

DOI 10.29254/2077-4214-2020-2-156-216-222

УДК 616.76–001.4–06:617.764.2–089.844

Чепурний Ю. В., Черногорський Д. М., Жуковцева О. І., Копчак А. В.

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ 3D ТЕХНОЛОГІЙ В ЛІКУВАННІ ПОСТТРАВМАТИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ВИЛИЦЕВОГО КОМПЛЕКСУ

Національний медичний університет імені О. О. Богомольця (м. Київ)

80667788837@ukr.net

Зв'язок публікації з плановими науково-дослідними роботами. Дане дослідження є фрагментом науково-дослідної роботи кафедри стоматології Інституту післядипломної освіти НМУ імені О.О. Богомольця «Наукове обґрунтування оптимізації діагностики, лікування і профілактики основних стоматологічних захворювань у осіб працездатного віку» (№ державної реєстрації – 0115U000907).

Вступ. Відновлення естетики і функції обличчя при лікуванні посттравматичних деформацій лицевого черепа, є однією з актуальних задач щелепно-лицевої хірургії. При цьому важлива роль належить відновленню нормальної анатомії вилицевого комплексу (ВК), що має виключне значення у формуванні горизонтальної симетрії обличчя та його індивідуальних рис [1,2,3]. Вилицевий виступ надає підтримку м'яким тканинам щічної ділянки, мімічним м'язам, та разом з кривизною вилицевої дуги задає форму обличчя, а нижній та латеральний край орбіти, сформовані вилицевою кісткою, визначають положення очного яблука та форму очної щілини. Порушення цієї складної геометричної рівноваги, іноді навіть незначне, може призводити до формування естетичних вад, і, як наслідок, до психологічної та соціальної дезадаптації пацієнтів [4,5,6].

При лікуванні переломів ВК проведення анатомічно точної репозиції кісткових уламків дозволяє в більшості випадків відновити цілісність лицевого черепа, його білатеральну симетрію, та притаманні даному індивіду топографо-анатомічні співвідношення [2,4,5]. Цьому сприяє наявність чітких анатомічних орієнтирів та конгруентність кісткових поверхонь в ділянці діастазу. Разом з тим, за даними В.О. Маланчука [7], при лікуванні посттравматичних деформацій ВК, що передбачає проведення рефрактури, репозиції та фіксації фрагментів в оптимальному положенні (за потреби, в поєднанні із елементами кісткової або контурної пластики), правильне просторове позиціонування кісткових фрагментів значно утруднюється їх перебудовою в ділянці щілини перелому, формуванням регенератів, процесами резорбції дрібних кісткових уламків тощо [1,2,7]. Тяга жувальних м'язів, що перебувають в стані контрактури за наявності посттравматичних рубцевих змін, погіршує можливості для мобілізації кісткових фрагментів та формує передумови для вторинних зміщень під час їх фіксації та в післяопераційному періоді. В умовах зміненої анатомії позиціонування ВК потребує від хірурга досвіду та чіткого просторового уявлення. Таким чином точність реконструкції значною мірою залежить від суб'єктивних факторів, що можуть суттєво впливати на інтегральний результат лікування [1,2,4,7,8].

Впровадження комп'ютерних 3D технологій в медичну практику змінило підходи до лікування де-

формацій лицевого черепа. Одним з нових перспективних напрямків в реконструктивній хірургії обличчя стало використання навігаційних хірургічних шаблонів (НХШ), що детермінують хірургічний результат, базуючись на віртуальному плануванні за даними комп'ютерної томографії [8,9,10]. Даний підхід детально був описаний в роботах Schouman T et al. (2015), Schreurs R et al. (2017), Cho et al. (2018) [11,12,13], спільною рисою яких стало віртуальне переміщення моделей ВК в задане положення у певному програмному середовищі. Правильне положення деформованого ВК у віртуальному середовищі визначається відносно наявних анатомічних орієнтирів та контурів моделі віддзеркаленої неушкодженої сторони. Віртуальний план реалізується в ході операції шляхом використання спеціальних медичних виробів – НХШ, виготовлених різними методами 3D прототипування. Дані вироби після фіксації до неушкоджених кісток лицевого черепа задають площину та розташування остеотомії, а також положення ВК перед проведенням його фіксації. При цьому після виконання своїх функцій НХШ потребує видалення та утилізації. Продовженням даного підходу стало використання пацієнтспецифічних імплантатів (ПСІ) – виробів медичного призначення, створених за аналогічними принципами, які окрім функцій, характерних для НХШ, зокрема позиціонування ВК в просторі, забезпечують його постійну фіксацію, а також можуть бути використані для заміщення наявних дефектів кістки [8,10,11,12].

Метою даної роботи було розробити клінічний протокол використання НХШ при лікуванні посттравматичних деформацій ВК та дослідити особливості їх клінічного використання.

Об'єкт і методи дослідження. В дослідження були включені пацієнти, що проходили лікування в Центрі щелепно-лицевої хірургії та стоматології КНП КОР «Київська обласна клінічна лікарня» та в Київській міській клінічній лікарні швидкої медичної допомоги з приводу посттравматичних деформацій вилицевого комплексу в період з 2016 по 2020 роки. Дане дослідження пройшло біоетичну експертизу та схвалене на засіданні Комісії з питань біоетичної експертизи та етики наукових досліджень при НМУ імені О.О. Богомольця (протокол № 126).

