

*О.В. БЕЛОУСОВА*, в.о. зав. каф. ЛБІ МНТУ, м. Луцьк,  
*О.Ю. АЗАРХОВ*, к.т.н., гол. лікар санаторію "Металург",  
м. Маріуполь,  
*С.М. ЗЛЕПКО*, д.т.н., проф., зав. каф. ВНТУ, м. Вінниця,  
*Д.Х. ШТОФЕЛЬ*, ст. викладач ВНТУ, м. Вінниця,  
*С.В. КОСТІШИН*, аспірант ВНТУ, м. Вінниця

## **МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ УСКЛАДНЕНЬ ТА УПРАВЛІННЯ РЕАБІЛІТАЦІЙНИМ ПРОЦЕСОМ У ПОСТІНСУЛЬТНИХ ХВОРИХ**

У статті розглянуто проблему математичного моделювання стану хворих, які перенесли мозковий інсульт. Запропонована індивідуально орієнтована модель прогнозування розвитку ускладнень, перебігу реабілітаційного процесу та вибору оптимальної схеми лікування. Багатомірність і функція навчання дозволяє застосовувати її для інших неспецифічних задач прогнозування. Бібліогр.: 10 назв.

**Ключові слова:** математичне моделювання, мозковий інсульт, прогнозування, реабілітаційний процес, лікування.

**Постановка проблеми.** Інсульт – поширена у всьому світі патологія [1], що посідає високі місця в структурі причин інвалідності та смертності працездатного населення [2]. Прогнозування перебігу реабілітації після інсульту дозволяє ефективно проводити профілактичні заходи для попередження повторного інсульту і розвитку ускладнень, що дозволяє значно скоротити час реабілітації та підвищити її ефективність.

**Аналіз літератури.** Інсульт – це раптове порушення мозкового кровообігу з появою стійких симптомів його органічного ураження [3].

Частота виникнення ускладнень при лікуванні постінсультній реабілітації залежить від ряду факторів [4]. При прогнозуванні перебігу постінсультної реабілітації необхідно сформувати простір інформативних ознак на підставі анамнестичних даних, результатів лабораторного дослідження, ЕКГ-діагностики, неврологічного та нейропсихологічного обстежень, нейрофункціональних методів і методів нейровізуалізації, а також біомеханічного дослідження ходи [5], що дозволяє всебічно описати стан хворого. Розвиток обчислювальної техніки та інформаційних технологій дозволяє перейти до вирішення завдань прогнозування в медицині за допомогою інтелектуальних методів аналізу даних [6, 7]. Особливостями реальних медико-біологічних даних є висока розмірність і різнотипність, велика кількість шумових і дублюючих ознак, пропущені і аномальні значення. У такій ситуації ефективними стають методи, що ґрунтуються на еволюційному підході, які, на відміну

від традиційних методів пошуку оптимального рішення, орієнтовані на найкраще рішення в порівнянні з первинним або попереднім [8].

Відома технологія прогнозування протікання і вибору тактики лікування, що поєднує класичні статистичні методи і евристичні методи аналізу багатомірних різнотипних даних [9], яка застосовується, напр., при лікуванні псоріазу. Проте, незважаючи на значні досягнення у сфері терапевтичних підходів до постінсультної реабілітації, її перебіг важко піддається прогнозуванню і, як наслідок, важко оптимізується [10].

**Мета статті** – створити модель прогнозування результатів лікування та постінсультної реабілітації хворих при заданій тактиці лікування.

**Побудова моделі.** Початкова інформація про хворих представлена у вигляді числових таблиць "об'єкт–властивість" з описом вхідних і вихідних параметрів (характеристик) пацієнтів. До вхідних параметрів належать індивідуальні відомості про хворого: анамнез, супутні захворювання, клініко-функціональні, метаболічні та імунологічні показники, тактика лікування. Вихідними (цільовими) параметрами є тривалість перебування пацієнта в стаціонарі (кількість ліжко-днів), тривалість лікування до настання поліпшення стану (ефект лікування), тривалість періоду ремісії, наявність (або відсутність) типових залишкових порушень (парезів), число загострень хвороби в рік. Вхідні параметри в різному ступені впливають на вихідні параметри, але які з них роблять найбільш істотний вплив і якою моделлю описуються залежності їх впливу, невідомо.

