



<https://doi.org/10.15407/scin16.01.057>

М.І. ВОВК, Є.Б. ГАЛЯН, О.А. КУЦЯК

Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем НАН та МОН України,
просп. акад. Глушкова, 40, Київ, 03187, Україна,
+380 44 526 2549, +380 44 526 1570, vig@irtc.org.ua

КОМП'ЮТЕРНИЙ ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ КОМПЛЕКС ПЕРСОНАЛЬНОГО ВІДНОВЛЕННЯ УСНОГО МОВЛЕННЯ ПІСЛЯ ІНСУЛЬТУ

Вступ. Одним з наслідків інсульту є порушення мовленнєвих функцій, серед яких моторна афазія займає значне місце.

Проблематика. Синтез ефективних методів і засобів відновлення усного мовлення — актуальне науково-прикладне завдання.

Мета. Розробка комп'ютерного комплексу відновлення усного мовлення для масового використання.

Матеріали й методи. Використано структурно-функційне моделювання, міостимуляція, математичний апарат логіки предикатів, мови програмування C#, ActionScript 2.0.

Результати. Розроблено комп'ютерний програмно-апаратний комплекс персонального відновлення усного мовлення «ПРОМОВА-2», який реалізує інноваційну технологію відновлення мовлення на базі тренувань рухів кисті й пальців ураженої руки після інсульту. До складу комплексу входять електронні апарати ТРЕНАР® для тренування моторики кисті за різними методами й програмами міостимуляції та спеціалізований програмний модуль ProMova 1.2 у структурі ПК.

Модуль ProMova 1.2 містить: блок діагностики мовленнєвих порушень, який програмно реалізує методіку кількісного оцінювання порушень моторного і сенсорного компонентів мовлення; блок допомоги лікарю у формуванні персонального плану тренувань кисті за результатами діагностики; базу медичних карт пацієнта; базу знань для ознайомлення з роботою апаратів ТРЕНАР® і методиками тренування кисті.

Супроводжувальна документація (методичні рекомендації з практичного використання комплексу «ПРОМОВА-2», посібник користувача модуля ProMova 1.2) сприятимуть масовому використанню комплексу. Результати клінічної апробації підтвердили більшу ефективність застосування інноваційної технології відновлення мовлення, яку реалізує комплекс, порівняно з базовим курсом реабілітації.

Висновки. Комп'ютерний програмно-апаратний комплекс персонального відновлення усного мовлення «ПРОМОВА-2», який реалізує гаму оригінальних функцій (діагностика, реабілітація, надання знань з технології реабілітації), можна рекомендувати для масового використання.

Ключові слова: інсульт, усне мовлення, моторика кисті, реабілітація, комп'ютерний комплекс, електронні апарати, програмний модуль, міостимуляція.

Цитування: Вовк М.І., Галян Є.Б., Куцяк О.А. Комп'ютерний програмно-апаратний комплекс персонального відновлення усного мовлення після інсульту. *Наука іннов.* 2020. Т. 16, № 1. С. 57–72. <https://doi.org/10.15407/scin16.01.057>

Одним з наслідків інсульту є мовленнєві порушення, серед яких найчастіше зустрічається моторна афазія внаслідок ураження моторної мовленнєвої зони кори головного мозку. У ній формується рухова програма мовленнєвого висловлення. Хворий втрачає можливість говорити через порушення рухових команд подібно до того, як розлади рухових функцій після інсульту спричинені порушенням рухових команд у моторних зонах кори головного мозку, нейрони яких організують руховий акт. М'язові рухи мовленнєвого апарата є одними з видів довільних м'язових рухів.

Наявність мовленнєвого дефекту значно ускладнює та уповільнює процес реабілітації, знижує комунікативні можливості хворих, сприяє їхній соціальній ізоляції. Синтез ефективних методів і технологій відновлення усного мовлення, розроблення інструментарію для їхнього швидкого та якісного впровадження на сьогодні є актуальним науково-прикладним завданням.

У попередніх дослідженнях запропоновано новий метод і розроблено інформаційну технологію відновлення усного мовлення на базі тренування тонкої моторики ураженої кисті хворого після інсульту [1]. Технологію реалізовано у вигляді комп'ютерного програмно-апаратного комплексу відновлення мовлення «ПРОМОВА», який складається з електронних апаратів ТРЕНАР, що задають сигнали, під дією яких відбувається цілеспрямоване тренування тонкої моторики ураженої кисті за різними методами та програмами міостимуляції, і персонального комп'ютера, на якому реалізовано інформаційний компонент — спеціалізований програмний модуль ProMova 1.0 [2].

Позитивні результати використання комплексу «ПРОМОВА» показали покращення функції моторного компонента мовлення, порівняно з базовим курсом реабілітації, на 32,5 % ($p < 0,02$), що дає підставу для введення інноваційної технології відновлення мовлення до обов'язкового комплексу реабілітаційних заходів. Проте наведені показники від-

дзеркалюють експертну оцінку спеціалістів, яка носить якісний характер.

Масове використання комплексу «ПРОМОВА» значною мірою визначається об'єктивним оцінюванням позитивної динаміки дефіциту мовленнєвих функцій в результаті реабілітаційних заходів, важливе значення в якій має кількісна оцінка дефіциту мовленнєвих функцій за доказовими критеріями. Кількісна оцінка є важливою складовою цифрової медицини, допомагає лікарю оцінити ефективність реабілітаційного процесу та сформулювати індивідуальний план реабілітації на базі об'єктивного оцінювання. Не менш важливою складовою впровадження є забезпечення зручності взаємодії користувача з комп'ютерним комплексом.

Мета досліджень полягала у підготовці комп'ютерного програмно-апаратного комплексу персонального відновлення усного мовлення після інсульту «ПРОМОВА» до масового використання на базі нових методів та інформаційних технологій, що передбачало виконання таких науково-дослідних робіт:

- ◆ розроблення, вдосконалення та програмна реалізація функційних блоків нового спеціалізованого інформаційно-консультаційного програмного модуля ProMova 1.2 комплексу «ПРОМОВА-2», які розширюють функційні можливості програмного модуля — від діагностики дефіциту усного мовлення на базі кількісного оцінювання дефіциту до формування індивідуального плану реабілітації;
- ◆ забезпечення зручності взаємодії користувача з комп'ютерним комплексом в опануванні знаннями з практичного використання нової технології відновлення мовлення;
- ◆ тестування на клінічних базах комп'ютерного комплексу «ПРОМОВА-2» у відновленні лікуванні мовлення хворих після інсульту з порушеннями рухів за типом геміпарезу та мовлення за типом моторної або моторно-сенсорної афазії;
- ◆ формування супроводжувальної документації, яка сприяє якісному масовому впрова-

дженню комп'ютерного програмно-апаратного комплексу відновлення мовлення «ПРОМОБА-2».

ОБ'ЄКТИВІЗАЦІЯ ОЦІНЮВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РЕАБІЛІТАЦІЙНИХ ЗАХОДІВ З ВІДНОВЛЕННЯ МОВЛЕННЯ

У дослідженнях процесу оцінювання результатів реабілітації мовленнєвих функцій важливе значення відіграє кількісна оцінка за доказовими критеріями. Головна мета досліджень полягала у розробленні методики кількісного оцінювання ступеня порушень усного мовлення після інсульту за інформативними

показниками стану не тільки моторного, а й сенсорного компонентів мовлення. Така оцінка забезпечує можливість урахування ступеня порушень сенсорного компонента мовлення під час формування параметрів індивідуального плану тренувань рухів тонкої моторики кисті, а також об'єктивність оцінювання результатів відновного лікування мовлення.

