

УДК 572.71:616.714-073.75:004.9  
DOI 10.31654/2786-8478-2024-BN-1-2-124-139

**Шейко В. І.**

доктор біологічних наук, професор,  
професор кафедри біології  
Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя  
interliycin@ukr.net  
orcid.org/0000-0001-7932-4478

**Кучменко О. Б.**

доктор біологічних наук, професор,  
завідувач кафедри біології  
Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя  
kuchmeh@yahoo.com  
orcid.org/0000-0002-3021-8583

**Мхітарян Л. С.**

доктор медичних наук, професор,  
професор кафедри біології  
Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя  
laurasmkhitaryan@gmail.com  
orcid.org/0000-0002-2347-0107

**Гавій В. М.**

кандидат біологічних наук, доцент,  
доцент кафедри біології  
Ніжинський державний університет імені Миколи Гоголя  
gaviyv@gmail.com  
orcid.org/0000-0002-2804-0456

**ОГЛЯД ПОРІВНЯНЬ ЕФЕКТИВНОСТІ 2D ТА 3D ЦЕФАЛОГРАМ  
ДЛЯ ВИМІРЮВАННЯ ЧЕРЕПА ЛЮДИНИ**

*У статті наведено огляд наукових досліджень, присвячених порівнянню ефективності традиційної двовимірної (2D) та сучасної тривимірної (3D) цефалометрії для вимірювання черепа дорослої людини або як дорослих, так і дітей. Встановлено, що щодо порівняння 2d і 3d цефалометрії колективи авторів із різних країн підготували численні роботи. Загальним консенсусом є визнання переваг 3D методів візуалізації, зокрема конусно-променевої комп'ютерної томографії, в забезпеченні точнішої візуалізації та вимірювань черепно-лицьових структур порівняно з традиційними 2D цефалометричними знімками. Існують певні розбіжності між дослідженнями щодо того, які виміри демонструють значущі відмінності між 2D та 3D підходами. Потенційні джерела похибок для 2D вимірювань визначаються у формі викривлень проєкції, накладання структур, похибок масштабування та орієнтації черепа. Окремі дослідники вказували на труднощі чіткої ідентифікації деяких анатомічних точок на 2D знімках. Важливим визнається навчання і практикування спеціалістів, особливо при використанні 3D методів. Визнається необхідність у розробці нових уніфікованих цефалометричних аналізів, визначень орієнтирів і норм, адаптованих для 3D зображень. Розглядаються шляхи коригування систематичних викривлень 2D зображень за даними 3D КПКТ для максимального використання 2D цефалометричних норм. Також тривають дослідження методології, розробка спеціалізованих 3D цефалометричних програмних пакетів і алгоритмів, які враховують особливості 3D візуалізації. Важливим аспектом є оцінка клінічних показань для застосування 3D методів візуалізації з урахуванням вищої дози опромінення пацієнта порівняно з*

*2D рентгенографією. Багато авторів рекомендують використовувати КПКТ для складних випадків, а не для рутинних обстежень. Підкреслюється важливість розвитку синтезу 2D цефалограм із 3D КПКТ-даних, що дає змогу використовувати переваги 3D візуалізації без додаткового опромінення пацієнта. Загалом, окреслена проблематика перебуває на стадії активного вивчення з постійним пошуком шляхів оптимізації 3D методів для цефалометрії та чіткішого окреслення сфер їх клінічного застосування з урахуванням радіаційної безпеки пацієнтів.*

*Ключові слова: краніометрія, череп, морфологія, фізична антропологія, конусно-променева комп'ютерна томографія (КПКТ), двовимірна цефалометрія, тривимірна цефалометрія.*

**Вступ.** Ч. Ф. Хільдеболт, М. В. Ванньєр, Р. Г. Кнапп у спільній статті 1990 р. вказали, що традиційні методи вимірювання черепа за допомогою лінійок, штангенциркулів та інших інструментів значно обмежені. Такі вимірювання потребують багато часу і дають доступ лише до зовнішніх поверхонь черепа. Втім, автори відзначили, що комп'ютерна томографія (КТ) дає змогу подолати ці недоліки, забезпечуючи візуалізацію внутрішніх структур черепа з високим контрастом м'яких тканин. Програмне забезпечення, розроблене для 3D реконструкції зображень КТ, дало змогу видаляти структури, що перекриваються, та візуалізувати кістки й м'які тканини з будь-якого бажаного ракурсу. В дослідженні Ч. Ф. Хільдеболт, М. В. Ванньєр і Р. Г. Кнапп порівняли результати вимірювання на основі оригінальних зрізів КТ, 3D реконструкцій КТ й вимірювання штангенциркулем (котрі вважаються «золотим стандартом» у цефалометрії). Загалом не було виявлено статистично значущої різниці між методами, але спостерігалися значні відхилення між вимірами штангенциркуля та КТ-вимірами. Вимірювання на 3D реконструкціях КТ були точніші, ніж на зрізах КТ, й формували докладнішу картину. Проте в роботі Ч. Ф. Хільдеболта, М. В. Ванньєра і Р. Г. Кнаппа зазначено, що для оптимальної точності потрібно дослідити вплив різних параметрів візуалізації. Потенціал 3D КТ було визначено як високий для вдосконалення вимірювань черепа. Підкреслено, що, якщо можна створити високоякісні кількісні 3D зображення КТ і визначити параметри, відповідальні за кількісні характеристики цих зображень, це стане важливим інструментом для кращого розуміння норми й аномалій черепнолицьової морфології. Втім, дослідники застерегли, що на час написання статті її слід використовувати обережно в дослідженнях, де неприпустимі похибки понад 5 мм [13].

Дослідження, де розглядається ефективність цефалометрії на основі конусно-променевої комп'ютерної томографії (КПКТ) порівняно зі звичайними 2D рентгенцефалограмами, включив до огляду літератури з використання КПКТ для 3D цефалометричної діагностики зубощелепних аномалій на основі доказової медицини Є. Є. Виженко [1], охопивши 5 років, котрі передували публікації статті.

**Мета дослідження:** охарактеризувати стан порівняння ефективності 2D та 3D цефалограм (до використання штучного інтелекту) для вимірювання черепів дорослих людей або як дорослих, так і дітей, об'єднаних у спільні вибірки, в наукових публікаціях, порівняння лише на прикладі вимірювання черепів дітей потребує окремого огляду.

**Виклад основного матеріалу.** Г. Л. Адамс, С. А. Ганські, А. Дж. Міллер, В. Е. Гаррелл, Д. К. Хетчер у науковій праці 2004 р. порівняли точність традиційного 2D цефалометричного методу порівняно з новим 3D підходом (система «Sculptor»), заснованим на рентгенівських знімках під різними кутами, а також із фізичними вимірами сухих людських черепів за допомогою штангенциркуля (золотий стандарт). На основі золотого стандарту фізичних вимірювань сухих черепів, було встановлено, що цефалометрична оцінка рентгенівських зображень, зроблених у звичайній 2D

системі, часто дає неточні та мінливі вимірювання через проєкційні викривлення та ефекти збільшення зображень порівняно з реальними анатомічними відстанями. Перевагами 3D підходу Sculptor визначено вищу точність (занижену лише приблизно на 1,0 мм) і меншу мінливість вимірів порівняно з золотим стандартом фізичних вимірювань завдяки інтеграції зображень з різних кутів у 3D модель. Цефалометричні виміри з 3D Sculptor визнано набагато ціннішими для оцінки росту й ефектів ортодонтчного лікування. Також у доробку Г. Л. Адамс, С. А. Ганські, А. Дж. Міллер, В. Е. Гаррелл, Д. К. Хетчер містяться дані про вплив орієнтації черепа, розташування анатомічних орієнтирів та площини вимірювання на точність вимірювань у 2D та 3D методах і підкреслено важливість калібрувальної рамки та калібрування для того, щоб забезпечити точність 3D системи Sculptor. Перспективами ефективної оцінки черепнолицьових вимірювань порівняно з традиційними 2D методами дослідники визнали точніші 3D вимірювання [2]. Поява дослідження, яке вказувало на вищу точність 3D цефалометрії (КПКТ) порівняно з традиційними 2D методами, завдяки уникненню проєкційних викривлень указує на ранній етап визнання потенціалу 3D технологій цефалометрії.

