

ОРТОДОНТІЯ

УДК 616.314/.716-071-072

Виженко Є.Є.

ЦЕФАЛОМЕТРИЧНИЙ АНАЛІЗ НА ОСНОВІ КОНУСНО-ПРОМЕНЕВОЇ КОМП'ЮТЕРНОЇ ТОМОГРАФІЇ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

Полтавський державний медичний університет, Полтава, Україна

Дане дослідження є фрагментом НДР «Особливості реабілітації ортодонтичних пацієнтів різного віку» № 0122U201229.

Проведення цефалометричного аналізу (ЦА) є невід'ємною складовою в діагностиці зубоцеліпних аномалій (ЗЩА) [1, 2].

Як відомо, людина не є абсолютно симетричною істотою. Для ЦА використовуються як односторонні серединно-сагітальні точки, так і білатеральні [3]. При проведенні ЦА на двовимірних – Two-Dimensional (2D) зображеннях, площини, які використовуються, представлені у вигляді ліній, а лінія – це пряма, яка проходить через дві точки. З точки зору геометрії, тільки одну площину можна провести через три точки. Неточності при ідентифікації таких орієнтирів і приводять до похибок при вимірах [4].

Завдяки прогресу у комп'ютерному програмному забезпеченні та медичних технологіях став можливим тривимірний –Three-Dimensional (3D) аналіз на базі конусно-променевої комп'ютерної томографії (КПКТ) для щелепно-лицевої цефалометрії [5, 6]. Цей метод значно покращив та розширив ширину та глибину застосування 3D-зображення черепно-лицевих структур у клінічній практиці [7, 8].

Виявлення 3D-орієнтирів на КПКТ має вирішальне значення для оцінки та кількісного визначення анатомічних аномалій у 3D ЦА.

Але й тут є свої "підводні камені". Як правильно вибрати орієнтири для побудови площини? Наприклад, Swennen et al. (2006) при використанні різних точок з правої та лівої сторони, а також їх усереднення на 3D зображеннях наводять 7 різних варіантів побудови франкфурської площини (FH) [9].

На теперішній час є багато робіт по використанню КПКТ для діагностики і планування лікування ЗЩА при ретенції зубів [10, 11], вроджених вадах обличчя [12], для діагностики захворювань скроневопіднижньощелепних суглобів та

прикусу [13, 14], кісткових структур [15, 16] та інших ортодонтичних проблем.

Але на сьогодні не існує єдиної методики або алгоритму використання КПКТ для проведення цефалометрії або вони займають багато часу та мають похибки в локалізації орієнтирів, що призводить до ненадійних результатів діагностики.

Мета дослідження: провести аналіз та систематизацію сучасної наукової літератури по використанню КПКТ для 3D цефалометричної діагностики ЗЩА на основі доказової медицини.

Матеріали і методи

Для виконання поставленої мети нами проведено детальний пошук статей в електронній базі даних PubMed за період з 2017 року по 1 вересня 2023 року за ключовими словами: cephalometric analysis and cone-beam computed tomography (цефалометричний аналіз і конусно-променева комп'ютерна томографія), в яких описано методики та статистично доведена ефективність проведення цефалометрії на КПКТ. За результатами пошуку отримано 159 праць. Назви та анотації кожної статті реферувалися за допомогою програмного забезпечення Zotero.

Критерії включення

У вибраних публікаціях повинна бути присутня методика проведення ЦА на основі КПКТ та описана ефективність діагностичної точності, діагностичного мислення, або будь-якої комбінації.

Оглядові статті, звіти про випадки досліджень in vitro, дослідження на тваринах, клінічні випадки, ЦА тільки на 2D зображеннях і дослідження з розміром вибірки менше 10 були виключені. Після цього були відібрані та оцінені повні тексти вибраних публікацій, які були проаналізовані та систематизовані за напрямками.

Результати дослідження

За результатами аналізу обрано 30 наукових праць. Систематизація статей проводилась за наступними напрямками:

1. Надійність 3D орієнтирів дентоальвеолярних і скелетних структур на КПКТ.
2. Ефективність ЦА на основі КПКТ в порівнянні зі звичайними 2D рентген цефалограмами.
3. Порівняння ЦА на основі КПКТ та проведення за допомогою інших додаткових методів дослідження.

