

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОКАЗНИКІВ ГЕМОДИНАМІКИ В ЯКОСТІ МАРКЕРІВ ВКЛЮЧЕННЯ ДО ГРУП РИЗИКУ РОЗВИТКУ УСКЛАДНЕНЬ У ХВОРИХ З ГІПЕРТЕНЗІЄЮ: АНАЛІЗ НА ОСНОВІ ROC-КРИВОЇ

П. Р. Сельський

*ДВНЗ "Тернопільський державний медичний університет імені І. Я. Горбачевського"*

В роботі запропоновано методику оптимізації прогнозування розвитку захворювань на первинному рівні надання медичної допомоги. В якості маркерів включення до груп ризику погіршення стану та розвитку ускладнень у хворих з гіпертензією досліджено показники гемодинаміки при первинному та повторному обстеженнях. Підхід ґрунтується на аналізі ROC-кривих.

**Ключові слова:** первинний рівень, гіпертензія, прогнозування захворювання, ROC-криві.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГЕМОДИНАМИКИ В КАЧЕСТВЕ МАРКЕРОВ ВКЛЮЧЕНИЯ В ГРУППЫ РИСКА РАЗВИТИЯ ОСЛОЖНЕНИЙ У БОЛЬНЫХ С ГИПЕРТЕНЗИЕЙ: АНАЛИЗ НА ОСНОВЕ ROC- КРИВОЙ

П. Р. Сельський

*ГБУЗ "Тернопольский государственный медицинский университет  
имени И. Я. Горбачевского"*

В работе предложена методика оптимизации прогнозирования развития заболеваний на первичном уровне оказания медицинской помощи. В качестве маркеров включения в группы риска ухудшения состояния и развития осложнений у больных с артериальной гипертензией исследованы показатели гемодинамики при первичном и повторном обследованиях. Подход основан на анализе ROC-кривых.

**Ключевые слова:** первичный уровень, гипертензия, прогнозирование заболевания, ROC-кривые.

## RESULTS OF THE HEMODYNAMIC INDICES INVESTIGATION AS TOKEN INCLUSION TO VULNERABLE GROUPS OF DEVELOPING THE PROGRESSION IN PATIENTS WITH HYPERTENSION: ANALYSIS BASED ON THE ROC-CURVE

*SHEI "Ternopil State Medical University by I.Ya. Horbachevsky"*

The paper suggests an optimization method for the developing disease prognosis at the primary health care level. The hemodynamic indices in primary and re-examination as token inclusion to vulnerable groups of health deterioration and developing the progression in patients with hypertension have been investigated. An approach is based on the analysis of ROC-curves.

**Key words:** the primary health care level, hypertension, the disease prognosis, ROC-curves.

**Вступ.** Ефективна інформатизація роботи сільських лікувальних закладів дає можливість суттєво підвищити якість надання медичних послуг [1]. Численні дослідження спрямовані на вирішення технологічних проблем впровадження новітніх технологій [2, 3, 4], проте не до кінця вирішеною залишається проблема їх використання у сільській медицині та відповідної

підготовки висококваліфікованих спеціалістів. При цьому важливою є оптимізація прогнозування захворювань на первинному рівні з метою корекції обстеження та лікування із застосуванням недорогих та простих у використанні інформаційних методик.

**Метою роботи** є запропонувати методику оптимізації прогнозування перебігу захворювання у хво-

рих з гіпертензією за допомогою ROC-аналізу результатів дослідження показників гемодинаміки при первинному та повторному обстеженнях.

**Матеріали і методи.** В якості даних для аналізу використано результати обстеження 63 пацієнтів з гіпертензією у навчально-практичних центрах первинної медико-санітарної допомоги (НПЦПМСД), відкритих у селах Гнилиці та Зарубинці Тернопільської області [3], внесених у базу програми "Реєстрація" протягом 2011 та 2012 років. У 30 (79,37 %) хворих спостерігали стабільний перебіг хвороби, а у 13 (20,63 %) виявили погіршення стану та розвиток ускладнень. Здійснювали дослідження показників пульсу та артеріального тиску за результатами першого (первинного, до призначеного лікування) та другого (повторного, в процесі лікування) обстежень хворих. Статистичну обробку матеріалу проводили з використанням пакета програм "Microsoft EXCEL" (Microsoft Office 2003).

