



DOI <https://doi.org/10.32782/3041-1394.2024-2.7>

УДК 616.724-008.6 - 073.756.8

*Д.В. Штибель, аспірант, кафедра ортопедичної стоматології, Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького, вул. Пекарська, 69, м. Львів, Україна, індекс 79010, denys.shtybel@gmail.com*

*Р.В. Кулінченко, кандидат медичних наук, доцент, кафедра ортопедичної стоматології, Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького, вул. Пекарська, 69, м. Львів, Україна, індекс 79010, ruslan.kulinchenko@gmail.com*

*Ю.О. Паламарчук, аспірант, кафедра неврології, Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького, вул. Пекарська, 69, м. Львів, Україна, індекс 79010; завідувач радіологічного відділення, Медичний центр Святої Параскеви, вул. Смаль-Стоцького, 13, м. Львів, Україна, індекс 79029, palamarchuku@gmail.com*

*А.В. Дворник, кандидат медичних наук, асистент, кафедра пропедевтики терапевтичної стоматології, Полтавський державний медичний університет, вул. Шевченка, 23, м. Полтава, Україна, індекс 36000, annadvornyk.dent@gmail.com*

## МОЖЛИВОСТІ СУЧАСНОГО МРТ-ОБСТЕЖЕННЯ В КОМПЛЕКСНІЙ ДІАГНОСТИЦІ СКРОНЕВО-НИЖНЬОЩЕЛЕПНИХ РОЗЛАДІВ

Стандартом візуалізації м'якотканинних структур скронево-нижньощелепних суглобів (СНЩС) вважається магнітно-резонансна томографія (МРТ). З розвитком технічного та програмного забезпечення МРТ значно зросла якість візуалізації структур СНЩС, що призвело до значного покращення діагностики скронево-нижньощелепних розладів (СНР). Новітні методи, такі як ЗТЕ, накладання МРТ-образів на КПКТ-зображення, динамічна МРТ та використання штучного інтелекту (ШІ), виводять технологію МРТ на новий рівень діагностичних можливостей. **Мета дослідження** – оцінити можливості сучасної МРТ у комплексній діагностиці СНР. **Матеріал і методи дослідження.** Проведено огляд літератури шляхом опрацювання науково-метричних баз, у результаті чого для аналізу повного тексту було відібрано 34 статті. **Результати дослідження.** У стандартному протоколі МРТ-обстеження СНЩС використовують апарати із силою магнітного поля 1,5 Тл або 3 Тл та, як правило, імпульсні послідовності T1, T2, PD та Fsat при відкритому та закритому роті, описуючи структури СНЩС у косій фронтальній та косій сагітальній площинах. За допомогою динамічного МРТ (real-time MRI) можна оцінити рухи суглобової головки та диску в СНЩС, що дозволяє коректно визначити тип зміщення внутрішньосуглобового диска. Для одночасної оцінки кісткових та м'якотканинних структур використовують імпульсну послідовність ЗТЕ або поєднання МРТ- та КПКТ-образів. Використання ШІ для діагностики СНР є доволі перспективним, проте воно вимагає залучення великої кількості даних для машинного навчання, нових критеріїв та методів аналізу. **Висновки.** На сьогодні покращення якості діагностики СНР за допомогою МРТ відбувається як через вдосконалення технічних характеристик апаратів, так і за рахунок розвитку програмного забезпечення, програмного об'єднання МРТ з іншими променевими методами обстеження СНЩС та використання ШІ.

**Ключові слова:** Скронево-нижньощелепний суглоб, скронево-нижньощелепні розлади, магнітно-резонансна томографія, штучний інтелект.



*D. V. Shtybel, PhD Student, Department of Prosthetic Dentistry, Danylo Halytsky Lviv National Medical University, 69 Pekarska str, Lviv, Ukraine, postal code 79010, denys.shtybel@gmail.com*

*R. V. Kulinchenko, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Department of Prosthetic Dentistry, Danylo Halytsky Lviv National Medical University, 69 Pekarska str, Lviv, Ukraine, postal code 79010, ruslan.kulinchenko@gmail.com*

*Y. O. Palamarchuk, PhD Student, Department of Neurology, Danylo Halytsky Lviv National Medical University, 69 Pekarska str, Lviv, Ukraine, postal code 79010; Head of the Radiology Department, Saint Paraskeva Medical Center, 13 Smal-Stotskogo str., Lviv, Ukraine, postal code 79029, palamarchuky@gmail.com*

*A. V. Dvornyk, Candidate of Medical Sciences, Assistant, Department of Propaedeutics of Therapeutic Dentistry, Poltava State Medical University, 23 Shevchenko str., Poltava, Ukraine, postal code 36000, annadvornyk.dent@gmail.com*

## ABILITIES OF MODERN MRI EXAMINATION IN COMPLEX DIAGNOSIS OF TEMPOROMANDIBULAR DISORDERS

Magnetic resonance imaging (MRI) is considered the standard for visualization of soft tissue structures of the temporomandibular joints (TMJs). With the development of MRI hard- and software, the quality of visualization of TMJ structures has significantly increased, which has led to improving diagnosis of temporomandibular disorders (TMD). Moreover, the latest methods such as ZTE, fused MRI-CBCT images, dynamic MRI and the use of artificial intelligence (AI) bring MRI technology to a completely different level of diagnostic abilities. **Purpose of the study.** To assess the capabilities of modern MRI in complex diagnosis of TMDs. **Material and methods.** Literature review was carried out by processing scientific and metric bases, as a result 34 articles were selected for processing the full text. **Results.** In the standard MRI protocol of TMJ diagnosis, machines with a magnetic field strength of 1.5T or 3T and, as a rule, pulse sequences T1, T2, PD and Fsat with the mouth open and closed are used, describing TMJ structures in the oblique frontal and oblique sagittal planes. By dynamic MRI (real-time MRI), it is possible to evaluate the movements of the articular head and the disc in the TMJ, which allows you to correctly determine the type of disk displacement. For simultaneous evaluation of bone and soft tissues, pulse sequence of ZTE or fused MRI-CBCT images are used. The use of AI for the diagnosis of TMDs is quite promising, but it requires the involvement of a large amount of data, new criteria and methods of analysis for machine learning. **Conclusions.** Nowadays, the improvement of the quality of TMD diagnosis with the help of MRI is both due to the increasing of the technical characteristics of the devices, and the software, MRI software integration with other radiological methods of TMJ examination and the use of AI.

