

DOI: 10.26693/jmbs04.04.200

УДК 616.71-74.2+ 004.652.4+004.827

Черненко В. М.¹, Любченко О. В.², Кочина М. Л.³

СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕННЯ ЛІКАРЕМ ЩОДО ВИБОРУ МЕТОДА ДЕНТАЛЬНОЇ ІМПЛАНТАЦІЇ

¹Сумський державний університет, Україна

²Харківська медична академія післядипломної освіти, Україна

³Чорноморський національний університет імені Петра Могили, Миколаїв, Україна

kochinaml@gmail.com

Метою роботи було розроблення системи підтримки прийняття рішень лікарем щодо вибору методу дентальної імплантації.

При проведенні дентальної імплантації у лікаря виникає питання вибору оптимального її методу, що залежить від наявних клінічних особливостей соматичного та стоматологічного стану пацієнта. У теперішній час лікар приймає рішення, засновані на багаторічному досвіді та інтуїції, але в умовах прискореного розвитку медичних технологій такий підхід гальмує розвиток. В цих умовах у лікаря виникає гостра необхідність обробки великого обсягу даних одночасно, що потребує використання сучасних інформаційних технологій.

Для розроблення системи підтримки прийняття рішення лікарем було проаналізовано результати дентальної імплантації 90 пацієнтів, яким було встановлено 180 імплантатів. Пацієнтам виконувалися методи безпосередньої дентальної імплантації з негайним або відстроченим навантаженням, а також стандартна двох етапна імплантація за показаннями. Показано, що прогнозування результату дентальної імплантації з загальною точність прогнозу у 94,5% може бути виконано за інтраопераційними показниками – глибиною ясенної борозни та коефіцієнтом стабільності імплантату (ISQ- Implant Stability Quotient). Побудова моделей прогнозу результату дентальної імплантації проведена з використанням системи нечіткого виведення Сугено та алгоритму гірської кластеризації. Встановлено, що з використанням розроблених систем підтримки прийняття рішень та набору моделей за інтраопераційними показниками хворих можна отримати прогноз успішності проведення дентальної імплантації за різними методами, що дозволяє у кожному конкретному випадку оптимально обрати метод імплантації або скорегувати план реабілітації пацієнта у випадку отримання несприятливого прогнозу.

Ключові слова: дентальна імплантація, негайне та відстрочене навантаження, система підтримки прийняття рішень лікарем, нечітка логіка.

Зв'язок работ з науковими програмами, планами, темами. Стаття є фрагментом науково-дослідної роботи кафедри стоматології дитячого віку, ортодонції та імплантології Харківської медичної академії післядипломної освіти «Патогенетичні підходи до методів діагностики та лікування основних стоматологічних захворювань на основі вивчення механізмів захворювань скронево-нижньощелепного суглобу, аномалій розвитку щелеп та зубів з використанням вітчизняних імплантатів», № державної реєстрації 0113U000975.

Вступ. В останні роки дентальна імплантація (ДІ) стала найбільш затребуваним методом лікування повної або часткової відсутності зубів. Протезування на дентальних імплантатах є методом вибору при реабілітації пацієнтів з дефектами зубних рядів та дозволяє вирішити питання професійного, соціального, психологічного, фізіологічного, естетичного характеру [3, 6].

В теперішній час найчастіше використовують наступні методи ендосальної ДІ - стандартна дентальна імплантація з негайним та відстроченим навантаженням (СДДІ) та метод безпосередньої дентальної імплантації (МБДІ). Другий метод також виконується у двох модифікаціях: метод безпосередньої імплантації з відстроченим навантаженням (МБІВН) та метод безпосередньої дентальної імплантації з негайним навантаженням (МБІНН) [9, 8, 13, 16].

У кожному конкретному випадку, виходячи з наявних клінічних особливостей соматичного та стоматологічного стану пацієнта, у лікаря виникає питання вибору оптимального методу ДІ. Складність лікарських рішень зумовлена високим рівнем відповідальності, і найчастіше, рішення приймаються не за одним критерієм, а за сукупністю багатьох розглянутих одночасно. У теперішній час у лікарському середовищі домінують рішення, засновані на багаторічному досвіді та інтуїції фахівця, але в умовах прискореного розвитку медичних технологій таке домінування гальмує розвиток.

В таких умовах виникає гостра необхідність обробки великого обсягу даних одночасно, що потребує використання сучасних інформаційних технологій.

В теперішній час рішення щодо вибору методу ДІ приймається лікарем на основі особистого досвіду та інтуїції, а також за бажанням пацієнта. При цьому необхідно одночасно аналізувати та враховувати певну кількість клінічних показників хворого, що буває досить складно. Для підтримки прийняття рішень в умовах необхідності одночасного аналізу багатьох показників призначені медичні системи підтримки прийняття рішень (СППР) лікарем, які можуть бути використані для поліпшення якості лікування і зниження рівня, пов'язаних з ним ускладнень [1, 4, 10].

Системи підтримки прийняття лікарських рішень призначені надавати допомогу у виборі найкращого рішення з багатьох можливих у конкретній ситуації (завдання оптимізації) або забезпечувати впорядкування можливих рішень за їх перевагою (завдання ранжирування).

У загальному випадку СППР складається з 3-х основних компонентів: сховища вихідних даних (бази даних); набору технічних засобів і методів вилучення, обробки та завантаження даних; набору засобів інтелектуальної обробки даних (Data Mining) [2, 7, 18].

Створення кожного з компонентів СППР лікарем являє собою складне технічне завдання, яке вирішується різними методами, вибір яких визначається особливостями медичних потреб.

Мета роботи – розроблення системи підтримки прийняття рішень лікарем щодо вибору методу дентальної імплантації.

Матеріали та методи дослідження. Вирішення завдання вибору оптимальної тактики (ДІ) пов'язане з необхідністю урахування показників конкретного пацієнта та прогнозування можливого (позитивного або негативного) результату хірургічного утручання. Для розроблення СППР було проаналізовано результати дентальної імплантації 90 пацієнтів, яким було встановлено 180 імплантатів. Усіх хворих було поділено на дві групи. Хворим першої групи було проведено СДДІ, другої групи – МБДІ. Друга група була поділена на дві підгрупи: хворим першої підгрупи було виконано імплантацію методом безпосередньої імплантації з відстроченим навантаженням (МБІВН); другий – методом безпосередньої дентальної імплантації з негайним навантаженням (МБІНН).

