

ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МЕДИЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ
ДАНИЛА ГАЛИЦЬКОГО

КАФЕДРА МЕДИЧНОЇ ІНФОРМАТИКИ ФПДО
КАФЕДРА ОРТОДОНТІЇ



**НАВЧАЛЬНИЙ
ПОСІБНИК**

**ЦИФРОВІ ТЕХНОЛОГІЇ
ДЛЯ ОТРИМАННЯ ТА ОБРОБКИ
РЕНТГЕНІВСЬКИХ ЗОБРАЖЕНЬ
У СТОМАТОЛОГІЇ**



УДК 616.31:616-073.7]004.67 (075.8)

Цифрові технології для отримання та обробки рентгенівських зображень у стоматології: навчальний посібник для магістрів спеціальності «Стоматологія» та слухачів ФПДО стоматологічного напрямку. Львів, ЛНМУ імені Данила Галицького, 2024. 64 с.

Автори:

Лотоцька Леся Богданівна, кандидат педагогічних наук, старший викладач кафедри медичної інформатики ФПДО ЛНМУ імені Данила Галицького.

Чухрай Наталія Львівна, доктор медичних наук, професор, завідувач кафедри ортодонтії ЛНМУ імені Данила Галицького.

Рецензенти:

Кулінченко Руслан Вадимович, кандидат медичних наук, доцент кафедри ортопедичної стоматології ЛНМУ імені Данила Галицького.

Чубінська Наталія Богданівна, кандидат педагогічних наук, доцент кафедри педагогіки та інноваційної освіти, Інституту права, психології та інноваційної освіти Національного університету «Львівська політехніка».

Збірник схвалено методичною комісією ФПДО і рекомендовано до друку (протокол № 5 від 14 грудня 2023 р.)

© Лотоцька Л.Б., Чухрай Н.Л., 2024

© ЛНМУ імені Данила Галицького, 2024

ЗМІСТ

Передмова.....	4
Розділ 1. Історія візуалізації в стоматології	6
Розділ 2. Обробка зображень у стоматологічній практиці.....	20
Розділ 3. Цифрова революція рентгенологічних зображення	27
Розділ 4. Програмне забезпечення для обробки зображень у стоматології	32
Післямова	55
Словник термінів	57
Список використаних джерел.....	60

ПЕРЕДМОВА

Сучасна стоматологія на сьогодні вже не асоціюється зі “звуком бормащини”. Цифрові технології та їхній стрімкий розвиток дають змогу дбати про здорову та сяючу усмішку без відчуття болю та стресу.

Висхідний шлях цифрових технологій у стоматологічній візуалізації сприяє новим розробкам, технологіям, методам діагностики із наступним клінічним застосуванням. Важливо, що подальший прогрес різних компонентів діагностичної візуалізації сприяє значущому використанню нових технологій в стоматології.

Обробку зображень не можна відокремити від інших аспектів ланцюжка в оцінюванні діагностичних зображень. Діагностична цінність зображення фундаментально залежить від отриманого продукту. Швидка та якісна обробка зображень може покращити діагностичні результати та посилити розуміння аспектів процесу візуалізації, які здатні обмежувати ефективність діагностики. Прогрес у стоматологічній візуалізації ґрунтується на цілеспрямованому розвитку та застосуванні нових технологій. Специфікації необхідних операцій обробки зображень необхідно визначати з урахуванням діагностичної проблеми, а також кінцевого результату для пацієнта.

В анналах історії стоматології діагностика завжди була наріжним каменем ефективного лікування. Традиційно стоматологічна діагностика в основному спиралася на мануальний огляд, тактильні відчуття за допомогою стоматологічних інструментів і двовимірні рентгенограми. Звичайні рентгенівські плівки, хоч і були революційними свого часу, мали певні обмеження: хімічна обробка, фіксована роздільна здатність, часто повторний знімок через помилки експозиції, проблеми у зберіганні та екологічні наслідки, зумовлені утилізацією плівки.

З початком ери цифрової трансформації технології змінили індустрію в усьому світі, і стоматологія також піддалась значним метаморфозам. Перехід до цифрових зображень у стоматології – це

не просто тенденція, а значний стрибок у напрямку точності, ефективності та покращення в наданні стоматологічної допомоги пацієнтам. Цей перехід стосується не просто заміни плівки датчиками; мова йде про використання потужності цифрових технологій для візуалізації, діагностики та планування лікування з точністю та чіткістю, які раніше були недосяжними. Цифрові зображення не тільки революціонізують стоматологічну діагностику, але й переосмислюють саму суть сучасної стоматологічної практики.

Що ж насправді відрізняє цифрове зображення, так це його ефективність і універсальність. За допомогою цифрових зображень у стоматології можна збільшувати певні ділянки, регулювати контрастність і яскравість та навіть використовувати диференціацію кольорів для виділення проблемних зон. Цей рівень деталізації є неоціненним для виявлення стоматологічних проблем на ранніх стадіях, які можуть бути пропущені при традиційному рентгенівському знімку. Цифрова обробка зображень знайшла широке застосування у рентгенологічних дослідженнях щелепно-лицевої ділянки.

Цифрове зображення у стоматології належить до передових електронних інструментів і програмного забезпечення, призначених для захоплення, фіксації, перегляду, зберігання та обміну зображеннями щелепи чи окремих зубів. На відміну від традиційної плівкової рентгенограми, на цифровому відбитку фіксується зображення за допомогою датчиків, миттєва його обробка відображається на екрані комп'ютера. Це не тільки прискорює процес діагностики, але й дозволяє покращити маніпуляції зображенням, забезпечуючи більш точний діагноз.

РОЗДІЛ 1.

ІСТОРІЯ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ В СТОМАТОЛОГІЇ

Сучасна стоматологія зазнала суттєвих еволюційних змін. Деякі технології, які використовуються сьогодні, були невідомими стоматологам XIX-XX століть. Методики, технології, матеріали та електроніка удосконалювались, що стало підґрунтям для створення дедалі точніших інструментів, гаджетів та методів лікування у стоматологічній практиці.

Винахід рентгенівських променів дав поштовх для розвитку цих технологій як у медицині, так і в стоматології зокрема. У власній лабораторії у Вюрцбурзі (Німеччина) Вільгельм Конрад Рентген 8 листопада 1895 року досліджував флуоресцентні ефекти катодних променів, згенерованих трубкою Крукса-Гітторфа.

Через два тижні після публікації з описом відкриття Рентгена німецький стоматолог Отто Валькгоф отримав перший рентгенівський знімок власних зубів (рис.1). Час експозиції становив 25 хв. Рентгенограма містила недостатньо діагностичної якості зображення, проте наступні спроби колег-першопрохідців дали змогу покращити якість рентгенологічного зображення. У 1896 році було засновано першу у світі стоматологічну рентгенівську лабораторію. Надалі Валькгоф також виготовляв позаоральні рентгенограми.

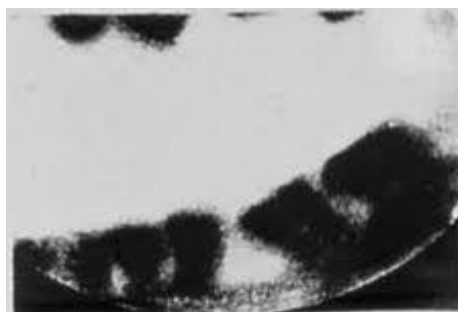


Рис. 1. Перша стоматологічна рентгенограма Валькгофа.

По той бік Ла-Маншу на початку 1896 року англійський стоматолог Френк Гаррісон експериментував з рентгенографією зубів та представив отримані результати на щорічних загальних зборах Мідлендського відділення Британської стоматологічної асоціації у 1896 році [9]. Френк Гаррісон обґрунтував застосування рентгенографії зубів у випадках виготовлення штучних коронок, ендодонтичного лікування та

проблем прорізування зубів. Крім того, він надав детально описав процедуру отримання знімків: "Плівка вирізається до необхідного розміру і вкладається в чорний папір, а потім накривається гумовою прокладкою; для верхньої щелепи достатньо просто прикласти, для нижньої - повністю закрити гумовою прокладкою. Потім все це закріпити в потрібному положенні за допомогою каркаса зі стента, попередньо відрегульованого під необхідну ділянку, і утримувати на місці шляхом змикання зубів на ньому" [6].

