

*Ольга Ісакова, Наталія Боднарук, Галина Гірчак,
Олександр Колесніченко, Володимир Колесніченко*

*ДНП «Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького»,
м. Львів, Україна*

Порівняльна ефективність, валідність та судово-медична значущість методів Demirjian та Cameriere для визначення зубного віку у дітей в Україні та світі

▷ **Актуальність.** Визначення точного хронологічного віку людини — одне з найскладніших і найважливіших завдань сучасної судової медицини, клінічної педіатрії та дитячої стоматології. В умовах глобалізації, активних міграційних процесів та потреби в розслідуванні кримінальних правопорушень за відсутності документів, що посвідчують особу, оцінювання вікових показників набуває критичного юридичного значення.

Метою цієї роботи є проведення глибокого порівняльного аналізу ефективності методів визначення зубного віку за Demirjian та Cameriere на основі результатів власних досліджень та даних сучасної літератури, а також обґрунтування вибору оптимальної методики для використання в Україні.

Матеріали та методи дослідження. У цій роботі представлено всебічний аналіз проблеми визначення біологічного віку дитини за стоматологічним статусом. На основі систематичного огляду наукових джерел, опублікованих за останнє десятиліття у провідних фахових виданнях світу та України, а також спираючись на власні проведені дослідження, сформовано порівняльну характеристику двох найбільш поширених методологічних підходів: методу оцінки стадій мінералізації постійних зубів за Demirjian та морфометричного методу вимірювання відкритих апексів коренів постійних зубів за Cameriere.

Особливу увагу в роботі приділено валідизації цих методів на українській популяції дітей, базуючись на фундаментальних дослідженнях В. Ф. Макєєва та О. О. Ісакової серед популяції дітей Прикарпатського регіону України та опублікованих результатах досліджень, проведених міжнародною групою науковців, за участі М. Гончарук-Хомин та ін. серед вибірки дітей, які проживають на території Закарпаття.

Висновки. Встановлено, що класичний метод Demirjian має виражену тенденцію до систематичного завищення хронологічного віку українських дітей (переоцінка віку коливається від +0,43 до +0,58 року серед дітей Закарпатського регіону України). Метод Cameriere визнано більш об'єктивним та відтворюваним; він продемонстрував високу точність та надійність з мінімальним середнім відхиленням, що робить його пріоритетним інструментом для використання у вітчизняній судовій медицині та клінічній стоматології. Аналогічні результати спостерігалися у переважній більшості досліджуваних популяцій інших регіонів світу та країн.

У світовій науковій практиці відбувається остаточний перехід від якісних (описових) методів оцінки віку до кількісних (морфометричних).

Дослідження показують, що нейромережі, навчені на алгоритмі Cameriere, досягають точності, порівнянної з роботою досвідченого експерта, але виключають фактор втоми та суб'єктивності. Це відкриває перспективи створення національного українського програмного продукту для автоматизованої оцінки віку.

Ключові слова: діти; зубний вік; метод Demirjian; метод Cameriere; ортопантомографія.

Стаття опублікована на умовах відкритого доступу за ліцензією CC BY-NC
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.uk>



Вступ

Визначення точного віку людини — одне з найскладніших і найважливіших завдань сучасної судової медицини, клінічної педіатрії та дитячої стоматології. В умовах глобалізації, активних міграційних процесів та розслідування кримінальних правопорушень без документів, що посвідчують особу, визначення хронологічного віку набуває критичного юридичного значення. В Україні настання 14, 16 та 18 років кардинально змінює правовий статус особи, її дієздатність та межі кримінальної відповідальності [1].

Біологічний вік, який відображає реальний ступінь фізіологічного розвитку організму, не завжди збігається з паспортним (хронологічним). Для його оцінки традиційно використовують кілька маркерів: скелетну зрілість (за рентгенограмою кисті та зап'ястя), появу вторинних статевих ознак (соматичний вік) та зубний вік. Серед них саме зубний вік визнано найбільш надійним індикатором біологічної зрілості. Це зумовлено тим, що процес розвитку зубів (одонтогенез) значною мірою детермінований генетично і менш піддається впливу екзогенних та ендогенних факторів, таких як особливості харчування, кліматичні умови чи короточасні гормональні збої, які можуть суттєво спотворити картину скелетного дозрівання [2–5].

Оцінка зубного віку дитини є одним з найшвидших та найнадійніших методів, що необхідні не лише при плануванні стоматологічного чи ортодонтичного лікування, але й відіграють важливу роль для ідентифікації жертв масових катастроф, при міграційних процесах, а також у кримінальних справах за участі неповнолітніх [2].

За останні десятиліття було розроблено низку інструментальних рентгенологічних методів оцінки зубного віку, які ґрунтуються на детальному аналізі цифрових ортопантограм (ОПТГ). Ці методи можна класифікувати на дві основні категорії: морфологічні (що базуються на візуальній ідентифікації стадій розвитку коронки та кореня) та метричні (базуються на точних математичних та геометричних вимірюваннях анатомічних структур зуба). Найбільш розповсюдженими і активно досліджуваними представниками цих двох підходів у світовій практиці є метод Demirjian (Demirjian et al., 1973) та метод Cameriere (Cameriere et al., 2006).

Незважаючи на їхнє надзвичайно широке застосування, глобальні епідеміологічні дослідження демонструють значну варіабельність точності цих методів залежно від етнічної належності, гео-

графічного розташування та генетичного фону досліджуваних популяцій [2, 5–7].

Розвиток зубів та їхніх коренів являє собою багатогранний та динамічний процес, у якому біологічні системи, а саме кісткова тканина та тканини зуба, проходять різні стадії розвитку, перш ніж досягти повної зрілості. Відповідно, для оцінки біологічного (зубного) віку дитини зазвичай аналізують стан зубів і кісток. Процес розвитку зуба не залежить від більшості екзогенних впливів, а також зуби залишаються одними з останніх структур, що розкладаються після смерті, що робить їх надійним матеріалом для експертизи навіть після смерті людини [2–5].