**Key words:** temporomandibular joint, temporomandibular disorders, magnetic resonance imaging, artificial intelligence.

**Постановка проблеми.** Скренево-нижньощелепний суглоб (СНЩС) – це діартроз, який бере безпосередню участь у жуванні, ковтанні, диханні, вимові та всій ротовій поведінці, такий як облизування губ, кашель, чхання тощо [1; 2].

Скренево-нижньощелепні розлади (СНР) посідають друге місце за поширеністю серед розладів опорно-рухового апарату після хронічного болю в попереку [3]. На сьогодні серед населення поширеність СНР складає від 10 до 70% [4]. Кожен другий хворий на СНР має

поєднання одночасно двох чи більше розладів СНЩС, що вимагає комплексної діагностики із залученням різноманітних променеви методів обстеження [5].

СНЩС складається із суглобової головки нижньої щелепи, суглобових ямки та горбка скроневої кістки, диска, зв'язок та суглобової капсули, яка вкриває весь суглоб [1]. Для оцінки кісткових структур СНЩС (суглобові головка, горбок та склепіння ямки) використовують конусно-променеву комп'ютерну томографію (КПКТ) [6; 7; 8]. За допомогою



цього методу можна виявити запально-дегенеративні хвороби (ЗДХ), порушення росту чи розвитку СНЩС тощо [9; 10; 11]. Стандартом візуалізації м'якотканинних структур СНЩС (внутрішньосуглобовий диск, суглобові зв'язки, капсула та ін.) вважається магнітно-резонансна томографія (МРТ) [12; 13; 14]. За допомогою МРТ не лише визначають форму, розміри та положення окремих структур СНЩС при закритому чи відкритому роті, а й оцінюють функціонування суглобу (обстеження в динаміці) [15], тому МРТ допомагає виявити такі розлади СНЩС, як переднє зміщення диска (ЗД) з редуцією, ЗД з блокуванням, ЗД з поперемінним блокуванням, бокові чи заднє зміщення диска, звичний вивих суглобової головки тощо [9; 16].

Вперше згадка про МРТ СНЩС датується 1984 роком [17]. У той час дослідники використовували апарат 0,5 Тесла (Тл), застосовуючи при обстеженні силу магнітного поля 0,35 Тл. Вже наступного року інші автори використовували апарат 1,5Тл [18], проте якість зображення значно відрізнялась порівняно із сучасними 1,5Тл-апаратами. Це пов'язано з тим, що на якість МРТ-зображень впливає не лише величина сили магнітного поля, а й характеристики та кількість голівок у котушках, характеристики самих котушок, цифрова обробка отриманих зображень. Отже, з розвитком технічного та програмного забезпечення МРТ значно зросла якість візуалізації структур СНЩС, що призвело до значного покращення діагностики СНР. Крім того, новітні методи, такі як ЗТЕ, накладання МРТ-образів на КПКТ-зображення, динамічне МРТ та використання штучного інтелекту, виводять технологію МРТ на новий рівень діагностичних можливостей [15; 16; 19; 20; 21].

**Мета дослідження** – оцінити можливості сучасної МРТ у комплексній діагностиці СНР.

**Матеріали і методи дослідження.** Проведено літературний пошук у науково-метричних базах PubMed, Scopus, Google Academy, Science Direct, Medline за 2017–2023 роки. Ключові слова для пошуку були такими:

“temporomandibular joint”, “magnetic resonance imaging”, “temporomandibular disorders”. Додатково було опрацьовано відібрані статті з фахових стоматологічних журналів.

Відбір праць проводився за критеріями включення та виключення.

Критерії включення:

- 1) статті, опубліковані у фахових журналах;
- 2) наявність ключових слів у назві статті;
- 3) мета-аналізи, систематичні огляди, огляди літератури, експериментальні дослідження.

Критерії виключення:

- 1) відсутність повного тексту статті;
- 2) тези конференцій;
- 3) стаття, опублікована не англійською або не українською мовою.

У результаті для опрацювання повного тексту було відібрано 34 статті.

**Результати та їх обговорення.**

*Порівняння МРТ із КПКТ та УСГ*

МРТ порівняно із ультрасонографією (УСГ) дає якіснішу візуалізацію м'якотканинних структур СНЩС із значно вищою роздільною здатністю і, як наслідок, має вищу чутливість та специфічність [13]. На відміну від УСГ, оцінюючи різні імпульсні послідовності МРТ, можна чітко візуалізувати диск, суглобовий хрящ, кісткові структури. На УСГ візуалізуються лише латеральні ділянки м'якотканинних структур СНЩС у сагітальній проєкції, в той час як МРТ дозволяє надати повну оцінку усіх структур СНЩС у косій фронтальній та косій сагітальній проєкціях із товщиною зрізу 2–3 мм [22].

На відміну від КПКТ, під час МРТ-обстеження пацієнти не піддаються шкідливому впливу іонізуючого випромінювання. За допомогою КПКТ можна оцінити лише кісткові структури СНЩС [23].

