

Савичук Н. О., Лихота К. М., Пехньо В. В.

# Визначення кісткового віку для планування ортодонтчного лікування і перспективи використання штучного інтелекту в діагностиці кісткового віку у підлітків (огляд літератури)

Національний університет охорони здоров'я України імені П. Л. Шупика, м. Київ, Україна

**Актуальність.** Визначення кісткового віку є важливим компонентом у плануванні ортодонтчного лікування підлітків. Оцінка біологічного віку пацієнта дозволяє спрогнозувати етапи росту і зрілості скелета, що відіграє вирішальну роль у виборі оптимального часу для втручання. Точне визначення періодів активного росту кісток допомагає уникнути рецидивів і забезпечити стабільність результатів ортодонтчного лікування.

**Мета.** Проаналізувати сучасні методи визначення кісткового віку, включаючи рентгенографію кисті та цефалометричні методи, оцінити їх надійність та практичне значення для ортодонції.

**Методи.** Проведено аналіз наукових публікацій, що висвітлюють традиційні та сучасні підходи до визначення кісткового віку. Увагу зосереджено на методах рентгенографії кисті та цефалометричних підходах, а також новітніх розробках, як-от штучний інтелект, який може поліпшити точність і знизити суб'єктивність оцінки.

**Основні методи визначення.** В огляді висвітлено метод Грейліха і Пайла, який базується на порівнянні рентгенограм кисті з еталонними знімками; метод Таннера-Уайтхауса, що передбачає детальний аналіз зон закріплення; цефалометричний метод Baccetti, який знижує необхідність додаткового радіаційного навантаження на пацієнта.

**Висновки.** Сучасні методи визначення кісткового віку є надійними інструментами для прогнозування росту кісток у підлітків, що особливо важливо для ефективного планування ортодонтчного лікування. Розвиток технологій штучного інтелекту має перспективи для подальшого вдосконалення методів діагностики, підвищення швидкості та точності оцінки кісткової зрілості.

**Ключові слова:** кістковий вік, підлітки, рентгенодіагностика, ортодонція, цефалометрія.

## Актуальність

В ортодонції визначення кісткового віку є ключовим для прогнозування росту та зрілості кісток дітей та підлітків, що має безпосередній вплив на планування та ефективність лікування. Кістковий вік відображає ступінь скелетної зрілості пацієнта, що часто суттєво відрізняється від його хронологічного віку через індивідуальні варіації розвитку. Застосування об'єктивних методів визначення кісткового віку дозволяє визначити оптимальні терміни ортодонтчного лікування з урахуванням індивідуальних характеристик пацієнта, враховуючи такі фактори, як швидкість росту щелеп, ступінь мінералізації кісток та період активного зростання зубощелепного апарату [1, 2].

**Мета:** підсумувати сучасні методи визначення кісткового віку, зокрема за допомогою рентгеновських методів телерентгенографії та рентгену кисті доміантної руки.

## Вступ

Кістковий вік є ключовим показником, що дозволяє ортодонтам визначити скелетну зрілість пацієнта, а не лише його хронологічний вік. У підлітків, коли розвиток скелета ще незавершений, існує значна індивідуальна варіабельність у темпах росту, що може не збігатися з календарним віком [1, 3]. У процесі росту скелета відбуваються зміни у мінеральному складі кісткової тканини та дозріванні епіфізарних зон, що впливає на загальний розвиток зубощелепної системи. Завдяки визна-

Кількість публікацій, де відповідні ключові слова з'являються водночас

Рік	PubMed	Scopus	Web of Science	Google Scholar
2013	10	12	8	15
2014	12	14	10	18
2015	15	18	12	20
2016	18	20	15	25
2017	20	22	18	30
2018	15	18	12	22
2019	10	12	8	15
2020	8	10	6	12
2021	7	8	5	10
2022	6	7	5	9
2023	5	6	4	8

ченню кісткового віку можна оцінити поточний етап розвитку пацієнта і передбачити подальший ріст щелеп, що є критичним для планування ортодонтичного втручання [5, 7].

Наприклад, при наявній ортодонтичній патології (медіальна чи дистальна оклюзія) або аномаліями положення зубів (скупченість, ретенція), оптимальний час для початку лікування залежить від стадії росту кісток пацієнта. Наукові дані свідчать, що ортодонтичні корекції, виконані у фазах активного росту скелета, мають кращий прогноз і сприяють стабільнішій корекції прикусу та положення зубів [4, 8]. Наприклад, у пацієнтів із медіальною чи дистальною оклюзією, де спостерігається або дефіцит, або надлишок росту щелепи, точне визначення кісткового віку дозволяє підібрати оптимальний момент для лікування, коли ростові процеси найбільш сприятливі для корекції [9, 11].

Існує кілька основних методів визначення кісткового віку, які застосовуються в ортодонтії та рентгенології. Найпоширенішими серед них є метод Грейліха і Пайла, метод Таннера-Уайтхауса та цефалометричний аналіз шийних хребців. Метод Грейліха і Пайла дозволяє детально оцінити рентгенологічні зміни у зонах росту, тоді як метод Таннера-Уайтхауса базується на стандартизованих критеріях дозрівання епіфізарних зон. Цефалометричний аналіз, своєю чергою, дозволяє оцінити стадію розвитку шийного відділу хребта, що має велике значення для планування ортодонтичного лікування [6, 7].

