УДК 616.314-089.843
DOI https://doi.org/10.35220/2523-420X/2026.3.20

В.В. Хлєбутін,
старший лаборант кафедри щелепно-лицевої хірургії
Національний медичний університет
імені О.О. Богомольця,
бульвар Тараса Шевченка, 1, м. Київ, Україна,
індекс 01601
https://orcid.org/0009-0003-6042-2408

Д.М. Кеян,
кандидат медичних наук, доцент,
асистент кафедри щелепно-лицевої хірургії
Національний медичний університет
імені О.О. Богомольця,
бульвар Тараса Шевченка, 1, м. Київ, Україна,
індекс 01601
https://orcid.org/0000-0002-9759-2203

ІСТОРИЧНІ АСПЕКТИ НАВІГАЦІЙНОЇ ХІРУРГІЇ

Дентальна імплантологія є однією з найбільш динамічно зростаючих галузей стоматології, яка поєднує хірургічні та ортопедичні підходи для відновлення функції та естетики зубощелепної системи. Успіх лікування значною мірою залежить від точності планування і виконання операційних етапів. Традиційні методики, що базувалися на клінічному досвіді та рентгенологічному аналізі, не завжди забезпечували високу передбачуваність результатів. Перші згадки про хірургічні шаблони саме для дентальної імплантації з'являються в літературі середини-1980-х. ***Мета даної роботи.*** *Системний аналіз історичних етапів становлення навігаційної хірургії, розгляд розвитку технологій виготовлення хірургічних шаблонів, а також оцінка впливу цифрових методик на практику дентальної імплантології.* ***Матеріали та методи.*** *У статті розглянуто історичні аспекти розвитку навігаційної хірургії з акцентом на її становленні в дентальній імплантології. Проаналізовано ключові етапи розвитку – від перших спроб імплантації зубів у давніх цивілізаціях та використання механічних пристроїв до впровадження сучасних цифрових технологій, CAD/CAM-систем та 3D-друку. Окрема увага приділена класифікації хірургічних шаблонів, історичним аспектам, а також впливу навігаційних систем на точність і безпеку імплантаційних втручань починаючи з часів створення хірургічних шаблонів до сьогодення. Підкреслено значення сучасних підходів для підвищення прогнозованості результатів лікування та зниження ризику ускладнень. Висновки. Історія навігаційної хірургії з середини 1980-х до сьогодення демонструє еволюцію від емпіричних підходів до високоточних цифрових технологій. Вона дозволила значно підвищити точність та безпеку дентальної імплантації, зробивши її більш прогнозованою і доступною. Впровадження CAD/CAM-систем, 3D-друку та динамічної навігації змінило стандарт клінічної практики. Сучасні дослідження підтверджують, що використання хірургічних шаблонів значно зменшує кількість ускладнень і підвищує рівень успішності імплантацій. Подальший розвиток технологій, зокрема використання штучного інтелекту та доповненої реальності, відкриває нові перспективи для такої хірургії але тим самим технології змушують нас вдосконалювати існуючі методи та шукати рішення існуючих недоліків.*
Ключові слова: *навігаційна хірургія, дентальна імплантація, хірургічні шаблони, CAD/CAM, історичні аспекти, історичні особи, перші шаблони.*

V.V. Khliebutin,
Senior Laboratory Assistant at the Department
of Maxillofacial Surgery
O.O. Bogomolets National Medical University,
1 Taras Shevchenko Boulevard, Kyiv, Ukraine, postal code
01601 https://orcid.org/0009-0003-6042-2408

D.M. Keian,
PhD, Associate Professor
Assistant at the Department of Maxillofacial Surgery,
O.O. Bogomolets National Medical University,
1 Taras Shevchenko Boulevard, Kyiv, Ukraine, postal code
01601 https://orcid.org/0000-0002-9759-2203

HISTORICAL ASPECTS OF NAVIGATION SURGERY

Dental implantology is one of the most dynamically growing branches of Dentistry, combining surgical and orthopedic approaches to restore the function and aesthetics of the dentoalveolar system. The success of treatment largely depends on the accuracy of planning and performing surgical stages. Traditional methods based on clinical experience and X-ray analysis did not always provide high predictability of results. The first mention of surgical templates specifically for dental implantation appears in the literature of the mid-1980s. ***The purpose of this paper.*** *Systematic analysis of the historical stages of the formation of navigation surgery, consideration of the development of technologies for manufacturing surgical templates, as well as assessment of the impact of digital techniques on the practice of dental implantology.* ***Materials and methods.*** *The article reviews the historical aspects of the development of navigation surgery, with a focus on its application in dental implantology. Key stages of development are analyzed – from the earliest attempts at tooth implantation in ancient civilizations and the use of mechanical devices to the introduction of modern digital technologies, CAD/CAM systems, and 3D printing. Special attention is paid to the classification of surgical guides, topographic-anatomical considerations, and the impact of navigation systems on the accuracy and safety of implant procedures. The significance of modern approaches in improving treatment predictability and reducing complications is highlighted. Conclusions. The history of navigation surgery from the mid-1980s to the present day demonstrates the evolution from empirical approaches to high-precision digital technologies. It has significantly improved the accuracy and safety of dental implantation, making it more predictable and affordable. The introduction of CAD/CAM systems, 3D printing,*

Стаття поширюється на умовах ліцензії відкритого доступу CC BY 4.0

© В.В. Хлєбутін, Д.М. Кеян, 2026

and dynamic navigation has changed the standard of clinical practice. Current research confirms that the use of surgical templates significantly reduces the number of complications and increases the success rate of implants. Further development of technologies, in particular the use of artificial intelligence and augmented reality, opens up new prospects for such surgery, but thus technologies force us to improve existing methods and look for solutions to existing shortcomings.