В загальному випадку початкова інформація про об'єкти представлена у вигляді матриці  $\bar{z} = (z_1, z_2, \dots, z_i, \dots, z_N)$ , де  $z_i = (z_{i1}, z_{i2}, \dots, z_{ij}, \dots, z_{iM})$  – вектор аналізуємих параметрів (властивостей, ознак)  $i$ -го об'єкту. Вся сукупність параметрів об'єктів ділиться на множину вхідних  $V$  і вихідних  $Y$ . Вхідні параметри  $V$  є різнотипними, тобто вимірюються в кількісних і якісних шкалах. Позначимо через  $X$  параметри, значення яких вимірюються в кількісних шкалах, а через  $U = (u_1, u_2, \dots, u_h)$  параметри, значення яких вимірюються в якісних (номінальних і порядкових) шкалах. Вектор вихідних параметрів  $Y$  для сформульованої задачі вимірюється в кількісній шкалі.

Дана задача прогнозування є погано формалізованою, оскільки вся інформація про об'єкти представлена набором параметрів, про які не можна стверджувати, що вони повні, несуперечливі і не спотворені. При таких початкових даних будемо використовувати модель чорного ящика, а при побудові алгоритмів аналізу даних спиратимемося тільки на масиви прецедентів і гіпотезу про монотонність простору рішень.

Рішення поставленої задачі передбачає кілька етапів: передобробку даних, підбір вагових параметрів в процесі навчання, прогнозування.

Етап передобробки включає структурування даних, виявлення і усунення аномальних і пропущених значень, кодування і нормування даних, вимірюваних в безперервних шкалах. Параметри, які вимірюються в дискретних шкалах і мають число градацій більше двох, перетворюються в сукупність бінарних величин.

Введемо вектор  $G = (g_{i1}, g_{i2}, \dots, g_{ij}, \dots, g_{iC})$ , де  $g_{ij}$  – бінарні ознаки об'єктів. На етапі передобробки вся множина досліджуваних об'єктів розбивається на підмножини (вибірки) відповідно до значень  $g_j$ . Можливі такі варіанти групування об'єктів: вибірка незалежно від значення ознаки  $g_j$ ; вибірка об'єктів, для яких  $g_j = 0$ ; вибірка об'єктів, для яких  $g_j = 1$ .

Один і той же об'єкт може опинитися в декількох вибірках. Надалі використовуються тільки інформативно значимі вибірки, в яких кількість об'єктів значно більша числа кількісних вхідних параметрів.

На етапі навчання для кожної інформативно значимої вибірки визначаються ваги вхідних параметрів. Визначення вагових коефіцієнтів базується на еволюційному підході до вирішення екстремальних задач функції багатьох змінних і методі випадкового пошуку.

Кожен об'єкт  $O_i$  може бути представлений у вигляді вектора багатовимірного простору  $R^p$  кількісних параметрів  $Q_i = \{x_1, x_2, \dots, x_m, y\}$ , де  $x_j$  – вхідні параметри об'єкту,  $y$  – вихідний (цільовий) параметр об'єкту,  $p = m + 1$  – загальна кількість параметрів багатовимірного простору. Тоді задача визначення шуканого параметра  $y$  за множиною відомих вхідних параметрів  $X$  зводиться до задачі інтерполяції функції  $y = f(x)$ , заданої у вузлах  $p$ -мірної нерегулярної сітки.

Оскільки ступінь гладкості функції  $f(x)$  невідомий, для її інтерполяції у всій області визначення пропонується використовувати функцію вигляду  $f(x) \approx y_r(d(X, W))$ , де  $d$  – міра близькості між об'єктами. Як міра близькості між об'єктами  $i$  та  $l$  розглядається зважена евклідова відстань:

$$d_{il} = \sqrt{\sum_{j=1}^m w_j (x_{ji} - x_{jl})^2}, \quad 0 \leq w_j \leq 1. \quad (1)$$

Значення вагових коефіцієнтів  $W$  підбираються з використанням методу Монте-Карло.

Щоб забезпечити необхідну точність обчислення параметра  $y$ , введемо критерій, який мінімізує середню абсолютну помилку прогнозу:

$$Q(w) = \frac{1}{N_g} \sum_{i=1}^{N_g} |y_i - y_{ri}(d)| \rightarrow \min, \quad (2)$$

де  $|y_i - y_{ri}(d)|$  – різниця між спостережуваним і розрахунковим значеннями вихідного параметра;  $N_g$  – об'єм досліджуваної вибірки.