Надійність 3D орієнтирів денто-альвеолярних і скелетних структур на КПКТ

Park et al., мета: кількісна оцінка надійності 3D скелетних орієнтирів на КПКТ і визначення форми граничної помилки. Висновок: є відмінності в розмірах і формі розподілів помилок різних орієнтирів. Більшість орієнтирів показували подовжені контури. Двосторонні структури, як правило, демонструють більші помилки, ніж структури середньої лінії. Більшість зубних орієнтирів були більш надійними, ніж скелетні орієнтири [17].

Liberton et al., мета: перевірка точності визначення 61 3D анатомічного орієнтиру на КПКТ. Запропонована методика заснована на визначенні орієнтира методом точки зустрічі двох ліній на кожній площині. Висновок: середній коефіцієнт кореляції для всіх орієнтирів був високим (0,869) із стандартним відхиленням менше 1 мм [18].

Gupta et al., мета: оцінити вплив орієнтації зображень КПКТ на точність і надійність 3D ідентифікації цефалометричних орієнтирів. Висновок: орієнтація КПКТ зображення не підвищує точність побудови орієнтирів, якщо кожен орієнтир визначено належним чином на багатоплощинних зрізах реконструкції та візуалізованих зображеннях, а клініцист має достатню підготовку. На узгодженість ідентифікації орієнтирів впливає їх анатомічне розташування на середній лінії, двосторонніх і вигнутих структурах [19].

Huang et al. у своїй роботі запропонували метод сигмоподібного перетворення інтенсивності зображення, який використовує нелінійні оптичні властивості рентгенівських плівок для збільшення контрастності зображення синтезованих 2D цефалограм із КПКТ. Запропонований авторами метод автоматичного визначення орієнтирів забезпечує 86,7% успішного виявлення в клінічно прийнятному діапазоні 2 мм за даними ISBI, що можна порівняти з сучасними методами [20].

Codari et al. запропонували комп'ютеризований підхід визначення орієнтирів, який оцінює 3D положення 21 обраного орієнтира. Методи: процедура передбачає адаптивну кластерну сегментацію кісткової тканини з наступною реєстрацією анованого еталонного об'єму на основі інтенсивності при проведенні КПКТ. Висновок: метод демонструє високий рівень точності без істотної різниці між автоматичною та вручну визначеними пороговими значеннями. Зага-

льне медіанне значення помилки локалізації дорівнювало 1,99 мм з інтерквартильним діапазоном 1,22-2,89 мм [21].

Montúfar et al. представили гібридний алгоритм для автоматичної ідентифікації цефалометричних орієнтирів на СВСТ. Алгоритм базується на 2D цілісному пошуку з використанням активних моделей форми в корональній і сагітальній проекціях, що супроводжуються тривимірним алгоритмом пошуку на основі штучного інтелекту. Середня похибка в локалізації орієнтирів становила $2,51 \pm 1,60$ мм. Висновки: запропонований гібридний алгоритм показує, що швидкий початковий 2D пошук орієнтирів може бути корисним для більш точної 3D-анотації та може заощадити обчислювальний час порівняно з повним аналізом [22].

В іншому дослідженні Montúfar et al. згідно запропонованої техніки автоматичної локалізації цефалометричних орієнтирів на 3D встановили, що середня похибка локалізації орієнтирів становила 3,64 мм з найвищими похибками локалізації в ділянці Po (поріон) та S (турецького сідла) через низьку чіткість зображення [23].

Lu et al. запропонували точний і ефективний метод локалізації краніо-щелепно-лицевих (CMF) орієнтирів на КПКТ на основі нейронні мережі (convolutional neural networks) з регресією теплових карт. Висновок: CMF-Net метод дозволяє з високою точністю та значною надійністю визначати 3D орієнтири на КПКТ [24].

Chen et al. (2022) запропонували новий двох етапний алгоритм - Structure-Aware Long Short-Term Memory framework (SA-LSTM) для ефективного та точного виявлення 3D орієнтирів. Дослідження показує, що метод виявлення орієнтирів на КПКТ перевершує найсучасніші методи, досягаючи середньої похибки 1,64 мм і 2,37 мм відповідно. Крім того, метод є дуже ефективним, займаючи лише 0,5 секунди для визначення всього обсягу СВСТ з роздільною здатністю $768 \times 768 \times 576$ [25].

Kochhar et al., мета: порівняння точності ідентифікації орієнтирів та їх відтворюваності за допомогою 3D-цефалограм, отриманих за допомогою КПКТ, і цифрових бічних цефалограм у пацієнтів з односторонньою ущелиною губи та піднебіння. Висновок: у пацієнтів із ущелиною губи та піднебіння ідентифікація цефалометричних орієнтирів між спостерігачами була значно точнішою та відтворюваною за допомогою цефалограм, отриманих за допомогою КПКТ [26].