У розробленій методиці [3] передбачено поетапне оцінювання сенсорного (розуміння зверненого мовлення) та моторного (усне мовлення) компонентів мовлення на базі виконання хворим набору певних тестових завдань. У кожен етап входять рубрики, які відображають, з одного боку, специфіку дефекту (експресивна

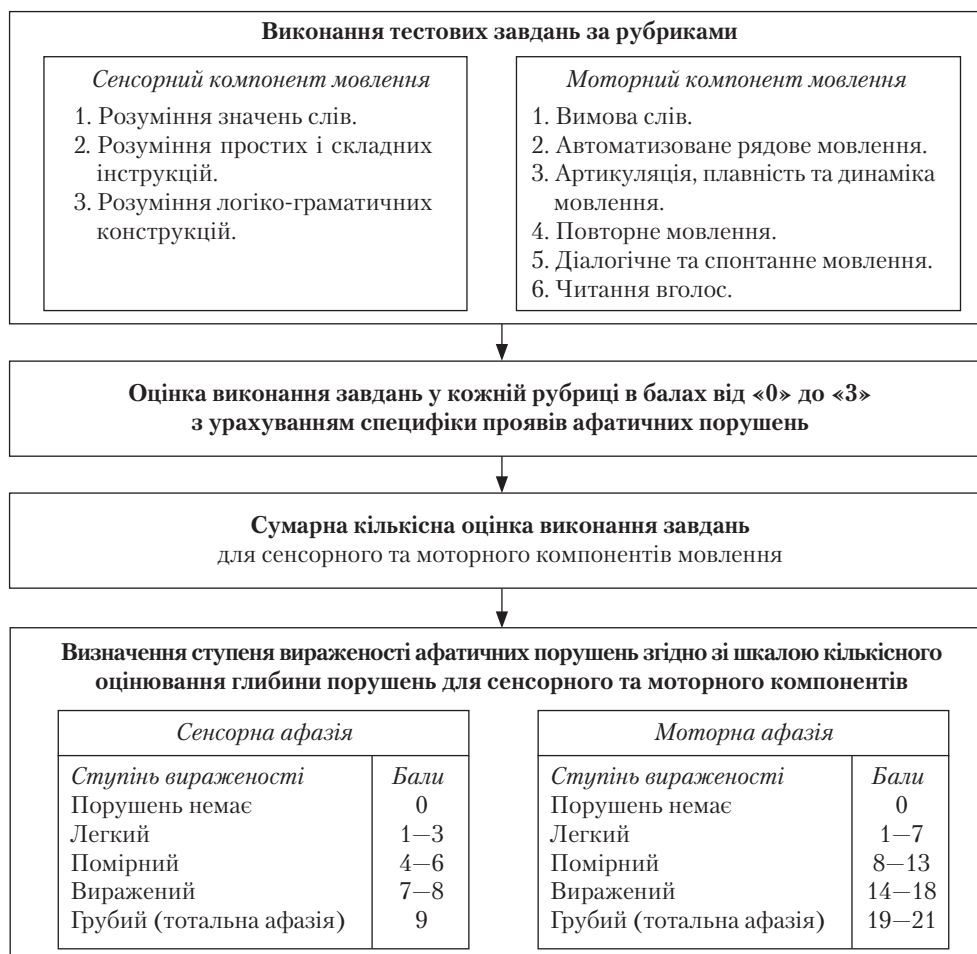


Рис. 1. Алгоритм кількісного експрес-оцінювання ступеня вираженості порушень мовлення у разі афатичних розладів у хворих після інсульту

або імпресивна складова мовлення), а з іншого — його системність (розлади різних сторін мовлення) (рис. 1) [4].

Завдання складено на основі відомих апробованих тестів, що використовуються у логопедичній практиці, а також тестів для оцінювання тяжкості стану та динаміки перебігу інсульту в неврології.

Ступінь вираженості мовленнєвих порушень визначають окремо для кожного компонента сумарним результатом в балах, які набрано хворим під час виконання завдань з різних рубрик. Кількість ступенів вираженості сенсорного та моторного компонентів уніфіковано. Кількісна шкала оцінювання глибини порушень мовлення визначає чотири ступені афазії: легкий, помірний, виражений та грубий. Також фіксується відсутність афатичних розладів.

Для оцінювання результатів відновного лікування мовлення на базі персональних тренувань рухів тонкої моторики кисті тестування ступеня мовленнєвих порушень доцільно проводити перед початком, після п'яти сеансів та після закінчення курсу тренувань. Статус покращення моторного компонента мовлення» надано, якщо у патологічній функції мовлення відмічено зміни, що дають змогу в результаті реабілітації діагностувати у пацієнта більш легкий ступінь патології; незначне покращення — якщо спостерігаються зміни в межах ступеня вираженості порушень моторного компонента мовлення, який діагностували до початку курсу.

Запропонована методика експрес-оцінювання ступеня вираженості моторних і сенсорних порушень мовлення у хворих на інсульт у разі афазії має низку переваг:

- ◆ спрямованість тестових завдань на виявлення як специфіки дефекту (сенсорний або/та моторний складові мовлення), так і його системності (розлади різних сторін мовлення);
- ◆ врахування під час оцінювання функцій моторного та сенсорного компонентів мовлення основних симптомів афатичних розладів у разі моторної афазії Брока та їх специ-

фічних проявів у кожній функції, зокрема: аграматизм, аномія, утруднена артикуляція, парафазії, персеверації, порушення розуміння та сприйняття зверненого мовлення тощо;

- ◆ скорочення тривалості обстеження;
- ◆ простота і доступність алгоритму обстеження для фахівців нелогопедичного профілю, насамперед, для лікарів-неврологів;
- ◆ відсутність необхідності додаткових друкованих матеріалів для виконання тестових завдань, оскільки в методиці використано об'єкти з навколишнього середовища;
- ◆ уніфікація кількісної оцінки глибини порушень моторного й сенсорного компонентів мовлення в балах (0, 1, 2, 3) для кожного тестового завдання та непересічні межі сумарної кількісної оцінки ступеня порушень моторного та сенсорного компонентів мовлення (легкий, помірний, виражений, грубий) зменшують помилку експерта.

СПЕЦІАЛІЗОВАНИЙ ПРОГРАМНИЙ МОДУЛЬ «ProMova 1.2» ІНФОРМАЦІЙНО- КОНСУЛЬТАЦІЙНОЇ ДОПОМОГИ ЛІКАРЮ У ВІДНОВЛЕННІ УСНОГО МОВЛЕННЯ ХВОРИХ НА ІНСУЛЬТ У СКЛАДІ КОМПЛЕКСУ «ПРОМОВА-2»

Для широкого використання комплексу розроблений спеціалізований програмний модуль ProMova 1.0, що входив до складу комплексу «ПРОМОВА», потребував вдосконалення. До недоліків розробленого спеціалізованого програмного модуля слід віднести:

- ◆ відсутність блоку діагностики мовленнєвих порушень з використанням методики кількісного оцінювання ступеня порушень мовлення, що ускладнює визначення позитивної динаміки дефіциту мовленнєвих функцій у хворих на інсульт;
- ◆ коригування рекомендованих планів тренування рухів не реалізовано окремим функційним блоком у програмному модулі, для цього лікарю необхідно використовувати інше програмне забезпечення (текстові редактори, наприклад, «Блокнот», який є части-