Приблизно в той же час фізик Вальтер Кеніг проводив рентгенографічні дослідження: тварин, єгипетських мумій і у 1896 році вперше опублікував роботу, що містила рентгенограми передніх зубів верхньої та нижньої щелеп (рис. 2).

Модифікація Кенігом рентгенівської трубки дозволила значно скоротити час експозиції. Рентгенограми, за його словами: "не тільки здатні довести положення і форму пломб у зубах, але також дають можливість дослідити частини зубів, які знаходяться в щелепних кістках..." [7].

Едмонд Келлс, стоматолог із Нового Орлеану, [14] удосконалив використання рентгенівських променів у стоматології за рахунок модернізації техніки дослідження. Він використав тримач для плівки, який сам розробив. Крім того, для стабілізації голови між трубкою і обличчям розташовували тонку дошку, що можна вважати одним з прототипів (хоча і випадкових) методів використання екранізації рентгенівських променів. Келлс вперше продемонстрував техніку рентгенографії перед аудиторією, (в першій стоматологічній клініці), при чому рентгенографію зубів проводили на пацієнтові (1896 р.), дотримуючись паралельного розміщення плівки, а також мінімальної відстані між об'єктом і плівкою. Едмонда Келлса можна вважати піонером техніки паралельної зйомки, описаної кількома роками пізніше вченими Прайсом [21] та МакКорміком [16].

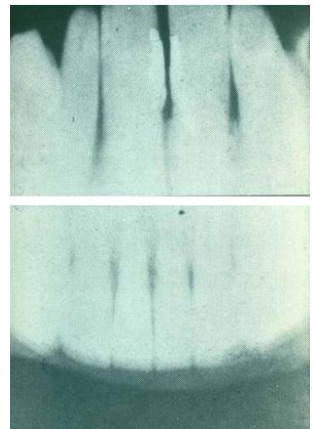


Рис. 2.
Рентгенограма
Кеніга.

Дослідник Вільям Мортон представив внутрішньоротові рентгенограми (Рис. 3-4), отримані з черепа, на лекції для Нью-Йоркського одонтологічного товариства Нью-Йорка 24 квітня 1896 року. Однією з перших його цитат щодо потенціалу рентгенографії в стоматології була: "Безболісна стоматологія вже в межах нашої досяжності, за допомогою електрики і простих анестетиків, а тепер і рентгенівських променів, більш ніж конкурує з вашим оглядовим дзеркалом, вашим зондом, вашим найтоншим відчуттям дотику і вашими найгострішими здібностями до гіпотетичної діагностики". Його робота була опублікована в журналі Dental Cosmos [18], де згадується про застосування рентгенографії для виявлення ретинованих/непрорізаних зубів, запальних ушкоджень щелеп, некротичних станів кісток, при ендодонтичних втручаннях (виявлення зламаних інструментів у кореневих каналах, а також корневих пломб за межами апікального отвору). Келлс розширив сферу застосування рентгенографії при ендодонтичних втручаннях, першим визначивши робочу довжину кореневого каналу за допомогою рентгеноконтрастного дроту. У 1896 році Вільям Мортон опублікував працю "Рентгенівський промінь або фотографія невидимого та її значення в хірургії". Цей високоінформативний підручник був орієнтований на дослідників та медичних/стоматологічних працівників, містив інструкції застосування рентгенографії при хірургічних втручаннях, а також приклади клінічних випадків.

Ранні рентгенівські трубки потребували повторного калібрування перед кожною рентгенографією ("налаштування").

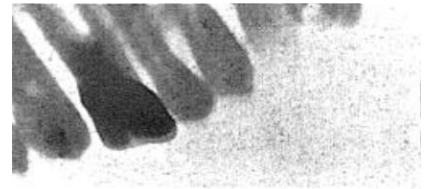


Рис. 3. Рентгенограма Мортон, на якій видно штучну коронку на молярі..



Рис. 4. Скіаграма із зображенням зубів верхньої та нижньої щелепи.

Зазвичай це робилось шляхом розміщення руки оператора перед флюорографом і регулюванням струму в трубці до отримання чіткого рентгенівського знімка. Крім цього, траплялося, що стоматологи утримували внутрішньоротову пластинку або плівку на місці за допомогою власних пальців під час хвилинної експозиції.

Вчений Едмонд Келлс зробив неабиякий вклад у розуміння шкоди, якої рентгенівське випромінювання завдає тканинам людини. Одним із найбільш яскравих задокументованих випадків, де описано негативний вплив опромінення на організм людини, є випадок самого дослідника, чиї митарства почалися з ураження лівого великого пальця руки в 1908 році. Незабаром після цього на тій же руці з'явилися інші ушкодження, які не піддавалися лікуванню, що врешті-решт призвело до серії ампутацій. Келлс практикував стоматологію ще кілька років, використовуючи спеціальні інструменти, які можна було прикріпити до лівої руки, стан якої погіршувався. Зрештою, кисть ампутували, а потім йому видалили всю ліву руку. Пізніше схожа ситуація трапилась також із його правою рукою. Причиною смерті видатного вченого та стоматолога стала променева хвороба.

Автором першої статті про ризики радіації став лікар-стоматолог Вільям Герберт Роллінз [22], який отримав променеві опіки під час розробки свого першого стоматологічного рентгенівського апарату. Він був піонером використання свинцевого екрану для захисту пацієнта від рентгенівських променів та провів багато експериментів, щоб демонструвати шкоду, яку рентгенівські промені можуть завдати тканинам живого організму.

Незважаючи на ентузіазм різних дослідників щодо використання рентгенівських променів у медицині, обмеження проекційної рентгенографії швидко стали очевидними і цей метод дослідження став відходити на "задній план". Для візуалізації тривимірних зображень у 1898 році було запропоновано використання додаткових кутів і стереоскопічного перегляду Хедлі [11].

У 1910 році доктор Кларк обґрунтував концепцію паралакса. У стоматології паралакс широко застосовується для визначення

взаємного розташування зубів, що не прорізалися, а також візуалізації багатокореневих зубів. Застосовуються методи як горизонтального, так і вертикального паралаксу, а також визначені різні правила інтерпретації множинних рентгенограм.

Томасом Едісоном була винайдена флюороскопія (1903 р.), яка почала використовуватися в медичній рентгенографії на ранніх етапах. Флюороскоп складався з вольфрамово-кальцієвого екрану, що дозволив отримувати рентгенівські знімки в реальному часі. Вільям Мортон також передбачав, що з часом використання нерухомих зображень буде трансформовано, оскільки це могло б пришвидшити обстеження за рахунок уникнення експозиції в кілька хвилин, а також обробки плівки. Однак від цієї методики досить швидко відмовилися через її невиправдано високе променеве навантаження, а також відносно низьку якість зображень.

З часом рентгенівські апарати вдосконалювалися, ставали меншими за розмірами, більш практичними у використанні та безпечнішими. Це дало можливість створювати плівки невеликих розмірів, що могли поміститися в порожнині рота. Однак лише з 1950 р. рентгенограми стали звичним інструментом для стоматологів.