### Матеріали та методи

Для проведення огляду літератури на тему «Визначення кісткового віку у підлітків» за період 2013–2023 років було визначено такі критерії пошуку:

### Критерії пошуку літератури

- 1) *Ключові слова*: кістковий вік, підлітки, рентгенодіагностика, ортодонтія, цефалометрія;
- 2) *Мова публікацій*: українська та англійська;
- 3) *Типи публікацій*: наукові статті, огляди, дисертації, монографії;
- 4) *Доступність*: публікації з відкритим доступом або доступні через академічні установи.

### Загальна кількість наукових публікацій

Пошук за вказаними ключовими словами у наукометричних базах даних виявив таку кількість публікацій: *PubMed* – 126 статей, *Scopus* – 177 статей, *Web of Science* – 103 статті, *Google Scholar* – 184 статті.

### Методи визначення кісткового віку

За даними деяких дослідників, для оцінки росту і розвитку підлітків доцільним є визначення біологічного віку за рівнем зрілості кісткової системи – кісткового віку або скелетної зрілості. Впродовж тривалого часу як індикатор скелетної зрілості використовували закріплення кісточок кисті руки за їхньою рентгенограмою [31].

#### 1. Метод Грейліха і Пайла (Greulich and Pyle)

Метод Грейліха і Пайла є одним з найпоширеніших підходів для визначення кісткового віку у підлітків, особливо у пацієнтів з ортодонтичною патологією. Цей метод заснований на порівнянні рентгенограм кисті з еталонними зображеннями в атласі Грейліха і Пайла, який містить стандартизовані стадії розвитку для різних вікових груп [6]. Оцінка проводиться за зображеннями зап'ясткових кісток, фаланг та п'ясткових кісток, що дозволяє визначити приблизний рівень розвитку скелета пацієнта. Метод Грейліха і Пайла є відносно швидким і легко застосовуваним, однак його результати можуть залежати від досвіду та

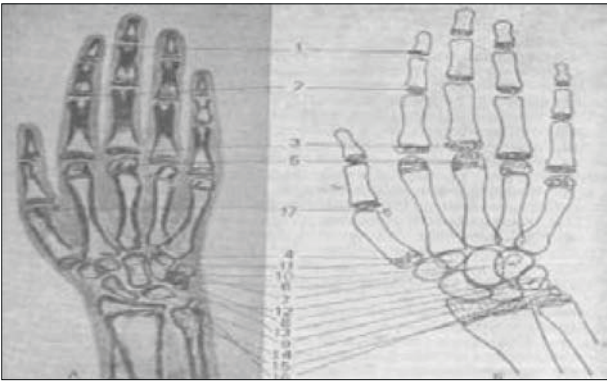


Рис. 1. Метод Грейліха і Пайла

суб'єктивної оцінки лікаря, особливо у складних або граничних випадках. Це може призводити до розбіжностей у діагнозах та складнощів у прогнозуванні ортодонтичного лікування [7].

У низці досліджень метод Грейліха і Пайла було використано для визначення стадії розвитку кісток на основі порівняння рентгенограм кисті зі зразками з атласу. Наприклад, Куроєдова В. Д., Головка Н. В., Дмитренко М. І. (2015) підкреслюють важливість цього методу для точного планування ортодонтичного лікування [1]. Вони зазначають, що метод є особливо корисним для підлітків із різним рівнем кісткового дозрівання. Дослідження Booz S., Yel I., Wichmann J. L. (2020) також наголошують на високій точності методу порівняно з іншими підходами, особливо у випадках аномалій зубощелепного апарату [5].

## 2. Метод Таннера-Уайтхауса (Tanner-Whitehouse, TW3)

Метод Таннера-Уайтхауса (TW3) — це метод оцінки кісткового віку на основі детального аналізу розвитку окремих кісток кисті та зап'ястка. Відмінність методу Таннера-Уайтхауса полягає у тому, що він передбачає оцінку кожної кістки за індивідуальними шкалами розвитку, що дозво-

ляє точніше визначити ступінь дозрівання скелета. Цей підхід враховує зміни у розвитку п'ясткових кісток, фаланг та інших структур кисті, що забезпечує більш детальний аналіз порівняно з методом Грейліха і Пайла [8, 35].

TW3 є більш трудомістким у застосуванні, оскільки вимагає індивідуальної оцінки великої кількості кісткових маркерів. Проте його основною перевагою є можливість виявлення тонких відмінностей у стадіях дозрівання, що є надзвичайно важливим при плануванні лікування підлітків із наявною ортодонтичною патологією [9].

