

УДК. 616.216.2/3-002-071.3-089.844
DOI: 10.24061/2413-4260. XV.1.55.2025.7

О. Б. Боднар, Р. Ю. Рандюк

Буковинський державний медичний університет
(м. Чернівці, Україна)«МОДЕЛЬНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ
МАТЕМАТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ
ХІРУРГІЧНОГО ДОСТУПУ ПРИ
ШКІРНО-ПІДШКІРНО-ФАСЦІАЛЬНОМУ
КЛАПТІ ДЛЯ ЛІКУВАННЯ ДІТЕЙ
З ПІЛОНІДАЛЬНИМ СИНУСОМ»**Резюме.**

Пілонідальний синус залишається актуальною проблемою хірургії через високу частоту рецидивів (13,3-95,2%), післяопераційні ускладнення (4,2-25,0%) і тривалий термін лікування (30-70 днів). Відсутність єдиної загальноприйнятої тактики лікування обумовлює необхідність пошуку оптимальних хірургічних методів. Одним із перспективних підходів є шкірно-підшкірно-фасціальна пластика з використанням ротаційного лоскуту. Ця методика сприяє мінімізації натягу тканин і перерозподілу м'яких тканин у ділянці крижово-куприкової складки.

Мета дослідження. Створити математичну модель обґрунтування форми та параметрів оперативного доступу при лікуванні пілонідальної хвороби методом шкірно-підшкірно-фасціальна пластика з програмним рішенням.

Матеріали та методи. Проаналізовано 50 випадків пілонідального синусу у дітей, які знаходились на стаціонарному лікуванні у Комунальному некомерційному підприємстві «Міська дитяча клінічна лікарня» м. Чернівці, за період 2020-2023 рр., віком від 15 до 18 років. Пацієнти були поділені на дві групи: група I – діти прооперовані класичним методом (видалення пілонідального синусу з підшиванням країв рани до крижово-куприкової фасції) (n=35) та група II – втручання методом шкірно-фасціальної пластики з використанням власної математичної моделі (n=15). Аналізували терміни загोєння, інтенсивність больового синдрому (за візуальною аналоговою шкалою), тривалість оперативного втручання, тривалість госпіталізації, наявність ускладнень.

Результати. Розроблена математична модель ґрунтується на геометричному аналізі та оптимізації форми розрізу для мінімізації площі висічення при збереженні адекватного покриття патологічних норицевих отворів. Використано метод побудови оптимального дельтоподібного чотирикутника замість традиційного ромба. Враховано просторове розташування патологічних ходів та можливість ротаційного закриття дефекту. Оптимізовано розташування основного розрізу для мінімізації натягу тканин, що зменшує ризик післяопераційних ускладнень. Інтенсивність болю на першу добу у групі I була більш ніж удвічі нижчою, ніж в групі класичного лікування. На другу та третю добу інтенсивність болю була майже на 70% меншою у групі шкірно-підшкірно-фасціальної пластики порівняно з групою II. Тривалість госпіталізації у групі шкірно-підшкірно-фасціальної пластики була на 17% коротшою, ніж в групі II, тривалість болю була нижчою на 40% а кількість ускладнень була нижчою в 3,75 рази. Час заживлення був втричі нижчим у групі I.

Висновки. За розробленою моделлю просторового обґрунтування форми та параметрів оперативного доступу при пілонідальному синусі показано доцільність використання дельтоподібних розрізів, параметри яких визначаються розташуванням зовнішніх отворів норицевих ходів по відношенню до міжсідничної складки. Контур операційної рани з чітко визначеними геометричними параметрами розрахованого об'єкту дозволяє виконувати найбільш оптимізовані пластичні оперативні втручання при видаленні пілонідальної кісти, що покращує якість та наслідки лікування. Даний спосіб дозволяє зменшити інтенсивність на 70% та тривалість болю на 40% у дітей в післяопераційному періоді. При застосуванні цього способу кількість ускладнень знижується в 3,75 рази, а тривалість госпіталізації скорочується на 17%. Також він скорочує час заживлення рани втричі, що дозволяє рекомендувати шкірно-підшкірно-фасціальну пластику з розрахунками за допомогою математичної моделі як метод вибору при лікуванні пілонідального синусу.

Ключові слова: пілонідальний синус; шкірно-підшкірно фасціальна пластика; діти.

Вступ

Актуальність хірургічного лікування пілонідального синусу (ПС) на сучасному етапі обумовлена відсутністю загальноприйнятої тактики, що підтверджується високим рівнем післяопераційних ускладнень (4,2-25,0%), тривалим терміном лікування (30-70 днів), високою частотою рецидивів (13,3-95,2%) та пізнім зверненням пацієнтів за медичною допомогою (на стадії гнійного запалення). [1-5]

Домінуюча теорія етіології ПС у дитячому віці – вроджене походження, що зумовлює необхідність радикального видалення всіх елементів утворення в межах здорових тканин. [6]

Сучасні хірургічні методи лікування ПС повинні відповідати вимогам мінімальної інвазивності та щадливого відношення до тканин. Ці методи мають забезпечувати не тільки усунення причини захворювання, а також профілактику його рецидиву.