Передопераційні лабораторні дослідження хворих включали клінічні аналізи крові та сечі, бактеріологічний посів з порожнини рота, а також біохімічні дослідження (визначення рівня цукру, кальцію і фосфору в крові). За результатами рентгенологіч-

них досліджень проводилося визначення коефіцієнта абсорбції (КА) тканин щелеп. За допомогою апарату Osstell ISQ інтраопераційно проводилася оцінка коефіцієнта стабільності імплантату (ISQ-Implant Stability Quotient) після його встановлення. Вимірювалася глибина ясеневі борозни (ГБ) методом зондування, визначався індекс кровоточивості ясен (ІК), також враховувався номер зуба, на місце якого встановлювався імплантат.

Дослідження виконані з дотриманням основних положень «Правил етичних принципів проведення наукових медичних досліджень за участю людини», затверджених Гельсінською декларацією (1964-2013 рр.), ICH GCP (1996 р.), Директиви ЄС № 609 (від 24.11.1986 р.), наказів МОЗ України № 690 від 23.09.2009 р., № 944 від 14.12.2009 р., № 616 від 03.08.2012 р.

Статистичне оброблення результатів досліджень проводилося з використанням описативної статистики. Для попередньої оцінки впливу передопераційних та інтраопераційних показників на результат операції використовувалися статистичні критерії порівняння двох незалежних вибірок: Манна-Уїтні (M-W Z) і Вальда-Вольфовица (W-W Z) при довірчій ймовірності 95% [5].

Одним з поширених методів інтелектуального аналізу даних є нечітка логіка (англ. Fuzzy logic). Його ефективність особливо помітна при аналізі структури і поведінки складних систем, в яких, як правило, присутні різні фактори невизначеності. Нечітка логіка широко застосовується в медичних дослідженнях, оскільки в багатьох випадках достатньо складно чітко поділити хворих на групи за ступенем важкості стану або іншими ознаками. Завжди виникають ситуації, коли є проміжні стани, при яких точно віднести хворого до відповідної групи не вдається. Нечіткі методи дозволяють оцінити ступень приналежності хворого до кожної з груп та визначити до якої він відноситься у більшому ступені, що здійснюється на основі відповідних нечітких моделей та правил [17].

Нечітка модель - це інформаційно-логічна модель, яка представлена сукупністю нечітких правил і механізмів нечіткого виведення. Нечіткі правила формують зв'язок між вхідними даними і результатом у вигляді формальної записи (відповідно до теорії нечітких множин), а механізм нечіткого виведення забезпечує отримання бажаного результату (прогнозу) за вхідними даними з використанням нечітких правил.

Процес синтезу нечіткої моделі на основі даних кластеризації потребує проведення процедури оптимізації, яка виконується з метою зменшення кількості нечітких правил. Для цього після отримання моделі прогнозу з використанням виділених

нечітких правил проводиться оцінка його точності. Наступним кроком є змінення параметрів алгоритму субтрактивної кластеризації та циклічне повторення процесу до тих пір, поки кількість кластерів не буде мінімальною при потрібному рівні точності. Описана тактика застосовується для точної настройки моделі.

В процесі нечіткого виведення кожне нечітке правило апроксимується деякою математичною функцією (функцією приналежності), найчастіше для цього використовується функція Гауса. Більш точне налаштування нечіткої моделі здійснюється шляхом зміни параметрів цієї функції.

Для оброблення результатів обстеження пацієнтів та інтелектуального аналізу даних в якості інструментарію був використаний пакет програм Scilab [15]. Цей пакет безкоштовний та вільно розповсюджується. За своїми можливостями та інтерфейсом цей пакет можна порівняти з пакетом MATLAB. Scilab - це система комп'ютерної математики, яка призначена для виконання інженерних та інших обчислень, таких як рішення нелінійних рівнянь і систем, задач лінійної алгебри та задач оптимізації. Пакет може бути використаний для диференціювання та інтегрування, оброблення експериментальних даних, рішення звичайних диференціальних рівнянь і систем.

Результати та їх обговорення. На першому етапі розроблення СППР лікарем щодо методу ДІ було проведено попередню оцінку показників хворих з метою визначення найбільш інформативних для прогнозування результату імплантації. Оскільки клініко-лабораторні та інструментальні дослідження, які проводяться при ДІ, містять надмірну кількість даних, які використовуються безпосередньо лікарями на різних етапах ведення пацієнтів, для виділення найбільш значущих показників було використано їх попередній відбір із застосуванням статистичних критеріїв.

На другому етапі розроблення СППР було проведено синтез моделей прогнозу результатів ДІ. Першим кроком в цьому процесі є виявлення закономірностей зміни показників хворих при різних результатах ДІ (позитивних або негативних). Для цього було використано субтрактивну кластеризацію (за гірським методом) показників хворих, яка відповідає принципу навчання без учителя [11]. Цей метод кластеризації дозволяє розділити пацієнтів на групи, в яких механізми впливу досліджуваних показників на результат ДІ східні, що в подальшому може бути використано для прогнозування результату. Алгоритм субтрактивної кластеризації не вимагає завдання конкретної кількості клас-

терів заздалегідь, ця кількість визначається в результаті його роботи. При використанні цього методу кластеризації кількість одержаних кластерів залежить від параметрів використаного алгоритму та особливостей даних хворих.

Третім етапом побудови ССПР лікарем є оцінка точності прогнозу, який може бути отриманий з використанням розроблених моделей. Після визначення необхідної кількості кластерів та налаштування моделі прогнозу проводиться повторна оцінка її роботи. Для цього змінюють параметри функції приналежності і циклічно повторюють процес до тих пір, поки не буде досягнутий мінімум помилок прогнозування.

Такому процесу синтезу та оптимізації піддаються всі моделі, одержані з використанням даних хворих досліджуваних груп, після чого формальний запис моделей зберігається в базі моделей прогнозу результатів ДІ. При необхідності прогнозування результату ДІ ці моделі з бази можуть бути отримані та використані для роботи в системі підтримки прийняття рішення лікарем.

Попередній відбір інформативних ознак для прогнозування результату денทัลної імплантації. Результати оцінки значимості впливу відібраних клінічних показників на результат ДІ наведено в **табл. 1**.

Аналіз даних, наведених в **табл. 1**, показав, що для всіх типів ДІ найбільш значимими показниками є ГБ та показник ISQ, які й були використані для побудови моделей прогнозу результату ДІ.