Метод TW3 активно використовується для детальної оцінки розвитку кисті у підлітків з аномаліями зубощелепного апарату. Клітинська О. В., Костенко Є. Я., Бородач В. О. (2018) застосували метод TW3 для оцінки розвитку кисті, зазначаючи, що цей підхід дозволяє виміряти ступінь розвитку кожної кістки кисті окремо, що робить його більш точним, хоча й трудомістким порівняно з методом Грейліха і Пайла [2].

Derwich M., Marcinkowska-Mituś A., Łoboda M. (2016) підкреслюють, що метод TW3 забезпечує кращу можливість виявлення тонких відмінностей у стадіях дозрівання скелета, що є надзвичайно важливим при плануванні ортодонтичного лікування та корекції прикусу [4].

## 3. Цефалометричний аналіз шийних хребців (метод Baccetti)

Цефалометричний аналіз шийних хребців є сучасним підходом, що широко застосовується для визначення кісткового віку в ортодонтичній практиці. Цей метод базується на використанні цефалометричних знімків для аналізу стану шийних хребців, що дозволяє визначити стадії скелетної зрілості без додаткового радіаційного навантаження на кисть [10, 11].

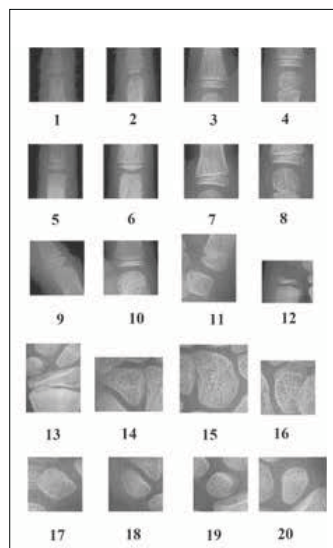


Рис. 2. Метод Таннера-Уайтхауса (зони інтересу) [35].

Аналіз шийних хребців дозволяє оцінити ступінь розвитку та структуру тіл хребців, включаючи зміни у формі та рівень мінералізації. Метод Bassetti рекомендований для використання при плануванні ортодонтичного лікування, оскільки він надає цінну інформацію про скелетну зрілість пацієнта без необхідності додаткових рентгенограм кисті [12]. Проте варто враховувати, що у разі нетипової будови хребців цей метод може мати знижену точність, що слід зауважити при оцінці результатів [13].

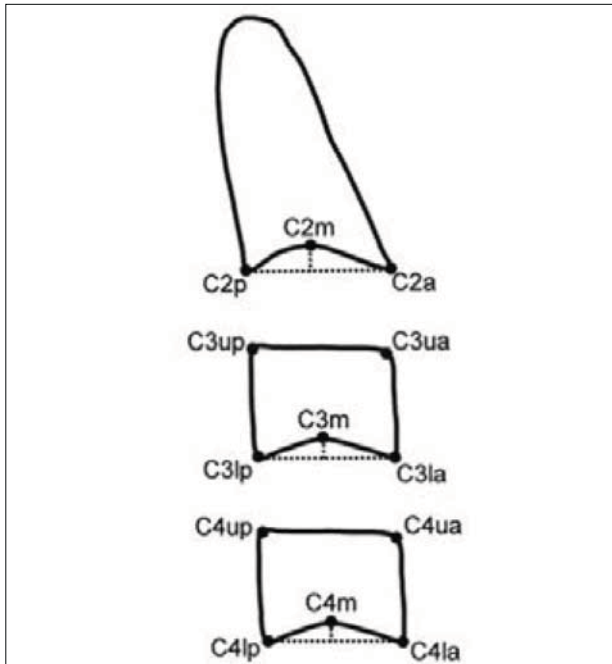


Рис. 3. Рентгенологічні точки, виміри та співвідношення, що використовуються для визначення кісткового віку за методом CVM [7]

Метод, що фокусується на оцінці зрілості шийних хребців, був описаний у дослідженні Magdalena Durka-Zajac та Agata Marcinkowska (2013) як важливий підхід для зменшення радіаційного навантаження на пацієнта, оскільки не потребує додаткових рентгенограм кисті [3]. Цефалометричний аналіз шийних хребців використовує структуру та форму хребців для оцінки ступеня розвитку скелета. Storozhchuk D., Костецький А.В. (2020) також зазначають, що цей метод дозволяє оцінити зрілість скелета, знижуючи радіаційне навантаження на пацієнтів [9]. Метод визначення дозрівання шийних хребців (*Cervical Vertebral Maturation, CVM*), розроблений Джеймсом Гасселом та Фарманом у 1995 році, широко використовується для оцінки кісткової зрілості підлітків [32]. Цей підхід дозволяє визначити пік загального росту та розвитку нижньої щелепи, що є важливим для планування ортодонтичного лікування [34]. Метод CVM базується на аналізі морфологічних змін у тілах

шийних хребців (C2, C3, C4) на бічних цефалометричних рентгенограмах [32]. Він включає оцінку форми тіл хребців та наявності вгинів на нижніх контурах. Зміни у цих структурах відображають різні стадії скелетного дозрівання, що дозволяє прогнозувати пубертатний стрибок росту. Перевагою методу CVM є можливість оцінки кісткової зрілості без додаткового опромінення, оскільки аналіз проводиться на вже наявних ортодонтичних рентгенограмах. Це робить метод зручним та безпечним для пацієнтів. Використання методу CVM допомагає ортодонтам визначити оптимальний час для початку лікування, підвищуючи його ефективність та прогнозованість результатів [34].