Одним із запропонованих сьогодні методів оперативного лікування ПС є шкірно-підшкірно фасціальна пластика (ШПФП), яка передбачає використання ротаційного клаптя, що забезпечує зменшення натягу післяопераційної рани та місцевий пластичний перерозподіл м'яких тканин в ділянці крижово-куприкової складки [7-11].

Залежно від поширеності патологічних ходів, особливо наявності вторинних та третинних норицевих отворів та їх просторового відношення один до одного метод може викликати необхідність дуже широкого висічення тканин, щоб видалити усі патологічні елементи задля уникнення рецидиву. Ця методика передбачає симетричне нанесення ромбоподібної розмітки, яка захоплює усі отвори в межах здорових тканин та видалення тканин згідно з нею аж до крижово-куприкової складки. Наступний етап – формування шкірно-підшкірно-фасціального клаптя (ШПФК) для закриття дефекту.

До недоліків такого методу відносяться: великий об'єм видалених тканин, що не відповідає концепції мініінвазивності, формування основного розрізу та розмір клаптя залежить від розташування первинних та вторинних норицевих отворів. Складність розрахування меж основного розрізу та клаптя, що може призводити до надлишкового натягу тканин та пов'язаних з цим ускладнень, таких як: нетримання швів, некроз країв рани та формування больового синдрому у післяопераційному періоді. А безпосередня близькість швів до анального отвору може також сприяти нагноєнню післяопераційної рани за рахунок інфікування власною флорою [12-17].

Відповідно до цього, потрібно використання класичного методу з побудовою ромба, який покриває усі отвори можна покращити, оскільки ромб не є фігурою, яка займає найменшу площу. Потрібно зробити виріз, який покриватиме усі патологічні місця. Класично для цього застосовують ромб. Однак ромб часто не є фігурою, що зайняла б найменшу площу. Тому виникла задача побудувати чотирикутник найменшої площі, який покривав би задані точки. Однак довільний чотирикутник не підійде. У такого типу операцій після завершення вирізана область (чотирикутник) має бути такою, щоб можна було зробити лоскут, який має накластися на виріз. Отже, з математичної сторони, чотирикутник повинен задовольняти ряд обмежень чи умов, щоб можливо було завершити операцію, зокрема при повороті лоскута проти годинникової стрілки на відповідний кут він має накластися на виріз.

Мета дослідження. Створити математичну модель обґрунтування форми та параметрів оперативного доступу при лікуванні пілонідальної хвороби методом ШПФЛ з програмним рішенням.

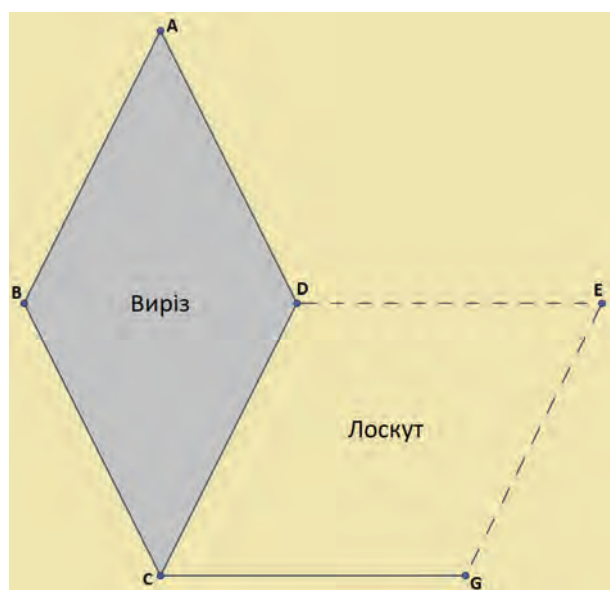
Матеріали та методи дослідження

Проаналізовано 50 випадків ПС у дітей, які знаходились на стаціонарному лікуванні у КНП «Міська дитяча клінічна лікарня» м. Чернівці, за період 2020-2023 рр., віком від 15 до 18 років. Пацієнти були розподілені на дві групи: група I – діти, прооперовані класичним методом (видалення ПС з підшиванням країв рани до крижово-куприкової фасції) (n-35) та група II – втручання методом шкірно-фасціальної пластики з використанням власної математичної моделі (n-15).

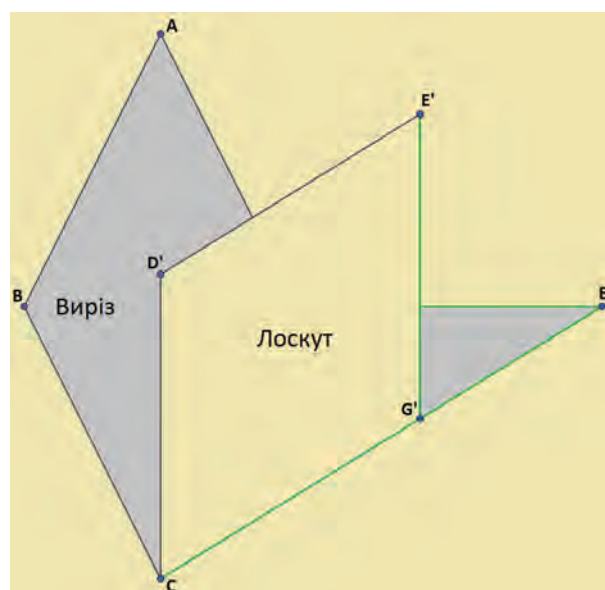
Аналізували терміни загоєння, інтенсивність больового синдрому (за візуальною аналоговою шкалою), тривалість оперативного лікування, тривалість госпіталізації, наявність ускладнень.