Критеріями включення в дослідження були наступні: наявність посттравматичної деформації вилицевого комплексу, хірургічне усунення деформації з використанням CAD/CAM технологій, повноцінно задокументована клінічна картина, наявність КТ до і після лікування; період спостереження не менше 6 місяців після хірургічного лікування; письмова інформована згода пацієнта.

Критеріями виключення були: вік до 18 років, посттравматичні деформації спричинені вогне-

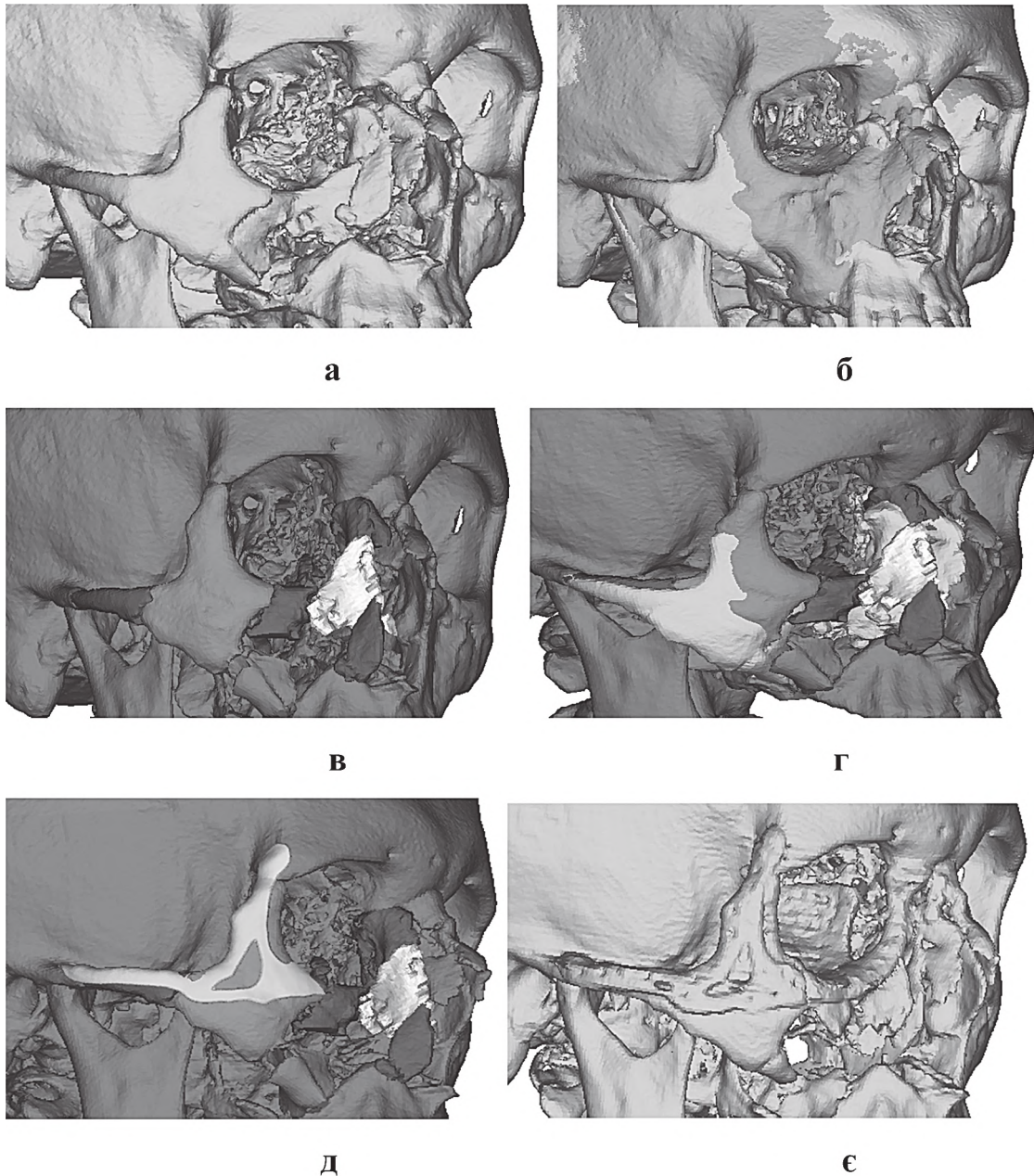


Рисунок 1 – Етапи створення дизайну та результат клінічного використання ПСІ. а – віртуальна модель лицевого черепа пацієнта; б – співставлення реальної та віддзеркаленої моделей лицевого черепа; в, г – віртуальна репозиція фрагментів середньої зони обличчя та їх співвідношення з вихідним станом; д – віртуальна модель ПСІ для позиціонування та фіксації ВК; е – віртуальна модель кісток лицевого черепа, створена на основі післяопераційної КТ.

пальними пораненнями, активна променева або хіміотерапія, психічні захворювання, недотримання медичних рекомендацій та відсутність взаємодії з лікарем на етапах лікування, неповне документування клінічного випадку, відмова від участі у дослідженні. Вказаним критеріям повністю відповідали 16 пацієнтів (11 чоловіків та 5 жінок), середній вік яких склав $37,3 \pm 14,7$ років (від 18 до 70 років).