Key words: *navigation surgery, dental implantation, surgical guides, CAD/CAM, historical aspects, historical personalities, first templates.*

Вступ. Дентальна імплантологія є однією з найбільш динамічно зростаючих галузей стоматології, яка поєднує хірургічні та ортопедичні підходи для відновлення функції та естетики зубощелепної системи. Успіх лікування значною мірою залежить від точності планування і виконання операційних етапів. Традиційні методики, що базувалися на клінічному досвіді та рентгенологічному аналізі, не завжди забезпечували високу передбачуваність результатів [1].

Перші згадки про хірургічні шаблони саме для дентальної імплантації з'являються в літературі середини-1980-х [2,3].

З появою навігаційної хірургії стало можливим значно підвищити рівень контролю за просторовим розташуванням імплантатів, що забезпечило більш точне відтворення протетичного плану, зменшення ризику пошкодження анатомічних структур та скорочення часу хірургічного втручання [4,5,26].

Мета даної роботи. Системний аналіз історичних етапів становлення навігаційної хірургії, розгляд розвитку технологій виготовлення хірургічних шаблонів, а також оцінка впливу цифрових методик на практику дентальної імплантології.

Історичні аспекти навігаційної хірургії. Розвиток навігаційної хірургії нерозривно пов'язаний з історією дентальної імплантації та становленням хірургічних методик у стоматології. Перші спроби відновлення втрачених зубів сягають давніх цивілізацій. Археологічні знахідки свідчать про те, що у майя та етрусків використовувалися прототипи імплантатів із кістки тварин, мушель та металів. Хоча ці спроби не мали наукового підґрунтя, вони заклали підвалини для розуміння потреби у відновленні зубощелепного апарату [1].

У середньовіччі медицина здебільшого спиралася на емпіричний досвід, а зубні протези виготовлялися з дерева чи металу. Хірургічні втручання були обмежені високим ризиком ускладнень та відсутністю знань про анатомію й асептику. Ситуація змінилася у XIX столітті з відкриттям рентгенівських променів В. Рентгеном (1895 р.), що дало змогу вперше візуалізувати внутрішні структури щелеп і заклало основу для планування імплантаційних втручань [1].

У XX столітті важливим проривом стало відкриття феномену остеоінтеграції Пер-Інгваром Бранемарком у 1950–1960-х роках. Саме це відкриття зробило можливим широке клінічне застосування дентальних імплантатів [27]. Проте на етапі становлення імплантології операції виконувалися «вільною рукою», що зумовлювало високу ймовірність неточностей у розташуванні імплантатів, пошкодження нервових структур і синусових утворень [1,4,26].

З розвитком комп'ютених технологій у 1980–1990-х роках з'явилися перші спроби використання цифрової навігації у хірургії. Початково це були примітивні механічні шаблони, що задавали напрям свердління. У дослідженні Adrain et al [2] у 1992 було описиано використання сплінтового матеріалу для позиціювання імплантів. Balshi & Garver [3] систематизують типи хірургічних гайд-стентів для повністю та частково беззубих щелеп і зубо-опорних варіантів – це одна з найцитованіших ранніх публікацій саме про шаблони для імплантів.

Однак вже на початку XXI століття почалося активне впровадження CAD/CAM-технологій, які дали можливість створювати індивідуалізовані хірургічні шаблони на основі даних комп'ютерної томографії. [4, 18, 26].

Сьогодні навігаційна хірургія розглядається як невід'ємна складова дентальної імплантації. Вона пройшла шлях від емпіричних і малоефективних методів до високоточної цифрової технології, що базується на 3D-візуалізації, комп'ютерному моделюванні та використанні біосумісних матеріалів для виготовлення шаблонів [1,4,7].

Технологічний розвиток. У дослідженні Ge, S et al. (21) було описано що еволюція навігаційних систем у дентальній імплантології безпосередньо пов'язана з розвитком медичних технологій, діагностичних методів та цифрових інструментів. На початкових етапах планування імплантації обмежувалося рентгенографією у двох проєкціях, що не дозволяло отримати повну картину анатомічних особливостей пацієнта. Поява комп'ютерної томографії (КТ) у 1970-х роках, а згодом конусно-променевої КТ (КПКТ) у 1990-х, стала революційною подією [13, 14]. Це дало змогу отримувати високоточні тривимірні зображення, аналізувати кістковий об'єм, розташу-