При побудові моделі прогнозу було використано показники хворих, які знаходилися у наступних діапазонах: в групі СДДІ ГБ знаходилася у діапазоні 0,5 –3,0 мм, ISQ у діапазоні 50 – 89; у групі МБДІ

Таблиця 1 – Зв'язок клінічних показників з результатом денทัลної імплантації

Показник	Методика імплантації	Значення критеріїв	
		M-W Z; p	W-W Z; p
Глибина борозни	МБІВН	-3,6804; 0,0002*	-3,1128; 0,0019*
	МБІНН	-3,2537; 0,0011	-4,8589; 0,0000*
	СДДІ	-4,4125; 0,00001*	-9,2920; 0,00000*
ISQ	МБІВН	4,3307; 0,00002*	-7,7952; 0,00000*
	МБІНН	3,9265; 0,00009*	-4,8589; 0,00000*
	СДДІ	3,5596; 0,0004*	-9,2920; 0,00000*
КА	МБІВН	1,9232; 0,0544	0,6329; 0,5268
	МБІНН	1,9381; 0,0526	0,7969; 0,4255
	СДДІ	0,0938; 0,9252	-0,7829; 0,4336
Номер зуба	МБІВН	2,2553; 0,0241*	-1,2399; 0,2149
	МБІНН	2,1992; 0,0278*	-0,8190; 0,4127
	СДДІ	-1,4079; 0,1591	0,7641; 0,4448

Примітка: * - вплив показника на результат ДІ статистично значимий (p<0,05).

ГБ знаходилася у діапазоні 0,5 – 3,0 мм, ISQ у діапазоні 54 – 87. Наведені діапазони обмежують область використання моделі прогнозу результату ДІ. Якщо хворий буде мати значення показників, які виходять за означені межі, модель не буде працювати. Для подолання цих обмежень у подальшому потрібно збільшити групу хворих, дані яких використані для розроблення моделі, що дозволить охопити більші діапазони можливих значень показників.

Синтез нечіткої моделі прогнозу результату дентальної імплантації

Для побудови моделі прогнозу результату ДІ була використана система нечіткого виведення Сугено, яка виконується за такою непарною базою:

$$(x_1 = \tilde{a}_{1j} \Theta_j \ x_2 = \tilde{a}_{2j} \Theta_j \dots \ x_n = \tilde{a}_{nj}) \Rightarrow \\ \Rightarrow y_j = b_{j0} + \sum_{i=1, n} b_{ji} x_i,$$

де \tilde{a}_{nj} – нечіткий терм, яким оцінюється вхідна змінна x_n в j -м правилі; n – кількість правил в базі; Θ_j – логічна операція, що поєднує фрагменти j -го правила (логічна операція «І», «АБО»); \Rightarrow – нечітка імплікація; b_{ji} – коефіцієнти лінійної функції (продукції), представлені дійсними числами.

Нечіткі правила можуть бути отримані виходячи з експертних оцінок або штучно синтезовані за результатами кластеризації. Нами було використаний підхід, при якому кожному кластеру ставиться у відповідність одне нечітке правило виду:

«ЯКЩО $x = x'$, ТОДІ $y = y'$ »,

де x – вхідне значення показника, y – вихідне значення показника, x' , y' – нечіткі терми «БЛИЗЬКО x », «БЛИЗЬКО y ». Координати максимумів функцій приналежності приймаються рівними центрам отриманих кластерів. Функції приналежності цих нечітких термів задаються функцією Гауса [12]:

$$\mu^t(x) = \begin{cases} e^{-\frac{(x-b)^2}{2c^2}}, & x \neq b \\ 1, & x = b \end{cases}$$

де $\mu^t(x)$ – функція приналежності змінної x к терму t , b – параметр функції приналежності, що відповідає координаті максимуму (в даному випадку – координаті центру кластера); c – параметр стиснення-розтягування функції приналежності.

Для отримання нечітких правил формувалася матриця з відібраних раніше показників хворих. Ці дані піддавалися субтрактивній кластеризації, так само відомої як алгоритм гірської кластеризації. Кожному отриманому кластеру ставилося у відпо-

відність одне нечітке правило, а координатам їх центрів були координати максимуму функцій приналежності (параметр b). За набором логічних правил і функцій приналежності було сформовано нечітку базу знань, а її формальна запис утворив модель прогнозу результату ДІ.

Після синтезу бази знань виконувалася процедура її підстроювання. Далі проводилося порівняння отриманого прогнозу з фактичним результатом ДІ в кожного хворого, що дозволило визначити точність роботи моделі прогнозу.

З метою мінімізації значення помилки прогнозу було проведено налаштування параметрів стиснення-розтягування функцій приналежності (параметр c). Ця процедура циклічно повторювалася до тих пір, поки рівень розбіжності між прогнозами і фактичними результатами ДІ не стане мінімальним.

Алгоритм процесу синтезу нечіткої моделі прогнозу наведено на **рис. 1**.

За даними груп пацієнтів, яким було проведено ДІ за різними методами, було отримано три нечіткі моделі, кожна з яких складається з двох нечітких логічних рівнянь, двох функцій приналежності нечітких правил, які оцінюють відповідну вхідну змінну, та двох лінійних функцій в виведеннях нечітких правил для прогнозу результату ДІ.

Правила бази знань розробленої моделі відповідають системі нечітких логічних рівнянь:

$$\mu_{\text{Результат ДІ}}^1(X) = \mu_{\text{ГБ}}^1(x_{\text{ГБ}}) \wedge \mu_{\text{ISQ}}^1(x_{\text{ISQ}}), \\ \mu_{\text{Результат ДІ}}^2(X) = \mu_{\text{ГБ}}^2(x_{\text{ГБ}}) \wedge \mu_{\text{ISQ}}^2(x_{\text{ISQ}}),$$

де $\mu_{\text{Результат ДІ}}^n(X)$ – ступень виконання правил нечіткої бази знань для вхідного вектора показників $X = \{x_{\text{ГБ}}, x_{\text{ISQ}}\}$; $\mu_{\text{ГБ}}^n(x_{\text{ГБ}})$, $\mu_{\text{ISQ}}^n(x_{\text{ISQ}})$ – функції приналежності показника стану імплантату нечіткому терму бази знань.

Хворим першої групі було проведено СДДІ, другої групи – МБДІ. Друга група була поділена на дві підгрупи: хворим першої підгрупи було виконано імплантацію методом безпосередньої імплантації з відстроченим навантаженням (МБІВН); другій – методом безпосередньої дентальної імплантації з негайним навантаженням (МБІНН).

У **табл. 2, 4 та 6** наведені розраховані координати вершин і параметри стиснення-розтягування функцій приналежності нечітких правил моделі прогнозу результату дентальної імплантації (МБІВН, МБІНН, СДДІ). У **табл. 3, 5 та 7** наведені розраховані коефіцієнти лінійних функцій в виведеннях нечітких правил моделі прогнозу результату дентальної імплантації (МБІВН, МБІНН, СДДІ).