В. Бхолстіні, Ч. Сінтанайотін, К. Чінтаканон, Р. Комолпіс, В. Таранон порівняли 3D та 2D цефалометричні вимірювання черепно-лицьової ділянки у тайських пацієнтів. У дослідженні використовувалася КПКТ для отримання тривимірних зображень та вимірювань. Для перевірки точності й надійності вимірювань 38 анатомічних точок у 3D використовували повторні тести. Лінійні та кутові вимірювання у 3D і 2D порівнювали для визначення їх взаємозамінності. Більшість лінійних вимірювань не мали значущої різниці між 3D та 2D, натомість лише деякі кутові вимірювання у 2D можна було замінити на відповідні 3D вимірювання. Відмінності між 3D та 2D вимірюваннями пояснюються проєкційністю 2D зображень, на відміну від істинних тривимірних вимірювань. Деякі анатомічні точки, такі як поріон та кондиліон, було важко точно визначити через обмежене поле огляду СВСТ. Автори запланували застосувати результати 3D цефалометричного аналізу в клінічній практиці та подальших дослідженнях антропології тайців [4].

Того самого року Р. Р. Чунг провів порівняння точності кутових вимірювань на традиційних 2D бічних цефалограмах та синтезованих 2D цефалограмах, отриманих з 3D КПКТ зображень. Було встановлено високу відтворюваність ( $ICC > 0,8$ ) кутових вимірювань для обох методів зображення, без значущої різниці між ними. Натомість не було виявлено значущої різниці в кутових вимірюваннях між традиційними та синтезованими з КПКТ цефалограмами для тих самих пацієнтів. Результати підтверджують зростаючі докази високої точності КПКТ для цефалометричного аналізу, порівнянної з традиційною цефалометрією. Використання синтезованих з КПКТ 2D цефалограм є практичним підходом для порівняння діагностичних можливостей КПКТ з традиційною цефалометрією під час перехідного періоду до повноцінного 3D аналізу. Перевагами КПКТ є кращий візуальний контраст, можливість багатопланового перегляду та менша доза опромінення порівняно з повним внутрішньоротовим рентгенологічним обстеженням. Обмеженнями дослідження є використання певного фільтру для реконструкції 2D цефалограм з 3D даних та можлива похибка при визначенні окремих цефалометричних орієнтирів. Визначено, що для оцінки діагностичної цінності КПКТ в клінічних умовах, включаючи аналіз панорамних зображень та планування лікування, необхідні подальші дослідження. Загалом відзначено порівнянну точність кутових вимірювань на синтезованих з КПКТ 2D цефалограмах і традиційних, що вказує на доцільність застосування КПКТ в ортодонтчній діагностиці та плануванні лікування [9].

На прикладі робіт, котрі підготували В. Бхолстіні, Ч. Сінтанайотін, К. Чінтаканон, Р. Комолпіс, В. Таранон, а також Р. Р. Чунг, можна простежити ранню стадію дискусії про баланс між діагностичною цінністю 3D методів та їхніми ризиками.

В. Бхолстіні, Ч. Сінтанайотін, К. Чінтаканон, Р. Комолпіс, В. Таранон також порівняли точність 3D цефалометричних вимірювань з КПКТ зі стандартними 2D

цефалометричними вимірюваннями на рентгенограмах. У дослідженні оцінювалися лінійні виміри (31 бічний, 3 фронтальних, 8 перпендикулярних) та кутові виміри (49 бічних, 9 фронтальних) на основі 38 черепнолицьових реперних точок. Вибірка складалася з 20 чоловіків і 20 жінок тайської національності. Особлива увага приділялася повторюваності визначення реперних точок. Для багатьох лінійних вимірів від серединної лінії до серединної лінії та бічних до бічних структур не було виявлено значущої різниці між 3D та 2D вимірами у чоловіків. У жінок деякі лінійні виміри, такі як OrL-OrR, Gn-CondL та Gn-CondR, показали значущі відмінності між 3D та 2D. Кутові виміри в серединній площині (SNA, SNB) не відрізнялися між 3D та 2D у чоловіків, а в жінок додатково не відрізнялися ANB, A до FHL/FHR і деякі кути різців. Міжрізцеві кути (U1L-L1L, U1R-L1R) показали відмінності за статтю у 2D вимірюванні. 3D лінійні виміри зазвичай показували більші відмінності між чоловіками та жінками, ніж відповідні 2D виміри. Визначення деяких реперних точок було ускладнене через обмежене поле зору КПКТ для великих черепів. Дослідники дійшли висновків, що стандартні аналізи Serp3D слід удосконалювати з урахуванням більшої кількості типів вимірів і збільшення кількості даних [5].

Дж. В. Людлов, М. Гублер, Л. Цевіданес, А. Молд опублікували статтю, в якій порівняли точність ідентифікації цефалометричних орієнтирів на зображеннях мультипланарної реконструкції (МПР) за допомогою КПКТ та звичайних 2D цефалограм. Дослідження було проведено на 20 пацієнтах з ортодонтим лікуванням перед операцією. П'ять спостерігачів позначили 24 орієнтири, використовуючи комп'ютерні зображення МПР КПКТ та звичайні цефалографічні знімки. Мінливість ідентифікації орієнтирів оцінювалася за допомогою абсолютних відмінностей між позначками спостерігачів і середніми значеннями, а також між кожним спостерігачем та іншими спостерігачами. Підкреслено, що тривимірне зображення КПКТ може забезпечити точнішу локалізацію цефалометричних орієнтирів порівняно з традиційними 2D цефалограмами, адже ідентифікація орієнтирів з використанням МПР переглядів була статистично менш мінливою порівняно з традиційними цефалограмами для 13 з 24 орієнтирів. Білатеральні орієнтири, такі як condyilion, gonion та orbitale, були значно менш мінливі на МПР переглядах, завдяки уникненню накладання структур. З іншого боку, зазначено, що деякі орієнтири були мінливіші в медіалатеральному напрямку в МПР переглядах, що вказує на необхідність переглянути визначення орієнтирів для 3D візуалізації. Також автори наголосили, що при використанні КПКТ необхідно враховувати ризики, пов'язані з вищою радіаційною дозою [18].

О. Й. К. ван Влеймен, С. Й. Берже, Г. Р. Й. Свеннен, Е. М. Бронкхорст, К. Кацарос і А. М. Кейперс-Ягтман оцінили, чи зіставні вимірювання на традиційних цефалометричних рентгенограмах з вимірюваннями на цефалометричних зображеннях, отриманих з КПКТ-сканів людських черепів. Було досліджено 40 сухих черепів за допомогою I-Cat Vision для створення цефалограм з КПКТ-сканів. Один оператор ідентифікував 15 орієнтирів на обох типах зображень 5 разів з інтервалом 1 тиждень. Було встановлено високу надійність для всіх вимірювань. Хоча повторюваність вимірювань на КПКТ-цефалограмах була кращою, ніж на традиційних, клінічно значущої різниці між вимірюваннями на традиційних і КПКТ-цефалограмах не було виявлено. КПКТ-цефалограми підходять для довгострокових досліджень, де важлива висока повторюваність вимірювань [24]. Отже, додалося розуміння, що не всі цефалометричні параметри однаково потерпають від 2D викривлень.

О. Й. К. ван Влеймен, Т. Маал, С. Й. Берже, Е. М. Бронкхорст, К. Кацарос, А. М. Кейперс-Ягтман порівняли конвенційну 2D цефалометрію з 3D цефалометрією на основі КПКТ. Дослідники відзначили, що використання 2D рентгенівських знімків було стандартним інструментом для аналізу деформацій щелепно-лицьової ділянки та ортодонтичних проблем. З появою КПКТ 3D цефалометрія стала популярнішою, бо забезпечує реалістичне 3D зображення черепа й додаткові діагностичні

можливості. В статті було встановлено, що вимірювання на 3D моделях мають більшу похибку порівняно з конвенційними 2D рентгенограмами через додавання третього виміру та кривої навчання для 3D трасування. Було виявлено статистично значущі відмінності між кутовими та лінійними вимірюваннями на 2D рентгенограмах і 3D моделях, особливо для кутових вимірювань, де лінії в 2D замінюються на площини в 3D. На думку дослідників, інтерпретація відмінностей між 2D і 3D підходами потребує оцінки точності обох методів – 2D проекції 3D структури та безпосереднього 3D вимірювання. Потрібно розробити й валідувати нові 3D цефалометричні аналізи та референтні значення, бо деякі орієнтири з конвенційного 2D аналізу неможливо застосувати в 3D. 3D трасування не придатне для тривалих досліджень, якщо є лише попередні 2D записи. Отже, було зроблено висновок, що, незважаючи на переваги 3D цефалометрії, конвенційні 2D методи залишаються важливими і широко використовуються в клінічній практиці [25].

