

reparative osteogenesis One of the new solutions of this problem became an application of the surgical guides (SG) for zygoma positioning. *The aim* of this study was to evaluate an efficacy of the SG application for the treatment of secondary zygoma deformities. *Object and methods.* The treatment results of the thirty-two patient with secondary zygoma deformities were analysed. All patients were divided on two groups, which were equal in number of participants, terms of gender and age. Patients of main group underwent treatment with application of SG, patients of control group – without. All patients were examined before and after surgery with expectation of local and ophthalmologic status, and CT scanning. Precision of the zygoma positioning were evaluated through the superimposition and comparison of virtual models with generation of the “color map” of discrepancies. Orbital volume recovery was evaluated through the comparison of the orbital virtual model after surgery. *Results.* Mean deviation between reconstructed zygoma and mirrored intact side was  $1,4 \pm 0,3$  mm in main group and  $1,9 \pm 0,8$  mm in control ( $p=0,004$ ). Maximum deviation between reconstructed zygoma and mirrored intact side was in main group  $7,3 \pm 2,2$  mm, in control –  $9,3 \pm 2,98$  mm ( $p=0,026$ ). Mean difference between orbital volume of the damaged and intact orbit in main group was  $1,3 \pm 1,1$  cm<sup>3</sup>, in control –  $2,4 \pm 1,4$  cm<sup>3</sup> ( $p=0,041$ ). *Conclusions.* Application of the surgical guides or zygoma positioning in treatment of the secondary zygoma deformities allows to determine high precision of its reposition. This approach showed higher efficacy in accurate positioning of the zygoma and orbital volume recovery comparing with traditional methods, however was equal in frequency of the functional disorders and postsurgical complications.

**Key words:** guided surgery, surgical guide, zygoma deformities.

*Рецензент – проф. Ткаченко І. М.  
Стаття надійшла 08.08.2020 року*

DOI 10.29254/2077-4214-2020-3-157-357-365

УДК 616.716.4-091-073.756.8

*Черногорський Д. М., Васильєв О. С., Воллер М. В., Чепурний Ю. В., Копчак А. В.*

## **ТОПОГРАФО-АНАТОМІЧНІ ТА ГЕОМЕТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕГМЕНТАРНИХ ДЕФЕКТІВ НИЖНЬОЇ ЩЕЛЕПИ ЗА ДАНИМИ МУЛЬТИСПІРАЛЬНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ ТОМОГРАФІЇ**

**Інститут післядипломної освіти Національного медичного університету імені О. О. Богомольця (м. Київ)**

**cher103@meta.ua**

**Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами.** Робота є фрагментом НДР «Наукове обґрунтування ранньої діагностики генералізованих захворювань пародонта хронічного та загостреного перебігу», № державної реєстрації 0118U100471.

**Вступ.** Нижня щелепа (НЩ) є єдиною рухомою кісткою лицевого черепа, і характеризується унікальною анатомічною будовою та внутрішньою структурою, яка забезпечує функцію жування, ковтання і мови. Вона має складну геометричну конфігурацію, яку формують тіло U-подібної форми із наявним вигином/кривизною в трьох площинах, 5 відростків, виражений підборідний виступ та нижній зубний ряд.

Дефекти НЩ, які виникають внаслідок вроджених вад розвитку, хірургічних втручань з приводу пухлин, пухлиноподібних захворювань, запальних процесів, остеонекрозів різного генезу, травматичних ушкоджень, мають різну протяжність, форму, локалізацію, і дуже варіативні з топографо-анатомічної точки зору. Великі за розміром дефекти, що супроводжуються порушенням неперервності НЩ, спричиняють значне косметичне спотворення обличчя і виражений функціональний дефіцит, стають причиною виражених психо-емоційних розладів пов'язаних з соціальною дезадаптацією та розвитком депресивних станів. Крім того, при тривалому існуванні вони супроводжуються зміщенням залишкових фрагментів НЩ в аномальне положення, втратою та деформацією навколишніх м'яких тканин з подальшим їх рубцюванням, атрофією, вторинними змінами, які з часом прогресують [1-3].

Усунення дефектів нижньої щелепи, в зв'язку з цим має важливе медичне, соціальне та економічне значення. Більшість авторів, однак, вказують що реконструкція НЩ при її сегментарних і субтотальних дефектах є однією з найскладніших проблем сучасної щелепно-лицевої хірургії, далекою від остаточного вирішення. Основними задачами реконструкції НЩ є відновлення її неперервності та функціональної здатності, а також анатомічної форми, максимально наближено до преморбідного, вихідного стану. Це забезпечується використанням різноманітних кісткових трансплантатів, ендопротезів та пацієнтоспецифічних імплантатів [4,5]. Золотим стандартом лікування великих дефектів НЩ на сьогоднішній день є пересадка фрагментів аутологічної малогомілкової кістки, ребра, гребня клубової кістки, лопатки тощо [6]. Одною з важливих проблем при цьому є суттєва невідповідність донорської кістки та інтактної НЩ щелепи за своїми геометричними параметрами, внутрішньою архітектонікою, механічними та біологічними властивостями.

Для усунення наявної геометричної невідповідності використовують різноманітні прийоми, зокрема фрагментацію кісткового трансплантату, його додаткову механічну обробку або встановлення кількох трансплантатів різної форми і розміру із використанням CAD/CAM технологій [7-9]. Водночас моделювання кісткового трансплантату із його фрагментацією та наближенням до оптимальної просторової конфігурації має певні технічні та біологічні обмеження. Так збільшення кількості остеотомій (2 і більше), за даними Lizuka 2005 погіршує локальну

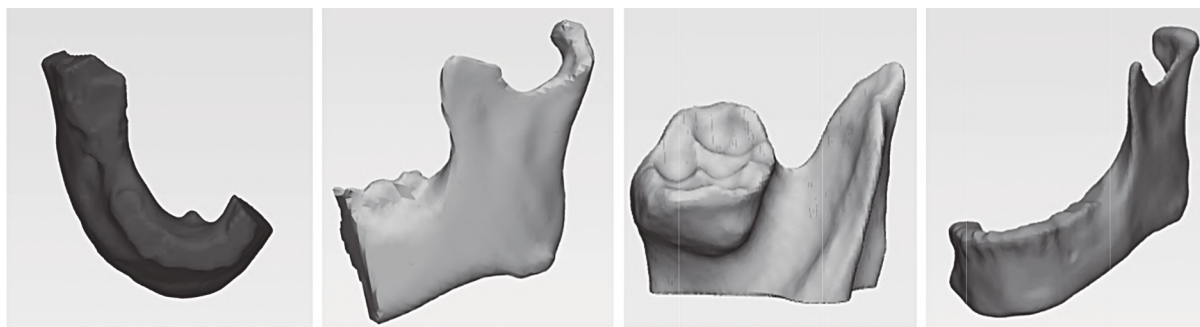


Рисунок 1 – Типи дефектів нижньої щелепи, що відтворенні у 3D репродукціях з даних мультиспіральної комп'ютерної томографії кісток лицевого черепа.