### Важливість визначення кісткового віку для ортодонтичного лікування

Визначення кісткового віку є основою для прогнозування росту і розвитку скелета у підлітків, що дозволяє максимально ефективно планувати ортодонтичне лікування. Зокрема, у випадках, коли у пацієнта медіальна, бо дистальна оклюзія, точне визначення періодів активного росту щелепи дозволяє мінімізувати ризики рецидивів та знизити кількість корекційних втручань [14]. При неправильному виборі часу для ортодонтичного лікування пацієнти можуть стикатися з проблемами, пов'язаними із незавершеністю росту кісток, що може призвести до нестабільних результатів. Дослідження вказують, що точне планування лікування з урахуванням кісткового віку підвищує його ефективність і стабільність отриманих результатів, зокрема при лікуванні аномалій щелепно-лицевої ділянки [15, 16]. Вишемирська Т. А. (2018) наголошує на рентгенографії кисті як основному методі для визначення біологічного віку. Її дослідження підтверджує, що цей метод є надійним для визначення скелетної зрілості у пацієнтів із зубощелепними аномаліями [15]. Микола Олександрович Дмитрієв (2015) підкреслює, що цей підхід є ключовим для ранньої діагностики кісткової зрілості, що важливо для вибору оптимального часу початку ортодонтичного втручання [17] (табл. 2).

### Штучний інтелект у класичних методах оцінки кісткового віку

Останнім часом штучний інтелект (ШІ) стає все більш популярним у медичній діагностиці, зокрема в ортодонтії, де він пропонує значні перспективи для вдосконалення методів визначення кісткового віку. Застосування ШІ має потенціал не лише для автоматизації процесу діагностики, але й для підвищення точності, узгодженості та швидкості обробки зображень, що особливо цінно при оцінці кісткового віку у підлітків.

Класичні методи, як-от метод Грейліха і Пайла та TW3, традиційно потребують значної кількості ручної роботи й суб'єктивної оцінки [1, 7]. Це може призвести до певної варіабельності між спостерігачами, що ускладнює отримання стабільних результатів. Штучний інтелект здатен автоматизувати цей процес, підвищуючи узгодженість результатів між різними лікарями. Наприклад, дослідження, проведене Booz та співавт. (2020), показало, що використання ШІ для аналізу рентгенограм кисті за методом Грейліха і Пайла значно знижує вплив людського фактора та підвищує точність діагностики [5].

Алгоритми глибокого навчання можуть навчатися на великих базах даних рентгенограм, автоматично розпізнаючи та класифікуючи кісткові структури відповідно до вікових еталонів. Це дозволяє скоротити час обробки зображень і підвищити точність оцінки кісткового віку, навіть у складних випадках. Наприклад, дослідження Zhao та співавт. (2022) показало, що використання ШІ значно підвищує узгодженість між лікарями, що є особливо важливим для педіатричної діагностики [6]. Wang H. та співавт. [35] також відзначили, що застосування ШІ, зокрема алгоритму сегментації YOLO, дозволяє зменшити абсолютну похибку визначення кісткового віку до 0,5 року, забезпечуючи точне виділення ключових зон кісток (табл. 3).

### Використання штучного інтелекту для цефалометричного аналізу

Цефалометричний аналіз, зокрема метод Bassetti, є важливим інструментом для визначення кісткового віку без необхідності додаткового опромінення кисті. Проте цей метод також потребує високих навичок і глибоких знань для правильної інтерпретації знімків шийних хребців [11]. Використання штучного інтелекту може авто-

матизувати процес виявлення та аналізу шийних хребців, що значно спрощує діагностику, особливо у випадках, де необхідне точне визначення стадії розвитку хребців.

Згідно з дослідженням, проведеним Seo та співавт. (2021), алгоритми глибокого навчання, зокрема модель Inception-ResNet-v2, продемонстрували високу точність у класифікації стадій дозрівання шийних хребців, що свідчить про потенціал ШІ у використанні цефалометричних знімків для оцінки кісткового віку [7]. Такий підхід дозволяє забезпечити не лише швидкий аналіз, але й можливість повторного аналізу та узгодження результатів.

### Переваги та обмеження використання ШІ в ортодонтічній практиці

Застосування штучного інтелекту в ортодонтії має кілька ключових переваг:

- *Швидкість та ефективність*: ШІ здатен обробляти значні обсяги даних за короткий час, що скорочує час діагностики та підвищує ефективність клінічної практики [5, 8];
- *Узгодженість результатів*: ШІ дозволяє зменшити варіабельність між спостерігачами, що сприяє отриманню більш стабільних та точних результатів [9];
- *Можливість автоматизації*: Алгоритми ШІ можуть бути налаштовані для автоматичного аналізу певних зон зростання, що особливо корисно в ортодонтії для повторюваних процедур [10].