Панорамна рентгенографія - це унікальний метод візуалізації, спеціально розроблений для застосування в стоматології. Завдання, яке вирішував цей метод дослідження, полягало в отриманні одного знімка, що охоплював би всі зуби верхньої та нижньої щелеп. Винахід панорамного рентгенівського апарату значною мірою приписують фінському стоматологу Йрьо Паатеро, результати напрацювань якого призвели до широкого клінічного використання та комерційного розповсюдження цього методу дослідження після Другої світової війни. Однак сама методика з'явилася набагато раніше. Так, у 1922 році доктор Зулауф (США) запропонував вузькопроменеву техніку сканування верхньої та нижньої щелеп, отримавши на неї патент [26]. Він також ввів термін "панорамна рентгенографія". В 1933 році Нумата (Японія) опублікував клінічні результати прототипу "параболічної

рентгенографії" [19]. У 1939 році Хекманн К. (Німеччина) використав вузькопроменеву рентгенографію для викривлених об'єктів [10].

Відтоді стоматологічна візуалізація та її застосування в різних напрямках стоматології зазнали величезного прогресу. Загалом методи візуалізації, які використовуються в стоматології, можна класифікувати як внутрішньоротові та зовнішньоротові, аналогові та цифрові, із отриманням іонізуючих та неіонізуючих зображень, двовимірні (2-D) та тривимірні (3-D) зображення.

2-D звичайні рентгенограми забезпечують відмінні зображення для більшості стоматологічних потреб. Вони є доповненням до клінічного обстеження, дають змогу зрозуміти зміни структури зубів і кісткової тканини щелеп та їхніх структур. Використовуються як додатковий метод обстеження при діагностики карієсу зубів та його ускладнень, захворювань тканин пародонту тощо. Суттєвим обмеженням звичайної рентгенографії є накладання структур, що перекривають чи закривають досліджуваний об'єкт. Зрештою це призводить до згортання 3-D структурної інформації на 2-D зображення, що спричинює втрату просторової інформації.

Іншим видом рентгенографії, що використовується в стоматології, є сіалографія (рис. 5), запроваджена в 1925 році. Шляхом введення контрастної речовини (як правило, в слинну залозу) та отримання позаротової рентгенограми, можна оцінити різні види патології, зокрема пухлини, обструкцію протоків, (наприклад, камінь) та запальні захворювання (синдром Шегрена, тощо).

Основним обмеженням широкого застосування сіалографії в клінічній практиці була непрактична методика - надлишок контрастної речовини часто спричиняв больові відчуття у пацієнта, знижував діагностичну ефективність.

Комп'ютерна томографія (КТ) як метод неруйнівного пошарового дослідження внутрішньої структури

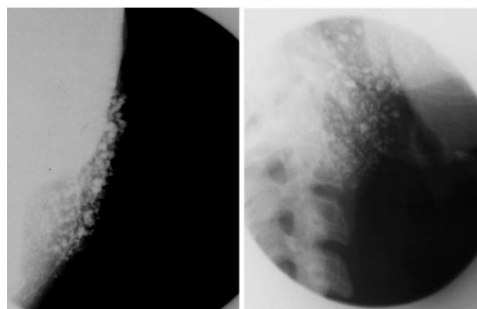


Рис. 5. Сіалограма привушної залози.

об'єкта, був запропонований в 1972 році вченими Годфрі Хаунсфілдом і Алланом Кормаком, відзначеними за цю розробку Нобелівською премією. У стоматології почали застосовувати комп'ютерну томографію з 1973 року, при якій зображення створюється шляхом поєднання рентгенівського випромінювання та комп'ютерної технології для “захоплення” тонких зрізів тканини. Застосування магнітно-резонансної томографії (МРТ) дозволило досліджувати також і м'які тканини.

Періапикальні та цефалометричні рентгенограми були найважливішими інструментами в стоматологічній радіології для виявлення первинного та вторинного карієсу, аналізу специфічних анатомічних характеристик і структур, планування хірургічних процедур в імплантології, діагностики можливих змін у кістці та спостереження за пацієнтом під час лікування. Однак існують при цьому певні недоліки вказаних методів дослідження, зокрема: взаємне розташування анатомічних частин із неоптимальною деталізацією зображень, потенційний шкідливий вплив іонізуючого випромінювання на біологічні тканини.

Термін «томографія» вперше був використаний для опису секційної рентгенографічної техніки, при якій рентгенівська трубка рухалася вздовж тієї ж площини, що й плівка, але в протилежному напрямку. Зображення обраної анатомічної площини залишається при цьому нерухомим на рухомій плівці, тоді як тіні всіх інших площин розмиваються з поля зору. Отримане томографічне зображення є зрізом або поперечним перерізом структури. Томографічні зображення, створені за допомогою КТ і панорамної радіографії, є результатом взаємодії фотонів рентгенівського випромінювання із біологічними тканинами та представляють певний «шар» або «зріз» структури, отриманий за допомогою записаних зображень.

Було зроблено декілька спроб замінити звичайну чорно-білу шкалу рентгенограм кольоровою. Теоретично це мало б покращити сприйняття невеликих контрастів, оскільки кількість помітних кольорів з різними відтінками, яскравістю та насиченістю значно

перевищує кількість помітних рівнів сірого, однак пересічний спостерігач сприймає фактично не більше сотні відтінків.

Англійські фізики Франк Кларк і Джон Леонард [2] дослідили спектри, які зазвичай використовуються для створення кольірних шкал, що можуть замінити сіру шкалу. Застосування безперервного псевдокольорного спектру - процес покращення зображення, що виконується на монохромному, та репрезентує просторову зміну деякої фізичної величини, за допомогою якого кожне можливе значення градації сірого даного пікселя перетворюється на унікальну тріаду червоного (R), зеленого (G) і синього (B). Вони вважали, що, використовуючи цей підхід, на сприйняття впливатиме той факт, що зорова система має різну чутливість до різних відтінків, при чому найвищу - в зеленій частині спектру. Окрім цього, жовтий колір сприймається як більш яскравий у порівнянні із зеленим та червоним.

З цього випливає, що коли рівні сірого кольору певного значення замінюються на зелений, а яскравіші рівні сірого кольору – на жовтий та червоний, вихідні рівні сірого кольору на чорно-білій рентгенограмі на кольоровому зображенні будуть закодовані відповідно до моделі веселки, сприйматися як перехід від зеленого до жовтого і від жовтого до червоного. Це не відповідає сприйняттю градації сірого, де яскравість постійно зростає від сірого до білого. Запропонована модифікація веселкової шкали була також представлена у науковій праці доктора Леманна [15]. Найважливішим удосконаленням автора було збереження порядку яскравості початкової шкали сірого. Однак вищезазначені недоліки моделі веселки залишаються.

У 1982 році доктор Френсіс Муєн розробив цифрову рентгенівську систему, яка була відносно невеликою за розмірами для стоматологічних застосувань і водночас забезпечувала миттєві результати. У цей же час він запатентував спосіб перетворення енергії рентгенівського випромінювання на світло і направлення його на маленький світлочутливий датчик [25]. Можливість миттєво фіксувати рентгенівські знімки на моніторі без обробки плівки стала

проривом. З 1980-х років конструкція датчика пройшла кілька ітерацій: від великого настільного електронного блоку з вбудованим екраном до маленького портативного датчика. У 1987 році була представлена перша система цифрової радіографії, яка складалася з внутрішньоротового датчика, коробки з електронікою та відеомонітора для відображення зображення. Інтеграція Plug and Play з комп'ютером з'явиться через десятиліття.

У 1989 році в США вперше було опубліковано статтю з описом технології прямого цифрового зображення. Відтоді технологія цифрових зображень набула широкого поширення та розвивалася разом із вдосконаленням конструкції сенсора та допоміжних технологій.

Застосування цифрової візуалізації дозволяє миттєво та легко передавати зображення та зберігати їх в електронному вигляді. Цифрові рентгенівські системи використовуються для низки методів візуалізації у стоматологічній діагностиці: внутрішньоротової, панорамної та конусно-променевої комп'ютерної томографії (КПКТ). Внутрішньоротові дентальні системи, які використовуються для зйомки горизонтальних і вертикальних прикусів надають лікарям-стоматологам детальні зображення, що сприяє “поглибленій” діагностиці. Панорамні системи, які сканують весь рот пацієнта, часто використовують технологію інтеграції з затримкою.