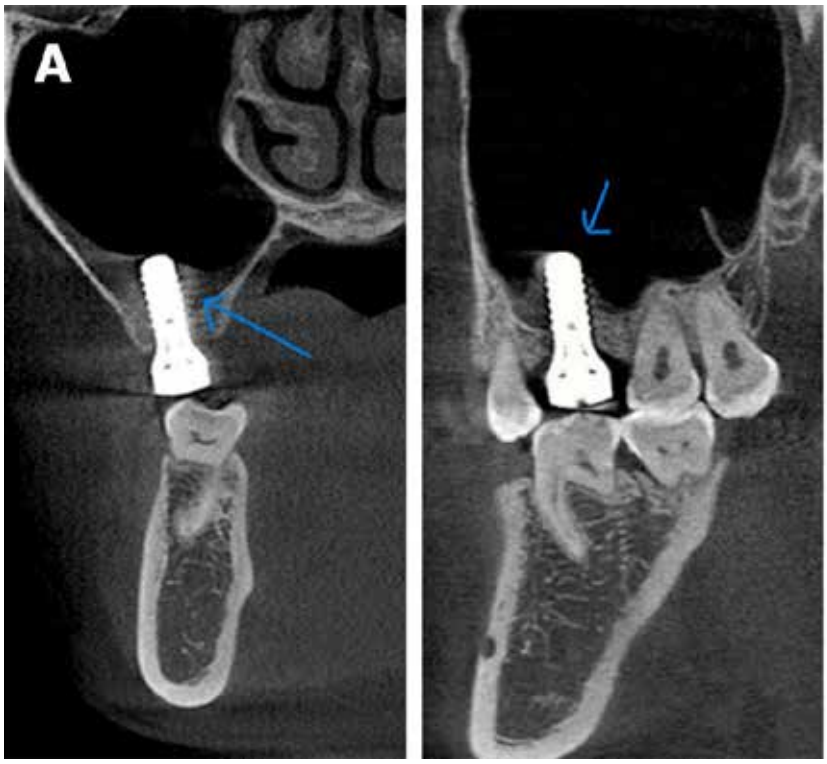


Рис. 1. Встановлений імплантат в верхньощелепний синус, стрілками вказано частину імплантату, яка входить в просвіт гайморової пазухи.

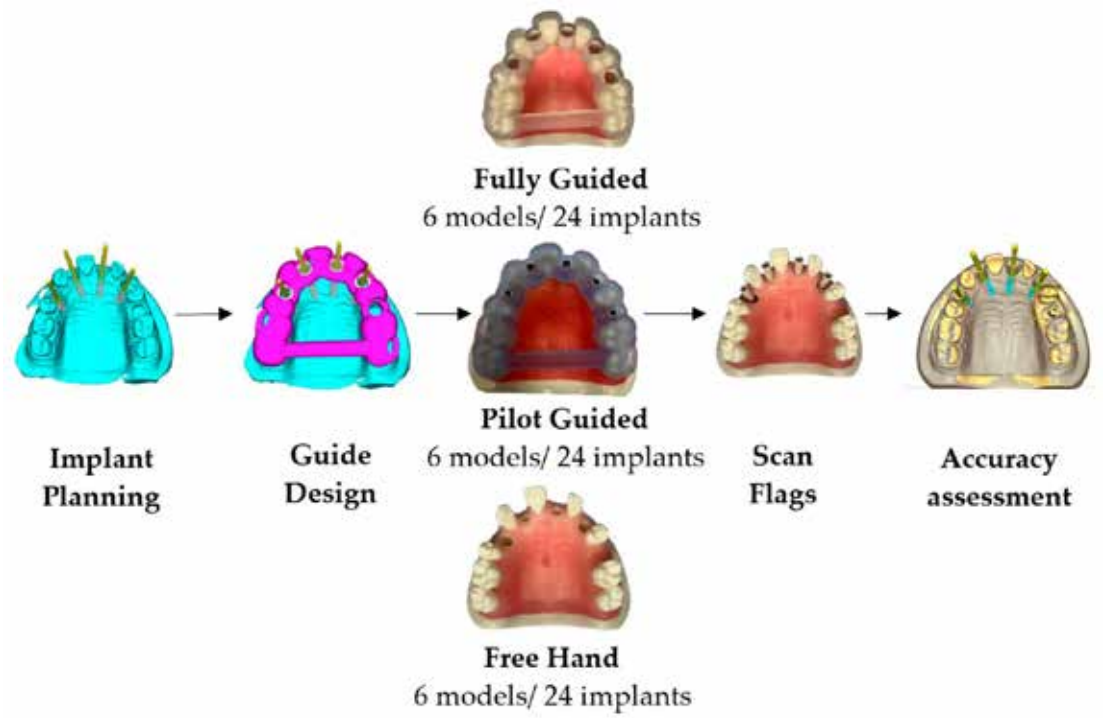


Рис. 2. Процес створення і порівняння точності Free Hand і Fully Guided імплантації (Vercruyssen et al., 2014; Zhou et al., 2019). (10,11)

вання анатомічно важливих структур та прогнозувати результати втручання [15].

У 1990-х роках почали активно впроваджуватися CAD/CAM-системи (computer-aided design / computer-aided manufacturing). Завдяки їм стало можливим не лише віртуально планувати положення імплантата, але й виготовляти індивідуалізовані хірургічні шаблони з високою точністю.