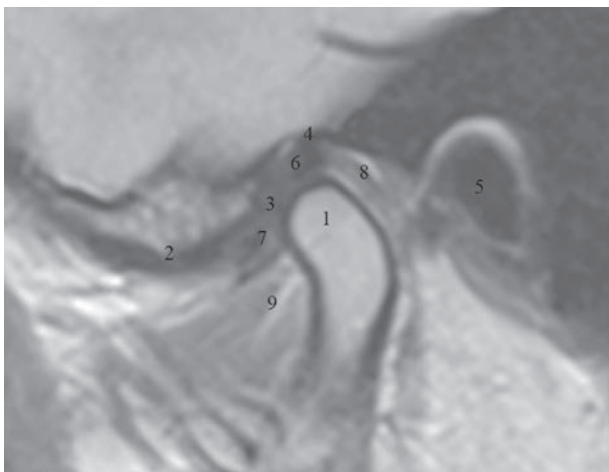
Проте в МРТ є низка недоліків, а саме: протипоказання за наявності металевих конструкцій чи осколків у голові пацієнта, клаустрофобія, тривалий час обстеження, висока вартість, відносно велика товщина зрізів [22]. Відсутність іонізуючого випромінювання під



час МРТ-обстеження не робить його абсолютно безпечним, адже невідомо, який вплив чинить збільшене магнітне поле на організм людини в довгостроковій перспективі у разі тривалого перебуванні в ньому [24].

#### *Стандартний протокол МРТ*

У стандартному протоколі МРТ-дослідження СНЩС використовують апарати із силою магнітного поля 1,5 Тл або 3 Тл. Для діагностики СНР застосовують, як правило, такі імпульсні послідовності: T1, T2, PD та Fsat при відкритому та закритому роті, описуючи структури СНЩС у косій фронтальній та косій сагітальних проєкціях (КФП та КСП) [23]. Залежно від імпульсної послідовності оцінюють ті чи інші анатомічні структури. Зокрема, суглобовий диск можна спостерігати на усіх послідовностях як утвір двоввігнутої форми із слабкою інтенсивністю сигналу, проте найкраще його оцінювати у PD (рис. 1).

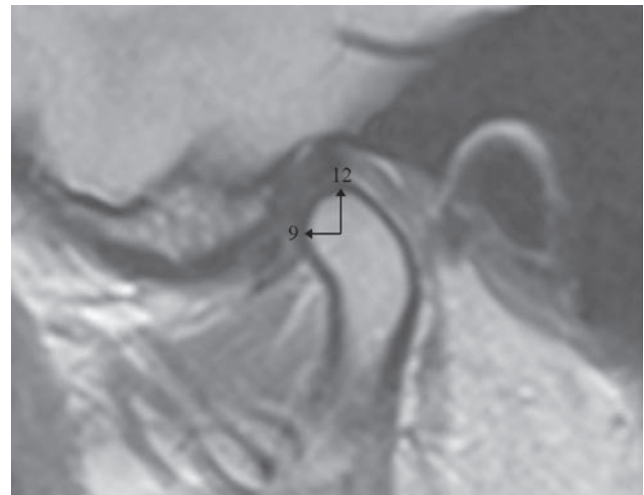


**Рис. 1.** Пацієнт К., 37 р., жінка. МРТ правого СНЩС у КСП (PD). 1 – суглобова головка, 2 – суглобовий горбик, 3 – диск, 4 – склепіння суглобової ямки, 5 – слуховий отвір, 6 – заднє потовщення диска, 7 – переднє потовщення диска, 8 – біламінарна зона, 9 – волокна латерального крилоподібного м'язу.

**Власні спостереження**

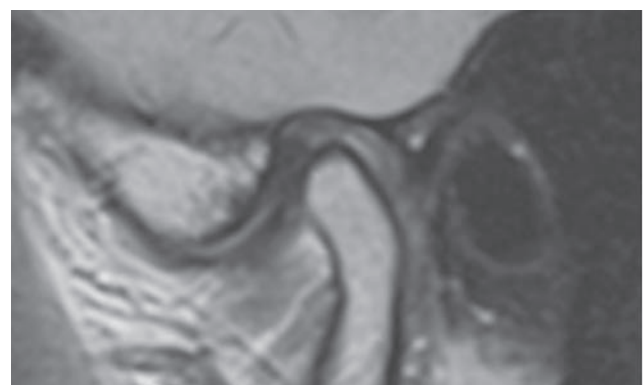
Для опису варіантів переднього ЗД СНЩС на МРТ оцінюють положення суглобового диска відносно суглобової головки за умовним циферблатом на зрізах у косій сагітальній

проєкції при закритому роті. Найвища точка суглобової головки відповідає 12 годині, а передня точка – 9 годині (рис. 2). Положення заднього потовщення диска біля 12 години розглядають як фізіологічне, біля 10 чи 11 години як часткове переднє зміщення диска (рис. 3), на 9 годину чи нижче як повне переднє зміщення диска (рис. 4), за 12 години як заднє зміщення диска [25].



**Рис. 2.** Положення суглобового диска відносно суглобової головки за умовним циферблатом на зрізах у КСП при закритому роті.