гемодинаміку васкуляризованих трансплантатів та інтегральний прогноз хірургічного втручання [10]. Крім того, дефекти НЩ виключно різноманітні та мають свої унікальні індивідуальні характеристики у кожного окремого пацієнта, що зумовлені притаманною йому анатомією, особливостями дії травмувального чинника, перебігом процесів репаративної регенерації та перебудови кістки в посттравматичному/післяопераційному періоді (рис. 1). Універсальних, стандартизованих рішень при виборі способу реконструкції НЩ на основі об'єктивних характеристик дефекту та чітких протоколів оснований на принципах доказової медицини наразі не існує.

Численні класифікації дефектів НЩ, запропоновані в останні десятиліття є доволі громіздкі, складні для інтерпретації та мають певні обмеження в процесі вибору лікувальної тактики із використанням сучасних методів реконструкції васкуляризованими кістковими трансплантатами та пацієнто-специфічними імплантатами різних типів.

Першою класифікацією дефектів НЩ, що отримала широке визнання серед науковців і клініцистів можна вважати класифікацію Павлова опубліковану в 1974 році [11]. Відтоді було запропоновано близько 10 подібних класифікацій, з яких найбільш цитованими є класифікації [12-16]. Жодна з них не є універсальною чи загальною визнаною. Тому всебічне дослідження форми і просторової конфігурації дефектів НЩ, розробка об'єктивних методів оцінки їх геометричних та топографічних параметрів залишається актуальним питанням. Застосування сучасних методів комп'ютерної томографії (КТ) з високою роздільною здатністю, програмного забезпечення, алгоритмів візуалізації, тривимірного моделювання і віртуальної симуляції розкриває нові можливості для вирішення даної проблеми і визначення надійних критеріїв для вибору лікувальної тактики в різних клінічних випадках.

**Метою** даного дослідження було вивчення топографії та геометричної форми набутих дефектів нижньої щелепи та розробка об'єктивних діагностичних параметрів для їх передопераційної оцінки із використанням методу мультиспіральної комп'ютерної томографії, комп'ютерного моделювання та 3-D візуалізації.

**Об'єкт і методи дослідження.** Матеріалом даного дослідження було 60 хворих з післяопераційними та посттравматичними дефектами НЩ із порушен-

Таблиця 1 – Розподіл хворих з дефектами НЩ за віком і статтю

Вік, повних років	Стать					
	Чоловіки		Жінки		Всього	
	Абсолютна кількість	%	Абсолютна кількість	%	Абсолютна кількість	%
до 20 років	0	0%	6	10%	6	10%
20-29 років	3	5%	8	13,5%	11	18,5%
30-39 років	6	10%	6	10%	12	20%
40-49 років	6	10%	7	11,6%	13	21,6%
50-59 років	7	11,7%	7	11,6%	14	23,3%
60 і старше	2	3,3%	2	3,3%	4	6,6%
Всього	24	40%	36	60%	60	100%

ням її неперервності, які проходили лікування на базі Центру щелепно-лицевої хірургії та стоматології Київської обласної клінічної лікарні в період з 2015 до 2020 року. Критеріями включення в дослідну групу були: дефекти НЩ із порушенням її неперервності, що потребували реконструкції із використанням кісткових ауто-трансплантатів або пацієнто-специфічних ендопротезів. Критеріями виключення були – вік до 16 років, наявність супутньої соматичної патології в стані декомпенсації або субкомпенсації, наявність ендокринної патології, здатної впливати на метаболізм кісткової тканини, психічні захворювання, хронічний алкоголізм або наркотична залежність, недотримання лікарських рекомендацій та відсутність взаємодії з лікарем, тотальні дефекти НЩ, неповне клінічне і томографічне документування випадку, неможливість визначити істинні геометричні розміри дефекту із-за вираженої вторинної деформації НЩ, відмова пацієнта від участі в дослідженні.

Вік хворих коливався від 16 до 82 років, і в середньому становив  $40,9 \pm 14,6$  років. Більшість пацієнтів належали до працездатної групи населення від 20 до 50 років. Серед всіх обстежених хворих, чоловіки склали 40%, жінки – 60%. Розподіл хворих за віком і статтю наведений в таблиці 1.

Причини виникнення дефектів були наступні (рис. 2): сегментарні або субтотальні резекції НЩ з приводу доброякісних пухлин – 25 (41%) хворих, з блок-резекції приводу злоякісних новоутворень – 10 (16,7%), високоенергетична травма (в тому числі – вогнепальні ураження) – 4 (7%), вроджені дефекти (синдром Гольденхара) – 1 (1,9%), остеонекрози різного генезу – 10 (16,7%), дефекти після видалення голівки НЩ з приводу анкілозів, ДОО, тощо – 10 (16,7%). У 2 пацієнтів внаслідок раніше проведених операцій з приводу двосторонніх анкілозів утворились двосторонні дефекти гілки НЩ, які розглядалися окремо.

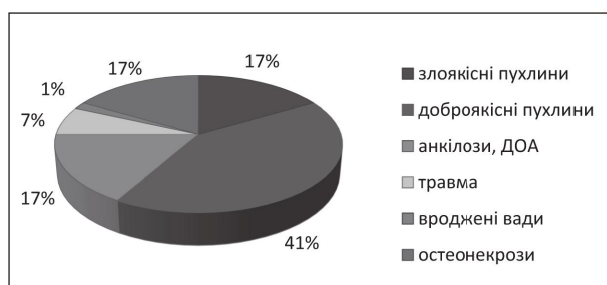


Рисунок 2 – Розподіл хворих за етіологією дефекту НЩ.

Таким чином, загальна кількість дефектів у 60 хворих склала – 62.

Всіх хворих було обстежено згідно стандартної схеми, що включала збір анамнезу, оцінку загального та локального статусу, застосування додаткових методів дослідження із наступним встановленням діагнозу і визначенням плану лікування.

Локалізацію дефектів визначали за класифікаційною системою, застосованою в роботах Hong, що поділяли НЩ на фронтальний (від ікла до ікла), дистальний (на ділянці молярів і премолярів) відділи тіла, та 2 гілки. Дефекти локалізовані в межах однієї ділянки відзначали в 21 (33,9%) випадку, в межах 2 анатомічних ділянок – 31 (50%), в межах 3-х і більше анатомічних ділянок – 10 (16,1%). Дефекти поширювались на фронтальний відділ нижньої щелепи у 17 (28,3%) пацієнтів, на дистальний відділ тіла (з одного чи 2-х боків) – у 48 (80%) пацієнтів, на ділянку гілки (з одного чи 2-х боків) – у 46 (77%) пацієнтів.

Тип дефекту у досліджених хворих визначали за класифікацією Brown, згідно якої всі дефекти було розділено на 4 класи: I клас – односторонні дефекти в боковій ділянці без включення виросткового відростку та ікла, Ic клас – односторонні дефекти в боковій ділянці з включенням виросткового відростку, II клас – односторонні дефекти в боковій ділянці з включенням ікла, IIs клас – односторонній дефект в боковій ділянці з включенням виросткового відростку та ікла, III клас – дефект у фронтальній ділянці з включенням іклів, IV клас – двосторонній дефект НЩ із включеними іклами, IVc клас – двосторонній дефект з включенням іклів та виросткових відростків. Розподіл дефектів НЩ за типом представлений на рис. 3.

