



УДК 616.31:616.742.7-073:004.8

DOI <https://doi.org/10.32782/3041-1394.2025-2.10>

А.М. Потанчук, доктор медичних наук, професор, завідувач кафедри стоматології післядипломної освіти ННІ стоматології та лабораторної медицини ДВНЗ «Ужгородський національний університет», вул. Університетська, 16а, м. Ужгород, Україна, 88000, anatoliy.potarчук@uzhnu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0001-9857-1407>

В.М. Алмаши, доктор філософії (PhD), доцент, доцент кафедри стоматології післядипломної освіти ННІ стоматології та лабораторної медицини ДВНЗ «Ужгородський національний університет», вул. Університетська, 16а, м. Ужгород, Україна, 88000, vasil.almashi@uzhnu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-2943-4844>

Ю.І. Брецько, аспірант кафедри стоматології післядипломної освіти ННІ стоматології та лабораторної медицини ДВНЗ «Ужгородський національний університет», вул. Університетська, 16а, м. Ужгород, Україна, 88000, yurii.bretsko@uzhnu.edu.ua, <https://orcid.org/0009-0008-1582-3268>

СУЧАСНА КОНЦЕПЦІЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ДИСФУНКЦІЙ СКРОНЕВО-НИЖНЬОЩЕЛЕПОВОГО СУГЛОБУ З ЕЛЕМЕНТАМИ ІНТЕГРАЦІЇ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

Вступ. Шлях до інтеграції МРТ у повсякденну стоматологічну практику пов'язаний із подоланням викликів, пов'язаних із вартістю, доступністю та стандартизацією протоколів візуалізації. Науковці та клініцисти активно досліджують способи оптимізації МРТ для діагностики у дентомаксилофасціальній ділянці, маючи на меті підвищення якості обслуговування пацієнтів і раннє виявлення патологій.

Мета дослідження. Провести огляд та аналіз наукових даних про можливість і ефективність застосування сучасних методів візуалізації розладів скронево-нижньощелепного суглобу із застосуванням елементів штучного інтелекту.

Матеріали та методи дослідження. Відбір публікацій, пов'язаних із темою дослідження, здійснювали в наукових базах даних Scopus, PubMed, BVS та SciELO з використанням таких ключових слів: магнітно-резонансна томографія (МРТ), скронево – нижньощелепний суглоб (СНЩС), штучний інтелект (ШІ), патологія, візуалізація, стоматологія, щелепно-лицева ділянка (ЩЛД). До огляду включали оригінальні наукові статті, результати досліджень та офіційні рекомендації медичних асоціацій. Критерієм включення були публікації з позитивними результатами у досліджуваних групах. Зібрані матеріали аналізували відповідно до принципів контент-аналізу з подальшою систематизацією та класифікацією даних із використанням програмного забезпечення CADIMA.

Результати. Новітні підходи ШІ в медицині поки не застосовувалися для оцінки СНЩС. Наприклад, візуальні трансформери – інноваційна архітектура, здатна виявляти глобальні залежності у зображеннях – можуть подолати обмеження згорткових нейронних мереж Convolutional Neural Networks (CNN) щодо локальності аналізу пікселів. Гібридизація CNN із трансформерами пропонується як спосіб покращення моделей. Лише одне дослідження згадувало трансформер, однак не наводило результатів, що варто розглянути в майбутніх роботах. У цьому систематичному огляді оцінено ефективність моделей штучного інтелекту у виявленні дисків СНЩС та діагностиці внутрішніх порушень диска на МРТ-знімках. Алгоритми ШІ продемонстрували обнадійливі результати при виявленні диска СНЩС, виросткового відростка та суглобового горбика, а також при класифікації положення диска, з точністю від 0,70 до 0,99 у порівнянні з експертами-радіологами. Проведення метааналізу було неможливим через велику гетерогенність застосованих моделей ШІ та характеристик наборів даних.

Висновки. Інтеграція ШІ, зокрема глибинного навчання, у МРТ-дослідження СНЩС демонструє стабільно високі результати як інструмент допомоги в діагностиці: для сегментації структур СНЩС та класифікації положення диска. Подальші багатоцентрові дослідження з використанням різномірних



даних необхідні для підвищення валідності та можливості узагальнення результатів перед впровадженням моделей у клінічну практику.

Ключові слова: магнітно-резонансна томографія (МРТ), скронево – нижньощелепний суглоб (СНЩС), штучний інтелект (ШІ), патологія, візуалізація, стоматологія, щелепно-лицева ділянка (ЩЛД).

A.M. Potapchuk, Doctor (Candidate) of Medical Sciences, PhD, Professor; Head of the Department of Postgraduate Dental Education at the Institute of Dentistry and Laboratory Medicine, Uzhhorod National University, 16a Universytetska St., Uzhhorod, Ukraine, 88000, anatoliy.potapchuk@uzhnu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0001-9857-1407>

V.M. Almashi, PhD, Associate Professor; Associate Professor at the Department of Postgraduate Dentistry, Institute of Dentistry and Laboratory Medicine, Uzhhorod National University, 16a Universytetska St., Uzhhorod, Ukraine, 88000, vasil.almashi@uzhnu.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-2943-4844>

Yu.I. Bretsko, PhD student at the Department of Dentistry of Postgraduate Education, Institute of Dentistry and Laboratory Medicine, Uzhhorod National University, 16a Universytetska St., Uzhhorod, Ukraine, 88000, yurii.bretsko@uzhnu.edu.ua, <https://orcid.org/0009-0008-1582-3268>

MODERN CONCEPT OF VISUALIZATION OF DYSFUNCTIONS OF THE TEMPOROMANDIBIAL JOINT WITH ELEMENTS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE INTEGRATION

Introduction. The incorporation of magnetic resonance imaging (MRI) into routine dental practice is challenged by issues such as cost, limited accessibility, and the lack of standardized imaging protocols. Currently, both researchers and clinicians are actively investigating strategies to optimize MRI use in the dentomaxillofacial region, with the goal of enhancing patient care and facilitating early detection of pathological conditions.

The aim. To review and analyze current scientific evidence regarding the feasibility and effectiveness of advanced imaging techniques for temporomandibular joint disorders, with the integration of artificial intelligence components.

Materials and Methods. Relevant publications were identified through searches of the Scopus, PubMed, BVS, and SciELO databases using the following keywords: magnetic resonance imaging (MRI), temporomandibular joint (TMJ), artificial intelligence (AI), pathology, imaging, dentistry, and the maxillofacial region. The review included original research articles, study findings, and official guidelines issued by medical associations. Only studies reporting positive outcomes in the investigated groups were considered eligible. The selected materials were analyzed using content analysis methods, followed by data organization and classification with the support of CADIMA software.

Results. To date, advanced AI-based approaches have not been widely implemented for TMJ evaluation. Vision transformers, an emerging architecture capable of modeling global image relationships, may help overcome the inherent limitations of convolutional neural networks (CNNs), particularly their focus on local pixel-level features. Hybrid models combining CNNs and transformers have been proposed to enhance performance. However, only one study referenced transformer-based methods without presenting corresponding results, highlighting an area for future research. This systematic review assessed the performance of AI models in detecting the TMJ disc and diagnosing internal derangements based on MRI data. The algorithms demonstrated encouraging performance in identifying key anatomical structures, including the TMJ disc, condylar process, and articular eminence, as well as in classifying disc position, achieving accuracy levels ranging from 0.70 to 0.99 compared to expert radiologists. A meta-analysis could not be conducted due to substantial heterogeneity among AI models and dataset characteristics.

Conclusions. The application of AI, particularly deep learning techniques, in MRI-based evaluation of the TMJ shows consistently strong potential as a diagnostic support tool, especially for structural segmentation and disc position classification. Further multicenter studies incorporating diverse datasets are necessary to enhance the validity and generalizability of findings prior to clinical implementation.

Key words: magnetic resonance imaging (MRI), temporomandibular joint (TMJ), artificial intelligence (AI), pathology, imaging, dentistry, maxillofacial region.



Вступ. Дисфункція скронево-нижньощелепного суглоба (ДСНЩС) – це узагальнений термін для структурних та/або функціональних порушень, що уражають СНЩС, жувальні м'язи та суміжні анатомічні утворення. Ці порушення можуть клінічно проявлятися болем у ділянці обличчя та перед вухом, суглобовими шумами та обмеженням при відкриванні й закриванні рота [1,2]. Біль, пов'язаний зі скронево-нижньощелепним суглобом (СНЩС), є поширеним явищем у загальній популяції. Лише близько 3–7% пацієнтів із болем у ділянці СНЩС звертаються по медичну допомогу [1,3]. Хоча розлади або дисфункції СНЩС є найчастішими клінічними показаннями для направлення на візуалізаційні дослідження, не менш поширеними є й патології, що безпосередньо уражають кісткові та суглобові структури. Згідно з нещодавнім систематичним оглядом, поширеність ДСНЩС у загальній популяції становить 31%, при цьому зміщення диска є найпоширенішим проявом [4].

Найбільш прийнятними діагностичними критеріями (DC/TMD) для встановлення діагнозу ДСНЩС є клінічне обстеження з підтримкою методів візуалізації [6]. Ці рекомендації визнають магнітно-резонансну томографію (МРТ) еталонним методом оцінки м'якотканинних структур суглоба. МРТ – це неінвазивна методика без використання іонізуючого випромінювання, яка завдяки високому контрасту м'яких тканин забезпечує достовірну оцінку форми та положення диска, а також точну діагностику внутрішніх порушень СНЩС. Водночас інтерпретація МРТ зображень СНЩС є складним процесом, що потребує високої кваліфікації [3]. Враховуючи, що точна діагностика є критично важливою для ефективного планування лікування, було запропоновано нові підходи – зокрема злиття зображень, сегментацію та класифікацію із застосуванням штучного інтелекту (ШІ) – для вдосконалення оцінки СНЩС за МРТ-зображеннями [4–5].

Штучний інтелект (ШІ) – це узагальнене поняття для алгоритмів, що здатні раціонально

мислити та приймати рішення, імітуючи розумову діяльність людини. Його часто визначають як небіологічну здатність розв'язувати складні завдання шляхом аналізу великих обсягів даних і прийняття рішень на основі статистичних методів. Попри схожість на людське раціональне мислення, ШІ фактично виявляє закономірності у даних, працюючи в «чорному ящику», де приховані проміжні етапи прийняття рішень [6]. Машинне навчання (ML) є підрозділом ШІ, який дозволяє комп'ютерам самостійно вивчати закономірності в великих наборах даних [6]. Цей підхід широко застосовується для автоматизованого аналізу медичних зображень із метою діагностики різних захворювань, покращуючи процес постановки діагнозу та, відповідно, терапевтичні рішення [7].

Алгоритми ШІ вже застосовувалися в діагностичній візуалізації ДСНЩС за допомогою різних методів візуалізації [6,7]. За результатами останнього огляду літератури, спостерігається зростаючий інтерес до використання моделей ШІ для досліджень ДСНЩС, зокрема при остеоартриті СНЩС, внутрішніх порушеннях та ювенільному ідіопатичному артриті [6]. Інший систематичний огляд виявив численні моделі ШІ для оцінки остеоартриту СНЩС за знімками конусно-променевої комп'ютерної томографії (КПКТ) і панорамними зображеннями з помірною та високою ефективністю [8].

Пропонуємо розглянути техніки візуалізації, анатомічні особливості та патології СНЩС з особливим акцентом на результати МРТ та застосуванням алгоритмів ШІ для аналізу структур СНЩС та діагностики внутрішніх порушень суглоба за МРТ-знімками шляхом систематичного огляду літератури.

Мета дослідження. Провести огляд та аналіз наукових даних про можливість і ефективність застосування сучасних методів візуалізації розладів скронево-нижньощелепного суглобу із застосуванням елементів штучного інтелекту.

Матеріали та методи. Відбір публікацій, пов'язаних із темою дослідження, здійснювали в наукових базах даних Scopus, PubMed,



BVS та SciELO з використанням таких ключових слів: магнітно-резонансна томографія (МРТ), скронево – нижньощелепний суглоб (СНЩС), штучний інтелект (ШІ), патологія, візуалізація, стоматологія, щелепно-лицева ділянка (ЩЛД). У результаті пошуку було ідентифіковано 122 релевантних наукових публікацій. Глибина пошуку становила 8 років, що дало змогу проаналізувати найбільш актуальні та значущі дані, пов'язані з метою дослідження. До огляду включали оригінальні наукові статті, результати досліджень та офіційні рекомендації медичних асоціацій. Критерієм включення були публікації з позитивними результатами у досліджуваних групах. Зібрані матеріали аналізували відповідно до принципів контент-аналізу з подальшою систематизацією та класифікацією даних із використанням програмного забезпечення CADIMA.

Результати досліджень та їх обговорення.

У червні 2024 року на Європейському конгресі дентомаксиллофасіальної радіології (European Congress of Dentomaxillofacial Radiology, ECDMFR), що відбувся у Німеччині, було представлено першу в історії систему магнітно-резонансної томографії (МРТ), спеціально розроблену для потреб стоматології. Система **MAGNETOM Free.Max Dental Edition** (розроблена компаніями *Dentsply Sirona* та *Siemens Healthineers*) є проривним досягненням у сфері дентальної візуалізації. Магнітно-резонансна томографія стала наріжним каменем сучасної медичної діагностики. Її неінвазивний характер, відсутність іонізуючого випромінювання та винятковий контраст м'яких тканин роблять її надзвичайно цінним діагностичним інструментом. МРТ демонструє високу ефективність у диференціації різних типів м'яких тканин без необхідності використання контрастних речовин. Ця властивість сприяє ранньому виявленню патологічних процесів, точній локалізації пухлин та плануванню лікування [8-9].

Робочий протокол системи **MAGNETOM Free.Max Dental Edition** розроблений як спро-

щений робочий процес, який може виконувати сам стоматолог, – за принципом, подібним до конусно-променевої комп'ютерної томографії (КПКТ, *Cone Beam CT, CBCT*). Основна увага приділяється візуалізації стоматологічної анатомії за допомогою автоматизованих, спеціально налаштованих протоколів сканування. Серед ключових особливостей системи – спеціалізована приймальна котушка для стоматології, оптимізоване отримання зображень із використанням штучного інтелекту (ШІ) та програмного забезпечення, а також можливість виконання повного циклу – підготовка, сканування та прибирання – менш ніж за 20 хвилин. Система застосовує низькотемпературну технологію **DryCool**, що спрощує вимоги до інфраструктури [9].

Основні особливості робочого процесу:

– **Керування стоматологом:** система спеціально спроектована для використання стоматологами, а не лише техніками з МРТ.

– **Спрощене керування:** протокол оптимізовано для зручності – передбачено автоматичне фокусування на анатомічних структурах зубощелепної ділянки.

– **Швидке сканування:** повне обстеження, включно з підготовкою та завершальними етапами, виконується менш ніж за 20 хвилин – подібно до процедури СВСТ.

– **Мінімальний дискомфорт для пацієнта:** пацієнтам не потрібно роздягатися для проведення обстеження, система має ергономічний дизайн і забезпечує комфорт під час сканування.

– **Безрадіаційна візуалізація:** на відміну від рентгенологічних методів, МРТ використовує магнітні поля та радіохвилі, а не іонізуюче випромінювання, що робить її особливо корисною для візуалізації м'яких тканин і нервових структур.