**Власні спостереження**

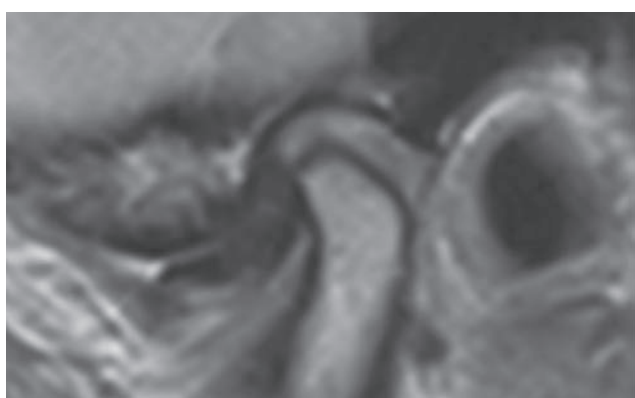


**Рис. 3.** Пацієнт П., 49 р., жінка. МРТ правого СНЩС у КСП (PD). Часткове переднє зміщення суглобового диска (заднє потовщення диска знаходиться на 11 год умовного циферблату). Власні спостереження

М'які тканини біламінарної зони і латерального крилоподібного м'язу показують помірний



сигнал на T2, але все ще нижчий, ніж на T1 у здоровому СНЩС. Кортикальна пластинка суглобових головки і горбка не показує сигналу на МРТ (візуалізується чорним кольором на МРТ-зображеннях на T1 (Рис. 5)), у той час як кістковий мозок проявляє відносно високий сигнал через значний вміст ліпідів [15]. Саме тому для виявлення запалення у кістковому мозку головки СНЩС використовують режим пригнічення жиру (FSat) (Рис. 5) [26]. У цьому режимі також оцінюють наявність випоту у суглобовій капсулі [23].

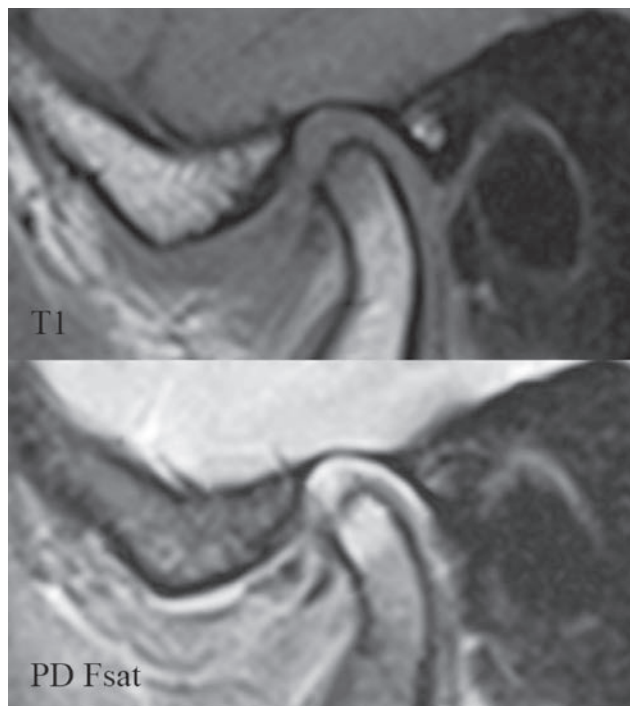


**Рис. 4. Пацієнт К., 37р., жінка. МРТ лівого СНЩС у КСП (PD). Повне переднє зміщення суглобового диска (заднє потовщення диска знаходиться на 9 год умовного циферблату).  
Власні спостереження**

#### *Динамічне МРТ*

Проведення динамічного МРТ, або ж МРТ в режимі реального часу, полягає у швидкому і безперервному зборі даних з подальшою реконструкцією МРТ-зображень та їх візуалізацією, в ідеалі без помітної затримки [15]. Для цього використовують різні імпульсні послідовності, однією з яких є HASTE (T2 Half Fourier Single-shot Turbo Spin-Echo) [27].

Для виконання динамічного МРТ пацієнт під час сканування декілька разів робить повне відкривання та закривання рота. За допомогою динамічного МРТ (real-time MRI) можна оцінити рухи суглобової головки та диску в СНЩС, на відміну від псевдинамічного МРТ, в якому скануються лише певні ста-



**Рис. 5. Пацієнт П., 49 р., жінка. МРТ лівого СНЩС у КСП (T1 та PD Fsat). T1 –кортикальна пластинка візуалізується як контур чорного кольору на МРТ-зображеннях. PD Fsat – набряк кісткового мозку суглобової головки у вигляді посилення МР-сигналу в режимі з пригніченням сигналу від жиру. Власні спостереження**

тичні положення при відкриванні-закриванні рота з наступним програмним об'єднанням отриманих МРТ-образів у динамічну послідовність (представлена у мультимедійному файлі). З огляду на це завдяки динамічному МРТ є більше шансів виявити ЗД, зокрема переднє ЗД із поперемінним блокуванням [25]. Крім того, у разі фіксації диска («прилипання» диска до заднього схилу суглобового горбка чи до суглобової головки) статичні чи псевдо-динамічні МРТ-образи будуть малоінформативними для ідентифікації даного розладу, в той час як динамічні образи будуть чітко його візуалізувати.

Проте при оцінці форми та структури суглобового диску динамічні МРТ-образи не дають жодних переваг порівняно зі статичними [28]. Динамічне МРТ СНЩС не може



повністю замінити статичне МРТ, як і навпаки, тому зазначені методи лише доповнюють одне одного [16].

#### *Імпульсна послідовність ZTE*

Традиційних імпульсних послідовностей недостатньо для візуалізації та оцінки кісткових структур СНЩС. Автори запропонували новий метод МРТ із нульовим або ультракоротким відлунням (ZTE чи UTE) [21]. Встановили, що коефіцієнт збігу між ZTE та КПКТ щодо виявлення сплюснення, остеопітів та склерозування суглобової головки складає 80–90%, тому поєднання традиційного МРТ-протоколу із послідовністю ZTE дозволяє якісно оцінити одночасно кісткові та м'якотканинні структури, тим самим зменшуючи для пацієнта кількість обстежень, їх вартість та дозу опромінення [15].

