



СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ

УДК 519.217.2+616.006

А.М. ГУПАЛ

Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Київ, Україна,
e-mail: gupalanatol@gmail.com.

А.Л. ТАРАСОВ

Інститут кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Київ, Україна,
e-mail: freearcher@ukr.net.

БАЄСОВІ ПРОЦЕДУРИ РОЗПІЗНАВАННЯ ДЛЯ АНАЛІЗУ БІЛКОВИХ СТРУКТУР ПЛАЗМИ КРОВІ ЗА ПОКАЗНИКАМИ ЛАЗЕРНОГО СПЕКТРОГРАФА У ПАЦІЄНТІВ З ПУХЛИНАМИ ГОЛОВНОГО МОЗКУ

Анотація. Розглянуто застосування Баєсових процедур розпізнавання до вивчення запальних процесів при гліомах. Проаналізовано показники білкових структур плазми крові при гліомах, метастазах та черепно-мозковому струсі, отриманих за допомогою лазерного спектрографа. Зроблено порівняльний аналіз результатів розпізнавання на базі білкових структур за показниками поверхневого плазмового резонансу та модифікованої швидкості осідання еритроцитів при гліомах.

Ключові слова: Баєсові процедури розпізнавання, гліоми головного мозку, метастази, лазерний спектрограф, білкові структури плазми крові.

У запропонованій роботі описано застосування Баєсових процедур розпізнавання (БПР) до запальних процесів, обумовлених гліомами, метастазами та черепно-мозковим струсом (ЧМС). Проаналізовано показники білкових структур (БС) [1] плазми крові, які отримано за допомогою лазерного спектрографа у пацієнтів зі зазначеними діагнозами та для групи здорових людей. Спектрограф вимірює інтенсивність відбиття лазерного проміння від поверхні пластини з плазмою крові в діапазоні хвиль від 1 до 1000 нм. Також вимірюється відповідний об'єм та кількість молекул, які спричиняють таку інтенсивність відбиття. Всі три показники вимірюються у відсотках в залежності від довжини хвилі з точністю 0.1. Зроблено порівняльний аналіз застосування БПР для показників БС щодо поверхневого плазмового резонансу (ППР) — методики вимірювання поверхневого резонансу за допомогою лазерного променя [2], та модифікованої швидкості осідання еритроцитів (МШОЕ) — методики вимірювання осідання еритроцитів у динаміці з інтервалом у п'ять хвилин [3, 4].

Гліоми — різновид пухлин головного мозку, які класифікуються в залежності від важкості перебігу хвороби, а саме: злоякісні (гліоми III та IV ступенів); умовно доброякісні (гліоми I та II ступенів, які повільно прогресують у злоякісну форму). На жаль сьогодні гліоми є невиліковними.

Метастази головного мозку — клітинні утворення, які з'являються в мозку внаслідок їхньої міграції з іншого позамозкового пухлинного осередка. Метастази є злоякіснішими аніж гліоми.

© А.М. Гупал, А.Л. Тарасов, 2022

Таблиця 1. Показники БС для одного пацієнта

Довжина хвилі, нм	Відбиття молекул, %	Об'єм молекул, %	Кількість молекул, %
23.9	0	12.7	21.6
29.0	0.9	28.8	46.6
35.3	0.5	19.7	28.3
42.9	0	3.5	3.3
113.6	0	0.3	0
138.0	1.9	1.7	0
167.7	11.1	4.3	0
203.8	23.4	6.4	0
247.7	29.3	7.4	0
301.0	23.7	7.6	0
365.8	9.2	5.7	0
444.5	0	1.9	0

Менінгіоми — доброякісні пухлини головного мозку, які дуже рідко прогресують в злоякісну форму та лікуються зазвичай за допомогою хірургічного втручання (даних щодо менінгіом для БС немає, але вони наведені у цій статті в контексті розпізнавання за показниками ППР).