Рис. 3. Надрукований хірургічний шаблон на 3D-принтері з металевими гільзами.

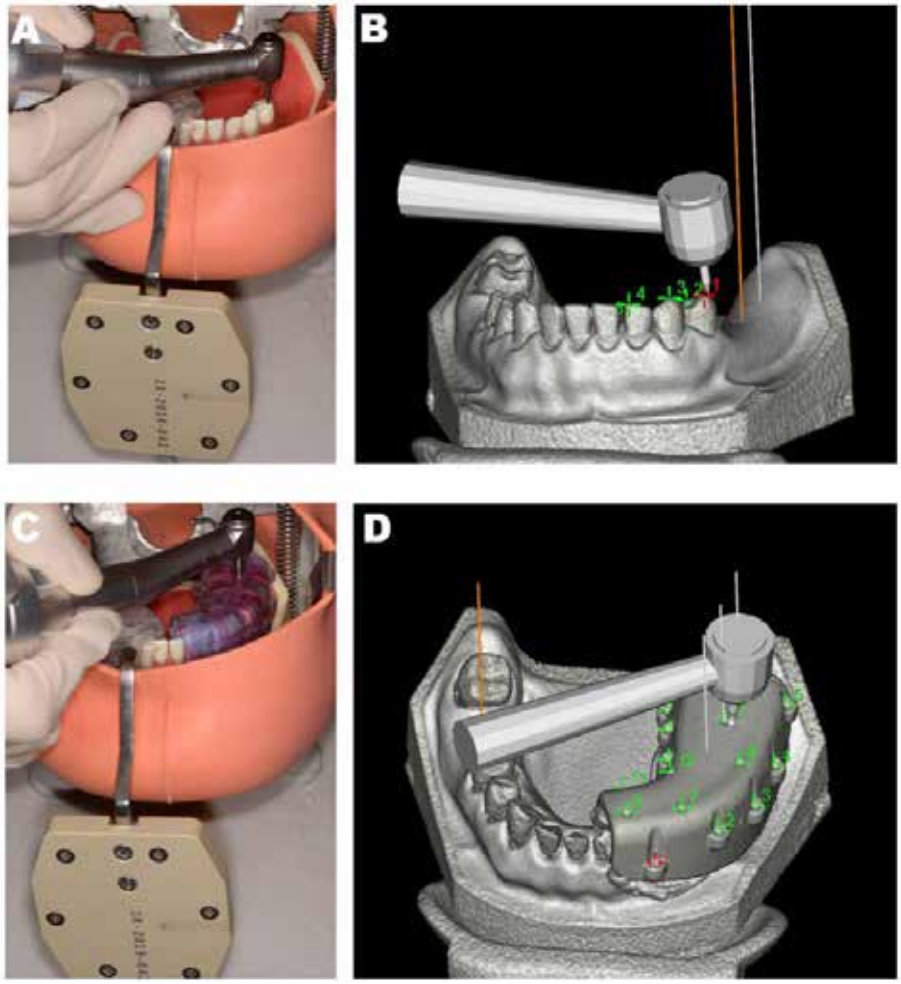


Рис. 4. Модельний експеримент при динамічній навігації.

A, B – точність співставлення фрези на моделі та на кт при динамічній навігації де малюнок A це позиція фрези на моделі та малюнок B де показана позиція фрези на кт в реальному часі.

C, D – прецезійність препарування лунки під імплантат за допомогою статичної навігації де на малюнку C представлена сама модель на якій припасований шаблон та малюнок D де представлена позиція фрези на кт в реальному часі.

Використання цифрових даних забезпечило мінімальні відхилення між запланованим та фактичним розташуванням імплантатів [4, 18, 8, 26].

Справжнім проривом у виготовленні хірургічних шаблонів став розвиток технології 3D-друку. Вона дозволила швидко та економічно створювати індивідуальні конструкції з біосумісних матеріалів. Шаблони, надруковані на 3D-принтері, відзначаються високою точністю та можливістю інтеграції металевих гільз, які спрямовують хірургічні інструменти [4,7,18].

У історіях технологій 3D-друку в медицині згадується, що компанія **Materialise** у 1990-х уже почала працювати над кастомізованими 3D-друкованими хірургічними шаблонами для стоматологічних операцій. Зокрема, у описах історії Materialise зазначається, що вони почали виготовляти персоналізовані 3D-друковані хірургічні шаблони для стоматологічних операцій уже в 1996 році [28].

Окрім статичних шаблонів, у практику почала входити динамічна навігація – використання спеціальних камер і датчиків, що в режимі реального часу відслідковують положення інструментів відносно щелепи пацієнта. Огляд D'Haese et al показує що така технологія дає змогу коригувати напрям свердління 11 безпосередньо під час операції, підвищуючи безпеку втручання. (19, 20,22,23) (J. D'Haese et al., 2017, F. Ma et al., 2025, F. Cecchetti et al., 2020, M.S. Block et al., 2017)

Таким чином, технологічний розвиток відбувався у трьох взаємопов'язаних напрямах: вдосконалення методів діагностики, створення індивідуалізованих CAD/CAM-шаблонів та впровадження динамічних навігаційних систем. Сукупність цих інновацій забезпечила сучасний рівень точності та прогнозованості дентальної імплантації [4, 8, 18, 19, 26].