Lang et al., мета: застосування Mask Region-based Convolutional Neural Network Mask R-CNN (розширення на основі сучасної згорткової нейронної мережі) для наскрізного прогнозування розташування орієнтирів на КПКТ. Висновок: у пацієнтів із різними не синдромальними деформаціями щелеп метод досягає середньої точності виявлення $1,38 \pm 0,95$ мм, перевершуючи інші методи [27].

Santos et al., мета: перевірити надійність різних орієнтирів для побудови FH для цефаломе-

трії на основі КПКТ. Висновок: Налаштування, засновані на лівій або правій частині та обох орбітах, мали найбільшу кількість випадків для 6 варіантів вимірювання FH [28].

Neelaru et al. запропонували алгоритм автоматичної локалізації 3D орієнтирів на СВСТ, заснований на граничних визначеннях анатомії людини. Висновок: загальна середня похибка запропонованого алгоритму для виявлення 20 орієнтирів становила $1,88 \pm 1,10$ мм [29].

Kim et al., мета: оцінити точність автоматизованої ідентифікаційної системи на основі моделі багатоступеневої згорткової нейронної мережі - convolutional neural network (CNN) для цефалометричних орієнтирів. Висновок: дана модель нейронної мережі для синтезованих СВСТ цефалограм не досягла адекватного клінічно прийняттого діапазону помилок менше ніж 2 мм, але вона показала кращу послідовність, ніж ручна ідентифікація орієнтирів на цефалограмах [30].

Zhang et al. вважають, що визначення положення серединно-сагітальної площини (MSP) є найважливішим кроком при побудові 3D цефалометричної системи відліку. Тому автори мали на меті визначити справжню MSP черепа, щоб встановити стабільну систему відліку для 3D ЦА. Висновки: значення внутрішньокласового коефіцієнта кореляції перевищували 0,9, що свідчить про майже ідеальну спорідненість [31].

Feng et al. також вважають, що визначення площини MSP є основою для 3D ЦА. В своїй роботі автори мали на меті надати протокол для побудови надійної MSP. Методика визначення MSP заснована на побудові моделі передньої основи черепа і симетрії клиноподібної кістки. Висновки: всі абсолютні похибки для представленого методу MSP були значно меншими, ніж контрольна площа ($P \leq 0,002$) з коефіцієнтом внутрішньокласової кореляції $> 0,9$. Метод вважається надійним і точним для 3D ЦА у пацієнтів без явної асиметрії черепа [32].

Ефективність ЦА на основі КПКТ в порівнянні зі звичайними 2D рентген цефалограмами

Chung et al., мета: порівняти звичайні бічні цефалограми та бічні цефалограми, створені з даних СВСТ. ЦА проаналізований за допомогою програми вимірювання орієнтирів на основі штучного інтелекту (ШІ) WebSerh. Під час порівняння вимірювань значень у 2D-цефалограмах і регенерованих 2D-цефалограмах із зображень КПКТ жодне з вимірювань не мало статистично значущих відмінностей [33].

Debelmas et al. також не виявили жодної різниці для вимірювань кутів між стандартними 2D рентгенівськими знінками та реконструйованими 3D цефалометричними рентгенограмами для групи ортодонтичних пацієнтів ($P > 0,05$) [34].

Baldini et al. при порівнянні 2D і 3D методів ЦА доводять, що КПКТ може використовуватись для ортодонтичної діагностики, оскільки він не показує статистично значущих відмінностей від вимірювань на 2D бічних цефалограмах [35].

Напроти, Li et al. при порівнянні 3D цефалограм, реконструйованих на основі СВСТ і звичайних 2D бокових цефалограм встановили значні відмінності між двома методами у всіх 12 кутових і 5 лінійних вимірюваннях ($P < 0,05$) та дійшли висновку, що КПКТ є більш точним методом у порівнянні зі звичайним 2D методом [36].

Li et al. (2021), мета: порівняння 2D цефалограм із збільшенням і без нього, витягнутих із КПКТ та реконструйованих 3D цефалограм. Висновок: всі три типи методів ЦА були надійними, причому 2D трасування бічних цефалометричних зображень без збільшення мали найвищу надійність [37].