При проведенні клінічних та інструментальних досліджень було забезпечено дотримання принципів біоетики та прав пацієнта відповідно до Гельсінської Декларації та Основ законодавства України про охорону здоров'я (1992). Експертизу матеріалів роботи було проведено комісією з біоетики НМУ імені

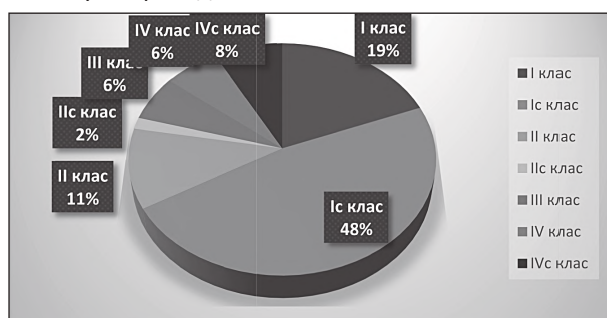


Рисунок 3 – Розподіл дефектів НЩ за класифікацією J.S. Brown et al. (2016).

О. О. Богомольця (Протокол № 107 від 29.12.2017 року).

Геометричні параметри дефектів вивчали методами 3-D візуалізації, та комп'ютерного моделювання за даними МСКТ на базі лабораторії комп'ютерного моделювання та цифрової стоматології Стоматологічного медичного центру НМУ імені О. О. Богомольця. Для цього всім пацієнтам передопераційно було проведено мультиспіральну КТ на апараті Philips Brilliance iCT 128 з подальшим аналізом отриманих даних у програмному середовищі D2P ver. 1.0.253 DICOM to PRINT, 3D Systems, США.

Аналіз томографічних зображень передбачав наступне: томографічні дані, представлені у вигляді серії файлів формату DICOM імпортували в програмне середовище D2P ver. 1.0.253 DICOM to PRINT, 3D Systems, США. Томографічні зрізи детально вивчали в 3-х ортогональних площинах (аксіальна, фронтальна, сагітальна), застосовуючи контрастування в режимі «кісткового вікна». Уражену НЩ відділяли від інших кісток лицевого черепа та в автоматичному режимі створювали її 3D модель, яку експортували в програмне середовище Geomagic Freeform Plus, 3D System, США (рис. 4), після чого досліджували топографію, лінійні розміри та об'єм дефектів. Для цього створювали окремі віртуальні моделі, використовуючи алгоритм дзеркального відображення неушкодженої половини НЩ, методу застосування «віртуального донору» (рис. 4), інтерпозицію КТ інтактної НЩ пацієнта до утворення дефекту (в разі її наявності), а також редагування «маски» в ручному режимі [17,18]. Застосовуючи булеві операції створювали 3D моделі дефектів (рис. 4), вимірювали їх об'єм та площу поверхні. Лінійні розміри дефектів визначали наступним чином: використовуючи інструменти програмного середовища, дефекти НЩ складної геометричної конфігурації вписували в прямокутний паралелепіпед, таким чином щоб кожна з його граней торкалась поверхні дефекту, щонайменше в одній точці (рис. 4). Визначали довжину ребер паралелепіпеда, при цьому приймали – найбільше значення (a) відповідає довжині дефекту, середнє (b) – його ширині, найменше (c) – товщині (рис. 4).

Розраховували наступні співвідношення, що характеризували геометричну складність дефекту: відношення об'єму дефекту до площі його поверхні  $V/S$ , відношення довжини дефекту до його ширини  $a/b$  та відношення довжини дефекту до його товщини  $a/c$ .

Для визначення геометричної відповідності дефектів НЩ та стандартних кісткових ауто трансплантатів із гребеня клубової та малогомілкової кістки на стандартизованих середньо-анатомічних комп'ютерних моделях (CAD) кісток тазу та гомілки, методом віртуальної остеотомії, формували 3-D моделі ауто трансплантатів заданого об'єму із дотриманням топографо-анатомічних принципів їх забору. Після чого порівнювали геометричні параметри трансплантатів із параметрами дефектів НЩ.

Статистичні розрахунки проводили в програмному середовищі SPSS Statistics (IBM SPSS, США). Для визначення характеру розподілу вибірки застосовували критерій перевірки нормальності Колмогорова-Смірнова. Статистичний аналіз передбачав розрахунок середніх величин, середньоквадратичного відхилення і похибки середньої. Оцінка достовірності

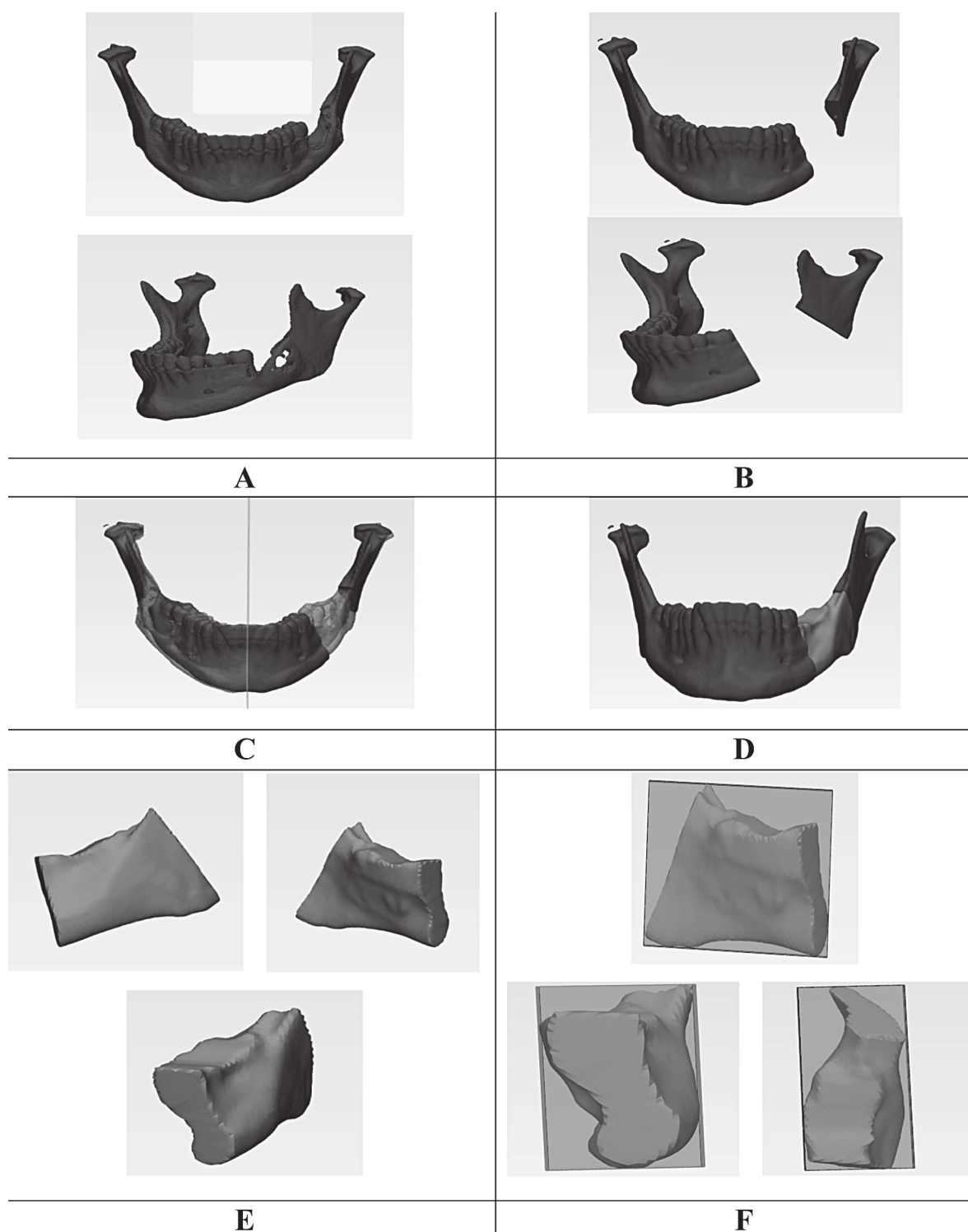


Рисунок 4 – Протокол підготовки та оцінки геометричних параметрів кісткового дефекту. А – Виділення нижньої щелепи від кісток лицевого черепа; В – Проведення віртуальної сегментарної остеотомії; С – Дзеркальне відображення неушкодженої половини нижньої щелепи; D, E – Створення 3D моделі дефектів; F – Розташування 3D моделі дефекту в у фігурі вимірювання.

