

Локес Катерина Петрівна,

кандидат медичних наук, доцент,
завідувач кафедри хірургічної стоматології та щелепно-лицевої хірургії,
Полтавський державний медичний університет
ORCID ID: 0000-0002-8847-837X
SCOPUS ID: 56349123800
м. Полтава, Україна.

Стебловський Дмитро Валерійович,

кандидат медичних наук, доцент,
доцент ЗВО кафедри хірургічної стоматології та щелепно-лицевої хірургії,
Полтавський державний медичний університет
ORCID ID: 0000-0001-7907-8406
SCOPUS ID: 57210815941
м. Полтава, Україна

Гаврильєв Віктор Миколайович,

кандидат медичних наук,
асистент кафедри хірургічної стоматології та щелепно-лицевої хірургії,
Полтавський державний медичний університет
ORCID ID: 0000-0002-3280-2660
SCOPUS ID: 56589117400
м. Полтава, Україна

Бойко Ігор Васильович,

кандидат медичних наук,
асистент кафедри хірургічної стоматології та щелепно-лицевої хірургії,
Полтавський державний медичний університет
ORCID ID: 0000-0002-6136-3791
SCOPUS ID: 56557690000
м. Полтава, Україна

Цибульняк Андрій Валерійович,

здобувач вищої освіти стоматологічного факультету,
Полтавський державний медичний університет
ORCID ID: 0009-0001-1898-6918
м. Полтава, Україна

Аветіков Давид Соломонович,

доктор медичних наук, професор,
професор ЗВО кафедри хірургічної стоматології та щелепно-лицевої хірургії,
Полтавський державний медичний університет
ORCID ID: 0000-0002-7055-3589
SCOPUS ID: 56349283100
м. Полтава, Україна.

БІОМЕХАНІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОВЕДЕННЯ РОЗРІЗІВ ТА ВІДШАРУВАННЯ ШКІРНИХ КЛАПТІВ У СУПРАОРБІТАЛЬНІЙ ДІЛЯНЦІ

Вступ. Натепер існує декілька теорій щодо існування біомеханічних систем, які визначають напрямок ліній натягу та релаксації. На наш погляд, оптимальною є система «ліній розслабленого натягу шкіри», які формуються у вигляді лінійної борозенки при стисканні у вигляді щипка релаксованої шкіри і вважаються золотим стандартом для планування дизайну розрізів на обличчя за думкою багатьох дослідників. Відомим є той факт, що ризик виникнення гіпертрофічних або келоїдних рубців зумовлений аномальним загосненням ран, яке продовжує початкову запальну фазу далеко за межі епітелізації.

© Локес К. П., Стебловський Д. В., Гаврильєв В. М., Бойко І. В., Цибульняк А. В., Аветіков Д. С., 2026



Стаття поширюється на умовах ліцензії
відкритого доступу CC BY 4.0

Метою дослідження було біомеханічно обґрунтувати ступінь відшарування, час і ступінь релаксації шкіри супраорбітальної ділянки. Було обстежено 27 пацієнтів доліхоцефалів та 26 пацієнтів брахіцефалів, у яких було проведено планові оперативні втручання у супраорбітальній ділянці. При проведенні біомеханічних досліджень було встановлено залежність усіх досліджуваних показників від форми черепа пацієнтів. Миттєвий модуль пружності у брахіцефалів був на 9,5 % більшим ніж у доліхоцефалів; максимально допустиме напруження шкірного клаптя – на 29,7 %, час релаксації напруги – на 49,9 %, біомеханічна межа латерального відшарування – у 2,8 раза відповідно. Проте, ступінь релаксації шкірного клаптя у брахіцефалів був на 20,9 % нижчим, ніж у доліхоцефалів.

Висновки. Таким чином, під час планування хірургічних розрізів та ступеня відшарування шкірного клаптя у супраорбітальній ділянці слід враховувати форму черепа пацієнта, щоб зменшити ризик формування гіпертрофічних рубців у цій локалізації.