Р. Налджаджи, Ф. Йозтюрк і О. Сьюкюджю, порівнявши 3D цефалометричний аналіз на основі КПКТ з традиційними 2D цефалометричними методами, відзначили, що 3D цефалометрія дає змогу точніше визначити розміщення анатомічних орієнтирів і уникати викривлень, притаманних 2D рентгенівським знімкам. У роботі порівнювалися 58 кутових і 40 лінійних вимірювань на 3D моделях черепів з відповідними 2D бічними та фронтальними цефалограмами 40 тайських пацієнтів. Для більшості лінійних вимірювань від медіанних до медіанних структур та бокових до бокових структур не було значущої різниці між 3D та 2D вимірюваннями. Втім, для деяких лінійних вимірювань, особливо від медіанних до бокових структур, спостерігалися значущі відмінності між 3D та 2D методами. Кутові вимірювання демонстрували більші відмінності між 3D та 2D методами, ніж лінійні вимірювання. Дослідники відзначили також деякі статеві відмінності у можливості замінити 2D на 3D вимірювання, особливо для лінійних розмірів. Як недоліки 3D цефалометрії відзначено високу вартість та більше радіаційне навантаження порівняно зі звичайними рентгенограмами, через що автори запропонували застосовувати 3D цефалометрію переважно для складних випадків щелепнолицьових деформацій завдяки її перевагам. Вони очікують, що з покращенням технологій і зниженням радіаційного навантаження 3D цефалометрія може замінити традиційні 2D знімки повністю [19].

Тож, починаючи з 2010 р., переваги 3D КПКТ (точність, менше опромінення, нижча вартість) уже були чітко визнані. Однак також визнавалися технічні складності, зокрема у визначенні 3D орієнтирів і необхідність адаптації методів до нової технології.

Б. Ф. Грібель, М. Н. Грібель, Д. Ч. Фражао, Дж. А. МакНамара, Ф. Р. Манзі порівняли методи вимірювання черепа за допомогою КПКТ порівняно з традиційними 2D цефалометричними методами. Для дослідження використовувалися сухі черепа з прикріпленими фідуціальними маркерами для точного визначення анатомічних орієнтирів. Було продемонстровано високу відтворюваність прямих краніометричних вимірювань, виконаних за допомогою штангенциркуля, КПКТ-вимірювань і традиційних 2D цефалометричних вимірювань. Автори не виявили статистично значущої різниці між прямими вимірюваннями та КПКТ-вимірюваннями, тоді як 2D цефалометричні вимірювання суттєво відрізнялися через викривлення та збільшення проєкційних зображень. Було визначено, що КПКТ дає змогу виконувати точні 3D краніометричні вимірювання на об'ємних зображеннях черепа за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Також дослідники знайшли певний шаблон викривлень у 2D цефалометричних вимірюваннях: середньосагітальні відстані були збільшеними, довжина нижньої щелепи залишалася відносно незмінною, а середня частина обличчя була зменшеною. Тому автори підкреслили, що можна розробити математичні алгоритми для виправлення цих викривлень і отримання 3D нормативних значень із наявних 2D цефалометричних норм, без необхідності піддавати пацієнтів додатковій радіації. При цьому було відзначено, що краніометричні вимірювання КПКТ, обчислені за допомогою спеціального «3D цефалометричного

модуля», надзвичайно точні й можуть використовуватися для черепнолицьового аналізу. Латеральні цефалограми натомість мають внутрішні обмеження, які призводять до викривлених зображень [11].

О. Йітчаки, М. Редліч, Й. Абед, М. Фаєрман, Н. Касап та Н. Хіллер порівняли 2D цефалометричні вимірювання з 3D, отриманими за допомогою комп'ютерної томографії (КТ), щоб визначити придатність КТ для типових ортодонтичних цефалометричних аналізів. Було відзначено, що більшість лінійних і коефіцієнтних вимірювань не мали статистично значущої різниці між 2D та 3D зображеннями, за винятком кутових вимірювань, пов'язаних із точкою турецького сідла. Оскільки 3D КТ зображення забезпечують кращу візуалізацію анатомічних орієнтирів і можливість вимірювати в будь-якій площині, вони були визнані потенційно точнішими й інформативнішими за 2D цефалограми. Окрім того, дослідники підкреслили, що менше опромінення пацієнта під час КПКТ порівняно з мультизрізовою КТ робить першу кращим вибором для стоматологічних цілей. Також відзначили, що потрібний новий, простий і спеціалізований метод 3D вимірювань за допомогою КТ для підвищення діагностичної цінності цієї техніки в ортодонції та подальші дослідження на більших вибірках і з меншою дозою опромінення для оцінки клінічного застосування 3D вимірювань черепа [27].

З.-Ч. Чанг, Ф.-Ч. Ху, Е. Лай, Ч.-Ч. Яо, М.-Г. Чен, Й.-Дж. Чен порівняли точність і надійність вимірювань на цифрових латеральних цефалограмах (2D) та цефалограмах, отриманих з КПКТ-сканів (3D). Було встановлено, що помилки ідентифікації анатомічних орієнтирів на КПКТ-цефалограмах порівнянні з цифровими цефалограмами. Це підтверджує, що КПКТ є надійною альтернативою. КПКТ половини черепа (half-skull) показали високу точність і надійність, порівнянну з цифровими цефалограмами. Це усуває проблему накладання структур. Повні КПКТ-зображення (total-skull) показали більшу варіативність, особливо для кутових вимірювань, що включають точку Ar (ArGoMe, SArGo, SNAr). Вимірювання в середній сагітальній площині були точнішими на КПКТ, ніж на цифрових цефалограмах, що важливо для оцінки зубної асиметрії. Точки Or (orbitale) і Ba (basion) виявилися надійніші на КПКТ. Загалом було підсумовано, що під час вимірювань за допомогою знімків цифрова цефалометрія стає золотим стандартом, тоді як КПКТ може бути кращою для вимірювань у сагітальній площині та у випадку структур із накладанням [7].

Г. С. Лідке, Е. Л. Деламаре, М. Б. Віцотто, Г. Д. Л. да Сільвейра, Дж. Р. Прітш, В. Дутра, Г. Е. Д. да Сільвейра оцінили відтворюваність та діагностичну ефективність синтезованих цефалогам з КПКТ половини черепа порівняно з традиційними цефалограмами й цефалограмами всього черепа з КПКТ. Дослідження не виявило статистично значущої різниці у відтворюваності між традиційними цефалограмами, цефалограмами всього черепа з КПКТ та цефалограмами половини черепа з КПКТ. Аналіз Бланда-Альтмана показав високу узгодженість вимірювань між традиційними цефалограмами й синтезованими цефалограмами з КПКТ (всього черепа та половини). Не було виявлено відмінностей у діагностичній ефективності між традиційними цефалограмами, цефалограмами всього черепа з КПКТ й половини з КПКТ у клінічно симетричних пацієнтів. Зрештою, автори рекомендували для більшості випадків проводити цефалометричну діагностику за звичайними 2D цефалограмами через менше опромінення. Коли потрібна додаткова інформація, цефалометричний аналіз може бути виконаний на синтезованих цефалограмах з КПКТ, щоб уникнути повторного опромінення [17].

К. Шоу, Г. Макінтайр, П. Моссей, А. Менхінік і Д. Томсон окреслили такі джерела похибок при цефалометрії як вивчення та інтерпретації зубощелепної морфології за допомогою стандартизованих рентгенограм: отримання рентгенограми, ідентифікація анатомічних орієнтирів та вимірювання. КПКТ, яка дає змогу аналізувати зубощелепний комплекс у 3D, визнали такою, котра може подолати багато обмежень 2D цефалометрії. У дослідженні порівнювалися виміри з 2D цефалометрії, отримані з

даних КПКТ, з вимірами 3D цефалометричного аналізу КПКТ. Було встановлено, що, хоча 2D та 3D цефалометричні виміри статистично не відрізнялися, середні значення кута SNB та кута між нижнім різцем і нижньою щелепою були клінічно значущо менші для 2D вимірів. Відмінності між 2D та 3D вимірами автори пов'язали з більшою мінливістю деяких орієнтирів у медіа-латеральному напрямку через некоректне визначення орієнтирів у третьому вимірі. Зрештою, автори підтримали рекомендацію не проводити сканування методом КПКТ лише для отримання 2D цефалометричних зображень у випадках без значної асиметрії обличчя [22]. Визнання переваг 3D КПКТ у подоланні обмежень 2D методів водночас із рекомендацією обережно застосовувати перші через вищу дозу опромінення свідчить про розуміння балансу між діагностичною цінністю та ризиками.