#### *Накладання МРТ та КПКТ*

Нещодавно було запропоновано спосіб діагностики поєднання ЗД та ЗДХ шляхом об'єднання зображень КПКТ та МРТ [19; 29; 30]. Такий підхід дозволяє одночасно оцінювати зміни у кісткових та м'якотканинних структурах СНЩС. Узгодження між верифікованими експертами (у галузі радіології та скронево-нижньощелепних розладів) в оцінці об'єднаних зображень КПКТ-МРТ для діагностики поєднання ЗД та ЗДХ були хорошими або відмінними (внутрішньокласовий коефіцієнт кореляції складав 0,76–0,91), а точність діагностики кісткових змін була достовірно вищою, ніж

у разі використання лише МРТ [19]. Також при виявленні онкологічного процесу щелепно-лицевої ділянки у пацієнта можна чітко візуалізувати лінію переходу м'якотканинних утворень у кісткову деструкцію [29].

#### *Штучний інтелект (ШІ) в МРТ СНЩС*

У стоматології та в медицині загалом широкої популярності набуває використання ШІ для виявлення різних патологічних процесів [11; 31; 32]. Дослідники [33] продемонстрували, що ШІ точніше ідентифікує перфорації суглобового диска на МРТ-зображеннях порівняно із операторами МРТ-діагностики. Використовуючи різні методи навчання ШІ, зокрема random forest (RF) analysis, k-nearest neighbor (KNN) analysis, автори [34] презентували можливість ШІ виявляти конділярні зміни, а також зміщення суглобового диска. Проте необхідне подальше навчання ШІ для диференціювання різних типів ЗД.

Використання ШІ для діагностики СНР є доволі перспективним, проте воно вимагає залучення великої кількості даних для машинного навчання, нових критеріїв та методів аналізу.

#### **Висновки.**

На сьогодні покращення якості діагностики СНР за допомогою МРТ відбувається як через вдосконалення технічних характеристик апаратів, так і за рахунок розвитку програмного забезпечення, програмного об'єднання МРТ з іншими променевими методами обстеження СНЩС та використання ШІ.

### **Література:**

- Okeson, J. P. (2019). *Management of Temporomandibular Disorders and Occlusion – E-Book*. Elsevier Health Sciences.
- Hatcher, D. (2022). Anatomy of the mandible, temporomandibular joint, and dentition. *Neuroimaging Clinics of North America*, 32(4), 749–761. <https://doi.org/10.1016/j.nic.2022.07.009>.
- Więckiewicz, M., Shiau, Y., & Boening, K. (2018). Pain of temporomandibular Disorders: From etiology to Management. *Pain Research & Management*, 1–2. <https://doi.org/10.1155/2018/4517042>.
- Valesan, L. F., Da-Cas, C. D., Réus, J. C., Denardin, A. C. S., Garanhani, R. R., Bonotto, D., Januzzi, E., & De Souza, B. D. M. (2021). Prevalence of temporomandibular joint disorders: a systematic review and meta-analysis. *Clinical Oral Investigations*, 25 (2), 441–453. <https://doi.org/10.1007/s00784-020-03710-w>.
- Кулінченко Р.В., Макеев В.Ф., Кінаш Ю.О. Аналіз варіантів поєднання різних форм скронево-нижньощелепних розладів за результатами обстеження хворих. *Клінічна Стоматологія*. 2016. № 3. С. 35–38.
- Alzahrani, A., Yadav, S., Gandhi, V., Lurie, A. G., & Tadinada, A. (2020). Incidental findings of temporomandibular joint osteoarthritis and its variability based on age and sex. *Imaging Science*