розбіжностей між дослідженими показниками, базувалась на використанні непараметричного критерію Мана-Уїтні, параметричного Т-критерію Стьюдента та критерію відповідності  $\chi^2$  (для якісних та напівкількісних показників). Для вивчення статистичних взаємозв'язків між окремими клінічними та томографічними параметрами розраховували коефіцієнт кореляції Спірмена. Статистичні розбіжності вважали достовірними при довірчому рівні 95% ( $p < 0,05$ ).

**Результати дослідження.** Лінійні розміри дефектів, визначені за допомогою, розробленого нами алгоритму в дослідженій серії відрізнялися значною мірою і в середньому становили: довжина дефектів –  $69,3 \pm 26,4$  мм (від 20,7 до 114,5 мм), ширина –  $42,3 \pm 18,1$  мм (від 13,4 до 73,5 мм), товщина –  $23 \pm 9,4$  мм (від 10,5 до 59 мм). Лінійні розміри дефектів залежно від їх типу за J.S. Brown et al. наведені на **рис. 5**.

Об'єм дефектів НЩ варіював від 1177 до 46164 мм<sup>3</sup> і в середньому становив  $16559 \pm 10703$  мм<sup>3</sup>. До-

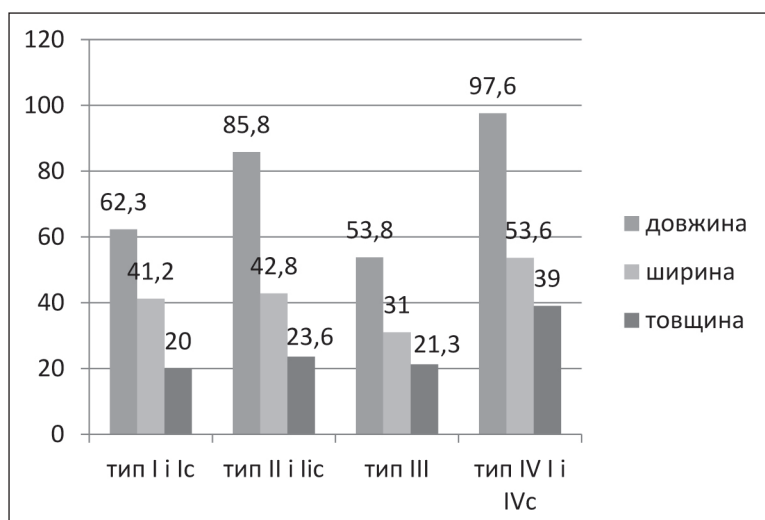


Рисунок 5 – Середні величини лінійних розмірів дефектів залежно від їх типу за класифікацією J.S. Brown et al. (2016).

сліджені дефекти при цьому займали від 5,4% до 68% (в середньому  $31,2 \pm 16,4\%$ ) від загального об'єму щелепи. Розподіл дефектів за об'ємом наведений на **рис. 6**. Подібний розподіл має певний клінічний сенс: всі дефекти об'ємом до  $5 \text{ см}^3$  локалізувались в межах однієї анатомічної ділянки, від  $5$  до  $15 \text{ см}^3$  – в межах однієї або 2 ділянок (з рівною частотою), від  $15$  до  $25 \text{ см}^3$  – в переважній більшості поширювались на 2 ділянки (завжди із включенням одного із основних вигинів/кутів НЩ), більше  $25 \text{ см}^3$  – на 3 і більше ділянок.

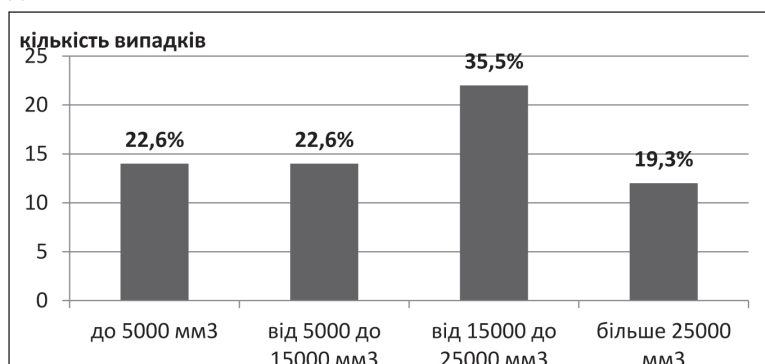


Рисунок 6 – Розподіл дефектів нижньої щелепи за об'ємом.

Кореляційний аналіз виявив, що об'єм дефектів достовірно не залежав від віку хворих та етіології. При цьому він вірогідно зростав при збільшенні кількості залучених анатомічних ділянок (**рис. 7**) і значною мірою залежав від локалізації (**рис. 8**). Найменші за розміром дефекти розташовувались переважно на ділянці гілки і виникали внаслідок втрати голівки НЩ при анкілозах, деформуючих остеоартрозах, травматичних ураженнях суглобу, а найбільші – після субтотальних резекцій НЩ із ексартікуляцією при доброякісних і злоякісних новоутвореннях, або остеонекрозах, поширюючись на 3-4 анатомічні ділянки (наприклад, все тіло і гілку НЩ).

Всі дефекти мали складну геометричну конфігурацію, що певною мірою характеризувалась співвідношенням їх об'єму до площі поверхні (V/S). При однакових об'ємах даний показник менший у де-

фектів (фігур), що мають більш складну геометричну форму. В дослідженій серії він змінювався в межах від 1,26 до 4,95 і в середньому становив  $2,85 \pm 0,82$ . Зі збільшенням об'єму дефектів показник V/S збільшувався від 1,33 в дефектах об'ємом до  $5000 \text{ мм}^3$  до 5,01 в дефектах об'ємом більше  $25000 \text{ мм}^3$ ,  $r=0,76$ ,  $p<0,05$ .

При подальшому збільшенні об'єму дефектів із поширенням на 3-4 ділянки, вони обов'язково включали згин НЩ в горизонтальній площині (на ділянці іклів і підборіддя), і їх визначена згідно запропонованого способу товщина зростала, а співвідношення довжини до товщини вірогідно знижувалось (**рис. 9**).

Геометричні параметри дефектів залежно від їх типу за J.S. Brown et al. (2016) наведені в **табл. 2** та на **рис. 10**.