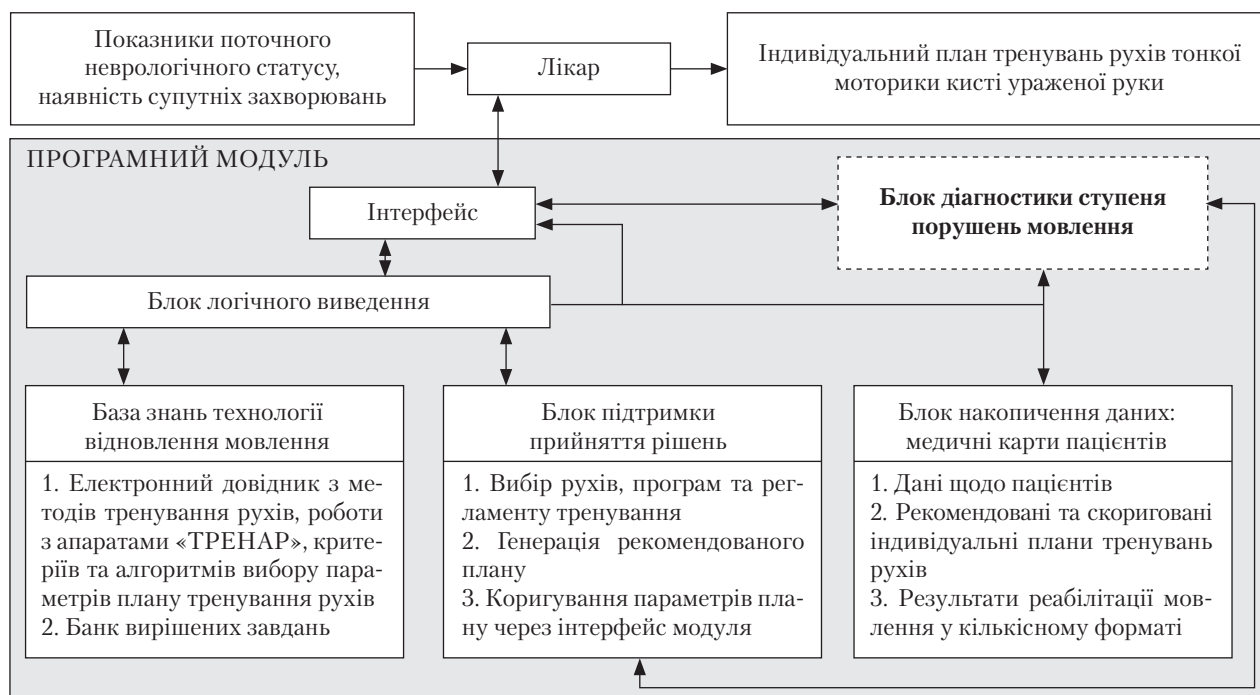


Рис. 2. Структурно-функційна модель програмного модуля «ProMova 1.2»

ною операційних систем Microsoft Windows, Microsoft Word тощо);

- ♦ відсутність у функціональному блоці передавання знань лікарю підблоку, який забезпечує опис критеріїв та пояснення алгоритмів вибору параметрів індивідуальних планів тренувань рухів тонкої моторики кисті на базі інформативних показників поточного стану хворого, методичних рекомендацій із застосування комплексу.

Структурно-функційну модель вдосконаленого спеціалізованого програмного модуля показано на рис. 2. Лікар взаємодіє безпосередньо з графічним інтерфейсом користувача, який забезпечує діалоговий режим роботи, доступ до довідкової інформації, можливість введення значень інформативних показників поточного стану пацієнта за обраними критеріями для подальшого їх аналізу, роздрукування рекомендованого та скоригованого індивідуального плану реабілітації, результатів відновного лікування та іншої інформації.

Для кращого функціонування графічного інтерфейсу, порівняно з модулем ProMova 1.0, додано можливість введення та збереження як результатів виконання пацієнтом тестових завдань для кількісного оцінювання дефіциту порушень мовлення та його динаміки у результаті реабілітаційних заходів, так і параметрів плану тренувань, які потребують коригування.

Доданий до структурно-функційної моделі спеціалізованого програмного модуля блок *діагностики ступеня порушень мовлення* у взаємодії з блоком накопичення даних реалізує розроблену методику кількісного експрес-оцінювання результатів відновного лікування усного мовлення у хворих на інсульт.

Блок *накопичення даних* є базою медичних карт пацієнтів, забезпечує записування та зберігання інформації щодо пацієнтів: паспортно-статистичні дані пацієнтів, рекомендовані та скориговані індивідуальні плани тренувань рухів та результати лікування. Також він забез-

печує надання лікарю інструментарію для ведення протоколу лікувальних заходів у реабілітаційному курсі.

У блок бази знань, крім розроблених раніше електронних мультимедійних довідників з методик тренування рухів тонкої моторики кисті та банку вирішених завдань, додано методичні рекомендації, які містять опис критеріїв та алгоритмів вибору параметрів плану тренування рухів, набір можливих планів тренування, рекомендації щодо застосування комплексу.

Блок підтримки прийняття рішень програмно реалізує аналітичні вирази методу визначення індивідуального комплексу керувальних впливів для відновлення мовлення, а також містить інструментарій для генерації та збереження рекомендованого та корегованого планів тренування рухів.

У блоці логічного виведення відбувається зіставлення введених даних з інтерфейсу та блоку діагностики порушень мовлення з інформацією із бази знань з подальшим формуванням рішення щодо індивідуального пла-

ну тренування тонкої моторики кисті для відновлення усного мовлення інсультного хворого з афатичними порушеннями. Це дає змогу вирішувати низку завдань: вибір рухів для тренування і програм тренування залежно від значення інформативних показників поточного стану хворого, зокрема мовленнєвої функції; генерація плану реабілітації (вибір кількості процедур та їх параметрів); коригування параметрів курсу реабілітації в динаміці; оцінювання результатів лікування.

Формування персональної маршрутної карти реабілітаційного курсу тренувань рухів кисті та пальців

Матеріали і методи: для розроблення та синтаксичного представлення набору критеріїв та вирішувальних правил формування маршрутної карти реабілітаційного курсу тренувань моторики кисті застосовано математичний апарат логіки предикатів; для розроблення архітектури спеціалізованого програмного модуля та опису функціональної взаємодії його ком-

Таблиця 1. Інформативні показники поточного стану пацієнта

Показник поточного стану пацієнта	Позначення	Значення показника/ його позначення					
Електро-кардіостимуляція	X_0	Наявна – Так / x_{01} Відсутня – Ні / x_{02}					
Емоційно-вольова сфера	X_1	1. Норма / x_{11} 2. Емоційна лабільність / x_{12} 3. Виражена емоційна лабільність / x_{13} 4. Емоційна пригніченість / x_{14} 5. Ознаки депресії / x_{15}					
Сенсорний компонент мовлення	X_2	Наявні порушення такого ступеня, що перешкоджають розумінню і виконанню хворим простих інструкцій – Так / x_{21} Порушення відсутні або легкого ступеня – Ні / x_{22}					
М'язова сила в ураженій кінцівці	X_3	Оцінка рівня згідно шкали L. McPeak и M. Вейсс					
Тонус м'язів в ураженій кінцівці	X_4	0 / x_{31}	1 / x_{32}	2 / x_{33}	3 / x_{34}	4 / x_{35}	5 / x_{36}
		Оцінка глибини патології згідно модифікованої шкали Ашворта					
Супутні захворювання (діабет, миготлива аритмія – постійна форма) Чутливість до електростимуляції	X_5	0 / x_{41}	1 / x_{42}	1+ / x_{43}	2 / x_{44}	3 / x_{45}	4 / x_{46}
		Наявні – Так / x_{51} Відсутні – Ні / x_{52}					
	X_6	Підвищена – Так / x_{61} В нормі або знижена – Ні / x_{62}					

понентів — уніфіковану мову моделювання (UML). Програмна реалізація модуля — сервіс Microsoft Visual Studio 2013 та Swish-Max 4.0, мови програмування C# та ActionScript 2.0, програмне забезпечення Sony Vegas 6.0.