Метод дослідження КТ сьогодні часто використовується з діагностичною метою в естетичній стоматології, терапевтичній та хірургічній, пародонтології, протезуванні, ортодонтії, імплантації, дитячій стоматології.

Комп'ютерний томограф – це апарат, що проходить наскрізь всі шари тканин організму, як конусний промінь. У порівнянні з традиційною рентгенограмою, що забезпечує двомірне сканування, КТ демонструє набагато більш точні результати. До того ж, двомірний рентгенівський промінь не сканує повністю структуру альвеолярного відростка, якому притаманно розгалужуватись, а такі дрібні фрагменти на знімку не проявляються. Якщо, для прикладу, пацієнту показаний синус-ліфтинг, тоді для діагностики слід

використовувати КТ для отримання більш точної картини обстежуваної ділянки.

Завдання, що виконує КТ в стоматології:

- планування та підбір майбутніх імплантатів (місце розміщення, розмір і ступінь нахилу імплантату, післяопераційний період);
- обґрунтування комплексних планів лікування (ортопантомограма, на жаль, не є настільки інформативною і дає неповну інформацію про ситуацію в порожнині рота);
- моделювання та підбір конструкцій у складних випадках (моделювання протезних конструкцій при повній відсутності зубів, атрофії кісткової тканини та порушеннях оклюзії);
- обтурація кореневих каналів (визначення форми та кількості кореневих каналів, візуалізація тріщин, перфорацій кореня).

Сьогодні у стоматології для діагностичної візуалізації застосовується у стоматології оптична когерентна томографія (ОКТ). ОКТ забезпечує найбільш високу роздільну здатність (до одиниць мікрометрів) при відновленні томографічних зображень, що представляють тривимірну внутрішню мікроструктуру неоднорідних об'єктів і середовищ на глибині проникнення оптичного випромінювання зі значним дифузним розсіюванням. Переваги ОКТ ґрунтуються на використанні властивостей оптичного випромінювання, перш за все малої довжини хвилі і когерентності випромінювання. ОКТ є безпечною, універсальною, недорогою, неінвазивною та легко адаптованою для лікарів-стоматологів методикою. Базуючись на принципах інтерферометрії, проведення ОКТ передбачає використання світла неіонізуючої частини електромагнітного спектру разом із біомедичною оптикою для створення зображень поперечного перерізу тканини глибиною до 3 мм. ОКТ відображає мікроструктурні деталі, які неможливо отримати за допомогою інших сучасних методів візуалізації. Ця концепція використання світла та оптики для зображення біологічних тканин була запропонована професором Дюгеем

Массачусетського технологічного інституту (США) у 1971 році [5]. Вперше ОКТ практично застосував професор Девід Хуанг у 1991 році для томографічного зображення тканин ока при проведенні діагностики макулярної хвороби сітківки [12].

У розвідках вченої оральної та щелепно-лицевої радіології Університету Пенсільванії (США) Лінди Отіс та її колег [20] було представлено один із найперших прототипів внутрішньоротової ОКТ для стоматології. Ця система створювала зображення поперечних перерізів шляхом кількісного інтерферометричного визначення відбиття інфрачервоного світла від структур зубів. Апарат складався з комп'ютера, компактного діодного джерела світла, фотодетектора з електронікою та наконечника, який за допомогою волоконно-оптичного кабелю сканував тканини порожнини рота. На ОКТ-зображеннях необхідний об'єкт дослідження відображається без накладання інших анатомічних структур. Кінцеве ОКТ-зображення складається з багатьох масивів осьових сигналів, створюючи двовимірне зображення тканини. Зображення можна переглядати в реальному часі та зберігати в цифровому вигляді.

ОКТ є багатообіцяючою технікою для отримання зображень тканин зубів людини *in vivo*, виявлення патологічних процесів, зокрема каріозних уражень.

Незважаючи на значні успіхи в розпрацюванні нових методів діагностики та лікування, появі сучасних засобів та предметів догляду за порожниною рота, поширеність захворюваності на карієс зубів у багатьох країнах зростає, що є основною причиною втрати зубів. Нові підходи до лікування полягають у ранньому виявленні ознак демінералізації емалі з наступним мінімальним втручанням.

Найпоширенішим методом діагностики карієсу зубів (особливо на апроксимальних повернях) є рентгенографія зубів у поєднанні з візуальним і тактильним дослідженням. Останні часто є недостатньо точними для ідентифікації початкових каріозних уражень, особливо на оклюзійних поверхнях, або щілин на межі реставрації тканини зуба, що потенційно може призвести до вторинного карієсу.

Внутрішньоротові рентгенограми є високочутливими та специфічними для виявлення первинного карієсу, але менш надійними для ідентифікації рецидивуючого карієсу навколо наявних реставрацій. Більш інформативною у цьому діагностичному плані є ОКТ. Перші роботи, що довели більшу ефективність ОК порівняно з рентгенівськими знімками були опубліковані у 2005 році. Роздільна здатність системи ОКТ в 10-мкм дозволяє виявляти «індуковані» розриви. Звичайні рентгенограми не показують таких розривів. На думку авторів публікації [4], ОКТ має перевагу в тому, що показує відновлену ділянку, а також розрив, точно локалізуючи його положення.

Професор Даніел Фрід з колегами [8] понад 12 років на вивчали та вдосконалювали ОКТ і довели перевагу використання поляризаційно-чутливої ОКТ (PS-OCT) над неполяризованою ОКТ. PS-OCT забезпечила набагато кращу роздільну здатність і якісніші зображення ранніх уражень емалі та дала кількісне, а також якісне зображення штучно створених і природніх каріозних уражень. Численні експерименти *in vitro* продемонстрували кількісну оцінку демінералізації та ремінералізації каріозних уражень емалі за допомогою PS-OCT. Цей метод можна застосовувати при патологічних станах дентину та цементу коренів зубів для оцінки процесів демінералізації та ремінералізації. Група дослідників провела кількісну оцінку каріозних уражень *in vivo*, демонструючи, що вказана методологія є ефективною при використанні в клінічній стоматології. Ця техніка в подальшому була вдосконалена, що призвело до розробки крос-поляризаційної ОКТ (CP-OCT). Доведено, що використання CP-OCT дає можливість контролювати розвиток каріозного ураження в порожнині рота людини.

Матеріали, які використовуються для протезування (наприклад, метал, композити, металокераміка, цирконій) можна виявити за допомогою ОКТ, що демонструє її потенційну перевагу перед звичайними методами діагностики. При цьому, візуалізуючи структури крайових дефектів реставрації, можна мінімізувати втрату тканин зуба під час препарування. За допомогою ОКТ також можна

легко ідентифікувати крайову адаптацію металевої, металокерамічної або цирконієвої коронки до поверхні зуба.

Завдяки візуалізації мікроструктур деталей тканин пародонта за допомогою ОКТ можна діагностувати захворювання пародонту до того, як відбудеться значна втрата альвеолярної кістки. В ендодонтії зонд ОКТ можна використовувати для оцінки рельєфу стінок каналу та вимірювати точну товщину дентину, що допомагає запобігти надмірному препаруванню каналу та перфорації кореня зуба. ОКТ також може бути надзвичайно корисною у діагностиці вертикальних переломів.

ОКТ має потенційне застосування в стоматології як неінвазивний метод візуалізації мікроструктури зуба. Зображення поперечного перерізу демонструє мікроструктурні деталі, які неможливо отримати за допомогою інших сучасних методів візуалізації. Використовуючи цю нову технологію, можна отримувати візуальні записи виявлення процесів демінералізації та ремінералізації на ранніх етапах, дефектів зубів і неякісних реставрацій, захворювань тканин пародонту, дисплазій м'яких тканин, передракових утворень та відхилень від норми анатомії кореневого каналу.

Цифрова фотографія в стоматології на сьогодні займає важливе місце в діагностиці, лікуванні, профілактиці багатьох стоматологічних захворювань. Стоматологам відкриваються нові способи аналізу зубної оклюзії і можливість візуалізації майбутніх змін.