Метод Demirjian є одним із найпопулярніших методів оцінки стоматологічного віку завдяки своїй простоті, а також легкості стандартизації та відтворюваності. Метод Cameriere, з іншого боку, базується на вимірюванні відстані між відкритими верхівками семи лівих постійних зубів нижньої щелепи, які візуалізуються на панорамних рентгенограмах. Оскільки точність та надійність методів оцінки стоматологічного віку, описаних у літературі, різняться залежно від популяції, важливо, щоб обраний метод враховував особливості досліджуваної популяції [2–7].

Метою цієї роботи є проведення глибокого порівняльного аналізу ефективності методів Demirjian та Cameriere на основі даних сучасної літератури і результатів власних досліджень, обґрунтування вибору оптимальної методики для використання в Україні, а також окреслення перспектив у розвитку й застосуванні цих методів на практиці.

Матеріали і методи дослідження

Проведено ґрунтовний статистичний науковий аналіз результатів власних досліджень та інших праць, виконаних в Україні та світі щодо ефективності та валідності методів визначення зубного віку за системами Cameriere та Demirjian, висвітлених протягом останнього десятиліття у наукових джерелах.

Наразі у світовій практиці запропоновано десятки методів оцінки зубного віку, проте «золотим стандартом» протягом останніх п'ятдесяти років все-таки залишався метод, запропонований Arthur Demirjian у 1973 році. Його популярність базувалася на відносній простоті та чіткій візуалізації стадій розвитку. Однак, починаючи з 2010-х років, наукова спільнота все частіше фіксує значні розбіжності між результатами, отриманими за методом Demirjian, та реальним (хронологічним) віком сучасних дітей. Це спонукало до пошуку нових, більш точних підходів, серед яких провідне місце посів метод Roberto



Рис. 1. Зразок проведення замірів за методом Cameriere.

Cameriere, заснований на математичному аналізі пропорцій зуба [2–7].

Історія використання зубів для визначення віку сягає корінням у XIX століття, коли оцінка базувалася переважно на термінах прорізування зубів. Проте прорізування є вкрай варіабельним процесом, на який впливають місцеві фактори (рання втрата молочних зубів, анкілоз, скупченість). З появою рентгенографії акцент змістився на оцінку стадій мінералізації зубних зачатків, що є безперервним і більш стабільним процесом [3, 4].

У 2006 році італійський професор Cameriere запропонував принципово інший підхід. Замість суб'єктивної оцінки стадій («на око») метод пропонує вимірювати лінійні розміри зуба та визначати їхнє співвідношення [7].

Методика визначення зубного віку за методом Cameriere полягає в тому, що на ортопантомограмах (ОПТГ) обстежують ділянку нижніх семи зубів зліва з визначенням індивідуального коефіцієнта коренів кожного постійного зуба (співвідношення A/L зубів 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37), де L — довжина кореня, а A — ширина незакритої верхівки кореня цього зуба, тобто відстань між крайніми точками стінок кореня на незакритій верхівці. Відповідно до нумерації кожного зуба нумеруються величини A і L . Це співвідношення позначимо як X із порядковим номером для кожного досліджуваного зуба (X_1, X_2, X_3 тощо). Наприклад, величини центрального різця позначаються як L_1 і A_1 , латерального L_2 і A_2 тощо. У багатокореневих зубах при замірах незакритих верхівок величини для кожного кореня позначаються додатковим порядковим номером після позначки

порядковості зуба в цьому сегменті, тобто для коренів 36 зуба будуть позначення $A_{6.1}$ (для мезіального кореня) і $A_{6.2}$ (для дистального кореня). Проведення замірів зображено на рис. 1 [3–5, 7].

Існує багато модифікацій формули лінійної регресії Cameriere, які були розроблені науковцями різних країн для окремо обраних популяцій досліджуваних дітей. На потребу в модифікації впливали особливості будови щелепно-лицевої ділянки дітей, а також особливості її формування у дітей визначеного регіону проживання. Отже, практично для кожного іншого регіону чи країни проживання досліджуваних дітей здійснювалась модифікація формули з урахуванням особливостей цього регіону. Деякі вчені вводили додаткові коефіцієнти для кожної статі, за наявності чи відсутності премолярів, співвідношення обстежуваних дівчаток і хлопчиків тощо [2, 3, 5, 7, 8–17].

Європейська формула:

Вік =

$$8,387 + 0,282g - 1,692x_5 + 0,835N_0 - 0,116s - 0,139sN_0,$$

де g — стать (1 для хлопчиків та 0 для дівчаток);

x_5 — співвідношення величин другого премоляра;

N_0 — кількість зубів із закритими верхівками;

s — сума співвідношень 7-ми постійних зубів [7].

Китайська формула:

Вік =

$$10,575 + 0,343g - 2,605x_3 - 2,343x_4 + 0,594N_0 - 0,416s - 0,170sN_0,$$

де g — стать (1 для хлопчиків та 0 для дівчаток);
 x_3 та x_4 — співвідношення величин ікла та першого премоляра;
 N_0 — кількість зубів із повністю закритими верхівками коренів;
 s — сума співвідношень відкритих апексів [16].

Індійська формула:

Вік =

$$9,402 - 0,879s + 0,663N_0 - 0,711s - 0,106sN_0,$$

де s — географічний коефіцієнт (1 — для населення Південної Індії та 0 — для населення Північної Індії);

N_0 — кількість зубів із повністю закритими верхівками коренів;

s — сума співвідношень відкритих апексів [18].

Провівши дослідження серед дітей Львова та Львівської області (Прикарпатський регіон України), науковці адаптували формулу лінійної регресії Cameriere, яка набула такого вигляду й була уточнена певними доповненнями [2, 3, 19]:

Зубний вік =

$$9,402 + 0,663N_0 - 0,711s - 0,106sN_0,$$

де N_0 — кількість зубів із повністю закритими верхівками коренів, а s — сума співвідношень відкритих апексів.

Завдяки використанню співвідношень величин, а не абсолютних значень, метод Cameriere забезпечує вищу математичну чутливість до дрібних змін у мінералізації. Водночас глобальні до-

слідження вказують на загальну тенденцію цього методу до недооцінки хронологічного віку. Це статистичне явище пов'язане з математичними обмеженнями моделі лінійної регресії на фінальних етапах мінералізації зубів, коли апекси майже закриті, і модель втрачає роздільну здатність.