Bao et al., мета: оцінити точність автоматичної локалізації цефалометричних орієнтирів і ЦА за допомогою ШІ порівняно з ручним аналізом на реконструйованих бічних цефалограмах (RLC) з СВСТ. Висновки: загалом 15 із 23 вимірювань були в межах клінічно прийняттого рівня точності, 2 мм або 2° . Проте, автоматична цефалометрія не здатна повністю замінити ручне трасування. Додатковий ручний нагляд і налаштування для автоматичних програм може підвищити точність і ефективність [38].

Kissel et al. мали на меті порівняти новий 3D-аналіз зменшеного кута поля зору з використанням FH як базової площини зі звичайним повнорозмірним аналізом із використанням краніальної площини (SN) як базової площини. Висновок: усі стандартні змінні, пов'язані з базовою площиною SN, можуть бути описані альтернативними змінними, пов'язаними з FH [39].

Lee et al. оцінювали точність віртуальних 3D цефалограм, побудованих за принципом біпланарної рентгенографії, в порівнянні із зображеннями на КПКТ. Порівняння вимірювань не показало статистично значущих відмінностей між 3D-цефалограмами, побудованими за принципом біпланарної рентгенографії, і тими, що отримані з КПКТ ($P > 0,05$) [40].

Wen et al. (2017), мета: порівняння 2D класичної латеральної цефалометричної рентгенографії (LCR), 2D цефалограми на основі СВСТ і 3D СВСТ для оцінки цефалометричних вимірювань. Висновки: існували значні відмінності між двовимірними цефалограмами (2D LCR і 2D СВСТ) і 3D СВСТ сканами для 2 кутових і 5 лінійних вимірювань. Результати показують, що значення ЦА на 3D СВСТ сканах можуть бути більшими, ніж на традиційному LCR для деяких параметрів. Цефалограма, створена за допомогою 2D СВСТ, може бути альтернативою традиційній LCR для пацієнтів, чий СВСТ зображення з великим полем зору вже недоступні [41].

Sheeran et al. вивчали достовірність 3D-накладен зображень верхньої щелепи у порівнянні з 2D-методом для оцінки змін положення верхньощелепних різців (U1) до та після лікування. Результати: вертикальна різниця для U1 була статистично значущою ($P < 0,0001$), хоча середні відмінності були клінічно незначущими (0,52 мм, 0,76 мм). Кутові відмінності U1 по вер-

тикалі не були статистично значущими ($P = 0,3636$ та $P = 0,1863$ відповідно). Висновки: 3D-воксельне накладання верхньої щелепи показало подібні результати до звичайних 2D-накладень [42].

Порівняння ЦА на основі КПКТ та проведених за допомогою інших додаткових методів дослідження

В даних статтях, навпаки, ЦА на основі КПКТ був еталоном для порівняння.

Song et al. порівнювали кутові зміни довгих осей зубів за допомогою цифрових сканованих стоматологічних моделей (DDM) та СВСТ. Результати: загальні середні відмінності між DDM і СВСТ мезіодистального кута становили $1,9 \pm 1,5^\circ$, букколінгвального нахилу - $2,2 \pm 2,2^\circ$ і не були значущими для всіх зубів. Коефіцієнт внутрішньокласової кореляції коливався від хорошого (0,85 для молярів) до відмінного (0,94 для ікла і 0,96 для різців). Висновок: оцінка вимірів цифрових моделей щелеп довгих вісей зубів має хорошу відтворюваність і дає результати, порівняні з вимірюваннями, отриманими за допомогою СВСТ у діапазоні 5° [43].

Juerchott et al. в своїх роботах порівнювали надійність визначених 3D-орієнтирів за допомогою магнітно-резонансної комп'ютерної томографії (МРТ) та проведення ЦА в порівнянні з КПКТ. В першому дослідженні було визначено 44 цефалометричних орієнтира. Результатами визначення 3D-орієнтирів на основі МРТ показали високу надійність з коефіцієнтом кореляції більше 0,9 [44].

В іншій роботі автори намагались оцінити, чи може МРТ служити альтернативним діагностичним інструментом для «золотого стандарту» КПКТ у 3D ЦА. Коефіцієнт внутрішньокласової кореляції також показав високі значення. Аналіз Бланда-Альтмана показав високі рівні узгодженості між КПКТ та МРТ зі значеннями рівня узгодження 95%: 0,03 (- 1,49; 1,54) для кутів і 0,02 мм (- 1,44; 1,47) для відстаней. Висновки: МРТ забезпечує надійний 3D ЦА і може служити неіонізуючою альтернативою КПКТ для планування лікування та моніторингу в ортодонції та щелепно-лицевій хірургії [45].