- in Dentistry*, 50(3), 245. <https://doi.org/10.5624/isd.2020.50.3.245>.
7. Yadav, S., Yang, Y. T., Dutra, E. H., Robinson, J. L., & Wadhwa, S. (2018). Temporomandibular joint disorders in older adults. *Journal of the American Geriatrics Society*, 66(6), 1213–1217. <https://doi.org/10.1111/jgs.15354>.
  8. Derwich, M., Mituś-Kenig, M., & Pawłowska, E. (2020). Interdisciplinary Approach to the Temporomandibular Joint Osteoarthritis-Review of the Literature. *Medicina-lithuania*, 56(5), 225. <https://doi.org/10.3390/medicina56050225>.
  9. Schiffman, E.L., Ohrbach, R., Truelove, E.L., Look, J.O., Anderson, G. C., Goulet, J., List, T., Svensson, P., Gonzalez, Y., Lobbezoo, F., Michelotti, A., Brooks, S. L., Ceusters, W., Drangsholt, M., Ettlin, D.A., Gaul, C., Goldberg, L.J., Haythornthwaite, J. A., Hollender, L., Dworkin, S. F. (2014). Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders (DC/TMD) for clinical and research applications: Recommendations of the International RDC/TMD Consortium Network\* and Orofacial Pain Special Interest Group†. *Journal of Oral and Facial Pain and Headache*, 28(1), 6–27. <https://doi.org/10.11607/jop.1151>.
  10. Song, H., Lee, J. Y., Huh, K., & Park, J. W. (2020). Long-term changes of temporomandibular joint osteoarthritis on computed tomography. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63493-8>.
  11. Lee, K. S., Kwak, H., Oh, J., Jha, N., Kim, Y. J., Kim, W., Baik, U., & Ryu, J. J. (2020). Automated detection of TMJ osteoarthritis based on artificial intelligence. *Journal of Dental Research*, 99(12), 1363–1367. <https://doi.org/10.1177/0022034520936950>.
  12. Maranini, B., Ciancio, G., Mandrioli, S., Galiè, M., & Govoni, M. (2022). The role of ultrasound in temporomandibular Joint Disorders: An update and future perspectives. *Frontiers in Medicine*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmed.2022.926573>.
  13. Yılmaz, D., & Kamburoğlu, K. (2019). Comparison of the effectiveness of high resolution ultrasound with MRI in patients with temporomandibular joint disorders. *Dentomaxillofacial Radiology*, 48(5), 20180349. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20180349>.
  14. Almeida, F. T., Pachêco Pereira, C., Flores Mir, C., Le, L. H., Jaremko, J. L., & Major, P. W. (2019). Diagnostic ultrasound assessment of temporomandibular joints: a systematic review and meta-analysis. *Dentomaxillofacial Radiology*, 48(2), 20180144. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20180144>.
  15. Xiong, X., Zheng, Y., Tang, H., Yi, W., Nie, L., Wei, X., Liu, Y., & Song, B. (2020). MRI of Temporomandibular Joint Disorders: recent advances and future directions. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 54(4), 1039–1052. <https://doi.org/10.1002/jmri.27338>.
  16. Kamel, Z. S. a. S. A., El-Shafey, M. H. R., Hassanien, O. A., & Nagy, H. A. (2021). Can dynamic magnetic resonance imaging replace static magnetic resonance sequences in evaluation of temporomandibular joint dysfunction? *Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine*, 52(1). <https://doi.org/10.1186/s43055-020-00396-8>.
  17. Helms, C. A., Richardson, M. L., Moon, K. L., & Ware, W. R. (1984). Nuclear Magnetic Resonance Imaging of the Temporomandibular Joint: Preliminary observations. *The Journal of Cranio-mandibular Practice*, 2(3), 219–224. <https://doi.org/10.1080/07345410.1984.11677866>.
  18. Roberts, D. W., Schenck, J. F., Pm, J., Foster, T. H., Hart, H. R., Pettigrew, J. C., Kundel, H. L., Edelstein, W. A., & Haber, B. (1985). Temporomandibular joint: magnetic resonance imaging. *Radiology*, 154(3), 829–830. <https://doi.org/10.1148/radiology.154.3.3969490>.
  19. Wang, Y., Ma, R., Li, J., Mu, C., Zhao, Y., Meng, J., & Li, G. (2022). Diagnostic efficacy of CBCT, MRI and CBCT–MRI fused images in determining anterior disc displacement and bone changes of temporomandibular joint. *Dentomaxillofacial Radiology*, 51(2). <https://doi.org/10.1259/dmfr.20210286>.
  20. Krohn, S., Joseph, A. A., Voit, D., Michaelis, T., Merboldt, K., Buegers, R., & Frahm, J. (2019). Multi-slice real-time MRI of temporomandibular joint dynamics. *Dentomaxillofacial Radiology*, 48(1), 20180162. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20180162>.
  21. Lee, C., Jeon, K. J., Han, S., Kim, Y. H., Choi, Y., Lee, A., & Choi, J. H. (2020). CT-like MRI using the zero-TE technique for osseous changes of the TMJ. *Dentomaxillofacial Radiology*, 49(3), 20190272. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20190272>.
  22. Tălmăceanu, D., Lengeh, L. M., Bolog, N., Hedeşiu, M., Buduru, S., Rotaru, H., Băciuş, M., & Băciuş, G. (2018). Imaging modalities for temporomandibular joint disorders: an update. *Medicine and Pharmacy Reports*, 91(3), 280–287. <https://doi.org/10.15386/cjmed-970>.
  23. Tamimi, D. F., & Hatcher, D. C. (2016). *Specialty imaging: Temporomandibular joint*. Specialty Imaging.
  24. Hechler, B., Phero, J. A., Van Mater, H., & Matthews, N. S. (2018). Ultrasound versus magnetic resonance imaging of the temporomandibular joint in juvenile idiopathic arthritis: a systematic review. *International Journal of Oral and Maxillofacial*



- Surgery*, 47(1), 83–89. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2017.07.014>.
25. Vogl, T. J., Günther, D., Weigl, P., & Scholtz, J. (2021). Diagnostic value of dynamic magnetic resonance imaging of temporomandibular joint dysfunction. *European Journal of Radiology Open*, 8, 100390. <https://doi.org/10.1016/j.ejro.2021.100390>.
  26. Wahaj, A., Hafeez, K., & Zafar, M. S. (2016). Association of bone marrow edema with temporomandibular joint (TMJ) osteoarthritis and internal derangements. *CRANIO: The Journal of Craniomandibular & Sleep Practice*, 35(1), 4–9. <https://doi.org/10.1080/08869634.2016.1156282>.
  27. Ravanelli, M., Bottoni, L., Buffa, I., Tononcelli, E., Borghesi, A., Maroldi, R., & Farina, D. (2021). Real-time assessment of temporomandibular joint using HASTE sequences: feasibility and comparison with standard static sequences. *Dentomaxillofacial Radiology*, 50(4), 20200232. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20200232>.
  28. Daiem, H. a. M. A., Abdeldayem, M. a. M., & Eldin, O. a. G. (2022). Added value of dynamic 3T-MRI to conventional static MRI in evaluation of internal derangement of tempromandibular joint. *Clinical Imaging*, 91, 105–110. <https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2022.07.012>.
  29. Ma, R., Li, G., Sun, Y., Meng, J., Zhao, Y., & Zeng, H. (2019). Application of fused image in detecting abnormalities of temporomandibular joint. *Dentomaxillofacial Radiology*, 48(3), 20180129. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20180129>.
  30. Al-Saleh, M. A., Alsufyani, N., Lai, H., Lagravère, M. O., Jaremko, J. L., & Major, P. W. (2017). Usefulness of MRI-CBCT image registration in the evaluation of temporomandibular joint internal derangement by novice examiners. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 123(2), 249–256. <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2016.10.016>.
  31. Lee, J., Kim, D., Jeong, S., & Choi, S. (2018). Detection and diagnosis of dental caries using a deep learning-based convolutional neural network algorithm. *Journal of Dentistry*, 77, 106–111. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2018.07.015>.
  32. Machoy, M., Szyszka-Sommerfeld, L., Végh, A., Gedrange, T., & Woźniak, K. (2020). The ways of using machine learning in dentistry. *Advances in Clinical and Experimental Medicine*, 29(3), 375–384. <https://doi.org/10.17219/acem/115083>.
  33. Kim, J., Kim, D., Jeon, K. J., Kim, H., & Huh, J. (2021). Using deep learning to predict temporomandibular joint disc perforation based on magnetic resonance imaging. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86115-3>.
  34. Orhan, K., Driesen, L., Shujaat, S., Jacobs, R., & Chai, X. (2021). Development and validation of a Magnetic Resonance Imaging-Based Machine Learning model for TMJ pathologies. *BioMed Research International*, 2021, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2021/6656773>.

