

УДК 519.1.63+616.74-009.7-085.814.1+616-073.43

РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ ВИВЧЕННЯ НЕГАТИВНИХ ПРОГНОСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПОМИЛКИ РЕГІОНАРНОЇ АНЕСТЕЗІЇ ЗА ДОПОМОГОЮ АЛГОРИТМІЧНОЇ СХЕМИ МЕТОДУ ГІЛОК І ГРАНИЦЬ

І.М. Мельник*, Р.В. Бубнов**

*Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій і систем НАН України, **Клінічна лікарня "Феофанія" Державного управління справами, Центр ультразвукової діагностики та інтервенційної сонографії
e-mail: rostbubnov@gmail.com

Вступ. Проведення УЗ-контролю регіонарної анестезії вимагає постійного вдосконалення мультидисциплінарного підходу з аналізом помилок і розробкою диференційованого підходу до кожної клінічної ситуації з доведенням ефективності блокади до 100 %. Існує завдань, які потрібно вирішити для того, щоб регіонарна анестезія під ультразвуковим контролем (РАУЗК) стала стандартним методом лікування в майбутньому. По-перше, розробка ряду керівних принципів для вирішення навчальних програм і сфери практичного застосування РАУЗК. Метою є визначення рівня навичок і мінімальної підготовки, необхідних для досягнення певного рівня "компетентності" для РАУЗК. Сьогодні якісна освіта з використання методів регіонарної анестезії під ультразвуковим контролем має важливе значення. При проведенні регіонарної анестезії під ультразвуковим контролем, крім засвоєння соноанатомії регіонарної анестезії, анестезіолог повинен відпрацювати дві основні практичні навички: (а) можливість узгодження голки для ультразвукового променя, а також (б) правильно визначати доступ за умови постійної візуалізації голки. Такі навички можна здобути при виконанні пункцій на фантомах для інтервенційного ультразвуку, пристосованих для регіонарної анестезії. Нами розроблено спеціальні фантоми [3] для навчання інтервенційних методик під УЗ контролем, в тому числі регіонарної анестезії під контролем УЗД. Розробка алгоритму прогнозування помилок для їх уникнення є необхідною ланкою для формування якісних програм навчання РАУЗК.

З формальної (математичної) точки зору задачі вибору варіантів негативних прогностичних показників помилки інтервенційної сонографії є дискретно-комбінаторними. Пошуки „добрих” рішень для такого роду задач, як правило, носять переборний характер. З математичної точки зору задачі пошуку таких рішень для цих задач називаються в теорії прийняття оптимальних рішень задачами дискретної оптимізації.

Одним з підходів до розв'язання задач дискретної оптимізації є алгоритмічна схема методу гілок і границь. Вперше цей метод був запропонований Лендом і Дойгом [1] у 1960 р. для розв'язання задачі цілочисельного лінійного програмування.

В основі алгоритмічної схеми методу гілок і границь лежить ідея послідовного розбиття поточної множини допустимих розв'язків на підмножини (підмножини розгалуження). На кожному кроці цього методу елементи розбиття (тобто підмножини розв'язків) піддаються перевірці для з'ясування, чи може дана підмножина містити оптимальний розв'язок. Перевірка здійснюється за допомогою обчислення значення нижньої оцінки (оцінки знизу) цільової функції (для задач мінімізації) або верхньої оцінки (оцінки зверху) цільової функції (для задач максимізації) на цій підмножині розв'язків і співставлення значення оцінки зі значенням рекорду на цей момент. Рекорд – це на даний момент найкраще значення цільової функції зі знайдених розв'язків. Для задачі максимізації алгоритмічна схема методу гілок і границь буде така.

Якщо верхня оцінка цільової функції на даній підмножині розв'язків не більше (менше) рекорду, то ця підмножина може бути відкинута для подальшого розгляду,

оскільки вона завідомо не містить оптимальний розв'язок (вона не «перспективна» для подальшого розгляду. Значення рекорду буде змінюватися, якщо значення цільової функції для нового знайденого розв'язку менше раніше обчисленого рекорду, на це нове знайдено. Якщо на якомусь кроці вдається відкинути всі елементи розбиття (підмножини розв'язків), то значення рекорду — це оптимальне значення розв'язку початкової задачі. В іншому випадку, з підмножин розв'язків, які не відкинуті, обирається одне з „перспективних” і воно розбивається на підмножини розгалуження. Ці нові підмножини розв'язків знов перевіряються на „оптимальність” і т.д., поки на якомусь кроці не вийде, що значення рекорду буде більшим (не меншим) значень верхніх оцінок цільової функції на всіх підмножинах розгалуження. По закінченні цього обчислювального процесу поточне значення рекорду і є оптимальним значенням цільової функції, а відповідний розв'язок є оптимальним розв'язком початкової задачі.