Якщо цільова функція є комплексом вихідних параметрів, то задаються коефіцієнти значимості  $\vartheta_j$  ( $j = 1, 2, \dots, s$ ) для кожного прогнозованого параметра. Тоді значення  $\vartheta_j$  вибираються з інтервалу

$[0, 1]$ , при чому  $\sum_{j=1}^s \vartheta_j = 1$ , де  $s$  – кількість прогнозованих параметрів.

В такому випадку критерій (2) може бути представлений у вигляді:

$$Q(w) = \frac{1}{N_g} \sum_{i=1}^{N_g} \sum_{j=1}^s \vartheta_j |y_i^{(j)} - y_{ri}^{(j)}(d)| \rightarrow \min. \quad (3)$$

Для визначення розрахункових значень  $y_{ri}$  задачу багатовимірної інтерполяції функції  $y = f(x)$ , заданої у вузлах нерегулярної сітки, зведемо до задачі одновимірної екстраполяції функцій  $y_{ri}(d)$  ( $i = 1, 2, \dots, N_g - 1$ ) в околі кожного  $i$ -го вузла багатовимірної сітки.

Для цього щодо кожного  $i$ -го вузла сітки простору  $R^p$  за формулою (1) визначаються відстані між ним і рештою вузлів, в яких задані значення функції  $y$ . Потім отримані відстані ранжуються в порядку зростання. Ранжований вектор відстаней позначимо  $D_i = (d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{i1}, \dots, d_{i(N_g-1)})$ .

Далі, маючи масив, що складається з пар чисел  $d_k, y_k$  ( $k = 1, 2, \dots, N_g - 1$ ), вирішуємо задачу екстраполяції дискретної залежності  $y(d_k)$  безперервною наближеною функцією  $y_r(d)$ . При її побудові використовуються тільки  $n$  найближчих вузлів ( $n < N_g - 1$ ). В загальному випадку величина  $n$  визначається в процесі попереднього обчислювального експерименту.

Як модель для наближення використовується квадратичний поліном

$$y_r(d) = \sum_{i=0}^2 a_i d^i, \text{ в якому коефіцієнти } a_i \text{ визначаються з умови мінімізації}$$

$$\text{функціонала } \sigma = \sum_{k=1}^n [y_k - y_r(d_k, a_i)]^2 \rightarrow \min.$$

Ітеративний процес уточнення критерію, що обчислюється за формулою (2) або (3), продовжується до тих пір, поки число ітерацій, впродовж яких не відбувається покращення рішення, не перевищить задане значення, або поки розрахункове значення середньої абсолютної похибки прогнозу не буде нижчим за задану величину допустимої похибки, або поки не буде перевищено максимальний час обчислень. Слід зазначити, що особливістю еволюційного обчислювального процесу є те, що він може бути зупинений і продовжений у будь-який момент.

Наступний етап – використання отриманих в процесі навчання результатів для прогнозування шуканих цільових параметрів нового об'єкту за відомими вхідними характеристиками. Для цього спочатку виявляються інформативні вибірки, в які потрапляє новий об'єкт з урахуванням своїх якісних ознак. Для аналізу використовується вибірка, в якій помилка прогнозу має найменше значення. Розрахунок кожного цільового параметра нового об'єкту зводиться до задачі екстраполяції функції  $u_r(d)$  поблизу вузла сітки цього об'єкту.

Після того, як стають відомими вихідні параметри об'єкту, він поповнює навчальні вибірки і проводиться уточнення вагових коефіцієнтів. Таким чином, прогнозування цільових параметрів є не разовою операцією, а процесом, в ході якого постійно виконуються збір, очищення і узгодження початкових даних, уточнення вагових параметрів і верифікація результатів.

**Висновки.** Для виділення найбільш істотних ознак при прогнозуванні використано експертну інформацію на основі методів ранжирування. Застосування методу безпосередньої оцінки дозволило виділити ті фактори, які є найбільш інформативними для прогнозування частоти ускладнень при лікуванні інсульту та постінсультної реабілітації. На підставі цих ознак з використанням методів кластерного аналізу побудована модель прогнозування частоти ускладнень і тяжкості перебігу постінсультної реабілітації, що виконує дві основні функції: аналізу вибірки пацієнтів, що дозволяє згрупувати їх за схожістю перебігу реабілітації; діагностики станів хворих на підставі класифікації.