М.-Г. Чен, Дж. З.-Ц. Чанг, С.-Г. Кок, І.-Дж. Чен, І.-Д. Гуанг, К.-І. Ченг, Ц.-С. Лін визначили, що перевагами КПКТ є нижча доза опромінення, нижча вартість та вища роздільна здатність порівняно з традиційною комп'ютерною томографією. Дослідження показало високу відтворюваність кутових вимірювань на синтезованих з КПКТ 2D цефалограмах та традиційних цефалограмах. Не було виявлено значущої різниці в кутових вимірюваннях між традиційними й синтезованими з КПКТ цефалограмами для тих самих пацієнтів. При цьому КПКТ дає змогу уникнути проблем, пов'язаних з традиційною цефалометрією, таких як викривлені зображення та різне збільшення структур. Синтезовані з КПКТ 2D цефалограми можуть замінити традиційні цефалограми для ортодонтичної діагностики та планування лікування. КПКТ забезпечує 3D інформацію про морфологію черепа, але визначати 3D орієнтири складно [8].

А. Шокрі, С. Хадже, А. Хавід оцінили точність лінійних вимірювань на основі цифрових латеральних цефалограм і латеральних цефалограм, отриманих з КПКТ-сканів. Автори провели прямі вимірювання на 6 сухих людських черепах (золотий стандарт), вимірювання тих самих відстаней на цифрових латеральних і КПКТ зображеннях. При порівнянні похибок вимірювань цифрових латеральних і КПКТ зображень з прямими вимірюваннями виявилось, що КПКТ надає точніші лінійні вимірювання, ближчі до реальних, ніж латеральні цефалограми, дає хірургам змогу краще візуалізувати анатомію та положення зубів, допомагає ортодонтам планувати напрямки тяги. Загалом виявлено, що 3D-вимірювання КПКТ точніші за 2D для лінійних вимірювань черепа, що важливо для щелепнолицьової хірургії та ортодонтії, коли точна ідентифікація анатомічних орієнтирів критична [23].

П. Піттатаяпат, М. М. Борнштейн, Т. С. Н. Імада, В. Куке, І. Ламбріхтс та Р. Якобс порівняли точність і надійність лінійних цефалометричних вимірювань, зроблених за допомогою трьох різних методів візуалізації: 2D цефалограми з відстанню джерело – середньо-сагітальна площина (SMD) 1,5 м; 2D цефалограми з SMD 3 м, 3D зображення з КПКТ. Було встановлено, що точність вимірювань на 3D моделях була вищою, ніж на 2D цефалограмах з SMD 3 м, але статистично не відрізнялася від 2D цефалограм з SMD 1,5 м. Надійність вимірювань була вища для 3D вимірювань, ніж для обох типів 2D вимірювань. Вимірювання, що включають латеральні орієнтири (наприклад, Go-Me), показали найбільші відхилення від золотого стандарту на 2D цефалограмах через геометричні викривлення. Орієнтир «точка А» був найменш надійним для ідентифікації в усіх методах, що вплинуло на точність вимірювань. Автори підкреслюють, що використання КПКТ для 3D цефалометричного аналізу має бути обґрунтованим, враховуючи вищу дозу опромінення порівняно з 2D методами [20]. Отже, згадувані дослідження 2014 і 2015 рр. засвідчують розвиток методів, які дають змогу отримувати високоякісні дані з меншим опроміненням пацієнта.

Колектив науковців Х. В. Р. Уерта, Х. Г. О. Соса й А. Ф. Ледесма порівняли лінійні цефалометричні вимірювання, отримані за допомогою 2D бічних рентгенограм та 3D КПКТ. Основними ідеями дослідження стали такі: цефалометрія важлива для діагностики й аналізу аномалій прикусу в ортодонтії, проте традиційні 2D рентгенограми мають обмеження, такі як викривлення та збільшення зображень, натомість

КПКТ дає можливість візуалізувати черепні структури в 3D, що сприяє точнішому визначенню цефалометричних точок у трьох площинах для персоналізованого аналізу. Більшість лінійних вимірів не показали статистично значущих відмінностей між 2D та 3D зображеннями, а отже, й суттєво вищої ефективності 3D. Значущу різницю автори відзначили тільки в довжині нижньої щелепи, що пов'язано з точнішою ідентифікацією її форми на 3D зображеннях. Підкреслено, що, хоча 3D візуалізація забезпечує точніші вимірювання деяких структур, її використання має бути обмежене конкретними показаннями (такими, як затримані зуби, асиметрія обличчя, черепно-лицьові аномалії або необхідність визначити морфологію скронево-нижньощелепного суглоба) через вищу дозу опромінення порівняно з 2D рентгенографією [14].

А. Харіхаран, Н. Р. Р. Дівакар, К. Джаянтхі, Х. М. Хема, С. Діпукрішна, С. Р. Гхасте підкреслили, що цифрова латеральна цефалометрія (2D) залишається золотим стандартом для цефалометричних вимірювань за знімками в ортодонції. КПКТ (3D) є компетентною альтернативою, особливо – синтезовані зображення половини черепа (half-skull), які показали високу надійність і точність порівняно з цифровими латеральними цефалограмами. Вимірювання по сагітальній площині (N-ANS, ANS-Me, S-N) були точнішими на КПКТ, ніж на цифрових цефалограмах, що важливо для оцінки зубної асиметрії. Повні зображення черепа КПКТ (total-skull) показали більшу варіативність у вимірюваннях, особливо для кутових вимірювань, що включають точку Ar. Цифрові цефалограми показали вищу варіативність для лінійних вимірювань, що включають нижньощелепну й сагітальну площини. Виявлено, що досвід спостерігачів впливає на надійність вимірювань, особливо при використанні повних зображень КПКТ. Загалом, усі три модальності (цифрова цефалометрія, КПКТ половини черепа й цілого черепа) показали високу міжспостерігачьку надійність. Тож необхідні подальші дослідження для визначення ефективності повних зображень КПКТ і встановлення золотого стандарту для цефалометричних вимірювань [12]. Отже, в статті, яку опублікували А. Харіхаран, Н. Р. Р. Дівакар, К. Джаянтхі, Х. М. Хема, С. Діпукрішна, С. Р. Гхасте, було засвідчено складність стандартизації 3D вимірювань.

Дж. Вен, С. Лю, Кс. Є, Дж. Лі, Г. Лі і Л. Мей порівняли 2D латеральні цефалометричні рентгенограми, 2D цефалограми, згенеровані з КПКТ, і 3D зображення КПКТ, залучивши 60 учасників і зробивши 11 кутових і 11 лінійних вимірювань для всіх типів зображень. Виявилось, що існують значні відмінності між 2D цефалограмами (LCR та згенерованими з КПКТ) і 3D КПКТ для двох кутових і п'яти лінійних вимірювань. Значення цих вимірювань, як правило, були більші (приблизно на 5° для кутових і 10 мм для лінійних) на 3D зображеннях КПКТ, ніж на 2D цефалограмах. Між двома видами 2D цефалограм не було виявлено значної різниці. Для вертикальних цефалометричних аналізів дослідники не встановили значної різниці між усіма трьома методами візуалізації. Загалом було визнано, що для багатьох клінічних випадків 2D цефалограми можуть бути достатніми, особливо якщо доступні 3D дані з КПКТ [26]. Тож було підтверджено, що підхід до вибору методу цефалометрії має залежати від конкретних вимірювань, клінічної ситуації та доступності різних типів даних.