Усі хворі були обстежені перед проведенням хірургічного лікування, через тиждень, один, три, шість місяців після операції відповідно до стандартного алгоритму, що включав оцінку локального та офтальмологічного статусу (симетрія обличчя, положення очного яблука, гострота зору, диплопія, наявність окорухових порушень), а також мультиспіральну комп'ютерну томографію (до і після операції). Естетичні результати хірургічного втручання були оцінені

двома незалежними спостерігачами за наступними критеріями: 1) незадовільні результати – залишкова деформація була очевидною та потребувала повторної хірургічної корекції 2) задовільні – результат було визнано прийнятним, але зберігалась потреба в незначній косметичній корекції м'яких тканин периорбітальної та виличної ділянок 3) хороші – у випадках, коли посттравматична деформація була повністю усунена із відновленням функціональної спроможності та прийнятного естетичного вигляду обличчя. Моторику очей та диплопію оцінювали за допомогою тесту «слідкуй за моїм пальцем». Окремо документували наявність і характер ускладнень в післяопераційному періоді. Мультиспіральну комп'ютерну томографію (КТ) проводили на томографах Toshiba Activion 16 та PhilipsDiamondSelectBrilliance CT 64, з товщиною зрізів – 0,5 мм.

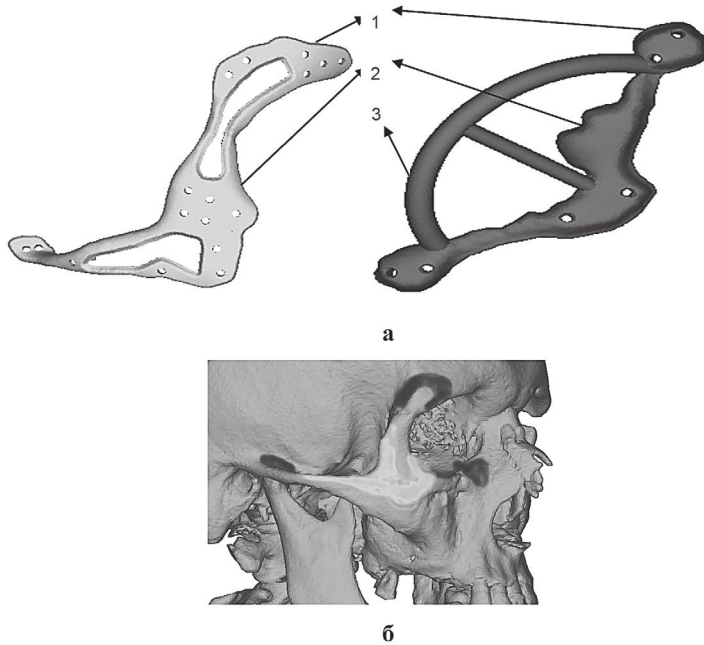


Рисунок 2 – Варіанти дизайну навігаційних хірургічних шаблонів (а) та функціональне призначення їх елементів у відповідності до розташування відносно лицевого черепа (б). 1 – ділянка фіксації шаблону до неушкоджених відділів лицевого черепа (відповідає синьому маркуванню на моделі лицевого черепа); 2 – зона, що відповідає за позиціонування ВК (відповідає жовтому маркуванню на моделі лицевого черепа); 3 – ділянка для утримання та введення НХШ.

Моделювання та виготовлення навігаційних шаблонів та ПСІ з використанням CAD/CAM технологій. Віртуальне планування хірургічного втручання а також моделювання НХШ та ПСІ проводили у тісній співпраці хірургів та біоінженерів. Передопераційні дані КТ (DICOM-файли без компресії) були надані виробнику імплантатів («Imatek Medica Ltd.», Київ, Україна). Після аналізу клінічного випадку у програмному середовищі створювали віртуальні моделі кісток лицевого черепа, при необхідності планували проведення їх остеотомій та переміщення фрагментів, із наступним визначенням оптимального дизайну НХШ та ПСІ. НХШ використовували для проведення остеотомій та репозиції ВК, а ПСІ для позиціонування та фіксації кісткових фрагментів.

Сегментація даних КТ та створення віртуальних моделей фрагментів лицевого черепа були виконані у програмному середовищі SimPlant13.02 (Materialize Dental, Leuven Belgium та D2P 1.0.2.53 Symbionix Ltd/3D Systems Inc., Бейт Голан, Ізраїль). Віртуальні моделі фрагментів ВК сегментували методом вибору за визначеним діапазоном рентгенологічної щільності (від 300 HU) та з використанням інструментів для редагування та дублювання віртуальних об'єктів. Отримані моделі переміщували у нове положення, беручи за основу контури віддзеркаленої інтактної половини лицевого черепа. Після цього, їх у форматі STL експортували у програмне середовище автоматизованого проектування CAD (Geomagic Freeform, Rock Hill, Південна Кароліна, США) для створення дизайну НХШ. Основною задачею таких конструкцій було забезпечення однозначного позиціонування кісткових фрагментів після їх остеотомії та забезпечення тимчасової ретенції до моменту проведення постійної функціонально-стабільної фіксації (рис. 1 а, б, в, г).

Дизайн НХШ і ПСІ передбачав створення віртуального об'єкта, що являв собою викривлену площину, яка охоплювала поверхню вилицевого комплексу та поряд розташовані ділянки лицевого черепа з отворами для фіксації. НХШ складався з наступних елементів: ділянка для фіксації до неушкоджених відділів лицевого черепа, ділянка для утримання та позиціонування ВК, елемент для мануального утримання та внесення шаблону в рану. Шляхом використання ретенційних пунктів та особливостей анатомії кістки досягалось єдино можливе розташування НХШ, а відповідно позиціонування ВК в заданому положенні. При створенні дизайну НХШ нами було визначено ділянки лицевого черепа, які він мав обов'язково охоплювати, та ті, що залишались вільними для візуального контролю щільності прилягання та можливості здійснення традиційної фіксації ВК накісними пластинами та гвинтами (рис. 2). Дизайн ПСІ створювався аналогічно, лише за виключенням елементів для утримання і позиціонування та з мінімізацією площі виробу.