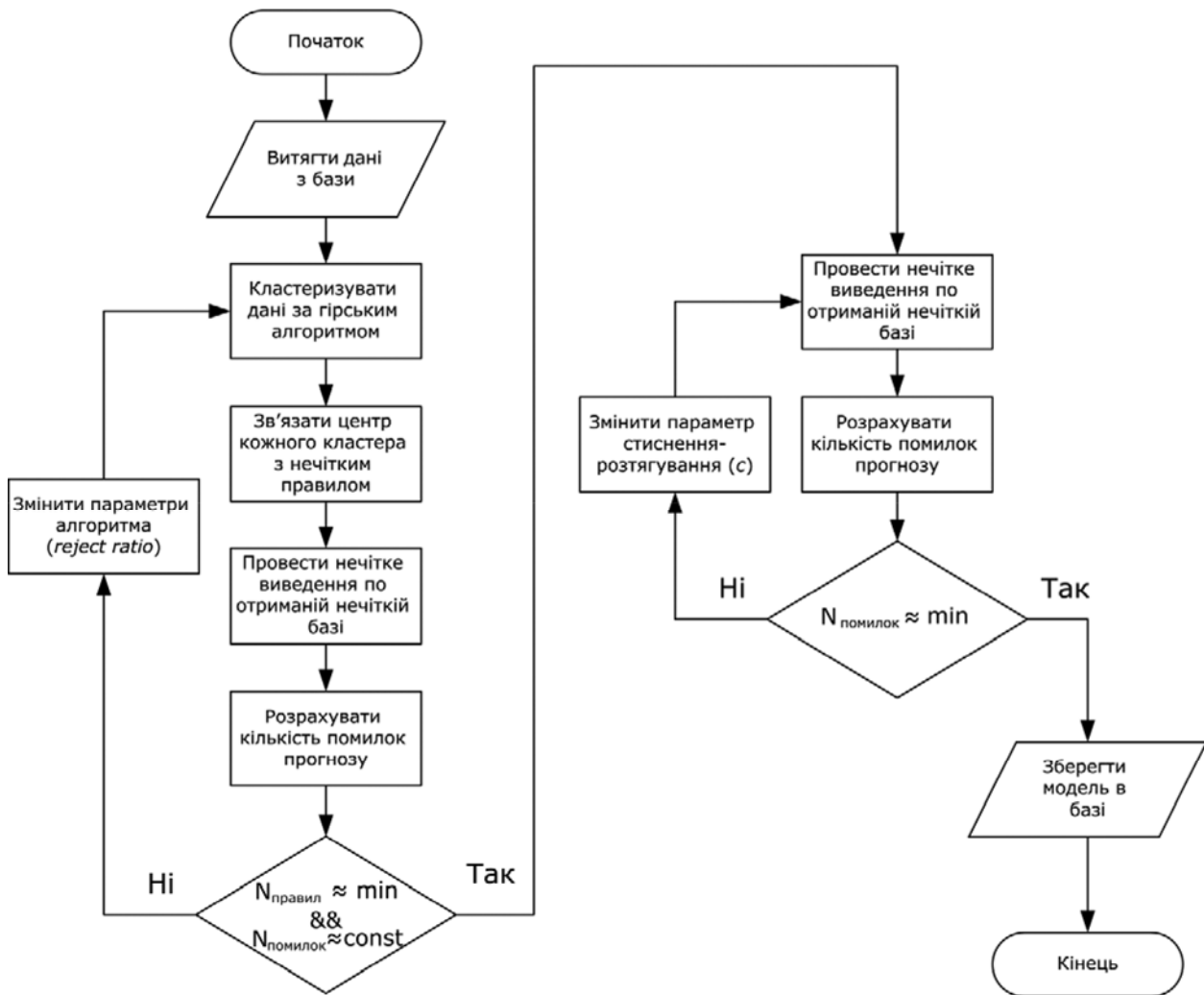


Рис. 1. Алгоритм процесу синтезу моделі прогнозу результату дентальної імплантації

Таблиця 2 – Координати вершин і параметри стиснення-розтягування функцій приналежності нечітких правил моделі прогнозу результату ДІ за методом МБІВН

№ правила	Параметри функцій приналежності	Значення параметрів	
		Глибина борозни	Показник ISQ
1	b_1	1,055746	73,000094
	c_1	0,262485	5,835691
2	b_2	0,964476	86,990835
	c_2	0,398855	5,853754

Таблиця 3 – Коефіцієнти лінійних функцій в виведеннях нечітких правил моделі прогнозу результату ДІ за методом МБІВН

№ правила	Параметри функції продукції		
	Глибина борозни	Показник ISQ	Залишковий член
1	0,400474	-0,014466	1,609023
2	-0,108628	-0,020461	2,855365

Таблиця 4 – Координати вершин і параметри стиснення-розтягування функцій приналежності нечітких правил моделі прогнозу результату ДІ за методом МБІНН

№ правила	Параметри функцій приналежності	Значення параметрів	
		Глибина борозни	Показник ISQ
1	b_1	0,291792	5,909645
	c_1	2,104007	73,012366
2	b_2	0,258105	6,412116
	c_2	1,634612	86,726019

Таблиця 5 – Коефіцієнти лінійних функцій в виведеннях нечітких правил моделі прогнозу результату ДІ за методом МБІНН

№ правила	Параметри функції продукції		
	Глибина борозни	Показник ISQ	Залишковий член
1	0.482050	-0,041961	3,168711
2	0.060812	-0,009062	1,682859

Таблиця 6 – Координати вершин і параметри стиснення-розтягування функцій приналежності нечітких правил моделі прогнозу результату ДІ за методом СДДІ

№ правила	Параметри функцій приналежності	Значення параметрів	
		Глибина борозни	Показник ISQ
1	b_1	0,226457	5,523672
	c_1	0,871261	75,989118
2	b_2	0,180618	5,548401
	c_2	1,190564	64,008144

Таблиця 7 – Коефіцієнти лінійних функцій в виведеннях нечітких правил моделі прогнозу результату ДІ за методом СДДІ

№ правила	Параметри функції продукції		
	Глибина борозни	Показник ISQ	Залишковий член
1	0.337698	-0,013881	1,794531
2	0.374132	-0,047495	3,662677

Система підтримки прийняття рішення лікарем при проведенні

дентальної імплантації. Для отримання прогнозу результату ДІ з використанням розроблених нечітких моделей їх формалізований опис має бути завантажено в машину нечіткого виведення Сугено, яка за вхідними даними (ГБ та ISQ) на виході формує прогноз результату. З використанням ССПР та набору розроблених моделей за вхідними даними можна отримати прогноз успішності проведення ДІ за різними методами (СДДІ, МБІВН та МБІНН). Це дозволяє у кожному конкретному випадку оптимально обрати метод імплантації або скорегувати план реабілітації пацієнта у випадку отримання несприятливого прогнозу.