За допомогою методів візуалізації магнітно-резонансної томографії та комп'ютерної томографії не завжди вдається діагностувати ступінь злоякісності гліом. Остаточний діагноз встановлюють під час гістологічного аналізу хірургічно вилученої пухлини. Тому сьогодні актуальним є розроблення допоміжних діагностик, що дають змогу визначити ступінь злоякісності гліом ще до операції.

Той факт, що показники інтенсивності відбиття, об'єму та кількості молекул вимірюються на різних довжинах хвиль, потребує введення поняття випадкової величини (ефективність розпізнавання для об'єму та кількості молекул виявилась нижчою за інтенсивність відбиття, тому вона далі не розглядається). Як приклад у табл. 1 виділено жирним шрифтом показники одного пацієнта щодо інтенсивності відбиття, об'єму та кількості молекул у інтервалі 1–35 нм. У результаті отримуємо суму 0.9% — інтенсивність відбиття. Для роботи БПР аналогічно [2, 3] проводимо дискретизацію отриманих величин інтенсивності відбиття, наведених у табл. 2. У цій таблиці містяться показники інтенсивності відбиття для 20 пацієнтів з гліомами III та IV ступенів і номери інтервалів, у які потрапляють ці

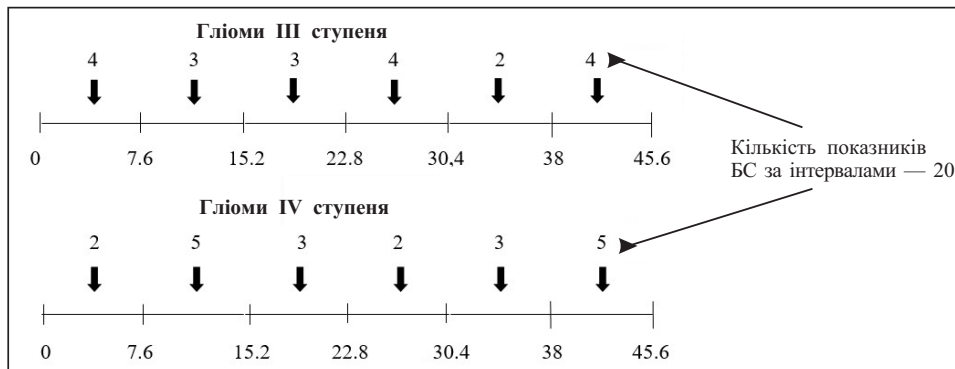


Рис. 1. Розподіл показників БС за інтервалами

Таблиця 2. Показники БС інтенсивності відбиття для пацієнтів з гліомами III і IV ступенів

Гліоми III ступеня			Гліоми IV ступеня		
Номер пацієнта	Показник, %	Інтервал	Номер пацієнта	Показник, %	Інтервал
1	3.3	1	1	0.4	1
2	4.5	1	2	3.3	1
3	2.1	1	3	7.8	2
4	6.1	1	4	8.1	2
5	7.8	2	5	10.2	2
6	11.1	2	6	12.6	2
7	12.3	2	7	9.7	2
8	15.4	3	8	15.3	3
9	20.1	3	9	16.7	3
10	21.8	3	10	20.1	3
11	23.1	4	11	23.5	4
12	24.2	4	12	30.1	4
13	25.3	4	13	32.4	5
14	26.1	4	14	35.6	5
15	31.1	5	15	31.1	5
16	32.3	5	16	39.2	6
17	39.1	6	17	40.3	6
18	40.2	6	18	41.6	6
19	43.1	6	19	44.4	6
20	44.5	6	20	45.5	6

величини інтенсивності. На рис. 1 показано розподіл цих показників відбиття по інтервалах, довжиною 7.6%, у вигляді натуральних чисел.

У остаточних результатах довжина інтервалів хвиль та конкретний інтервал цієї довжини, на якому отримуємо найкращий результат розпізнавання, вибирається за допомогою програми. Це можна виконати на звичайному персональному комп'ютері завдяки тому, що БПР — поліноміальна процедура, яка виконується дуже швидко.