Формування персональної маршрутної карти реабілітаційного курсу тренувань рухів кисті та пальців

Об'єднує: визначення можливості проведення реабілітаційного курсу, базуючись на аналізі протипоказань, специфічних для запропонованого методу керування рухами тонкої моторики кисті; формування персонального комплексу керувальних впливів залежно від поточного стану хворого.

Спільно з лікарями-експертами виділено множину інформативних показників поточного стану хворого, від яких залежить вибір персонального комплексу керувальних впливів (табл. 1) [5].

Кожен інформативний показник X_n має свій масив значень $x_{n1}, x_{n2}, \dots, x_{nm}$, де n — порядковий номер показнику поточного стану пацієнта, m — кількість елементів в масиві значень. Відповідно, $X_n \{x_{nm}\}$ — значення m показника n .

Для визначення можливості проведення реабілітаційного курсу розроблено критерії виявлення специфічних протипоказань — гіпертонусу м'язів ураженої руки хворого та наявності електрокардіостимулятора у хворого з когнітивними розладами та вираженим або помірним геміпарезом:

$$\forall X_0 \wedge \forall X_1 \wedge \forall X_2 \wedge \forall X_3 \wedge (X_3 \{x_{45}\} \vee X_4 \{x_{46}\}) \wedge \forall X_5 \wedge \forall X_6 \Rightarrow S\{s_1\}, \quad (1)$$

$$\begin{aligned} & X_0 \{x_{01}\} \wedge \\ & \wedge \left(\begin{array}{l} (X_1 \{x_{13}\} \vee X_1 \{x_{14}\}) \vee X_2 \{x_{21}\} \vee \\ \vee (X_3 \{x_{31}\} \vee X_3 \{x_{32}\} \vee X_3 \{x_{33}\} \vee X_3 \{x_{34}\}) \vee \\ \vee (X_4 \{x_{43}\} \vee X_4 \{x_{44}\}) \end{array} \right) \wedge (2) \\ & \wedge \forall X_5 \wedge \forall X_6 \Rightarrow S\{s_2\}. \end{aligned}$$

За розробленими критеріями побудовано вирішувальне правило щодо дозволу проведення

реабілітаційного курсу:

$$\overline{S\{s_1\}} \wedge \overline{S\{s_2\}} \Rightarrow C_0. \quad (3)$$

Наступний етап методу — формування персонального комплексу керувальних впливів (рухів, методу та регламенту керування) залежно від поточного стану хворого, виконується тільки за умови виконання правила (3). Спільно з лікарями-експертами сформовано критерії визначення двох варіантів регламенту тренувань при проходженні реабілітаційного курсу $A\{a_1\}$ і $A\{a_2\}$, з нормальним та зниженим навантаженням:

$$\forall X_0 \wedge (X_1 \{x_{13}\} \vee X_1 \{x_{12}\} \vee X_1 \{x_{14}\} \vee X_1 \{x_{15}\}) \Rightarrow \wedge \forall X_2 \wedge \forall X_3 \wedge \forall X_4 \wedge (X_5 \{x_{52}\} \vee X_6 \{x_{62}\}) \Rightarrow A\{a_1\}. \quad (4)$$

$$\forall X_0 \wedge (X_1 \{x_{13}\} \wedge \forall X_2 \wedge \forall X_3 \wedge \forall X_4 \wedge (X_5 \{x_{51}\} \vee X_6 \{x_{61}\})) \Rightarrow A\{a_2\}. \quad (5)$$

Значимо, що визначення у комплексі керувальних впливів набору рухів та методів їх тренування доцільно проводити одночасно, оскільки вони корелюють між собою. Комбінація «рух-програма керування» $B\{D\{d_j\}, F\{f_k\}\}$ складається з руху тонкої моторики кисті $D\{d_j\}$ та програми тренування $F\{f_k\}$, яку пропонують апарати «Тренар-01» та/або «Тренар-02». Загальна кількість можливих комбінацій, з урахуванням спроможності отримання руху за заданою програмою тренування, — 17 комбінацій.

Формування критеріїв визначення індивідуального набору комбінацій «рух—програма керування» здійснювали в кілька етапів. Спочатку сформовано критерії окремо для вибору кожного руху та програми тренування. На їх основі розроблено критерії вибору кожної з 17 комбінацій «рух—програма керування». Оскільки підібрані комбінації мали ознаки конфліктного набору, то для усунення останнього комбінації з однаковими антецедентами було об'єднано. В результаті складено 8 наборів $R\{r_j\}$, які містять дві або три комбінації «рух—програма керування». Для забезпечення вибору в один курс реабілітації кількох наборів $R\{r_j\}$

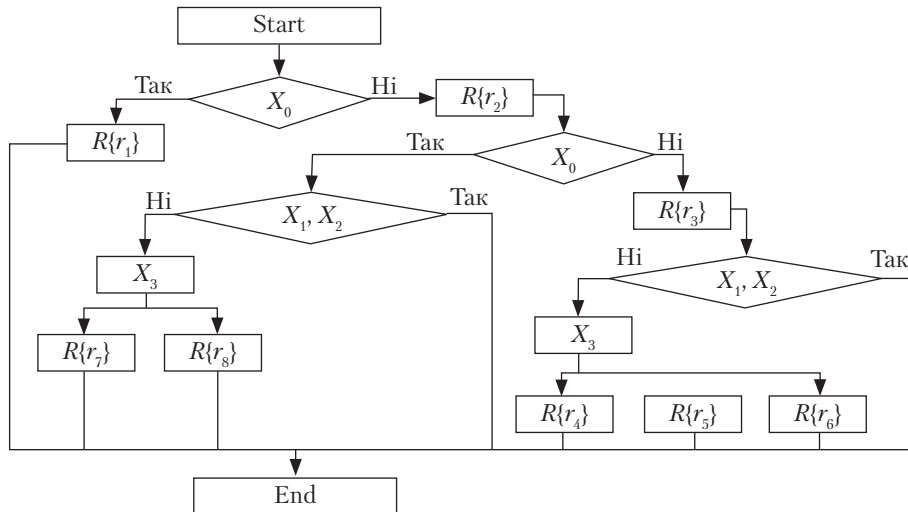


Рис. 3. Алгоритм послідовності аналізу інформативних показників поточного стану хворого

та уникнення при цьому повторних циклів виведення було розроблено алгоритм послідовності аналізу інформативних показників (рис. 3) [5].

На основі запропонованих критеріїв визначення регламенту керування, набору комбінацій «рух—програма керування» та алгоритму послідовності аналізу інформативних показників розроблено вирішувальні правила визначення індивідуалізованої маршрутної карти реабілітації мовлення [5]. Виходячи з позначень логічних функцій: $R_1 \wedge A\{a_1\} = K_{11}$, $R_2 \wedge A\{a_1\} = K_{12}$, $R_1 \wedge A\{a_2\} = K_{21}$, $R_2 \wedge A\{a_2\} = K_{22}$, маємо такі вирішувальні правила, задані логічними функціями:

$$K_{11} \vee K_{21} \vee K_{12} \vee K_{22} \Rightarrow C_1 \vee C_2 \vee C_3 \vee C_4, \quad (6)$$

$$(R_3 + R_7 + R_8)(K_{11} + K_{12}) \Rightarrow C_5 + C_6 + C_7 + C_8 + C_9 + C_{10}, \quad (7)$$

$$(R_3 R_4 + R_3 R_5 + R_3 R_6)(K_{12} \vee K_{22}) \Rightarrow C_{11} \vee C_{12} \vee C_{13} \vee C_{14} \vee C_{15} \vee C_{16}. \quad (8)$$

У сукупності аналітичні вирази (6)–(8) визначають 16 можливих варіантів маршрутної карти реабілітаційного курсу.