Після узгодження з лікуючим лікарем віртуальні 3-D моделі (файли у форматі STL) були відправлені на виготовлення з використанням адитивних технологій (CAM). НХШ виготовляли з пластику методом FDM 3Dдруку або з металу шляхом селективного лазерного спікання (SLS) кобальто-хромового сплаву. Цю ж технологію використовували і для виробництва ПСІ з титану марки (Ti6Al4V) у вигляді порошка (DIN: 3.7165) відповідно до стандарту (DIN: 3.7165).

Особливості проведення хірургічних втручань. При проведенні хірургічних втручань використовували коронарний доступ до тіла вилицевої кістки, вилицевої дуги та латеральної стінки орбіти; субциліарний або транскон'юнктивальний доступ до нижнього краю та стінок орбіти (в деяких випадках з бічним кантолізмом), внутрішньо ротовий доступ – для ревізії верхньощелепного синуса та вилице-альвеолярного гребеня, а також прямі доступи безпосередньо через існуючі рубці. Після проведення остеотомії, НХШ чи ПСІ фіксували до неушкоджених ділянок лицевого черепа, після чого проводили мобілізацію фрагментів ВК з наступною їх фіксацією до шаблону або імплантата після візуальної оцінки точності контакту кісткової поверхні з внутрішньою поверхнею виробу. У випадку використання НХШ фрагменти ВК фіксували до інтактних кісток черепа накісними титановими пластинами, після чого НХШ видаляли (рис. 3). При використанні ПСІ вони забезпечували фіксацію вилицевого комплексу на весь період консолидації.

Перевагу НХШ віддавали у випадках посттравматичних деформацій, що супроводжувались зміщенням ВК єдиним блоком або з формуванням 1-2 великих за площею кісткових фрагментів. При наявності багатоуламкової фрагментації ВК (особливо в ділянці вилицевої дуги та вилицевого виступу), з виникненням кісткових дефектів використовували ПСІ.

Для оцінки точності відновлення ВК проводили сегментацію післяопераційного КТ та отримували віртуальні моделі ВК та віддзеркаленої інтактної половини лицевого черепа. Далі в програмному середовищі

Geomagic Freeform їх накладали одна на одну та порівнювали в автоматичному режимі. Програмний комплекс Geomagic Freeform диференціював відповідні вузлові точки обох моделей, визначав середню відстань між ними у «мм» та формував кольорову карту невідповідностей накладених зображень, яка демонструвала існуючі відхилення. Також було виміряно максимальні відхилення між відповідними точками моделей, що порівнювались. Аналогічне порівняння було проведено між віртуально спланованим положенням вилицевого комплексу до операції та отриманим післяопераційним результатом.

Також симетричність відновлення вилицевого комплексу оцінювали згідно рекомендацій Khasani et al., (2017) [5], вираховуючи різницю між нормальми, проведеними з найбільш виступаючих точок тіл вилицевих кісток неушкодженої та травмованої сторони до середньої сагітальної, фронтальної та аксіальної площин. Усі зазначені параметри були використані для комплексної оцінки точності позиціонування вилицевого комплексу.

Статистичний аналіз даних включав обчислення середніх значень та стандартного відхилення для кожного оцінюваного параметра. Для порівняння відмінностей між параметрами в досліджуваних групах були використані U-критерій Манна-Уїтні та точний критерій Фішера. Статистичні відмінності вважали достовірними при $p < 0,05$. Розрахунки проводилися в програмному комплексі SPSS (IBM SPSS, США).

Результати дослідження та їх обговорення.

Метою лікування пацієнтів з посттравматичними деформаціями ВК залишається відновлення нормальної анатомії, усунення функціональних порушень та досягнення прийняттого естетичного вигляду обличчя із урахуванням індивідуальних, притаманних даному пацієнту рис. Одним з ключових завдань при цьому є відновлення симетрії обличчя, шляхом правильного позиціонування вилицевої кістки в просторі відносно неушкоджених відділів лицевого черепа [1,2,8].

При лікуванні пацієнтів, включених в дослідження, нами проводилась комп'ютерна симуляція репозиції ВК, а отриманий план реалізовувався за допомогою хірургічних навігаційних шаблонів та ПСІ. При цьому, середнє відхилення між запланованим положенням ВК та результатом, отриманим після оперативного втручання було незначним і в середньому становило $1,1 \pm 0,4$ мм. Як наслідок при суб'єктивній оцінці естетичних результатів лікування в 62,5% випадків ($n=10$) вони були визнані як хороші, в решті випадків – як задовільні. При аналізі геометричної відповідності відновленого ВК та віддзеркаленого неушкодженого ВК з протилежного боку, було виявлено, що середнє відхилення між відповідними точками цих об'єктів становило

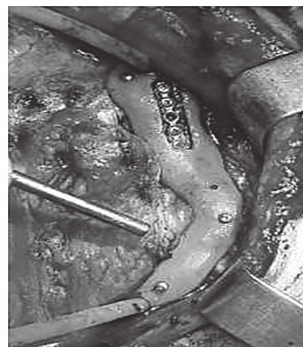
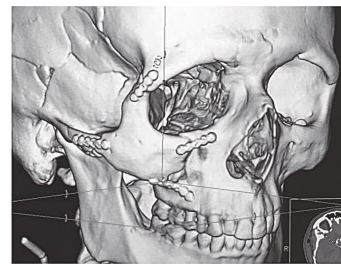
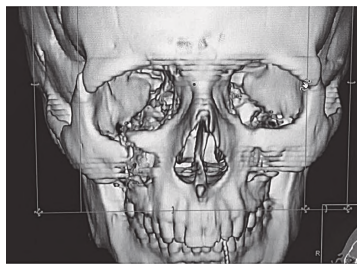


Рисунок 3 – Клінічне застосування навігаційного хірургічного шаблона при лікуванні неправильно консолидованого перелому ВК.