З метою оптимізації прогнозування перебігу захворювання у хворих з гіпертензією використано аналіз за допомогою ROC-кривих. Дана методика була вперше використана в теорії обробки сигналів у США під час Другої світової війни для підвищення якості розпізнавання об'єктів супротивника за радіолокаційним сигналом [6]. Згодом широке застосування ROC-криві отримали і в медичній діагностиці. Ця крива відома також як крива помилок. Аналіз класифікацій із застосуванням ROC-кривих називається ROC-аналізом. ROC-крива (англ. receiver operating characteristic, операційна характеристика приймача) - графік, що дозволяє оцінити якість бінарної класифікації та відображає співвідношення між часткою вірних позитивних класифікацій від загального числа позитивних класифікацій (англ. true positive rate - TPR) з 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 (true negative rate - TNR) від загального числа негативних класифікацій. Інтерпретацію ROC дає показник AUC (англ. area under ROC curve, площа під ROC-кривою) - площа, обмежена ROC-кривою і віссю частки помилкових позитивних класифікацій. По суті, даний показник є мірою якості класифікатора [7,8].

**Результати й обговорення.** Визначено 10 рівнів пульсу, від 55 до 100 ударів / хв (з кроком у 5 ударів / хв) за результатами першого та другого обстежень хворих з артеріальною гіпертензією. На кожному рівні (табл. 1) визначали TPR (чутливість) показників пульсу за формулою:  $TPR = TP / TP + FN$ , де TP (true positive) - кількість хворих із стабільним перебігом захворювання, показник пульсу у яких дорівнював чи перевищував відповідний рівень, FN (false negative) - кількість хворих із стабільним перебігом захворювання, показник пульсу у яких був нижчим відповідного рівня. TNR (специфічність) показників пульсу визначали за формулою:  $TNR = TN / TN + FP$ , де TN (true negative) - кількість хворих із погіршенням стану та розвитком ускладнень, показник пульсу у яких дорівнював чи перевищував відповідний рівень, FP (false positive) - кількість хворих із стабільним перебігом захворювання, показник пульсу у яких був нижчим відповідного рівня.

**Таблиця 1.** Порівняльний аналіз чутливості і специфічності показників пульсу при першому та другому обстеженнях в якості маркерів включення до групи ризику погіршення стану та розвитку ускладнень у пацієнтів з гіпертензією

Показники пульсу (n = 63)			Кількість хворих із стабільним перебігом (n = 50)		Кількість хворих із погіршенням стану та розвитком ускладнень (n = 13)		Чутливість		Специфічність	
рівень пульсу (кількість уд./хв)	кількість хворих									
	1 обсте- ження	2 обсте- ження	1 обсте- ження	2 обсте- ження	1 обсте- ження	2 обсте- ження	1 обсте- ження	2 обсте- ження	1 обсте- ження	2 обсте- ження
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
≥ 55 (+)	63	63	50	50	13	13	1,00	1,00	0,00	0,00
< 55 (-)	0	0	0	0	0	0				
≥ 60	58	62	45	49	13	13	0,90	0,98	0,00	0,00
< 60	5	1	5	1	0	0				
≥ 65	57	59	44	47	13	12	0,88	0,94	0,00	0,08
< 65	6	4	6	3	0	1				