Як видно з **таблиці 2**, найменшими за розміром виявлялись дефекти типу I та Ic, а найбільшими – IV і IVc, натомість вірогідних розбіжностей у співвідношенні V/S та лінійних розмірів для дефектів різних типів виявлено не було.

**Обговорення результатів дослідження.** Питання вибору оптимального способу заміщення дефектів НЩ залишається дискусійним і невизначеним, а точки зору авторів численних публікацій з даного приводу нерідко є діаметрально протилежними. Золотим стандартом в заміщенні великих дефектів НЩ із порушенням її неперервності більшість авторів вважають застосування вільних (васкуляризованих) кісткових ауто трансплантатів із малої гомілкової кістки, гребеня клубової кістки, ребра, та лопатки. Дане дослідження було спрямоване на аналіз лише одного із аспектів цієї багатогранної проблеми, а саме можливості досягнення максимальної геометричної відповідності дефекту і кісткового трансплантату в різних клінічних випадках.

Відомо, що кістки, які використовують в якості донорських ділянок для забору трансплантатів при дефектах НЩ

відрізняються від неї за формою, архітектонікою, фізико-механічними і біологічними властивостями. Вони мають інший ембріогенез, умови функціонування/навантаження і відповідно принципово іншу анатомічну будову. Відновлення анатомії НЩ при цьому розглядали спрощено, зводячи її до комбінації простих геометричних фігур із певними лінійними розмірами, що дозволяли відновити оптимальні топографо-анатомічні співвідношення із іншими кістками черепа, в першу чергу із верхньою щелепою та суглобовою ямкою скроневої кістки. Особливе значення при відновленні гілки приділяють відновленню її висоти і правильному позиціонуванню тіла НЩ відносно основи черепа і верхнього зубного ряду. Для визначення основних принципів реконструкції НЩ, в рамках вищенаведеного підходу Brown в 2016 р. запропонували класифікацію дефектів та Van Baar, Awad провели метааналіз досліджень присвячених реконструкції НЩ різними типами трансплантатів

[19-21]. Аналіз проведених реконструкцій засвідчив, що найбільш універсальним типом трансплантату для заміщення дефектів різних класів є малогомілкова кістка. Іншим поширеним типом трансплантату, що застосовується переважно для відновлення дефектів ІС класу є гребінь клубової кістки. За даними авторів ці трансплантати потребували фрагментації, причому кількість остеотомій в цілому відповідала кількості вигинів НЩ, залучених у дефект.

Втім досягнення останніх років в галузі візуалізації, комп'ютерного моделювання та впровадження CAD/CAM технології в клінічну практику розкрило нові можливості у реконструктивно-відновній хірургії кісток лицевого черепа. Сучасні комп'ютерні технології дозволяють 1) чітко визначити оптимальну/бажану форму НЩ виходячи із її індивідуальних параметрів, із застосуванням методів комп'ютерного дизайну, техніки віртуального донору та дзеркального відображення неушкодженої контралатеральної половини щелепи, 2) підібрати оптимальний за формою трансплантат, визначити потребу в його фрагментації та корекції форми, 3) здійснити забір трансплантату, провести остеотомії та співставити фрагменти із високою прицезійністю за допомогою навігаційних хірургічних шаблонів, 4) співставити і надійно закріпити фрагменти щелепи і трансплантату пацієнто-специфічними фіксаторами що відтворюють анатомічно-правильну форму НЩ, 5) замінити частину або весь дефект анатомічними індивідуалізованими ектопротезами із різних біоінертних матеріалів із високим ступенем відповідності нормальній анатомії щелепи.

Програмне забезпечення CAD, що застосовують в щелепно-лицевій хірургії орієнтовано переважно на пошук індивідуалізованих рішень: оператор має можливість розглянути кілька варіантів проведення хірургічних втручань для існуючого дефекту, не залежно від його складності, визначити і корегувати недоліки кожного з них, визначити оптимальний підхід та прогнозувати естетичний результат на основі віртуальної симуляції. Запропонований нами стандартизований алгоритм визначення геометричних параметрів дефекту робить методику вимірювань відтворюваною і легкою для порівняння. При цьому отримані величини мають конкретний клініко-біологічний сенс.

Можна зазначити, що рекомендації авторів класифікації Brown щодо оцінки важкості дефекту, лікувальної тактики і прогнозу, при розширенні спектру дефектів із пост резекційних, пов'язаних із злоякісними новоутвореннями, на всю сукупність дефектів НЩ, викликаних різними причинами імовірно потребу-

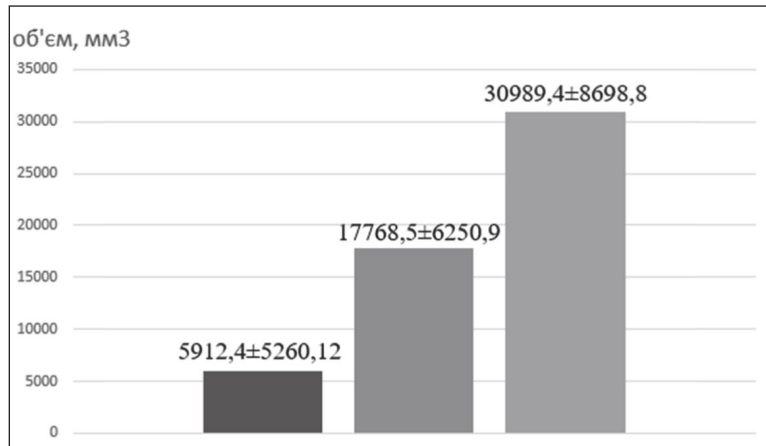


Рисунок 7 – Середній об'єм дефектів залежно від кількості залучених анатомічних ділянок.

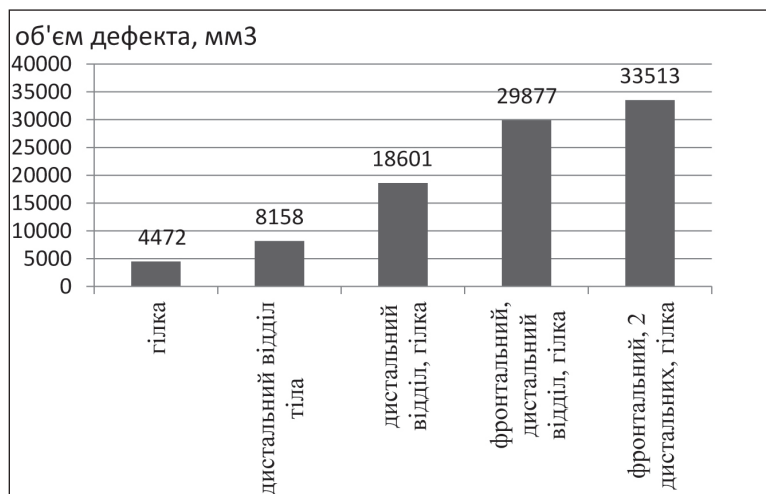


Рисунок 8 – Середній об'єм дефектів залежно від їх локалізації.

ють перегляду. При цьому вагоме значення матиме не лише тип дефекту а комплексна оцінка його об'єму, локалізації і форми.