Розроблений метод інтелектуальної обробки багатовимірних різнотипних масивів медико-біологічної інформації дозволяє підібрати вагові коефіцієнти вхідних параметрів, не знижуючи розмірності простору ознак, що, у свою чергу, дозволяє виключити втрату важливої інформації та врахувати слабкі зв'язки в інформаційних масивах.

Пропонований метод прогнозування може використовуватися в будь-якій області, за умови, що відомості про об'єкти зведені в великі масиви, описуються в протоколах "вхід-вихід" і для них справедлива гіпотеза про монотонність ухвалення рішень в локальній області.

- Список літератури:** 1. Инсульт. Принципы диагностики, лікування і профілактики / За ред. *Н.В. Верещазіна, М.А. Пірадова, З.А. Сусліной*. – М.: Інтермедіка, 2002. – 208 с. 2. К вопросу поэтапной реабилитации больных, перенесших инсульт / *В.М. Боголюбов* и соавторы // Вопросы курортологии, физиотерапии и ЛФК. – 1998. – № 3. – С. 17–18. 3. *Демиденко Т.Д.* Система поэтапной реабилитации постинсультных больных / *Т.Д. Демиденко, О.А. Валунов* // Актуальные вопросы медицинской нейрореабилитации. – М., 1996. – С. 5–6. 4. *Черникова Л.А.* Нейрореабилитация: современное состояние и перспективы развития / *Л.А. Черникова* // Русский медицинский журнал. – 2005. – № 22. – С. 1453–1456. 5. *Гудкова В.В.* Ранняя реабилитация после перенесенного инсульта / *В.В. Гудкова, Л.В. Стаховская, Т.Д. Кирильченко* // Consilium medicum. – 2005. – № 8. – С. 692–696. 6. Технологии анализа данных: Data Mining, Visual Mining, OLAP / *А.А. Барсегян, М.С. Куприянов, В.В. Степаненко, И.И. Холод*. – СПб: БХВ-Петербург, 2007. – 275 с. 7. *Загоруйко Н.Г.* Прикладные методы анализа данных и знаний / *Н.Г. Загоруйко*. – Новосибирск: Изд-во Ин-та математики, 1999. – 270 с. 8. Базы данных. Интеллектуальная обработка информации / *В.В. Корнеев, А.Ф. Гареев, С.В. Васютин, В.В. Райх*. – М.: Нолідж, 2001. – 496 с. 9. *Цыганкова И.А.* Численный метод прогнозирования исхода заболевания / *И.А. Цыганкова* // Врач и информационные технологии. – 2007. – № 2. – С. 22–25. 10. Этапная реабилитация постинсультных больных с когнитивными расстройствами / *А.А. Козёлкин, С.А. Медведкова, А.В. Ревенько, А.А. Кузнецов* // Український неврологічний журнал. – 2008. – № 2. – С. 141–148.

УДК 52-17:616.831-005.1

**Модель прогнозирования осложнений и управления реабилитационным процессом у постинсультных больных / Белоусова О.В., Азархов А.Ю., Злепко С.М., Штофель Д.Х., Костишин С.В.** // Вестник НТУ "ХПИ". Тематический выпуск: Информатика и моделирование. – Харьков: НТУ "ХПИ". – 2011. – № 36. – С. 23 – 28.

В статье рассмотрена проблема математического моделирования состояния больных, перенесших мозговой инсульт. Предложена индивидуально ориентированная модель прогнозирования развития осложнений, хода реабилитационного процесса и выбора оптимальной схемы лечения. Многомерность и функция обучения позволяет применять ее и для других неспецифических задач прогнозирования. Библиогр.: 10 назв.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, мозговой инсульт, прогнозирование, реабилитационный процесс, лечение.

UDC 52-17:616.831-005.1

**Model of prognostication of complications and rehabilitation process control of post-apoplectic patients / Bielousova O.V., Azarkhov O.Yu., Zlepko S.M., Shtofel D.Kh., Kostishyn S.V.** / Herald of the National Technical University "KhPI". Subject issue: Information Science and Modelling. – Kharkov: NTU "KhPI". – 2011. – № 36. – P. 23 – 28.

The problem of mathematical modelling of patient's state after a cerebral stroke is considered in the article. The individually oriented model of complications development prognostication, rehabilitation process prognostication, and selection of optimum treatment plan is offered. It's multidimensionality and teaching function allows to apply offered model also in other unspecific prognostication tasks. Refs.: 10 titles.

**Keywords:** mathematical modelling, cerebral stroke, prognostication, rehabilitation process, treatment.

*Надійшла до редакції 30.06.2011*