Водночас існують деякі обмеження. Використання ШІ залежить від якості даних для навчання алгоритмів, і в разі нетипових або граничних випадків, можливі похибки. Крім того, впровадження таких технологій вимагає значних витрат та спеціального обладнання, що може бути недоступним для невеликих клінік [12].

### Висновки

**1. Штучний інтелект значно підвищує ефективність оцінки кісткового віку.** Результати досліджень свідчать, що ШІ дозволяє досягати високої точності в оцінці кісткового віку за рентгенографічними зображеннями кисті. Так, у дослідженні Gertych і співавт. [21] був продемонстрований потенціал використання цифрових методів для аналізу кісткового віку у дітей за допомогою рентгенограм кисті. Це стало основою для подальшого розвитку автоматизованих систем, включаючи ШІ, що може значно скоротити час оцінки та забезпечити стабільну якість діагностики без залучення численних спеціалістів.

**2. Моделі ШІ, такі як BoneXpert, показують високу узгодженість між результатами.** Метод

BoneXpert, описаний Thodberg і співавт. [22], є прикладом автоматизованої системи, яка забезпечує надійні результати та узгодженість між оцінками. Це дослідження підкреслило, що ШІ може мінімізувати суб'єктивні помилки, часто присутні при ручному оцінюванні. Використання ШІ дозволяє отримати більш стандартизовані результати, що особливо важливо при оцінці розвитку скелетної системи у підлітків.

**3. Глибокі нейронні мережі ефективні у розпізнаванні структур кісток, що дозволяє зменшити вплив людського фактора.** У дослідженні Lee і співавт. [23] було показано, що глибокі нейронні мережі можуть успішно ідентифікувати структури кісток на рентгенограмах, що дозволяє

знизити залежність від людського фактора. Це особливо актуально для методів, де важлива висока точність і стабільність результатів при великій кількості обробок зображень.

**4. Алгоритми глибокого навчання доводять високу точність порівняно з традиційними методами оцінки.** Спампінато і співавт. [24] довели, що глибокі нейронні мережі здатні автоматично розпізнавати структурні особливості кісток з точністю, порівнянною з результатами, отриманими експертами. Це дослідження підкреслило важливість глибокого навчання для забезпечення стабільних результатів при використанні класичних методів оцінки, таких як TW3.

**5. Автоматизовані системи на базі ШІ дозволяють мінімізувати затрати часу та підвищити ефективність діагностики.** Kim і співавт. [25] досліджували використання ШІ для автоматизованої оцінки кісткового віку та виявили, що програми, засновані на глибокому навчанні, можуть значно скоротити час аналізу зображень. Це дає змогу лікарям зосередитися на інших аспектах лікування, що в загальному підвищує ефективність роботи у клінічній практиці.

**6. ШІ моделі забезпечують надійні результати для діагностики на великомасштабних базах даних.** Larson і співавт. [26] продемонстрували успішне використання нейронних мереж для діагностики на великих базах даних. Їхнє дослідження підтвердило, що ШІ здатний забезпечити стабільну точність при обробці великої кількості зображень, що дозволяє використовувати його у великих клінічних дослідженнях та при масових обстеженнях.

**7. ШІ моделі можуть бути налаштовані для специфічних клінічних задач, таких як оцінка дозрівання кісток у підлітків.** Igloukov і співавт. [27] зосередилися на налаштуванні алгоритмів для точного визначення стадії дозрівання кісток у підлітків. Це дослідження підкреслило, що моделі ШІ можна адаптувати до специфічних задач у клінічній ортодонції, де важливо визначити оптимальний час для ортодонтичного втручання.

**8. Педіатричні дослідження підтверджують користь використання ШІ для автоматизованої оцінки кісткового віку.** Halabi та співавт. [28] підкреслили, що штучний інтелект може бути особливо корисним у педіатрії для оцінки кісткового віку, оскільки він зменшує суб'єктивну варіабельність оцінок. У випадку педіатричних пацієнтів, де діагностика повинна бути особливо ретельною, ШІ забезпечує надійність результатів та допомагає лікарям зосередитися на інших важливих аспектах лікування.

**9. ШІ сприяє кращому виявленню анатомічних маркерів для визначення кісткового віку.** Пайер і співавт. [29] продемонстрували, що алгоритми ШІ можуть інтегрувати просторову конфігурацію в регресійні моделі для локалізації маркерів, що значно підвищує точність діагностики. Це важливо для забезпечення оптимальної точності при оцінці розвитку скелетної системи у підлітків.

**10. Моделі ШІ здатні виконувати автоматичну оцінку кісткового віку за допомогою сучасних алгоритмів глибокого навчання.** Педіатричні дослідження підтверджують користь використання ШІ для автоматизованої оцінки кісткового віку. Halabi і співавт. [28] підкреслили, що штучний інтелект може бути особливо корисним у педіатрії для оцінки кісткового віку, оскільки він зменшує суб'єктивну варіабельність оцінок. У випадку педіатричних пацієнтів, де діагностика повинна бути особливо ретельною, ШІ забезпечує надійність результатів та допомагає лікарям зосередитися на інших важливих аспектах лікування.