$1,4 \pm 0,3$ мм, а максимальне відхилення в середньому складало $7,3 \pm 2,2$ мм (рис. 4).

Згідно даних літератури для певної частини популяції зазвичай характерна незначна природна асиметрія в положенні вилицевої кістки [2,5,6]. Частота такої асиметрії коливається від 16 до 40% випадків, разом з тим дана асиметрія практично ніколи не буває виразною і варіює в межах 1-2 мм [2,5,9,14]. При цьому згідно S. Moubayed (2012) [6] різниця між положенням ВК лівої і правої сторін у будь-якій з площин в межах 2-х мм може бути помічена досвідченим клініцистом лише 50% випадках.

Результати щодо оцінки симетричності положення вилицевого виступу після лікування представлені в таблиці.

Як видно з таблиці, найбільш проблематичним виявилось правильне позиціонування вилицевої кістки у передньо-задньому положенні, що узгоджується з даними інших авторів, зокрема Khasani et al. (2017) [5], який оцінював положення вилицевого виступу після лікування переломів ВК традиційними методами. Середня різниця між положенням вилицевого виступу в цьому дослідженні становила: M-L – $2,21 \pm 1,2$ мм; An-Post – $2,49 \pm 1,2$ мм; S-I – $1,9 \pm 1,2$ мм.

Pau et al. (2010) [14] дослідили відмінність між положенням вилицевого виступу правої та лівої сторони

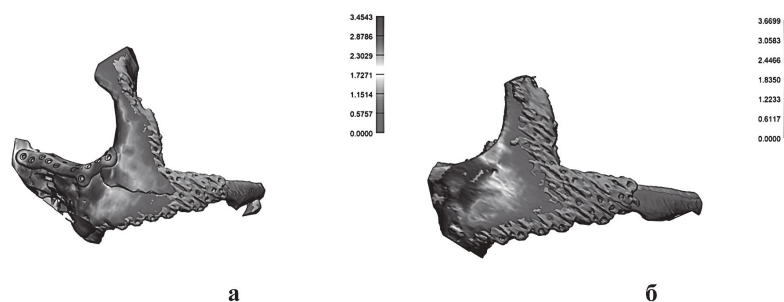


Рисунок 4 – Кольорова карта співставлення позиції реконструйованого та запланованого (а) і віддзеркаленого неушкодженого ВК (б).

Таблиця – Результати оцінки різниці в положенні вилицевих виступів після реконструкції ВК відносно серединних площин

Площина/положення	Середнє значення (мм)	Мінімальне/максимальне відхилення (мм)
Сагітальна/An-Post	3,5±2,9	0,4 – 8,9
Фронтальна/S-I	1,0±1,2	0 – 3,9
Аксіальна/M-L	1,1±0,9	0 – 3,4

Примітка. An-Post – передньо-заднє положення; S-I – вертикальне положення; M-L – медіально-латеральне положення.

в групі пацієнтів без переломів ВК та отримали результати, наближені до результатів нашої роботи: M-L – 1,1±0,7 мм; An-Post – 1,8±1,5 мм; S-I – 1,07±0,9 мм (мінімальна/максимальна різниця при цьому становила 0,15/2,5 мм, 0,01/4,1 мм та 0,1/6,1 мм відповідно). Таким чином, можна стверджувати, що використання навігаційних хірургічних шаблонів та ПСІ дозволяє забезпечити високу точність у позиціонуванні ВК при проведенні його реконструкції.

При лікуванні дев'яти пацієнтів даної серії одночасно з усуненням деформації вилицевого комплексу проводили реконструкцію стінок орбіти. Аналіз офтальмологічного статусу в жодному випадку не виявив зниження гостроти зору, його втрату, посилення диплопії чи випадіння зорових полів. При цьому середня різниця між об'ємом травмованої та неушкодженої очниці склала 1,3±1,1 см³. Даний результат співставний з точністю відновлення орбітального об'єму, продемонстрованою в дослідженнях Zimmerer M. et al. (2016) [15] та Zhang Y. et al. (2010) [10].

При лікуванні перших пацієнтів з використанням НХШ ми спостерігали поломку елементів навігаційних хірургічних шаблонів, виготовлених з полімерних матеріалів методом стереолітографії (2 спостереження). Це змусило в подальших випадках віддавати перевагу технології SLS у виготовленні шаблонів, що додало їм міцності та надійності, але підвищило економічну вартість втручання.

Серед ускладнень, що спостерігались при проведенні хірургічного лікування, в одному випадку у віддаленому післяопераційному періоді відмічали перелом накісної титанової пластини в ділянці остеосинтезу тіла вилицевої кістки з виникненням нориці. Після видалення пластини запальний процес вдалося ліквідувати з досягненням позитивного інтегрального результату.

Згідно даних літератури на даний момент існує декілька підходів до визначення правильного положення ВК при його реконструкції: візуальний контроль за анатомічними орієнтирами, інтраопераційна КТ, використання спеціалізованого навігаційного обладнання та застосування хірургічних навігаційних шаблонів. При лікуванні посттравматичних деформацій використання анатомічних орієнтирів стає вкрай утрудненим, при цьому лікування часто залежить від досвіду хірурга та базується на суб'єктивних критеріях [8,9,10].