## References:

1. Okeson, J. P. (2019). *Management of Temporomandibular Disorders and Occlusion - E-Book*. Elsevier Health Sciences.
2. Hatcher, D. (2022). Anatomy of the mandible, temporomandibular joint, and dentition. *Neuroimaging Clinics of North America*, 32(4), 749–761. <https://doi.org/10.1016/j.nic.2022.07.009>.
3. Więckiewicz, M., Shiau, Y., & Boening, K. (2018). Pain of temporomandibular Disorders: From etiology to Management. *Pain Research & Management*, 1–2. <https://doi.org/10.1155/2018/4517042>.
4. Valesan, L. F., Da-Cas, C. D., Réus, J. C., Denardin, A. C. S., Garanhani, R. R., Bonotto, D., Januzzi, E., & De Souza, B. D. M. (2021). Prevalence of temporomandibular joint disorders: a systematic review and meta-analysis. *Clinical Oral Investigations*, 25(2), 441–453. <https://doi.org/10.1007/s00784-020-03710-w>.
5. Kulichenko R.V., Makieyev V.F., Kinash Yu.O. (2016). Analiz variantiv poiednannia riznykh form skronevo-nyzhnoshchelepykh rozladiv za rezultatamy obstezhennia khvorykh [The analysis of a combination varieties of temporomandibular disorders different forms by results of patients' examination]. *Klinichna Stomatolohiia – Clinical Dentistry*, 3, 35–38. <https://doi.org/10.11603/2311-9624.2016.3.6843> [in Ukrainian].
6. Alzahrani, A., Yadav, S., Gandhi, V., Lurie, A. G., & Tadinada, A. (2020). Incidental findings of temporomandibular joint osteoarthritis and its variability based on age and sex. *Imaging Science in Dentistry*, 50(3), 245. <https://doi.org/10.5624/isd.2020.50.3.245>.
7. Yadav, S., Yang, Y. T., Dutra, E. H., Robinson, J. L., & Wadhwa, S. (2018). Temporomandibular joint disorders in older adults. *Journal of the American Geriatrics Society*, 66(6), 1213–1217. <https://doi.org/10.1111/jgs.15354>.
8. Derwich, M., Mituś-Kenig, M., & Pawłowska, E. (2020). Interdisciplinary Approach to the Temporomandibular Joint Osteoarthritis—Review of the Literature. *Medicina-lithuania*, 56(5), 225. <https://doi.org/10.3390/medicina56050225>.





