повторному обстеженні проведено за допомогою ROC-аналізу.

Принципи розробки диференціально-діагностичних критеріїв включення до групи ризику розвитку ускладнень хворих з артеріальною гіпертензією на основі поетапного комплексного застосування інформаційних методик можуть бути використані і щодо інших захворювань у конкретному регіоні при наданні медичної допомоги сільським мешканцям.

Перспективним є подальше дослідження доступних та простих у використанні інформаційних методик, упровадження яких не потребує великих фінансових затрат, для підвищення ефективності надання первинної медико-санітарної допомоги у сільській місцевості.

Література.

1. Востров Г. Н. Інформаційна модель надання дистанційних медичних послуг населенню. Перше повідомлення / Г. Н. Востров, О. П. Мінцер, О. О. Павлов // Медична інформатика та інженерія. – 2010. – № 3. – С. 37–47.
2. Ковальчук Л. Я. Результати реалізації новітніх методик навчального процесу в Тернопільському державному медичному університеті імені І. Я. Горбачевського та плани на майбутнє / Л. Я. Ковальчук // Медична освіта. – 2012. – № 2. – С. 11–17.
3. Концепція інформатизації охорони здоров'я України / О. П. Мінцер, Ю. В. Вороненко, Л. Ю. Бабінцева [та ін.] // Медична інформатика та інженерія. – 2012. – № 3. – С. 5–29.
4. Марценюк В. П. Інформаційна система управління якістю підготовки фахівців у вищій медичній освіті / В. П. Марценюк, П. Р. Сельський. – Тернопіль : ТДМУ. – 2015. – 312 с.
5. Марценюк В. П. Нейромережеве прогнозування складання студентами-медиками ліцензійного інтегрованого іспиту «Крок 1» на основі результатів поточної успішності та семестрового комплексного тестового іспиту / В. П. Марценюк, А. В. Семенець, О. О. Стаханська // Медична інформатика та інженерія. – 2010. – № 2. – С. 57–62.
6. Bishop C. M. Neural Networks for Pattern Recognition / C. M. Bishop. – Oxford : Oxford University Press, 1995. – 504 p.
7. Hanley J. A. Sampling variability of nonparametric estimates of the areas under receiver operating characteristic curves: an update / J. A. Hanley, K. O. Hajian-Tilaki // Academic Radiology. – 1997. – Vol. 4. – P. 49–58.
8. Measuring patient-centered communication in patient-physician consultations: theoretical and practical issues / R. M. Epstein, P. Franks, K. Fiscella [et al.] // Soc. Sci. Med. – 2005. – No. 61. – P. 1516–1528.

References.

1. Vostrov, G. N. Mintser, O. P., Pavlov, O. O. (2010). Informatsiina model' nadannya distantsiinikh medichnikh poslug naseleennyu. Pershe povidomlennya [Information model of remote medical services. The first report]. Medichna informatika ta inzheneriya (Medical informatics and engineering), 3, 37-47 [In Ukrainian].
2. Koval'chuk, L. Ya. (2012). Rezul'tati realizatsii novitnikh metodik navchal'nogo protsesu v Ternopil's'komu derzhavnomu medichnomu universiteti imeni I. Ya. Gorbachevs'kogo ta plani na maibutnie [The results of the implementation of the latest techniques of the educational process in the Ternopil State Medical University, and plans for the future]. Medichna osvita (Medical education), 2, 11-17 [In Ukrainian].
3. Mintser, O. P., Voronenko, Yu. V., Babintseva, L. Yu., Banchuk, M. V., Krasnov, V. V., Denisenko, S. V., Azarkhov, O. Yu., Shupyats'kii, I. M. (2012). Kontsepsiya informatizatsii okhoroni zdorov'ya Ukraini [Of health informatization concept]. Medichna informatika ta inzheneriya (Medical informatics and engineering), 3, 5-29 [In Ukrainian].
4. Martsenyuk, V. P., Sel's'kii, P. R. (2015). Informatsiina sistema upravlinnya yakistyu pidgotovki fakhivtsiv u vishchii medichnii osviti [Information quality management system of training of specialists in higher medical education]. Ternopil': TDMU [In Ukrainian].
5. Martsenyuk, V. P., Semenets', A. V., Stakhans'ka, O. O. (2010). Neiromerezheve prognuzuvannya skladannya studentami-medikami litsenziinogo integrovanogo ispitu «Krok 1» na osnovi rezul'tativ potочної uspishnosti ta semestrovogo kompleksnogo testovogo ispitu [Neural network forecasting of putting medical students of the license integrated examination «Step 1» on the basis of current progress and integrated semester test examination]. Medichna informatika ta inzheneriya (Medical informatics and engineering), 2, 57-62 [In Ukrainian].
6. Bishop, C. M. (1995). Neural networks for pattern recognition. Oxford: Oxford University Press,
7. Hanley, J. A., Hajian-Tilaki, K. O. (1997). Sampling variability of nonparametric estimates of the areas under receiver operating characteristic curves: an update. Academic Radiology, 4(1), 49-58.
8. Epstein, R. M., Franks, P., Fiscella, K., Shields, C. G., Meldrum, S. C., Kravitz, R. L., Duberstein, P. R. (2005). Measuring patient-centered communication in patient-physician consultations: theoretical and practical issues. Soc. Sci. Med., 61(7), 1516-1528. doi: 10.1016/j.socscimed.2005.02.001