Структура та функційні характеристики інформаційного компонента

Дотримання персонального підходу до реабілітаційного курсу у розробленій технології відновлення мовлення ускладнює вибір персонального комплексу керувальних впливів (рух, програма та регламент тренування).

Для вирішення задачі багатокритеріального вибору персонального комплексу керувальних впливів (у разі формуванні курсу тренувань рухів тонкої моторики кисті) у структурі зовнішнього контуру керування рухами кисті та пальців було синтезовано інформаційний компонент, який реалізовано у вигляді спеціалізованого програмного модуля у структурі персонального комп'ютера. Інформаційний компонент є редукованою експертною системою продукційного типу прямого виведення.

Аналіз структурно-функційної моделі інформаційного компонента (рис. 2), з точки зору сценаріїв його використання (функційних характеристик), дав змогу виділити блоки для проектування: діагностики порушень мовлення; підтримки прийняття рішень з формування планів реабілітаційних курсів; передавання

знань з технології відновлення мовлення на базі тренування рухів кисті та пальців; база медичних карт пацієнтів. Блоки розроблено як самостійні одиниці із завершеною функційністю, а потім поєднано один з одним за допомогою графічного інтерфейсу.

Блок діагностики порушень мовлення у разі афатичних розладів. Оскільки методика кількісного експрес-оцінювання ступеня вираженості порушень мовлення має два етапи оцінювання окремо для сенсорного та моторного компонента мовлення, які, в свою чергу, містять однотипні дії (виконання тестових завдань та оцінювання рівня виконання за чотирибальною шкалою), алгоритм діагностики порушень мовлення, наведений у вигляді діаграми діяльності у нотації UML, має двоетапну структуру з вбудованим циклом (рис. 4). На першому етапі виконується формування списку завдань для тестування сенсорного компонента, який містить три рубрики. Дані щодо завдань розміщено у базі знань інформаційного компонента. Разом зі списком для кожної рубрики формується чотирибальна шкала оцінювання виконання пацієнтом завдання з описом специфічних проявів порушень функції мовлення, яку тестують.

Наступним кроком виконують послідовне виведення завдань за рубриками на монітор за допомогою графічного інтерфейсу для їх подальшого виконання пацієнтом. Кількість повторів циклу виведення тестових завдань за рубриками на монітор за допомогою графічного інтерфейсу дорівнює трьом. Під час кожного проходження циклу відбувається перевірка введення лікарем оцінки рівня виконання тестового завдання та її збереження. Після завершення циклу відбувається підрахунок загального результату оцінювання ступеня порушень сенсорного компонента мовлення, виведення отриманих даних користувачу за допомогою графічного інтерфейсу та їх проміжне збереження для подальшого використання.

У подальшому алгоритм переходить до другого етапу, де виконують ті самі дії для оціню-

вання моторного компонента, але кількість повторів циклу виведення тестових завдань на монітор за допомогою графічного інтерфейсу дорівнює семи. Після завершення тестування користувачу пропонується зберегти одержані результати у текстовий файл, що створюється у медичній карті пацієнта, або передати їх до блоку підтримки прийняття рішень. Створення окремого файлу з результатами діагностики дефіциту мовлення дає змогу проводити тестування на початку, в середині та наприкінці курсу реабілітації, що забезпечує кількісне оцінювання результату відновного лікування.

Блок допомоги лікарю з формування персонального плану тренувань тонкої моторики кисті разом з блоками логічного виведення та бази знань забезпечує надання лікарю рекомендацій для формування персонального комплексу керувальних впливів (рис. 5).

Діаграма діяльності має кілька етапів: перевірка наявності протипоказань, визначення регламенту тренувань, формування персонального набору комбінацій «рух тонкої моторики кисті—програма тренування». У разі визначення набору комбінацій дані аналізуються згідно з алгоритмом послідовності аналізу інформативних показників: спочатку за критерієм «наявність електрокардіостимулятора», а потім, якщо необхідно, за всіма іншими критеріями (рис. 5).

Блок передавання знань з технології відновлення мовлення на базі тренування рухів кисті та пальців. Ядром блоку є електронний мультимедійний довідник — упорядкований фонд цифрових інформаційних об'єктів (у текстовому, графічному, відео- та аудіоформаті), які несуть інформацію про методи та засоби технології відновлення мовлення. До складу також входить комплекс програмних засобів, що реалізують функції забезпечення доступу до цього фонду, його обробку та зберігання. Довідник містить два різноякісних за змістом розділи: технічний та медичний. Технічний розділ виконує функцію ознайомлення

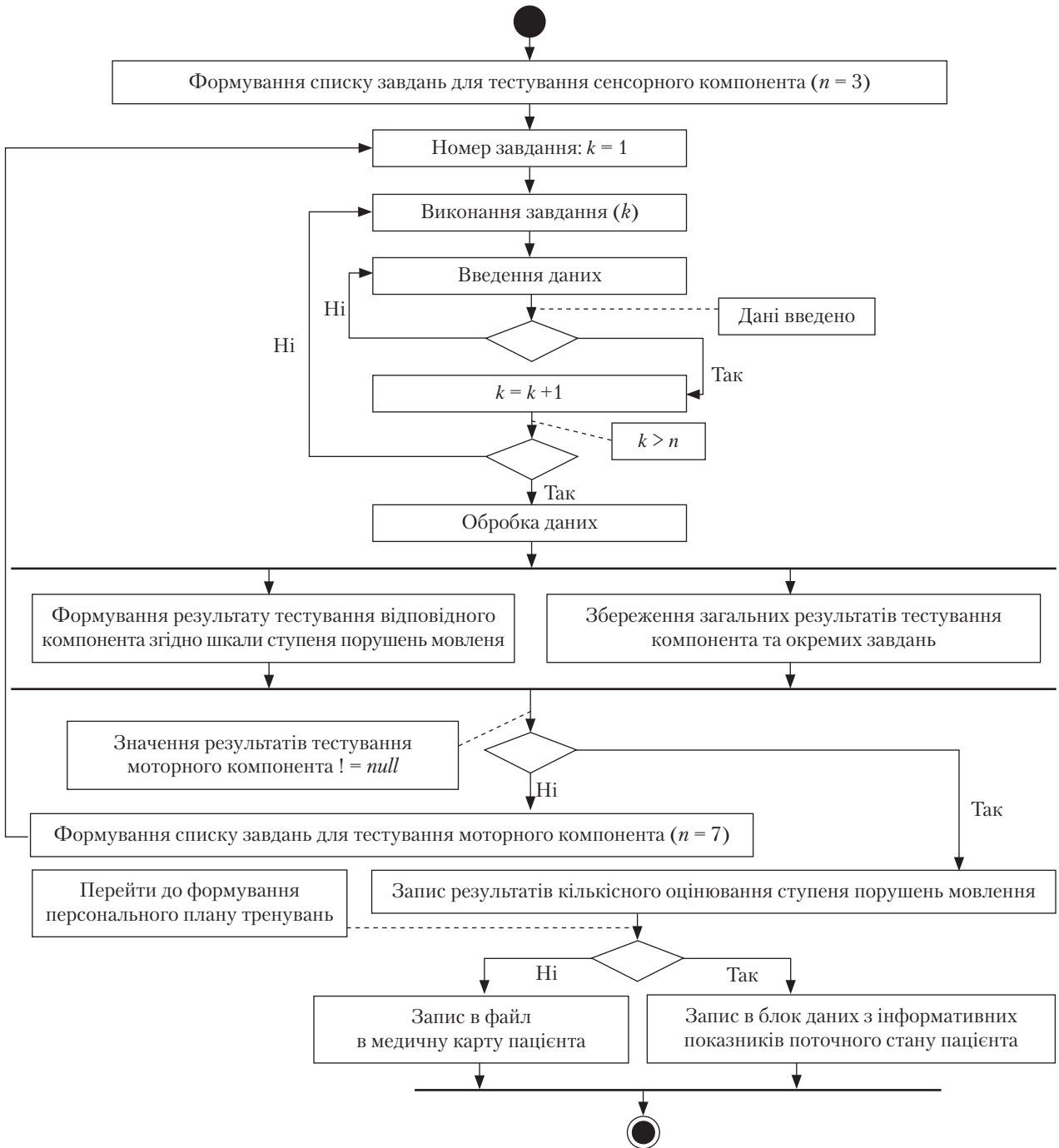


Рис. 4. Діаграма діяльності сценарію «Діагностика порушень мовлення»

користувача програмного модуля з принципами роботи апаратів «ТРЕНАР», де наведено інформацію про призначення, технічні та функційні характеристики апарата, комплект пос-

тавки, а також алгоритми підготовки апаратів до роботи та їх функціонування за різними методами і програмами в частині реакції чи події під час взаємодії лікаря з органами керування.