У скороченому вигляді БПР з однією ознакою виконується в процесі розпізнавання на прикладі гліом III та IV ступенів у такий спосіб:

$$P(f = i | x_1) = \frac{P(x_1 | f = i)P(f = i)}{P(x_1)}, \quad i = \{\text{Гл. III, Гл. IV}\}.$$

Відповідь БПР визначається за формулою

$$A(x_1 = j) = \begin{cases} \text{Гл. III,} & m_{j\text{III}} > m_{j\text{IV}} \\ \text{Гл. IV,} & m_{j\text{III}} < m_{j\text{IV}} \\ \text{Невідомий,} & m_{j\text{III}} = m_{j\text{IV}} \end{cases}, \quad (1)$$

де $A(x_1) = j$ — стан об'єкта (гліоми III або IV ступеня), j — номер інтервалу,

Таблиця 3. Порівняльні результати розпізнавання комплексних параметрів для БС, ППР та МШОЕ

Діагнози	БС		ППР, ефективність %	МШОЕ, ефективність %
	Діапазон, нм	Ефективність, %		
II, III	15.1 – 115	91.43	–	88.23
II, IV	22.6 – 112.1	78.57	31.25	88.88
II, З	22.6 – 133.5	85.71	76.19	84.37
II, Мт	47.9 – 128.5	85.71	–	88.88
II, ЧМС	21.9 – 47.3	86.36	–	93.33
III, IV	32.6 – 125.8	77.14	88.88	88.23
III, З	23.7 – 203.1	86.11	–	91.66
III, Мт	63.3 – 101	82.86	84.21	88.23
III, ЧМС	7.5 – 46.2	82.86	84.61	93.75
IV, З	9.7 – 169.2	77.05	–	90.9
IV, Мт	50.2 – 99.2	76.92	80	85
IV, ЧМС	28.5 – 197.3	81.82	88.88	93.33
З, Мт	95.9 – 197.8	84.62	80.95	88.88
Мт, ЧМС	58.4 – 109.4	84.62	77.77	91.3
Мт, Мп	–	–	91.3	86.66
II, III, IV	15.1 – 116	65.71	–	60.86
II, III, Мт	22.6 – 46.9	53.85	–	64.7
III, IV, Мт	47.8 – 161.9	54.29	–	64.1
II, III, IV, Мт	–	–	–	51.61

Примітка. Тут II, III, IV — гліоми; З — здорові; Мт — метастази; ЧМС — черепно-мозковий струс; Мп — менінгіоми I, II, III ступенів разом.

в який потрапляє показник БС, m_{jIII} — кількість показників БС, які потрапили у інтервал j , m_{jIV} — кількість показників БС, які потрапили у інтервал j .

Тобто, згідно з (1) можна легко порівняти кількість показників, які потрапляють у певні інтервали (див. рис. 1). Відповідно маємо розпізнавання 40% гліом III ступеня та 65% гліом IV ступеня.

У результаті аналогічно розпізнаванню за показниками МШОЕ або ППР уводимо поняття (комплексний параметр), який характеризується такими показниками: інтенсивність відбиття, інтервал хвиль, інтервал розбиття значень випадкової величини, розподіл показників БС по інтервалах (див. рис. 1).

У табл. 3 наведено остаточні порівняльні результати розпізнавання для методик БС, ППР та МШОЕ для двох, трьох або чотирьох діагнозів. Найкращий результат розпізнавання за даними БС є у пари діагнозів гліом II та III ступенів — 91.43%. У випадку розпізнавання трьох діагнозів гліом II, III та IV ступенів найкращий результат маємо для БС — 65.71%. Це дає можливість робити певні доопераційні заходи щодо гліом.

Як і в разі використання методик МШОЕ та ППР особлива увага приділяється розпізнаванню запальних процесів на ранніх стадіях розвитку гліом, а саме гліом II ступеня для групи здорових людей. За даними БС таке

розпізнавання становить 85.71%, для МШОЕ — 84.35%, а для ППР — 76.2%. Тобто за даними БС можна розпізнавати запальні процеси на ранніх стадіях краще, ніж за даними МШОЕ або ППР.