Безпосереднє відношення до цифрової фотографії в стоматології має доктор Себастьян Руге (2007), який навіть не був стоматологом: його цікавила математика і комп'ютерні науки. Натомість професор Бернд Кордасс [13] був фахівцем із вирівнювання зубів і цифрової дентальної діагностики. Він шукав когось, хто допоміг би йому розібратися в комп'ютерній графіці і візуалізації, а саме в пересуванні відсканованих раніше зображень зубів. Саме так, в 2006 році і зародилася ідея цифрової фотографії в стоматології.

У результаті тривалих досліджень і тестів Руге написав докторську дисертацію з розробки програмного забезпечення, яке демонструвало рухи нижньої щелепи в реальному часі за допомогою спеціального датчика. Як лікар, так і пацієнт могли бачити, де розташовані контакти датчика і які ділянки щелепно-лицьового відділу піддаються найбільш високим навантаженням або прогнозуються проблеми та запальні процеси.

На цьому Руге не зупинився і запустив серію комп'ютерних ігор, основною метою яких було управління координацією щелеп. Найдивовижніше – це те, що спочатку ці цифрові напрацювання вважалися просто побічними продуктами дослідження і програмування, але потім Руге вирішив дати їм друге життя. Таким чином, він розробив додаток настільного тенісу з різними швидкостями гравців і різними рівнями складності гри, при чому управління грою здійснювалося не джойстиком або клавіатурою, а.. нижньою щелепою! Щоб впіймати або скерувати м'яч, пацієнт повинен був свідомо рухати своєю щелепою в різні боки (логічно з рухами в грі). Такі рухи тренували м'язи, їх окремі зони, забезпечували покращення функції нижньої щелепи, посилення кровообігу у лицевій ділянці. Додатковою перевагою гри було те, що всі рухи щелепи заносилися в базу програми і пізніше лікар разом з пацієнтом міг порівняти результати змін щелепно-лицьової системи.

За ефектом, близьким до цифрової фото- і відеографії найбільш близька сьогодні тільки електроміографія. Також вчені зайняті розробкою програмного забезпечення, здатного відстежувати рух зубів і щелеп під час жування і відкушування. Саме такі девайси можуть максимально передати стан нижніх щелеп, зубів і м'язів.

РОЗДІЛ 2.

ОБРОБКА ЗОБРАЖЕНЬ У СТОМАТОЛОГІЧНІЙ ПРАКТИЦІ

Цифрова рентгенографія дозволяє лікарю-стоматологу записувати та переглядати інформацію, яку не може виявити людське око, що забезпечує можливість більш точного огляду, оцінки та діагностики патологічного процесу у пацієнта.

Інтерес до методів цифрової обробки зображень впливає з основних сфер застосування, якими є підвищення якості зображень, поліпшення його візуального сприйняття, обробка зображень для їх зберігання, передавання та представлення.

Для кращого розуміння механізму обробки зображень необхідно пояснити, що таке цифрове зображення. Цифрове зображення, яке видно на екрані як набір яскравих і темних ділянок, складається з набору клітинок, упорядкованих у рядки та стовпці. Зображення можна визначити як двовимірну функцію $f(x, y)$, де x і y - координати в просторі (конкретно, на площині); значення f в будь-якій точці, що задається парою координат (x, y) , називається інтенсивністю або рівнем сірого зображення в цій точці. Якщо величини x , y і f приймають кінцеву кількість дискретних значень, то говорять про цифрове зображення. Цифрове зображення складається з кінцевої кількості елементів, кожен з яких розташований в конкретному місці і набуває певного значення. Ці елементи називають елементами зображення або пікселями [29].

Кожному пікселю присвоєно номер, який використовується комп'ютерною програмою для визначення різних значень градації сірої області. До цих числових представлень цифрового зображення можна застосувати математичні формули для отримання нового набору значень пікселів. Отриманий набір чисел використовується для виведення обробленого (зміненого) зображення на екран монітору.

Обробка зображень представляє собою комп'ютерну процедуру, яка змінює записане електронне (цифрове) зображення.

Будь-яка операція, яка змінює цифрове зображення, є формою пост-обробки зображення.

Існує п'ять методів цифрової постобробки зображень: фільтрації та відновлення; покращення; аналіз; синтез; стиснення та перетворення зображень [32].

1. Фільтрація та відновлення зображення.

Необроблені дані зображення, які потрапили на комп'ютер, як правило, ще не готові для зберігання чи відображення. Необхідно виконати низку етапів попередньої обробки: корекцію зображення за відомими дефектами, налаштування інтенсивності зображення, щоб воно було придатним для перегляду. Більшість операцій попередньої обробки в програмному продукті встановлюється виробником і не може бути зміненою.

2. Покращення зображення.

Більшість операцій, спрямованих на покращення зображення застосовуються для того, щоб зробити його візуально привабливішим. Цього можна досягти шляхом підвищення контрастності, оптимізації яскравості та зменшення нечіткості і шуму.

Налаштування яскравості та контрастності можна використовувати для виправлення перетримки або недотримання зображення. Правильні налаштування експозиції дадуть змогу отримати зображення з хорошим контрастом і щільністю. Умови експозиції можна певною мірою виправити: перетримане зображення можна зробити світлішим, недотримане - темнішим. Це може допомогти врятувати зображення, для якого умови опромінення не були оптимальними, і таким чином запобігти необхідності повторної процедури, позбавивши пацієнта додаткової дози опромінення.

Можна припустити, що в найближчому майбутньому програмне забезпечення цифрової рентгенографії включатиме інструменти автоматичної оптимізації контрастності та яскравості для конкретних діагностичних завдань. Таким чином, практикуючий

лікар-стоматолог може використовувати одне зображення, а отже, одну експозицію, щоб оцінити більше однієї діагностичної проблеми.

Масштабування.

Ефективним інструментом є функція масштабування, яка дозволяє збільшувати зображення. Використовуючи дво- або трикратне збільшення, лікар може легше розпізнавати деталі. Щоб виконати цю дію, комп'ютер дублює або інтерполює рядки та стовпці цифрового зображення, таким чином збільшуючи розмір зображення на екрані. Наприклад, якщо вихідне зображення частково виходить за межі екрана через велику кількість пікселів по вертикалі та горизонталі, роздільна здатність зменшується, і тоді зображення відповідає розміру екрана. У цих випадках потрібне збільшення зображення, щоб показати оригінальну роздільну здатність пікселів. Якщо збільшення перевищує вихідну роздільну здатність пікселів, це призводить до пікселізації.

Різкість та згладжування.

Метою роботи фільтрів різкості та згладжування є покращення якості зображення шляхом видалення шуму. Шум — це нерелевантні компоненти зображення, які перешкоджають розпізнаванню та інтерпретації даних.

Існують два основні види фільтрів які використовуються: низькочастотний фільтра – пропускає низькі частоти та послаблює високі; високочастотний – послаблює низькі, пропускає високі частоти. Високочастотні відповідають за контури та шуми, низькочастотні відповідають за яскравість на гладких ділянках зображення.

Підкреслення і загострення контурів або збільшення різкості зображення відбувається внаслідок збільшення високочастотних складових сигналу, до яких належать компоненти контурів і меж, шум. Фільтри, які згладжують зображення, видаляють високочастотний шум і призначені для зменшення амплітуди дрібних деталей зображення. Для правильного застосування фільтрів важливо знати, який тип шуму вони зменшують і як це впливає на графічні характеристики. Без цих знань важливі

рентгенографічні характеристики можуть погіршитися або зникнути після видалення шуму.

Колірність.