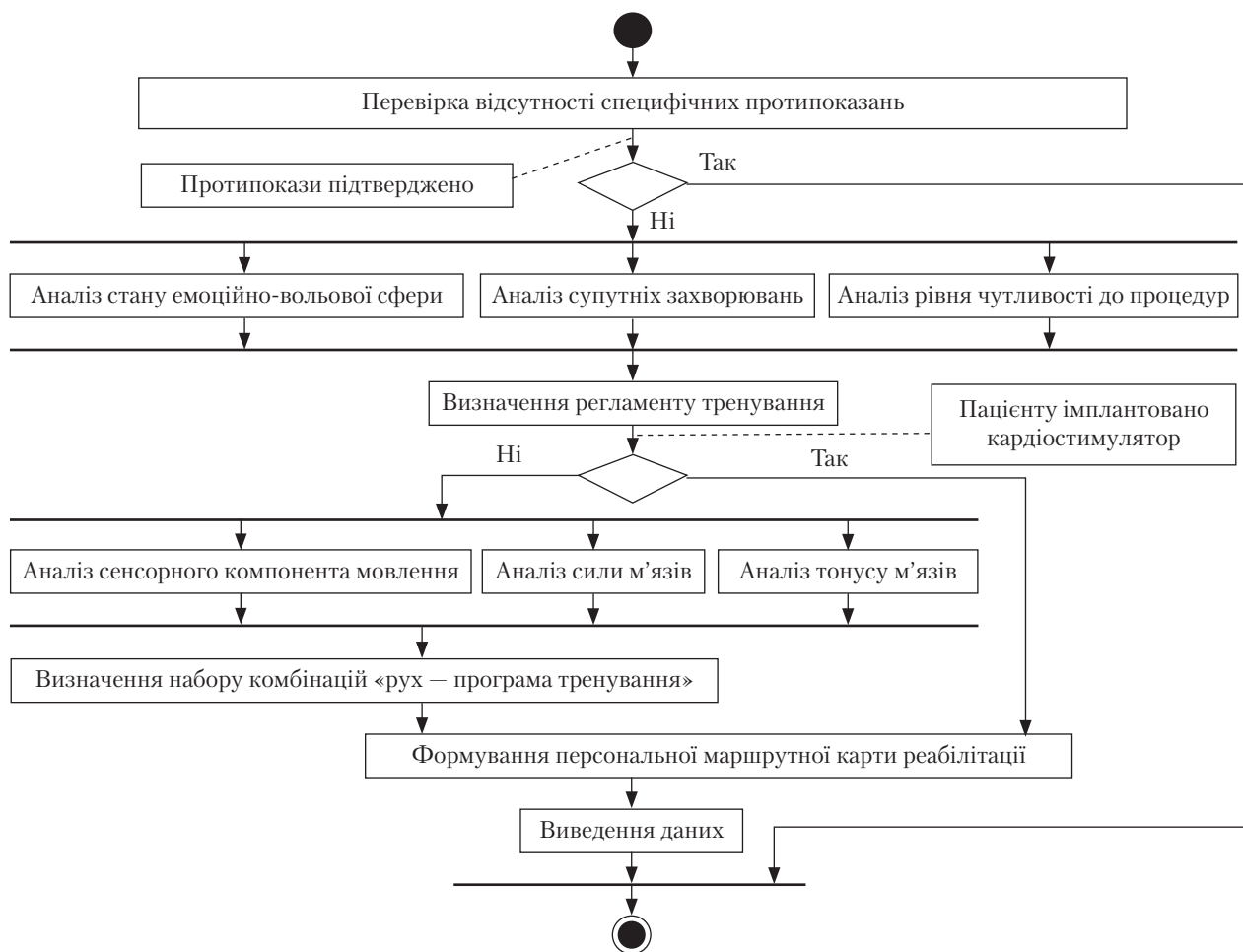


Рис. 5. Діаграма діяльності сценарію «Формування персонального комплексу керувальних впливів»

Медичний розділ призначено для передавання знань з методик розташування електродів для формування різних рухів тонкої моторики. Він містить графічне та вербальне представлення топології накладення електродів; опис м'язів, які беруть участь у формуванні руху, їх функції та іннервації; відеодемонстрацію тренування руху в реальних клінічних умовах з аудіокоментарем.

Спеціалізований програмний модуль «ProMova 1.2» реалізовано на об'єктно-орієнтованій мові C# з використанням додаткового програмного забезпечення для синтезу мультимедійних технологій SwishMax 4.0 та SonyVegas 6.0. Цей модуль в архітектурі ПК, разом з апарата-

ми «ТРЕНАР», утворює комп'ютерний програмно-апаратний комплекс «ПРОМОВА-2».

Програмний модуль «ProMova 1.2» містить інструментарій доступу до розроблених методичних рекомендацій із застосування комплексу «ПРОМОВА-2», в яких описано критерії вибору параметрів персональної маршрутної карти тренувань, алгоритми роботи комплексу, надано методики тренування рухів кисті та пальців залежно від різних комбінацій інформативних показників поточного стану за вибраними критеріями. Це підвищує розуміння лікарем аспектів практичного використання технології відновлення мовлення на базі комплексу «ПРОМОВА-2». Також