Технічні характеристики:

– **Низька напруженість магнітного поля:** система працює при магнітному полі напруженістю **0,55 Т**, що стало можливим завдяки інноваціям у програмному забезпеченні, ШІ та обробці зображень.



– **Стоматологічна спеціалізація:** пристрій оснащено спеціальною приймальною котушкою та програмними протоколами, розробленими з урахуванням стоматологічних показань.

– **Підтримка штучного інтелекту:** алгоритми ШІ використовуються для підвищення якості зображень і прискорення збору даних.

– **Спрощені вимоги до інфраструктури:** завдяки технології **DryCool**, система потребує


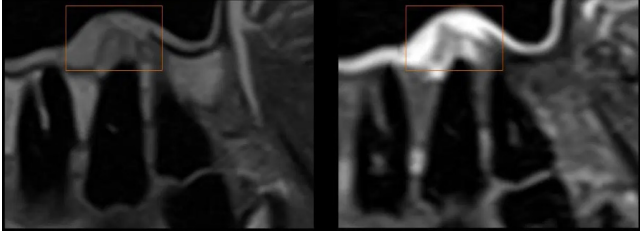
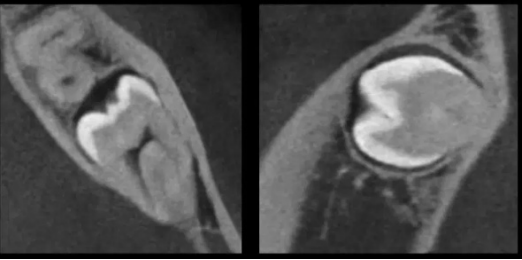
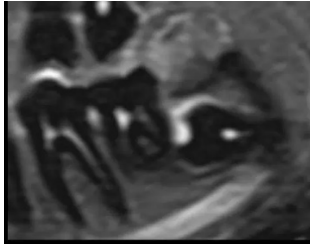
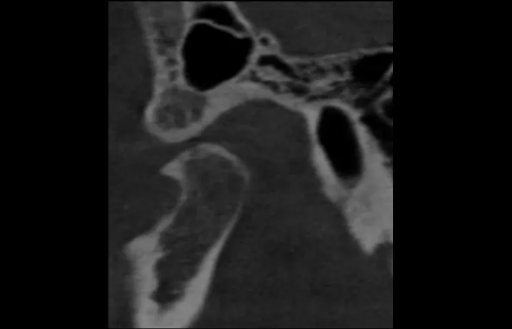
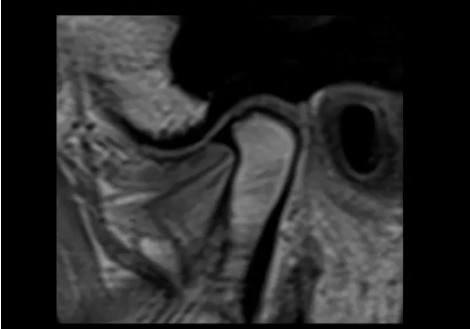
мінімальної кількості гелію (лише **0,7 літра**) і не потребує системи аварійного скидання газу (*quench pipe*), що суттєво знижує вимоги до встановлення.

– **Цілеспрямована візуалізація:** програмне забезпечення може бути налаштоване на зйомку лише зубощелепної ділянки, уникаючи захоплення інших частин тіла.

Крім того, МРТ забезпечує отримання зображень високої роздільної здатності

Таблиця 1

Порівняльна діагностична цінність денто-максиллярної візуалізаційної спроможності КПКТ та МРТ

Зображення КПКТ (конусно-променевої комп'ютерної томографії)	Зображення МРТ (магнітно резонансної томографії)	
		
Візуалізація меж ураження у тривимірному зображенні високої роздільної здатності – без даних щодо стану ураження	«Візуалізація ураження. Візуалізація запалення».	
		
Високоякісна візуалізація положення третього моляра. Брак інформації: критичні м'які тканини.	Візуалізація лицевого нерва відносно третього моляра.	
		
Візуалізація мінералізованої кістки у тривимірному зображенні високої роздільної здатності. Брак інформації: відсутні дані про м'які тканини	Візуалізація скронево-нижньощелепного суглоба (СНЩС) у повному обсязі з відображенням м'яких тканин.	



у кількох площинах (сагітальній, аксіальній та корональній), що дає змогу лікарям всебічно досліджувати анатомічні структури людини. Оскільки метод не передбачає використання іонізуючого випромінювання, він є безпечним для дітей і вагітних жінок. МРТ надає детальні зображення, необхідні для оцінки вроджених аномалій, розвитку головного мозку та дитячих пухлин.

Завдяки здатності виявляти рідини та оцінювати кровотік МРТ застосовується для візуалізації судин без інвазивних втручань – так званої магнітно-резонансної ангиографії (МР-ангиографії). Крім того, технологія дозволяє кількісно визначати вміст рідини в патологічних утвореннях, як це демонструє дифузійно-зважена томографія (*diffusion-weighted imaging, DWI*) [10]. Нарешті, функціональна МРТ (fMRI) дає змогу візуалізувати не лише анатомічну будову, а й активність головного мозку шляхом відстеження змін кровотоку під час виконання когнітивних завдань [11]. Отже, завдяки своїй універсальності, безпечності та здатності відображати як структуру, так і функцію органів, МРТ посідає центральне місце в сучасній медицині, маючи значний вплив на лікувально-діагностичний процес у різних галузях.

Фахівці-стоматологи швидко усвідомили потенціал МРТ завдяки її здатності забезпечувати виняткову диференціацію м'яких тканин. Проте практичне використання МРТ у стоматології залишалося обмеженим. Традиційні методи – панорамна рентгенографія та конусно-променева комп'ютерна томографія (КПКТ, *cone beam computed tomography, CBCT*) – залишалися стандартом візуалізації, тоді як МРТ здебільшого застосовувалася для дослідження голови та шиї, зокрема скронево-нижньощелепного суглоба, дихальних шляхів, слинних залоз і м'якотканинних патологій. Серед переваг МРТ – відсутність іонізуючого випромінювання та висока роздільна здатність у візуалізації м'яких тканин [11].

Визнаючи високу діагностичну цінність інших методів візуалізації, МРТ залишається

унікальною завдяки здатності поєднувати анатомічне зображення з кількісною оцінкою функціональних характеристик тканин на макро-, мікро- й навіть молекулярному рівнях. Водночас застосування МРТ у повсякденній стоматологічній практиці стикається з низкою труднощів: складною анатомією дентомаксиллофациальної ділянки, що містить різні тверді та м'які тканини, повітряні й рідинні порожнини; появою артефактів, спричинених рухом або наявністю металу; а також високою вартістю та обмеженою доступністю технології.

Оскільки більшість стоматологічних процедур спрямована на дослідження твердих тканин – зубів і альвеолярної кістки – традиційні системи МРТ не забезпечують достатньої якості зображень структур із щільно зв'язаними атомами водню, таких як кортикальна кістка, дентин і емаль. Крім того, стоматологи мають обмежені рекомендації щодо показань до використання МРТ і рідко мають доступ до відповідного обладнання у стоматологічних клініках.

Попри це, тривають активні дослідження, спрямовані на інтеграцію МРТ у стоматологію. Зокрема, розробляються спеціалізовані послідовності сканування та обладнання, адаптовані для дентальної візуалізації, з метою скорочення часу отримання зображень і зменшення загальної вартості [12].

Огляд наукових публікацій, опублікований у 2023 році, показав, що можливі застосування МРТ у стоматологічних дослідженнях охоплюють широкий спектр завдань: від цефалометрії в ортодонтії та ортопедії щелепно-лицевої ділянки до виявлення запалення зубної пульпи, характеристики періапикальних і крайових пародонтальних патологій, діагностики карієсу, візуалізації нижнього альвеолярного нерва, ретинованих зубів і анатомічних структур щелеп для планування дентальних імплантатів. Застосування спеціалізованих протоколів та індукційних котушок підвищує якість зображень, особливо при візуалізації складних структур щелепно-лицевої ділянки [13].



Попри перспективність цих напрямів, більшість із них досі залишаються на стадії наукових досліджень. Практичне впровадження стикається з технічними та економічними перешкодами. Важливо відзначити, що до недавнього часу не існувало спеціалізованої системи МРТ, повністю адаптованої для потреб стоматологічної діагностики.

У червні 2024 року ситуація докорінно змінилася: у Фрайбурзі (Німеччина) було представлено першу систему магнітно-резонансної томографії, спеціально призначену для стоматології. За інформацією виробників, пристрій оснащено спеціальною приймальною котушкою, адаптованою до потреб стоматологічних досліджень, що покращує позиціонування пацієнта та забезпечує високу якість зображень. Сканувальні протоколи, розроблені з урахуванням конкретних стоматологічних показань, спрощують процес отримання МР-зображень. Автоматизований режим фокусування на анатомічних структурах зубощелепної ділянки забезпечує оператору необхідні орієнтири під час дослідження.

Оптимізований робочий процес дозволяє виконати підготовку пацієнта, сканування та прибирання приміщення менш ніж за 20 хвилин, що можна порівняти за тривалістю із проведенням КТ-дослідження за допомогою конусно-променевого томографа (КПКТ). Крім того, система має значно менші габарити порівняно з традиційними МРТ-сканерами – лише 24 м² – і використовує практично безгелієву технологію охолодження, що істотно зменшує вимоги до інфраструктури. Новостворений пристрій насамперед орієнтований на стоматологічні школи та університети по всьому світу. Виробники наголошують, що робочий процес розроблений спеціально з урахуванням потреб стоматологів як основних користувачів системи [5]. Початкові дослідження засвідчили перспективність цієї технології для безрадіаційної візуалізації у таких сферах, як видалення третіх молярів, ендодонтія, діагностика патологій скронево-нижньощелепного суглоба, ортодонтія та пародонтологія [14].

Шлях до інтеграції МРТ у повсякденну стоматологічну практику пов'язаний із подоланням викликів, пов'язаних із вартістю, доступністю та стандартизацією протоколів візуалізації. Науковці та клініцисти активно досліджують способи оптимізації МРТ для діагностики у дентомаксилофаціальній ділянці, маючи на меті підвищення якості обслуговування пацієнтів і раннє виявлення патологій. Імовірно, у недалекому майбутньому стоматологічна МРТ стане невід'ємною частиною цифрового робочого процесу у різних видах стоматологічного лікування – подібно до того, як КТ із конусним променем сьогодні є стандартом у повсякденній практиці, зокрема в ортопедичній стоматології [11,13,14]. Для досягнення оптимальних функціональних і естетичних результатів у протетичному лікуванні МРТ може забезпечити надзвичайно цінну інформацію. Наприклад, вона дає змогу точно візуалізувати структури скронево-нижньощелепного суглоба, що допомагає оцінити наявність суглобових розладів, зміщення диска та дегенеративні зміни. Також стоматологічна МРТ дає можливість оцінити стан м'яких тканин навколо дентальних імплантатів, виявити запалення та визначити якість кісткової тканини в ділянці імплантації.

Планування протетичного лікування часто включає складні клінічні випадки, зокрема повну реабілітацію зубних рядів або виготовлення протезів на імплантатах. У таких ситуаціях МРТ допомагає визначати анатомічні варіації, виявляти приховані патологічні процеси та оптимально планувати розміщення імплантатів. Крім того, МРТ сприяє оцінюванню функції жувальних м'язів, що є ключовим для правильного проектування оклюзійних схем і досягнення гармонійного змикання зубів.

Отже, інтеграція стоматологічної МРТ у цифровий робочий процес протезування відкриває перспективи для вдосконалення діагностики, індивідуалізації лікування та покращення клінічних результатів, підвищуючи рівень надання стоматологічної допомоги загалом.



Методи візуалізації. Для візуалізації скронево-нижньощелепного суглоба (СНЩС) доступні різноманітні методи. До неінвазивних належать звичайна рентгенографія, ультразвукове дослідження (УЗД), комп'ютерна томографія (КТ) та магнітно-резонансна томографія (МРТ); до інвазивних – артрографія. Кожен із методів має свої діагностичні показання. Звичайна рентгенографія має обмежену діагностичну цінність при оцінюванні СНЩС. Вона дозволяє візуалізувати лише кісткові елементи суглоба. Рентгенографія не дає достовірної інформації щодо некісткових структур, таких як хрящ або прилеглі м'які тканини. Крім того, вона не дозволяє виявити наявність випоту в суглобі, який часто супроводжує біль та зміщення диска. Ще одним суттєвим недоліком є накладання тіней сусідніх анатомічних структур, що ускладнює інтерпретацію зображень. Для зменшення цього ефекту використовують спеціальні проекції, зокрема субментовертексну, трансмаксиллярну та транскраніальну.

Ультразвукове дослідження – недорогий і легко здійснюваний метод візуалізації СНЩС. Це зручний спосіб виявлення наявності випоту в суглобі [15]. Також УЗД використовується для оцінки хряща та зміщення диска в положеннях із відкритим та закритим ротом [15]. Крім того, ультразвук застосовують для підконтрольного введення препаратів у суглоб – як з діагностичною, так і з лікувальною метою [16]. Зазвичай застосовується лінійний датчик з частотою 8 МГц або вище. Пацієнт має лежати на спині, а датчик розміщують паралельно лінії, що проходить від козелка вуха до латеральної поверхні носа – безпосередньо над СНЩС.

Комп'ютерна томографія (КТ) – ефективний метод оцінки кісткових структур СНЩС та прилеглих м'яких тканин. КТ є методом вибору при діагностиці переломів, дегенеративних змін, ерозій, інфекційного ураження, інвазії пухлин, а також вроджених аномалій [16].

Стандартний протокол включає: 120 кВ, 100 мА, колімація 1 мм, крок 1 мм/оберт, дослі-

дження в положенні із закритим ротом. КТ також дає змогу створювати тривимірні реконструкції, що є корисним при оцінці вроджених вад розвитку та переломів [15].

КТ зазвичай призначають у випадках підозри на ураження кісткових структур за результатами МРТ або за наявності клінічної підозри на первинну кісткову патологію. Порівняно з МРТ, КТ має такі переваги: висока деталізація кісток та можливість 3D-візуалізації вроджених, травматичних і післяопераційних станів.

МРТ у діагностиці СНЩС. Клінічна оцінка СНЩС може бути неспецифічною через схожість симптомів при внутрішніх порушеннях суглоба та міофасціальному больовому синдромі [17]. МРТ є невід'ємною частиною стандартного обстеження у разі підозри на внутрішні структурні порушення, оскільки забезпечує високу роздільну здатність і чудовий контраст м'яких тканин. Це дозволяє детально оцінити як анатомію, так і біомеханіку суглоба в положеннях із відкритим і закритим ротом [15,16,17]. Для оптимального зображення СНЩС використовують двобічні поверхневі котушки малого розміру з вузьким полем зору для досягнення високого співвідношення сигнал/шум та одночасної двосторонньої реєстрації. У положенні із закритим ротом виконують корональні та аксіальні T1-зображення для оцінки загальної анатомії, кісткового мозку та прилеглих м'яких тканин з метою виключення супутньої патології [17].