Ключові слова: шкіра, розріз, лінії релаксації, рубець, щелепно-лицева локалізація, відшарування.

Lokes Kateryna Petrivna, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Poltava State Medical University; ORCID ID: 0000-0002-8847-837X, SCOPUS ID: 56349123800, Poltava, Ukraine

Steblovskiy Dmytro Valeriyovych, Candidate of Medical Science, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Poltava State Medical University; ORCID ID: 0000-0001-7907-8406, SCOPUS ID: 57210815941, Poltava, Ukraine

Havryliiev Viktor Mykolayovych, Candidate of Medical Science, Assistant Professor at the Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Poltava State Medical University; ORCID ID: 0000-0002-3280-2660, SCOPUS ID: 56589117400, Poltava, Ukraine

Boyko Ihor Vasyliovych, Candidate of medical Science, Associate Professor at the Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Poltava State Medical University; ORCID ID: 0000-0002-6136-3791, SCOPUS ID: 56557690000, Poltava, Ukraine

Tsybulniak Andrii Valeriyovych, Higher Education Applicant at the Faculty of Dentistry, Poltava State Medical University; ORCID ID: 0009-0001-1898-6918, Poltava, Ukraine

Avetikov Davyd Solomonovych, Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor at the Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Poltava State Medical University; ORCID ID: 0000-0002-7055-3589, SCOPUS ID: 56349283100, Poltava, Ukraine

BIOMECHANICAL RATIONALE FOR PERFORMING INCISIONS AND SKIN FLAPS IN THE SUPRAORBITAL AREA

Introduction. Currently, there are several theories regarding the existence of biomechanical systems that determine the direction of tension and relaxation lines. In our opinion, the optimal system is the “relaxed skin tension lines”, which are formed in the form of a linear groove when compressed in the form of a pinch of relaxed skin and are considered the gold standard for planning the design of facial incisions according to many researchers. It is a well-known fact that the risk of hypertrophic or keloid scars is due to abnormal wound healing, which extends the initial inflammatory phase far beyond the boundaries of epithelialization.

The aim of the study was to biomechanically substantiate the degree of detachment, time, and degree of relaxation of the skin of the supraorbital area. 27 dolichocephalic patients and 26 brachycephalic patients who underwent planned surgical interventions in the supraorbital area were examined. During biomechanical studies, the dependence of all indicators studied on the shape of patients' skulls was established. The instantaneous modulus of elasticity in brachycephalics was 9.5% higher than in dolichocephalics; the maximum allowable skin flap tension was 29.7% higher, the stress relaxation time was 49.9% higher, and the biomechanical limit of lateral detachment was 2.8 times higher, respectively. However, the degree of skin flap relaxation in brachycephalics was 20.9% lower than in dolichocephalics.

Conclusions. Thus, when planning surgical incisions and the degree of skin flap detachment in the supraorbital area, the shape of the patient's skull should be taken into account to reduce the risk of hypertrophic scars in this location.

Key words: skin, incision, relaxation lines, scar, maxillofacial localization, detachment.

Вступ. Наразі існує декілька теорій щодо існування біомеханічних систем, які визначають напрямки ліній натягу та релаксації. Однією із найрозповсюдженіших систем розташування ліній, є лінії релаксації К. Лангера; але, по-перше, дані лінії були встановлені на трупному матеріалі та відображають орієнтації волокон в стані залякання м'язів. По-друге, дана система має певні обмеження щодо застосування на обличчі, що аргументовано опосередковано відсутністю динамічного тону, зокрема жувальних м'язів [1, 2].

Інша система так званих антим'язових ліній, запропонована Т. Крейсслом визначають лінії, які утворюються виключно перпендикулярно епюрів скорочення векторних сил м'язів. Даний факт дозволяє застосовувати алгоритм проведення розрізів виключно в динамічних зонах, зокрема, навколоротової та периорбітальної ділянок для максимального маскування післяопераційного рубця [3, 4].