Також аналогічно МШОЕ та ППР у запропонованій роботі отримано результати розпізнавання ЧМС щодо гліом та метастазів. У такому випадку мова йде про диференційну діагностику (у цьому контексті — медичний термін), коли розпізнаються запальні процеси онкологічної та неонкологічної природи.

Таким чином, можна зробити такі висновки. В процесі аналізу результатів розпізнавання за допомогою даних БС, ППР та МШОЕ зазначені методики доповнюють одна одну. Під час розпізнавання певних комбінацій діагнозів кожна з трьох методик має певні переваги перед іншими. Методи БС, ППР та МШОЕ є допоміжними діагностичними інструментами для комп'ютерної томографії або магнітно-резонансної томографії. Найчастіше МШОЕ дає кращі результати, ніж дані БС та ППР, але в деяких випадках, таких як розпізнавання гліом II, III та IV ступенів або розпізнавання гліом на початкових стадіях розвитку показники БС мають перевагу перед МШОЕ та ППР. Це дає можливість проводити певні доопераційні заходи лікування. Розпізнавання за показниками ППР поступається методикам БС та МШОЕ, але у разі розпізнавання менінгіом щодо метастазів має найкращий результат.

Як і за показниками МШОЕ, дані за БС дають високу ефективність розпізнавання запальних процесів під час ЧМС щодо запальних процесів онкологічного походження. Це дає привід говорити про різну природу запальних процесів онкологічного та неонкологічного походження.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Гридина Н.Я., Гупал А.М., Драгунцова Н.Г., Тарасов А.Л., Чунихин А.Ю. Разработка метода программного анализа перераспределения белковых структур у больных с глиомами головного мозга. *Компьютерная математика*. 2016. № 1. С. 119–124. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/68405>.
2. Гридина Н.Я., Гупал А.М., Тарасов А.Л., Ушенин Ю.В. Анализ нейрохирургических патологий с применением байесовских процедур распознавания для показателей поверхностного плазмонного резонанса при агрегации клеток крови. *Кибернетика и системный анализ*. 2020. Т. 56, № 4. С. 35–45. <https://doi.org/10.1007/s10559-020-00271-4>.
3. Тарасов А.Л., Гупал А.М., Гридина Н.Я. Модификация использования байесовских процедур распознавания до запальных процессов при глиомах, метастазах та менінгіомах за показниками швидкості осідання еритроцитів. *Кибернетика та комп'ютерні технології*. 2021. № 2. С. 57–62. <https://doi.org/10.34229/2707-451X.21.2.5>.
4. Тарасов А.Л. Використання байесовських процедур розпізнавання з незалежними ознаками до запальних процесів при глиомах, метастазах та менінгіомах за показниками швидкості осідання еритроцитів. *Кибернетика та комп'ютерні технології*. 2021. № 3. С. 34–42. <https://doi.org/10.34229/2707-451X.21.3.3>.
5. Гридина Н.Я., Гупал А.М., Тарасов А.Л. Байесовские процедуры распознавания воспалительных процессов при глиомах головного мозга. *Кибернетика и системный анализ*. 2017. Т. 53, № 3. С. 41–48. <https://doi.org/10.1007/s10559-017-9936-4>.

A.M. Gupal, A.L. Tarasov

BAYESIAN RECOGNITION PROCEDURES IN THE ANALYSIS OF BLOOD PLASMA PROTEIN STRUCTURES ACCORDING TO LASER SPECTROGRAPH MEASUREMENTS IN BRAIN TUMORS

Abstract. Application of Bayesian recognition procedures to the analysis of inflammatory processes in gliomas is considered. Parameters of protein structures of blood plasma in gliomas, metastases, and cerebral concussion obtained by a laser spectrograph are analyzed. A comparative analysis is carried out for the results of recognition on the basis of protein structures in relation to the parameters of surface plasmon resonance and modified erythrocyte sedimentation rate in gliomas.

Keywords: Bayesian recognition procedure, brain gliomas, metastases, craniocerebral concussion, laser spectrograph, protein structures of blood plasma.

Надійшла до редакції 25.01.2022