У положеннях із закритим і відкритим ротом виконуються сагітальні (похилі) зображення у режимах T2, протонної щільності (PD) та динамічні серії. У нашому центрі динамічні зображення отримуються за допомогою швидкого одноразового спин-ехо (SSFSE) у режимі PD у процесі поступового відкривання та закривання рота. Отримані зображення відтворюються у вигляді кінопоследовності (cine-loop). Для контрольованого відкривання рота можуть застосовуватись спеціальні пристрої, наприклад Burnett mouth opening device,



які дозволяють пацієнту поетапно розкривати рота. Водночас зазначається, що пасивне відкриття рота за допомогою таких пристроїв може не повною мірою відображати фізіологічні умови, оскільки латеральний крилоподібний м'яз відіграє активну роль у стабілізації диска під час відкривання.

Похили зображення отримуються під кутом 30° медіально відносно істинної сагітальної площини [18]. Детальні параметри подано в таблиці протоколу МРТ [19]. Загалом необхідно виконати вісім послідовностей згідно з Таблицею 2.

Артрографія – це інвазивна методика візуалізації, що використовується для оцінки СНЩС. Вона передбачає введення радіонепроникної контрастної речовини безпосередньо в порожнину суглоба під контролем рентгеноскопії. Після введення контрасту оцінюють наявність спайок, дисфункції диска, а також перфорації диска – залежно від того, як контраст заповнює суглобову порожнину. На сьогодні артрографія використовується рідко, оскільки МРТ забезпечує неінвазивну оцінку СНЩС без ризику виникнення алергічної реакції на контраст, інфекційних ускладнень або радіаційного навантаження.

Зображення нормального СНЩС на МРТ

На магнітно-резонансних зображеннях кістковий мозок виросткового відростка має високу інтенсивність сигналу у T1-режимі. Кортикальна кістка та суглобовий диск мають низьку інтенсивність сигналу як

у T1-, так і в T2-зважених зображеннях, що зумовлено низькою протонною щільністю та коротким часом T2 [20]. У деяких випадках у центральній частині диска може спостерігатися підвищена інтенсивність сигналу у T2- та PD-режимах, подібно до зволоженого ядра міжхребцевого диска [18,19]. В іншому випадку диск має однорідну структуру, є гіпоінтенсивним і має біконкавальну (двоввігнуту) форму. Центр задньої смуги диска може мати дещо вищу інтенсивність сигналу через наявність пухкої ареолярної тканини. Заднє прикріплення диска зазвичай має вищу інтенсивність сигналу, ніж м'язова тканина у режимах протонної щільності та T1, що обумовлено наявністю жирової тканини. Біламінарна зона візуалізується як структура з проміжною інтенсивністю сигналу.

У положенні із закритим ротом з'єднання задньої смуги з заднім прикріпленням зазвичай розташоване над головкою виростка, близько до умовної 12-ї години. Задня смуга та ретродискова тканина найкраще візуалізуються в положенні з відкритим ротом. У цьому положенні проміжна зона диска розташовується між виростком і суглобовим горбиком, а задня смуга – прилягає до задньої поверхні виростка [19,20]. Верхнє черевце латерального крилоподібного м'яза прикріплюється до передньої смуги диска, а нижнє черевце – до передньої поверхні шийки виростка у вигляді тонкої лінійної гіпоінтенсивної фіброзної смужки. Цю смужку видно трохи нижче за положення диска, і її іноді можна помилково

Таблиця 2

Протокол магнітно-резонансної томографії скронево-нижньощелепного суглоба.

Площина	Послідовність	Товщина зрізу	ЧП	ЧЕ	Положення рота
Аксіальна	T1	2 мм, без пропуску	500	Мінімальне	Закритий рот
Корональна	T1	3 мм, з пропуском 0.5 мм	500	Мінімальне	Закритий рот
Сагітальна (облік, двобічна)	T2 та ПЩ	3 мм	3500	Мінімальне та 85	Закритий і відкритий рот
Сагітальна (облік, двобічна)	T2 (динамічна)	3 мм	1180–2000	64	Динамічна кінопослідовність

*Примітка: ПЩ – протонна щільність, ЧП – час повторного імпульсу, ЧЕ – час ехо.



прийняти за сам диск, особливо коли диск зміщений медіально або латерально [20,21]. У корональній площині диск має півмісяце-подібну форму, а його медіальний і латеральний краї прикріплюються відповідно до медіального та латерального полюсів виростка та капсули суглоба. У нормі капсули не демонструють випинань за межі анатомічних кордонів [21,22].

Патології, пов'язані з анатомічними варіаціями

Анатомічні варіації скронево-нижньощелепного суглоба можуть супроводжуватися симптомами та/або мати значення під час проведення артроскопії й хірургічних втручань. Існує також низка варіантів будови виросткових відростків нижньої щелепи, включно з внутрішньоіндивідуальними відмінностями між лівим і правим боками. Патологічні процеси можуть мати розвиткове походження, бути наслідком ремоделювання у зв'язку з порушенням прикусу, травмою або іншими вторинними вадами розвитку [23].

Біфідний виростковий відросток. Подвійна або дволопатева голівка нижньої щелепи є рідкісною випадковою знахідкою при візуалізації. Хоча етіологія цього явища остаточно невідома, серед можливих причин розглядають залишки вродженої фіброзної перегородки або травми в перинатальному чи ранньому дитячому періоді. Подвійні виростки можуть бути розташовані як у передньо-задній, так і в поперечній площині. Dennison та співавт. [23] пропонують застосовувати термін «біфідний виросток» лише для опису множинних виростків у сагітальній площині. Лікування не потрібне, якщо стан є безсимптомним. Однак хірургічне втручання може знадобитися у разі зміщення диска або анкілозу суглоба (див. рисунок 1).

Отвір Гушка. У деяких осіб зберігається дефект розвитку барабанної пластинки. При народженні вона представлена неповним С-подібним хрящовим кільцем. Із часом відбувається осифікація у бічному та задньому напрямках, що залишає дефект у дні зовніш-



Рис. 1. Біфідний виростковий відросток. Корональне реконструйоване зображення комп'ютерної томографії через скронево-нижньощелепний суглоб (СНЩС) демонструє біфідний лівий виростковий відросток нижньої щелепи. Помітно, що один із виростків (стрілка) менший за інший. У обох СНЩС візуалізуються виражені дегенеративні зміни

нього слухового проходу – так званий foramen tympanicum (отвір Гушка). Із ростом соскоподібного відростка положення цього дефекту зміщується з нижнього до переднього і, як правило, закривається до п'ятирічного віку. У поодиноких випадках зберігається дефект розміром 3–4 мм, який розташований у передньо-нижній частині зовнішнього слухового проходу та позаду й медіальніше від СНЩС. У таких пацієнтів може спостерігатися дефект або поліп передньої стінки зовнішнього слухового проходу, а також слинотеча з вуха під час жування (сіалорея). Тканини СНЩС також можуть випинатися в порожнину слухового проходу під час жувальних рухів [24]. Під час артроскопії можливе випадкове проникнення інструментів у зовнішній слуховий прохід (ЗСП), що може спричинити отологічні ускладнення. Цей отвір також може бути шляхом сполучення між ЗСП та СНЩС або підскроневою ямкою, що створює умови для поширення інфекції, запалення або пухлинного процесу [24] (див. рисунок 2).

Гіпоплазія виросткового відростка. Аплазія та гіпоплазія виросткового відростка нижньої щелепи є наслідком його недорозвитку або повної відсутності і можуть бути

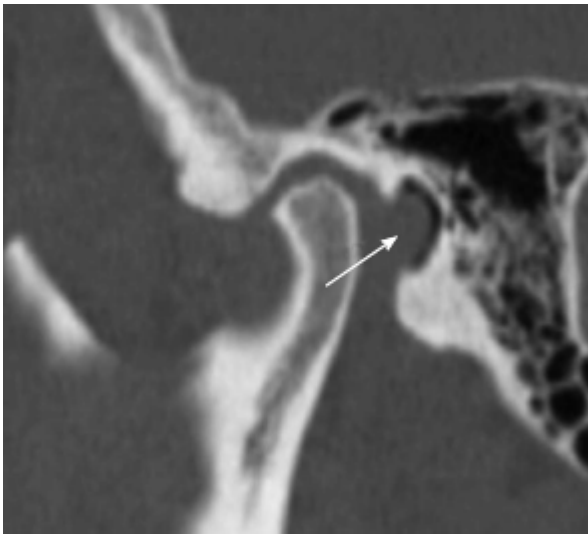


Рис. 2. Отвір Гушка. Сагітальне реконструйоване зображення комп'ютерної томографії через скронево-нижньощелепний суглоб демонструє локальний дефект (стрілка) у барабанній пластинці.

як вродженими, так і набутими (див. рис. 3). Вроджена аплазія або гіпоплазія виросткового відростка – рідкісна аномалія, яка зазвичай спостерігається в межах більш загальних вад розвитку першої та другої зябрових дуг (наприклад, синдром Трічера-Коллінза). Набута гіпоплазія може розвиватися внаслідок дії локальних чинників (травма, інфекція, опромінення) або системних причин (токсичні агенти, ревматоїдний артрит, мукополісахаридоз) [25]. Також описано зв'язок гіпоплазії

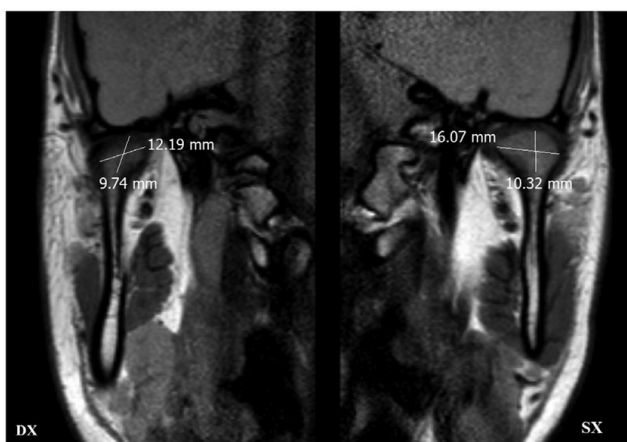


Рис. 3. Гіпоплазія правого виросткового відростка нижньої щелепи

з травматичними пологами через природні родові шляхи [26].

Гіпоплазія може бути однобічною або двобічною. Однобічне ураження спричиняє обертання або нахил нижньої щелепи з відповідною асиметрією обличчя. Діагностика двобічної гіпоплазії може бути утрудненою через збереження симетрії обличчя. Гіпопластичні виросткові відростки часто ускладнюються розвитком анкілозу [26].

Ідіопатична резорбція виросткового відростка. Ідіопатична резорбція виросткового відростка (також відома як кондилоліз або "синдром черлідерки") є захворюванням СНЩС, що переважно уражає дівчат-підлітків. Відзначається швидко прогресуюча ерозія виростка, що призводить до розширення суглобової щілини та ретрогнатії, внаслідок чого підборіддя стає менш вираженим [27]. Серед гіпотетичних причин захворювання розглядають вплив естрогенів на остеогенез, аваскулярний некроз, а також внутрішні порушення СНЩС. Ортогнатична хірургія також розглядається як можлива причина розвитку цієї патології, але одночасно є одним із методів її корекції (див. рисунки 4, 5).

Гіперплазія виросткового відростка. Гіперплазія виросткового відростка – рідкісне захворювання, що характеризується збільшенням об'єму виросткового відростка нижньої щелепи. Часто воно супроводжується

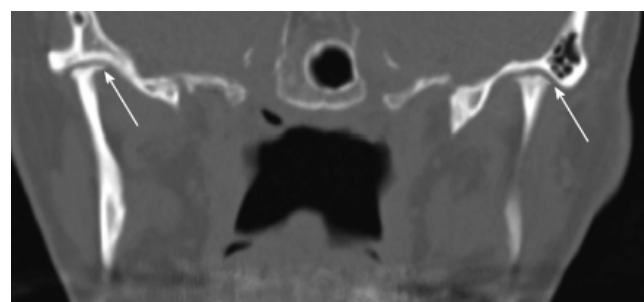


Рис. 4. Ідіопатична резорбція виросткового відростка. Корональне реконструйоване зображення комп'ютерної томографії через скронево-нижньощелепний суглоб у молодого пацієнта демонструє двобічну виражену резорбцію виросткових відростків (стрілки) без ознак дегенеративних змін у порожнині суглоба

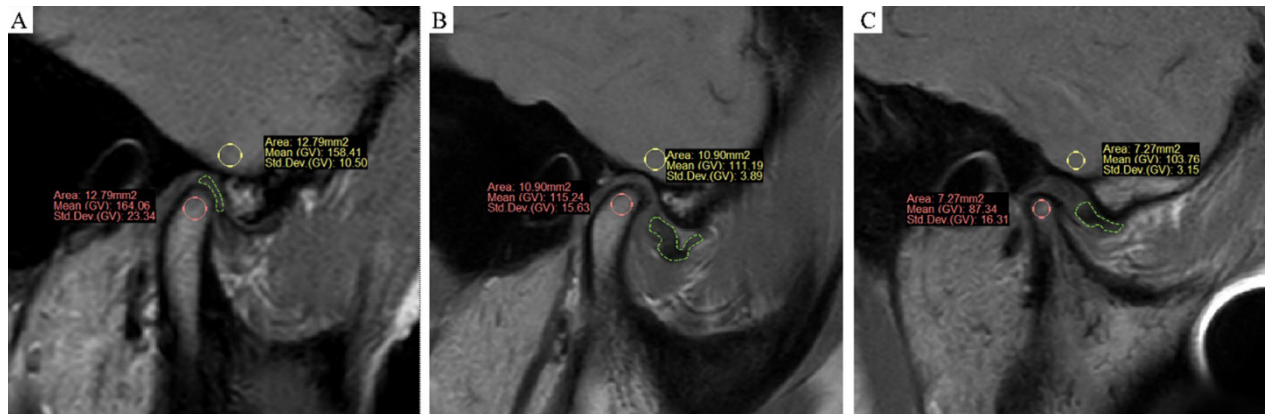


Рис. 5. (А–С) Отримання та вимірювання МРТ-зображень, похила сагітальна площина у положенні з закритим ротом, режим протонної щільності (PDWI). (А) Нормальна група (група 1): суглобовий диск, позначений зеленим кольором, перебуває в нормальному положенні, стан виростка – здоровий. (В) Група з переднім зміщенням диска без резорбції виростка (група 2): спостерігається зміщення диска, але виростковий відросток залишається здоровим. (С) Група з переднім зміщенням диска та резорбцією виростка (група 3): наявне як зміщення диска, так і виражена резорбція форми та об'єму виросткового відростка

збільшенням об'єму гілки та тіла нижньої щелепи [28]. У більшості випадків гіперплазія є однобічним процесом.

Захворювання зазвичай проявляється у другому або третьому десятилітті життя під час активного остеогенезу, що вказує на можливий гормональний вплив. Травма також може спричинити асиметричну гіперплазію виростка через розвиток гіперваскуляризації під час загоєння, що стимулює надмірний остеогенез. Гіперплазія призводить до асиметрії обличчя зі зміщенням підборіддя в протилежний від ураженого бік [28]. Резекція гіперпластичного виросткового відростка зупиняє патологічне зростання та дозволяє відновити симетрію обличчя.