На **рис. 2** наведено структурно-функціональну схему СППР лікаря щодо методу ДІ, на який виділено описані раніше етапи її розроблення.

Під час синтезу моделей прогнозу результату ДІ використовувався інструментальний пакет нечіткої логіки sciFLT, який працює всередині системи комп'ютерної алгебри Scilab і реалізує машину нечіткого виведення Сугено. Можливості пакету нечіткої логіки sciFLT надлишкові для практичного застосування, а складний командний інтерфейс системи Scilab робить її мало придатною для використання в лікарській практиці. Тому для практичного застосування в системі підтримки прийняття рішень було розроблено програмний застосунок (ПЗ), в якій інтегрована машина нечіткого виведення Сугено з завантаженими моделями прогнозу результату ДІ. Розроблений ПЗ має зручний графічний інтерфейс користувача, що дозволяє його використовувати у практичній діяльності лікаря.

Для розроблення ПЗ обрана програмна платформа Microsoft.NET Framework і прикладний програмний інтерфейс Windows Forms, який реалізує доступ до стандартних елементів графічного інтерфейсу Microsoft Windows (вікна, кнопки, меню і т. ін.) в керованому кодї середовища виконання.NET.

Використання Windows Forms значно спростило розробку функціонального, призначеного для користувача інтерфейсу програмного застосунку в стилі Microsoft Windows. Для реалізації машини нечіткого логічного виведення використана вільно поширювана програмна бібліотека Fuzzy Logic Library for Microsoft.Net (fuzzynet) [14].

На **рис. 3** наведено принцип прийняття рішення лікарем щодо вибору методу ДІ на основі прогнозу його результату.

СДДІ є більш традиційним та достатньо розробленим методом ДІ та використовується у наступних випадках, коли інші методи ДІ не можуть бути застосовані, наприклад, при тривалій відсутності зуба, або наявності кісти та вираженого запального процесу щелепи на місці екстракції зуба. При розробленні СППР було враховано, що при СДДІ система буде формувати тільки прогноз результату імплантації, тому що у цьому випадку іншого шляху проведення ДІ вже немає. Якщо прогноз буде негативним ще на етапі встановлення імплантату лікар буде мати змогу вжити додаткові заходи, щоб покращити становище. До таких заходів можна віднести призначення препаратів, які поліпшують мікроциркуляцію у тканинах щелепи та фізіопроцедур (лазер-терапію, магнітотерапію та ін.), що дозволить досягти позитивного результату ДІ.

При проведенні МБІВН також можливі два прогнозовані результати - позитивний та негативний. В разі позитивного прогнозу лікар може продовжувати виконання цього методу ДІ або, в деяких випадках, є можливість застосування негайного навантаження. Якщо за даними пацієнта прогнозується негативний результат, як і у випадку з СДДІ, рекомендується вжити додаткові заходи, які дозволять покращити результат.

У випадку, коли виконується МБІНН, при позитивному прогнозі буде рекомендовано продовжити виконання методу, при негативному – виконувати метод МБІВН, тобто не проводити негайне навантаження.

Таким чином, розроблена СППР лікарем дозволяє зробити прогноз результату ДІ за інтраопераційними показниками та обрати у кожному конкретному випадку її оптимальний метод.

Головне вікно розробленого програмного застосунку наведено на **рис. 4**. Для отримання прогнозу до відповідних полів вводу вводяться дані конкретного хворого, після чого натискається кнопка