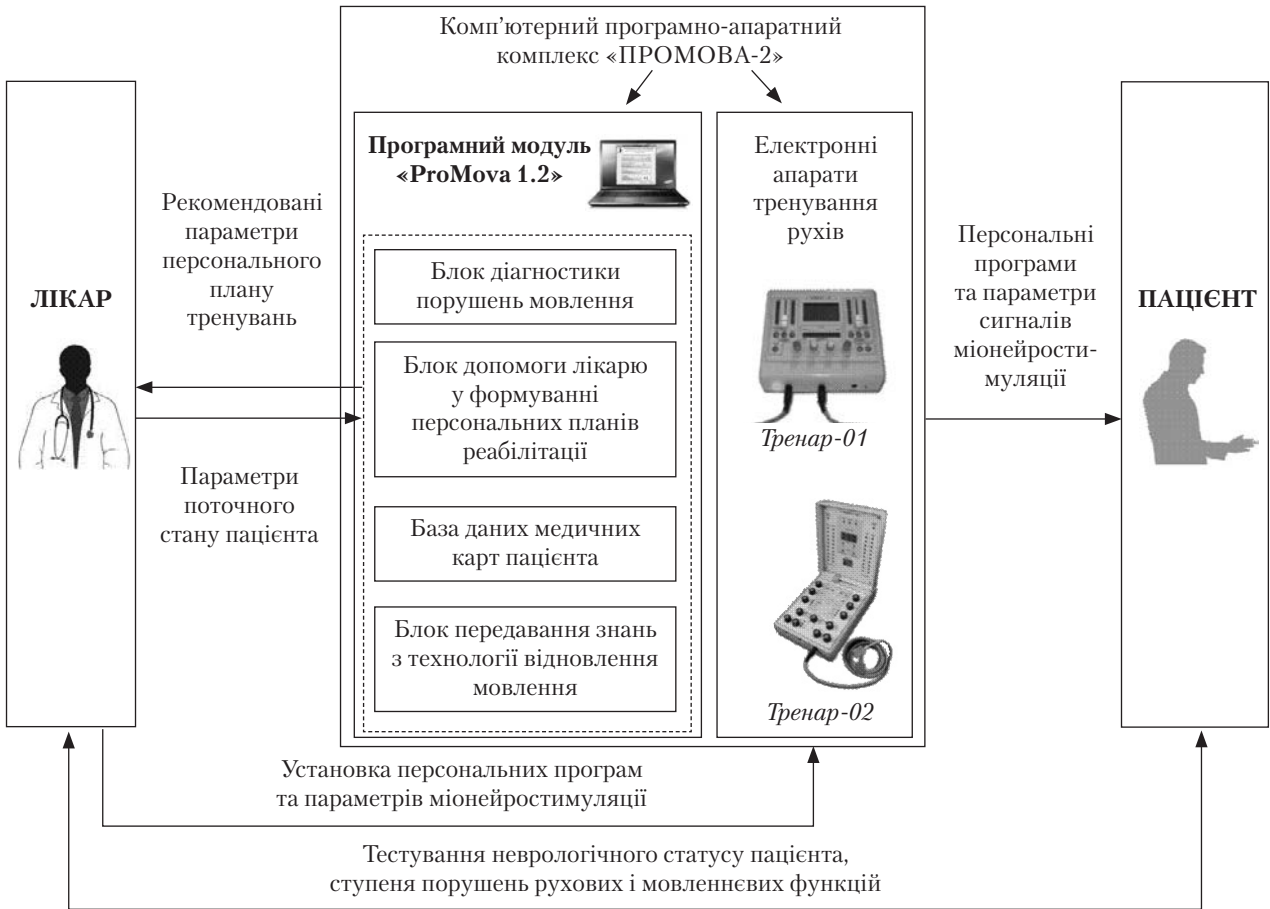


Рис. 6. Структурно-функційна модель взаємодії лікаря з комп'ютерним програмно-апаратним комплексом «ПРОМОВА-2» та з пацієнтом

в інтерфейс програмного модуля вбудовано посібник користувача модуля, що дає змогу лікарю опанувати програмне забезпечення самостійно, без підтримки технічного спеціаліста.

Структурно-функційна модель програмно-апаратного комплексу відновлення мовлення «ПРОМОВА-2». Комп'ютерний програмно-апаратний комплекс персонального тренування рухів тонкої моторики кисті для відновлення мовлення «ПРОМОВА-2» складається з електронних апаратів «ТРЕНАР», що задають сигнали, під дією яких відбувається керування рухами тонкої моторики ураженої кисті за різними методами і програмами, і персонального комп'ютера, на якому реалізовано

спеціалізований інформаційно-консультаційний модуль «ProMova 1.2».

Структурно-функційна модель взаємодії, перетворення та «впорядкування» інформації, яка циркулює між користувачем (лікарем), пацієнтом і комплексом «ПРОМОВА-2» представлено на рис. 6.

У розглянутій моделі лікар є активною об'єднуючою ланкою системи та забезпечує єдиний алгоритм функціонування комплексу «ПРОМОВА-2». Саме він визначає ступінь порушень рухових і мовленнєвих функцій до/у процесі/після реабілітаційного курсу; взаємодіє з комплексом під час формування/коригування маршрутною карти реабілітаційного курсу, встановлення персональних методів, прог-

рам і параметрів міонейростимуляції в окремих процедурах курсу.

Таким чином, комп'ютерний програмно-апаратний комплекс «ПРОМОВА-2» забезпечує:

- ◆ формування, коригування та друкування персональної маршрутної карти тренувань тонкої моторики кисті для відновлення усного мовлення;
- ◆ тренування рухів кисті та пальців за персональними методами, програмами та параметрами міонейростимуляції;
- ◆ інформаційно-консультаційний супровід реабілітаційних курсів тренувань тонкої моторики кисті для відновлення мовлення.

Розроблення нового функціонального блоку діагностики порушень мовлення та вдосконалення блоків формування індивідуального плану тренувань рухів, передачі знань, а також графічного інтерфейсу спеціалізованого інформаційно-консультаційного програмного модуля «ProMova 1.2» дає можливість:

- ◆ розширити цільову аудиторію користувачів комплексу, оскільки його можна використовувати для кількісного експрес-оцінювання результатів позитивної динаміки дефіциту мовлення у разі афатичних розладів як лікарями-неврологами, так і спеціалістами логопедичного профілю;
- ◆ розширити функціональні можливості комплексу, зменшити складність та специфічність взаємодії лікаря з технічними компонентами систем за рахунок дружнього інтерфейсу та додаткових функцій, наведених вище.

КЛІНІЧНА АПРОБАЦІЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО КОМПЛЕКСУ «ПРОМОВА-2»

Апробацію розробленого комплексу здійснювали в 2 етапи. На першому етапі на базі неврологічного відділення № 1 Київської міської клінічної лікарні № 3 та відділення відновного лікування Державної наукової установи «Центр інноваційних медичних техноло-



Рис. 7. Результати клінічної апробації комплексу «ПРОМОВА-2»

гій НАН України» проведено функціональне тестування спеціалізованого програмного модуля «ProMova 1.2» у частині його відповідності вимогам зручності використання потенційними користувачами — лікарями-неврологами, спеціалістами з реабілітації, фізіотерапії тощо. Результати тестування підтвердили зручність використання модуля. З метою масового використання та зручності взаємодії лікаря з комплексом розроблено методичні рекомендації його застосування та посібник користувача комп'ютерного модуля ProMova 1.2, які доповнюють базу знань.

На другому етапі на базі вищезазначеного відділення Київської міської клінічної лікарні № 3 проведено клінічну апробацію комплексу «ПРОМОВА-2» у відновлювальному лікуванні усного мовлення хворих після інсульту. У дослідженні з апробації брали участь 54 хворих (28 чоловіків та 26 жінок). Критеріями включення пацієнта у дослідження були: наявність у неврологічному статусі порушень рухових функцій за типом правостороннього геміпарезу, а також порушень мовленнєвих функцій за типом моторної або моторно-сенсор-

ної афазії різного ступеня тяжкості внаслідок перенесеного гострого порушення мозкового кровообігу.

Всім учасникам дослідження було призначено базовий комплексний курс реабілітації рухових і мовленнєвих функцій: медикаментозна терапія, лікувальна фізична культура, заняття з логопедом. Додатково 30 учасникам дослідження проводили одноразово щодня (у робочі дні тижня) тренування рухів тонкої моторики кисті за персональною маршрутною картою тренувань, яку сформовано в результаті роботи модуля «ProMova 1.2» [6]. Діагностику дефіциту мовлення проводили на початку лікування та при виписці. Результати відновного лікування наведено на рис. 7.

Статус «покращення моторного компонента мовлення» було надано, якщо в патологічній функції мовлення відмічено зміни, що дають змогу в результаті реабілітації діагностувати пацієнтові легший ступінь патології; «незначне покращення») — якщо спостерігаються зміни в межах ступеня вираженості порушень моторного компонента мовлення, який діагностували до початку курсу. Статус «значне покращення) моторного компонента мовлення» надано, якщо пацієнтові діагностують змінення ступеня патології, наприклад, з вираженою до легкої моторної афазії.

Результати клінічної апробації підтвердили ефективність застосування технології відновлення мовлення, яку реалізує комп'ютерний програмно-апаратний комплекс «ПРОМОВА-2», порівняно з базовим курсом реабілітації.