Сучасні цифрові методи забезпечують при реєстрації зображення динамічний діапазон півтонів, який перевищує в десятки разів можливості сприйняття людиною. Переміщуючи за допомогою комп'ютерних програм доступний для ока інтервал у 16 - 32 градації по всьому цьому діапазону, лікар може, послідовно змінюючи зображення, що знаходиться на екрані монітору комп'ютера, виділяти раніше не видимі для нього деталі без повторного обстеження хворого. Використання колірного кодування дозволяє не обмежувати інтервал динамічного діапазону, замінюючи тоновий контраст на колірний. Сусіднім ділянкам зображення, які мало відрізняються за оптичною густиною, присвоюються контрастні кольори. Це дає можливість впевнено розрізняти ці ділянки.

Цифрова субтракційна рентгенографія

Цифрова субтракційна рентгенографія дозволяє лікарям розрізняти невеликі відмінності між рентгенограмами, які б в іншому випадку залишилися непоміченими через накладання анатомічних структур або різницю в щільності та є надто малими, щоб їх розпізнало людське око.

Математично субтракційна рентгенографія досить проста. Програма цифрової субтракційної рентгенографії віднімає значення відповідних пікселів двох зображень, отриманих впродовж кількох тижнів або кількох місяців, і використовує результат для розрахунку нового зображення. Коли рівні сірого відповідних пікселів однакові, вихідний піксель дорівнює нулю. Якщо між попереднім і наступним обстеженнями є зміна радіологічного ослаблення, то вона відображається як більш яскрава зона, коли зміна означає відновлення, і як темніша - коли зміна означає втрату.

Застосування цифрової субтракційної рентгенографії в загальній практиці включає діагностику та спостереження за резорбцією кісткової тканини періодонту та карієсом зубів, оцінку

рівня кістки навколо імплантатів, спостереження за процесом загоєння періапикальних уражень та дослідження невеликих відмінностей щелепи.

3. Аналіз зображення.

Важко визначити різницю між пост-обробкою зображення та аналізом зображення. Коли користувач налаштовує зображення, щоб зробити його більш придатним для діагностичних цілей, зазвичай застосовується термін «пост-обробка зображення»; якщо виконує обчислення, вилучаючи певну інформацію із зображення, це вважається «аналізом зображення». Ця інформація може варіювати від простих лінійних вимірювань до повністю автоматизованої діагностики.

Вимірювання.

Програми для цифрових зображень пропонують багато інструментів для аналізу зображень. Ці інструменти зазвичай є цифровими еквівалентами вже існуючих, що використовуються в ендодонтії, ортодонтії, пародонтології, імплантології та інших напрямках стоматології. За їх допомогою можна виміряти довжину, кут та площу цифрового зображення. Найпростіший спосіб - це виразити вимірювання як кількість пікселів; однак зручнішим способом є використання міліметрів або дюймів як одиниць вимірювання. Калібрування коефіцієнта збільшення конкретного датчика необхідне для перетворення піксельних вимірювань у реальні вимірювання довжини.

Сегментація.

Сегментація поділяє зображення на складові частини та об'єкти. Сегментація вважається найбільш складним завданням цифрової обробки зображень. Занадто детальна сегментація пролонгує процес вирішення завдання, вимагаючи ідентифікації об'єктів окремо. Проте, недостатньо детальна сегментація призведе до помилок вкінці обробки. Чим точніша сегментація, тим більший шанс на правильне розпізнавання об'єкту

Розпізнавання образів.

Під розпізнаванням образів (класифікацією) розуміють процедуру, що дозволяє винести рішення про належність даного об'єкту чи його фрагмента до одного з класів. Це рішення виноситься на підставі наявності ознак того чи іншого класу. Проте часто значення параметрів моделі заздалегідь не відомі, а процес формування вибірки для оцінки параметрів часто неможливий через широту проблемно-орієнтованої області. Крім того, складність зображень і підвищення розмірності, обумовлене кольором або мультиспектральними компонентами зображень, додають додаткову складність задачам сегментації. У таких випадках виникає необхідність в автоматичній процедурі класифікації з одночасним визначенням параметрів. Наприклад, деякі операції виконуються для автоматичного визначення карієсу на рентгенограмах прикусу. Схожі додатки застосовують такий процес, як сканування обличчя, відбитків пальців або зіниці ока для безпеки.

4. Синтез зображення.

Дані зображення з багатьох проекцій синтезуються і за допомогою цієї операції створюється нове зображення. Основна мета такої програми полягає в тому, щоб розробити тривимірне відображення об'єкта, яке зазвичай втрачається в звичайних рентгенографічних проекціях. Таким чином, можна окремо перевірити щічну та язикову ділянки альвеолярного гребеня.

5. Стиснення зображення.

Мета стиснення зображень - зменшити розмір файлів цифрових зображень для архівування або передачі. Методи стиснення зображення зазвичай класифікуються як із втратами інформації так і без втрат. Методи стиснення без втрат дають більш низький коефіцієнт стиснення, але зате точна копія зображення відтворюється після декомпресії. Методи з втратами дають високі коефіцієнти стиснення, проте не дозволяють відтворити початкове зображення з точністю до пікселя. Емпіричні дані свідчать про те, що це не обов'язково впливає на діагностичну якість зображення. Стандарт DICOM (Digital Imaging and Communications in Medicine)

використовує JPEG (Joint Photographic Experts Group) як один із стандартів стиснення даних.

Отже, перелічені вище методи візуалізації допомагають в аналізі цифрових рентгенографічних зображень. Надалі комп'ютери зможуть вирішувати діагностичні завдання без втручання лікаря-стоматолога, проте на сьогодні лікарю відводиться основна роль у прийнятті рішень. Цифрові технології постобробки зображень, залишаючи ініціативу за лікарем, лише підтримують його у виконанні діагностичного завдання.

РОЗДІЛ 3.

ЦИФРОВА РЕВОЛЮЦІЯ РЕНТГЕНОЛОГІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ

Стоматологічна наука, як і медична загалом, розвивається поетапно, що часто є результатом складного взаємозв'язку між наукою, емпіричними знаннями та інноваційними досягненнями. Впродовж багатьох років деякі з них були притаманними лише стоматології, але здебільшого вони були частиною досліджень, пов'язаних із рушійним впливом відкриттів і технологічного розвитку. Можливо, жоден поступ не мав такого далекосяжного та глибокого впливу на наукове мислення, дослідження та практику, як поява комп'ютера. Комп'ютери змінили наше сприйняття, відчуття, використання та інтерпретацію часу, дозволивши лікарям, у тому числі стоматологам, виконувати існуючі процедури набагато швидше й точніше, ніж будь-коли. Стрімка швидкість удосконалення ІТ обладнання та паралельний розвиток програмного забезпечення підтверджують, що раніше немислимі обсяги обчислювальної потужності стали доступними науковцям і практикам у зручній формі. Бурхливий розвиток «хмарних обчислень», який триває і сьогодні, означає, що людина незабаром у своїй практичній діяльності матиме потужність мейнфрейму незалежно від місця і часу. Стоматологія є складною прикладною наукою; кожна проблема, яку необхідно вирішити, така ж унікальна, як і окрема людина, немає двох однакових обличь, ротових порожнин чи навіть двох ідентичних зубів. Щоб перейти від спостереження до діагностики, а потім до прийняття рішення щодо вибору тактики лікування в ситуації з кількома змінними та ступенями свободи, стоматолог має спиратися на наукові знання широкого спектру спеціальних дисциплін. Ці знання необхідно поєднувати з досвідом і судженнями, а також результатами діагностики та планування лікування, реалізованих за допомогою клінічної вправності. Наукові знання з таких галузей, як інженерія, математика та біологія, тепер застосовуються у стоматологічній практиці. Також для вирішення стоматологічних проблем не тільки зміниться спосіб роботи лікарів-

стоматологів у найближчому майбутньому, вони також матимуть потенціал для переформатування способів мислення щодо багатьох аспектів цієї медичної галузі [29]. Вже спостерігається прогрес у використанні обчислювальної техніки в таких різноманітних сферах стоматології, як цефалометричний аналіз, 3-D реконструкція, внутрішньоротовий аналіз, інженерія зубів, медичні записи, база стоматологічних біоматеріалів, швидке створення прототипів, символи Юнікоду для людських зубів і навіть віртуальні стоматологічні практики. Науковці прагнуть розкрити динаміку структур і функцій, охарактеризувати процеси вирішення проблем в ротовій і щелепно-лицевій хірургії, оральній радіології, реставраційній і ортопедичній стоматології, ортодонтії, ендодонтії, дентальній імплантології тощо. Стоматолог майбутнього матиме нові та потужні інструменти для допомоги в діагностиці, аналізі, прогнозуванні та лікуванні.