Математична модель

Створення математичної моделі почалося з постановки завдання. Потрібно розрахувати фігуру, яка буде відповідати наступним критеріям: бути чотирикутником, покривати усі первинні та вторинні норицеві отвори, займати найменшу можливу площу, відповідати можливості створенню лоскута, який буде можливо ротаційно накласти для закриття дефекту з співпадінням кутів (мал. 1).



а)



б)

Мал. 1. Класична ромбоподібна пластика

а) – визначення лоскута для класичного ромба. Пунктиром позначено місця розрізу.

б) – накладання лоскута на місце вирізу

Математична модель

Задано множини n точок $P_B = \{p_i^B \in \mathbb{R}^2, i = \overline{1, n}\}$ в такій координатній системі, що вісь ординат співпадає з центральною віссю людини, а вісь абсцис довільна (визначається так, як легше буде хірургу

задавати координати точок патологій). Точки P_B завжди можна перетворити так, щоб вони помістилися в область $D = [-1, 1] \times [-1, 1]$, тобто з множини P_B побудувати множину $P = \{p_i \in D, i = \overline{1, n}\}$. Позначимо

$$p_i^B = (x_i^B, y_i^B), p_i = (x_i, y_i);$$

$$p_{max}^B = \left(\max_{i=1,n} x_i^B, \max_{i=1,n} y_i^B \right) = (x_{max}^B, y_{max}^B),$$

$$p_{min}^B = \left(\min_{i=1,n} x_i^B, \min_{i=1,n} y_i^B \right) = (x_{min}^B, y_{min}^B);$$

$$D_B = [x_{min}^B, x_{max}^B] \times [y_{min}^B, y_{max}^B].$$

Тоді $p_i^B \in D_B$. Щоб перетворити P_B у P , зробимо паралельне перенесення області P_B на вектор $-p_0^B$, де $p_0^B = \left(0, \frac{y_{min}^B + y_{max}^B}{2} \right)$ – центр області D_B :

$$P'_B = \{p_i^B - p_0^B, p_i^B \in P_B\}$$

Таке перенесення збереже співпадіння осі ординат з центральною віссю людини та відцентрує точки

відносно осі абсцис. Позначимо найдовшу сторону області D_B як $l_{max} = \max(x_{max}^B - x_{min}^B, y_{max}^B - y_{min}^B)$. Тоді щоб з P'_B отримати P , застосуємо матрицю масштабування (scale) для випадку площини $M(s) = \begin{pmatrix} s & 0 \\ 0 & s \end{pmatrix}$

з таким коефіцієнтом s , що $\left(\frac{l_{max}}{2}, \frac{l_{max}}{2} \right) * M(s) = (1, 1)$. Зайдемо s :

$$\left(\frac{l_{max}}{2}, \frac{l_{max}}{2} \right) * \begin{pmatrix} s & 0 \\ 0 & s \end{pmatrix} = (1, 1)$$

$$\left(\frac{s l_{max}}{2}, \frac{s l_{max}}{2} \right) = (1, 1)$$

$$s = \frac{2}{l_{max}}$$

Отже, $P = \{p_i \mid p_i = (p_i^B - p_0^B) * M\left(\frac{2}{l_{max}}\right), i = \overline{1, n}\}$ – перетворення множини P^B на P так, що вісь ординат точок P співпадає з центральною віссю людини (бо співпадає з віссю ординат P^B), точки відцентровані від-

носно осі абсцис і знаходяться в області D . Наприклад, $P_B = \{(2, 3), (-2, 0), (1, -2)\}$, тоді $D_B = [-2, 2] \times [-2, 3]$, $p_0^B = (0, 0.5)$, $l_{max} = 5, s = 0.4$. Тоді $p_i, i = \overline{1, 3}$ знаходяться так:

$$p_1 = ((2, 3) - (0, 0.5)) * \begin{pmatrix} 0.4 & 0 \\ 0 & 0.4 \end{pmatrix} = (0.8, 1)$$

$$p_2 = ((-2, 0) - (0, 0.5)) * \begin{pmatrix} 0.4 & 0 \\ 0 & 0.4 \end{pmatrix} = (-1, -0.8)$$

$$p_3 = ((1, -2) - (0, 0.5)) * \begin{pmatrix} 0.4 & 0 \\ 0 & 0.4 \end{pmatrix} = (0.4, -1)$$

Перехід від P^B до P спростить відображення точок на екрані та дозволяє пропрацювати ідеї того, як будувати чотирикутник, використовуючи звичну декартову систему координат. Також від P зручно пере-