За результатами досліджень отримано Акт про впровадження комп'ютерного програмно-апаратного комплексу «ПРОМОВА-2» у практичну діяльність неврологічного відділення № 1 Київської міської клінічної лікарні № 3.

ВИСНОВКИ

Розроблено конкурентоспроможний комп'ютерний програмно-апаратний комплекс персонального відновлення усного мовлення після

інсульту «ПРОМОВА-2», який реалізує запатентований метод відновлення мовлення на базі цілеспрямованого тренування рухів кисті й пальців ураженої руки хворого та дозволяє підвищити ефективність реабілітації мовленнєвих функцій. До складу комплексу входять електронні апарати «ТРЕНАР®» для тренування моторики кисті за різними методами і програмами міостимуляції, а також спеціалізований інформаційно-консультаційний програмний модуль «ProMova 1.2», який встановлено у структурі ПК для допомоги лікарю у формуванні індивідуального плану реабілітації мовлення. Параметри індивідуального плану — набір рухів для тренування, програма та регламент тренувань, — визначаються з урахуванням поточного неврологічного статусу хворого, функціонального стану його рухових і мовленнєвих функцій, наявності супутніх захворювань та специфічності протипоказань.

Комп'ютерний комплекс «ПРОМОВА-2» підготовлено до масового використання. Для цього вдосконалено спеціалізований інформаційно-консультаційний програмний модуль «ProMova 1.2». Порівняно з програмним модулем «ProMova 1.0», останній містить блок діагностики ступеня мовленнєвих порушень, який програмно реалізовує методику кількісного експрес-оцінювання ступеню порушень мовлення. Вдосконалено функціональний блок допомоги лікарю у формуванні індивідуального плану тренувань рухів тонкої моторики кисті з урахуванням кількісного оцінювання стану сенсорного компонента мовлення та можливістю коригувати рекомендований індивідуальний план на різних етапах реабілітації. Вдосконалено базу медичних карт пацієнта, яку доповнено інформацією про ступінь порушень мовлення, коригованими індивідуальними планами реабілітації (за наявності) поряд із рекомендованими планами. База медичних карт містить також інформацію про динаміку відновлення мовленнєвих функцій, яка враховує як моторні, так і сенсорні показники кількісної оцінки в межах навіть їх не-

значної зміни. До блоку передавання знань програмного модуля «ProMova 1.2», крім мультимедійних інструкцій для ознайомлення з роботою апаратів «ТРЕНАР» та мультимедійного довідника з методик тренування рухів тонкої моторики кисті, долучено методичні рекомендації щодо застосування комп'ютерного програмно-апаратного комплексу «ПРОМОВА-2» та посібник користувача програмного модуля «ProMova 1.2». Така гама функцій дозволяє розширити цільову аудиторію користувачів та спростити взаємодію з комплексом «ПРОМОВА-2». Супроводжувальна документація – посібник користувача модуля «ProMova 1.2» та методичні рекомендації з практичного використання комплексу «ПРОМОВА-2» – сприятимуть широкому застосуванню інноваційної технології відновлення усного мовлення у хворих після інсульту.

Результати тестування комплексу «ПРОМОВА-2» у клінічних умовах підтверджують зручність його використання. Клінічна апробація комп'ютерного програмно-апаратного комплексу «ПРОМОВА-2» у практичній діяльності неврологічного відділення №1 Київської міської клінічної лікарні № 3 підтвердила покращення моторного компонента мовлення у пацієнтів з порушеннями рухових (правосторонній геміпарез) та мовленнєвих функцій за типом моторної або моторно-сенсорної афазії (Акт про впровадження від 18.12.2018 р.)

Комп'ютерний програмно-апаратний комплекс персонального відновлення усного мовлення «ПРОМОВА-2», який реалізує гама оригінальних функцій: діагностика, реабілітація, оцінка ефективності та надання знань з технології реабілітації, – можна рекомендувати для масового використання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Патент України № 111388. Вовк М.І., Галян Є.Б., Підпригора О.М. Спосіб лікування мовних порушень.
2. Галян Е.Б. Специализированный программный модуль технологии восстановления речи, архитектура и функциональное взаимодействие его компонентов. *Управляющие системы и машины*. 2014. № 6. С. 52–58.
3. Вовк М.И., Пелешок С.Р., Галян Е.Б., Овчаренко М.А. Методика оценки моторных и сенсорных нарушений речи. Сборник статей научно-информационного центра «Знание» по материалам XI международной заочной научно-практической конференции: «Развитие науки в XXI веке», 3 часть (15 фев. 2016, г. Харьков). Днепропетровск: научно-информационный центр «Знание», 2016. С. 64–70.
4. Вовк М.І., Галян Є.Б., Куцяк О.А., Лаута А.Д. Формування індивідуального комплексу керувальних впливів для реабілітації рухів і мовлення після інсульту. *Кибернетика и вычислительная техника*. 2018. Вып. 3 (193). С. 43–63.
5. Вовк М.И., Галян Е.Б. Организация интеллектуального управления движениями кисти для восстановления речи. *Кибернетика и вычислительная техника*. 2016. Вып. 184. С. 25–43.
6. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір. «Комп'ютерна програма Методики тренування рухів тонкої моторики кисті для відновлення усного мовлення у хворих після інсульту» / М.І. Вовк, Є.Б. Галян (Україна); № 82086; опубл. від 9.10.2018.

Стаття надійшла до редакції / Received 23.04.19

Статтю прорецензовано / Revised 07.06.19

Статтю підписано до друку / Accepted 24.06.19

Vovk, M.I., Halian, Ye.B., and Kutsiak, O.A.

International Research and Training Center for Information Technologies and Systems
of the NAS of Ukraine and Ministry of Education and Science of Ukraine
40, akad. Hlushkov Ave., Kyiv, 03187, Ukraine,
+380 44 526 2549, +380 44 526 1570, vig@irtc.org.ua

COMPUTER SOFTWARE & HARDWARE COMPLEX FOR PERSONAL
ORAL SPEECH RESTORATION AFTER A STROKE

Introduction. The speech disorders are one of stroke consequences, among which motor aphasia occupies a significant place.

Problem Statement. Synthesis of effective methods and means of oral speech restoration is an urgent scientific and practical task.

Purpose. To develop a computer complex for oral speech restoration of mass application.

Materials and Methods. Structural-functional modeling, myostimulation, mathematical apparatus of predicate logic, C# and ActionScript 2.0 programming languages.

Results. The *PROMOVA-2* computer software & hardware complex for personal speech restoration has been developed. It uses the innovative technology of speech restoration based on movements training of the affected hand and fingers after stroke. The complex consists of TRENAR® electronic devices for training motor functions of the affected hand by different methods and programs of myostimulation and *ProMova 1.2* software module in the PC structure.

ProMova 1.2 contains the unit for speech disorders diagnostics, which uses software for quantitative assessment of motor and sensory components of speech; the unit to help a doctor in the formation of personal plan for training of affected hand proceeding from the results of diagnostics; the patient's medical records database, and the knowledge base with information on the operation of TRENAR® devices and hand training techniques.

The supporting documents (guidance on the practical use of *PROMOVA-2* and user manual of the *ProMova 1.2* module) will facilitate the mass use of the complex. The results of the clinical trial have shown a greater efficiency of the innovative speech restoration method implemented using the complex as compared with the basic rehabilitation course.

Conclusions. The *PROMOVA-2* computer hardware & software complex for personal oral speech restoration performing several functions (diagnostics, speech restoration, and speech restoration knowledge transfer) may be recommended for mass use.

Keywords: stroke, oral speech, hand motor skills, restoration, computer complex, electronic devices, program module, and myostimulation.