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
≥ 70	55	54	42	42	13	12	0,84	0,84	0,00	0,08
< 70	8	9	8	8	0	1				
≥ 75	50	43	38	33	12	10	0,76	0,66	0,08	0,23
< 75	13	20	12	17	1	3				
≥ 80	28	34	20	27	8	7	0,40	0,54	0,38	0,46
< 80	35	29	30	33	5	6				
≥ 85	13	18	8	15	5	3	0,16	0,30	0,62	0,77
< 85	50	45	42	35	8	10				
≥ 90	6	6	4	6	2	0	0,08	0,12	0,85	1,00
< 90	57	57	46	44	11	13				
≥ 95	2	1	2	1	0	0	0,04	0,02	1,00	1,00
< 95	61	62	48	49	13	13				
≥ 100	1	0	1	0	0	0	0,02	0,00	1,00	1,00
< 100	62	63	49	50	13	13				

Порівняльний аналіз виявив переважання показників чутливості за результатами визначення показників пульсу при другому обстеженні, порівняно з першим, як маркерів включення до груп ризику розвитку ускладнень пацієнтів з гіпертензією на переважній більшості рівнів. Лише на 2 та 12 рівнях показники чутливості при першому обстеженні переважали. Виявлялось і переважання показників специфічності

за результатами другого обстеження, порівняно з першим, на переважній більшості рівнів. На двох перших та двох останніх рівнях дані показники не відрізнялись.

З метою набору масивів даних для побудови ROC-кривих проводили визначення показників TPR (чутливість) та FPR (1-специфічність) за результатами першого та другого обстежень на кожному рівні (табл. 2).

**Таблиця 2.** Показники TPR (чутливості) та FPR (1-специфічності) за рівнями пульсу при першому та другому обстеженнях хворих з гіпертензією

№ за/п	Рівень пульсу (кількість уд./хв)	1 обстеження		2 обстеження	
		чутливість	1-специфічність	чутливість	1-специфічність
1	55	1,0	1,0	1,00	1,0
2	60	0,90	1,0	0,98	1,0
3	65	0,88	1,0	0,94	0,92
4	70	0,84	1,0	0,84	0,92
5	75	0,76	0,92	0,66	0,77
6	80	0,40	0,62	0,54	0,54
7	85	0,16	0,38	0,30	0,23
8	90	0,08	0,15	0,12	0
9	95	0,04	0	0,02	0
10	100	0,02	0	0	0

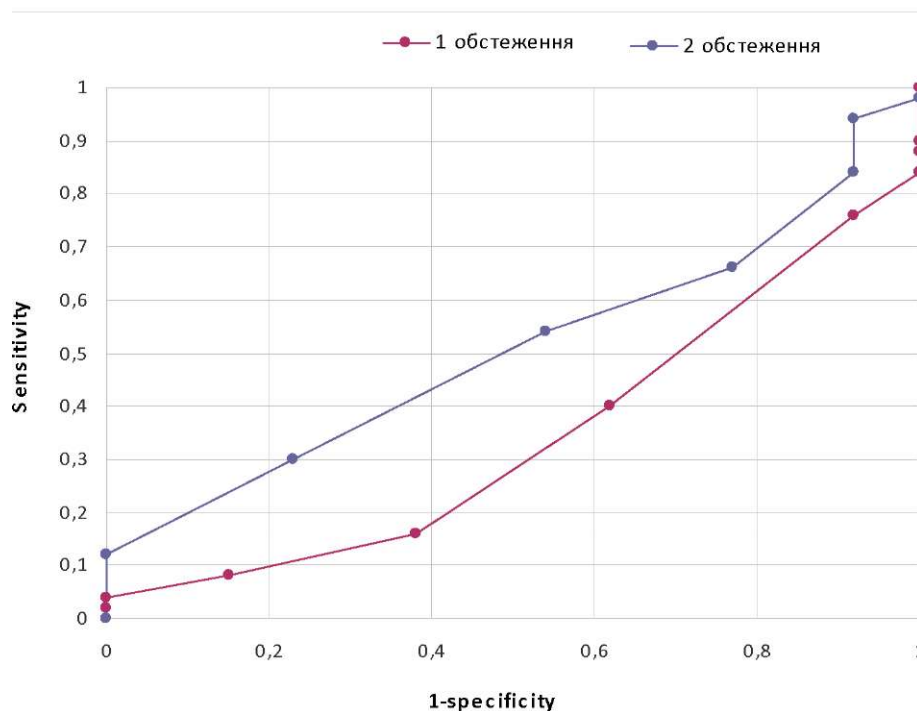
ЯОС-аналіз результатів дослідження показників пульсу при першому та другому обстеженнях хворих з гіпертензією в якості маркерів включення до груп ризику погіршення стану та розвитку ускладнень (рис. 1) показав більшу специфічність та чутливість показників при обстеженні в процесі лікування. Площа, обмежена ЯОС-кривою і віссю частки помилкових позитивних класифікацій більша при даному обстеженні, порівняно з першим, що показує на вищу якість даного класифікатора.