Перші спроби застосування комп'ютерного аналізу рентгенографічних зображень були здійснені в 1968 році в США [2]. На початку 1980-х років дослідження в галузі цифрової радіології проводилися в Національному інституті охорони здоров'я (США) [23]. Науковці Гератс та Ван дер Стелт досліджували кількісну оцінку дефектів пародонту на сканованих рентгенівських знімках шляхом сегментації зубного ряду [24]. Хоча ці перші кроки в галузі цифрової обробки зображень відкрили нові області, вони не набули широкого застосування в загальній практиці. Рентгенівський знімок спочатку потрібно було зафіксувати на звичайному рентгенівському апараті, після чого його сканували за допомогою відеокамери та аналого-цифрового перетворювача. Результат цього процесу можна було записати в цифровому вигляді в комп'ютер і далі опрацьовувати. Всі математичні операції виконувалися за допомогою мейнфреймів. Нові можливості з'явилися лише після представлення персонального комп'ютера компанією IBM.

Великим кроком вперед була розробка програмного забезпечення для інтерпретації та редагування інформації, що міститься в цифрових зображеннях, спеціально для

стоматологічних потреб. Ще одним передовим комп'ютерним застосуванням обробки зображень були дослідження в галузі томосинтезу.

У 1990-х роках були проведені дослідження спрямовані на порівняння діагностичної якості нової цифрової технології з існуючою традиційною рентгенівською діагностикою [17]. Паралельно з цим, крок за кроком, розвивалося і програмне забезпечення. Однак, не було жодної інтеграції між отриманням зображень і програмним забезпеченням. Відразу після третього Європейського конгресу з дентальної щелепно-лицевої радіології в Амстердамі (1990) відбувся неформальний симпозиум, на якому дослідники представили свій досвід роботи з цифровою обробкою зображень і обговорили потенційні розробки в цій галузі.

У ХХІ ст. не тільки апаратне забезпечення зазнало значного розвитку, але й програмне забезпечення також, але пропонує набагато більше можливостей, ніж на початку розвитку цифрової візуалізації в стоматології. Обробка зображень первинно відбувалася за допомогою програм на мові Паскаль, Fortran в середовищі Unix, пізніше - MS-DOS. Майже одночасно з першими цифровими сенсорами, стала доступною операційна система Windows від Microsoft. Вона мала можливість використовувати декілька програм з графічним інтерфейсом одночасно (багатозадачність). Таке середовище було надзвичайно ефективним для розробки додатків у сфері обробки зображень, оскільки на екрані паралельно можна було маніпулювати кількома зображеннями.

Завдяки цифровій обробці рентгенівських знімків зростає можливість аналізу зображень в діагностичному плані. Цифрові датчики ставали все більш поширеними в стоматологічній практиці. Програмне забезпечення зазвичай обмежувалося захопленням і архівацією зображення з регулюванням контрастності, яскравості і збільшення, проте подальша обробка не була можливою. За результатами низки дослідницьких проектів, спрямованих на перевірку роботи та надійності різних програмних додатків цих

зусиль було створено Emago®/Advanced програмне забезпечення для загальної стоматологічної практики. Це дало можливість використати цифрову рентгенографію на платформі, яку можна ергономічно інтегрувати в програмний пакет ведення пацієнтів. Компанія АСТА (Амстердам, 2000 р.) стала першою стоматологічною школою в світі, яка повністю відмовилася від рентгенографії на плівці, а всі дані та зображення повністю в цифровому вигляді зберігала в центральній базі даних, підключеній до інформаційної бази даних пацієнтів. Програмне забезпечення також мало функцію масштабування зображень. Була можливою і більш складніша обробка зображень, наприклад, рентгенографія з відніманням. Субтракція рентгенографічного зображення виявилася надійним діагностичним інструментом для різних зубних аномалій. При використанні цього методу все ідентичні елементи двох зображень «віднімаються», в результаті чого залишається лише виразне зображення незбіжних деталей. Віднімання вимагає, щоб два зображення мали однаковий розподіл градацій сірого та повністю ідентичну геометрію проекцій.

Світові розробки програмного забезпечення вступили в чергову фазу. У сфері розпізнавання образів є ще багато цікавих можливостей, реалізацію яких можна очікувати в найближчому майбутньому. Віртуальна реальність, безумовно, буде і надалі розвиватися та ще більше інтегруватися у стоматологічну візуалізацію. Застосування штучного інтелекту пропонує багато нових процедур обробки. Аналогічно, застосування програмного забезпечення, яке базується на нейронних мережах, значно розширює можливості обробки зображень. На додаток до штучного інтелекту, в якому комп'ютер наділений можливістю відтворення інтелектуальних процесів, притаманних людині, таких як здатність міркувати, усвідомлювати, узагальнювати або вчитися, опираючись на минулий досвід, сьогодні існує машинне навчання, в якому комп'ютер самонавчається розпізнавати певні шаблони та розробляє стратегії.

Цифрова радіологія, у стоматології зокрема, розвивається паралельно з розвитком комп'ютерних технологій. Це стосується як отримання зображень, так і їх обробки та інтерпретації. Тому можна з упевненістю стверджувати, що майбутнє покаже вражаючі досягнення у цій царині [31].

РОЗДІЛ 4.

ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ В СТОМАТОЛОГІЇ ДЛЯ ОБРОБКИ ЗОБРАЖЕНЬ

Діагностичне програмне забезпечення має вирішальне значення у практиці сучасної стоматології. Низка переваг його використання полягає у наступному:

- Програмне забезпечення для візуалізації зубів надає точні зображення зубів і слизової оболонки ясен пацієнта з високою роздільною здатністю, що полегшує точну діагностику проблем порожнини рота та зубів.

- Використання програмного забезпечення дозволяє легко додавати анотації до зображень для включення в карту пацієнта.

- Доступ до зображень, створених або збережених у хмарному програмному середовищі, можна отримати з будь-якого місця, що дає змогу фахівцям або лікарям ділитися зображеннями з пацієнтами за допомогою планшета чи комп'ютера.

- Застосування програмного забезпечення для візуалізації зубів демонструє прагнення лікаря-стоматолога бути в курсі новітніх технологій та сучасних методів лікування та сприятиме залученню нових пацієнтів.

- Цифрові зображення допоможуть лікарю-стоматологу покращити загальну якість обслуговування пацієнтів у власній практичній діяльності.

- Використання цифрових зображень для пояснення планів лікування полегшує розуміння пацієнтом, чому лікування необхідне та підвищує рівень сприйняття лікування.

Удосконалення в цифровій стоматології безпосередньо залежать від прогресу технологій у комп'ютерній сфері.

Найкращі варіанти програмного забезпечення для обробки стоматологічних зображень (згідно світового огляду досліджень станом на 2023 р.).

1. DEXIS IMAGING SUITE



Рис.6 Вікно програми DEXIS Imaging Suite.

Програмне забезпечення для обробки зображень, діагностики, лікування, внутрішньоротової рентгенограми, фотографій, внутрішньоротового сканування, 3D- та планування імплантації (рис.6).

Програма дозволяє легко проходити рентгенівські процедури. Вбудовані інструменти підтримують можливість робити серії знімків з найменшою кількістю змін тримача. Зображення автоматично зберігається, датується, зуби нумеруються, правильно орієнтуються та монтуються, і все це без необхідності постійного звертання до клавіатури.