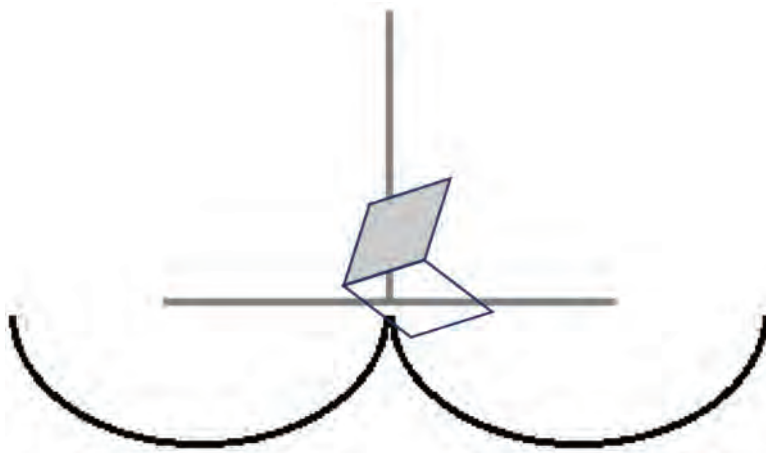
ходити в систему координат екрана, що потрібно буде для зображення точок у програмі. Введемо позначення для чотирикутника, який потрібно побудувати, як множину 4-х точок:

$$Q = \{q_i \in \mathbb{R}^2, i = \overline{1, 4}\}$$

Яким методом потрібно будувати Q , щоб, враховуючи те, що цей чотирикутник повинен коректно відповідати лоскуту, в результаті він був мінімальної площі? Як можна поміти на мал. 1 (б), після накладання лоскута CD' накладається на CB' , CG' на CD . Також для будь-якого чотирикутника CD (сторона вирізу) і CD' (сторона лоскута) повинні бути однаковими, з чого випливає, що у побудованому чотирикутнику 2 сторони мають бути рівні.

Наступне обмеження – кут нахилу вертикальної осі ромба до вертикальної осі системи координат. Цей кут не може бути надто великим, щоб не виникало неможливих хірургічних доступів (мал. 2.) Нехай не більше 15° .

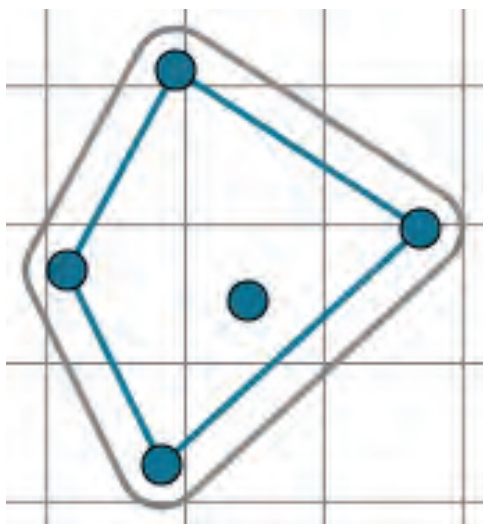
Також є обмеження на кути чотирикутника. Кути при вершинах A та C не можуть бути надто тупими чи надто гострими (видовженими), тобто нехай $30^\circ \leq \angle A$ та $\angle C \leq 80^\circ$. Аналогічно з $\angle B$ та $\angle D$ однак вони вже повинні бути тупими, нехай $100^\circ \leq \angle B$ та $\angle D \leq 150^\circ$.



Мал. 2. Немоżliвий хірургічний доступ

Останнє, що потрібно ще врахувати, – це те, що повинен бути відступ між заданими точками та сторонами чотирикутника щонайменше 4 мм. Якщо побудувати опуклу

оболонку для точок P , тоді можна побудувати область з відступом (мал. 3, сірим кольором). Таким чином, чотирикутник повинен не перетинати цю область з відступом.



Мал. 3. Відступи від точок

Отже, складність задачі не лише в тому, щоб побудувати чотирикутник мінімальної площі, який має покривати усі задані точки, але й побудувати його так, щоб було витримано усі обмеження.

Розв'язання. Програма.

У останній версії програми реалізовано 3 способи побудови чотирикутника:

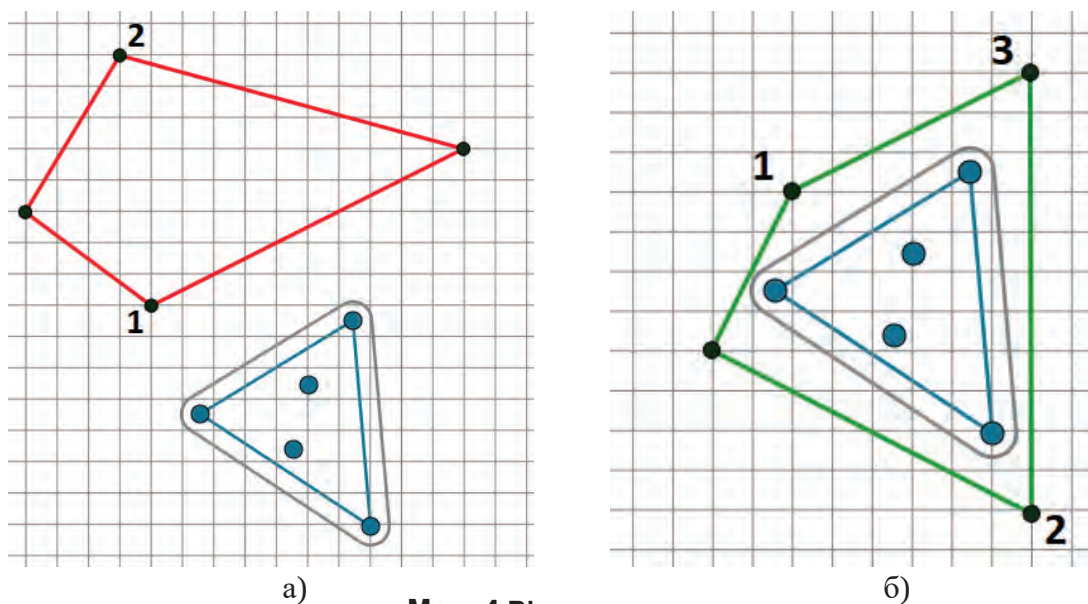
1. Чисельний метод побудови довільного чотирикутника, що задовольняє усі обмеження
2. Побудова дельтоїда чисельним методом
3. Класичний ромб