Метод гілок і границь включає дві складові процедури: побудова гілок і обчислення границь (верхніх) значень функції мети оптимізації. Розгалуження - це виявлення всіх можливих варіантів так, щоб не залишити без втрати жодного варіанту. Потрібно побудувати дерево, всі його гілки (розгалуження). Коли починається розгалуження в будь-якій ситуації, то виявлені гілки повинні містити всі можливі шляхи розвитку даної ситуації. Основна вимога, щоб ці підмножини не перетиналися і їх об'єднання створювало б всю множину варіантів рішення. Якби не відсікати гілки до повного їх аналізу, метод гілок звівся би до повного перебору всіх варіантів.

Друга складова процедура методу гілок і границь - це визначення і використання границь (верхніх) значень функції мети - оцінювати гілки без детального їх аналізу і відсікання «безперспективних». Має бути, у будь-який момент аналізу, чисельна оцінка бажаного значення цільової функції.

У загальному випадку задача комбінаторної оптимізації формулюється так: необхідно знайти оптимум (максимум) функції $F(x)$, де елемент x вибирається з деякої дискретної множини X , тобто розглядається така задача:

$$F(x) \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$x \in X, \quad (2)$$

де X - дискретна множина. Множина X є дискретною множиною, якщо для будь-якого її елементу $x, x \in X$, існує дійсне число $\varepsilon(x) > 0$ таке, що для кожного іншого елементу y з цієї множини X має місце нерівність $\rho(x, y) > \varepsilon(x)$, де $\rho(x, y)$ - норма (відстань) в множині X . Тобто, для кожного елемента з множини X існує область (сфера) в множині X , в якій крім цього елемента не існує інших елементів цієї множини.

Досліджувана задача (задача вибору варіантів негативних прогностичних показників помилки інтервенційної сонографії) розглядається як задача комбінаторної оптимізації (як задача на графі) і для її рішення використовується алгоритмічна схема методу гілок і границь в поєднанні з відповідними засобами знаходження ланцюжків гілок (шляхів дуг графа) з «коріння» графа дерева за допомогою процедури проставлення спеціальних відміток вершин [2]. Відмітки вершин графа містять значення верхніх оцінок границь функції мети на підмножини рішень, які є продовженнями збудованих ланцюжків гілок на всьому графі. Ці значення верхніх оцінок границь функції мети і використовуються для виконання відсікання (відсіву) «неперспективних» ланцюжків (шляхів) при проведенні розгалуження в розробленій алгоритмічній схемі гілок і границь для задачі вибору варіантів негативних прогностичних показників помилки інтервенційної сонографії. Розроблена алгоритмічна схема близька до тої, яка запропонована в [4].

Задача вибору *варіантів негативних прогностичних показників помилки інтервенційної сонографії* полягає і при цьому оптимізує (максимізує) функціонал якості рішення – вірогідність його реалізації.

Функція мети буде полягати в максимізації вірогідності реалізації рішення (шляху від начала дерева розгалуження по послідовностям гілок до вершини останньої гілки), тобто:

$$\text{Max } F(u_1, u_2, \dots, u_k) = PR p_1 * p_2 * \dots * p_k,$$

де u_1, u_2, \dots, u_k – відповідна послідовність гілок (дуг) дерева (графа), а p_1, p_2, \dots, p_k – відповідні вірогідності їх реалізації (появи).

Метою дослідження було вирішення комбінаторної (переборної) задачі вибору варіантів негативних, прогностичних показників помилки інтервенційної сонографії, зокрема, регіонарної анестезії під УЗ-контролем для забезпечення високого рівня безпеки пацієнта, а також вивчення рівня навичок і мінімальної підготовки, необхідних для створення навчальних програм для РАУЗК шляхом застосування методу гілок та границь.