Класифікація хірургічних шаблонів представлена в таблиці 1.

Тому підсумовуючи: хірургічні шаблони, що застосовуються у навігаційній хірургії, можна класифікувати за кількома критеріями:

1. За способом виготовлення:

o Традиційні (механічні) – створювалися на основі гіпсових моделей із використанням воскових чи пластмасових репродукцій. Вони задавали лише приблизний напрям свердління.

2. CAD/CAM-шаблони – сучасний стандарт. Виготовляються за даними КТ/КПКТ та віртуального планування імплантації. Дослідження D'haese et al. (2017) показало, що середнє відхилення при використанні CAD/CAM-шаблонів становить 1,2 мм по апексу та 3–4° за кутом, що суттєво краще за вільноручне встановлення імплантатів [4, 26].

3. За функціональністю:

o Діагностичні – використовуються для оцінки взаємовідношення зубних рядів, естетики та функції.

o Хірургічні – направляють інструменти під час свердління та встановлення імплантатів.

4. За типом опори:

o На зубах – застосовуються у пацієнтів із частковою адентією. Відзначаються високою стабільністю.

o На слизовій – використовуються при повній адентії, однак мають ризик зсуву.

o На кістці – забезпечують максимальну точність, проте вимагають відшарування слизового клаптя

o Комбіновані – назубно-наслизово-накісні [1, 4, 8]

Систематичний огляд Putra et al. (2022) показав, що найбільш точними є шаблони з опорою на зуби, тоді як слизові опори супроводжуються більшим ризиком відхилень [8].

У сучасній клінічній практиці навігаційна хірургія поєднує кілька ключових цифрових технологій, історія розвитку яких проведена нижче:

1. КПКТ (CBCT) – основне джерело тривимірної інформації про щелепу. Забезпечує точність до 0,1 мм, дозволяючи аналізувати кісткову структуру, щільність кістки та анатомічні орієнтири [13,14,15].

2. За даними оглядової статті *"Local cone beam CT: how did it all start?"*, технологія була винайдена / розроблена в Італії як практичний метод у 1998 році [13]

В огляді *"Cone beam computed tomography in implant dentistry"* зазначено, що перший комерційний CBCT-пристрій був представлений в кінці 1990-х. [15].

В статті *"Cone beam computed tomography: basics and applications in dentistry"* автори згадують, що Arai (Японія) і Mozzo (Італія) незалежно запровадили CBCT для щелепно-лицевих застосувань у публікаціях 1998 року [13, 14].

3. Інтраоральні сканери – замінили традиційні відбитки. Вони дозволяють отримати точні цифрові моделі зубних рядів, які поєднуються з даними КТ для створення повної 3D-моделі пацієнта [16,17].

Згідно з оглядовим «EVOLUTION OF INTRAORAL SCANNERS IN DENTISTRY: AN OVERVIEW», швейцарський стоматолог Werner

Таблиця 1

Класифікація хірургічних шаблонів

Рік / Автори	Тип класифікації / Основні критерії	Сутність класифікації	Основні недоліки	Джерело (Harvard)
1987 – T.J. Balshi & D.G. Garver [3]	Перші спроби описати шаблони для позиціювання імплантатів	Поділ за функцією: орієнтовні стенти, позиційні шаблони, направляючі шаблони	Не було системного підходу; відсутня класифікація за опорою чи технологією виготовлення	Balshi, T.J. and Garver, D.G. (1987) 'Surgical guide stents for placement of implants', *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 45(5), pp. 463–465. doi: 10.1016/0278-2391(87)90020-6.
1992 – E.D. Adrian et al. [2]	Trajectory concept	Запропоновано траєкторний шаблон (trajectory stent) для контролю кута імпланта	Концептуальний підхід без розмежування типів шаблонів; контроль лише одного параметра (кут)	Adrian, E.D., Ivanhoe, J.R. and Krantz, W.A. (1992) 'Trajectory surgical guide stent for implant placement', *Journal of Prosthetic Dentistry*, 67(5), pp. 687–691.
2014 – A. Tahmaseb et al. [26]	Систематизація static computer-guided surgery	Аналіз точності та клінічних факторів guided surgery	Основний акцент на точності; відсутня повна класифікація типів шаблонів	Tahmaseb, A., Wu, V., Wismeijer, D., Coucke, W. and Evans, C. (2014) 'The accuracy of static computer-aided implant surgery: A systematic review and meta-analysis', *Clinical Oral Implants Research*, 25(Suppl. 16), pp. 416–435. doi: 10.1111/clr.12265.
2015 – M.Z. Kola et al. [30]	Опорно-технологічна класифікація	Поділ за опорою (tooth-, mucosa-, bone-supported) та способом виготовлення (традиційний / CAD-CAM)	Не враховано ступінь керованості та динамічну навігацію	Kola, M.Z. et al. (2015) 'Surgical templates for dental implant positioning; current knowledge and clinical perspectives', *Journal of Clinical and Diagnostic Research*, 9(1), pp. ZE48–ZE52.
2022 – R.H. Putra et al. [8]	Цифрова класифікація та оцінка точності guided surgery	Аналіз точності шаблонів залежно від типу опори, цифрового планування та навігації	Не охоплює AR/роботизовані системи; акцент переважно на точності	Putra, R.H., Yoda, N., Astuti, E.R. and Sasaki, K. (2022) 'The accuracy of implant placement with computer-guided surgery in partially edentulous patients and possible influencing factors: A systematic review and meta-analysis', *Journal of Prosthodontic Research*, 66(1), pp. 29–39. doi: 10.2186/jpr.JPR_D_20_00184.