Незалежно від методу, варто взяти до уваги той факт, що для побудувати Q достатньо розглядати лише ті точки з P , які знаходяться на опуклій оболонці. Всі ж інші не впливають на Q . Тому введемо ще одне позначення $M \subseteq P$ – множина таких точок з P , що лежать на опуклій оболонці.

Чисельний метод

Наступний підхід – це чисельний метод, зміст якого використовувати сітку з фіксованою довжи-

ною однієї клітинки. Таким чином можна перебрати четвірки точок, з яких визначити найкращу, що задовольнить усі умови. Однак такий метод затратний відносно кількості операцій. Якщо взяти область 2×2 умовних одиниць та крок $h = 0.15$, то загальна кількість точок складатиме 169. Тоді кількість четвірок, які необхідно перебрати, становить $C_{169}^4 = \frac{169!}{4!165!} = \frac{169 \cdot 168 \cdot 167 \cdot 166}{4 \cdot 3 \cdot 2} = 32.7 \cdot 10^6$. Чим більший крок h , тим менша точність, тому необхідно брати h якомога меншим. Однак, чим менше крок h , тим значно більша кількість операцій. Тому потрібні оптимізації, зокрема можна оптимальніше виконувати сам перебір. Шляхом прямого перебору завжди будуть випадки, як на мал. 4, а). Немає змісту брати 2-гу точку з меншою ординатою, ніж у першій точці. Таким чином, починати обхід 2-ї точки можна не з початку сітки (скажемо, верхнього лівого кута), а від 1-ї точки. 3-тя точка все ж може мати меншу ординату, що продемонстровано на мал. 4, б).



Мал. 4 Відношення ординат

Ще одна оптимізація полягає в тому, що можна використати умову рівності 2-х сторін чотирикутника. З цієї умови випливає, що 4-та вершина лежить на колі з центром в нижній вершині (у вершині з найбільшою ординатою, позначимо цю точку

$$\begin{cases} x = a + r \cos t, \\ y = b + r \sin t. \end{cases}$$

Якщо підбирати так, щоб точність точок залишалася такою ж, як вихідна сітка, або дещо кращою, кількість операцій буде значно меншою, ніж за допомогою сітки. В останній версії програми ми надали користувачеві можливість задавати h . На початку роботи програми встановлюється оптимальне значення 0.12. З таким кроком програма досить точно знайде чотирикутник за менше ніж хвилину часу. Тим не менш, користувач може зменшити цей крок для більшої точності, однак це займе більше часу.

Побудова дельтоїда чисельним методом

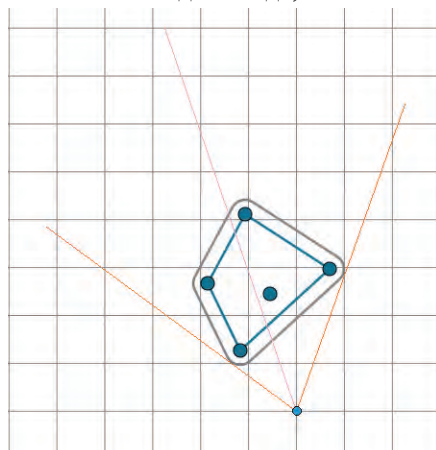
Цей спосіб також використовує сітку, однак будується не довільний чотирикутник, а дельтоїд. На основі властивостей дельтоїда достатньо вибирати лише одну точку на стіці, а від неї можна однозначно будувати 2 інші точки дельтоїда, а останню знахо-

вектором (a, b) та радіусом (позначимо r), який рівний стороні, що виходить з цієї вершини (a, b) . Це означає, що можна здійснити обхід по цьому колу з певним кроком t за допомогою параметричного рівняння кола

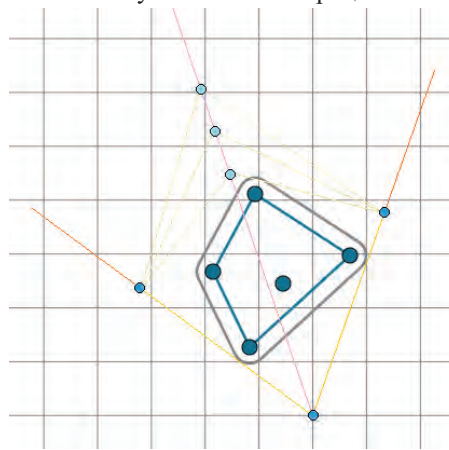
дити, виконавши обхід по прямій. Також плюсом є те, що властивості дельтоїда уже дають чотирикутник, в якого є 2 сусідні сторони рівними, що покриває одну умову задачі. Недолік цього методу те, що будується не загальний чотирикутник, а дельтоїд, який не для всіх випадків вхідних точок буде чотирикутником найменшої площі.