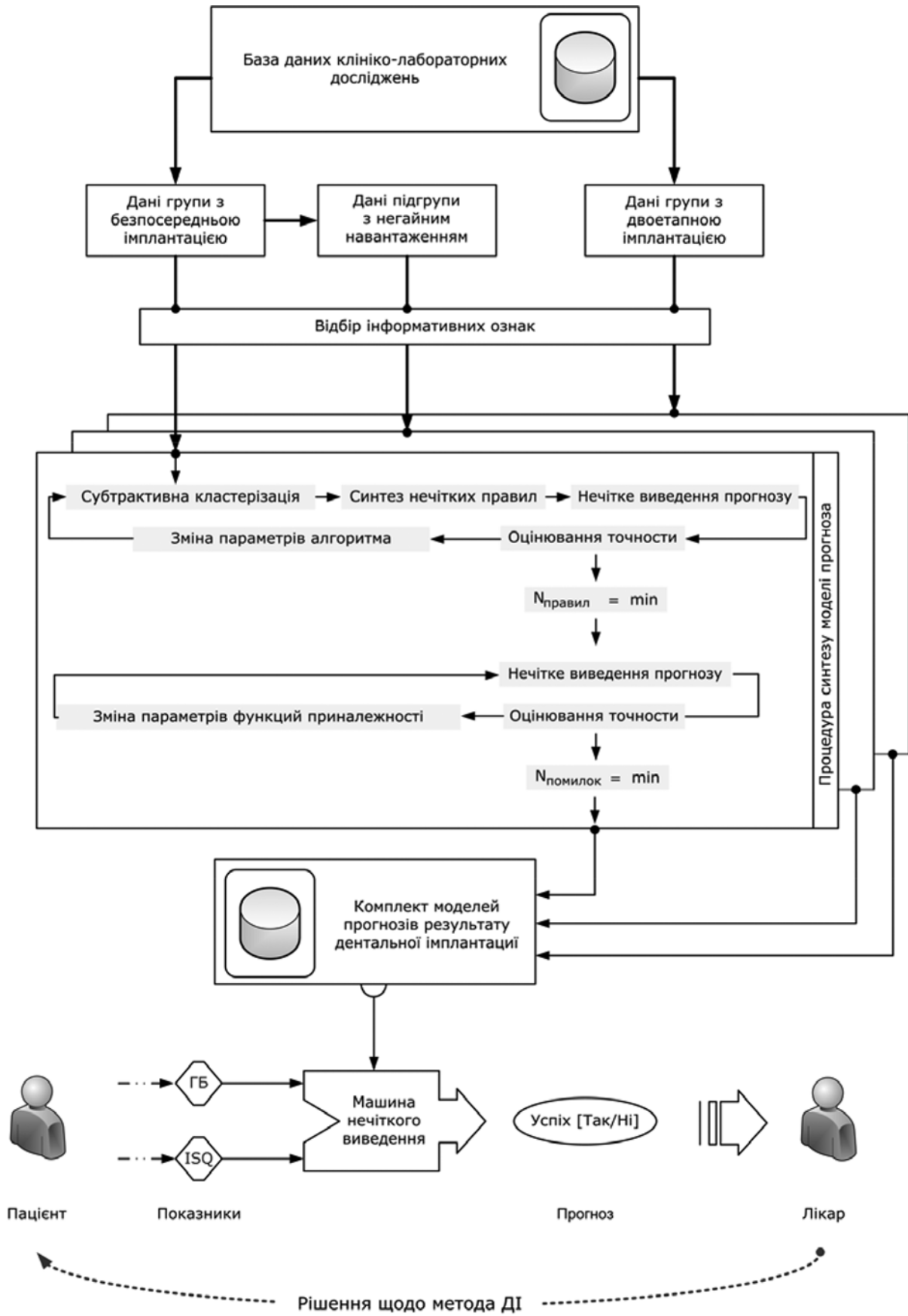


Рис. 2. Структурно-функціональна схема СППР лікарем

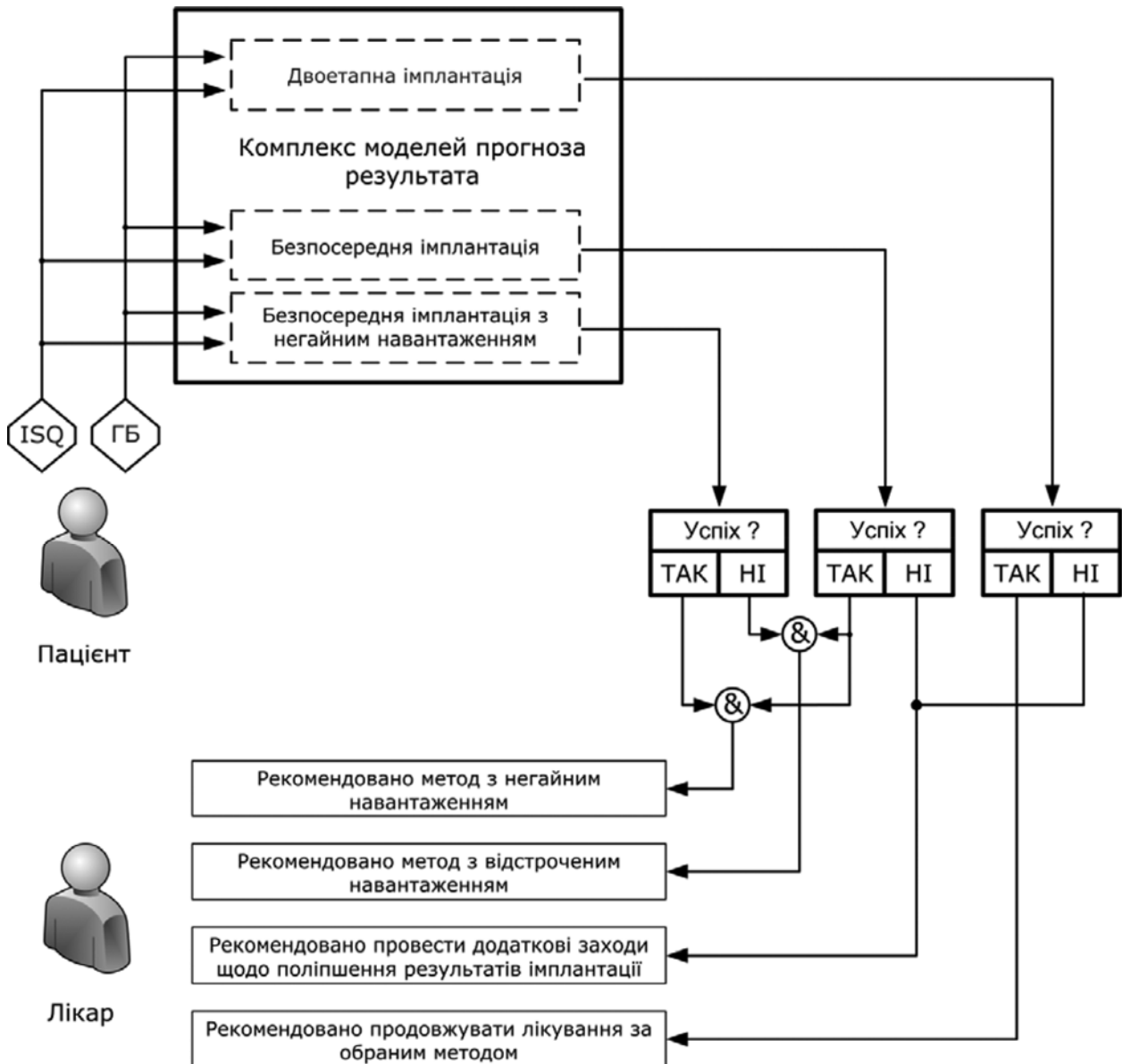


Рис. 3. Принцип прийняття рішення лікарем щодо вибору метода дентальної імплантації на основі прогнозу його результату; & - логічний символ об'єднання тверджень

«Розрахувати». ПЗ формує прогноз результату ДІ для трьох можливих методів її виконання.

Можливості роботи ПЗ можуть бути проілюстровані наступними прикладами. Всі хворі, показни-

ки яких використано для перевірки роботи СППР, не входили у навчальну вибірку.

Клінічний випадок 1. Хворий Д., 52 роки. Було проведено СДДІ. ГБ становила 1мм, показник ISQ – 72, KA – 921 HU, час від видалення зуба до встановлення імплантату – 69 днів, час від встановлення імплантату до встановлення ортопедичної конструкції – 89 днів. Імплантат встановлено на місце 25 зуба. Оцінка стану ясен показала, що IK=0, тобто ясна мали здоровий вигляд, кровотеча при зондуванні відсутня. Всі досліджені показники клінічного аналізу крові знаходилися у межах вікових норм за виключенням еозинофілів та лімфоцитів (незначне перевищення верхньої межі норми).



Рис. 4. Головне вікно програмного застосунку СППР

У бактеріологічному посіві з ротової порожнини був наявний *staphylococcus aureus* у кількості 10^3 КУО/мл, що знаходиться у межах норми.

Фактичний результат імплантації позитивний. На **рис. 5** наведено екранну форму ПЗ при проведенні прогнозування результату імплантації у хворого Д. за трьома досліджуваними методами. Усі три методи дозволили би отримати у даного хворого позитивний результат ДІ.