**11. Сучасні алгоритми ШІ можуть автоматично оцінювати кістковий вік з високою точністю.** У дослідженні Zhou і співавт. [30] було показано, що сучасні алгоритми ШІ, такі як згорткові нейронні мережі, можуть автоматично оцінювати кістковий вік з високою точністю. Це відкриває можливості для широкого впровадження ШІ в ортодонтичну практику, що може значно підвищити швидкість і точність діагностики.

## Determination of Bone Age for Orthodontic Treatment Planning and the Prospects for Using Artificial Intelligence in Bone Age Diagnosis in Adolescents (Literature Review)

Savichuk N., Lykhota K., Pekhno V.

Shupyk National University of Health Care of Ukraine

**Relevance.** Bone age determination is an essential step in orthodontic treatment. The article reviews modern methods of bone age assessment, including hand radiography and cervical vertebrae analysis. The advantages and disadvantages of each method are discussed. Practical recommendations for their use in clinical practice are provided. Precise identification of peak bone growth periods helps prevent

Таблиця 2.

**Порівняння джерел літератури,  
де використовувався ШІ в променевої діагностиці**

№	Автор(и)	Рік	Тип дослідження	Завдання дослідження	Результати
1	Durka-Zajac M., Marcinkowska A., Mitus-Kenig M.	2013	Огляд	Оцінка кісткового віку за допомогою цефалометричних зображень	Дослідження показало, що результати кісткового віку, отримані за знімками кісті та цефалометричними зображеннями шийних хребців, мають високу кореляцію. Це дозволяє зменшити кількість необхідних додаткових рентгенівських знімків.
2	Durka-Zajac M., Marcinkowska A.	2013	Стаття	Оцінка кісткового віку за рентгеном кісті у підлітків	Автори виявили, що рентгенографічні знімки кісті ефективно визначають кістковий вік у підлітків, допомагаючи прогнозувати фази росту та підбирати відповідне лікування.
3	Куредова В. Д., Головка Н. В., Дмитренко М. І.	2015	Стаття	Аналіз кісткового віку у пацієнтів з аномаліями зубощелепного апарату	Автори виявили, що оцінка кісткового віку є критичною для визначення оптимального часу ортодонтичного лікування у підлітків з аномаліями зубощелепного апарату. Дослідження показало, що кістковий вік, оцінений за допомогою рентгенівських знімків кісті, суттєво корелює з прогнозом росту щелеп і формуванням прикусу. Автори рекомендують враховувати кістковий вік як важливий показник для більш точного планування лікування, зокрема у випадках, що потребують корекції прикусу.
4	Дмітрієв М. О.	2015	Дисертація	Оцінка рентгенодіагностики при ортодонтичному лікуванні	Виявлено, що деталізовані знімки дозволяють покращити діагностику патологій щелепно-лицьової зони й вибір терапії.
5	Derwich M., Marcinkowska-Mitus A., Łoboda M.	2016	Огляд	Представлення різних методів оцінки кісткового віку за цефалометричними зображеннями	Огляд підтвердив, що цефалометричні знімки є надійним методом оцінки зрілості кісток, особливо при плануванні ортодонтичного лікування. Цей метод дозволяє визначити оптимальний час для початку лікування, не вимагаючи додаткового радіаційного навантаження.
6	Dr. V. Vakhovskiy	2016	Стаття	Оцінка нових методів аналізу кісткового віку у підлітків	Підтверджено ефективність AI для автоматизованої оцінки кісткового віку, що покращує швидкість та точність діагностики.
7	Durka-Zajac M., Mitus-Kenig M.	2016	Оглядова стаття	Розгляд методів діагностики для визначення віку кісток на основі рентгенографії шийних хребців	Метод Vassetzкі показав найвищу точність для визначення кісткового віку у підлітків, що робить його популярним у стоматології.
8	Клітинська О. В., Костенко Є. Я., Бородач В. О.	2018	Методичний посібник	Надання інструкцій для ортодонтів щодо діагностики аномалій	У посібнику детально розроблено протоколи оцінки зубощелепних аномалій у пацієнтів, орієнтовані на стадії розвитку та кістковий вік. Автори підкреслюють необхідність інтеграції даних про зрілість кісток для прогнозування змін прикусу під час лікування.
9	Вишемирська Т. А.	2018	Дисертація	Аналіз методів визначення кісткового віку у дітей	Показано, що цефалометричні знімки є надійним методом для оцінки кісткової зрілості, зокрема у дітей із зубощелепними аномаліями.
10	Dallora A.L., Anderberg P., Kvist O., Mendes E.	2019	Систематичний огляд та мета-аналіз	Аналіз методів машинного навчання для оцінки кісткового віку	Огляд показав, що методи машинного навчання можуть підвищити точність та автоматизацію оцінки кісткового віку, але дослідження має прогалини у вивченні нерадіаційних методів та багатозональних підходів до оцінки.
11	Booz C., Yel I., Wichmann J.L.	2020	Стаття	Оцінка точності AI для визначення кісткового віку в порівнянні з методом Грейліха і Пайла.	Дослідження показало, що AI має вищу точність, ніж традиційний метод Greulich and Pyle, і значно скорочує час обробки знімків. AI може суттєво підвищити ефективність оцінки кісткового віку в повсякденній практиці, зменшуючи вплив людського фактора.
12	Сторожук Д., Костецький А. В.	2020	Дисертація	Дослідження рентгенодіагностичних методів для оцінки аномалій ВНЧС.	Дисертація виявила, що метод конусно-променевої томографії (СВСТ) є дуже ефективним для оцінки складних випадків аномалій співвідношення зубних рядів та ВНЧС, забезпечуючи високу деталізацію.
13	Dr. Storożchuk	2020	Стаття	Вивчення впливу різних рентгенодіагностичних методів на діагностику аномалій співвідношення зубних рядів.	Показано, що КТ має найвищу точність для визначення аномалій Скронено-нижньощелепного суглобу, що допомагає в плануванні лікування.