Визначено 13 рівнів верхнього (систоличного) артеріального тиску від 110 мм рт. ст. до 230 мм рт. ст. (з

кроком у 10 мм рт. ст.) за результатами першого та другого обстежень пацієнтів з гіпертензією. На кожному рівні (табл. 3) визначали TPR (чутливість) показників артеріального тиску за формулою:  $TPR = TP / TP + FN$ , де TP (true positive) - кількість хворих із стабільним перебігом захворювання, показник артеріального тиску у яких дорівнював чи перевищував відповідний рівень, FN (false negative) - кількість хворих із стабільним перебігом захворювання, показник артеріального тиску у яких був нижчим відповідного рівня. TNR (специфічність) показників артеріального тиску визначали за формулою:  $TNR = TN / TN + FP$ , де TN (true negative)

- кількість хворих із погіршенням стану та розвитком ускладнень, показник артеріального тиску у яких дорівнював чи перевищував відповідний рівень, FP (false

positive) - кількість хворих із стабільним перебігом захворювання, показник артеріального тиску у яких був нижчим відповідного рівня.



**Рис. 1.** ЯОЄ-аналіз результатів дослідження показників пульсу при першому та другому обстеженнях в якості маркерів включення до групи ризику погіршення стану та розвитку ускладнень у пацієнтів з гіпертензією.

**Таблиця 3.** Порівняльний аналіз чутливості і специфічності показників верхнього артеріального тиску при першому та другому обстеженнях в якості маркерів включення до групи ризику погіршення стану та розвитку ускладнень у пацієнтів з гіпертензією

Показники пульсу (n = 63)			Кількість хворих із стабільним перебігом (n = 50)		Кількість хворих із погіршенням стану та розвитком ускладнень (n = 13)		Чутливість		Специфічність	
рівень тиску (мм.рт.ст.)	кількість хворих		1 обстеження	2 обстеження	1 обстеження	2 обстеження	1 обстеження	2 обстеження	1 обстеження	2 обстеження
	1 обстеження	2 обстеження								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
≥ 110 (+)	63	63	50	50	13	13	1,00	1,00	0,00	0,00
< 110 (-)	0	0	0	0	0	0				
≥ 120	63	61	50	48	13	13	1,00	0,96	0,00	0,00
< 120	0	2	0	2	0	0				
≥ 130	63	59	50	47	13	12	1,00	0,94	0,00	0,08
< 130	0	4	0	3	0	1				
≥ 140	58	44	46	36	12	8	0,92	0,72	0,08	0,38
< 140	5	19	4	14	1	5				
≥ 150	42	30	35	23	7	7	0,70	0,46	0,46	0,46
< 150	21	33	15	27	6	6				
≥ 160	27	21	22	15	5	6	0,44	0,30	0,62	0,54
< 160	36	42	28	35	8	7				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
≥ 170	9	5	8	3	1	2	0,16	0,06	0,92	0,85
< 170	54	58	42	47	12	11				
≥ 180	8	2	7	1	1	1	0,14	0,02	0,92	0,92
< 180	55	61	43	49	12	12				
≥ 190	4	0	4	0	0	0	0,08	0,00	1,00	1,00
< 190	59	63	46	50	13	13				
≥ 200	2	0	2	0	0	0	0,04	0,00	1,00	1,00
< 200	61	63	48	50	13	13				
≥ 210	1	0	1	0	0	0	0,02	0,00	1,00	1,00
< 210	62	63	59	50	13	13				
≥ 220	1	0	1	0	0	0	0,02	0,00	1,00	1,00
< 220	62	63	59	50	13	13				
≥ 230	1	0	1	0	0	0	0,02	0,00	1,00	1,00
< 230	62	63	59	50	13	13				