Сучасні дослідження підтверджують, що цей метод забезпечує значну точність у віковому діапазоні від 5 до 15 років, проте потребує певної адаптації для різних регіонів [9–17].

Метод Demirjian (1973) базується на аналізі панорамної рентгенограми. Оцінюванню підлягають сім зубів нижньої щелепи з лівого боку (від центрального різця до другого моляра). Для кожного зуба визначається один із восьми ступенів розвитку (A, B, C, D, E, F, G, H):

- *Ступінь А:* початок кальцифікації спостерігається на верхньому рівні горбів чи ріжучого краю у вигляді конуса.

- *Ступінь В:* злиття кальцифікованих точок утворює один або кілька горбів, які об'єднуються в рівномірну оклюзійну поверхню.

- *Ступінь С:* завершено формування емалі на оклюзійній поверхні, почалося відкладення дентину, і пульпова камера має вигнуту форму, що відповідає оклюзійній поверхні.

- *Ступінь D:* формування коронки зуба завершено, почалося коренеутворення.

- *Ступінь Е:* довжина кореня менше за висоту коронки; у молярах утворення біфуркації візуалізується як кальцифікована точка або має півмісяцеву форму.

- *Ступінь F:* стінки пульпової камери утворюють рівнобедрений трикутник, її верхівка закін-



Рис. 2. Приклад оцінки ступеня розвитку зубів за методом Demirjian.

Таблиця 1.

Показники хронологічного та зубного віку дітей Прикарпатського регіону України (за методами Cameriere та Demirjian) у різних вікових групах [3, 20].

Вікова група	Кількість дітей (n)	Хронологічний вік	Вік за Cameriere	Вік за Demirjian
6–7 років	23	7,15 ± 0,57	7,29 ± 0,70	7,51 ± 0,43
8–9 років	34	8,84 ± 0,55	8,77 ± 0,78	9,31 ± 0,96
10–11 років	22	11,04 ± 0,60	11,05 ± 1,09	11,72 ± 1,13
12–13 років	29	12,85 ± 0,50	12,72 ± 0,68	13,71 ± 0,89
6–13 років (SDcomb)	108	10,01 ± 2,21	9,98 ± 2,22	10,60 ± 2,50

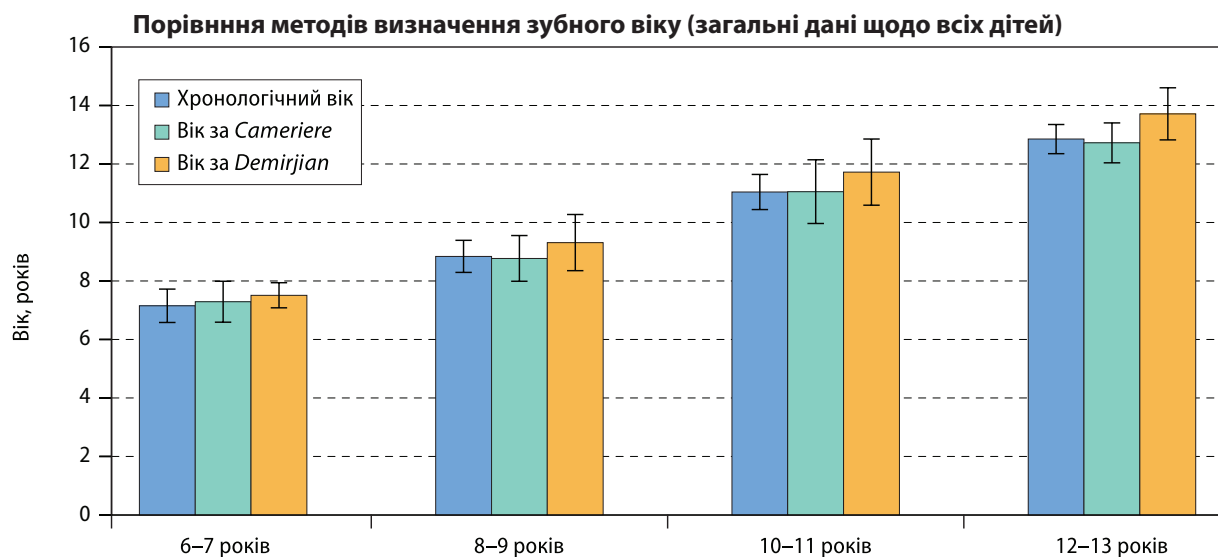


Рис. 3. Графічне зображення валідності методів визначення зубного віку у дітей Прикарпатського регіону України у чотирьох вікових групах

чується лійкоподібно, довжина кореня дорівнює висоті коронки або більша за неї.

- **Ступінь G:** стінки кореневого каналу паралельні, проте апікальний кінець ще частково відкритий.

- **Ступінь H:** апекс кореня повністю закритий, періодонтальна щілина має рівномірну ширину [6, 20, 23].

Проведення оцінювання за стадіями зображено на рис. 2.

Кожному ступеню присвоюється певний бал, який залежить від статі дитини. Сума цих оцінок конвертується у зубний вік за допомогою розроблених автором таблиць.

Результати та обговорення

Результати оцінювання за методами Demirjian та Cameriere, отримані у вибірці дітей Прикарпатського регіону України, свідчать про систематичну переоцінку хронологічного віку при застосуванні методу Demirjian у різних вікових групах (табл. 1).

Представлені дані свідчать про те, що метод Demirjian у вибірці дітей Прикарпатського регіону України у вікових групах 6–7, 8–9, 10–11 та

12–13 років стабільно завищує вік українських дітей у середньому на пів року (0,5–0,86 року). Порівняльний аналізований розподіл показників детально відображено на стовпчиковій діаграмі (рис. 3).

Метод Cameriere у всіх представлених вікових групах демонструє максимально наближені показники до хронологічного віку. Натомість система Demirjian виявляє тенденцію до переоцінки, яка стає помітнішою у старших вікових групах. Наприклад, у категорії 12–13 років метод Demirjian видає середнє значення аж 13,71 ± 0,89 року при показнику хронологічного віку 12,85 ± 0,50 року. У судово-медичній практиці така похибка є неприпустимою, оскільки може призвести до помилкової кваліфікації віку підлітка як такого, що досяг віку кримінальної відповідальності [1].