А. Дебельма, С. Кетофф, С. Лансіо, П. Корре, М. Фріс і Р. Г. Гонсарі відзначили, що КТ все частіше використовується для аналізу пацієнтів замість рентгенівських знімків, поширених раніше для цефалометричного аналізу. Дослідники спиралися на метод Делера для аналізу латеральних цефалограм при використанні стандартних рентгенівських знімків та реконструйованих зображень із КТ-сканів. Реконструкція латеральних цефалограм з КТ-даних, за висновками авторів, не змінює результати вимірювань кутів і не зменшує відтворюваності аналізу. Автори виявили високу внутрішньо- та міжспостерігачеву відтворюваність для всіх вимірювань як на стандартних латеральних цефалограмах, так і на реконструйованих 2D зображеннях з КТ контрольних пацієнтів, з коефіцієнтами внутрішньокласової кореляції понад 0,75. Натомість зазначили, що на сухих черепах без шийного відділу хребта неможливо визначити певні ключові анатомічні орієнтири для аналізу Делера. Реконструкція



латеральних цефалограм з даних КТ може допомогти в уникненні додаткового опромінення пацієнтів, якщо в них уже є КТ-скан голови та шиї [10].

Дж. С. Лі, С. Р. Кім, Х. С. Хванг та К. Ц. Лі визначили, що віртуальні 3D цефалограми можна точно реконструювати з 2D латеральних і фронтальних цефалограм, використовуючи принцип біпланарної радіографії, якщо голова пацієнта зафіксована в однаковому положенні під час зйомки. Порівняння висоти, ширини, глибини та косих вимірювань не показало статистично значущої різниці між 3D цефалограмами, отриманими з 2D знімків, та зображеннями КПКТ. Графіки Бланда-Альтмана теж показали високу узгодженість між 3D цефалограмами з 2D знімків та зображеннями КПКТ для всіх вимірів. Точність була найвища для вимірювань висоти. Використання фіксатора голови під час зйомки 2D цефалограм було визнано ключовим для отримання точних 3D зображень черепа методом біпланарної радіографії. Дослідники зробили висновок, що віртуальні 3D цефалограми можуть замінити КПКТ для діагностики, що дає змогу уникнути потенційної шкоди від іонізаційного випромінювання КПКТ [15].

Отже, зі зростанням ролі КТ в діагностиці, зросла й увага до пошуків не тільки найбільш надійного, а й найбільш безпечного для здоров'я пацієнтів методу отримання даних.

Ц. Лі, Г. Тейшейра, Н. Танна, З. Чженг, Ш. Чен, М. Цзоу, Ч. Г. Чунг відзначили, що на надійність 2D цефалометричного трасування значно впливає наявність подвійних зображень через вбудоване збільшення й викривлення на традиційних латеральних рентгенограмах черепа. Видалення збільшення й викривлення з 2D зображень, здобутих із КПКТ, істотно покращило як між-, так і внутрішню дослідницьку надійність порівняно з традиційними 2D знімками. 3D цефалометричне трасування, однак, мало найнижчу міждослідницьку надійність серед трьох методів, особливо при ідентифікації певних орієнтирів на 3D реконструйованих зображеннях, бо ці орієнтири формуються накладанням черепнолицьових структур із різних сагітальних шарів на 2D зображеннях. Визначено, що в той час як 2D цефалометричні норми було встановлено з використанням традиційних латеральних рентгенограм, 2D трасування латеральних зображень без збільшення не може безпосередньо замінити традиційний цефалометричний аналіз. Лінійні параметри мали вищу надійність при 2D трасуванні, ніж кутові. Цефалометричний аналіз зображень дітей мав нижчу надійність, ніж у дорослих при всіх трьох видах аналізу. Загалом дослідження показало, що 2D трасування латеральних зображень без збільшення мало найвищу надійність. Однак автори підкреслили, що для прямого порівняння з нормами цефалометрії необхідні подальші дослідження [16]. Поява статті засвідчила потребу в стандартизації 3D вимірювань через алгоритми корекції.

Ю. Цянь, Х. Цяо, С. Ван, Ц. Джан, Юань Лі, В. Джен і Ю Лі порівняли цефалометричні параметри, отримані за допомогою КПКТ і традиційних 2D цефалограм, щоб визначити, чи може КПКТ замінити звичайні рентгенівські знімки й виявили, що зображення, отримані за допомогою КПКТ, мають подібну точність до конвенційних цефалометричних вимірювань, при цьому спостерігаються статистично значущі відмінності в певних цефалометричних параметрах, таких як  $Ar(Co)-Gn$ ,  $Me-Go$  та  $U1-L1$ , між КПКТ і 2D цефалограмами. КПКТ було рекомендовано як додатковий інструмент для покращення діагностики та планування лікування, хоча він пов'язаний з вищою дозою опромінення порівняно з 2D цефалограмами, адже КПКТ забезпечує 3D інформацію про морфологію, симетрію та співвідношення черепнолицьових структур, дає можливість детально оглядати корені зубів та резорбції, що підвищує точність діагностики, є цінним інструментом для віртуального планування лікування [28].

Б. Бальдіні, Д. Каваньєтто, Дж. Базеллі, Ч. Сфорца й Дж. М. Тарталья порівняли лінійні та кутові вимірювання черепа, отримані з 2D реконструйованих цефалограм та 3D зображень КПКТ, щоб визначити, які вимірювання найбільше схильні до викривлень. Обмеженнями 2D цефалометричного аналізу було визначено проєкційні

викривлення та похибки обертання при переданні 3D об'єкта на двовимірному зображенні, тоді як КПКТ дає змогу отримувати точні 3D зображення черепа та проводити 3D цефалометричний аналіз, уникаючи проєкційних викривлень. Вимірювання, що належать до середньої сагітальної площини (МСП), показали високу узгодженість між 2D та 3D значеннями з мінімальним зміщенням. Вимірювання, що не належать до МСП, особливо ті, що включають орієнтири, віддалені від МСП, як-от гоніон, зазнавали більших викривлень і розбіжностей між 2D та 3D вимірюваннями. Загалом автори відзначили, що обидві методики показали високу відтворюваність і надійність і можуть бути використані для ортодонтичної діагностики. 3D КПКТ може бути кращим варіантом для вимірювань, що виходять за межі МСП, адже вона уникає викривлень, при цьому долає їх за допомогою спеціальних формул перетворення 3D значень на 2D. Визначено, що необхідні подальші дослідження для розробки алгоритмів корекції викривлень, які дадуть змогу використовувати КПКТ для отримання як 2D, так і 3D вимірювань без додаткового опромінення пацієнтів [3]. Тож дослідники почали докладніше розглядати специфічні переваги 3D для певних типів вимірювань.

Г. Радж, М. Радж, Л. Сайго в систематичному огляді перевірили й узагальнили дані порівняння КПКТ синтезованих латеральних цефалограм та звичайних цефалограм для оцінки точності цефалометричного аналізу людей-учасників та моделей черепа. Більшість цефалометричних параметрів не показали статистично значущої різниці між 2D та 3D вимірюваннями. Проте параметри Co-Gn, Ar-Go, Go-Me та ANS-ME показали значущі відмінності між 2D та 3D методами. Виявилось складно ідентифікувати певні анатомічні орієнтири, особливо гоніон (Go) та ментон (Me), використовуючи комп'ютеризовані методи трасування. 3D згенеровані цефалограми можуть аналізувати реальні анатомічні структури, на відміну від 2D проєкцій. Підкреслено, що є потреба в розробці нових 3D цефалометричних систем і анатомічних орієнтирів, придатних для використання з 3D зображеннями черепа [12]. Систематичний огляд 2024 р. додатково підтверджує, що більшість параметрів не мають значущої різниці між 2D та 3D, але деякі ключові параметри відрізняються.

**Висновки.** Порівнянню 2d і 3d цефалометрії колективи авторів із різних країн присвятили численні роботи. Загальним консенсусом є визнання переваг 3D методів візуалізації, зокрема конусно-променевої комп'ютерної томографії, в забезпеченні точнішої візуалізації та вимірювань черепно-лицьових структур порівняно з традиційними 2D цефалометричними знімками. Проте існують певні розбіжності між дослідженнями щодо того, які саме виміри демонструють значущі відмінності між 2D та 3D підходами.

Більшість авторів відзначають найбільші відмінності для кутових параметрів і вимірювань, що не належать до середньої сагітальної площини, як-от відстані до бічних орієнтирів на зразок гоніона. Водночас деякі дослідження не виявляють суттєвих розбіжностей для лінійних вимірів від серединних до серединних та від бічних до бічних структур. Однак потенційні джерела похибок для 2D вимірювань визначаються у формі викривлень проєкції, накладання структур, похибок масштабування та орієнтації черепа. Окремі дослідники вказували на труднощі чіткої ідентифікації деяких анатомічних точок, особливо на нижній щелепі, на 2D знімках. Важливим визнається навчання і практикування спеціалістів, адже це впливає на точність і повторюваність вимірювань, особливо при використанні 3D методів.