Нехай вибрали точку, як на мал. 5.

Від цієї точки проводяться дотичні до опуклої оболонки. Виходить кут з вершиною у початковій точці. Якщо провести бісектрису, то з властивостей дельтоїда випливає, що на цій бісектрисі лежить вершина дельтоїда. Таким чином, можна з певним кроком пройти точки, що належать бісектрисі, поки не знайдеться точка, яка дає дельтоїд, що задовольняє усі умови задачі (мал. 6). Це значно зменшує кількість операцій.



Мал. 5. Побудова дельтоїда



Мал. 6. Точка, яка задовільняє усі умови задачі

Результати дослідження та їх обговорення.

Тривалість оперативного лікування в обох групах була практично однаковою, становила до 50 хвилин, що вказує на те, що використання методу ШППП з розміткою відповідно до запропонованої математичної моделі не подовжує час операції.

Інтенсивність болю на першу добу у групі I була більш ніж удвічі нижчою, ніж в групі класичного лікування. На другу та третю добу інтенсивність болю була

майже на 70% меншою у групі шкірно-фасціальної пластики порівняно з групою підшивання до фасції (Табл. 1).

Ми вважаємо, що оперативне лікування з використанням лоскутів, розрахованих за допомогою математичної моделі, дозволяє зменшити травму тканин за рахунок зменшення об'єму операції та мінімізувати натяг тканин, що позитивно впливає на тривалість та інтенсивність болю в післяопераційному періоді.

Таблиця 1**Інтенсивність болю за візуальною аналоговою шкалою**

Доби після операції	Виразеність больового синдрому	
	I група (шкірно-підшкірно-фасціальна пластика)	II група (підшиванням країв рани до крижово-куприкової фасції)
1 доба	2,1±1,0	5,5±0,5 p<0,05
2 доба	1,4±0,5	4,8±0,6 p<0,01
3 доба	1,1±0,7	3,8±0,8 p<0,02

Примітка: p < – ступінь вірогідності різниць показників порівняно з I групою

Тривалість госпіталізації у групи шкірно-фасціальної пластики була на 17% коротшою, ніж в групі II, а три-

валість болю була нижчою на 40%. Час заживлення був втричі нижчим у групі I. (Табл. 2)

Таблиця 2**Аналіз тривалості болю, часу госпіталізації та заживлення рани.**

Показники	I група (шкірно-підшкірно-фасціальна пластика)	II група (підшиванням країв рани до крижово-куприкової фасції)
Тривалість госпіталізації (дні)	6,6 ± 1,5	8 ± 1,8 p<0,05
Тривалість болю (дні)	6,0 ± 2,2	10 ± 2,0 p<0,02
Час заживлення (дні)	14,4 ± 2,6	42,7 ± 9,1 p<0,01

В обох групах ми спостерігали сероми, що вимагало встановлення дренажів до дна рани, терміном 1-2 доби. Не зважаючи на те, що усім дітям призначалась антибіотикотерапія в післяопераційному періоді, у випадках де були попередні розкриття абсцесів ПС, спостерігалось нагноєння рани. У таких випадках застосовували дренажування, санацію рани розчинами антисептиків (4-5 діб), накладання ранозаживлюю-

чих мазей. Набряк спостерігали в обох групах. Ми пов'язуємо його з натягом тканин через недостатню їх мобілізацію та інфікуванням тканин. Гематому спостерігали у 3-х випадках, що пов'язано з підвищенням кров'яного тиску після операції та недостатньому гемостазі дрібних капілярів. Часткове розходження країв рани було наслідком післяопераційного нагноєння у II групі (табл. 3).

Таблиця 3**Ускладнення після хірургічного лікування пілонідаального синусу**

Ускладнення	I група (шкірно-підшкірно-фасціальна пластика)	II група (підшиванням країв рани до крижово-куприкової фасції)
Серома	1	4
Нагноєння рани		10
Набряк	2	5
Гематома	1	2
Часткова неспроможність рани		2
Всього	4	15

Висновки

1. За розробленою моделлю просторового обґрунтування форми та параметрів оперативного доступу при пілонідаальному синусі показано доцільність використання дельтоподібних розрізів, параметри яких

визначаються розташуванням зовнішніх отворів норицевих ходів по відношенню до міжсідничної складки. Контур операційної рани з чітко визначеними геометричними параметрами розрахованого об'єкту дозволяє виконувати найбільш оптимізовані пластичні опе-

ративні втручання при видаленні пілонідальної кісти, що знижує кількість післяопераційних ускладнень у 3,75 рази та покращує якість та наслідки лікування.

2. Даний спосіб дозволяє зменшити інтенсивність на 70% та тривалість болю на 40% у дітей в післяопераційному періоді. При застосуванні цього способу

кількість ускладнень знижується в 3,75 рази, а тривалість госпіталізації скорочується на 17%. Також він скорочує час заживлення рани втричі, що дозволяє рекомендувати шкірно-підшкірно фасціальну пластику з розрахунками за допомогою математичної моделі як метод вибору при лікуванні пілонідального синусу.