Суттєві похибки у визначенні віку дитини за методом Demirjian відмічалися і при дослідженні вибірки дітей Закарпатського регіону [21]. Результати, отримані в цьому регіоні України, також засвідчили значне завищення показників. У вибірці дітей віком 6–14 років включно переоцінка за методом Demirjian становила від +0,43 до +0,58 року [21].

Зведена таблиця показників середнього відхилення (DA – CA) серед популяцій різних країн світу

Країна	За методом Demirjian, років	За методом Cameriere, років
Німеччина	Хлопчики: + 0,16 Дівчатка: + 0,18	Хлопчики: – 0,07 Дівчатка: – 0,08
Хорватія	Загалом: +1,02	Загалом: – 0,40
Португалія	Хлопчики: +1,47 Дівчатка: +1,45	
Китай	Східний Китай: Хлопчики: + 0,73 Дівчатка: + 0,79	Південний Китай: Хлопчики: – 0,47 Дівчатка: – 0,69
Індія	Загалом: +1,767	Загалом: – 0,8667
Туреччина	Хлопчики: + 0,64 Дівчатка: + 0,55	Хлопчики: – 0,24 Дівчатка: – 0,23
Саудівська Аравія	Загалом: + 0,15	
Іран	Хлопчики: + 0,36 Дівчатка: + 0,57	
Бразилія	Хлопчики: + 0,76 Дівчатка: + 0,77	Хлопчики: – 0,14 Дівчатка: – 0,02
Фінляндія	Хлопчики: + 0,47 Дівчатка: + 0,22	Хлопчики: – 0,35 Дівчатка: – 0,48

Примітка. Дані таблиці інтегровані виключно із зазначених наукових джерел. Пропуски у клітинках залишені у випадках, коли конкретні показники середнього відхилення для певного методу або країни не були кількісно репрезентовані в аналізованій літературі [3, 8, 10, 11, 13–17, 20, 21, 23].

Основна проблема методу Demirjian полягає в тому, що його було розроблено на вибірці дітей французько-канадського походження середини XX століття. Сучасні діти внаслідок явища акселерації (секулярного тренду) розвиваються швидше. Дослідження Jayaraman та Roberts (2016) переконливо доводять, що застосування оригінальних оціночних таблиць Demirjian до сучасних популяцій призводить до систематичного завищення віку [6, 22].

На основі детального аналізу представленого масиву наукової літератури сформовано структуровану таблицю показників середнього відхилення оціненого зубного віку від хронологічного (DA – CA) у досліджуваних популяцій різних країн.

Представлені в таблиці результати відображають цілісну картину мінливості темпів дозрівання зубної системи по всьому світу. Аналіз цих даних вимагає глибокого розуміння генетичних, кліматичних та інших соціально-біологічних особливостей кожної досліджуваної популяції.

Європейський регіон: Німеччина, Хорватія, Португалія, Фінляндія.

У європейському регіоні спостерігається надзвичайно показова варіабельність точності методів, яка корелює з географічним положенням та етногенетичними особливостями.

Ретроспективне дослідження, проведене в Німеччині (аналіз 479 панорамних рентгенограм: 268 хлопчиків та 211 дівчаток віком від 6 до 14 років), продемонструвало порівняно високу точність обох методів. Середнє відхилення за методом Demirjian становило +0,16 року для хлопчиків ($p = 0,010$) та +0,18 років для дівчаток ($p = 0,008$). Це вказує на незначну, але статистично достовірну переоцінку. З іншого боку, метод Cameriere в цій самій вибірці показав мінімальну недооцінку: – 0,07 року для хлопчиків та – 0,08 року для дівчаток. Попри те, що середнє відхилення для Cameriere було ближчим до нуля, детальний статистичний аналіз виявив ширший діапазон похибок (від – 1,38 до 3,83 років для хлопчиків). Це змусило авторів зробити висновок, що метод Demirjian у німецькій популяції забезпечує більш стабільні результати з меншою середньоквадратичною дисперсією [10].

У балканському регіоні, зокрема в Хорватії, картина кардинально змінюється. Дослідження масивної вибірки з 1492 ортопантомограм (704 хлопчики, 788 дівчаток віком 6.0–13.9 року) виявило, що метод Demirjian системно та суттєво переоцінює вік на +1.02 року. Найбільша розбіжність фіксувалася серед 11- та 12-річних дівчаток, що вказує на значно раніший пубертатний стрибок мінералізації порівняно з канадськими

стандартами 1970-х років. Натомість європейська формула Cameriere показала найкращі результати серед чотирьох протестованих методів, продемонструвавши прийнятну недооцінку на $-0,40$ року [14].

Дослідження у Португалії (160 ортопантограм дітей віком 6–9 років), демонструє один із найвищих рівнів похибки для методу Demirjian в Європі. Переоцінка хронологічного віку склала $+1,47$ років для хлопчиків та $+1,45$ років для дівчаток. Всі розбіжності були високо статистично значущими ($p < 0,001$), причому найвищі відхилення реєструвалися у 8-річній віковій групі. Хоча метод Cameriere не оцінювався в цьому конкретному дослідженні (використовувався метод Willems, який також дав переоцінку) [23].

Дані щодо Фінляндії, отримані з порівняльного фінсько-турецького дослідження, у якому оцінювали 482 фінських дітей віком 5–15 років. Аналіз цих даних підтверджує загальну системну закономірність: метод Demirjian переоцінює хронологічний вік (за винятком 8-річних дівчаток), тоді як метод Cameriere недооцінював його (за винятком 6-річних дітей). У підсумку автори зазначили, що для дітей Північної Фінляндії метод Demirjian виявився стабільнішим при оцінюванні хлопчиків, тоді як європейська формула Cameriere забезпечувала вищу точність для дівчаток [9].

Азійський регіон: Китай, Індія

Азійський континент демонструє надзвичайну кількість розбіжностей, що унеможливорює використання єдиного стандарту та вимагає розробки вузькоспеціалізованих регіональних регресійних рівнянь.