Maspero et al. також проводили техніко-економічне обґрунтування порівняння точності та діагностичних можливостей уже валідованого 3D ЦА на КПКТ з аналізом 3D МРТ, щоб оцінити, чи може останній надавати порівнянну якість інформації, уникаючи радіаційного опромінення. Обидві процедури показали високу надійність із середніми внутрішньо та міжкласовим коефіцієнтом кореляції 0,977/0,971 для СВСТ і 0,881/0,912 для МРТ. Результати роботи підтверджують, що 3D МРТ має достатню надійність і повторюваність. МРТ-обстеження не піддає пацієнтів іонізуючому випромінюванню та може стати альтернативою КПКТ для 3D ЦА в майбутньому [46].

Висновки

1. Надійність вимірів залежить від рівня досвіду лікаря (фахівця).

2. Цефалометричні вимірювання, виконані на зображеннях КПКТ, є більш точними та надійними, ніж ті, що виконуються на класичних рентгенографічних зображеннях.

3. Використання 3D-зображень може виявити нові анатомічні орієнтири, що може підвищити точність і ефективність 3D ЦА для діагностики та планування лікування.

4. Якщо за допомогою КПКТ отримано адекватні дані для ортодонтичного аналізу, додаткові цефалометричні рентгенограми не потрібні.

Перспективи подальших досліджень

Результати цього огляду свідчать про те, що лікарі можуть використовувати КПКТ як відповідну альтернативу звичайним цефалограмам для ЦА. У майбутніх дослідженнях для покращення однорідності даних слід розглянути роботи, які мають подібну інформацію, таку як тип програмного забезпечення, що використовується для ЦА, доза радіації, розмір вокселів, роздільна здатність зображення, методи реконструкції 3D КПКТ. Також перспективними напрямками є вивчення робіт, заснованих на зниженні доз іонізуючого опромінення.

Внесок авторів

Концепція і дизайн дослідження, аналіз та інтерпретація результатів, підготовка рукопису до друку автором виконані самостійно.

Конфлікт інтересів

Автор заявляє про відсутність потенційного конфлікту інтересів щодо дослідження, авторства та публікації цієї статті.

Фінансування

Автор не отримував фінансової підтримки для дослідження, авторства та публікації цієї статті.

Список літератури

1. Marchenko AV, Prokopenko OS, Dzevulska IV, Zakalata TR, Gunas IV. Mathematical modeling of teleroentgenographic parameters according to the method of schwarz a. m. depending on the basic cephalometric parameters in ukrainian young men and young women with different face types. *Wiad Lek.* 2021;74(6):1488–92.
2. Smaglyuk LV, Dmytrenko MI, Gurzhiy OV, Nesterenko OM, Voronkova AV. The meaning of teleradiographic indicators in the comprehensive therapy of dental patients (literature review). *Bulletin of problems biology and medicine.* 2022;1(163):67–70. DOI 10.29254/2077-4214-2022-1-163-67-70.
3. Santos RMGD, De Martino JM, Haiter Neto F, Passeri LA. Cone-Beam Computed Tomography-Based Three-Dimensional McNamara Cephalometric Analysis. *J Craniofac Surg.* 2018;29(4):895–9.
4. Oueiss A, Treil J, Faure J. Biométrie cranio-faciale 3D: analyse complète d'un cas de classe II « limite chirurgicale » [Cranio-Facial 3D Biometry: Complete