На наш погляд, оптимальною є система «ліній розслабленого натягу шкіри», які формуються у вигляді лінійної борозенки при стисканні у вигляді щипка релаксованої шкіри і вважаються золотим стандартом для планування дизайну розрізів на обличчя за думкою багатьох дослідників [1, 3].

Відомим є той факт, що ризик виникнення гіпертрофічних або келоїдних рубців зумовлений аномальним загоєнням ран, яке продовжує початкову запальну фазу далеко за межі епітелізації. Це хронічне запалення шкіри генерує та підтримує гіперреактивні локальні міофібробласти, які нескінченно секретиують позаклітинний матрикс [5, 6]. Хронічне запалення спричинене кількома факторами, які, ймовірно, взаємодіють, визначають тяжкість росту рубців, включаючи генетику, системні фактори та локальні фактори, серед яких вагоме місце займає натяг шкіри [6–9].

Метою дослідження було біомеханічно обґрунтувати ступінь відшарування, час та ступінь релаксації шкіри супраорбітальної ділянки

Методологія та методи дослідження. Дослідження проведено на базі кафедри хірургічної стоматології та щелепно-лицевої хірургії Полтавського державного медичного університету. До репрезентативної вибірки увійшли 53 пацієнти, яким були показані оперативні втручання в супраорбітальній ділянці. Для об'єктивізації морфологічних особливостей вибірку стратифікували за головним (черепним) показником на дві клінічні групи: доліхоцефали ($n=27$, індекс $\leq 75,9\%$) та брахіцефали ($n=26$, індекс $\geq 81,0\%$). Критеріями виключення були: наявність декомпенсованих загальносоматичних захворювань, цукровий діабет, старечій вік, наявність локальних гострих запальних захворювань, небажання брати участь у дослідженні.

Морфометрична оцінка шкіри супраорбітальної ділянки (товщина дерми $742,6 \pm 39,2$ мкм, епідермісу $28,9 \pm 2,6$ мкм) проведена із застосуванням високочастотної ультразвукової біомікроскопії з лінійними датчиками 50 МГц, яка дозволила в динаміці детально візуалізувати комплекс «шкіра – круговий м'яз ока», орбітальну перегородку, ретроорбікулярний жир та апоневроз леватора.

Біомеханічне тестування тканин *in vivo* здійснювалося за допомогою інноваційного апаратно-програмного комплексу на базі тензометра-компресіометра, який фіксував реактивну силу опору шкіри. Дані математично моделювалися за теорією квазі-лінійної в'язкопружності, що дозволило розрахувати миттєвий модуль пружності, максимально допустиме напруження, час та ступінь релаксації, а також емпіричні біомеханічні межі відшарування клаптя. Для прецизійного маркування векторів розрізу визначалися лінії розслабленого натягу шкіри (RSTL), що генерують мінімальний залишковий вектор натягу на краях рани.

Синтез отриманих даних став базисом для розробки оптимізованих хірургічних протоколів. Розрізи планувалися суворо в межах супрадорзальної згортки та латеральних RSTL («гусячих лапок»). Латеральне відшарування шкірно-жирових клаптів було краніометрично детермінованим: обсяг мобілізації мінімізували до 5,5–9,5 мм у доліхоцефалів (через нижчу межу пластичності шкіри та ризик ішемії) та радикально розширювали до 15–25 мм у брахіцефалів.

Статистична обробка масивів даних виконувалася з використанням параметричного *t*-критерію Стюдента, непараметричного *U*-критерію Манна-Уїтні та критерію Пірсона при критичному рівні статистичної значущості $p \leq 0,05$.