Використання інтраопераційної КТ дозволяє забезпечити високу ефективність лікування згідно досліджень багатьох авторів, разом з тим метод теж не в повній мірі позбавлений суб'єктивізму в оцінці точності репозиції. Але головним недоліком даного підходу стала висока вартість обладнання для проведен-

ня обстеження та велике радіаційне навантаження на медичний персонал, що приймає участь в операції [8,9].

Використання інтраопераційної навігації позбавлене ряду зазначених недоліків та передбачає використання передопераційної КТ пацієнта для аналізу та контролю правильності репозиції кісткових фрагментів, позиціонування імплантатів тощо. Це досягається шляхом синхронізації клінічної картини в реальному часі з дослідженням, здійсненим в минулому за допомогою попередньо відкаліброваних датчиків (маркерів), фіксованих до черепа хворого. При зміні положення лицевого черепа або його фрагментів відбувається автоматична адаптація віртуальних моделей, створених за даними КТ до реальної ситуації. Даний підхід, як і використання хірургічних навігаційних шаблонів, передбачає попереднє планування переміщень анатомічних об'єктів та контроль їх положення в ході операції. Нажаль, суттєвим і основним недоліком даного підходу залишається висока вартість обладнання для реалізації інтраопераційної навігації в хірургії [8,9,10].

В роботах багатьох авторів підкреслюється висока точність відновлення ВК при використанні інтраопераційної комп'ютерної навігації. Зокрема Y. He (2013) [9] повідомляв, що середнє відхилення між планованим та отриманим результатом при її використанні у пацієнтів з неправильно консолідованими переломами ВК знаходилося в діапазоні +1,1–1,2 мм. За даними рандомізованого контрольованого дослідження Zhang X. et al. (2018) [10] серед пацієнтів з переломами ВК середня різниця між положенням вилицевої кістки на стороні реконструкції відрізнялась від положення віддзеркаленої інтактною ВК в середньому на 0,6 мм. При цьому в групі контролю даний показник становив 1,2 мм. Таким чином, отримані нами результати при використанні НХШ можна вважати співставними з результатами зазначених досліджень, де використовували обладнання для навігаційної хірургії. Відповідно використання навігаційних хірургічних шаблонів дозволяє забезпечити високу точність в позиціонуванні ВК без застосування високовартісного обладнання.

Різні автори описують декілька підходів до використання НХШ при лікуванні посттравматичних деформацій ВК. Один з них, що використовували Schouman T et al. (2014) [11], Schreurs R et al. (2017) [12], передбачав їх використання при позиціонуванні отворів для гвинтів, що фіксували ПСІ. За рахунок спільності використання отворів шаблону та фіксуючого елемента автором вдавалося детермінувати положення вилицевого комплексу в просторі. Незважаючи на високу ефективність, співставну з результатами даного дослідження (середнє відхилення в положенні ВК до 1,5 мм), недоліками такого підходу слід вважати обов'язкове використання ПСІ в усіх випадках незалежно від характеру деформації. Це в свою чергу ускладнює та подовжує як етап моделювання, так і період виготовлення медичних виробів, а відповідно і веде до збільшення собівартості лікування.

Модифікація НХШ у виконанні Cho et al. (2018) [13] передбачає використання в якості орієнтиру для позиціонування оклюзійні поверхні верхнього зубного ряду. Введення НХШ проводиться з внутрішньоротового доступу, що технічно складно, та стає утрудненим при наявності у пацієнта посттравматичних деформацій прикусу.

Безперечно, реконструкція ВК з використанням хірургічних навігаційних шаблонів та ПСІ має і інші недоліки, основними з яких слід вважати витрати часу на планування із віртуальним переміщенням фрагментів, створення дизайну шаблонів, економічні затрати на їх виготовлення. Разом з тим даний метод дозволяє забезпечити високу точність в позиціонуванні ВК, а тому може бути рекомендованим у випадках багатопламкових та неправильно консолидованих переломів, посттравматичних дефектів ВК.

Висновки. Використання 3D технологій (НХШ та ПСІ) при лікуванні посттравматичних деформацій ВК дозволяє забезпечити високу точність його репозиції. Середнє відхилення між реконструйованим ВК та віддзеркаленою неушкодженою стороною склало $1,4 \pm 0,3$ мм.

Даний підхід характеризується високим рівнем відтворюваності запланованого результату – середнє

відхилення між змодельованим положенням ВК в досліджуваній групі хворих та отриманим результатом хірургічного втручання в середньому склало $1,1 \pm 0,4$ мм.

Найбільшу складність при позиціонуванні вилицевого комплексу становило забезпечення правильного передньо-заднього положення ВК – середнє відхилення в положенні вилицевого виступу в даній площині становило $3,5 \pm 2,9$ мм.

Перспективи подальших досліджень. Подальше дослідження можливостей цифрових технологій при лікуванні дефектів та деформацій орбіти і вилицевого комплексу становлять значний науковий інтерес, зокрема в площині використання пацієнтспецифічних імплантатів та ефективності застосування автоматизованих систем для їх дизайну та виготовлення.