Визнається необхідність у розробці нових уніфікованих цефалометричних аналізів, визначень орієнтирів і норм, адаптованих для 3D зображень. Розглядаються шляхи коригування систематичних викривлень 2D зображень за даними 3D КПКТ для максимального використання 2D цефалометричних норм. Також тривають дослідження методології, розробка спеціалізованих 3D цефалометричних програмних пакетів і алгоритмів, які враховують особливості 3D візуалізації та можуть підвищити точність і стандартизацію вимірювань.

Важливим аспектом є оцінка клінічних показань для застосування 3D методів візуалізації з урахуванням вищої дози опромінення пацієнта порівняно з 2D рентгенографією. Багато авторів рекомендують використовувати КПКТ для діагностики складних випадків черепнолицьових деформацій, планування хірургічних втручань, аналізу асиметрії тощо, проте не для рутинних обстежень. Підкреслюється важливість розвитку синтезу 2D цефалограм із 3D КПКТ-даних, що дає змогу використовувати переваги 3D візуалізації без додаткового опромінення пацієнта.

Загалом, окреслена проблематика перебуває на стадії активного вивчення з постійним пошуком шляхів оптимізації 3D методів для цефалометрії та чіткішого окреслення сфер їх клінічного застосування з урахуванням радіаційної безпеки пацієнтів. Перспективним напрямком є подальший розвиток підходів до корекції викривлень 2D даних за 3D моделями для забезпечення можливості точних безпечних вимірювань різними методами залежно від клінічної ситуації.

### Література

1. Виженко Є. Є. Цефалометричний аналіз на основі конусно-променевої комп'ютерної томографії (огляд літератури) // Український стоматологічний альманах. 2023. № 4. С. 60–65.
2. Adams G. L., Gansky S. A., Miller A. J., Harrell W. E., Hatcher D. C. Comparison between Traditional 2-Dimensional Cephalometry and a 3-Dimensional Approach on Human Dry Skulls // *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2004. P. 398–409. DOI: 10.1016/j.ajodo.2004.03.023.
3. Baldini B., Cavagnetto D., Baselli G., Sforza Ch., Tartaglia G. M. Cephalometric Measurements Performed on CBCT and Reconstructed Lateral Cephalograms: a Cross-Sectional Study Providing a Quantitative Approach of Differences and Bias // *BMC Oral Health*. 2022. Vol. 22. P. 98. DOI: 10.1186/s12903-022-02131-3.
4. Bholsithi W., Sinthanayothin Ch., Chintakanon K., Komolpis R., Tharanon W. Comparison between 3D and 2D Cephalometric Analyses // 4th Kuala Lumpur International Conference on Biomedical Engineering. Kuala Lumpur, 2008. P. 540–543. DOI:10.1007/978-3-540-69139-6\_135
5. Bholsithi W., Tharanon W., Chintakanon K., Komolpis R., Sinthanayothin C. 3D vs. 2D Cephalometric Analysis Comparisons with Repeated Measurements from 20 Thai Males and 20 Thai Females // *Biomedical Imaging and Intervention Journal*. 2009. № 5 (4). Doc. e21. DOI: 10.2349/bij.5.4.e21
6. Calle-Morocho J., Morales-Vadillo R., Guevara-Canales J., Alva-Cuneo C. A Comparative Study of Digital Lateral Radiography and Virtual Cone-Beam Computed Assisted Cephalogram in Cephalometric Measurements // *Journal of Oral Research*. 2018. № 7. P. 308–317. DOI: 10.17126/joralres.2018.076.
7. Chang Z.-Ch., Hu F.-Ch., Lai E., Yao Ch.-Ch., Chen M.-H., Chen Y.-J. Landmark Identification Errors on Cone-Beam Computed Tomography-Derived Cephalograms and Conventional Digital Cephalograms // *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*. 2011. Vol. 140. Issue 6. P. e289 – e297. DOI: 10.1016/j.ajodo.2011.06.024.
8. Chen M.-H., Chang J. Z.-C., Kok S.-H., Chen Y.-J., Huang Y.-D., Cheng K.-Y., Lin C.-S. Intraobserver Reliability of Landmark Identification in Cone-Beam Computed Tomography-Synthesized Two-Dimensional Cephalograms Versus Conventional Cephalometric Radiography: A Preliminary Study // *Journal of Dental Sciences*. 2014. № 9. P. 56–62. DOI:10.1016/j.jds.2013.02.012.
9. Chung R. R. A Comparative Analysis of Angular Cephalometric Values between CBCT Generated Lateral Cephalographs versus Digitized Conventional Lateral Cephalographs. A thesis submitted to the Faculty of Graduate Studies and Research in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Medical Sciences – Orthodontics Edmonton, Alberta, 2008. 116 p.
10. Debelmas A., Ketoff S., Lanciaux S., Corre P., Friess M., Khonsari R. H. Reproducibility Assessment of Delaire Cephalometric Analysis using Reconstructions from

Computed Tomography // Journal of Stomatology and Oral Maxillofacial Surgery. 2020. № 121 (1). P. 35–39. DOI: 10.1016/j.jormas.2019.04.008.

11. Gribel B. F., Gribel M. N., Frazão D. C., McNamara J. A., Manzie F. R. Accuracy and Reliability of Craniometric Measurements on Lateral Cephalometry and 3D Measurements on CBCT Scans // Angle Orthodonty. 2011. № 81 (1). P. 26–35. DOI: 10.2319/032210-166.1.

12. Hariharan A., Diwakar N. R. R., Jayanthi K., Hema H. M., Deepukrishna S., Ghaste S. R. The Reliability of Cephalometric Measurements in Oral and Maxillofacial Imaging: Cone Beam Computed Tomography Versus Two-Dimensional Digital Cephalograms // Indian Journal of Dental Research. 2016. № 27. P. 370–377. DOI: 10.4103/0970-9290.191884.

13. Hildebolt Ch. F., Vannier M. W., Knapp R. H. Validation Study of Skull Three-Dimensional Computerized Tomography Measurements // American Journal of Physical Anthropology. 1990. № 82 (3). P. 283–294. DOI: 10.1002/ajpa.1330820307.

14. Huerta J. V. R., Sosa J. G. O., Ledesma A. F. Comparative Study Between Cone-Beam and Digital Lateral Head Film Cephalometric Measurements // Revista Mexicana de Ortodoncia. 2015. Vol. 3. № 2. P. 84–87. DOI: 10.1016/j.rmo.2016.03.023.

15. Lee J. S., Kim S. R., Hwang H. S., Lee K. C. Accuracy of Virtual-Dimensional Cephalometric Images Constructed with 2-Dimensional Cephalograms using the Biplanar Radiography Principle // Imaging Science in Dentistry. 2021. № 51 (4). P. 407–412. DOI: 10.5624/isd.20210091

16. Li C., Teixeira H., Tanna N., Zheng Z., Chen Sh., Zou M., Chung C. H. The Reliability of Two- and Three-Dimensional Cephalometric Measurements: A CBCT Study // Diagnostics. 2021. № 11 (12). Art. 2292. 20 p. DOI: 10.3390/diagnostics11122292.

17. Liedke G. S., Delamare E. L., Vizzotto M. B., da Silveira H. D. L., Prietsch J. R., Dutra V., da Silveira H. E. D. Comparative Study between Conventional and Cone Beam CT-Synthesized Half and Total Skull Cephalograms // Dentomaxillofacial Radiology. 2012. № 41 (2). P. 136–142. DOI: 10.1259/dmfr/22287302

18. Ludlow J. B., Gubler M., Cevidanes L., Mold A. Precision of Cephalometric Landmark Identification: Cone-beam Computed Tomography vs Conventional Cephalometric Views // American Journal of Orthodonty and Dentofacial Orthopedy. 2009. № 13. P. 312.e1 – 313. DOI: 10.1016/j.ajodo.2008.12.018.

19. Nalçacı R., Öztürk F., Sökücü O. A Comparison of Two-Dimensional Radiography and Three-Dimensional Computed Tomography in Angular Cephalometric Measurements // Dentomaxillofacial Radiology. 2010. № 39. P. 100–106. DOI: 10.1259/dmfr/82724776.