9. Schiffman, E. L., Ohrbach, R., Truelove, E. L., Look, J. O., Anderson, G. C., Goulet, J., List, T., Svensson, P., Gonzalez, Y., Lobbezoo, F., Michelotti, A., Brooks, S. L., Ceusters, W., Drangsholt, M., Ettl, D. A., Gaul, C., Goldberg, L. J., Haythornthwaite, J. A., Hollender, L., Dworkin, S. F. (2014). Diagnostic Criteria for Temporomandibular Disorders (DC/TMD) for clinical and research applications: Recommendations of the International RDC/TMD Consortium Network\* and Orofacial Pain Special Interest Group†. *Journal of Oral and Facial Pain and Headache*, 28(1), 6–27. <https://doi.org/10.11607/jop.1151>.
10. Song, H., Lee, J. Y., Huh, K., & Park, J. W. (2020). Long-term changes of temporomandibular joint osteoarthritis on computed tomography. *Scientific Reports*, 10(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-63493-8>.
11. Lee, K. S., Kwak, H., Oh, J., Jha, N., Kim, Y. J., Kim, W., Baik, U., & Ryu, J. J. (2020). Automated detection of TMJ osteoarthritis based on artificial intelligence. *Journal of Dental Research*, 99(12), 1363–1367. <https://doi.org/10.1177/0022034520936950>.
12. Maranini, B., Ciancio, G., Mandrioli, S., Galiè, M., & Govoni, M. (2022). The role of ultrasound in temporomandibular Joint Disorders: An update and future perspectives. *Frontiers in Medicine*, 9. <https://doi.org/10.3389/fmed.2022.926573>.
13. Yılmaz, D., & Kamburoğlu, K. (2019). Comparison of the effectiveness of high resolution ultrasound with MRI in patients with temporomandibular joint disorders. *Dentomaxillofacial Radiology*, 48(5), 20180349. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20180349>.
14. Almeida, F. T., Pachêco Pereira, C., Flores Mir, C., Le, L. H., Jaremko, J. L., & Major, P. W. (2019). Diagnostic ultrasound assessment of temporomandibular joints: a systematic review and meta-analysis. *Dentomaxillofacial Radiology*, 48(2), 20180144. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20180144>.
15. Xiong, X., Zheng, Y., Tang, H., Yi, W., Nie, L., Wei, X., Liu, Y., & Song, B. (2020). MRI of Temporomandibular Joint Disorders: recent advances and future directions. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, 54(4), 1039–1052. <https://doi.org/10.1002/jmri.27338>.
16. Kamel, Z. S. a. S. A., El-Shafey, M. H. R., Hassanien, O. A., & Nagy, H. A. (2021). Can dynamic magnetic resonance imaging replace static magnetic resonance sequences in evaluation of temporomandibular joint dysfunction? *Egyptian Journal of Radiology and Nuclear Medicine*, 52(1). <https://doi.org/10.1186/s43055-020-00396-8>.
17. Helms, C. A., Richardson, M. L., Moon, K. L., & Ware, W. R. (1984). Nuclear Magnetic Resonance Imaging of the Temporomandibular Joint: Preliminary observations. *The Journal of Cranio-mandibular Practice*, 2(3), 219–224. <https://doi.org/10.1080/07345410.1984.11677866>.
18. Roberts, D. W., Schenck, J. F., Pm, J., Foster, T. H., Hart, H. R., Pettigrew, J. C., Kundel, H. L., Edelstein, W. A., & Haber, B. (1985). Temporomandibular joint: magnetic resonance imaging. *Radiology*, 154(3), 829–830. <https://doi.org/10.1148/radiology.154.3.3969490>.
19. Wang, Y., Ma, R., Li, J., Mu, C., Zhao, Y., Meng, J., & Li, G. (2022). Diagnostic efficacy of CBCT, MRI and CBCT–MRI fused images in determining anterior disc displacement and bone changes of temporomandibular joint. *Dentomaxillofacial Radiology*, 51(2). <https://doi.org/10.1259/dmfr.20210286>.
20. Krohn, S., Joseph, A. A., Voit, D., Michaelis, T., Merboldt, K., Buegers, R., & Frahm, J. (2019). Multi-slice real-time MRI of temporomandibular joint dynamics. *Dentomaxillofacial Radiology*, 48(1), 20180162. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20180162>.
21. Lee, C., Jeon, K. J., Han, S., Kim, Y. H., Choi, Y., Lee, A., & Choi, J. H. (2020). CT-like MRI using the zero-TE technique for osseous changes of the TMJ. *Dentomaxillofacial Radiology*, 49(3), 20190272. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20190272>.
22. Tălmăceanu, D., Lenghel, L. M., Bolog, N., Hedeşiu, M., Buduru, S., Rotaru, H., Băciuş, M., & Băciuş, G. (2018). Imaging modalities for temporomandibular joint disorders: an update. *Medicine and Pharmacy Reports*, 91(3), 280–287. <https://doi.org/10.15386/cjmed-970>.
23. Tamimi, D. F., & Hatcher, D. C. (2016). *Specialty imaging: Temporomandibular joint*. Specialty Imaging.
24. Hechler, B., Phero, J. A., Van Mater, H., & Matthews, N. S. (2018). Ultrasound versus magnetic resonance imaging of the temporomandibular joint in juvenile idiopathic arthritis: a systematic review. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 47(1), 83–89. <https://doi.org/10.1016/j.ijom.2017.07.014>.
25. Vogl, T. J., Günther, D., Weigl, P., & Scholtz, J. (2021). Diagnostic value of dynamic magnetic resonance imaging of temporomandibular joint dysfunction. *European Journal of Radiology Open*, 8, 100390. <https://doi.org/10.1016/j.ejro.2021.100390>.
26. Wahaj, A., Hafeez, K., & Zafar, M. S. (2016). Association of bone marrow edema with temporomandibular joint (TMJ) osteoarthritis and internal derangements. *CRANIO: The Journal of*



- Craniomandibular & Sleep Practice*, 35(1), 4–9. <https://doi.org/10.1080/08869634.2016.1156282>.
27. Ravanelli, M., Bottoni, L., Buffa, I., Tononcelli, E., Borghesi, A., Maroldi, R., & Farina, D. (2021). Real-time assessment of temporomandibular joint using HASTE sequences: feasibility and comparison with standard static sequences. *Dentomaxillofacial Radiology*, 50(4), 20200232. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20200232>.
28. Daiem, H. a. M. A., Abdeldayem, M. a. M., & Eldin, O. a. G. (2022). Added value of dynamic 3T-MRI to conventional static MRI in evaluation of internal derangement of tempromandibular joint. *Clinical Imaging*, 91, 105–110. <https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2022.07.012>.
29. Ma, R., Li, G., Sun, Y., Meng, J., Zhao, Y., & Zeng, H. (2019). Application of fused image in detecting abnormalities of temporomandibular joint. *Dentomaxillofacial Radiology*, 48(3), 20180129. <https://doi.org/10.1259/dmfr.20180129>.
30. Al-Saleh, M. A., Alsufyani, N., Lai, H., Lagravère, M. O., Jaremko, J. L., & Major, P. W. (2017). Usefulness of MRI-CBCT image registration in the evaluation of temporomandibular joint internal derangement by novice examiners. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology and Oral Radiology*, 123(2), 249–256. <https://doi.org/10.1016/j.oooo.2016.10.016>.
31. Lee, J., Kim, D., Jeong, S., & Choi, S. (2018). Detection and diagnosis of dental caries using a deep learning-based convolutional neural network algorithm. *Journal of Dentistry*, 77, 106–111. <https://doi.org/10.1016/j.jdent.2018.07.015>
32. Machoy, M., Szyszka-Sommerfeld, L., Végh, A., Gedrange, T., & Woźniak, K. (2020). The ways of using machine learning in dentistry. *Advances in Clinical and Experimental Medicine*, 29(3), 375–384. <https://doi.org/10.17219/acem/115083>.
33. Kim, J., Kim, D., Jeon, K. J., Kim, H., & Huh, J. (2021). Using deep learning to predict temporomandibular joint disc perforation based on magnetic resonance imaging. *Scientific Reports*, 11(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-021-86115-3>.
34. Orhan, K., Driesen, L., Shujaat, S., Jacobs, R., & Chai, X. (2021). Development and validation of a Magnetic Resonance Imaging-Based Machine Learning model for TMJ pathologies. *BioMed Research International*, 1–11. <https://doi.org/10.1155/2021/6656773>.