Таблиця 2 (продовження).

№	Автор(и)	Рік	Тип дослідження	Завдання дослідження	Результати
14	Christian Booz, Ibrahim Yel	2020	Дослідження	Оцінка точності AI у визначенні кісткового віку у порівнянні з методом Greulich-Pyle.	AI показав високу точність і надійність при оцінці кісткового віку, знижуючи потребу в ручному аналізі і значно скорочуючи час оцінки.
15	Seo H., Hwang J., Jeong T., Shin J.	2021	Стаття	Порівняння моделей глибокого навчання для класифікації стадій дозрівання шийних хребців.	Виявлено, що модель Inception-ResNet-v2 показала найвищу точність для класифікації стадій дозрівання шийних хребців, що може сприяти вдосконаленню діагностики у стоматологічній та ортодонтичній практиці.
16	Jaeloop Hwang, Taesung Jeong, Jonghyun Shin	2021	Огляд	Порівняння алгоритмів глибокого навчання для визначення дозрівання шийних хребців.	Показано, що модель Inception-ResNet-v2 є найбільш ефективною для визначення стадії дозрівання, що сприяє покращенню діагностики у стоматології.
17	Zhao K., Ma S., Sun Z., Liu X.	2022	Наукова стаття	Дослідження ефективності AI в покращенні інтерпретативної консистентності при оцінці кісткового віку.	AI-система показала значне зниження варіабельності між та всередині спостерігачів, що покращило точність та узгодженість результатів у клінічній діагностиці кісткового віку дітей.
18	В. Ваховський	2022	Наукове дослідження	Дослідження методів оцінки кісткового віку за цефалометричними зображеннями.	Показано, що цефалометричні дослідження можуть точно оцінити кістковий вік, що робить їх ефективним інструментом в ортодонтичній діагностиці для визначення періодів росту.
19	Zhao et al.	2022	Наукова стаття	Дослідження AI для зменшення інтерпретативної варіабельності при оцінці віку у дітей.	AI покращив узгодженість між спостерігачами та знизив варіабельність при повторних оцінках, що робить його корисним інструментом у педіатрії.
20	Kai Zhao, Shuai Ma, Zhaonan Sun	2022	Наукова стаття	Дослідження AI для зменшення інтерпретативної варіабельності при оцінці віку у дітей.	Значно покращено інтерпретативну точність та надійність, знижено кількість похибок при повторних оцінках.

Таблиця 3.

### Порівняння джерел літератури, де використовувався ШІ для визначення кісткового віку

№	Автор(и)	Рік	Тип дослідження	Завдання дослідження	Результати
1	Gertych A., Zhang A., Sayre J., et al.	2007	Оцінка надійності	Вивчити надійність цифрового атласу для оцінки кісткового віку.	Цифровий атлас для оцінки кісткового віку забезпечив високу узгодженість результатів між спостерігачами та знизив варіабельність між повторними оцінками, що свідчить про його надійність для клінічної практики.
2	Thodberg H. H., Kreiborg S., Juul A., Pedersen K. D.	2009	Технічна розробка	Розробити метод BoneXpert для автоматизованого визначення кісткового віку.	BoneXpert дозволяє автоматизовано оцінювати кістковий вік, забезпечуючи мінімальну похибку у порівнянні з ручним аналізом. Результати дослідження підтверджують можливість точного прогнозування росту кісток за допомогою даної технології.
3	Lee H., Tajmir S., Lee J., Zissen M., Yeshiwas B. A., et al.	2017	Ретросп. дослідження	Оцінити ефективність ШІ для автоматизованого визначення кісткового віку.	Виявлено, що модель ШІ змогла визначити кістковий вік з точністю, близькою до ручної оцінки лікарів. ШІ продемонстрував здатність знизити час обробки даних, забезпечивши при цьому стабільні результати, що дозволяє оптимізувати діагностику в клінічній практиці.
4	Spampinato C., Palazzo S., Giordano D., Aldinucci M., et al.	2017	Експерим. дослідження	Дослідити використання глибокого навчання для оцінки кісткового віку на рентгенівських знімках.	Алгоритми глибокого навчання досягли високої точності, порівняної з експертною оцінкою, що підтверджує можливість їхнього застосування для рутинної діагностики кісткового віку. ШІ також продемонстрував високу узгодженість результатів при повторних вимірюваннях.