У Китаї спостерігається виражена внутрішня регіональна варіабельність. Для дітей Східного Китаю віком від 5 до 16 років застосування модифікованого підходу виявило, що оригінальний метод Demirjian дає статистично значущу переоцінку на рівні $+0,73$ року для хлопчиків та $+0,79$ року для дівчаток [12].

У Південному Китаї дослідники сфокусувалися на валідації методу Cameriere. Європейська формула Cameriere значно недооцінювала хронологічний вік: середнє відхилення склало $-0,47$ року для хлопчиків та $-0,69$ року для дівчаток ($p < 0,05$). Розуміючи ці обмеження, китайські вчені розробили специфічну південно-китайську формулу, що дозволило кардинально знизити середню похибку до статистично незначущих $-0,02$ року для хлопчиків та $-0,14$ року для дівчаток. Більше того, інтеграція даних про розвиток третіх молярів із постійними зубами дозволила мінімізувати середньоквадратичну похибку [16].

Найбільша похибка методу Demirjian серед усіх досліджуваних глобальних регіонів зафіксована в Індії (регіон Делі, діти 5–13 років). Переоцінка віку за Demirjian склала $+1,767$ року. У цій самій вибірці метод Cameriere недооцінив вік на $-0,8667$ року. Попри те, що обидва методи виявили значні девіації, дослідники визнали метод Cameriere суттєво точнішим для індійської популяції, оскільки середньоквадратична похибка (RMSE) для нього становила $0,87$ року порівняно з $1,77$ року для Demirjian [13].

Результати досліджень у Північній Індії також свідчать про недооцінку віку за методом Cameriere та переоцінку за методом Demirjian. [18]

Така варіабельність результатів оцінювання в індійській популяції є чітким підтвердженням комплексної дії генетичних чинників, а також соціально-екологічних і кліматичних особливостей регіону, що сукупно зумовлюють прискорення темпів фізіологічного дозрівання організму дітей [8, 13].

Близькосхідний регіон: Туреччина, Саудівська Аравія, Іран

На Близькому Сході описані тенденції здебільшого зберігаються, проте масштаб відхилень суттєво варіюється в різних країнах.

У Туреччині, згідно з дослідженням на вибірці з 330 ортопантограм, метод Demirjian системно переоцінює вік. Ця тенденція фіксувалася у більшості вікових груп і становила в середньому $+0,64$ року для хлопчиків та $+0,55$ року для дівчаток. Відповідно, метод Cameriere демонструє помірну недооцінку хронологічного віку (в середньому $-0,24$ року для хлопчиків та $-0,23$ року для дівчаток). При прямому порівнянні фінської та турецької вибірок виявилось, що зубний вік турецьких дітей є статистично вищим порівняно з їхніми скандинавськими однолітками, що ще раз підкреслює вплив географічної широти та генетичних чинників на темпи формування тканин зуба [24].

Іранська популяція демонструє подібні результати. Аналіз бази з 208 ортопантограм дітей віком 7–15 років виявив стабільну переоцінку за методом Demirjian, яка становила $+0,36$ року для хлопчиків та $+0,57$ року для дівчаток. Переоцінка була статистично значущою для всієї популяції та для кожної вікової групи, за єдиним винятком – підлітків-хлопчиків 13–15 років, де розбіжність нівелювалася. Натомість метод Cameriere в цій вибірці показав виняткову точність: похибка серед хлопчиків становила $+0,04$ року, а серед дівчаток — $-0,06$ року [17].

Дослідження ефективності різних методів у Саудівській Аравії показало, що метод Demirjian

забезпечує в цьому регіоні високу точність із середньою переоцінкою лише на +0,15 року. У цьому комплексному дослідженні метод Demirjian виявився найточнішим серед шести протестованих методів, перевершивши системи Nolla, Chaillet, Moorrees та ін. Настільки низька похибка в саудівській популяції може свідчити про те, що темпи дозрівання зубів у цій етнічній групі з певних генетичних або соціально-біологічних причин еволюційно ближчі до історичних норм 1970-х років, ніж у дітей індо-азійського чи південно-європейського походження [15].

Південноамериканський регіон: Бразилія

Особливості одонтогенезу в Південноамериканському регіоні досліджувалися на прикладі популяції півдня Бразилії. Аналіз 229 панорамних рентгенограм показав високу кореляцію між хронологічним і зубним віком для обох методів ($r = 0,776$ для Demirjian, $r = 0,735$ для Cameriere). При середньому хронологічному віці вибірки 8,75 року середнє відхилення за методом Demirjian становило +0,80 року (зокрема +0,76 року для хлопчиків та +0,77 року для дівчаток). Метод Cameriere продемонстрував у цій вибірці високу точність із мінімальною недооцінкою лише на -0,08 року загалом (-0,14 року для хлопчиків та -0,02 року для дівчаток) [11].

Аналіз проаналізованих джерел дозволяє виявити чітку закономірність: метод Cameriere має суттєву перевагу в точності над методом Demirjian у більшості досліджених популяцій світу [3, 10, 11, 13–15, 17, 20–22].

Також останніми роками у світовій науковій практиці спостерігається стійкий тренд до автоматизації процесів оцінювання зубного віку за допомогою алгоритмів штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання. Як зазначають Khanagar та співавтори (2024), систематичний аналіз моделей ШІ демонструє їхню високу ефективність при аналізі щелепно-лицьових рентгенограм, що дозволяє мінімізувати час обробки даних та підвищити об'єктивність результатів. Це підтверджується й дослідженнями Salehizeinabadi та співавторів (2024), які довели, що застосування методів машинного навчання до панорамних рентгенограм забезпечує точність прогнозування віку, цілком порівнянну з результатами ручних розрахунків досвідчених експертів [25, 26].

Особливої уваги заслуговує інтеграція нейромереж із класичними морфометричними підходами. Зокрема, фундаментальна праця Shen та співавторів (2021) продемонструвала успішне застосування машинного навчання спеціально для

автоматизації методу Cameriere. Запропонований алгоритм здатний самостійно сегментувати зуби з відкритими верхівками коренів та обчислювати відповідні морфометричні індекси. Такий підхід повністю нівелює проблему суб'єктивного оцінювання рентгенологічної картини різними фахівцями [27].