Співставлення геометричних параметрів дефектів із параметрами традиційних (стандартизованих) кісткових трансплантатів відповідного об'єму виявили суттєві невідповідності, що повністю відповідає накопиченому на сьогоднішній день клінічному

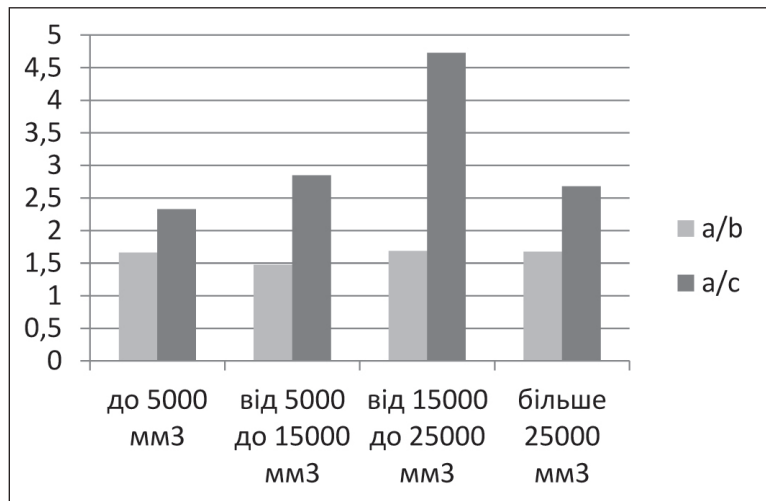


Рисунок 9 – Графіки залежності співвідношення довжини до товщини та довжини до ширини.

Таблиця 2 – Геометричні параметри дефектів залежно від їх типу за J.S. Brown et al. (2016)

Тип дефекту	об'єм мм <sup>3</sup>	Площа поверхні мм <sup>2</sup>	V/S мм	Співвідношення довжини до ширини a/b	Співвідношення довжини до товщини a/c
I	11050±7410	3394±1861	3,03±0,54	1,74±0,32	2,99±1,04
I c	12517±8620	4654±2598	2,42±0,59	1,52±0,33	3,12±0,91
II	20146±5128	5833±1802	3,5±0,33	2,12±0,32	3,63±0,79
III	13513±11405	4046±3068	3,11±0,47	1,78±0,16	2,47±0,46
IV	32435±7732	8047±1188	4,05±0,75	2,02±0,68	2,93±1,22
IV c	32283±13128	10061±3329	3,13±0,33	1,77±0,46	2,79±1,62

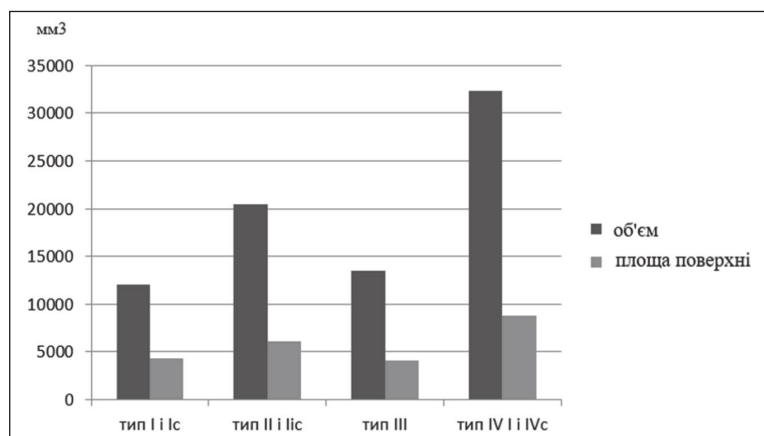


Рисунок 10 – Об'єм і площа поверхні різних типів дефектів за J.S. Brown et al. (2016).

досвіду. Встановлено, що можливість досягнення геометричної відповідності дефекту і трансплантату залежить від об'єму дефекту, його локалізації, та індивідуальної анатомії кісток пацієнта. При малих дефектах до 5 см<sup>3</sup> досягнення необхідної геометричної відповідності при застосуванні традиційних (васкуляризованих) трансплантатів з гребеня клубової кістки чи фібули виявлялось проблематичним: в цих випадках необхідно розглядати інші рішення (PSI, техніки направленої тканинної регенерації, біоінженерні еквіваленти, ксеногенні та аллогенні преформовані трансплантати, дистракційний остеогенез тощо). При відновленні дефектів більшого розміру високого рівня геометричної відповідності дефекту і трансплантату вдавалось досягти лише на дистальних відділах тіла НЩ. При цьому гребінь клубової кістки демонстрував певні переваги, за рахунок природної кривизни і можливості відновити висоту тіла та альвеолярного паростку, що створювало кращі умови для наступної дентальної імплантації. На ділянці підборіддя і гілки НЩ в переважній більшості досліджених випадків трансплантати не відповідали геометричним параметрам втраченої частини НЩ. Кісткові трансплантати, як самостійне рішення можуть бути методом вибору переважно при дефектах, локалізованих в дистальних відділах НЩ. У випадках, коли дефект додатково поширюється на ділянку гілки і підборіддя доцільно поєднувати трансплантацію кістки із застосуванням пацієнто-специфічних конструкцій, для корекції наявних геометричних невідповідностей. Отримані нами результати порівняльного аналізу за параметрами V/S, товщиною, співвідношенням лінійних розмірів свідчать про доцільність широкого застосування ендопротезів для заміщення ізольованих дефектів гілки НЩ, зокрема, голівки НЩ. На ді-

лянці тіла НЩ натомість існує нагальна потреба в трансплантації кістки для забезпечення можливості протетичної реабілітації і встановлення дентальних імплантатів. При заміщенні великих дефектів тіла НЩ, що поширюються на 2 і більше ділянок і включають горизонтальні вигини НЩ на ділянці підборіддя краща геометрична відповідність за співвідношенням лінійних розмірів може бути досягнута використанням трансплантатів із фібули, фрагментованих на 2 і більше частини. Але і в цьому разі досягнута форма буде лишень умовно наближатися до контуру НЩ, не відтворюючи його природної кривизни. Компенсація цих невідповідностей можлива за рахунок використання пацієнт-специфічних фіксаторів анатомічної форми.

В літературі існує дискусія, щодо переваг і недоліків різних типів кісткових трансплантатів зокрема із гребеня клубової кістки і фібули. Так згідно досліджень Маланчука і співав. Гребінь клубової кістки має найбільшу відповідність до НЩ за геометричною формою, архітектонікою, та біологічним потенціалом. Ayoud, вказує на певні біомеханічні переваги застосування гребеня клубової

кістки, крім того в роботах автора доведена висока остеоіндуктивність трансплантатів цього типу [22]. Пересадка фрагментів гребеня супроводжується їх ремоделюванням і резорбцією із втратою до 65-85% об'єму трансплантата (для вільних невааскуляризованих фрагментів кістки). Це робить віддалений анатомічний результат операції досить не передбачуваним. Натомість трансплантати із малогомілкової кістки мають добру васкуляризацію, довгу судинну ніжку, а їх фрагментація навіть на 3 і більше фрагментів зі збереженням гемодинаміки принципово можлива. Трансплантати із малогомілкової кістки можуть мати великий розмір і поєднуватись із значним масивом м'яких тканин. Всі ці чинники, що не були предметом нашого дослідження слід брати до уваги поряд із геометричними параметрами дефекту і трансплантату.