Метод:	Прогноз:
Безпосередня імплантація:	Позитивний
- з негайним навантаженням:	Позитивний
Двоетапна імплантація:	Позитивний

Рис. 5. Екранна форма прогнозу результату ДІ хворого Д

Клінічний випадок 2. Хвора М., 58 років. Було проведено МБІНН. ГБ становила 2,5 мм, показник ISQ – 58, КА – 982 NU. Імплантат встановлено на місце 26-го зуба. Мало місце запалення ясен, ІК = 2 бали. Всі досліджені показники клінічного аналізу крові знаходилися у межах вікових норм. У бактеріологічному посіві з ротової порожнини був наявний *staphylococcus haemolyticus* у кількості 10^4 КУО/мл, що відповідає середньому ступеню бактеріологічного обсіменіння. Фактичний результат імплантації негативний. На **рис. 6** наведено екранну форму ПЗ при проведенні прогнозування результату імплантації за трьома досліджуваними методами. Усі три методи ДІ призвели б до негативного результату.

Метод:	Прогноз:
Безпосередня імплантація:	Негативний
- з негайним навантаженням:	Негативний
Двоетапна імплантація:	Негативний

Рис. 6. Екранна форма прогнозу результату ДІ хворої М

Клінічний випадок 3. Хворий К., 68 років. Було проведено МБІВН. ГБ становила 2,5 мм, показник ISQ – 72, КА – 676 NU. Імплантат встановлено через 80 днів на місце видаленого 17 зуба. ІК=2, тобто мала місце запальна реакція ясен. Всі досліджені показники клінічного аналізу крові знаходи-

лися у межах вікових норм. У бактеріологічному посіві з ротової порожнини був наявний *staphylococcus aureus* у кількості 10^2 КУО/мл, що знаходиться у межах норми. Фактичний результат імплантації позитивний.

На **рис. 7** наведено екранну форму ПЗ при проведенні прогнозування результату імплантації за трьома досліджуваними методами. За прогнозом СДДІ приводить до негативного результату, МБІНН та МБІВН - до позитивного, що і трапилося фактично.

Метод:	Прогноз:
Безпосередня імплантація:	Позитивний
- з негайним навантаженням:	Позитивний
Двоетапна імплантація:	Негативний

Рис. 7. Екранна форма прогнозу результату ДІ хворого К

Наведені клінічні приклади дозволяють підтвердити перспективність використання розробленої СППР лікарем при прогнозуванні результату ДІ та виборі негайного навантаження або відстроченого під час проведення безпосередньої дентальної імплантації. Перевірка розробленої СППР з використанням даних 90 хворих, яким було виконано різні види ДІ показала загальну точність її роботи у 94,5%.

На основанні отриманих результатів можна зробити наступні **висновки**:

1. Прогнозування результату ДІ з загальною точністю прогнозу у 94,5% може бути виконано за інтраопераційними показниками – глибиною ясенної борозни (ГБ) та коефіцієнтом стабільності імплантату (ISQ).
2. Побудова моделей прогнозу результату ДІ проведена з використанням система нечіткого виведення Сугено та алгоритму гірської кластеризації. За даними хворих було отримано три нечіткі моделі, кожна з яких складається з двох нечітких логічних рівнянь, двох функцій приналежності нечітких правил, які оцінюють відповідну вхідну змінну, та двох лінійних функцій в виведеннях нечітких правил для прогнозу.
3. З використанням ССПР та набору розроблених моделей за інтраопераційними показниками хворих можна отримати прогноз успішності проведення ДІ за різними методами (СДДІ, МБІВН та МБІНН), що дозволяє у кожному конкретному випадку оптимально обрати метод імплантації або скорегувати план реабілітації пацієнта у випадку отримання несприятливого прогнозу.

Перспективою подальших досліджень стане розроблення моделей прогнозу успішності безпосередньої дентальної імплантації з негайним або відстроченим навантаженням в залежності від типу кісткової тканини щелеп хворих.

References

1. Antonova-Rafi YuV, Moskovskyy YuV. Doslidzhennya dotsilnosti vykorystannya system pidtrymky pryynyattya rishen v medytsyni. Analiz nedolikiv ta yikh usunennya [Research of expediency of the use of the systems of support of making decision is in medicine. Analysis of defects and their removal]. *Scientific Journal «ScienceRise»*. 2015; 6(2): 49-52. [Ukrainian]
2. Bidyuk PI, Hozhyy OP, Korshevnyuk LO. *Komp'yuterni systemy pidtrymky pryynyattya rishen* [Computer systems of support of making decision]. Posibnyk. Kyiv; 2010. 382 p. [Ukrainian]
3. Zablotskyy YaV. *Implantatsiya v neznimnomu protezuvanni* [Implantation is in unremovable prosthetic appliance]. Lviv: HalDent; 2006. 156 p. [Ukrainian]
4. Zlepko SM, Ovcharuk TI, Ovcharuk AA. Ohlyad medychnykh informatsiynykh system [Review of the medical informative systems]. *Systemy obrobky informatsiyi*. 2011; 3: 189–92. [Ukrainian]
5. Kobzar AI. *Prikladnaya matematicheskaya statistika* [Applied mathematical statistics]. M: Fizmatlit; 2006. 816 p. [Russian]
6. Malanchuk VA, Mammadov ZA. *Bezposerednya dentalna implantatsiya* [Direct dental implantation]. Kyiv; 2008. 155 p. [Ukrainian]
7. Melnikova NI, Steblina KV. Osoblyvosti proektuvannya system pidtrymky likuvalnykh rishen [Features of planning of the systems of support of curative decisions]. *Matematychni mashyny i systemy*. 2014; 1: 92–100. [Ukrainian]
8. Ivanov SYu, Muraev AA, Rukina EA, Bunev EA. Metod neposredstvennoy dentalnoy implantatsii [Method of direct dental implantation]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya*. 2015; 5. Available from: <http://www.science-education.ru/article/view?id=22310>. [Russian]
9. Sirak SV, Sletov AA, Gandylyan KS, Dagueva MV. Neposredstvennaya dentalnaya implantatsiya u patsientov s vkluchennymi defektami zubnykh ryadov [Direct dental implantation for patients with the included defects of dental rows]. *Meditsynskiy vestnik Severnogo Kavkaza*. 2011; 21(1): 51-4. [Russian]
10. Totsenko VH. *Ekspertni systemy diahnozyky i pidtrymky rishen* [Consulting models of diagnostics and support of decisions]. NAN Ukrainy Instytut problem reyestratsiyi informatsiyi. Kyiv: Nauk dumka; 2004. 126 p. [Ukrainian]
11. Shtovba SD. *Proektirovanie nechetkikh sistem sredstvami MATLAB* [Planning of the unclear systems facilities MATLAB]. M: Goryachaya liniya–Telekom; 2007. 288 p. [Russian]
12. Bezdec JC. *Fuzzy Models and Algorithms for Pattern Recognition and Image Processing*. NY: Springer; 2005. 785 p.
13. Denissen HW, Kalk W, Veldhuis HA, Van Waas MA. Anatomic consideration for preventive implantation. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 1993; 8(2): 191-6. PMID: 8359876
14. Holger N, Jaime UG. *Fuzzy Logic Toolbox* [digital resource]. 2014. Available from: <http://atoms.scilab.org/toolboxes/sciFLT/0.4.7>
15. Open source software for numerical computation [digital resource]. Available from: <http://www.scilab.org/>
16. Lekovic V, Camargo PM, Klokkevold PR, Weinlaender M, Kenney EB, Dimitrijevic B, et al. Preservation of alveolar bone in extraction sockets using bioabsorbable membranes. *J Periodontol*. 1998; 69(9): 1044-9. PMID: 9776033. DOI: 10.1902/jop.1998.69.9.1044
17. Singla J, Grover D, Bhandari A. Medical Expert Systems for Diagnosis of Various Diseases. *International Journal of Computer Applications*. 2014; 7: 36–43. Doi: 10.5120/16230-5717
18. Zadeh LA. Fuzzy logic and approximate reasoning. *Synthese*. 1975; 30(3/4): 407–28. Doi: 10.1007/BF00485052