Робота є фрагментом комплексної ініціативної теми кафедри хірургічної стоматології та щелепно-лицевої хірургії Полтавського державного медичного університету «Алгоритм комплексного лікування запальних процесів та профілактики утворення патологічних рубців шкіри голови та шиї після планових та ургентних оперативних втручання», (номер державної реєстрації 0124U00009).

Виклад основного матеріалу дослідження. Шкіра даної анатомічної локалізації є найтоншою із товщинною дерми близько 758,9 мкм.

У даній ділянці можливо проведення як пластичних естетичних та реконструктивних операцій, так і видалення новоутворень здебільшого сполучної тканини. Враховуючи моффо-функціональні та біомеханічні особливості шкіри в зоні оперативного втручання, дії хірурга мають бути точними та мінімально інвазивними, що обумовлено тим фактом, що шкіра є найтоншою, а саме: товщина дерми в середньому становить $742,6 \pm 39,2$ мкм, а епідермісу – $28,9 \pm 2,6$ мкм [10, 11]. Даний фактор на нашу думку і є особливістю щодо можливостей шкіри до деформації але в межах пластичної. Оскільки збільшення сил натягу та надмірне розтягнення призводять як до утворення патологічних рубців, так і функціональних порушень.

Під час проведення біомеханічних досліджень було встановлено залежність усіх досліджуваних показників від форми черепа пацієнтів. Миттєвий модуль пружності у брахіцефалів був на 9,5 % більшим, ніж у доліхоцефалів; максимально допустиме напруження шкірного клаптя – на 29,7 %, час релаксації напруги – на 49,9 %, біомеханічна межа латерального відшарування – у 2,8 раза відповідно. Проте, ступінь релаксації шкірного клаптя у брахіцефалів був на 20,9 % нижчим, ніж у доліхоцефалів (табл. 1).

Враховуючи результати отриманих нами біомеханічних досліджень, нами пропонується проведення розрізу в межах супрадорзальної згортки, яка є природною, що мінімізує подальшу візуалізацію післяопераційного рубця. За необхідності проведення розрізів в зоні нижнього краю ділянки, слід розташовувати його на відстані в середньому від 6,9–9,8 мм від краю вій. Дана відстань також залежить від форми голови, що доведено нами в подальших дослідженнях.

Вважаємо за доцільне створити «достатній запас» оточуючої інтактної шкіри в середньому від 8,5 до 11,5 мм у межах проведення верхнього розрізу та нижньої лінії, яка збігається з лінією росту вій. Недотримання цього алгоритму може призвести до дефіциту тканин, особливо під час проведення косметичної верхньої блефаропластики. Нами встановлено, що розріз, який проводиться медіально має не перетинати уявну візуалізовану вертикальну лінію, проведenu через точку виходу нососльозного каналу, для мінімізації утворень як патологічних рубців, так і їх тяжів, які можуть виникнути в ділянці медіального епікантуса. Також вважаємо за доцільне проведення латеральних розрізів поза межами латерального кута ока із загином їх догори в середньому під кутом 25–35° залежно від форми голови, але обов'язковою умовою є їх виконання в межах ліній послабленого натягу шкіри, які в цій ділянці візуалізуються як «гусячі лапки» [12, 13].

На наступному етапі нами створено алгоритм відшарування шкірно-жирових клаптів щодо меж та їх глибини, який, на нашу думку, має проводитися двома шляхами: за умов поверхневих втручання, таких як пластичні естетичні операції, відшарування проводиться в межах поверхневих шарів гіподерми, а за

Таблиця 1

Біомеханічні показники шкіри супраорбітальної ділянки в залежності від форми черепа

Біомеханічний показник	Доліхоцефали (27)	Брахіцефали (26)
Миттєвий модуль пружності (E0), МПа	0,139±0,0026	0,152±0,0033 *
Максимально допустиме напруження (σ _{max}), кПа	45,38±0,525	58,84±0,491 *
Час релаксації напруги (τ63%), с	12,07±0,252	18,10±0,230 *
Біомеханічна межа латерального відшарування, см	0,72±0,044 (0,3-1,1)	2,03±0,051 (1,5-2,5) *
Ступінь релаксації за 60 с	52,80±0,051	41,77±0,300 *

Примітка: * – $p \leq 0,05$.