Інтенсивна пневматизація. Інтенсивна пневматизація соскоподібного відростка може поширюватися на гленоїдну ямку та суглобовий горбик. Наявність такої пневматизації слід враховувати перед хірургічним втручанням для запобігання перфорації. Ускладнення під час операцій на СНЩС можуть виникати через надмірне відтягування клаптя, агресивну дисекцію або встановлення гвинтів у випадках протезування гленоїдної ямки та горбика [26,27]. Крім того, пневматизація створює шлях найменшого опору та може

сприяти поширенню пухлин, запальних процесів, інфекції або переломів у порожнину суглоба. Саме тому перед операцією на СНЩС при виявленні інтенсивної пневматизації на ортопантограмі необхідно обов'язково провести КТ [27,28].

Внутрішні порушення скронево-нижньощелепного суглоба

Внутрішнє порушення (ВП) визначається як механічна несправність суглоба, що заважає його нормальному функціонуванню. Це пов'язано з патологічною взаємодією між суглобовим диском, виростковим відростком і суглобовим горбиком. До супутніх клінічних ознак належать суглобовий біль та характерні звуки під час рухів [28]. Зміщення диска є найпоширенішою причиною ВП, хоча не всі випадки зміщення супроводжуються порушенням функції, і навпаки – не всі порушення викликані зміщенням диска [26]. Крім того, невідомо, чи є зміщення причиною болю, наслідком, чи збігається з його зникненням. До ВП також можуть призводити вільні тіла або спайки в суглобі. До 34% безсимптомних осіб мають переднє зміщення диска, а 23% пацієнтів із клінічними ознаками порушення – мають диск у нормальному положенні [28]. За даними великих МРТ-досліджень, близько

80% пацієнтів, направлених на діагностичну візуалізацію СНЩС, мають певну форму зміщення диска.

МРТ є методом вибору для діагностики внутрішніх порушень, забезпечуючи точність 95% у визначенні положення та форми диска і 93% у виявленні змін кісткових структур [28].

Зміщення диска. Зміщення диска класифікується за його положенням відносно виросткового відростка. Диск може зміщуватися вперед (антеріально), антеролатерально, антеромедіально, латерально, медіально або назад (постеріально) [29]. Найпоширеніші варіанти – переднє та антеролатеральне зміщення, які разом становлять понад 80% випадків [26,27]. Зміщення диска додатково класифікують як:

– **переднє зміщення з редукцією (ПЗР)** – диск повертається в нормальне положення при відкриванні рота;

– **переднє зміщення без редукції (ПЗБР)** – диск не повертається на місце (див. рисунки 6 і 7).

Зміщення може бути:

– **повним** – уся медіолатеральна довжина диска зміщена,

– **частковим** – зміщена лише медіальна або латеральна частина.

Часткове зміщення частіше трапляється при ПЗР. Зазвичай латеральна частина диска зміщується вперед, тоді як медіальна залишається на місці – це відоме як ротаційне зміщення диска [29].

При ПЗР диск повертається в нормальне положення при відкриванні рота, спричиняючи характерний «відповідний клац» (див. рисунок 12). При ПЗБР спостерігається обмежене відкривання рота та відхилення щелепи в бік ураження (стан «замкненого суглоба»). З часом розтягнення або перфорація ретро-дискової тканини призводить до деформації диска, що може сприяти поліпшенню амплітуди рухів та зменшенню латерального відхилення при відкриванні рота (див. рисунок 8с). Проте задня смуга диска залишається перед виростком навіть при відкритому роті [30].

ПЗБР частіше асоціюється з дегенеративними змінами в СНЩС. Хоча стан із ПЗР і нормальною кістковою тканиною може залишатися стабільним роками, у підсумку часто прогресує до ПЗБР. У дослідженні de Leeuw та ін. [29] за участі 55 пацієнтів встанов-

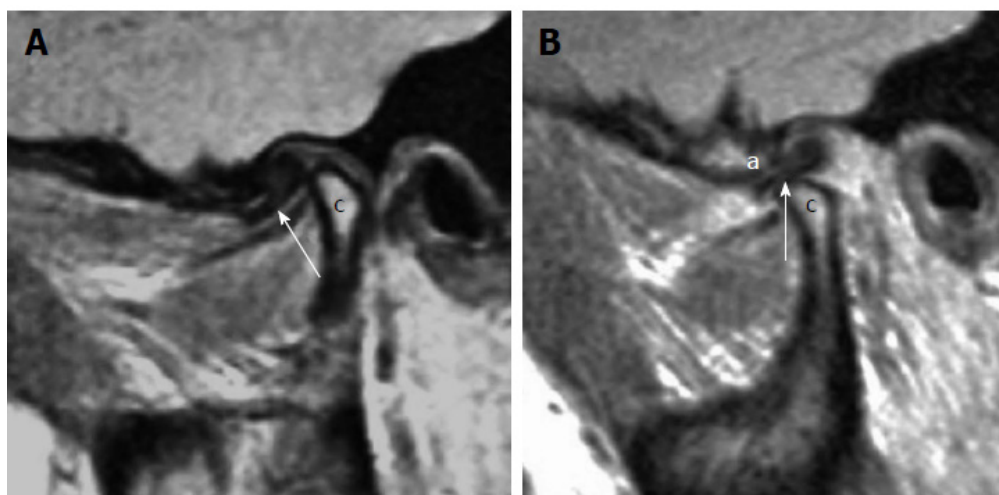


Рис. 6. Переднє зміщення з редукцією. А: Сагітальне МРТ у режимі протонної щільності у положенні з закритим ротом демонструє переднє зміщення диска (стрілка), розташованого попереду виросткового відростка нижньої щелепи (позначено літерою с). В: Сагітальне МРТ у режимі протонної щільності у положенні з відкритим ротом демонструє повернення диска (стрілка) в нормальне положення між суглобовим горбиком (літера а) і виростковим відростком (літера с)

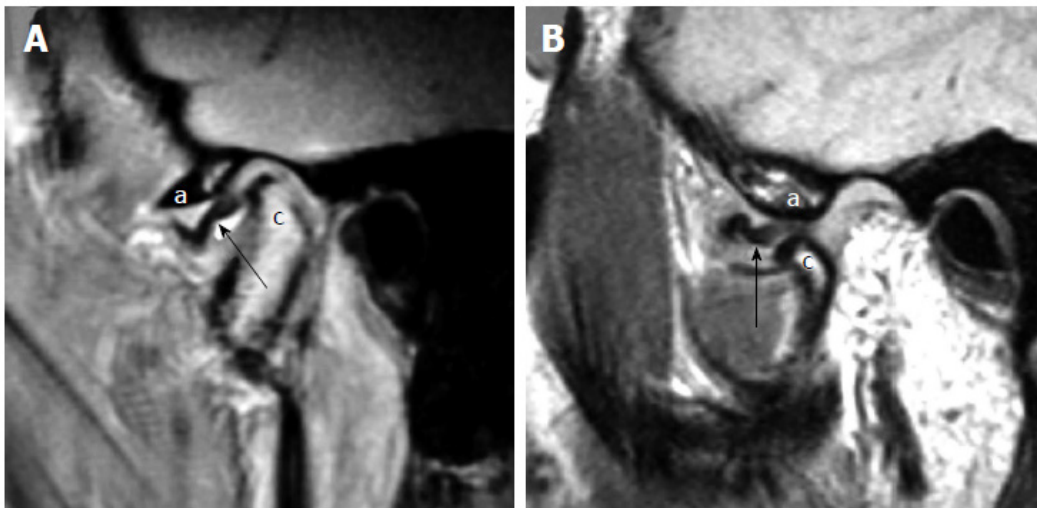


Рис. 7. Переднє зміщення без редукції. А: Сагітальне МРТ у режимі протонної щільності у положенні з закритим ротом демонструє переднє зміщення диска (стрілка), розташованого поблизу суглобового горбика (літера а) і попереду виросткового відростка нижньої щелепи (літера с). В: Сагітальне МРТ у режимі протонної щільності у положенні з відкритим ротом демонструє відсутність редукції диска (стрілка), який залишається між суглобовим горбиком (літера а) та виростковим відростком (літера с)

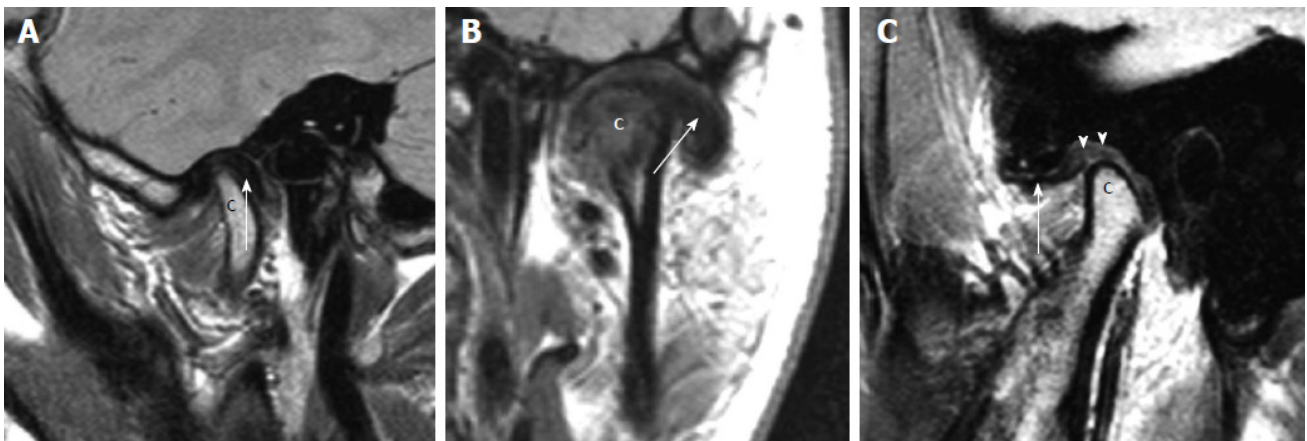


Рис. 8. Інші типи зміщення диска:

А: заднє зміщення диска. Сагітальне МРТ у режимі протонної щільності в положенні із закритим ротом демонструє заднє зміщення диска (стрілка) відносно виросткового відростка нижньої щелепи (позначено літерою с). **В:** латеральне зміщення диска. Корональне МРТ у режимі протонної щільності демонструє латеральне зміщення диска (стрілка) відносно виросткового відростка (літера с). **С:** псевдодиск. Сагітальне МРТ у режимі протонної щільності в положенні із закритим ротом демонструє переднє зміщення диска (стрілка), розташованого перед виростковим відростком (літера с). Потовщення задніх прикріплень (стрілки з головками) над виростком візуалізується у вигляді «псевдодиска»

лено, що 75% осіб із довготривалим (близько 30 років) перебігом внутрішнього порушення СНЩС мали ПЗБР. Точний механізм зміщення диска залишається невідомим, хоча найбільш імовірною причиною вважається

травма із пошкодженням заднього прикріплення диска. МРТ без контрасту є методом вибору для оцінювання ВП. На ранніх стадіях диск зберігає нормальну форму, однак із часом деформується – задня смуга потовщується, а



передня стоншується. Це призводить до зміни форми диска на біконвексну, каплеподібну або округлу. Якщо диск зберігає біконкавальну форму та розташований над виростком у положенні відкритого рота – це вважається нормою [30]. Наявність деформованого, округлого диска майже завжди свідчить про патологію [30]. Інші МРТ-ознаки захворювання диска включають його сплюснення, зменшення нормального сигналу середньої/високої інтенсивності [29], а також наявність розриву або перфорації в хронічній стадії.

Заднє зміщення диска – рідкісне явище, яке становить лише від 0,01% до 0,001% усіх випадків зміщення диска [26]. Основною клінічною ознакою є раптове виникнення блокування щелепи у відкритому положенні. МРТ є корисним інструментом для діагностики, оскільки дозволяє візуалізувати зміщення задньої смуги диска за межі умовної 1-ї години [29]. Оцінка клінічної інформації пацієнта є важливою перед інтерпретацією зображень, оскільки наявність задньої плікації (зашивання) диска в анамнезі може бути помилково прийнята за набуте заднє зміщення диска. Антеролатеральні та антеромедіальні зміщення диска об'єднують у групу ротаційних зміщень, тоді як чисто латеральні та медіальні – класифікують як бокові зміщення [22,23,28]. Ізольоване латеральне зміщення зустрічається рідко.

Як ротаційні, так і бокові зміщення можуть бути як повними, так і частковими, а також із редукцією або без неї. Найпоширенішим типом є антеролатеральне зміщення диска [30].

Псевдодиск. Псевдодиск спостерігається у деяких пацієнтів із переднім зміщенням диска. Його вважають адаптаційною реакцією на зміщення, коли в ділянці заднього прикріплення диска відбувається гіалінізація сполучної тканини [31]. Це проявляється у вигляді смугастої структури з низькою інтенсивністю сигналу, яка замінює яскравий сигнал від заднього прикріплення диска [8,9,22] (див. рисунок 8С).

Фіксований диск (stuck disc) "Фіксований диск" – патологічний стан, за якого диск

втрачає рухливість відносно гленоїдної ямки та суглобового горбика. Це спостерігається як у положенні відкритого, так і закритого рота [29], і, ймовірно, пов'язано зі спайками. Стан може виникати як із наявним зміщенням диска, так і без нього. Часто супроводжується болем і дисфункцією через обмеження трансляції виростка [30,31]. Такий діагноз легко пропустити, якщо МРТ не виконана як у відкритому, так і закритому положенні рота (див. рисунок 9). Похиле сагітальне кінозображення особливо корисне для оцінки фіксованого диска.

Перфорація диска. Перфорація диска виявляється у 5–15% пацієнтів зі зміщенням диска [30]. Вона частіше трапляється при передньому зміщенні без редукції (ПЗБР), ніж при ПЗР [31,32], і зазвичай поєднується з вираженим артрозом. Частіше зустрічається у жінок та у людей віком понад 80 років [53]. Ознаки перфорації диска на МРТ включають: – деформацію диска (100%), – зміщення диска (81%), – зміни кісткової тканини виростка (68%), – наявність випоту в суглобі (23%), – невізуалізацію заднього прикріплення диска до скроневої кістки (65–68%) [32].

Звичайна артрографія або МР-артрографія може бути корисною для підтвердження перфорації, якщо контраст потрапляє одночасно в обидві суглобові порожнини після ін'єкції в нижній відділ. При підозрі на перфорацію рекомендовано МРТ у T2-режимі з придушенням жиру у сагітальній та корональній площинах [30]. Відсутність розтягнення або випрямлення заднього скроневого прикріплення диска при відкритому роті також свідчить про наявність перфорації.