Матеріали та методи. Згідно поставленої мети в дослідження включили 2 групи лікарів: 6 анестезіологів, які не мали попереднього досвіду в інтервенційному ультразвуку та групу експертів (лікарів з УЗД) з 6 чоловік з попереднім досвідом пункційних втручань під УЗ-контролем. Були виключені принципові відмінності між кваліфікацією операторів-неспціалістів, усі досліджувані лікарі з УЗД мали досвід інтервенційної сонографії, експерименти були проведені у відносній ізоляції. УЗ обстеження проводили за допомогою портативного ультразвукового апарату Sonosite M-Turbo з використанням мультислотних лінійного та конвексного датчиків (який використовується в клініці в умовах операційної). Дослідження проводили на власних фантомах, які включали гелевий фантом, біологічний фантом та електронний пристрій для реєстрації точного потрапляння голки в об'єкт. Усі спеціалісти - лікарі з УЗД (експерти) та лікарі-анестезіологи (новачки) виконали по 30 пункцій для групи кожного з досліджень. Проводили порівняльне дослідження різних способів введення голки, на різних фантомах, реєстрували успішність, визначали помилки проводили статистичний аналіз. При відсутності експериментальних даних для формування окремих гілок графу використовували експертний метод незалежною оцінкою двома фахівцями з регіонарної анестезії.

Результати

Всі лікарі пройшли візуалізаційні та інтервенційні випробувань. Результати дослідження проведення пункцій та зареєстровані помилки інтервенційного втручання представлені на рис. 1 (графі).

Таким чином, на дереві (графі) зображений алгоритм варіантів (ланцюжків) негативних наслідків при виконанні регіонарної анестезії з допущеними інтервенційними та візуалізаційними помилками, де

- 1 – втрата візуалізації голки;
- 2 - втрата візуалізації об'єкту;

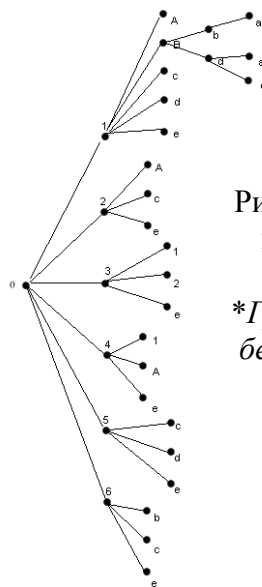


Рис. 1. Дерево (граф) помилок при виконанні регіонарної анестезії на фантомах.

*Граф зображений скорочено, без надмірного розгалуження варіантів.

*

- 3 - неправильне співставлення боку дослідження та зображення на екрані;
- 4 - невдалий вибір місця введення голки;
- 5 - нерівномірний розподіл місцевого анестетика;
- 6 – втома;
- A - невірна траєкторія голки;
- B - пошкодження оточуючих тканин;
- a - відсутність ефекту;
- b - зниження якості анестезії;
- c - збільшення тривалості маніпуляції;
- d - травматична тривала корекція (наприклад, додатковий укол);
- e - швидка адекватна корекція.

5. Висновок. Метод гілок і границь, який пропонується для рішення задачі вибору варіантів негативних прогностичних показників помилки інтервенційної сонографії як задачі комбінаторної оптимізації, суттєво використовує специфіку задачі і, завдяки цьому, ефективно вирішує цю задачу.

При порівняльному дослідженні для початківців основною помилкою є просування голки без належної візуалізації за допомогою ультразвукового променя. Іншими помилками були нездатність співставити бік дослідження та зображення на екрані, невдалий вибір місця введення голки, нерівномірний розподіл місцевого анестетика тощо. Названі помилки призвели до помилки пункції, проте це може викликати ятрогенну травму в клінічних умовах.

Література

1. Land A.H., and Doig A.G. An automatic method of solving discrete programming problems. *Econometrics*. V. 28 (1960), pp. 497-520.
2. Ю.М. Ермольев, И.М. Мельник, Экстремальные задачи на графах. Издательство «Наукова думка», К. – 1969. – 159 с.
3. Бубнов Р.В. Моделирование регионарной анестезии под ультразвуковым контролем с помощью интегрированного применения трехмерных технологий и фантомов [Текст] // *Международ.мед. журн.* – 2011. – № 2. – С. 98-104.
4. Мельник І.М. Використання методу гілок і границь для розв'язання задачі дискретної оптимізації з метою вибору оптимальної регресійної моделі. // *Індуктивне моделювання складних систем. Збірник наукових праць. К. МННЦІТС, 2008. – С. 131-139.*