Таблиця 3 (продовження).

№	Автор(и)	Рік	Тип дослідження	Завдання дослідження	Результати
5	Kim J. R., Shim W. H., Yoon H. M., Hong S. H., et al.	2017	Оцінка ефективності	Оцінити ефективність автоматизованої програми для визначення кісткового віку.	Автоматизована програма, заснована на ШІ, значно зменшила час оцінки та одночасно підтримувала точність діагностики на рівні ручного аналізу, що може підвищити швидкість обробки даних в ортодонтичній практиці.
6	Larson D. B., Chen M. C., Lungren M. P., Halabi S. S., et al.	2018	Дослідж. точності	Визначити точність нейронної мережі для оцінки кісткового віку.	Нейронна мережа показала високу точність у порівнянні з традиційними методами. Зокрема, мережа продемонструвала меншу похибку при оцінці кісткового віку, що свідчить про її надійність для широкого застосування.
7	Iglovikov VI, Rakhlin A, Kalinin AA, Shvets A.	2018	Дослідж. нейронних мереж	Оцінка конволюційних нейронних мереж для визначення кісткового віку.	Конволюційна нейронна мережа досягла високої точності у порівнянні з ручним аналізом. Вона продемонструвала здатність до автоматизації рутинної діагностики та значно зменшила час обробки знімків.
8	Halabi S. S., Prevedello L. M., Kalpathy-Cramer J., et al.	2019	Змагання з машинного навчання	Проаналізувати результативність моделей ШІ на основі RSNA змагань для визначення кісткового віку.	Під час змагань з машинного навчання було розроблено кілька моделей, які продемонстрували високу точність при оцінці кісткового віку. Моделі змогли забезпечити узгодженість та надійність результатів навіть для складних випадків.
9	Payer C., Štern D., Bischof H., Urschler M.	2019	Моделне дослідження	Інтегрувати просторову конфігурацію у нейронну мережу для локалізації анатомічних точок.	Просторова конфігурація в нейронній мережі покращила локалізацію анатомічних маркерів, що дозволило підвищити точність діагностики та оптимізувати автоматизовану оцінку.
10	Zhou X., Li C., Wang X., Wei X., Zeng S., et al.	2020	Оцінка алгоритму	Оцінка алгоритму ШІ для автоматизованого визначення кісткового віку.	Алгоритм ШІ показав точні результати, порівняні з ручною оцінкою, демонструючи свою потенційну ефективність для рутинного використання у клінічній практиці, особливо для складних та нетипових випадків.

relapses and ensures the stability of orthodontic treatment outcomes.

**Objective:** to analyze modern methods of bone age determination, including hand radiography and cephalometric approaches, evaluating their reliability and practical significance for orthodontics.

**Review Methods.** A literature review of scientific publications was conducted to cover traditional and modern approaches to bone age determination. The focus is placed on hand radiography, cephalometric methods, and emerging advancements like artificial intelligence that may improve diagnostic accuracy and reduce subjectivity.

**Key Methods in Bone Age Determination.** The review discusses the Greulich-Pyle method, based on comparing hand radiographs to standard images, the Tanner-Whitehouse method, which involves a detailed analysis of ossification zones, and the Baccetti cephalometric method, which reduces the need for additional radiation exposure for patients.

**Conclusions.** Modern methods of bone age determination are reliable tools for predicting bone growth in adolescents, which is critical for effective orthodontic treatment planning. The advancement of artificial intelligence holds promise for further improving diagnostic methods, increasing the speed and accuracy of skeletal maturity assessments.

**Keywords:** bone age, adolescents, X-ray diagnostics, orthodontics, cephalometry.

*Савичук Наталія Олегівна* — доктор медичних наук, професор, проректор з наукової роботи НУОЗ України ім. П. Л. Шупика  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9532-665X>.

*Лихота Костянтин Миколайович* — доктор медичних наук, професор кафедри терапевтичної стоматології НУОЗ України ім. П. Л. Шупика  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0912-6470>.

*Пехньо Василь Васильович* — кандидат медичних наук, доцент кафедри ортопедичної стоматології, цифрових технологій та імплантології НУОЗ України ім. П. Л. Шупика  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0075-6225>.

*Стаття: надійшла до редакції 15.11.2024 р.  
— прийнята до друку 10.12.2024 р.*



# БЕЗКОШТОВНЕ ОРТОДОНТИЧНЕ ЛІКУВАННЯ ДІТЕЙ, БАТЬКИ ЯКИХ ЗАГИНУЛИ НА ВІЙНІ З росією



Цей проект започаткований в 2014 році Асоціацією Ортодонтів України з легкої руки президента Любові Смаглюк.

За цей час ми вилікували багато дітей та бійців ЗСУ.

Якщо ви ортодонт і бажаєте приєднатися,  
телефонуйте куратору проекту.

Куратор проекту

Суздальцев Олег **050 469 40 65**