Випіт у суглобі. Суглобовий випіт – це надмірне накопичення внутрішньосуглобової рідини, що часто спостерігається у симптоматичних пацієнтів. Невелика кількість рідини також може бути в нормі у безсимптомних осіб [31]. Випіт частіше виявляється в уражених і болочих суглобах, хоча не всі пацієнти з болем мають випіт [29,31]. Великий об'єм рідини може супроводжуватися болем

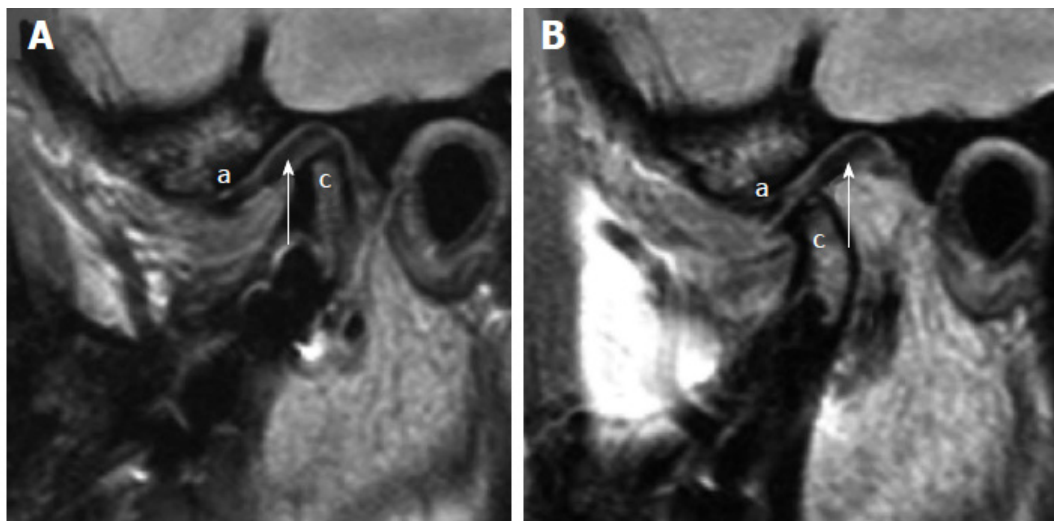


Рис. 9. Фіксований диск. А: Сагітальне МРТ у режимі протонної щільності в положенні із закритим ротом демонструє на перший погляд нормальне положення диска (стрілка) відносно виросткового відростка нижньої щелепи (позначено літерою с). Суглобовий горбик позначено літерою а. В: Сагітальне МРТ у режимі протонної щільності в положенні з відкритим ротом демонструє відсутність переднього зміщення диска (стрілка) разом із виростком (літера с), тобто диск «прилип» до гленоїдної ямки. Суглобовий горбик позначено літерою а

і зміщенням диска. Найкращою послідовністю для оцінки випоту є Т2-зважене зображення. На ранніх стадіях рідина найчастіше оточує передню смугу диска, а більші випоти можуть заповнювати як верхню, так і нижню порожнину суглоба. Великий випіт має діагностичне значення, оскільки окреслює диск і навіть може візуалізувати його перфорацію та ретродискову тканину – це створює ефект «артрографічного підсилення» [32].

Т1-зважене зображення з контрастуванням гадолінієм може допомогти диференціювати випіт від проліферації синовіальної оболонки. У пацієнтів із запальними артропатіями проліферуюча синовіальна тканина накопичує контраст, тоді як випіт – ні [31].

Потовщення прикріплення латерального крилоподібного м'яза («ознака подвійного диска»). Роль латерального крилоподібного м'яза (ЛКМ) у функції СНЩС досі залишається дискусійною, хоча вважається, що він бере участь у бічних та протрузійних рухах [29]. За результатами електроміографічних досліджень, при внутрішньому порушенні СНЩС спостерігається гіперактивність у нижньому прикріпленні ЛКМ [30]. На МРТ опи-

сано кілька морфологічних змін обох черевців м'яза – гіпертрофія, атрофія, контрактури. Ці зміни часто асоціюються з болем або обмеженням відкривання рота при ПЗБР [32]. Передбачається, що переднє зміщення диска частіше пов'язане з прикріпленням верхнього черевця ЛКМ виключно до диска, а не до виросткового відростка [31]. Клініцист повинен бути обізнаним щодо можливої діагностичної помилки: потовщене нижнє черевце ЛКМ може бути помилково прийняте за передньо зміщений диск – це явище має назву «ознака подвійного диска» [32] (див. рисунок 10).

Остеохондрит дисеканс та аваскулярний некроз. Остеохондрит дисеканс (ОХД) та аваскулярний некроз (АВН) виросткового відростка нижньої щелепи є подібними патологічними станами, які, ймовірно, представляють спектр однієї й тієї ж патології [32]. Типові клінічні прояви ОХД/АВН включають біль та обмеження функції суглоба [33]. Біль зазвичай локалізується в ділянці суглоба та вздовж третьої гілки трійчастого нерва. Також можуть спостерігатися головний біль з одного боку, біль у вусі та спазм жувальних м'язів – з обмеженням або без обмеження рухів у суглобі [33].

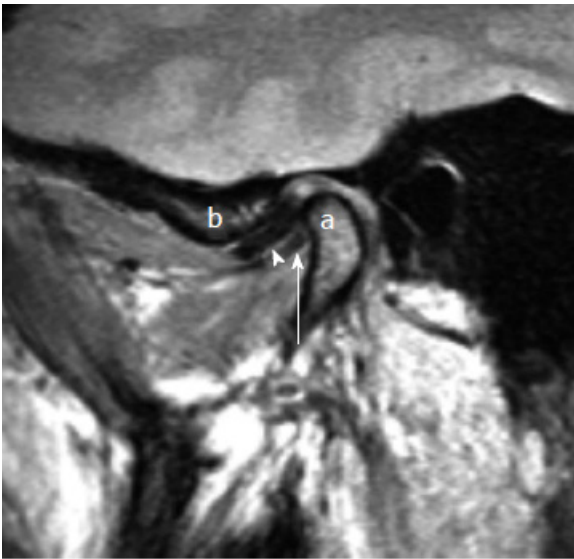


Рис. 10. Ознака подвійного диска (потовщення латерального крилоподібного м'яза). Сагітальне МРТ у режимі протонної щільності в положенні із закритим ротом демонструє переднє зміщення диска (стрілка з голівкою). Потовщений латеральний крилоподібний м'яз поблизу прикріплення до виросткового відростка нижньої щелепи (позначено літерою а) виглядає як лінійна гіпоінтенсивна структура (біла стрілка), розташована нижче диска у тій самій орієнтації, створюючи візуальний ефект «подвійного диска». Суглобовий горбик позначено літерою б

МРТ є методом вибору для оцінки ОХД/ АВН виростка [33]. У разі АВН спостерігається зниження сигналу кісткового мозку у Т1-зважених зображеннях. Т2-зважені зображення демонструють варіативну інтенсивність сигналу залежно від стадії: ранній АВН, стадія загоєння або ОХД. Ранній АВН зазвичай виявляється як високий сигнал у Т2, а гострий ОХД – як гіпоінтенсивний центральний фрагмент, оточений зоною підвищеного сигналу на зображеннях у режимах Т1 і Т2 [29,30,33]. Хоча чутливість МРТ при діагностиці АВН становить 78%, а специфічність – 84%, позитивна прогностична цінність складає лише 54%, оскільки склероз виростка, що виникає внаслідок виражених дегенеративних змін, має подібну картину на МРТ [32]. Радіологічні зміни при ОХД та АВН часто супрово-

дуються суглобовим випотом і внутрішніми порушеннями положення диска [33] (див. рисунок 11).

Вільні тіла. Вільні тіла в синовіальному суглобі можуть виникати внаслідок первинного або вторинного синовіального хондроматозу. Первинний тип асоціюється зі спонтанною хрящовою метаплазією в синовіальній оболонці, тоді як вторинний є наслідком інкорпорації остеохондральних уламків у синовіальну оболонку на фоні дегенеративного ураження суглоба [34]. Поширені клінічні симптоми включають біль, припухлість навколо вуха, обмеження руху нижньої щелепи, крепітацію та одностороннє відхилення щелепи при відкриванні рота [30]. Панорамні знімки СНЩС можуть як виявляти, так і не виявляти вільні тіла [28]. Високоякісна КТ [23,24 або МРТ [34] здатні візуалізувати дрібні вільні тіла в порожнині суглоба.

Гіпермобільність. Пацієнти з гіпермобільністю СНЩС можуть скаржитися на немож-

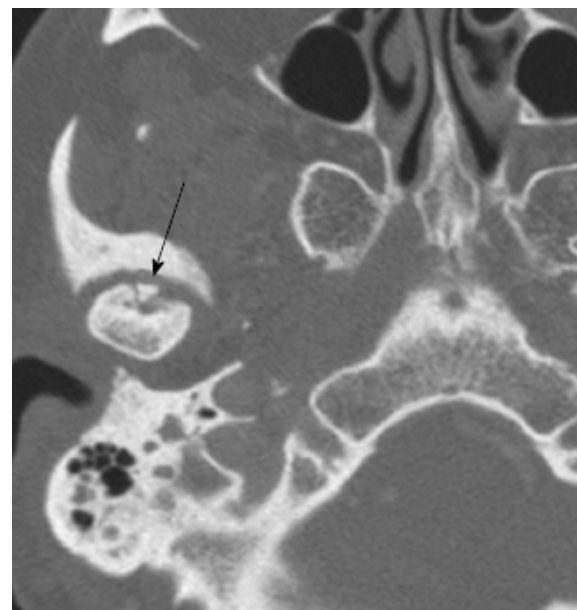


Рис. 11. Остеохондрит дисеканс. Аксіальне зображення комп'ютерної томографії на рівні скронево-нижньощелепного суглоба демонструє невеликий кістковий фрагмент (стрілка) в передній частині диска. Помітні лінійні зони просвітлення, що оточують фрагмент



ливість закриття рота ("відкрите блокування") після надмірного відкривання. Це виникає внаслідок виходу виросткового відростка за межі переднього прикріплення капсули СНЩС. Затискання виростка на передньому схилі суглобового горбика обумовлено біомеханічними обмеженнями, зокрема активністю жувальних м'язів [31]. У гострих випадках візуалізація зазвичай не потрібна, оскільки симптоми є очевидними та пов'язані з надмірним відкриванням або травмою. У хронічних випадках МРТ може надати інформацію про висоту й крутість суглобового горбика, а також форму й положення диска [35].

Анкілоз. Анкілоз СНЩС може бути наслідком фіброзних спайок або кісткового зрощення, що обмежує рухливість нижньої щелепи. Причинами можуть бути перенесена інфекція, травма, операція [33,35], ювенільний ідіопатичний артрит або біфідні виросткові відростки.

МР-артрографія є корисною для виявлення фіброзних спайок, а тривимірна КТ – необхідна для планування хірургічного втручання при підозрі на кістковий анкілоз (див. рисунок 12).

Артрит СНЩС. Як і інші синовіальні суглоби, СНЩС часто уражається різними формами запального артрити. У СНЩС також поширені дегенеративний артрит і артрит, вторинний до відкладення кристалів. Можливий розвиток артрити після інфекції або травми. Артрит СНЩС розглядається відповідно до патофізіологічного механізму. Запальний артрит Ювенільний ідіопатичний артрит (ЮІА) – найпоширеніше ревматичне захворювання дитячого віку, яке частіше уражає дівчат. Захворювання переважно вражає синовіальні суглоби. Виділяють два піки захворюваності: перший – у віці 1–3 років, другий – у 8–12 років [34]. СНЩС залучений у 17–87% пацієнтів із ЮІА [74]. ЮІА може бути системним, поліартикулярним або олігоартикулярним. СНЩС частіше уражається при поліартикулярній формі [34]. Типові прояви ураження СНЩС включають біль, чутливість, крепітацію, скутість і обмеження обсягу рухів. У деяких пацієнтів у пізній стадії захворювання може розвиватися кістковий анкілоз. Для оцінки СНЩС при ЮІА використовують ортопантограму, КТ, МРТ та ультразвук. Ортопантомограма і КТ виявляють пере-

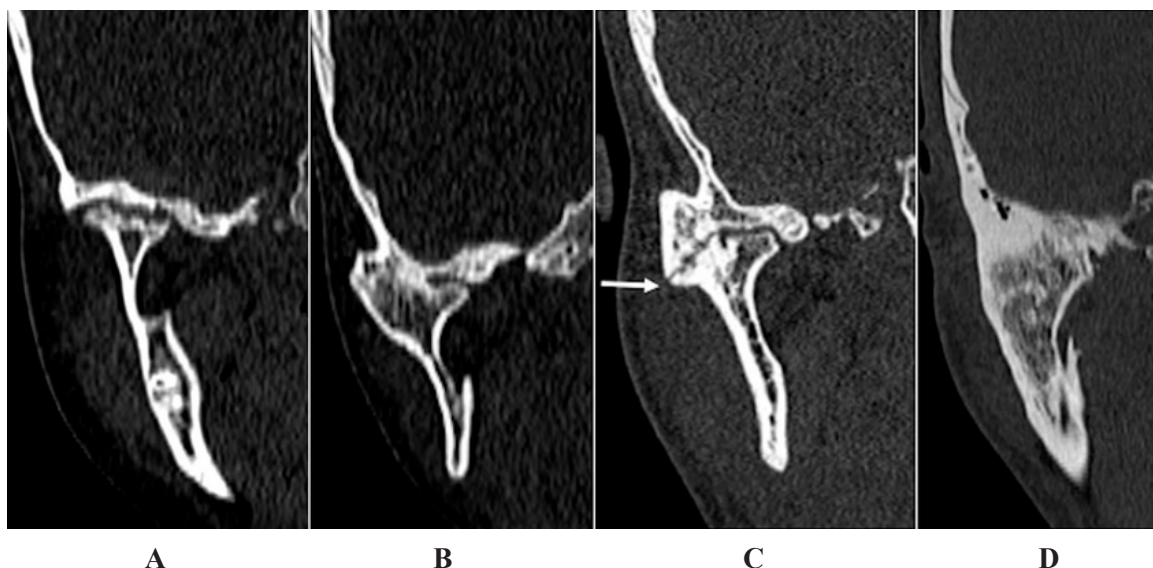


Рис. 12. Стадії анкілозу скронево-нижньощелепного суглоба за комп'ютерною томографією.
A. Стадія 1: візуалізуються гленоїдна ямка та виросткові відростки, ознак кісткового анкілозу немає. **B.** Стадія 2: виявляється бічний кістковий анкілоз суглоба.
C. Стадія 3: повний кістковий анкілоз суглоба з наявною просвітленою лінією всередині (стрілка). **D.** Стадія 4: масивний кістковий анкілоз без видимої просвітленої лінії



важно ерозії кісткової тканини, але супроводжуються променевим навантаженням. МРТ та ультразвук стають все популярнішими завдяки високій роздільній здатності для м'яких тканин і відсутності іонізуючого випромінювання. Гострий артрит СНЩС зазвичай проявляється суглобовим випотом і потовщенням синовіальної оболонки на T2-зважених зображеннях без кісткових змін [35]. Підсилення суглоба або навколосуглобових тканин не є специфічною ознакою гострого артриту, оскільки може виявлятися навіть у здорових пацієнтів [33]. Резорбція виростка краще оцінюється у T1-послідовностях без пригнічення сигналу від жиру і свідчить про більш хронічний перебіг артриту [35] (див. рисунок 13).