Окрім суто клінічних переваг, впровадження ШІ має важливе значення для судово-медичної експертизи. За даними комплексного огляду Chopra та співавторів (2025), автоматизовані системи виключають фактор людської втоми, знижують ризик технічних помилок і забезпечують високу стандартизацію експертних висновків, що є критично важливим у правовому полі [28].

Узагальнені дані світової літератури переконливо свідчать про те, що розробка та впровадження національного програмного забезпечення на базі адаптованого методу Cameriere з інтеграцією технологій комп'ютерного зору є не лише актуальним науковим завданням, а й необхідним кроком для модернізації вітчизняної стоматологічної галузі та судово-медичної експертної практики.

Висновки

Аналіз опрацьованого матеріалу засвідчує тенденцію до зміни абсолютних морфометричних величин у людському організмі на сучасному етапі порівняно з показниками минулих періодів. Головною причиною таких варіацій, імовірно, є акселерація — біологічне явище прискорення фізичного розвитку, яке спостерігається у розвинених країнах протягом останніх 100 років. Полікращення якості харчування, масова вакцинація, а також зниження рівня інфекційних захворювань призвели до того, що сучасні діти досягають певних стадій зубного розвитку (зокрема закриття верхівок коренів) раніше, ніж їхні однолітки у 1970-х роках.

Коли сучасна дитина проходить рентгенологічне обстеження, її зуби вже перебувають на пізніших стадіях розвитку порівняно зі стандартами минулого століття. Метод Demirjian, маючи жорстку матрицю перетворення балів, інтерпретує цю фізіологічно прискорену мінералізацію як ознаку старшого віку, що призводить до систематичної математичної помилки. Крім того, метод Demirjian спирається виключно на чітко окреслені стадії (від A до H). Перехід між цими стадіями в системі оцінювання є стрибкоподібним, тоді як біологічний розвиток є абсолютно безперервним процесом. Коли дитина перебуває на граничному перехідному етапі між двома стадіями, суб'єктивне рішення експерта присвоїти вищу стадію штучно завищує оцінений вік.

Таблиці Demirjian, що були відкалібровані за умов повільнішого формування дитячого організму минулого століття, сприймають ранній розвиток сучасних дітей як ознаку старшого віку, що й призводить до систематичного завищення показників.

Метод Cameriere, на відміну від методу Demirjian, базується на морфометричних пропорціях. Співвідношення ширини відкритого верхівкового отвору (апекса) до довжини зуба є більш універсальною біологічною величиною, яка менше залежить від швидкості росту загалом. Це пояснює високу адаптивність методу в різних етнічних групах.

Отримані дані мають пряме значення для судово-медичної експертної практики. При проведенні експертиз щодо визначення віку невідомих осіб або підозрюваних експертам слід віддавати перевагу методу Cameriere. Використання методу Demirjian без додаткових коригувальних коефіцієнтів може призвести до юридичних помилок та порушення прав дитини.

Дитяча стоматологія та ортодонтія потребують оцінювання зубного віку як маркера біологічної зрілості організму дитини для визначення піку пубертатного стрибка росту (що є критично важливим для вибору оптимального терміну початку лікування). Метод Cameriere у цьому контексті також є більш інформативним, оскільки дозволяє точніше спрогнозувати залишковий потенціал росту щелепних кісток.

Впровадження методу Cameriere вимагає точних морфометричних вимірювань, що може бути загалом трудомістким процесом. Однак розвиток цифрової радіографії, конусно-променевої комп'ютерної томографії та спеціалізованого програмного забезпечення дозволяє автоматизувати цей процес, скорочуючи час аналізу до кількох хвилин.

Варто відзначити тренд останніх років (2023–2025) — використання штучного інтелекту для

автоматичного розрахунку віку. Дослідження показують, що нейромережі, навчені на алгоритмі Cameriere, досягають точності, порівнянної з аналізом досвідченого експерта, але виключають фактор втоми та суб'єктивізму. Це відкриває перспективи створення вітчизняного автоматизованого програмного комплексу для експертного оцінювання.

У світовій науковій практиці відбувається остаточний перехід від якісних (описових) методів оцінювання віку до кількісних (морфометричних). Метод Cameriere визнано більш об'єктивним та відтворюваним у клінічних умовах.

Класичний метод Demirjian не відповідає параметрам розвитку сучасної популяції дітей в Україні. Його використання призводить до систематичного завищення віку. Застосування цього методу в судовій експертизі без попередньої регіональної адаптації є недоцільним.

У перспективі подальші дослідження мають бути спрямовані на валідацію методу Cameriere для інших вікових груп (зокрема 14–18 років із залученням показників розвитку третіх молярів) та інтеграцію алгоритмів визначення зубного віку у програмне забезпечення цифрових рентгенівських апаратів.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Згода на публікацію

Автори ознайомлені з результатами і схвалили остаточний варіант рукопису.

Використання штучного інтелекту

Автори стверджують, що під час написання статті штучний інтелект не використовувався.

ПОСИЛАННЯ / REFERENCES

1. Criminal Code of Ukraine: Law of Ukraine of 05.04.2001, No. 2341-III. Revision of 17.07.2025. [Кримінальний кодекс України : Закон України від 05.04.2001 р. № 2341-III. Редакція від 17.07.2025 р.]. [in Ukrainian]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2341-14#Text>
2. Makeyev, V. F., & Isakova, O. O. (2019). Determination of dental age in 6–9-year-old children in the Carpathian region of Ukraine using the Cameriere method. *Dental news*, (2), 76–80. [Макєєв В. Ф., Ісакова О. О. (2019). Визначення зубного віку 6–9-річних дітей Прикарпатського регіону України за методом Cameriere. *Новини стоматології*, (2), 76–80]. [in Ukrainian]. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Ns_2019_2_17.
3. Makeyev, V. F., Isakova, O. O., Shybinsky, V., Hadzik, J., & Krupnyk, A. (2020). Child's dental age as a biological marker of development. *J Stoma*, 73(5), 246–253. DOI: <https://doi.org/10.5114/jos.2020.100531>.