УДК 616.71-74.2 + 004.652.4 + 004.827

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ВРАЧОМ ОТНОСИТЕЛЬНО ВЫБОРА МЕТОДА ДЕНТАЛЬНОЙ ИМПЛАНТАЦИИ

Черненко В. Н., Любченко А. В., Кочина М. Л.

Резюме. Целью работы была разработка системы поддержки принятия решений врачом относительно выбора метода дентальной имплантации. При проведении дентальной имплантации у врача возникает необходимость выбора оптимального ее метода, что зависит от клинических особенностей соматического и стоматологического состояния пациента. В настоящее время врач принимает решение, основанное на многолетнем опыте и интуиции, что в условиях быстрого развития новых медицинских технологий тормозит прогресс. В повседневной практике возникает острая необходимость анализа и обработки больших объемов данных, что требует использования современных информационных технологий.

Для разработки системы поддержки принятия решений врачом были проанализированы результаты дентальной имплантации 90 пациентов, которым было установлено 180 имплантатов. Пациентам

выполнялись методы непосредственной дентальной имплантации с немедленной или отсроченной нагрузкой, а также стандартная двухэтапная имплантация по показаниям. Показано, что прогнозирование результата дентальной имплантации с общей точность прогноза в 94,5% может быть выполнено по интраоперационным показателям - глубине десневой борозды и коэффициенту стабильности имплантата (ISQ-Implant Stability Quotient). Построение моделей прогноза результата дентальной имплантации проведено с использованием системы нечеткого вывода Сугено и алгоритма горной кластеризации. Установлено, что с использованием разработанных системы поддержки принятия решений и набора моделей по интраоперационным показателям больных можно получить прогноз успешности проведения дентальной имплантации разными методами, что позволяет в каждом конкретном случае оптимально выбрать метод имплантации или скорректировать план реабилитации пациента в случае получения неблагоприятного прогноза.

Ключевые слова: дентальная имплантация, непосредственная и отсроченная нагрузка, система поддержки принятия решений врачом, нечеткая логика.

UDC 616.71-74.2 + 004.652.4 + 004.827

The Decision-Making Support System of Doctor's Choice of Dental Implantation Method

Chernenko V. M., Lyubchenko A. V., Kochina M. L.

Abstract. The dental implantation has recently become one of the most popular methods of treating complete or partial lack of teeth. Prosthetics on dental implants is a rehabilitation method for patients with dental defects, which allows solving the issues of professional, social, psychological, physiological, and aesthetic nature. Taking into account the existing clinical features of the somatic and dental condition of a patient, the dentist chooses an optimal method of dental implantation for each case. The complexity of medical decision is conditioned by the high level of responsibility that is why decisions are made not by one criterion, but by the set of many criteria considered simultaneously.

The purpose of the work was to develop a decision-making support system for a dentist regarding the choice of dental implantation method.

Material and methods. For the development of a decision-making support system, we analyzed the results of dental implantation of 90 patients, who had been set 180 implants. Preoperative laboratory studies of patients included clinical blood and urine tests, bacteriological sowings from the oral cavity, and also biochemical studies (determination of the level of sugar, calcium and phosphorus in the blood). We determined the absorption coefficient of the jaw tissue based on the results of X-ray studies. Using the Osstell ISQ apparatus, we assessed an implantation stability quality intraoperatively after its installation. The depth of the ascetic furrow was measured by the probing method; the index of gum bleeding was determined taking into account the number of the tooth which was implanted. Patients underwent the direct dental implantation with immediate or postponed loading, as well as standard two-stage implantation according to their indications.

Results and discussion. We used fuzzy logic and subtractive clustering (by mountain method) to develop the results of the dental implantation prediction models. This clustering method allows the patients to be divided into groups with the same mechanisms of the studied indices influence on the result of dental implantation. To construct a prediction model for the dental implantation result, the Sugeno system of fuzzy inference was used. According to the data of patients who were conducted dental implantation by different methods, three fuzzy models were obtained, each consisting of two fuzzy logic equations, two functions of fuzzy rule belonging to the corresponding input variable, and two linear functions in the derivation of fuzzy rules for forecasting dental implantation results. The prediction of the dental implantation results with the general accuracy of prediction at 94.5% was performed according to the following intraoperative indicators: the ascetic furrow depth and the implant stability quality coefficient.

Conclusions. Using the developed decision-making support system and the set of models for assessing intraoperative indexes of patients can help in prediction of the success of dental implantation conducted by different methods. These factors allow choosing the optimal implantation method in each case or adjusting the rehabilitation plan of the patient in case of obtaining an unfavorable prognosis.

Keywords: dental implantation, immediate and postponed loading, decision-making support system for a doctor, fuzzy logic.

The authors of this study confirm that the research and publication of the results were not associated with any conflicts regarding commercial or financial relations, relations with organizations and/or individuals who may have been related to the study, and interrelations of coauthors of the article.

Стаття надійшла 01.04.2019 р.

Рекомендована до друку на засіданні редакційної колегії після рецензування