Водночас відомо, що в будь-якому разі фрагментація трансплантату пов'язана із глибшими розладами гемодинаміки, вищим ризиком порушень консолидації і відторгнення кісткових фрагментів, а також меншою волюметричною стабільністю у віддаленому післяопераційному періоді. З огляду на це, отримані нами результати свідчать на користь біологічних та анатомічних переваг застосування комбінованих пацієнтоспецифічних конструкцій, що поєднують елементи ендопротеза на ділянках зі складною геометрією та фіксатора анатомічної форми (рис. 11), який визначає оптимальне положення трансплантату із дотриманням наступних принципів: 1) трансплантат встановлюють лише на ділянках де в майбутньому буде проводитись протезування/імплантація, або необхідна адекватна підтримка м'яких тканин, 2) положення трансплантату визначається пацієнт-специфічною конструкцією і має забезпечити мак-

симальний контакт із фрагментом НЩ та оптимальне з функціональної точки зору співвідношення із верхнім зубним рядом, 3) моделювання операції проводиться із урахуванням геометричних та топографоанатомічних параметрів таким чином, щоб мінімізувати кількість остеотомій при фрагментації трансплантату та, за потреби, забезпечити можливість накладання судинного анастомозу та заміщення дефекту м'яких тканин.

**Висновки.** Дефекти НЩ із порушенням її неперервності, що виникають внаслідок травматичних ушкоджень, хірургічних резекцій та вроджених вад розвитку характеризуються значною варіативністю форм і розмірів. Основними параметрами, що характеризують складність геометричної форми дефекту є його об'єм (V), площа поверхні (S), співвідношення  $V/S$  та співвідношення лінійних розмірів (довжини, ширини і товщини), які можуть бути визначені із використанням математичних алгоритмів програмних комплексів CAD.

За основними геометричними параметрами стандартні кісткові трансплантати відрізняються від форми дефектів НЩ. Виразність цих розбіжностей залежить від об'єму та локалізації дефекту: вона є найменшою в дистальних відділах тіла і збільшується на ділянці підборіддя і гілки НЩ.

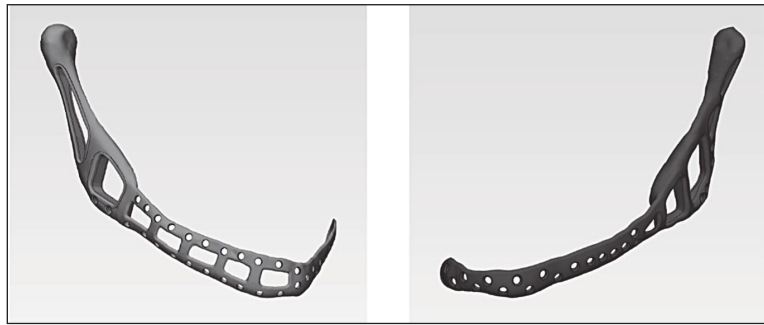


Рисунок 11 – Комбіновані пацієнтоспецифічні конструкції, поєднання елементів ендопротеза та фіксатора.

При виборі оптимального типу кісткового трансплантату необхідно враховувати його геометричну відповідність дефекту, визначену згідно запропонованого нами алгоритму, а також біомеханічні та біологічні характеристики трансплантату і реципієнтної зони.

**Перспективи подальших досліджень.** Отримані данні є підставою для більш широкого застосування пацієнто-специфічних імплантатів та ендопротезів для відновлення анатомії ушкодженої НЩ. Одним із можливих шляхів компенсації геометричних невідповідностей є застосування комбінованих пацієнто-специфічних конструкцій що містять елементи ендопротезу та індивідуалізованого фіксатора. Ці питання можуть бути предметом подальших досліджень та наукового аналізу.

## Література

- Metzler P, Geiger EJ, Alcon A, Ma X, Steinbacher DM. Three-dimensional virtual surgery accuracy for free fibula mandibular reconstruction: planned versus actual results. *J Oral Maxillofac Surg.* 2014;72(12):2601-12.
- Zheng L, Lv X, Zhang J, Liu S, Zhang J, Zhang Y. Translating computer-aided design and surgical planning into successful mandibular reconstruction using a vascularized iliac-crest flap. *J Oral Maxillofac Surg.* 2017 Nov 03;76(4):886-93.
- Chim H, Salgado CJ, Mardini S, Chen HC. Reconstruction of mandibular defects. *Semin Plast Surg.* 2010 May;24(2):188-97. DOI: 10.1055/s-0030-1255336
- Foley BD, Thayer WP, Honeybrook A, McKenna S, Press S. Mandibular reconstruction using computer-aided design and computer-aided manufacturing: an analysis of surgical results. *J Oral Maxillofac Surg.* 2013;71(2):e111-9.
- Stirling Craig E, Yuhasz M, Shah A, Blumberg J, Salomon J, Lowlicht R, et al. Simulated surgery and cutting guides enhance spatial positioning in free fibular mandibular reconstruction. *Microsurgery.* 2015;35(1):29-33.
- Bak M, Jacobson AS, Buchbinder D, Urken ML. Contemporary reconstruction of the mandible. *Oral Oncol.* 2010 Feb;46(2):71-6. DOI: 10.1016/j.oraloncology.2009.11.006
- Anuja K Antony, Wei F Chen, Antonia Kolokythas, Katherine A Weimer, Mimis N Cohen. Use of virtual surgery and stereo lithography-guided osteotomy for mandibular reconstruction with the free fibula. *Plast Reconstr Surg.* 2011 Nov;128(5):1080-4.
- Huang JW, Shan XF, Lu XG, Cai ZG. Preliminary clinic study on computer assisted mandibular reconstruction: the positive role of surgical navigation technique. *Maxillofac Plast Reconstr Surg.* 2015;37(1):20.
- Mascha F, Winter K, Pietzka S, Heufelder M, Schramm A, Wilde F. Accuracy of computer-assisted mandibular reconstructions using patient-specific implants in combination with CAD/CAM fabricated transfer keys. *J Craniomaxillofac Surg.* 2017;45(11):1884-97.
- Iizuka T, Häfziger J, Seto I, Rahal A, Mericske-Stern R, Smolka K. Oral rehabilitation after mandibular reconstruction using an osteocutaneous fibula free flap with endosseous implants. Factors affecting the functional outcome in patients with oral cancer. *Clin Oral Implants Res.* 2005 Feb;16(1):69-79. DOI: 10.1111/j.1600-0501.2004.01076.x
- Pavlov BL. Klassifikatsiia defektov nizhnei cheljusti. *Stomatologiya.* 1974 Sep-Oct;53(5):43-6. [in Russian].
- Jewer DD, Boyd JB, Manktelow RT, Zuker RM, Rosen IB, Gullane PJ, et al. Orofacial and mandibular reconstruction with the iliac crest free flap: a review of 60 cases and a new method of classification. *Plast Reconstr Surg.* 1989 Sep;84(3):391-403;discussion 404-5.
- Urken ML, Weinberg H, Vickery C, Buchbinder D, Lawson W, Biller HF. Oromandibular reconstruction using microvascular composite free flaps. Report of 71 cases and a new classification scheme for bony, soft-tissue, and neurologic defects. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg.* 1991 Jul;117(7):733-44. DOI: 10.1001/archotol.1991.01870190045010
- Boyd JB, Gullane PJ, Rotstein LE, Brown DH, Irish JC. Classification of mandibular defects. *Plast Reconstr Surg.* 1993 Dec;92(7):1266-75.
- David DJ, Tan E, Katsaros J, Sheen R. Mandibular reconstruction with vascularized iliac crest: a 10-year experience. *Plast Reconstr Surg.* 1988 Nov;82(5):792-803. DOI: 10.1097/00006534-198811000-00011
- Baumann DP, Yu P, Hanasono MM, Skoracki RJ. Free flap reconstruction of osteoradionecrosis of the mandible: a 10-year review and defect classification. *Head Neck.* 2011 Jun;33(6):800-7. DOI: 10.1002/hed.21537
- Davies JC, Chan HHL, Jozaghi Y, Goldstein DP, Irish JC. Analysis of simulated mandibular reconstruction using a segmental mirroring technique. *J Craniomaxillofac Surg.* 2019 Mar;47(3):468-72. DOI: 10.1016/j.jcms.2018.12.016
- Khalifa GA, Abd El Moniem NA, Elsayed SA, Qadry Y. Segmental Mirroring: Does It Eliminate the Need for Intraoperative Readjustment of the Virtually Pre-Bent Reconstruction Plates and Is It Economically Valuable? *J Oral Maxillofac Surg.* 2016 Mar;74(3):621-30. DOI: 10.1016/j.joms.2015.09.036
- Brown JS, Barry C, Ho M, Shaw R. A new classification for mandibular defects after oncological resection. *Lancet Oncol.* 2016;17(1):e23-30.
- Van Baar GJC, Forouzanfar T, Liberton NPTJ, Winters HAH, Leusink FKJ. Accuracy of computer-assisted surgery in mandibular reconstruction: a systematic review. *Oral Oncol.* 2018 Sep;84:52-60. DOI: 10.1016/j.oraloncology.2018.07.004