Дегенеративний остеоартрит (ОА). Остеоартрит – це хронічне дегенеративне захворювання, що вражає хрящ синовіальних суглобів і супроводжується ремоделюванням субхондральної кістки та вторинним ураженням синовіальної оболонки. ОА є найпоши-

ренішою патологією СНЩС [80]. Між рентгенологічною картиною ОА та клінічними симптомами існує значна різниця. Популяційні дослідження показують, що незначне сплюснення виростка спостерігається до 35% безсимптомних осіб, тоді як лише близько 11% мають симптоми, пов'язані з ОА СНЩС [36]. Найчастішим симптомом ОА СНЩС є біль під час жування. Біль починається в м'яких тканинах навколо суглоба та в жувальних м'язах, які перебувають у захисному рефлексорному спазмі. Також спостерігаються втома жувальних м'язів, тризм, обмеження рухів, труднощі при відкриванні рота та крепітація. Рентгенологічні ознаки ОА СНЩС включають нерівності кісткової поверхні суглоба, ерозії та утворення остеофітів [36]. Ерозії – це локальні зони зниженої щільності в кортикальному шарі виростка та субхондральній зоні. Остеофіти зазвичай виникають на пізніх стадіях захворювання і можуть сприяти стабілізації суглоба та розширенню його опорної поверхні для

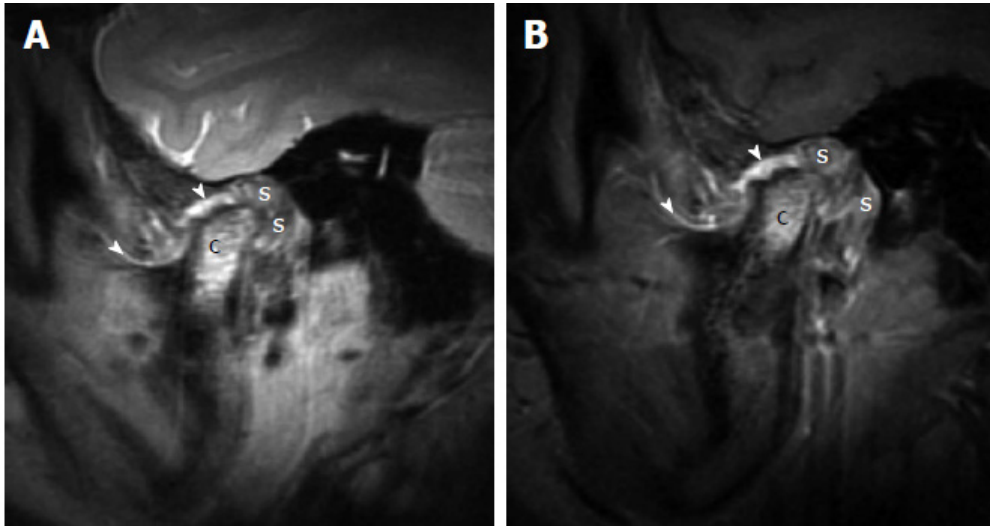


Рис. 13. Ювенільний ідіопатичний артрит. А: Сагітальне МРТ у режимі протонної щільності в положенні із закритим ротом демонструє підвищену інтенсивність сигналу у ділянці виросткового відростка (позначено літерою с), а також значне потовщення синовіальної оболонки (літера s) в ретродискових зонах. Помітно також потовщення та підвищення сигналу синовіальної оболонки в інших ділянках (стрілки з головками).

В: Сагітальне T1-зважене МРТ із придушенням сигналу від жиру після введення контрасту у положенні із закритим ротом демонструє посилення сигналу в зоні виросткового відростка (літера с), а також посилення та значне потовщення синовіальної оболонки (літера s) у ретродискових зонах. Візуалізується також потовщення й посилення сигналу синовіальної оболонки в інших ділянках (стрілки з головками)



компенсації навантаження. Різні методи візуалізації використовуються з різною ефективністю. Наразі немає єдиного стандарту щодо вибору методу візуалізації при ОА СНЩС [37] (див. рисунок 14).

Метаболічний артрит / кристалічна артропатія. Захворювання, зумовлене відкладенням кристалів пірофосфату кальцію (CPPD): CPPD – це метаболічна артропатія, яка виникає внаслідок відкладення кристалів пірофосфату кальцію в ділянці суглобів, особливо в гіаліновому та фіброзному хрящі [38]. Ураження СНЩС при CPPD може варіюватися від безсимптомного кальцинозу диска до вираженого руйнування суглоба з ерозивними змінами у виростковому відростку та прилеглий ділянці основи черепа. Типовими симптомами є біль і припухлість у приушній ділянці, іноді – з втратою слуху. Жування часто посилює біль. Рідше можуть спостерігатися клацання в суглобі, шум у вухах або порушення прикусу. Рентгенологічна картина при CPPD є варіативною. КТ виявляє відкладення кальцію в диску або навколосуглобових ткани-

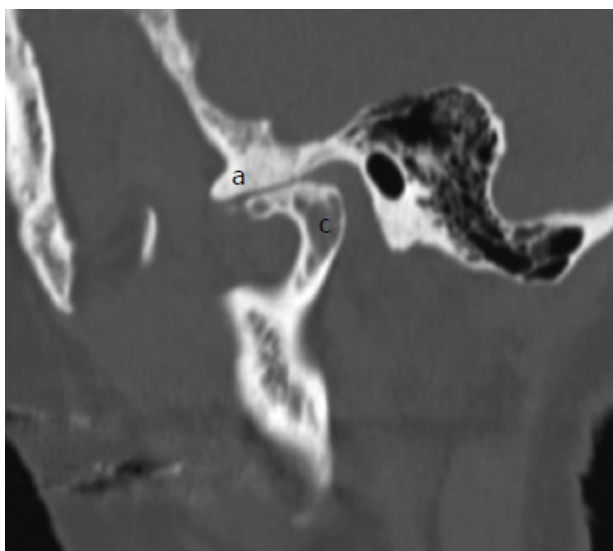


Рис. 14. Дегенеративні зміни. Сагітальна реконструкція аксіального набору даних демонструє деформацію виросткового відростка нижньої щелепи (позначено літерою с), виражений склероз суглобового горбика (літера а) та значне звуження суглобової щілини

нах. На МРТ кристали CPPD зазвичай виглядають як гіпоінтенсивні включення як у T1-, так і в T2-зважених зображеннях. КТ та МРТ також можуть виявляти ерозії біля виросткового відростка та суглобової ямки з прилеглими відкладеннями CPPD [37,38,39]. Ерозії можуть поширюватися на основу черепа та до середньої черепної ямки.

Ознаки ураження інших суглобів із хондрокальцинозом можуть допомогти в діагностиці. Диференційний діагноз включає синовіальний хондроматоз, синовіальну остеохондрому та остеосаркому (див. рисунок 15).

Пухлини та пухлиноподібні ураження СНЩС. Пухлини та пухлиноподібні стани можуть уражати скронево-нижньощелепний суглоб (СНЩС). Вони зазвичай проявляються схожими клінічними ознаками, такими як біль, набряк і обмеження рухів.

Синовіальний хондроматоз. Синовіальний хондроматоз (СХ) – це доброякісний стан, що супроводжується хондрометаплазією синовіальної оболонки з утворенням хрящових вузлів. Ці вузли можуть відділятися і формувати вільні тіла, які згодом кальцифікуються. СХ зазвичай уражає великі суглоби, зокрема колінний, кульшовий і ліктьовий. Ураження СНЩС зустрічається рідко. Переважно залучається верхній відділ СНЩС; ураження нижнього відділу – нетипове і пов'язане з перфорацією суглобового диска. До менш поширених проявів належать ерозія виросткового відростка, основи скроневої кістки та внутрішньочерепне поширення. Клінічно пацієнти скаржаться на біль у приушній ділянці, набряк, запалення, обмеження рухів і суглобові шуми. У деяких випадках відзначається неврологічна симптоматика, зокрема головний біль і погіршення слуху.

Діагностика синовіального хондроматозу СНЩС є складною через рідкісну зустрічальність і схожість із іншими станами, такими як хондрокальциноз, остеоартрит і хондросаркома. Радіологічні ознаки включають кальцифіковані вільні тіла, припухлість м'яких тканин, розширення суглобової щілини,

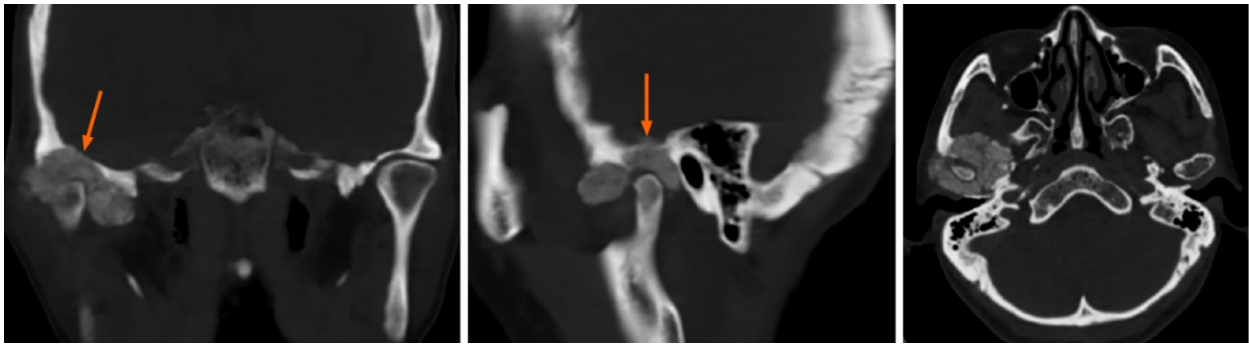


Рис. 15. Зображення демонструє нерівномірно кальциноване утворення з чіткими контурами в ділянці правого скронево-нижньощелепного суглоба. Утворення деструє основу черепа та поширюється до середньої черепної ямки (стрілка)

нерівності суглобових поверхонь і склероз гленоїдної ямки та/або виросткового відростка. КТ зазвичай демонструє кальцифіковані вузли навколо виросткового відростка з ознаками його дегенерації [40]. МРТ зазвичай виявляє змішаний твердий і рідинний сигнал, зумовлений метаплазією синовіальної тканини та накопиченням синовіального випоту. Кальцифіковані вузли мають гіпоінтенсивний сигнал у T1/T2 режимах, оточені гіперінтен-

сивним випотом у T2 та проліферативною синовіальною оболонкою, яка підсилюється після введення контрасту. МРТ є методом вибору при СХ завдяки можливості виявлення некальцифікованих тіл, відсутності променевого навантаження та візуалізації суглобового диска [84] (див. рисунок 16).

Лікування полягає у хірургічному видаленні вільних тіл і резекції метапластичної синовіальної оболонки. У термінальних ста-

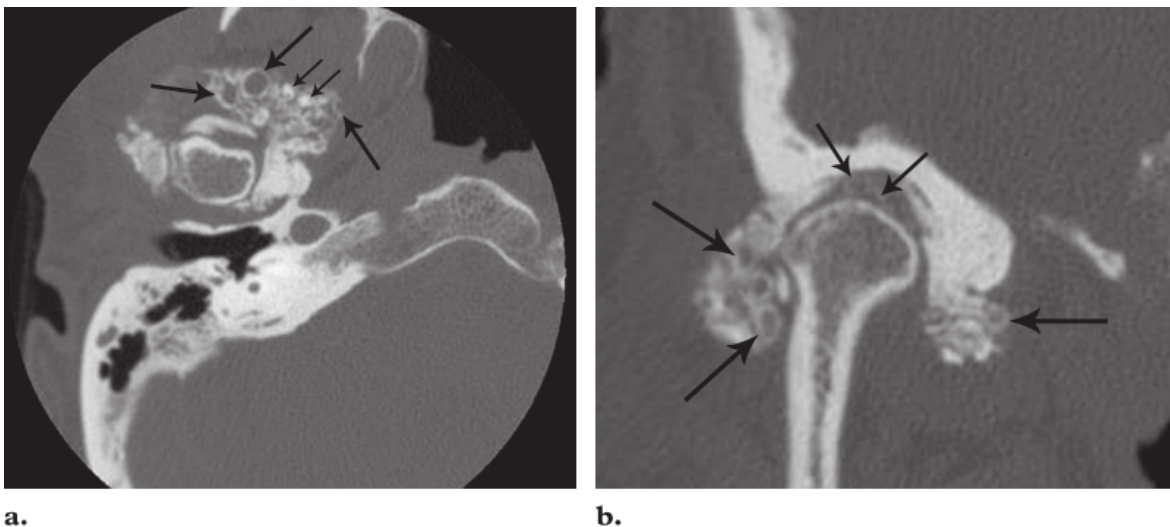


Рис. 16. Первинний синовіальний хондроматоз скронево-нижньощелепного суглоба у 63-річної жінки з суглобовою крепітацією та обмеженням амплітуди рухів.

(a, b) Аксіальні (a) та корональні (b) КТ-зображення демонструють виражену кільцеподібну кальцифікацію («кільця та дуги») (великі стрілки), що відповідає ендохондральному звапненню численних внутрішньосуглобових хондральних тіл (малі стрілки). Візуалізується помірне розширення суглобової щілини. (c) Інтраопераційне фото: відкрита артротомія з виявленням численних внутрішньосуглобових остеохондральних фрагментів (стрілки з головками).

(d) Фото видалених фрагментів після дебридменту (стрілки). Шкала в сантиметрах



діях СХ без активності синовіальної метаплазії застосовується консервативна терапія, спрямована на полегшення симптомів.

Пігментована ворсинчасто-вузликова синовіїт (ПВВС). ПВВС – це доброякісне, неопухлинне проліферативне захворювання синовіальних оболонок суглобів, сумок і сухожильних піхв. Найчастіше уражається один суглоб, зазвичай колінний. Первинне ураження СНЩС зустрічається рідко. Існує дві форми ПВВС: вузликова та дифузна. До найпоширеніших вузликових форм належать гігантоклітинна пухлина, ксантома, ксантогранульома та мієлоплаксома, які вражають локальні ділянки синовіальної оболонки [39]. Дифузна форма уражає практично всю синовіальну оболонку. Етіологія ПВВС достеменно невідома. Існують гіпотези щодо запального генезу, а також впливу повторних внутрішньосуглобових крововиливів, порушень ліпідного обміну або доброякісної неопластичної трансформації. ПВВС зазвичай проявляється як повільно зростаюче, безболісне утворення в ділянці ураженого суглоба. При ураженні СНЩС можливі скарги на приушне новоутворення, набряк, біль, чутливість, клацання

в суглобі, оталгію та погіршення слуху (див. рисунок 17).

Найчутливішим методом діагностики ПВВС є МРТ, яке демонструє гіпоінтенсивний сигнал у T1/T2 режимах і «блюмінг» на GRE-послідовностях унаслідок відкладення парамагнітного гемосидерину [38,39]. Спостерігається помірне або інтенсивне неоднорідне підсилення синовіальної оболонки після контрастування. Зміни на КТ зазвичай неспецифічні та включають ерозії кістки, субхондральні кісти та масу м'якотканинної щільності [40]. Випіт у суглобі може мати підвищену щільність через вміст гемосидерину.

Диференційна діагностика ПВВС за МРТ включає синовіальний хондроматоз, ревматоїдний артрит, синовіальну саркому, гемофілію та синовіальну гемангіому.