Література

1. Manson PN, Clark N, Robertson B, Slezak S, Wheatly M, Vander Kolk C, et al. Subunit principles in midface fractures: the importance of sagittal buttresses, soft-tissue reductions, and sequencing treatment of segmental fractures. *Plast Reconstr Surg.* 1999 Apr;103(4):1287-306.
2. Zingg M, Laedrach K, Chen J, Chowdhury K, Vuillemin T, Sutter F, Raveh J. Classification and treatment of zygomatic fractures: a review of 1,025 cases. *J Oral Maxillofac Surg.* 1992 Aug;50(8):778-90.
3. Klug C, Schicho K, Ploder O, Yorit K, Watzinger F, Ewers R, et al. Point-to-point computer-assisted navigation for precise transfer of planned zygoma osteotomies from the stereolithographic model into reality. *J Oral Maxillofac Surg.* 2006 Mar;64(3):550-9.
4. Day KM, Phillips PM, Sargent LA. Correction of a posttraumatic orbital deformity using three-dimensional modeling, virtual surgical planning with computer-assisted design, and three-dimensional printing of custom implants. *Craniomaxillofac Trauma Reconstr.* 2018 Mar;11(1):78-82.
5. Khaqani M, Tavosi F, Gholami M, Eftekharian H, Khojastepour L. Analysis of facial symmetry after zygomatic bone fracture management. *J Oral Maxillofac Surg.* 2018;76:595-604.
6. Moubayed S, Duong F, Ahmarani C, Rahal A. A Novel Technique for Malar Eminence Evaluation Using 3-Dimensional Computed Tomography. *Arch Facial Plast Surg.* 2012;14(6):403-7.
7. Malanchuk VO, Lohvynenko IP, Timoshchenko NM, Chepurnyy YuV. Kharakterystyka perelomiv vylytsevoho kompleksu za arkhivnyymi danyymi 2006-2010 rr. porivnyano z poperednimy rokamy. *Novyny stomatolohiyi.* 2012;4:46-51. [in Ukrainian].
8. Schramm A, Suarez-Cunqueiro M, Rucker M, Kokemueller H, Bormann K-H, Metzger MC, et al. Computer-assisted therapy in orbital and mid-facial reconstructions. *The International journal of medical robotics and computer assisted surgery.* Int J Med Robotics Comput Assist Surg. 2009;5:111-24.
9. He Y, Zhang Y, An J, Gong X, Feng Zh, Guo Ch. Zygomatic Surface Marker-Assisted Surgical Navigation: A New Computer-Assisted Navigation Method for Accurate Treatment of Delayed Zygomatic Fractures. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery.* 2013;71(12):2101-14.
10. Zhang X, Ye L, Li H, Wang Y, Dilxat D, Liu W, et al. Surgical navigation improves reduction accuracy of unilateral complicated zygomaticomaxillary complex fractures: a randomized controlled trial. *Sci Rep.* 2018 May 2;8(1):6890. DOI: 10.1038/s41598-018-25053-z
11. Schouman T, Murcier G, Goudot P. The key to accuracy of zygoma repositioning: Suitability of the Synplici Ti customized guide-plates. *J Craniomaxillofac Surg.* 2015 Dec;43(10):1942-7. DOI: 10.1016/j.jcms.2014.12.014
12. Schreurs R, Dubois L, Becking AG, Maal TJJ. The orbit first! A novel surgical treatment protocol for secondary orbitozygomatic reconstruction. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery.* 2017 July;45(7):1043-50. DOI: 10.1016/j.jcms.2017.03.026
13. Cho J, Kwon J, Li U. Occlusion-Fit Three-Dimensional-Printed Zygoma Repositioner. *J Craniofac Surg.* 2018 May;29(3):731-2. DOI: 10.1097/SCS.00000000000004315
14. Pau CY, Barrera JE, Kwon J, Most SP. Three-dimensional analysis of zygomatic-maxillary complex fracture patterns. *Craniomaxillofac Trauma Reconstr.* 2010 Sep;3(3):167-76. DOI: 10.1055/s-0030-1263082
15. Zimmerer RM, Ellis E, Aniceto GS, Schramm A, Wagner ME, Grant MP, et al. A prospective multicenter study to compare the precision of posttraumatic internal orbital reconstruction with standard preformed and individualized orbital implants. *J Craniomaxillofac Surg.* 2016 Sep;44(9):1485-97. DOI: 10.1016/j.jcms.2016.07.014

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНИХ 3D ТЕХНОЛОГІЙ В ЛІКУВАННІ ПОСТТРАВМАТИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ ВИЛИЦЕВОГО КОМПЛЕКСУ

Чепурний Ю. В., Черногорський Д. М., Жуковцева О. І., Копчак А. В.

Резюме. Відновлення естетики і функції обличчя при лікуванні посттравматичних деформацій лицевого черепа, є однією з актуальних задач щелепно-лицевої хірургії. Одним з нових перспективних напрямків в реконструктивній хірургії обличчя стало використання навігаційних хірургічних шаблонів, що допомагають в позиціонуванні вилицевого комплексу. Метою даної роботи було розробити клінічний протокол використання НХШ при лікуванні посттравматичних деформацій ВК та дослідити особливості їх клінічного використання.

В дослідження були включені 16 пацієнтів (11 чоловіків та 5 жінок), середній вік яких склав $37,3 \pm 14,7$ років (від 18 до 70 років). Усі хворі були обстежені перед проведенням та після хірургічного лікування, включаючи мультиспіральну комп'ютерну томографію. Віртуальне планування хірургічного втручання, а також моделювання навігаційних хірургічних шаблонів проводили у віртуальному середовищі, після чого вони виготовлялися методами 3D друку. Використання 3D технологій (НХШ та ПСІ) при лікуванні посттравматичних деформацій ВК дозволяє забезпечити високу точність його репозиції.