- analysis of a case of class II "limit surgery"]. *Orthod Fr.* 2020;91(1-2):115-128. doi: 10.1684/orthodfr.
5. Abdelkarim A. Cone-Beam Computed Tomography in Orthodontics. *Dent J (Basel)*. 2019;7(3):89.
 6. De Grauwe A, Ayaz I, Shujaat S, Dimitrov S, Gbadegbegnon L, Vande Vannet B, et al. CBCT in orthodontics: a systematic review on justification of CBCT in a paediatric population prior to orthodontic treatment. *Eur J Orthod*. 2019;41(4):381–9.
 7. Scarfe WC, Azevedo B, Toghiani S, Farman AG. Cone Beam Computed Tomographic imaging in orthodontics. *Aust Dent J*. 2017;62 Suppl 1:33–50.
 8. Nasseh I, Al-Rawi W. Cone Beam Computed Tomography. *Dent Clin North Am*. 2018;62(3):361–91.
 9. Swennen GR, Schutyser F, Barth EL, De Groeve P, De Mey A. A new method of 3-D cephalometry. Part I: the anatomic Cartesian 3-D reference system. *J Craniofac Surg* 2006;17:314-25.
 10. Haba D, Decolli Y, Marciuc E, Sîrghe AE. Teeth Impaction and Structural Teeth Anomalies. *Semin Musculoskelet Radiol*. 2020;24(5):523–34.
 11. Sosars P, Jakobson G, Neimane L, Mukans M. Comparative analysis of panoramic radiography and cone-beam computed tomography in treatment planning of palatally displaced canines. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2020;157(5):719–27.
 12. Yassaei S, Ezodini F, Shiri A, Nasr N. Maxillary Sinus Volume in Patients With Unilateral Cleft Lip and Palate by CBCT. *J Craniofac Surg*. 2023;34(7):641-644. doi: 10.1097/SCS.00000000000009457.
 13. Stasyuk AA, Kuroyedova VD, Vyzhenko EE, Makarova AN, Sokolohorska-Nykina YK. The study of temporomandibular joint in dentofacial abnormalities using cone beam computed tomography. *The New Armenian Medical Journal*. 2018;4:71-5.
 14. Li CX, Liu H, Gong ZC, Liu X, Ling B. Effects of osseous structure based on three-dimensional reconstructive imaging evaluation in the assessment of temporomandibular joint disc position. *Clin Oral Investig*. 2023;27(4):1449–63.
 15. Kuroedova VD, Vyzhenko EE, Makarova AN, Galych LB, Chikor TA. Optical density of upper jaw in patients with malocclusion. *Wiadomości Lekarskie*. 2017;5:913-7.
 16. Kuroedova VD, Vyzhenko EE, Stasiuk AA, Makarova AN. Optical density of mandible in orthodontic patients. *Wiadomości Lekarskie*. 2018; 120 (6): 1161-4.
 17. Park J, Baumrind S, Curry S, Carlson SK, Boyd RL, Oh H. Reliability of 3D dental and skeletal landmarks on CBCT images. *Angle Orthod*. 2019;89(5):758–67.
 18. Liberton DK, Verma P, Contratto A, Lee JS. Development and Validation of Novel Three-Dimensional Craniofacial Landmarks on Cone-Beam Computed Tomography Scans. *J Craniofac Surg*. 2019;30(7):e611–5.
 19. Gupta A, Kharbanda OP, Balachandran R, Sardana V, Kalra S, Chaurasia S, et al. Precision of manual landmark identification between as-received and oriented volume-rendered cone-beam computed tomography images. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2017 Jan;151(1):118–31.
 20. Huang Y, Fan F, Syben C, Roser P, Mill L, Maier A. Cephalogram synthesis and landmark detection in dental cone-beam CT systems. *Med Image Anal*. 2021 May;70:102028.
 21. Codari M, Caffini M, Tartaglia GM, Sforza C, Baselli G. Computer-aided cephalometric landmark annotation for CBCT data. *Int J Comput Assist Radiol Surg*. 2017 Jan;12(1):113–21.
 22. Montúfar J, Romero M, Scougall-Vilchis RJ. Hybrid approach for automatic cephalometric landmark annotation on cone-beam computed tomography volumes. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2018 Jul;154(1):140–50.
 23. Montúfar J, Romero M, Scougall-Vilchis RJ. Automatic 3-dimensional cephalometric landmarking based on active shape models in related projections. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2018 Mar;153(3):449–58.
 24. Lu G, Shu H, Bao H, Kong Y, Zhang C, Yan B, et al. CMF-Net: craniomaxillofacial landmark localization on CBCT images using geometric constraint and transformer. *Phys Med Biol*. 2023 Apr 26;68(9).
 25. Chen R, Ma Y, Chen N, Liu L, Cui Z, Lin Y, et al. Structure-Aware Long Short-Term Memory Network for 3D Cephalometric Landmark Detection. *IEEE Trans Med Imaging*. 2022 Jul;41(7):1791–801.
 26. Kochhar AS, Nucci L, Sidhu MS, Prabhakar M, Grassia V, Perillo L, et al. Reliability and Reproducibility of Landmark Identification in Unilateral Cleft Lip and Palate Patients: Digital Lateral Vis-A-Vis CBCT-Derived 3D Cephalograms. *J Clin Med*. 2021 Feb 2;10(3):535.
 27. Lang Y, Lian C, Xiao D, Deng H, Thung KH, Yuan P, et al. Localization of Craniomaxillofacial Landmarks on CBCT Images Using 3D Mask R-CNN and Local Dependency Learning. *IEEE Trans Med Imaging*. 2022 Oct;41(10):2856–66.
 28. Santos RMGD, De Martino JM, Haiter Neto F, Passeri LA. Influence of different setups of the Frankfort horizontal plane on 3-dimensional cephalometric measurements. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2017 Aug;152(2):242–9.
 29. Neelapu BC, Kharbanda OP, Sardana V, Gupta A, Vasamsetti S, Balachandran R, et al. Automatic localization of three-dimensional cephalometric landmarks on CBCT images by extracting symmetry features of the skull. *Dentomaxillofac Radiol*. 2018 Feb;47(2):20170054.
 30. Kim MJ, Liu Y, Oh SH, Ahn HW, Kim SH, Nelson G. Evaluation of a multi-stage convolutional neural network-based fully automated landmark identification system using cone-beam computed tomography-synthesized posteroanterior cephalometric images. *Korean J Orthod*. 2021 Mar 25;51(2):77–85.
 31. Zhang D, Wang S, Li J, Zhou Y. Novel method of constructing a stable reference frame for 3-dimensional cephalometric analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2018 Sep;154(3):397–404.
 32. Feng B, Wang Y, Ouyang W, Yu M, Wang H. Construction and validity of a midsagittal plane based on the symmetry of a 3-dimensional model of the relevant cranial base. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2021;159(1):e49–58.
 33. Chung EJ, Yang BE, Park IY, Yi S, On SW, Kim YH, et al. Effectiveness of cone-beam computed tomography-generated cephalograms using artificial