4. Makeyev, V. F., & Isakova, O. O. (2022). Analysis of methods for determining a child's dental age, their reliability and accessibility. *Actual dentistry*, (5), 92–98. [Макєєв В. Ф., Ісакова О. О. (2022). Аналіз методів визначення стоматологічного віку дитини, їх надійність та доступність. *Сучасна стоматологія*, (5), 92–98]. DOI: <https://doi.org/10.33295/1992-576X-2021-5-92> [in Ukrainian].
5. Sitio, D. Y., Eka Solehuddin, G. M., & Panjaitan, G. S. (2024). Dental Age Estimation using the Cameriere Method in Different Countries: A Review. *Journal of Forensic Science and Research*, 8(1), 035–039. DOI: <https://doi.org/10.29328/journal.jfsr.1001062>.
6. Demirjian, A., & Goldstein, H. (1976). New systems for dental maturity based on seven and four teeth. *Ann Hum Biol*, 3(5), 411–421. DOI: <https://doi.org/10.1080/03014467600001671>.
7. Cameriere, R., De Angelis, D., Ferrante, L., Scarpino, F., & Cingolani, M. (2007). Age estimation in children by measurement of open apices in teeth: A European formula. *Int. J. Leg. Med.*, 121, 449–453. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00414-007-0179-1>.
8. Gupta, S., Verma, A. K., Patil, R., Singh, U. S., Kumar, N., & Bhattacharya, S. (2023). Comparison of Demirjian and Cameriere methods and development of modified Cameriere and Demirjian formula more efficient for North Indian population. *J Oral Maxillofac Pathol*, 27(1), 138–147. DOI: https://doi.org/10.4103/jomfp.jomfp_228_22.
9. Darıcı, A., Ölmez, M. S., Güngör, H. C., Rajavaara, P., Sipola, A., Anttonen, V., & Pääkkilä, J. (2024). Comparison of accuracy of different dental age estimation methods in Finnish and Turkish populations. *Acta Odontol Scand*, 83, 643–652. DOI: <https://doi.org/10.2340/aos.v83.42434>.
10. Wolf, T. G., Briseño-Marroquín, B., Callaway, A., Patyna, M., Müller, V. T., Willershausen, I., Ehlers, V., & Willershausen, B. (2016). Dental age assessment in 6- to 14-year old German children: comparison of Cameriere and Demirjian methods. *BMC Oral Health*, 16(1), 120. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12903-016-0315-8>.
11. Carelli, J., da Silva, G. S., Gomes, M. V., Vilalba, T., Baratto-Filho, F., Armando Brancher, J., Beisel-Memmert, S., Kirschnick, C., Lopes, C. M. C. F., Moro, A., & Küchler, E. C. (2024). Demirjian's and Cameriere's Methods for the Assessment of Dental Age Estimation in Children from a Southern Brazilian City. *Diagnostics (Basel)*, 14(14), 1513. DOI: <https://doi.org/10.3390/diagnostics14141513>.
12. Pan, J., Shen, C., Yang, Z., Fan, L., Wang, M., Shen, S., Tao, J., & Ji, F. (2021). A modified dental age assessment method for 5- to 16-year-old eastern Chinese children. *Clin Oral Investig*, 25(6), 3463–3474. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00784-020-03668-9>.
13. Ranjan, V., Priya, P., Shankar, V. N., & Maiti, S. B. (2020). Comparative study of Demirjian and Cameriere methods for dental age estimation of children aged 5-13 year in Delhi-NCR region. *Int. J. of Adv. Res.*, 8. DOI: <https://doi.org/10.21474/IJAR01/10354>.
14. Brkić, H., Galić, I., Vodačić, M., Dumančić, J., Mehdi, F., & Anić Milošević, S. (2022). The Cameriere, Haavikko, Demirjian, and Willems methods for the assessment of dental age in Croatian children. *Int J Legal Med*, 136(6), 1685–1696. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00414-022-02891-1>.
15. AlOtaibi, N. N., & AlQahtani, S. J. (2023). Performance of different dental age estimation methods on Saudi children. *J Forensic Odontostomatol*, 41(1), 27–46. URL: <https://ojs.iofos.eu/index.php/Journal/article/view/1545>.
16. Yang, Z., Wen, D., Xiao, J., Liu, Q., Sun, S., Kureshi, A., Chang, Y., & Zha, L. (2021). Application of Cameriere's method for dental age estimation in children in South China. *Forensic Sci Res*, 7(2), 106–114. DOI: <https://doi.org/10.1080/20961790.2020.1830515>.
17. Milani, S., Shahrabi, M., Fakhar, H. B., Parvar, S., & Abdolazadeh, M. (2022). Accuracy of Demirjian's and Cameriere's Methods for Age Estimation in 6- to 10-Year-Old Iranian Children Using Panoramic Radiographs. *Int J Dent*, 2022, 4948210. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/4948210>.
18. Vadla, P., Surekha, R., Rao, G. V., Deepthi, G., Naveen, S., & Kumar, C. A. (2020). Assessing the accuracy of Cameriere's Indian-specific formula for age estimation on right and left sides of orthopantomogram. *Egyptian Journal of Forensic Sciences*, 10, 9. DOI: <https://doi.org/10.1186/s41935-020-00183-6>.
19. Makeyev, V. F., & Isakova, O. O. (2019). Comparative evaluation of dental age determined by the Cameriere method and chronological age of 6-7-year-old children in the Carpathian region of Ukraine. *Actual dentistry*, 1(95), 50–54. [Макєєв В. Ф., Ісакова О. О. (2019). Порівняльна оцінка зубного віку, визначеного за методом Cameriere, і календарного віку 6-7 річних дітей Прикарпатського регіону України. *Сучасна стоматологія*, 1(95), 50–54]. [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.33295/1992-576X-2019-1-50-54>.
20. Kolesnichenko, O., Isakova, O., Bodnaruk, N. I., Hirschak, H., & Maksym, O. (2024). Determination of the dental age of Ukrainian children by the Demirjian method. *Bulletin of Dentistry*, 129(4), 140–147. [Колесніченко, О., Ісакова, О., Боднарук, Н. І.,

Гірчак, Г., & Максим, О. (2024). Визначення зубного віку українських дітей за методом Demirjian. *Вісник стоматології*, 129(4), 140–147. [in Ukrainian]. DOI: <https://doi.org/10.35220/2078-8916-2024-54-4.26>.