20. Pittayapat P., Bornstein M. M., Imada T. S. N., Coucke W., Lambrichts I., Jacobs R. Accuracy of Linear Measurements Using Three Imaging Modalities: Two Lateral Cephalograms and One 3D Model from CBCT Data 2014 // The European Journal of Orthodontics. 2015. № 37 (2). P. 202–208. DOI: 10.1093/ejo/cju036

21. Raj G., Raj M., Saigo L. Accuracy of Conventional Versus Cone-Beam CT-Synthesized Lateral Cephalograms for Cephalometric Analysis: A Systematic Review // Journal of Orthodonty. 2024. № 51 (2). P. 160–176. DOI: 10.1177/14653125231178038.

22. Shaw K., McIntyre G., Mossey P., Menhinick A., Thomson D. Validation of Conventional 2D Lateral Cephalometry Using 3d Cone Beam CT // Journal of Orthodontics. Vol. 40. 2013. P. 22–28. DOI: 10.1179/1465313312Y.0000000009.

23. Shokri A., Khajeh S., Khavid A. Evaluation of the Accuracy of Linear Measurements on Lateral Cephalograms Obtained from Cone-Beam Computed Tomography Scans with Digital Lateral Cephalometric Radiography: An in Vitro Study // The Journal of Craniofacial Surgery. 2014. № 25. P. 1710–1713. DOI: 10.1097/SCS.0000000000000908.

24. Vlijmen, van O. J. C., Maal T., Berge S. J., Bronkhorst E. M., Katsaros C., Kuijpers-Jagtman A. M. A Comparison between 2D and 3D Cephalometry on CBCT Scans of Human Skulls // International Journal of Oral & Maxillofacial Surgery. 2010. № 39. P. 156–160. DOI: 10.1016/j.ijom.2009.11.017.

25. Vlijmen, van O. J. C., Bergé S. J., Swennen G. R. J., Bronkhorst E. M., Katsaros C., Kuijpers-Jagtman A. M. Comparison of Cephalometric Radiographs Obtained from Cone-Beam Computed Tomography Scans and Conventional Radiographs // Journal of Oral and Maxillofacial Surgery. 2009. № 67. P. 92–97. DOI: 10.1016/j.joms.2008.04.025.

26. Wen J., Liu S., Ye X., Xie X., Li J., Li H., Mei L. Comparative Study of Cephalometric Measurements Using 3 Imaging Modalities // *The Journal of the American Dental Association*. 2017. № 148 (12). P. 913–921. DOI: 10.1016/j.adaj.2017.07.030.
27. Yitschaky O., Redlich M., Abed Y., Faerman M., Casap N., Hiller N. Comparison of Common Hard Tissue Cephalometric Measurements between Computed Tomography 3D Reconstruction and Conventional 2D Cephalometric Images // *Angle Orthodontist*. Vol. 81. № 1. 2011. P. 11–16. DOI: 10.2319/031710-157.1.
28. Qian Y., Qiao H., Wang X., Zhan Q., Li Y., Zheng W., Li Y. Comparison of the Accuracy of 2D and 3D Cephalometry: a Systematic Review and Meta-Analysis // *Australasian Orthodontic Journal*. 2022. Vol. 38. Issue 1. P. 130–144. DOI: 10.2478/aoj-2022-0015.

### References

1. Vyzhenko, Ye.Ye. (2023). Tsefalometrychnyy analiz na osnovi konusno-promenevoi kompiuternoї tomografii (ohliad literatury) [Cephalometric Analysis Based on Cone-Beam Computer Tomography (Literature Review)]. *Ukrainskyi stomatolohichnyi almanakh – Ukrainian Stomatological Almanach*, 4, 60–65. [in Ukrainian].
2. Adams, G.L. & Gansky, S.A. & Miller, A.J., Harrell, W.E., Hatcher, D.C. (2004). Comparison between Traditional 2-Dimensional Cephalometry and a 3-Dimensional Approach on Human Dry Skulls. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 398–409. DOI: 10.1016/j.ajodo.2004.03.023.
3. Baldini, B. & Cavagnetto, D. & Baselli, G. & Sforza, Ch. & Tartaglia, G.M. (2022). Cephalometric Measurements Performed on CBCT and Reconstructed Lateral Cephalograms: a Cross-Sectional Study Providing a Quantitative Approach of Differences and Bias. *BMC Oral Health*, 22, 98. DOI: 10.1186/s12903-022-02131-3.
4. Bholisithi, W. & Sinthanayothin, Ch. & Chintakanon, K. & Komolpis, R. & Tharanon, W. (2008). Comparison between 3D and 2D Cephalometric Analyses. *4th Kuala Lumpur International Conference on Biomedical Engineering*. Kuala Lumpur, p.540–543. DOI:10.1007/978-3-540-69139-6\_135.
5. Bholisithi, W. & Tharanon, W. & Chintakanon, K. & Komolpis, R. & Sinthanayothin, C. (2009). 3D vs. 2D Cephalometric Analysis Comparisons with Repeated Measurements from 20 Thai Males and 20 Thai Females. *Biomedical Imaging and Intervention Journal*, 5 (4), e21. DOI: 10.2349/bij.5.4.e21.
6. Calle-Morocho, J. & Morales-Vadillo, R. & Guevara-Canales, J. & Alva-Cuneo, C. (2018). A Comparative Study of Digital Lateral Radiography and Virtual Cone-Beam Computed Assisted Cephalogram in Cephalometric Measurements. *Journal of Oral Research*, 7, 308–317. DOI: 10.17126/joralres.2018.076.
7. Chang, Z.-Ch. & Hu, F.-Ch. & Lai, E. & Yao, Ch.-Ch. & Chen, M.-H. & Chen, Y.-J. (2011). Landmark Identification Errors on Cone-Beam Computed Tomography-Derived Cephalograms and Conventional Digital Cephalograms. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 140 (6), e289 – e297. DOI: 10.1016/j.ajodo.2011.06.024.
8. Chen, M.-H. & Chang, J. Z.-C. & Kok, S.-H. & Chen, Y.-J. & Huang, Y.-D. & Cheng, K.-Y. & Lin, C.-S. (2014). Intraobserver Reliability of Landmark Identification in Cone-Beam Computed Tomography-Synthesized Two-Dimensional Cephalograms Versus Conventional Cephalometric Radiography: A Preliminary Study. *Journal of Dental Sciences*, 9, 56–62. DOI:10.1016/j.jds.2013.02.012.
9. Chung, R.R. (2008). *A Comparative Analysis of Angular Cephalometric Values between CBCT Generated Lateral Cephalographs versus Digitized Conventional Lateral Cephalographs*. A thesis submitted to the Faculty of Graduate Studies and Research in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in Medical Sciences – Orthodontics Edmonton, Alberta, 116 p.
10. Debelmas, A. & Ketoff, S. & Lanciaux, S. & Corre, P. & Friess, M. & Khonsari, R.H. (2020). Reproducibility Assessment of Delaire Cephalometric Analysis using Reconstructions from Computed Tomography. *Journal of Stomatology and Oral Maxillofacial Surgery*, 121(1), 35–39. DOI: 10.1016/j.jormas.2019.04.008.