- intelligence cephalometric analysis. *Sci Rep.* 2022 Nov 29;12(1):20585.
34. Debelmas A, Ketoff S, Lanciaux S, Corre P, Friess M, Khonsari RH. Reproducibility assessment of Delaire cephalometric analysis using reconstructions from computed tomography. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg.* 2020 Feb;121(1):35–9.
 35. Baldini B, Cavagnetto D, Baselli G, Sforza C, Tartaglia GM. 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 Mar 30;22(1):98.
 36. Li N, Hu B, Mi F, Song J. Preliminary evaluation of cone beam computed tomography in three-dimensional cephalometry for clinical application. *Exp Ther Med.* 2017 May;13(5):2451–5.
 37. Li C, Teixeira H, Tanna N, Zheng Z, Chen SHY, Zou M, et al. The Reliability of Two- and Three-Dimensional Cephalometric Measurements: A CBCT Study. *Diagnostics (Basel).* 2021 Dec 7;11(12):2292.
 38. Bao H, Zhang K, Yu C, Li H, Cao D, Shu H, et al. Evaluating the accuracy of automated cephalometric analysis based on artificial intelligence. *BMC Oral Health.* 2023 Apr 1;23(1):191.
 39. Kissel P, Mah JK, Bumann A. Modern 3D cephalometry in pediatric orthodontics-downsizing the FOV and development of a new 3D cephalometric analysis within a minimized large FOV for dose reduction. *Clin Oral Investig.* 2021 Jul;25(7):4651–70.
 40. Lee JS, Kim SR, Hwang HS, Lee KC. Accuracy of virtual 3-dimensional cephalometric images constructed with 2-dimensional cephalograms using the biplanar radiography principle. *Imaging Sci Dent.* 2021 Dec;51(4):407–12.
 41. Wen J, Liu S, Ye X, Xie X, Li J, Li H, et al. Comparative study of cephalometric measurements using 3 imaging modalities. *J Am Dent Assoc.* 2017 Dec;148(12):913–21.
 42. Sheeran S, Hartsfield J, Omami G, Bazina M. Comparison of two 3-dimensional user-friendly voxel-based maxillary and 2-dimensional superimposition methods. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2023 Jan;163(1):117–25.
 43. Cong A, Massaro C, Ruellas AC de O, Barkley M, Yatabe M, Bianchi J, et al. Dental long axes using digital dental models compared to cone-beam computed tomography. *Orthod Craniofac Res.* 2022 Feb;25(1):64–72.
 44. Juerchott A, Freudlsperger C, Zingler S, Saleem MA, Jende JME, Lux CJ, et al. In vivo reliability of 3D cephalometric landmark determination on magnetic resonance imaging: a feasibility study. *Clin Oral Investig.* 2020 Mar;24(3):1339–49.
 45. Juerchott A, Freudlsperger C, Weber D, Jende JME, Saleem MA, Zingler S, et al. In vivo comparison of MRI- and CBCT-based 3D cephalometric analysis: beginning of a non-ionizing diagnostic era in craniomaxillofacial imaging? *Eur Radiol.* 2020 Mar;30(3):1488–97.
 46. Maspero C, Abate A, Bellincioni F, Cavagnetto D, Lanteri V, Costa A, et al. Comparison of a tridimensional cephalometric analysis performed on 3T-MRI compared with CBCT: a pilot study in adults. *Prog Orthod.* 2019 Oct 21;20(1):40.