Первинні та вторинні новоутворення та інші ураження. Остеохондрома є другим за поширеністю новоутворенням, що уражає СНЩС. Остеохондрому, остеому та гіперплазію виросткового відростка часто складно диференціювати як клінічно, так і за допомогою методів візуалізації. МРТ і КТ можуть бути корисними для визначення точного роз-

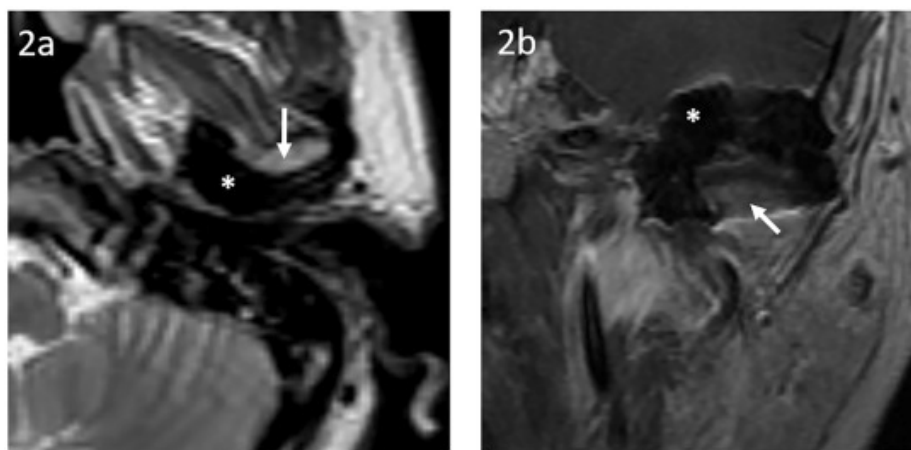


Рис. 17. Магнітно-резонансна томографія виявила характерні ознаки пігментованого ворсинчасто-вузликового синовіїту (ПВВС), зумовленого відкладенням гемосидерину в пухлині. (2а) Аксіальне T2-зважене МРТ показує, що пухлина лівого СНЩС має гіпоінтенсивний сигнал порівняно з речовиною головного мозку. Утворення локалізується перед передньою стінкою зовнішнього слухового проходу та позаду виросткового відростка нижньої щелепи (стрілка). (2б) Корональне T1-зважене МРТ демонструє пухлину навколо виросткового відростка (стрілка), що має гіпоінтенсивний сигнал, подібний до кісткової тканини, і не накопичує контраст після введення гадолінію



міру пухлини та її взаємозв'язку з анатомічними структурами в межах СНЩС.

Також можуть зустрічатися синовіальні, гангліозні та прості кісткові кісти. До доброякісних первинних кісткових пухлин, які можуть уражати СНЩС, належать хондробластома, остеома, остеодна остеома, остеобластома, осифікуюча фіброма та аневризмальна кістозна пухлина. Первинні злоякісні пухлини кістки в ділянці СНЩС надзвичайно рідкісні, але включають хондросаркому та остеогенну саркому [40,41].

Можливе також поширення пухлин із суміжних структур на СНЩС. Зокрема, пухлини зовнішнього вуха та привушної залози можуть інфільтрувати в ділянку суглоба. Менше 1% усіх пухлин метастазують у щелепно-лицеву ділянку. Аденокарцинома є найпоширенішим метастатичним пухлинним процесом у щелепі – на неї припадає приблизно 70% випадків. Задokumentовані метастази до СНЩС з боку молочної залози, нирок, легень, товстої кишки, передміхурової залози, щитоподібної залози та яєчок [38,41].

Висновки. Візуалізацію СНЩС слід проводити індивідуально, залежно від клінічних симптомів і скарг пацієнта. МРТ є методом вибору для оцінки положення диска та внутрішніх порушень функції суглоба. КТ застосовується у разі підозри на ураження кісткових структур, однак її слід використовувати обґрунтовано через ризик променевого навантаження. Розуміння анатомії СНЩС, його біомеханіки та особливостей візуалізації різних патологій має ключове значення для своєчасної діагностики та ефективного лікування.

У цьому систематичному огляді оцінено ефективність моделей штучного інтелекту у виявленні дисків СНЩС та діагностиці внутрішніх порушень диска на МРТ-знімках. Алгоритми ШІ продемонстрували обнадійливі результати при виявленні диска СНЩС, виросткового відростка та суглобового горбика, а також при класифікації положення диска, з точністю від 0,70 до 0,99 у порівнянні з експертами-радіологами. Проведення метааналізу було неможливим через велику гетерогенність застосованих моделей ШІ та характеристик наборів даних.

Усі дослідження використовували супервізоване навчання моделей із міченими даними. Методи слабо-супервізованого або безнаглядного навчання, що є перспективними, у жодному дослідженні не застосовувалися. Ще один рівень гетерогенності вносить різноманітність МРТ-протоколів (T1, T2, протонна щільність тощо) та орієнтації площин (сагітальна, коронарна, аксіальна). Для оцінки внутрішніх порушень СНЩС рекомендовано T2 та PD-зображення в сагітальній проєкції.

Щодо форматів вхідних даних, більшість досліджень застосовували двовимірні МРТ-зрізи. Однак одне дослідження, що використовувало і 3D-томи, і 2D-зрізи, продемонструвало вищу ефективність сегментації та класифікації положення диска у моделі nnUnet при використанні 3D-входу. Автори пояснюють це тим, що 3D-аналіз дозволяє враховувати контекст сусідніх зрізів, як це робить лікар під час аналізу МРТ. Такий підхід дозволяє створити більш репрезентативне тривимірне зображення суглоба для підтримки клінічних рішень.

Усі дослідження демонстрували високу точність при сегментації диска та класифікації його положення в рамках локальних вибірок. Водночас ідентифіковано високий ризик упередженості щодо вибору пацієнтів (через відбір за принципом «випадок-контроль» і відсутність інформації про виключення). Ризик упередженості у сфері еталонного стандарту виявлено в кількох дослідженнях через відсутність опису процесу калібрування між експертами. Також відсутність інформації про критерії класифікації нормального та зміщеного дисків ускладнює інтерпретацію результатів моделей. Найсуттєвіші методологічні проблеми виявлено в домені кластеризації через нестачу інформації. Тому майбутні дослідження слід краще планувати та дотримуватися чеклистів для досліджень із ШІ в стоматології.



Інтеграція III, зокрема глибинного навчання, у МРТ-дослідження СНЩС демонструє стабільно високі результати як інструмент допомоги в діагностиці: для сегментації структур СНЩС та класифікації положення

диска. Подальші багатоцентрові дослідження з використанням різномірних даних необхідні для підвищення валідності та можливості узагальнення результатів перед впровадженням моделей у клінічну практику.

Література:

- Lau Rui Han S., Xiang J., Zeng X. X., Fan P. D., Cheng Q. Y., Zhou X. M., et al. Relationship between temporomandibular joint effusion, pain, and jaw function limitation: a 2D and 3D comparative study. *J Pain Res.* 2024. Vol. 17. P. 2051–2062.
- Schiffman E., Ohrbach R., Truelove E., Look J., Anderson G., Goulet J. P., et al. Diagnostic criteria for temporomandibular disorders (DC/TMD) for clinical and research applications. *J Oral Facial Pain Headache.* 2014. Vol. 28, No. 1. P. 6–27. DOI: 10.11607/jop.1151
- Riley J. L., Rindal D. B., Velly A. M., Anderson G. C., Johnson K. S., Gilbert G. H., et al. Practitioner-, practice-, and patient-based factors contributing to treatment recommendations for pain-related TMDs. *J Oral Facial Pain Headache.* 2023. Vol. 37. P. 195–206.
- Velly A. M., Anderson G. C., Look J. O., Riley J. L., Rindal D. B., Johnson K., et al. Management of painful temporomandibular disorders. *J Am Dent Assoc.* 2022. Vol. 153. P. 144–157.
- Monje Gil F., Martínez Artal P., Cuevas Queipo De Llano A., Muñoz Guerra M., González Ballester D., López Arcas J. M., et al. Consensus report and recommendations on the management of late-stage internal derangement of the temporomandibular joint. *J Clin Med.* 2024. Vol. 13. P. 3319.
- Yap A. U., Lai Y. C., Ho H. C. W. Prevalence of temporomandibular disorders and their associated factors in Confucian heritage cultures: a systematic review and meta-analysis. *J Oral Rehabil.* 2024. DOI: 10.1111/joor.13569
- Shao B., Teng H., Dong S., Liu Z. Finite element contact stress analysis of the temporomandibular joints of patients with temporomandibular disorders under mastication. *Comput Methods Programs Biomed.* 2022. Vol. 213. P. 106526. DOI: 10.1016/j.cmpb.2021.106526
- Cadar M., Almășan O. Dental occlusion characteristics in subjects with bruxism. *Med Pharm Rep.* 2023. Vol. 97. P. 70–75. DOI: 10.15386/mpr-2523
- Almășan O., Leucuța D. C., Dinu C., Buduru S., Băciuț M., Hedeșiu M. Petrotympanic fissure architecture and malleus location in temporomandibular joint disorders. *Tomography.* 2022. Vol. 8. P. 2460–2470. DOI: 10.3390/tomography8050205
- Jha N., Lee K., Kim Y. J. Diagnosis of temporomandibular disorders using artificial intelligence technologies: a systematic review and meta-analysis. *PLoS One.* 2022. Vol. 17. P. e0272715. DOI: 10.1371/journal.pone.0272715
- Ozsari S., Güzel M. S., Yılmaz D., Kamburoğlu K. A comprehensive review of artificial intelligence-based algorithms regarding temporomandibular joint-related diseases. *Diagnostics (Basel).* 2023. Vol. 13. P. 2700. DOI: 10.3390/diagnostics13162700
- Li M., Punithakumar K., Major P. W., Le L. H., Nguyen K. C. T., Pacheco-Pereira C., et al. Temporomandibular joint segmentation in MRI images using deep learning. *J Dent.* 2022. Vol. 127. P. 104345. DOI: 10.1016/j.jdent.2022.104345
- Yoshimi Y., Mine Y., Ito S., Takeda S., Okazaki S., Nakamoto T., et al. Image preprocessing with contrast-limited adaptive histogram equalization improves the segmentation performance of deep learning for the articular disk of the temporomandibular joint on magnetic resonance images. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol.* 2024. Vol. 138. P. 128–141. DOI: 10.1016/j.o000.2024.04.012
- Nozawa M., Ito H., Ariji Y., Fukuda M., Igarashi C., Nishiyama M., et al. Automatic segmentation of the temporomandibular joint disc on magnetic resonance images using a deep learning technique. *Dentomaxillofac Radiol.* 2022. Vol. 51. P. 20210185. DOI: 10.1259/dmfr.20210185
- Ito S., Mine Y., Yoshimi Y., Takeda S., Tanaka A., Onishi A., et al. Automated segmentation of articular disc of the temporomandibular joint on magnetic resonance images using deep learning. *Sci Rep.* 2022. Vol. 12. P. 221. DOI: 10.1038/s41598-021-04308-3
- Taborri J., Molinaro L., Russo L., Palmerini V., Larion A., Rossi S. Comparison of machine learning algorithms fed with mobility-related and baropodometric measurements to identify temporomandibular disorders. *Sensors (Basel).* 2024. Vol. 24. P. 3646. DOI: 10.3390/s24113646
- Rokhshad R., Mohammad-Rahimi H., Sohrabniya F., Jafari B., Shobeiri P., Tsolakis I. A., et al. Deep learning for temporomandibular joint arthropathies: a systematic review and meta-analysis. *J Oral*



- Rehabil.* 2024. Vol. 51. P. 1632–1644. DOI: 10.1111/joor.13639
18. Zhang Y., Zhu T., Zheng Y., Xiong Y., Liu W., Zeng W., et al. Machine learning-based medical imaging diagnosis in patients with temporomandibular disorders: a diagnostic test accuracy systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Investig.* 2024. Vol. 28. P. 186. DOI: 10.1007/s00784-023-05366-5
 19. Mureșanu S., Almășan O., Hedeșiu M., Dioșan L., Dinu C., Jacobs R. Artificial intelligence models for clinical usage in dentistry with a focus on dentomaxillofacial CBCT: a systematic review. *Oral Radiol.* 2023. Vol. 39. P. 18–40. DOI: 10.1007/s11282-022-00623-4
 20. Thanathornwong B., Treebupachatsakul T., Teechot T., Poomrittigul S., Warin K., Suebnukarn S. Temporomandibular joint disorders multi-class classification using deep learning. *Stud Health Technol Inform.* 2024. Vol. 310. P. 1495–1496. DOI: 10.3233/SHTI240456
 21. Dong K., Zhou C., Ruan Y., Li Y. MobileNetV2 model for image classification. In: Proceedings of the 2020 2nd International Conference on Information Technology and Computer Application (ITCA); 2020 Dec 18–20; Guangzhou, China. Guangzhou: IEEE; 2020. P. 476–480. DOI: 10.1109/ITCA52113.2020.00098
 22. Salehi A. W., Khan S., Gupta G., Alabdullah B. I., Almjally A., Alsolai H., et al. A study of CNN and transfer learning in medical imaging: advantages, challenges, future scope. *Sustainability.* 2023. Vol. 15. P. 5930. DOI: 10.3390/su15075930
 23. Shrivastava M., Ye L. Neuroimaging and artificial intelligence for assessment of chronic painful temporomandibular disorders: a comprehensive review. *Int J Oral Sci.* 2023. Vol. 15. P. 58. DOI: 10.1038/s41368-023-00249-5
 24. Yoon K., Kim J. Y., Kim S. J., Huh J. K., Kim J. W., Choi J. Explainable deep learning-based clinical decision support engine for MRI-based automated diagnosis of temporomandibular joint anterior disk displacement. *Comput Methods Programs Biomed.* 2023. Vol. 233. P. 107465. DOI: 10.1016/j.cmpb.2023.107465
 25. Talaat W. M., Shetty S., Al Bayatti S., Talaat S., Mourad L., Shetty S., et al. An artificial intelligence model for the radiographic diagnosis of osteoarthritis of the temporomandibular joint. *Sci Rep.* 2023. Vol. 13. P. 15972. DOI: 10.1038/s41598-023-43041-7
 26. Sandler M., Howard A., Zhu M., Zhmoginov A., Chen L. C. MobileNetV2: inverted residuals and linear bottlenecks [preprint]. *arXiv.* 2019. P. 1801.04381. DOI: 10.48550/arXiv.1801.04381
 27. Reda B., Contardo L., Prenassi M., Guerra E., Derchi G., Marceglia S. Artificial intelligence to support early diagnosis of temporomandibular disorders: a preliminary case study. *J Oral Rehabil.* 2023. Vol. 50. P. 31–38. DOI: 10.1111/joor.13456
 28. Kao Z. K., Chiu N. T., Wu H. T. H., Chang W. C., Wang D. H., Kung Y. Y., et al. Classifying temporomandibular disorder with artificial intelligent architecture using magnetic resonance imaging. *Ann Biomed Eng.* 2023. Vol. 51. P. 517–526. DOI: 10.1007/s10439-022-03120-1
 29. Kim J. Y., Kim D., Jeon K. J., Kim H., Huh J. K. Using deep learning to predict temporomandibular joint disc perforation based on magnetic resonance imaging. *Sci Rep.* 2021. Vol. 11. P. 6680. DOI: 10.1038/s41598-021-86127-7
 30. Lee Y. H., Won J. H., Kim S., Auh Q. S., Noh Y. K. Advantages of deep learning with convolutional neural network in detecting disc displacement of the temporomandibular joint in magnetic resonance imaging. *Sci Rep.* 2022. Vol. 12. P. 11352. DOI: 10.1038/s41598-022-15259-5
 31. Sano T., Widmalm S. E., Yamamoto M., Sakuma K., Araki K., Matsuda Y., et al. Usefulness of proton density and T2-weighted vs. T1-weighted MRI in diagnoses of TMJ disk status. *Cranio.* 2003. Vol. 21. P. 253–258. DOI: 10.1080/08869634.2003.11746252
 32. Lee C., Ha E. G., Choi Y. J., Jeon K. J., Han S. S. Synthesis of T2-weighted images from proton density images using a generative adversarial network in a temporomandibular joint magnetic resonance imaging protocol. *Imaging Sci Dent.* 2022. Vol. 52. P. 393. DOI: 10.5624/isd.2022.52.4.393
 33. Lin B., Cheng M., Wang S., Li F., Zhou Q. Automatic detection of anteriorly displaced temporomandibular joint discs on magnetic resonance images using a deep learning algorithm. *Dentomaxillofac Radiol.* 2022. Vol. 51. P. 20210341. DOI: 10.1259/dmfr.20210341
 34. Vinayahalingam S., Berends B., Baan F., Moin D. A., van Luijn R., Bergé S., et al. Deep learning for automated segmentation of the temporomandibular joint. *J Dent.* 2023. Vol. 132. P. 104475. DOI: 10.1016/j.jdent.2023.104475
 35. Kreiner M., Vilorio J. A novel artificial neural network for the diagnosis of orofacial pain and temporomandibular disorders. *J Oral Rehabil.* 2022. Vol. 49. P. 884–889. DOI: 10.1111/joor.13358
 36. Quinn T. P., Jacobs S., Senadeera M., Le V., Coghlan S. The three ghosts of medical AI: can the black-box present deliver? *Artif Intell Med.* 2022. Vol. 124. P. 102158. DOI: 10.1016/j.artmed.2022.102158
 37. Xiao M., Zhang L., Shi W., Liu J., He W., Jiang Z. A visualization method based on the Grad-CAM for