Література:

1. Albabtain IT, Alkhalidi A, Aldosari L, Alsaadon L. Pilonidal sinus disease recurrence at a tertiary care center in Riyadh. *Ann Saudi Med.* 2021;41(3):179-85. doi: 10.5144/0256-4947.2021.179 PMID: 34085545; PMCID: PMC8176377
2. Çakır M, Biçer M. Complications And Recurrence After The Karydakias Flap Surgery. *Pol Przegl Chir.* 2020;93(1):15-8. doi: 10.5604/01.3001.0014.4674 PMID: 33729169
3. Cai Z, Zhao Z, Ma Q, Shen C, Jiang Z, Liu C, et al. Midline and off-midline wound closure methods after surgical treatment for pilonidal sinus. *Cochrane Database Syst Rev* [Internet]. 2024[cited 2025 Feb 20];1(1): CD015213. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10790338/pdf/CD015213.pdf> doi: 10.1002/14651858.CD015213.pub2 PMID: 38226663, PMCID: PMC10790338
4. Eastment J, Slater K. Outcomes of minimally invasive endoscopic pilonidal sinus surgery. *Asian J Endosc Surg.* 2020;13(3):324-8. doi: 10.1111/ases.12748 PMID: 31415131
5. Pérez-Bertólez S, Casal-Beloy I, Pasten A, Martín-Solé O, Salcedo P, Tapia L, et al. Pediatric endoscopic pilonidal sinus treatment: lessons learned after 100 consecutive cases. *Tech Coloproctol* [Internet]. 2024[cited 2025 Feb 20];29(1):14. Available from: <https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10151-024-03049-4.pdf> doi: 10.1007/s10151-024-03049-4 PMID: 39656288
6. Tam A, Steen CJ, Chua J, Yap RJ. Pilonidal sinus: an overview of historical and current management modalities. *Updates Surg.* 2024;76(3):803-10. doi: 10.1007/s13304-024-01799-2 PMID: 38526695, PMCID: PMC11129967
7. Emile SH, Khan SM, Barsom SH, Wexner SD. Karydakias procedure versus Limberg flap for treatment of pilonidal sinus: an updated meta-analysis of randomized controlled trials. *Int J Colorectal Dis.* 2021;36(7):1421-31. doi: 10.1007/s00384-021-03922-w PMID: 33839888
8. Fu C, Deng Y, Liu M. Limberg Flap for Recurrent Pilonidal Sinus. *Dis Colon Rectum* [Internet]. 2023[cited 2025 Feb 20];66(6): e298. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10191206/pdf/dcr-66-e298.pdf> doi: 10.1097/DCR.0000000000002515 PMCID: PMC10191206
9. Ray K, Albendary M, Baig MK, Swaminathan C, Sains P, Sajid MS. Limberg flap for the management of pilonidal sinus reduces disease recurrence compared to Karydakias and Bascom procedure: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Minerva Chir.* 2020;75(5):355-64. doi: 10.23736/S0026-4733.20.08362-5 PMID: 32975384
10. Saha KP, Uddin MA, Haroon-Or-Rashid M, Fatema B, Ahsanullah MR, Chowdhury AR, et al. Limberg Flap in Pilonidal Sinus: Experience in Shaheed Suhrawardy Medical College Hospital. *Mymensingh Med J.* 2021;30(2):442-6. doi: 10.4293/JSL.2017.00043
11. Sahin A, Gurcan Simsek, Arslan K. Unroofing Curettage Versus Modified Limberg Flap in Pilonidal Disease: A Retrospective Cohort Study. *Dis Colon Rectum.* 2022;65(10):1241-50. doi: 10.1097/DCR.0000000000002227 PMID: 34840296
12. Aljarrah J, Alrawashdeh I, Debian M, Harahsheh T, Aldurgham A, Alshehabat L, et al. Limberg flap for previously recurrent complex sacrococcygeal pilonidal sinus surgeries. *Acta Chir Plast.* 2024;66(3):120-3. doi: 10.48095/ccachp2024120 PMID: 39800555
13. Gezer HÖ, Ezer SS, İnce E, Temiz A. Treatment of young patients with pilonidal sinus disease with the original (unmodified) Limberg flap standardized for the first time. *Pediatr Int.* 2020;62(10):1171-6. doi: 10.1007/s00104-025-02252-9 PMID: 39966137
14. Gojayevev A, Erkent M, Aydin HO, Aydoğan C, Avci T, Tırnova İ, et al. Comparative Outcomes of Surgical Techniques for Pilonidal Sinus: A Turkish Retrospective Study. *Med Sci Monit* [Internet]. 2025[cited 2025 Feb 20];31: e947466. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11871746/pdf/medscimonit-31-e947466.pdf> doi: 10.12659/MSM.947466 PMID: 39995244, PMCID:11871746
15. Lu W, Huang S, Ye H, Xiang S, Zeng X. The application of ERAS in pilonidal sinus: comparison of postoperative recovery between primary suture and Limberg flap procedure in a multicenter prospective randomized trial. *Front Surg* [Internet]. 2024[cited 2025 Feb 20];11:112092. Available from: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11208466/pdf/fsurg-11-1120923.pdf> doi:10.3389/fsurg.2024.1120923 PMID: 38939076, PMCID: PMC11208466
16. Obokhare I, Amajoyi RC. Pilonidal Disease: To Flap or Not to Flap. *Adv Surg.* 2023; 57(1):155-69. doi: 10.1016/j.yasu.2023.04.011 PMID: 37536851
17. Pilonidal Sinus Disease: Early Surgery and the Limberg Flap Improve Patient Outcomes. *Adv Skin Wound Care* [Internet]. 2021[cited 2025 Feb 20];34(2):63. Available from: https://journals.lww.com/aswcjournal/fulltext/2021/02000/pilonidal_sinus_disease_early_surgery_and_the.1.aspx doi: 10.1097/01.ASW.0000732044.51330.e7 PMID: 33443909