Mörmann у співпраці з італійським інженером Marco Brandestini у **1980-х роках** розробили перший цифровий інтраоральний сканер [17].

Інша публікація, *Intraoral Scans of Full Dental Arches: An In Vitro Measurement*, зазначає: «Since 1980, when the first intraoral scanner (IOS) was made, технологія продовжувала розвиватися» і далі: «in 1987, the first intraoral scanner (IOS) was introduced in the dental market» [16].

4. Програмне забезпечення для планування (наприклад, coDiagnostiX, Nobel Clinician, BlueSkyPlan) – забезпечує віртуальне позиціонування імплантатів з урахуванням протетичного плану [18].

Kühl, S et al 2015 описав точність хірургічних шаблонів виготовлених за допомогою coDiagnostiX хоча сама програма була створена з кінця 1990-х або початку 2000-х [18].

5. 3D-друк шаблонів – здійснюється на принтерах з фотополімерів, акрилових смол чи нейлону. Huang et al. (2023) та Lepišová et al. (2025) відзначають, що сучасні біосумісні матеріали дозволяють одночасно забезпечити жорсткість і комфорт пацієнта [6,7]. Сам 3д друк шаблонів як явище з'явився 1990-х коли компанія Materialise саме кастомізовані шаблони. [28].

6. Динамічні навігаційні системи (наприклад, Navident, X-Guide) – дають змогу лікарю в режимі

Таблиця 2

Клінічні результати та ускладнення

Параметр	Вільноручна імплантація	Навігаційна імплантація
Середнє відхилення по апексу	2,0–2,5 мм	0,9–1,3 мм
Середнє кутове відхилення	7–9°	2–4°
Ризик ушкодження анатомічних структур	Високий	Низький
Тривалість операції	Довша	Коротша
Рівень післяопераційних ускладнень	Вище 20%	Менше 10%
Прогнозованість результатів	Обмежена	Висока
Вартість	Нижча	Вища

реального часу бачити положення інструмента на екрані. Це технологія, аналогічна GPS у медицині, яка поєднує точність з гнучкістю хірургічних маніпуляцій [19, 20, 23, 25].

Navident (ClaroNav, Торонто, Канада)**:** система представлена у стоматології приблизно **з** 2015 р.**;** походить із технологій навігації, що використовувалися в нейро- та ЛОР-хірургії (Navient) [19].

X-Guide (X-Nav Technologies, США; нині в портфелі Nobel Biocare)**:** перші клінічні публікації – 2016–2017 рр.**,** що фактично маркує її вихід у клінічну практику [20]

Дані метааналізу Gargallo-Albiol et al. (2019) свідчать, що точність навігаційної імплантації із застосуванням цифрових шаблонів є статистично вищою, ніж при вільноручних методах, а кількість ускладнень знижується на 40–50%.

Клінічні результати та ускладнення. Навігаційна хірургія продемонструвала значне підвищення точності встановлення імплантатів. У метааналізі Vercruyssen et al. (2014) середнє відхилення по апексу становило 1,2 мм, тоді як при вільноручній імплантації **–** понад 2 мм. Подібні результати підтвердили Zhou et al. (2019), які відзначили, що кутове відхилення при використанні хірургічних шаблонів у середньому на 50% менше [5] (табл. 2).

Порівняльний аналіз дентальних імплантатів, встановлених вільно та за допомогою хірургічних шаблонів, за даними [10,11,8].

Недоліки

1. Ймовірність похибок

- Помилки можуть виникати на різних етапах:(сканування → планування → виготовлення шаблону / навігація) [23].

2. Складність планування

- Необхідне детальне цифрове планування і підготовка.
- Збільшує час до операції [26].
- Помилки можуть виникати на різних етапах:(сканування → планування → виготовлення шаблону / навігація) [23].

3. Висока вартість

- Потреба у КТ/КПКТ, програмному забезпеченні, обладнанні або шаблонах.
- Підвищує вартість лікування для пацієнта [24,25].

Недоліки статичної навігації

1. Відсутність можливості корекції під час операції

- Неможливо змінити план імплантації в реальному часі [23,25].

2. Залежність від точності шаблону

- Неточність виготовлення або фіксації шаблону → помилка позиції імпланта [4, 18, 26].

3. Обмежений доступ і видимість

- Шаблон може ускладнювати доступ, особливо у дистальних ділянках [4].