умов втручань у середніх або глибоких шарах даної ділянки – m. Orbicularis oculis з формуванням шкірно-м'язового клаптя. Прогностичним критерієм щодо можливого утворення патологічних рубців ми вважаємо обов'язкове збереження інтактних орбітальної перегородки, яка виступає в ролі фізіологічного бар'єру, що запобігає порушенню анатомо-біологічної цілісності апоневрозу м'язу леватора верхньої повіки та оточуючих його прошарків гіподерми, що і є, на нашу думку, інтраопераційною профілактикою можливого глибокого патологічного рубцювання та утворення птозу м'яких тканин у віддаленому післяопераційному періоді. З цих міркувань також вважаємо необхідним проводити латеральне відшарування виключно в межах проекції кісткового краю орбіти, де фасція кругового м'яза ока зростається з окістям [10, 14].

Порівняв отримані нами біомеханічні дані із світовими слід зауважити, що у доліхоцефалів межі відшарування шкірно-жирового клаптя, особливо в ділянці латерального краю, має бути максимально мінімізованим, в середньому від 5,5 до 9,5 мм. Це обумовлено відносно вузькою геометрією очниці та дещо глибоко розташованим очним яблуком: в такому випадку відшарування поза вказаними межами може призвести як до набряку шкіри, яка є найтоншою, так і до можливого лімфостазу [10, 11, 14].

Вважаємо за доцільне у брахіцефалів маркування розрізу проводити на висоті від 5,5 до 6,5 мм відносно краю вій, враховуючи той факт, що супрадорзальна складка у пацієнтів із такою формою голови розташована або дуже низько, або відсутня взагалі, що створює можливості для пролабування орбітальної гіподерми нижче. У даних пацієнтів відзначається офтальмологічний профіль ближче до екзофтальму, тому через певну геометричну випуклість очного яблука сама площа розтягнення тканини може бути більшою, що, на нашу думку, вимагає розширення меж відшарувань латерально для подальшої оптимальної релаксації шкірно-жирового клаптя без додаткового натягу на леватор верхньої повіки. Враховуючи необхідність вивільнення шляхом відсепарування фіброзних та м'язових тяжів між верхніми та нижніми волокнами кругового м'яза ока, за нашими даними, у 87–91% випадків слід проводити одночасну пластику епікантуса.

Висновок дослідження. Таким чином, під час планування хірургічних розрізів та ступеня відшарування шкірного клаптя у супраорбітальній ділянці слід враховувати форму черепа пацієнта, щоб зменшити ризик формування гіпертрофічних рубців у цій локалізації.

Перспективи подальших досліджень. Провести біомеханічне обґрунтування розрізів і відшарування шкірних клаптів у різних топографо-анатомічних ділянках голови та ший.