Порівняльний аналіз виявив переважання показників чутливості за результатами визначення показників верхнього артеріального тиску при обстеженні до призначеного лікування, порівняно із обстеженням в процесі лікування, як маркерів включення до груп ризику розвитку ускладнень пацієнтів з гіпертензією на переважній більшості рівнів. Лише на 1 рівні показники чутливості не різнилися при першому та другому обстеженнях.

Показники специфічності на більшості рівнів (1, 2, 5, 8-13 рівні) не різнилися за результатами першого та другого обстежень. На 3 та 4 рівнях більш специфічним було друге, а на 6 і 7 - перше обстеження.

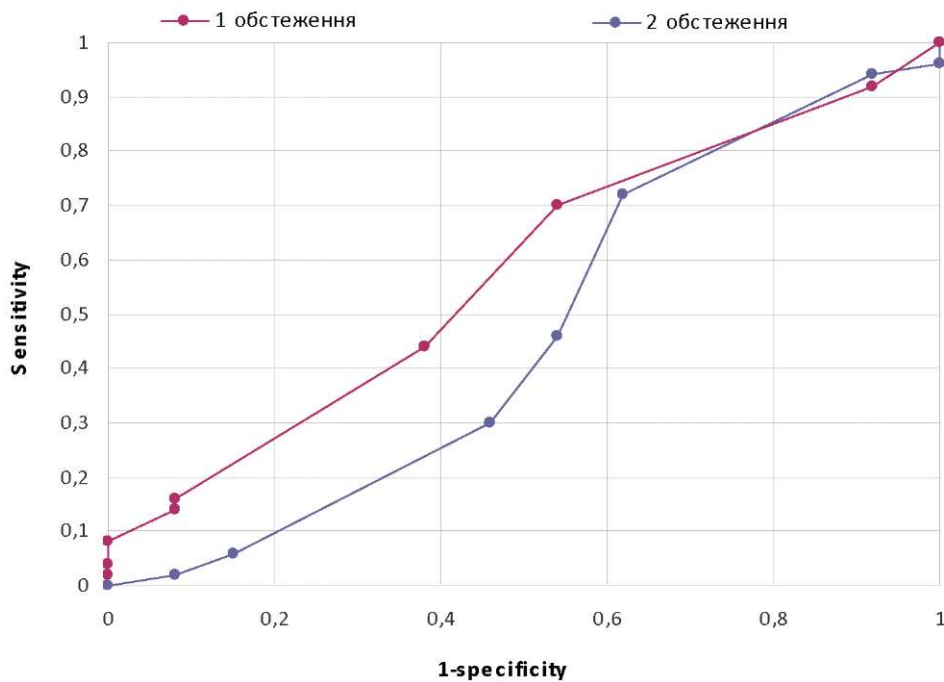
З метою набору масивів даних для побудови ЯОС-кривих визначено показники TPR (чутливість) та FPR (1-специфічність) на кожному рівні артеріального тиску (табл. 4).