Недоліки динамічної навігації

1. Крива навчання

- Потребує спеціальної підготовки і досвіду лікаря [19, 23, 25].

2. Технічна залежність

- Помилки калібрування, трекінгу або збій системи можуть вплинути на результат [19, 23, 25].

3. Додаткове когнітивне навантаження

- Лікар працює через екран → потребує координації “око-рука” [23].

Перспективи розвитку.

Що стосується навігаційної хірургії то вони наступні:

1. Вдосконалення біосумісних матеріалів для виготовлення шаблонів, що поєднують жорсткість і комфорт.

2. Телемедицина та дистанційне планування: лікар може створювати план і передавати його колегам у будь-якій точці світу.

3. Розвиток динамічної навігації з можливістю використання доповненої реальності (AR).

4. Інтеграція штучного інтелекту для автоматичного планування положення імплантатів на основі аналізу анатомічних структур.

5. Економічне обгрунтування вартості та шляхи його зменшення.

6. Вдосконалення методів фіксації хірургічних шаблонів та виготовлення шаблонів що поєднують декілька методів фіксації (накісно-наслизово-назубні).

7. Вдосконалення методів візуалізації доступу та методів введення свердла у дистальних відділах щелеп.

Висновки

Історія навігаційної хірургії з середини 1980-х до сьогодення демонструє еволюцію від емпіричних підходів до високоточних цифрових технологій. Вона дозволила значно підвищити точність та безпеку дентальної імплантації, зробивши її більш прогнозованою і доступною.

Впровадження CAD/CAM-систем, 3D-друку та динамічної навігації змінило стандарт клінічної практики. Сучасні дослідження підтверджують, що використання хірургічних шаблонів значно зменшує кількість ускладнень і підвищує рівень успішності імплантацій.

Подальший розвиток технологій, зокрема використання штучного інтелекту та доповненої реальності, відкриває нові перспективи для такої хірургії але тим самим технології змушують нас вдосконалювати існуючі методи та шукати рішення існуючих недоліків.

References:

1. Ramasamy, M., Prabhu, S., & Nair, S. (2013) ‘Implant surgical guides: From the past to the present’, *Journal of Prosthetic Dentistry*, [online] (PMC). https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3722716/

2. Adrian, E.D., Ivanhoe, J.R. & Krantz, W.A. (1992) Trajectory surgical guide stent for implant placement, *Journal of Prosthetic Dentistry*, 67(5), 687–691. doi: 10.1016/0022-3913(92)90172-7

3. Balshi, T.J., & Garver, D.G. (1987) ‘Surgical guide stents for placement of implants’, *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 45(5), 463–465. doi: 10.1016/0278-2391(87)90020-6.

4. D’haese, J., Van De Velde, T., Komiyama, A., Hultin, M. & De Bruyn, H. (2012) Accuracy and complications using computer-designed stereolithographic surgical guides for oral rehabilitation by means of dental implants: a review of the literature. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 14(3), 321–335. doi: 10.1111/j.1708-8208.2010.00275.x

5. Gargallo-Albiol, J., Barootchi, S., Salomó-Coll, O. & Wang, H. (2019) Advantages and disadvantages of implant navigation surgery. A systematic review. *Annals of Anatomy*, 225, 1–10. doi: 10.1016/j.aanat.2019.04.005

6. Lepišová, M., Tomášik J., Ľubica O., & Thurzo A. (2025) Three-Dimensional-Printed Elements Based on Polymer and Composite Materials in Dentistry: A Narrative Review, *Bratislava Medical Journal,* 126, 14–27. DOI:10.1007/s44411-024-00011-6

7. Huang, S., Wei, H., & Li, D. (2023). Additive manufacturing technologies in the oral implant clinic: A review of current applications and progress. *Front Bioeng Biotechnol,* 11, 1100155. doi: 10.3389/fbioe.2023.1100155.

8. Putra, R.H., Yoda, N., Astuti, E.R., & Sasaki, K. (2022). The accuracy of implant placement with computer-guided surgery in partially edentulous patients and possible influencing factors: A systematic review and meta-analysis. *J Prosthodont Res,* 66(1), 29-39. doi: 10.2186/jpr.JPR_D_20_00184. E

10. Vercruyssen, M., Cox, C., Naert, I., Jacobs, R., Teughels, W., & Quirynen, M. (2016). Accuracy and patient-centered outcome variables in guided implant surgery: a RCT comparing immediate with delayed loading. *Clin Oral Implants Res*, 27(4), 427-32. doi: 10.1111/clr.12583.

11. Zhou, W., Liu, Z., Song, L., Kuo, C.L., & Shafer, D.M. (2018) Clinical factors affecting the accuracy of guided implant surgery–a systematic review and meta-analysis. *Journal of Evidence Based Dental Practice*, 18(1), 28–40. doi: 10.1016/j.jebdp.2017

12**.** Bi, S., Wang, M., Zou, J., Gu, Y., Zhai, C., & Gong, M. (2022). Dental Implant Navigation System Based on Trinocular Stereo Vision. *Sensors (Basel),* 22(7), 2571. doi: 10.3390/s22072571

13. Mozzo, P., Procacci, C., Tacconi, A., Martini, P.T., & Andreis, I.A. (1998) A new volumetric CT machine for dental imaging based on the cone-beam technique: preliminary results. *European Radiology*, 8(9), 1558–1564. doi: 10.1007/s003300050586.