REFERENCES

1. Razaghi Pey Ghaleh M, O'Mahoney D. The Impact of Collagen Fiber and Slit Orientations on Meshing Ratios in Skin Meshing Models. *Biomimetics* (Basel). 2025 Nov 14;10(11):771. doi: 10.3390/biomimetics10110771.
2. Yoon CS, Kim HB, Kim YK, Kim H, Kim KN. Relaxed skin tension line-oriented keystone-designed perforator island flaps considering the facial aesthetic unit concept for the coverage of small to moderate facial defects. *Medicine* (Baltimore). 2019 Jan;98(3):e14167. doi: 10.1097/MD.00000000000014167.
3. Shin J, Jang U, Baek SO, Lee JY. Full-Thickness Skin Graft according to Surrounding Relaxed Skin Tension Line Improves Scar Quality in Facial Defect Coverage: A Retrospective Comparative Study. *Biomed Res Int*. 2021 Sep 15;2021:7398090. doi: 10.1155/2021/7398090.
4. Zahouani H, Ayadh M, Abellan MA, Bigouret A. Considering the effect of residual tension forces on the wavelength anisometry of skin imaging by 2D skin tension integrity model. *Sci Rep*. 2024 Dec 30;14(1):31963. doi: 10.1038/s41598-024-83490-5.
5. Lokes KP, Avetnikov DS, Klitynska OV, Brekhlichuk PP, Bun YI. The histotopographic features of formation of keloid scars of maxillofacial localization. *Wiad Lek*. 2020;73(3):565-568.
6. Lackmann F, Rohwedder T, Maron A, Stegen L, Brunnberg M, Brunnberg L, Burger M, Böttcher P. Quantification of skin wound tension using a newly designed wound tensiometer. *Tierarztl Prax Ausg K Kleintiere Heimtiere*. 2023 Dec;51(6):386-393. doi: 10.1055/a-2150-0587.
7. Huang C, Quong WL, Kamii Y, Ogawa R. Ideal Surgical Incision Lines Minimizing Tension: A Proposal Based on Observations of Hypertrophic Scars and Keloids. *Plast Reconstr Surg Glob Open*. 2025 Dec 18;13(12):e7344. doi: 10.1097/GOX.0000000000007344.
8. Avetnikov DS, Buchanhenko OP, Shlykova OA, Lokes KP, Klitynska OV, Vesnina LE, Kajdashev IP. Presence of type 1 collagen alpha-2 (COL1A2) (rs42524) gene polymorphism and scar tissue formation in different areas of head and neck. *Pesquisa Brasileira Em Odontopediatria E Clinica Integrada*. 2020;20:e4422(4). doi: 10.1590/pboci.2020.031

-
9. Steblovskiy DV, Avetikov DS, Lokes KP, Popovich IYu, Boychenko ON. Deformation properties of mastoid area skin. *The New Armenian Medical Journal*. 2018;12,4:37–43.
 10. Ju X, Kowanz D, Guo Y, Li X, Wawer Matos PA, Fan W, Rokohl AC, Heindl LM. Dynamic Measurement and Analysis of Upper Eyelid Changes Using Ultrasound Biomicroscopy. *Ultrasound Med Biol*. 2024 Aug;50(8):1240-1246. doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2024.04.014.
 11. Korzekwa S, Matusz K, Kukulski M, Wawrzaszek P, Górna N, Rosiński W, Włosański J, Przysańska A. Quantitative Analysis of the Human Face Skin Thickness-A High-Frequency Ultrasound Study. *J Clin Med*. 2025 Nov 27;14(23):8401. doi: 10.3390/jcm14238401.
 12. Qiu Y, Shen Y, He J, Zhou X, Jin R, Lu L, Deng Z, Yang J, Liu F. Sub-brow skin excision Combined with retro-orbicularis fat resection: A Technique for upper eyelid bulkiness and laxity correction. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2022;75(4):1431-1437. doi: 10.1016/j.bjps.2021.11.059.
 13. Hao X, Cheng Q, Xu J, Sun T, Wang Y, Liu Z. Rigid flexible coupling contact mechanism for oral and maxillofacial skin and soft tissues. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2024 Feb;150:106329. doi: 10.1016/j.jmbbm.2023.106329.
 14. Kwan Z, Khairu Najhan NN, Yau YH, Luximon Y, M Nor F. Anticipating local flaps closed-form solution on 3D face models using finite element method. *Int J Numer Method Biomed Eng*. 2020 Nov;36(11):e3390. doi: 10.1002/cnm.3390.

Дата першого надходження статті до видання: 03.08.2026
Дата прийняття статті до друку після рецензування: 25.08.2026
Дата публікації (оприлюднення) статті: 09.10.2026