21. Awad ME, Altman A, Elrefai R, Shipman P, Looney S, Elsalanty M. The use of vascularized fibula flap in mandibular reconstruction; a comprehensive systematic review and meta-analysis of the observational studies. J Craniomaxillofac Surg. 2019 Apr;47(4):629-41. DOI: 10.1016/j.jcms.2019.01.037
22. Ayoub N, Ghassemi A, Rana M, Gerressen M, Riediger D, Holzle F, et al. Evaluation of computer-assisted mandibular reconstruction with vascularized iliac crest bone graft compared to conventional surgery: a randomized prospective clinical trial. Trials. 2014;15:114.

### ТОПОГРАФО-АНАТОМІЧНІ ТА ГЕОМЕТРИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕГМЕНТАРНИХ ДЕФЕКТІВ НИЖНЬОЇ ЩЕЛЕПИ ЗА ДАНИМИ МУЛЬТИСПІРАЛЬНОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ ТОМОГРАФІЇ

Черногорський Д. М., Васильєв О. С., Воллер М. В., Чепурний Ю. В., Копчак А. В.

**Резюме.** В дослідженні проводилося вивчення топографії та геометричної форми набутих дефектів нижньої щелепи, розробка об'єктивних діагностичних параметрів для їх передопераційної оцінки із використанням методу мультиспіральної комп'ютерної томографії, комп'ютерного моделювання та 3-D візуалізації. Встановлено, що основними параметрами, які характеризують складність геометричної форми дефекту є його об'єм (V), площа поверхні (S), співвідношення  $V/S$  та співвідношення лінійних розмірів, що можуть бути визначені із використанням математичних алгоритмів програмних комплексів CAD. За основними геометричними параметрами стандартні кісткові трансплантати відрізняються від форми дефектів НЩ. Одним із можливих шляхів компенсації геометричних невідповідностей є застосування комбінованих пацієнто-специфічних конструкцій, що містять елементи ендопротезу та індивідуалізованого фіксатору.

**Ключові слова:** заміщення дефекту нижньої щелепи, CAD/CAM технології, пацієнтоспецифічні імплантати, індивідуалізовані пластини, аутотрансплантати гребня клубової та малогомілкової кісток.

### ТОПОГРАФО-АНАТОМИЧЕСКИЕ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СЕГМЕНТАРНЫХ ДЕФЕКТОВ НИЖНЕЙ ЧЕЛЮСТИ ПО ДАННЫМ МУЛЬТИСПИРАЛЬНОЙ КОМПЬЮТЕРНОЙ ТОМОГРАФИИ

Черногорский Д. М., Васильев А. С., Воллер М. В., Чепурной Ю. В., Копчак А. В.

**Резюме.** В исследовании проводилось изучение топографии и геометрической формы приобретенных дефектов нижней челюсти, разработка объективных диагностических параметров для их предоперационной оценки с использованием метода мультиспиральной компьютерной томографии, компьютерного моделирования и 3-D визуализации. Установлено, что основными параметрами, которые характеризуют сложность геометрической формы дефекта является его объем (V), площадь поверхности (S), соотношение  $V/S$  и соотношение линейных размеров, которые могут быть определены с использованием математических алгоритмов программных комплексов CAD. По основным геометрическим параметрам стандартные костные трансплантаты отличаются от формы дефектов НЧ. Одним из возможных путей компенсации геометрических несоответствий является применение комбинированных пациенто-специфических конструкций, содержащих элементы эндопротеза и индивидуализированного фиксатора.

**Ключевые слова:** замещения дефекта нижней челюсти, CAD/CAM технологии, пациентоспецифические имплантаты, индивидуализированные пластини, аутотрансплантаты гребня подвздошной и малоберцовой костей.

### TOPOGRAPHICAL, ANATOMICAL AND GEOMETRIC CHARACTERISTICS SEGMENTAL DEFECTS OF THE MANDIBLE ACCORDING TO MULTISLICE COMPUTED TOMOGRAPHY

Chernogorskyi D., Vasilyev A., Voller M., Chepurnyi Y., Kopchak A.

**Abstract.** The mandible is the only movable bone of the facial bones, and is characterized by a unique anatomical structure and internal structure that provides the function of chewing, swallowing, speaking and it has a complex geometric configuration. The aim of present study was to evaluate topography and geometric shape of acquired mandibular defects and to develop objective diagnostic parameters for their preoperative assessment using multislice computed tomography, computer simulation and 3-D visualization. The material of this study was 60 patients with postoperative and post-traumatic defects of the mandible. To determine the geometric correspondence of defects of the mandible and standard bone autografts from the iliac crest and fibula on standardized mid-anatomical computer models (CAD) of the iliac and fibula bones, by virtual osteotomy, formed 3-D models of autografts to a given volume topographic and anatomical principles of their collection. Then the geometric parameters of the grafts was compared with the parameters of the jaw defects. The achieved shape will only conditionally approach the contour of the mandible, without reproducing its natural curvature. Compensation for these discrepancies is possible through the use of patient-specific anatomical fixators. Our standardized algorithm for determining the geometric parameters of the defect makes the measurement technique reproducible and easy to compare. The obtained values have a specific clinical and biological meaning.

**Conclusion.** One of the possible ways to compensate for geometric inconsistencies is the use of combined patient-specific designs containing elements of the endoprosthesis and individualized fixator. When choosing the optimal type of bone graft, it is necessary to take into account its geometric correspondence of the defect, determined according to our proposed algorithm, as well as biomechanical and biological characteristics of the graft and recipient area.

**Key words:** defect of the mandible, CAD/CAM technology, patient specific implants, individualized plates.

Рецензент – проф. Аветіков Д. С.

Стаття надійшла 16.08.2020 року