**Стаття надійшла
9.11.2023 року**

Резюме

Проведення цефалометричного аналізу є невід’ємною складовою в діагностиці зубощелепних аномалій. Неточності при ідентифікації орієнтирів на двовимірних зображеннях можуть приводити до помилок при вимірах. Тривимірний аналіз на базі конусно-променевої комп’ютерної томографії розширює діагностичні можливості в клінічній практиці. В електронній базі даних PubMed за період з 2017 року по 1 вересня 2023 року проведено аналіз наукової літератури за ключовими словами: цефалометричний аналіз і конусно-променева комп’ютерна томографія, в яких описано методики та статистично доведена ефективність проведення цефалометрії основі конусно-променевої комп’ютерної томографії. Серед обраних 30 наукових праць проведено аналіз та систематизацію статей за наступними напрямками: надійність тривимірних орієнтирів денто-альвеолярних і скелетних структур на конусно-променевої комп’ютерної томографії; ефективність цефалометричного аналізу на основі конусно-променевої комп’ютерної томографії в порівнянні зі звичайними двовимірними рентген цефалограмами; порівняння цефалометричного аналізу на основі конусно-променевої комп’ютерної томографії та проведених за допомогою інших додаткових методів дослідження. Численні дослідження підтверджують високий рівень точності та надійності проведення цефалометричного аналізу на основі конусно-променевої комп’ютерної томографії, який розширює діагностичні можливості в ортодонтії та створює перспективні напрямки подальшого удосконалення. Висновки: надійність вимірів залежить від рівня досвіду лікаря. Якщо за допомогою конусно-променевої комп’ютерної томографії отримано адекватні дані для ортодонтичного аналізу, додаткові цефалометричні рентгенограми не потрібні. Перспективними напрямками є вивчення робіт, заснованих на зниженні дозі іонізуючого опромінення.

Ключові слова: цефалометричний аналіз, конусно-променева комп’ютерна томографія, 2D зображення, 3D зображення, зубощелепна аномалія.

UDC 616.314/.716-071-072

CEPHALOMETRIC ANALYSIS BASED ON CONE-BEAM COMPUTER TOMOGRAPHY (LITERATURE REVIEW)

Vyzhenko Ye.Ye.

Poltava State Medical University, Poltava, Ukraine

Summary

Conducting a cephalometric analysis is an integral component in the diagnosis of malocclusion. Inaccuracies in the identification of landmarks on two-dimensional images can lead to measurement errors. Three-dimensional analysis based on cone-beam computed tomography expands diagnostic possibilities in clinical practice. In the electronic database of PubMed for the period from 2017 to September 1, 2023, an analysis of the scientific literature was carried out using the keywords: cephalometric analysis and cone-beam computed tomography, which describe the methods and statistically proven effectiveness of cone-beam computer-based cephalometry computer tomography. Among the selected 30 scientific works, articles were analyzed and systematized in the following areas: reliability of three-dimensional landmarks of dento-alveolar and skeletal structures on cone-beam computed tomography; effectiveness of cephalometric analysis based on cone-beam computed tomography in comparison with conventional two-dimensional x-ray cephalograms; comparison of cephalometric analysis based on cone-beam computed tomography and conducted using other additional research methods. Numerous studies confirm the high level of accuracy and reliability of cephalometric analysis based on cone-beam computed tomography, which expands the diagnostic possibilities in orthodontics and creates promising directions for further improvement. Conclusions: the reliability of measurements depends on the level of experience of the doctor (specialist), if adequate data for orthodontic analysis are obtained with the help of cone-beam computed tomography, additional cephalometric radiographs are not required. Prospective directions are the study of works based on reducing doses of ionizing radiation.

Key words: cephalometric analysis, cone-beam computed tomography, Two-Dimensional, Three-Dimensional, malocclusion.