MODEL-BASED JUSTIFICATION OF GEOMETRICPARAMETERS FOR SURGICAL ACCESS INCUTANEOUS-SUBCUTANEOUS-FASCIAL PLASTY FOR PILONIDAL SINUS TREATMENT IN CHILDREN

O. Bodnar, R.Randiuk

**Bukovinian State Medical University
(Chernivtsi, Ukraine)**

Summary.

Pilonidal sinus (PS) remains a relevant surgical problem due to its high recurrence rate (13.3-95.2%), postoperative complications (4.2-25.0%), and prolonged treatment period (30-70 days). The lack of a universally accepted treatment strategy necessitates the search for optimal surgical techniques. A promising approach is the cutaneous-subcutaneous-fascial plasty with a rotational flap, which helps to reduce tissue tension and redistribute soft tissues in the sacrococcygeal region.

Objective. To develop a mathematical model to justify the shape and parameters of the surgical access for pilonidal disease treatment using the cutaneous-subcutaneous-fascial plasty method with a computational solution.

Materials and Methods. We analyzed 50 pediatric cases of PS in patients aged 15-18 years who underwent inpatient treatment at the Municipal Children's City Clinical Hospital in Chernivtsi between 2020 and 2023. The patients were divided into two groups: Group I (n=35): Underwent classical technique (excision of PS with suturing of wound edges to the sacrococcygeal fascia). Group II (n=15): Underwent subcutaneous fascial flap plastic surgery using a customized mathematical model. The following parameters were analyzed: healing time, pain intensity (assessed by visual analog scale), duration of surgery, length of hospital stay, postoperative complications.

Results. The mathematical model is based on geometric analysis and optimization of the incision shape to minimize the excision area while ensuring adequate coverage of pathological fistulous openings. An optimal quadrilateral shape was used instead of the traditional rhomboid shape. Spatial relationships of pathological tracts and rotational flap closure were considered. The primary incision was optimized to reduce tissue tension and decrease the risk of postoperative complications. On day 1, pain intensity in group II was more than twice as low as in the classic surgery group. On the second and third days, pain intensity was nearly 70% lower in the SFFP group compared to the classic closure group. Hospital stay was 17% shorter in the SFFP group and pain duration was 40% less than in the classic group. Wound healing time was almost 70% shorter in group II compared to group I.

Conclusions. 1. The developed model for spatial justification of surgical access in pilonidal sinus treatment demonstrated the effectiveness of delta-shaped incisions, whose parameters are determined by the location of the external fistulous openings relative to the intergluteal fold. A precisely calculated incision contour allows for optimized plastic surgery procedures, reducing postoperative complications by 3.75 times and improving overall treatment outcomes. 2. The proposed method reduces postoperative pain intensity by 70% and pain duration by 40% in pediatric patients. In addition, it reduces wound healing time by a factor of 3, making subcutaneous fascial flap plastic surgery with mathematical model-based calculations a recommended technique of choice for pilonidal sinus treatment.

Keywords: Pilonidal Sinus; Cutaneous-Subcutaneous-Fascial Plasty; Children.

Контактна інформація:

Боднар Олег Борисович – д. мед. н., професор, завідувач кафедри дитячої хірургії, отоларингології та офтальмології Буковинського державного медичного університету (м. Чернівці, Україна)

e-mail: oleg1974rol@gmail.com

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4390-3336>

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57204584515>

Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/I-2447-2016>

Рандюк Роман Юрійович – аспірант кафедри дитячої хірургії, отоларингології та офтальмології Буковинського державного медичного університету (м. Чернівці, Україна)

e-mail: randyk.roman@bsmu.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3958-7035>

Contact Information:

Oleg Bodnar – Doctor of Medical Sciences, Professor, Chief of the Department of Pediatric Surgery, Otolaryngology and Ophthalmology, Bukovynian State Medical University (Chernivtsi, Ukraine).

e-mail: oleg1974rol@gmail.com

ORCID ID: <http://orcid.org/0000-0002-4390-3336>

Scopus Author ID: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57204584515>

Researcher ID: <http://www.researcherid.com/rid/I-2447-2016>

Randiuk Roman Yuriyovich – PhD student of the Department of Pediatric Surgery, Otolaryngology and Ophthalmology Bukovynian State Medical University (Chernivtsi, Ukraine).

e-mail: randyk.roman@bsmu.edu.ua

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3958-7035>



Надійшло до редакції 30.01.2025 р.
Підписано до друку 20. 03.2025 р.