21. Goncharuk-Khomyn, M., Hirschowitz, W., Kvaal, S., Cavalcanti, F., & Yavuz, Y. (2022). Demirjian's dental age estimation accuracy among Ukrainian. Transcarpathian children sample: pilot study. *UDJ*, 1(1), 20–26. DOI: <https://doi.org/10.56569/UDJ.1.1.2022.20-26>.
22. Jayaraman, J., & Roberts, G. (2016). Demirjian's method is unsuitable for dental age estimation. *Forensic Sci Med Pathol*, 12(4), 532–533. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12024-016-9811-z>.
23. Vieira, I., Pereira, M. L., & Caldas, I. M. (2025). The Applicability of the Demirjian and Willems Standards to Age Estimation of 6–9-Year-Old Portuguese Children. *Humans*, 5(1), 6. DOI: <https://doi.org/10.3390/humans5010006>.
24. Apaydin, B. K., & Yasar, F. (2018). Accuracy of the demirjian, willems and cameriere methods of estimating dental age on turkish children. *Niger J Clin Pract*, 21(3), 257–263. DOI: <https://doi.org/10.4103/1119-3077.226966>.
25. Khanagar, S. B., Albalawi, F., Alshehri, A., Awawdeh, M., Iyer, K., Alsomaie, B., Aldhebaib, A., Singh, O. G., & Alfadley, A. (2024). Performance of Artificial Intelligence Models Designed for Automated Estimation of Age Using Dento-Maxillofacial Radiographs—A Systematic Review. *Diagnostics*, 14(11), 1079. DOI: <https://doi.org/10.3390/diagnostics14111079>.
26. Salehizeinabadi, M., Ameli, N., Pacheco-Pereira, C., et al. (2024). Dental age prediction from panoramic radiographs using machine learning techniques. *PLOS Digital Health*, DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pdig.0001077>.
27. Shen, S., Liu, Z., Wang, J., Fan, L., Ji, F., & Tao, J. (2021). Machine learning assisted Cameriere method for dental age estimation. *BMC Oral Health*, 21, 641. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12903-021-01994-x>.
28. Chopra, A., Gupta, A., Aggarwal, N. (2025). Artificial intelligence in dental age estimation- applications, technological advances and legal aspects: A narrative review. *J Oral Biol Craniofac Res*, 15(6), 1534–1538. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jobcr.2025.09.010>.

Comparative Effectiveness, Validity and Forensic Significance of the Demirjian and Cameriere Methods for Dental Age Estimation in Children in Ukraine and Worldwide

Isakova O., Bodnaruk N., Girchak G., Kolesnichenko O., Kolesnichenko V.

Danylo Halytsky Lviv National Medical University, Lviv, Ukraine

Background. Accurate chronological age estimation is one of the most challenging and crucial tasks in modern forensic medicine, clinical pediatrics, and pediatric dentistry. In the context of globalization, active migration processes, and the investigation of criminal offenses involving undocumented individuals, dental age estimation acquires critical legal significance.

The aim of this work is to conduct a comparative analysis of the effectiveness of the Demirjian and Cameriere methods for dental age determination based on the results of our own research and current literature data, as well as to justify the choice of the optimal methodology for use in Ukraine.

Materials and methods. This work presents a comprehensive analysis of the problem of determining a child's biological age based on dental status. Based on a systematic review of scientific sources published over the last decade in leading professional journals worldwide and in Ukraine, as well as relying on our own research, a comparative characteristic of the two most common methodological approaches was formed: the method for assessing the stages of mineralization of permanent teeth by Demirjian and the morphometric method for measuring the open apices of permanent teeth roots by Cameriere.

Particular attention in the work is paid to the validation of these methods in the Ukrainian population of children, based on the fundamental research of V. F. Makeiev and O. O. Isakova among the population of children in the Prykarpattia region of Ukraine and the published results of studies conducted by an international group of scientists, with the participation of M. Honcharuk-Chomyk et al. among a sample of children living in the territory of Transcarpathia.

Conclusions. It was established that the classical Demirjian method has a pronounced tendency toward systematic overestimation of the chronological age of Ukrainian children (the age overestimation ranges from +0.43 to +0.58 years among children of the Transcarpathian region of Ukraine). The Cameriere method was found to be more objective and reproducible; it demonstrated high accuracy and reliability with minimal mean deviation, making it a priority tool for use in domestic forensic medicine and clinical dentistry. Similar results were observed in the vast majority of studied populations in other regions of the world and countries.

In global scientific practice, there is a definitive transition from qualitative (descriptive) age estimation methods to quantitative (morphometric) ones.

Studies show that neural networks trained on the Cameriere algorithm achieve accuracy comparable to the work of an experienced expert, but eliminate the factors of fatigue and subjectivity. This opens up prospects for creating a national Ukrainian software product for automated age estimation.

Keywords: children; dental age; Demirjian method; Cameriere method; orthopantomography;

Стаття: надійшла до редакції 20.02.2026 р.;
прийнята до друку 13.04.2026 р.,
опублікована 25.05.2026 р.

Ісакова Ольга

доктор філософії, доцент кафедри
стоматології дитячого віку
ДНП «Львівський національний медичний
університет імені Данила Галицького»,
м. Львів, Україна

 <https://orcid.org/0000-0003-3364-3945>

Боднарук Наталія

доктор філософії, доцент кафедри
стоматології дитячого віку
ДНП «Львівський національний медичний
університет імені Данила Галицького»,
м. Львів, Україна

 <https://orcid.org/0000-0002-5222-7915>

Гірчак Галина

кандидат медичних наук,
доцент кафедри стоматології дитячого віку
ДНП «Львівський національний медичний
університет імені Данила Галицького»,
м. Львів, Україна

 <https://orcid.org/0000-0001-7221-1390>

Колесніченко Олександр

кандидат медичних наук,
доцент кафедри стоматології дитячого віку
ДНП «Львівський національний медичний
університет імені Данила Галицького»,
м. Львів, Україна

 <https://orcid.org/0000-0002-6210-8397>

Колесніченко Володимир

студент 4 курсу стоматологічного
факультету,
ДНП «Львівський національний медичний
університет імені Данила Галицького»,
м. Львів, Україна

 <https://orcid.org/0009-0000-5912-1198>