- medical image segmentation model. In: Proceedings of the 2021 International Conference on Electronic Information Engineering and Computer Science (EIECS); 2021 Sep 23–26; Changchun, China. Changchun: IEEE; 2021. P. 242–247. DOI: 10.1109/EIECS53707.2021.9587804
38. Schiffman E., Ohrbach R., Truelove E., et al. Diagnostic criteria for temporomandibular disorders (DC/TMD) for clinical and research applications. *J Oral Facial Pain Headache*. 2014. Vol. 28, No. 1. P. 6–27. DOI: 10.11607/jop.1151
39. Valesan L. F., Da-Cas C. D., Réus J. C., et al. Prevalence of temporomandibular joint disorders: a systematic review and meta-analysis. *Clin Oral Investig*. 2021. Vol. 25, No. 2. P. 441–453. DOI: 10.1007/s00784-020-03710-w
40. Tanimoto K., Awada T., Onishi A., Kubo N., Asakawa Y., Kunimatsu R., et al. Characteristics of the maxillofacial morphology in patients with idiopathic mandibular condylar resorption. *J Clin Med*. 2022. Vol. 11. P. 952. DOI: 10.3390/jcm11040952
41. Dujic H., Meyer O., Hoss P., et al. Automated detection of periodontal bone loss on periapical radiographs by vision transformer networks. *Diagnostics (Basel)*. 2023. Vol. 13, No. 23. P. 3562. DOI: 10.3390/diagnostics13233562

References

1. Lau, R. H. S., Xiang, J., Zeng, X. X., Fan, P. D., Cheng, Q. Y., Zhou, X. M., et al. (2024). Relationship between temporomandibular joint effusion, pain, and jaw function limitation: A 2D and 3D comparative study. *Journal of Pain Research*, 17, 2051–2062.
2. Schiffman, E., Ohrbach, R., Truelove, E., Look, J., Anderson, G., Goulet, J. P., et al. (2014). Diagnostic criteria for temporomandibular disorders (DC/TMD) for clinical and research applications. *Journal of Oral & Facial Pain and Headache*, 28(1), 6–27. <https://doi.org/10.11607/jop.1151>
3. Riley, J. L., Rindal, D. B., Velly, A. M., Anderson, G. C., Johnson, K. S., Gilbert, G. H., et al. (2023). Practitioner-, practice-, and patient-based factors contributing to treatment recommendations for pain-related temporomandibular disorders. *Journal of Oral & Facial Pain and Headache*, 37, 195–206.
4. Velly, A. M., Anderson, G. C., Look, J. O., Riley, J. L., Rindal, D. B., Johnson, K., et al. (2022). Management of painful temporomandibular disorders. *Journal of the American Dental Association*, 153, 144–157.
5. Monje Gil, F., Martínez Artal, P., Cuevas Queipo De Llano, A., Muñoz Guerra, M., González Ballester, D., López Arcas, J. M., et al. (2024). Consensus report and recommendations on the management of late-stage internal derangement of the temporomandibular joint. *Journal of Clinical Medicine*, 13, 3319.
6. Yap, A. U., Lai, Y. C., & Ho, H. C. W. (2024). Prevalence of temporomandibular disorders and their associated factors in Confucian heritage cultures: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Oral Rehabilitation*. <https://doi.org/10.1111/joor.13569>
7. Shao, B., Teng, H., Dong, S., & Liu, Z. (2022). Finite element contact stress analysis of the temporomandibular joints of patients with temporomandibular disorders under mastication. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 213, 106526. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2021.106526>
8. Cadar, M., & Almäşan, O. (2023). Dental occlusion characteristics in subjects with bruxism. *Medico-Pharmaceutical Reports*, 97, 70–75. <https://doi.org/10.15386/mpr-2523>
9. Almäşan, O., Leucuţa, D. C., Dinu, C., Buduru, S., Băciuş, M., & Hedeşiu, M. (2022). Petrotympic fissure architecture and malleus location in temporomandibular joint disorders. *Tomography*, 8, 2460–2470. <https://doi.org/10.3390/tomography8050205>
10. Jha, N., Lee, K., & Kim, Y. J. (2022). Diagnosis of temporomandibular disorders using artificial intelligence technologies: A systematic review and meta-analysis. *PLOS ONE*, 17, e0272715. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0272715>
11. Özsari, S., Güzel, M. S., Yılmaz, D., & Kamburoğlu, K. (2023). A comprehensive review of artificial intelligence-based algorithms regarding temporomandibular joint-related diseases. *Diagnostics (Basel)*, 13, 2700. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13162700>
12. Li, M., Punithakumar, K., Major, P. W., Le, L. H., Nguyen, K. C. T., & Pacheco-Pereira, C., et al. (2022). Temporomandibular joint segmentation in MRI images using deep learning. *Journal of Dentistry*, 127, 104345. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2022.104345>
13. Yoshimi, Y., Mine, Y., Ito, S., Takeda, S., Okazaki, S., Nakamoto, T., et al. (2024). Image preprocessing with contrast-limited adaptive histogram equalization improves the segmentation performance of deep learning for the articular disk of the temporomandibular joint on magnetic resonance images. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 138, 128–141. <https://doi.org/10.1016/j.oool.2024.04.012>
14. Nozawa, M., Ito, H., Arijji, Y., Fukuda, M., Igarashi, C., Nishiyama, M., et al. (2022). Automatic segmentation of the temporomandibular joint disc on magnetic resonance images using a deep learning



- technique. *Dentomaxillofacial Radiology*, 51, 20210185. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20210185>
15. Ito, S., Mine, Y., Yoshimi, Y., Takeda, S., Tanaka, A., Onishi, A., et al. (2022). Automated segmentation of articular disc of the temporomandibular joint on magnetic resonance images using deep learning. *Scientific Reports*, 12, 221. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-04308-3>
 16. Taborri, J., Molinaro, L., Russo, L., Palmerini, V., Larion, A., & Rossi, S. (2024). Comparison of machine learning algorithms fed with mobility-related and baropodometric measurements to identify temporomandibular disorders. *Sensors (Basel)*, 24, 3646. <https://doi.org/10.3390/s24113646>
 17. Rokhshad, R., Mohammad-Rahimi, H., Sohrabniya, F., Jafari, B., Shobeiri, P., Tsolakis, I. A., et al. (2024). Deep learning for temporomandibular joint arthropathies: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Oral Rehabilitation*, 51, 1632–1644. <https://doi.org/10.1111/joor.13639>
 18. Zhang, Y., Zhu, T., Zheng, Y., Xiong, Y., Liu, W., Zeng, W., et al. (2024). Machine learning-based medical imaging diagnosis in patients with temporomandibular disorders: A diagnostic test accuracy systematic review and meta-analysis. *Clinical Oral Investigations*, 28, 186. <https://doi.org/10.1007/s00784-023-05366-5>
 19. Mureşanu, S., Almăşan, O., Hedeşiu, M., Dioşan, L., Dinu, C., & Jacobs, R. (2023). Artificial intelligence models for clinical usage in dentistry with a focus on dentomaxillofacial CBCT: A systematic review. *Oral Radiology*, 39, 18–40. <https://doi.org/10.1007/s11282-022-00623-4>
 20. Thanathornwong, B., Treebupachatsakul, T., Teechot, T., Poomrittigul, S., Warin, K., & Suebnukarn, S. (2024). Temporomandibular joint disorders multi-class classification using deep learning. *Studies in Health Technology and Informatics*, 310, 1495–1496. <https://doi.org/10.3233/SHTI240456>
 21. Dong, K., Zhou, C., Ruan, Y., & Li, Y. (2020). MobileNetV2 model for image classification. In *Proceedings of the 2020 2nd International Conference on Information Technology and Computer Application (ITCA)* (pp. 476–480). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ITCA52113.2020.00098>
 22. Salehi, A. W., Khan, S., Gupta, G., Alabdullah, B. I., Almjally, A., Alsolai, H., et al. (2023). A study of CNN and transfer learning in medical imaging: Advantages, challenges, future scope. *Sustainability*, 15, 5930. <https://doi.org/10.3390/su15075930>
 23. Shrivastava, M., & Ye, L. (2023). Neuroimaging and artificial intelligence for assessment of chronic painful temporomandibular disorders: A comprehensive review. *International Journal of Oral Science*, 15, 58. <https://doi.org/10.1038/s41368-023-00249-5>
 24. Yoon, K., Kim, J. Y., Kim, S. J., Huh, J. K., Kim, J. W., & Choi, J. (2023). Explainable deep learning-based clinical decision support engine for MRI-based automated diagnosis of temporomandibular joint anterior disk displacement. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 233, 107465. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2023.107465>
 25. Talaat, W. M., Shetty, S., Al Bayatti, S., Talaat, S., Mourad, L., Shetty, S., et al. (2023). An artificial intelligence model for the radiographic diagnosis of osteoarthritis of the temporomandibular joint. *Scientific Reports*, 13, 15972. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-43041-7>
 26. Sandler, M., Howard, A., Zhu, M., Zhmoginov, A., & Chen, L. C. (2019). MobileNetV2: Inverted residuals and linear bottlenecks. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1801.04381>
 27. Reda, B., Contardo, L., Prenassi, M., Guerra, E., Derchi, G., & Marcegaglia, S. (2023). Artificial intelligence to support early diagnosis of temporomandibular disorders: A preliminary case study. *Journal of Oral Rehabilitation*, 50, 31–38. <https://doi.org/10.1111/joor.13456>
 28. Kao, Z. K., Chiu, N. T., Wu, H. T. H., Chang, W. C., Wang, D. H., Kung, Y. Y., et al. (2023). Classifying temporomandibular disorder with artificial intelligent architecture using magnetic resonance imaging. *Annals of Biomedical Engineering*, 51, 517–526. <https://doi.org/10.1007/s10439-022-03120-1>
 29. Kim, J. Y., Kim, D., Jeon, K. J., Kim, H., & Huh, J. K. (2021). Using deep learning to predict temporomandibular joint disc perforation based on magnetic resonance imaging. *Scientific Reports*, 11, 6680. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86127-7>
 30. Lee, Y. H., Won, J. H., Kim, S., Auh, Q. S., & Noh, Y. K. (2022). Advantages of deep learning with convolutional neural network in detecting disc displacement of the temporomandibular joint in magnetic resonance imaging. *Scientific Reports*, 12, 11352. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-15259-5>
 31. Sano, T., Widmalm, S. E., Yamamoto, M., Sakuma, K., Araki, K., Matsuda, Y., et al. (2003). Usefulness of proton density and T2-weighted vs. T1-weighted MRI in diagnoses of TMJ disk status. *Cranio*, 21, 253–258. <https://doi.org/10.1080/08869634.2003.11746252>
 32. Lee, C., Ha, E. G., Choi, Y. J., Jeon, K. J., & Han, S. S. (2022). Synthesis of T2-weighted images from proton density images using a generative adversarial network in a temporomandibular joint magnetic resonance imaging protocol. *Imaging Science in Dentistry*, 52, 393. <https://doi.org/10.5624/isd.2022.52.4.393>
 33. Lin, B., Cheng, M., Wang, S., Li, F., & Zhou, Q. (2022). Automatic detection of anteriorly displaced



- temporomandibular joint discs on magnetic resonance images using a deep learning algorithm. *Dentomaxillofacial Radiology*, 51, 20210341. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20210341>
34. Vinayahalingam, S., Berends, B., Baan, F., Moin, D. A., van Luijn, R., Bergé, S., et al. (2023). Deep learning for automated segmentation of the temporomandibular joint. *Journal of Dentistry*, 132, 104475. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2023.104475>
 35. Kreiner, M., & Vilorja, J. (2022). A novel artificial neural network for the diagnosis of orofacial pain and temporomandibular disorders. *Journal of Oral Rehabilitation*, 49, 884–889. <https://doi.org/10.1111/joor.13358>
 36. Quinn, T. P., Jacobs, S., Senadeera, M., Le, V., & Coghlan, S. (2022). The three ghosts of medical AI: Can the black-box present deliver? *Artificial Intelligence in Medicine*, 124, 102158. <https://doi.org/10.1016/j.artmed.2022.102158>
 37. Xiao, M., Zhang, L., Shi, W., Liu, J., He, W., & Jiang, Z. (2021). A visualization method based on the Grad-CAM for medical image segmentation model. In *Proceedings of the 2021 International Conference on Electronic Information Engineering and Computer Science* (pp. 242–247). IEEE. <https://doi.org/10.1109/EIECS53707.2021.9587804>
 38. Schiffman, E., Ohrbach, R., Truelove, E., et al. (2014). Diagnostic criteria for temporomandibular disorders (DC/TMD) for clinical and research applications. *Journal of Oral & Facial Pain and Headache*, 28(1), 6–27. <https://doi.org/10.11607/jop.1151>
 39. Valesan, L. F., Da-Cas, C. D., Réus, J. C., et al. (2021). Prevalence of temporomandibular joint disorders: A systematic review and meta-analysis. *Clinical Oral Investigations*, 25, 441–453. <https://doi.org/10.1007/s00784-020-03710-w>
 40. Tanimoto, K., Awada, T., Onishi, A., Kubo, N., Asakawa, Y., Kunimatsu, R., et al. (2022). Characteristics of the maxillofacial morphology in patients with idiopathic mandibular condylar resorption. *Journal of Clinical Medicine*, 11, 952. <https://doi.org/10.3390/jcm11040952>
 41. Dujic, H., Meyer, O., Hoss, P., et al. (2023). Automatized detection of periodontal bone loss on periapical radiographs by vision transformer networks. *Diagnostics (Basel)*, 13, 3562. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13233562>

Конфлікт інтересів: відсутній.

Стаття надійшла до редакції 10.10.2025

Стаття прийнята 02.11.2025

Статтю опубліковано 01.12.2025