**Таблиця 4.** Показники ТРЯ (чутливості) та БРЯ (1-специфічності) за рівнями верхнього артеріального тиску при першому та другому обстеженнях хворих з гіпертензією

№ за/п	Рівень верхнього артеріального тиску (мм рт. ст.)	1 обстеження		2 обстеження	
		чутливість	1-специфічність	чутливість	1-специфічність
1	110	1,00	1,00	1,00	1,00
2	120	1,00	1,00	0,96	1,00
3	130	1,00	1,00	0,94	0,92
4	140	0,92	0,92	0,72	0,62
5	150	0,70	0,54	0,46	0,54
6	160	0,44	0,38	0,30	0,46
7	170	0,16	0,08	0,06	0,15
8	180	0,14	0,08	0,02	0,08
9	190	0,08	0,00	0,00	0,00
10	200	0,04	0,00	0,00	0,00
11	210	0,02	0,00	0,00	0,00
12	220	0,02	0,00	0,00	0,00
13	230	0,02	0,00	0,00	0,00

ЯОС-аналіз результатів дослідження показників верхнього артеріального тиску у пацієнтів з гіпертензією в якості маркерів включення до групи ризику погіршення стану та розвитку ускладнень (рис. 2) показав більшу специфічність та чутливість показ-

ників при першому обстеженні хворих. Площа, обмежена ROC-кривою і віссю частки помилкових позитивних класифікацій, була більшою при першому обстеженні, порівняно з другим, що показує на вищу якість даного класифікатора.



**Рис. 2.** ЯОС-аналіз результатів дослідження показників верхнього артеріального тиску при першому та повторному обстеженнях в якості маркерів включення до групи ризику погіршення стану та розвитку ускладнень у хворих з гіпертензією

**Висновки.** В роботі запропоновано метод оптимізації прогнозування перебігу захворювання на первинному рівні на основі комплексного аналізу гемодинамічних показників при першому (до призначеного лікування) та другому обстеженнях (в процесі лікування) хворих з гіпертензією шляхом аналізу ROC-кривих.

З'ясовано, що показники рівня пульсу при обстеженні в процесі лікування є більш чутливими та специфічними в якості маркерів включення до групи ризику розвитку ускладнень та погіршення стану при гіпертензії, порівняно з первинним обстеженням. Площа, обмежена ROC-кривою і віссю частки помилкових позитивних класифікацій, була більшою при повторному обстеженні, що показує вищу якість даного класифікатора.

При прогнозуванні перебігу гіпертензії на основі

показників артеріального тиску в якості маркерів включення до групи ризику погіршення стану та розвитку ускладнень доцільніше використовувати дані обстеження до призначеного лікування. При цьому

ROC-аналіз результатів дослідження показників верхнього артеріального тиску показав більшу чутливість при первинному обстеженні хворих. Водночас на більшості рівнів артеріального тиску показники специфічності не різнилися за результатами першого та другого обстежень.

**Перспективи подальших досліджень.** Перспективним є запровадження методики ROC-аналізу для прогнозування перебігу захворювань на первинному рівні надання медичної допомоги з метою визначення чутливості та специфічності досліджуваних показників у різні періоди та за різними методиками, зважаючи на доступність та простоту у використанні.

#### Література

1. Концепция информатизации здравоохранения в Украине / О. П. Минцер, Ю. В. Вороненко, Л. Ю. Бабинцева [и др.] // Медична інформатика та інженерія. - 2012. - № 3. - С. 5-29.
2. 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. - Vol. 61. - P. 1516-1528.

3 Марценюк В. П. О программной среде проектирования интеллектуальных медицинских баз данных / В. П. Марценюк, Н. О. Кравец // Клиническая информатика и телемедицина - 2004. - № 1. - С. 47-53.

## МЕДИЧНА ІНФОРМАТИКА ТА ІНЖЕНЕРІЯ

4. Інформаційна модель надання дистанційних медичних послуг населенню. Перше повідомлення / Г. Н. Востров, О. П. Мінцер, О. О. Павлов [та ін.] // Медична інформатика та інженерія. - 2010. - №3. - С. 37-47.
5. 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.
6. Signal detection theory and psychophysics. — New York, NY: John Wiley and Sons Inc., 1966.
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. Hilgers R. A. Distribution-free confidence bounds for ROC curves / R. A. Hilgers // Methods of Information in Medicine. - 1991. - Vol. 30. - P. 96-101.