11. Gribel, B.F. & Gribel, M.N. & Frazão, D.C. & McNamara, J.A. & Manzie, F.R. (2011). Accuracy and Reliability of Craniometric Measurements on Lateral Cephalometry and 3D Measurements on CBCT Scans. *Angle Orthodonty*, 81 (1), 26–35. DOI: 10.2319/032210-166.1.
12. Hariharan, A. & Diwakar, N.R.R. & Jayanthi, K. & Hema, H.M. & Deepukrishna, S. & Ghaste, S.R. (2016). The Reliability of Cephalometric Measurements in Oral and Maxillofacial Imaging: Cone Beam Computed Tomography Versus Two-Dimensional Digital Cephalograms. *Indian Journal of Dental Research*, 27, 370–377. DOI: 10.4103/0970-9290.191884
13. Hildebolt, Ch.F. & Vannier, M.W. & Knapp, R.H. (1990). Validation Study of Skull Three-Dimensional Computerized Tomography Measurements. *American Journal of Physical Anthropology*, 82(3), 283–294. DOI: 10.1002/ajpa.1330820307.
14. Huerta, J.V.R. & Sosa, J.G.O. & Ledesma, A.F. (2015). Comparative Study Between Cone-Beam and Digital Lateral Head Film Cephalometric Measurements. *Revista Mexicana de Ortodoncia*, 3 (2), 84–87. DOI: 10.1016/j.rmo.2016.03.023
15. Lee, J.S. & Kim, S.R. & Hwang, H.S. & Lee, K.C. (2021). Accuracy of Virtual-Dimensional Cephalometric Images Constructed with 2-Dimensional Cephalograms using the Biplanar Radiography Principle. *Imaging Science in Dentistry*, 51 (4), 407–412. DOI:10.5624/isd.20210091.
16. Li, C. & Teixeira, H. & Tanna, N. & Zheng, Z. & Chen, Sh. & Zou, M. & Chung, C.H. (2021). The Reliability of Two- and Three-Dimensional Cephalometric Measurements: A CBCT Study. *Diagnostics*, 11 (12), 2292. DOI: 10.3390/diagnostics11122292.
17. Liedke, G.S., Delamare, E.L., Vizzotto, M.B., da Silveira, H.D.L., Prietsch, J.R., Dutra, V., da Silveira, H.E.D. (2012). Comparative Study between Conventional and Cone Beam CT-Synthesized Half and Total Skull Cephalograms. *Dentomaxillofacial Radiology*, 41 (2), 136–142. DOI: 10.1259/dmfr/22287302.
18. Ludlow, J. B. & Gubler, M. & Cevidanes, L. & Mold, A. (2009). Precision of Cephalometric Landmark Identification: Cone-beam Computed Tomography vs Conventional Cephalometric Views. *American Journal of Orthodonty and Dentofacial Orthopedy*, 13, 312.e1 – 313. DOI: 10.1016/j.ajodo.2008.12.018.
19. Nalçacı, R. & Öztürk, F. & Söükücü, O. (2010). A Comparison of Two-Dimensional Radiography and Three-Dimensional Computed Tomography in Angular Cephalometric Measurements. *Dentomaxillofacial Radiology*, 39, 100–106. DOI: 10.1259/dmfr/82724776.
20. Pittayapat, P. & Bornstein, M.M. & Imada, T.S.N. & Coucke, W. & Lambrichts, I. & Jacobs, R. (2015). Accuracy of Linear Measurements Using Three Imaging Modalities: Two Lateral Cephalograms and One 3D Model from CBCT Data 2014. *The European Journal of Orthodontics*, 37 (2), 202–208. DOI: 10.1093/ejo/cju036.
21. Raj, G. & Raj, M. & Saigo, L. (2024). Accuracy of Conventional Versus Cone-Beam CT-Synthesized Lateral Cephalograms for Cephalometric Analysis: A Systematic Review. *Journal of Orthodonty*, 51 (2), 160–176. DOI: 10.1177/14653125231178038.
22. Shaw, K. & McIntyre, G. & Mossey, P. & Menhinick, A. & Thomson, D. (2013). Validation of Conventional 2D Lateral Cephalometry Using 3d Cone Beam CT. *Journal of Orthodontics*, 40, 22–28. DOI: 10.1179/1465313312Y.0000000009.
23. Shokri, A. & Khajeh, S. & Khavid, A. (2014). Evaluation of the Accuracy of Linear Measurements on Lateral Cephalograms Obtained from Cone-Beam Computed Tomography Scans with Digital Lateral Cephalometric Radiography: An in Vitro Study. *The Journal of Craniofacial Surgery*, 25, 1710–1713. DOI: 10.1097/SCS.0000000000000908.
24. Vlijmen, van O.J.C. & Maal, T. & Berge, S.J. & Bronkhorst, E.M. & Katsaros, C. & Kuijpers-Jagtman, A.M. (2010). A Comparison between 2D and 3D Cephalometry on CBCT Scans of Human Skulls. *International Journal of Oral & Maxillofacial Surgery*, 39, 156–160. DOI: 10.1016/j.ijom.2009.11.017.
25. Vlijmen, van O.J.C. & Bergé, S.J. & Swennen, G.R.J. & Bronkhorst, E.M. & Katsaros, C. & Kuijpers-Jagtman, A.M. (2009). Comparison of Cephalometric Radiographs Obtained from Cone-Beam Computed Tomography Scans and Conventional Radiographs. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 67, 92–97. DOI: 10.1016/j.joms.2008.04.025.
26. Wen, J. & Liu, S. & Ye, X. & Xie, X. & Li, J. & Li, H. & Mei, L. (2017). Comparative Study of Cephalometric Measurements Using 3 Imaging Modalities. *The Journal of the American Dental Association*, 148 (12), 913–921. DOI: 10.1016/j.adaj.2017.07.030.

27. Yitschaky, O. & Redlich, M. & Abed, Y. & Faerman, M. & Casap, N. & Hiller, N. (2011). Comparison of Common Hard Tissue Cephalometric Measurements between Computed Tomography 3D Reconstruction and Conventional 2D Cephalometric Images. *Angle Orthodontist*, 81 (1), 11–16. DOI: 10.2319/031710-157.1.

28. Qian, Y. & Qiao, H. & Wang, X. & Zhan, Q. & Li, Y. & Zheng, W. & Li, Y. (2022). Comparison of the Accuracy of 2D and 3D Cephalometry: a Systematic Review and Meta-Analysis. *Australasian Orthodontic Journal*, 38 (1), 130–144. DOI: 10.2478/aoj-2022-0015.

---

### **Sheiko V.**

doctor of biological sciences, professor,  
Professor of the Department of Biology  
Mykola Gogol Nizhyn State University  
interlycin@ukr.net  
orcid.org/0000-0001-7932-4478

### **Kuchmenko O.**

doctor of biological sciences, professor,  
Head of the Department of Biology,  
Mykola Gogol Nizhyn State University  
kuchmeh@yahoo.com  
orcid.org/0000-0002-3021-8583

### **Mkhitaryan L.**

doctor of medical sciences, professor,  
Professor of the Department of Biology  
Mykola Gogol Nizhyn State University  
laurasmkhitaryan@gmail.com  
orcid.org/0000-0002-2347-0107

### **Havii V.**

candidate of biological sciences, associate professor,  
Associate Professor of the Department of Biology  
Mykola Gogol Nizhyn State University  
gaviyv@gmai.com  
orcid.org/0000-0002-2804-0456

## **REVIEW OF COMPARISONS OF 2D AND 3D CEPHALOGRAMS EFFECTIVENESS FOR HUMAN SKULL MEASUREMENTS**

*The article provides an overview of scientific research comparing the effectiveness of traditional two-dimensional (2D) and modern three-dimensional (3D) cephalometry for measuring the skull of adults or both adults and children. It has been established that numerous works have been prepared by research teams from various countries regarding the comparison of 2D and 3D cephalometry. There is a general consensus recognizing the advantages of 3D imaging methods, particularly cone-beam computed tomography, in providing more accurate visualization and measurements of craniofacial structures compared to traditional 2D cephalometric images. There are certain discrepancies between studies regarding which measurements demonstrate significant differences between 2D and 3D approaches. Potential sources of errors for 2D measurements are identified in the form of projection distortions, structure superimposition, scaling errors, and skull orientation. Some researchers have pointed out difficulties in clearly identifying certain anatomical points on 2D images. Training and practice of specialists are recognized as important, especially when using 3D methods. The need for developing new unified cephalometric analyses, landmark definitions, and norms adapted for 3D images is acknowledged. Ways to correct systematic distortions of 2D images using 3D CBCT data for maximum utilization of 2D cephalometric norms are being considered.*

*Research on methodology, development of specialized 3D cephalometric software packages and algorithms that consider the peculiarities of 3D visualization is also ongoing. An important aspect is the evaluation of clinical indications for the use of 3D imaging methods, considering the higher radiation dose to the patient compared to 2D radiography. Many authors recommend using CBCT for complex cases, not for routine examinations. The importance of developing the synthesis of 2D cephalograms from 3D CBCT data is emphasized, which allows using the advantages of 3D visualization without additional patient exposure. Overall, the outlined issues are at the stage of active study with a constant search for ways to optimize 3D methods for cephalometry and clearer delineation of their clinical application areas, taking into account patient radiation safety.*

*Key words:* craniometry, skull, morphology, cone-beam computed tomography (CBCT), two-dimensional cephalometry, three-dimensional cephalometry.

**Стаття до редакції надійшла 05.06.2024 року**  
**Рецензія на статтю надійшла 21.06.2024 року**