14. Arai, Y., Tammisalo, E., Iwai, K., Hashimoto, K., & Shinoda, K. (1999) Development of a compact computed tomographic apparatus for dental use. *Dentomaxillofacial Radiology*, 28(4), 245–248. doi: 10.1038/sj.dmfr.4600448.

15. Jacobs, R., Salmon, B., Codari, M., Hassan, B., & Bornstein, M.M. (2018). Cone beam computed tomography in implant dentistry: recommendations for clinical use. *BMC Oral Health,* 18(1), 88. doi: 10.1186/s12903-018-0523-5.

16. Giuliodori, G., Rappelli, & G. Aquilanti, L. (2023). Intraoral scans of full dental arches: an in vitro measurement study of the accuracy of different intraoral scanners. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(6), 4776. doi: 10.3390/ijerph20064776.

17. Kakade, P., Zambre, G., Mhatre, S., Srichand, R., Joshi, M., & Gholap, P. (2023) *Evolution of Intraoral Scanners in Dentistry: An Overview.* Crown 32 Dental Speciality Clinic & Implant Centre and Bharati Vidyap-

eeth Dental College and Hospital, Navi Mumbai. Available at: Accessed: 9 October 2025. file:///C:/Users/Admin/Downloads/DocumentfromSwapnali3.pdf

18. Kühl, S., Payer, M., Zitzmann, N.U., Lambrecht, J.T., & Filippi, A. (2015) Technical accuracy of printed surgical templates for guided implant surgery with the coDiagnostiX software. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*, 17 (1), e177–e182. doi: 10.1111/cid.12152.

19**.** Cecchetti, F., Di, Girolamo, M., Ippolito, & D.G., Baggi, L. (2020). Computer-guided implant surgery: analysis of dynamic navigation systems and digital accuracy. *J Biol Regul Homeost Agents,* 34(3), 9-17. https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32618156/

20. Block, M.S., Emery, R.W., Cullum, D.R., & Sheikh, A. (2017). Implant placement is more accurate using dynamic navigation. *Journal of Oral and Maxillofacial Surgery.* 75(7), 1377–1386. doi: 10.1016/j.joms.2017.02.026.

21. Ge, S., Rong, H., & Wang, Y. (2025) The Role of Digital Navigation Systems in Improving Implant Surgery Outcomes. *Medical Science,* 3(3), 3032. DOI:10.61173/xdemhx06

22. Ma, F., Wei, T., Du, Y., Wu, B., & Sun, F. (2025). Accuracy of dynamic navigation for immediate and delayed anterior dental implant placement: a retrospective study. *BMC Oral Health*, 25(1), 1858. doi: 10.1186/s12903-025-07226-1.

23. D'haese, J., Ackhurst, J., Wismeijer, D., De Bruyn, H., & Tahmaseb, A. (2017). Current state of the art of computer-guided implant surgery. *Periodontol 2000,* 73(1), 121-133. doi: 10.1111/prd.12175.

24. Younis, H., Lv, C., Xu, B., Zhou, H., Du, L. & et al. (2024). Accuracy of dynamic navigation compared to static surgical guides and the freehand approach in implant placement: a prospective clinical study. *Head Face Med,* 20(1), 30. doi: 10.1186/s13005-024-00433-1.

25. Parra-Tresserra, A., Marquès-Guasch, J., Ortega-Martínez, J., Basilio-Monné, J., Hernández-Alfaro, F. (2021). Current state of dynamic surgery. A literature review. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal,* 26(5), e576-e581. doi: 10.4317/medoral.24566.

26. Tahmaseb, A., Wu, V., Wismeijer, D., Coucke, W. & Evans, C. (2014) The accuracy of static computer-aided implant surgery: A systematic review and meta-analysis, *Clinical Oral Implants Research*, 25(16), 416–435. doi: 10.1111/clr.12265.

27. Brånemark, P.I. (1983). Osseointegration and its experimental background. *Journal of Prosthetic Dentistry,* 50(3), 399–410. doi: 10.1016/S0022-3913(83)80101-2.

28.Materialise (2020). 30 Years of Materialise: Revolutionizing Healthcare Engineering, Materialise. https://surl.li/nbcoay

29. D'Souza, K.M., & Aras, M.A. (2012). Types of implant surgical guides in dentistry: a review. *J Oral Implantol*, 38(5), 643-52. doi: 10.1563/AAID-JOI-D-11-00018.

30. Kola, M.Z., Shah, A.H., Khalil, H.S., Rabah, A.M., Harby, N.M., Sabra, S.A., & Raghav, D. (2015). Surgical templates for dental implant positioning; current knowledge and clinical perspectives. *Niger J Surg,* 21(1), 1-5. doi: 10.4103/1117-6806.152720.

Дата першого надходження рукопису до видання: 25.08.2026
Дата прийнятого до друку рукопису після рецензування: 20.09.2026
Дата публікації: 11.11.2026