Після лікування середнє відхилення між реконструйованим ВК та віддзеркаленою неушкодженою стороною склало $1,4 \pm 0,3$ мм. При цьому даний підхід характеризується високим рівнем відтворюваності запланованого результату – середнє відхилення між змодельованим положенням ВК в досліджуваній групі хворих та

отриманим результатом хірургічного втручання в середньому склало $1,1 \pm 0,4$ мм. Найбільшу складність при позиціонуванні вилицевого комплексу становило забезпечення правильного передньо-заднього положення ВК – середнє відхилення в положенні вилицевого виступу в даній площині становило $3,5 \pm 2,9$ мм.

Ключові слова: деформації вилицевого комплексу, пацієнтспецифічні імплантати, навігаційна хірургія.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПЬЮТЕРНЫХ 3D ТЕХНОЛОГИЙ В ЛЕЧЕНИИ ПОСТТРАВМАТИЧЕСКИХ ДЕФОРМАЦИЙ СКУЛОВОГО КОМПЛЕКСА

Чепурный Ю. В., Черногорский Д. М., Жуковцева Е. И., Копчак А. В.

Резюме. Восстановление эстетики и функции лица при лечении посттравматических деформаций лицевого черепа, является одной из актуальных задач челюстно-лицевой хирургии. Одним из новых перспективных направлений в реконструктивной хирургии лица стало использование навигационных хирургических шаблонов, предназначенных для позиционирования скулового комплекса. Целью данной работы было разработать клинический протокол использования навигационных хирургических шаблонов при лечении посттравматических деформаций скулового комплекса и исследовать особенности их клинического использования.

В исследование были включены 16 пациентов (11 мужчин и 5 женщин), средний возраст которых составлял $37,3 \pm 14,7$ лет (от 18 до 70 лет). Все больные были обследованы перед проведением и после хирургического лечения, включая мультиспиральную компьютерную томографию. Виртуальное планирование хирургического вмешательства, а также моделирование навигационных хирургических шаблонов проводили в виртуальной среде, после чего они изготавливались методами 3D печати. Использование 3D технологий при лечении посттравматических деформаций скулового комплекса позволяло обеспечить высокую точность его репозиции.

После лечения среднее отклонение между реконструированным скуловым комплексом поврежденной и отзеркаленной уцелевшей стороны составило $1,4 \pm 0,3$ мм. При этом данный подход характеризуется высоким уровнем воспроизводимости запланированного результата – среднее отклонение между смоделированным положением скулового комплекса в исследуемой группе больных и полученным результатом хирургического вмешательства в среднем составило $1,1 \pm 0,4$ мм. Наибольшую сложность при позиционировании скулового комплекса представляло его правильное позиционирование в передне-заднем положении – среднее отклонение в положении скулового выступа в данной плоскости составляло $3,5 \pm 2,9$ мм.

Ключевые слова: деформации скулового комплекса, пациентспецифические имплантаты, навигационная хирургия.

EFFICACY OF THE 3D TECHNOLOGIES IN A TREATMENT OF THE POSTTRAUMATIC ZIGOMA DEFORMITIES

Chepurnyi Y., Chernogorskyi D., Zhukovtseva O., Kopchak A.

Abstract. Elimination of facial disfigurement, caused by the posttraumatic deformities of the zygomatic-maxillary complex is an actual problem of the maxilla-facial surgery. Zygoma plays a crucial role in a formation of the horizontal symmetry of the face, so its reconstruction should be the key point of the surgical treatment. Imbalance of this facial asymmetry may lead to deficit of the patient's medical-social adaptation. The treatment of the zygoma deformities consist of osteotomy performance with following reduction and fixation. In some cases, bone grafting procedures or reshaping with implant application is required. However, correct positioning of the zygoma can be challenging, due to remodelling of the bone fragments especially near the contact surfaces. This determinate the incorrect reduction of the zygoma during surgery.

Application of the 3D technologies in medicine have changed principals of the facial trauma management. Guided surgery became a new approach in a facial fracture treatment. The main goal of the guided surgery is determination of the bone fragment or implant position during surgery, based on presurgical virtual planning.

The aim of this study was to defined a protocol of the clinical application of the positional surgical guide for zygoma.

Object and methods. Sixteen patients were enrolled into this study (11 males and 5 females), with mean age $37,3 \pm 14,7$ years (18 to 70). All patients were evaluated according standard clinical protocol with CT examination before and after surgery. Virtual planning and computer assisted design of the positional surgical guides were performed into virtual software environment with following computer additive manufacturing by FDM or SLS printing.

During surgery just after osteotomy, guide was fixed to the undamaged facial bones by screws and further positioning of the zygoma according guide's internal surface were performed. Than zygoma was fixed by conventional plates or patient specific implants. Accuracy of the reduction were performed with application of the "point-to-point" registration method with determination of the maximum and mean deviation values comparing presurgical planning, mirrored opposite side and postsurgical outcome.

Results and conclusions. Application of the positional surgical guides in management of the zygoma deformities allow to provide precise zygoma reduction. Mean deviation between opposite side mirrored and reconstructed zygoma was $1,4 \pm 0,3$ mm. This approach is characterized by the high reproducibility of the planned result mean deviation between pre-planned result and surgical outcome was $1,1 \pm 0,4$ mm.

Key words: zygoma deformities, patient specific implants, guided surgery.

*Рецензент – проф. Аветиков Д. С.
Стаття надійшла 10.05.2020 року*