Будучи потужним зосередженим центром візуалізації для стоматологічних зображень пацієнтів, програмне забезпечення DEXIS керує всіма цифровими зображеннями, включаючи інтра- та екстраоральні рентгенограми, а також інтра- та екстраоральні фотографії. Збережені зображення можна миттєво систематизувати, отримати, роздрукувати та поділитися з пацієнтами, колегами і страховими компаніями. Передбачена

можливість експортувати та надсилати електронною поштою серію зображень, включаючи анотації, як окремі файли або об'єднаними як одне зображення [27].

Особливості:

- програмне забезпечення DEXIS інтуїтивно зрозуміле та просте у використанні. Найпоширеніші процедури виконуються максимально у 2 кліки. Серія «One-Click Full-Mouth Series» дає змогу скоротити 25-хвилинну процедуру до 5 хв. від початку до кінця;

- підвищена продуктивність. Зображення доступні миттєво після експонування. Якщо зображення потрібно виконати повторно, це можна зробити відразу;

- технологія PureImage™. Здатність рентгенівських променів бачити тонкощі має вирішальне значення для діагностики, співпраці та спілкування з пацієнтом. Апаратне та програмне забезпечення DEXIS працює узгоджено, створюючи одні з найякісніших, найпослідовніших зображень із найширшим діапазоном налаштувань експозиції;

- експорт/імпорт рентгенівських знімків. Підтримуються формати JPEG і TIFF, а також формат DEX;

- автоматизація. Коли датчик активний, всі функції зображення автоматизовані: зберігання зображення, фіксація дати, правильне орієнтування та монтування, і все це без необхідності залучення клавіатури;

- сучасні діагностичні засоби. Функція збільшення разом із комплексним набором інструментів для покращення зображення забезпечує підтримку клінічної діагностики, включаючи ідентифікацію апікальних і каріозних уражень, відкритих країв, втрати кісткової тканини та залучення у патологічний процес фуркацій;

- ClearCapture™. Такий інноваційний метод обробки зображень оптимізує шлях сигналу між отриманням зображення та відображенням на екрані, що дає змогу отримувати високодеталізовані рентгенограми;

- ClearVu™ - інструмент DEXIS для покращення зображення, що використовує передові алгоритми для отримання чітких та контрастних зображень з клінічним значенням;

- індивідуальні рішення. Портфоліо DEXIS містить специфічні робочі процеси загальної стоматології та вузьких напрямків, зокрема ендодонтії, пародонтології, протезування та хірургії ротової порожнини.

На додаток до високоякісних зображень DEXIS Imaging Suite надає низку інструментів для управління стоматологічною практикою.

Діалогове вікно номерів зубів дозволяє користувачам правильно розташовувати нумеровані зуби за допомогою функції перетягування. Ця функція допомагає легко переміщувати імпортовані та внутрішньоротові зображення з камери в попередньо визначені контейнери для номерів зубів. Нова функція перегляду історії сортує та відображає зображення пацієнтів за датою, щоб пришвидшити пошук під час перегляду попередніх зображень.

DEXIS Eleven дозволяє користувачам створювати логіни та отримувати доступ до даних перевірки активності користувачів для додаткової безпеки. Дані пацієнтів, які зберігаються в Cloud Backup, шифруються на шляху до хмари та під час зберігання. Хмарне резервне копіювання також пропонує додаткове відстеження аудиту, резервування та серверне середовище, що дає можливість гарантувати безпеку даних пацієнтів.

Коли зображення зберігаються в хмарі, користувачі DEXIS Eleven також можуть додати CloudVu. Таке веб-розширення DEXIS є інтуїтивно зрозумілим і дозволяє користувачам отримувати доступ до зображень пацієнтів з будь-якого місця в будь-який час.

У міру розвитку стоматологічних технологій все більше сучасних стоматологічних практик виходить за межі загальної стоматології. Більше лікарів прагнуть диференціювати та розширювати свою практику, одночасно задовольняючи ширший спектр потреб пацієнтів у межах однієї стоматологічної клініки. У процесі цього вони також виявляють важливу роль 3D-зображень у відкритті нових

можливостей для діагностики, планування лікування та позитивних результатів для пацієнтів.

Завдяки технології 3D-зображень стоматологи мають доступ до винятково чітких сканів із високою роздільною здатністю, які демонструють рівень деталізації, що перевершує традиційні 2D-системи. Використовуючи системи тривимірної візуалізації, лікарі-стоматологи можуть більш впевнено та точно виконувати складні та розширені послуги, такі як імплантація, ендодонтія, ортодонтія, лікування травм щелепно-лицевої ділянки, дослідження дихальних шляхів, тощо.

Що стосується технології 3D-зображень, конусно-променева комп'ютерна томографія (КЛКТ) дозволяє точніше діагностувати та краще планувати лікування, що підвищує якість обслуговування пацієнтів. У спеціалізованій галузі стоматології ендодонтії КЛКТ 3D-сканування не тільки надає можливість віалізувати деталі, необхідні для діагностики, планування та виконання різних видів лікувальних методик; вони також можуть мінімізувати потребу в повторному лікуванні, заощаджуючи час пацієнта, незручності та розчарування у результаті.

Завдяки вищому рівню деталізації та більшій видимості сканування КЛКТ дозволяє лікарям-стоматологам виявляти та діагностувати проблеми, які могли бути пропущені на 2D-зображенні. Наприклад, 3D-сканування часто виявляє періапикальні ураження, пародонтальні дефекти, а також синусити, які ще не можна діагностувати на 2D, що дозволяє провести ранню діагностику та призначити адекватне лікування. Сканування КЛКТ також допомагає пацієнту краще візуалізувати та зрозуміти проблему, з якою він стикається, що дозволяє бути більш впевненими у власному діагнозі, зрозуміти план лікування та з більшою ймовірністю дотримуватися його. Це, у свою чергу, призводить до кращих результатів лікування пацієнта, а також до покращення його емоційного стану.

Як діагностичний інструмент КЛКТ також допомагає лікарям-стоматологам уникнути несподіванок у багатьох клінічних ситуаціях.

Озброєні детальним 3D-скануванням, клініцисти мають повну інформацію та зображення, необхідні для оцінки прогнозу, планування лікування, підготовки та навіть скорочення часу процедури та отримання кращого результату. Тривимірна комп'ютерна томографія або конусно-променева комп'ютерна томографія є золотим стандартом діагностики в стоматології.

КТ 3D має можливість отримувати 3D-зображення, які необхідні для діагностики при встановленні імплантатів, проведенні ендодонтичних маніпуляцій, операції видалення третього моляра, аналізі розладів скронево-нижньощелепного суглобу (СНЩС) та патології дихальних шляхів, стоматологічній травмі, тощо, дозволяючи лікарям-стоматологам бачити деталі, які без цієї технології можна було б пропустити. Завдяки швидкому скануванню, регульованій висоті, параметрам низької дози та чотирьом гнучким налаштуванням поля огляду КТ 3D пропонує універсальне рішення, яке підходить для різних практик і пацієнтів.

2. CARESTREAM DENTAL IMAGING

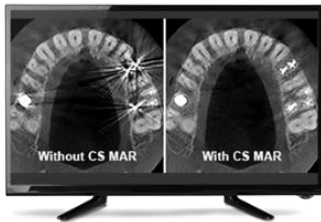


Рис.7. Вікно програми Carestream Dental Imaging.

Особливості



- висока роздільна здатність дозволяє візуалізувати найдрібніші клінічні деталі, що дозволяє знімати 75 мікрон сканування в режимах однієї та обох зубних дуг з метою визначення ендодонтичного статусу усіх зубів;



- революційна технологія CS MAR із живим порівнянням автоматично зменшує металеві артефакти, щоб підтвердити діагноз і зменшити ризик неправильного тлумачення;



- новий інтуїтивно зрозумілий інтерфейс користувача спрощує налаштування обстеження та полегшує створення кращих зображень. Спливаючі вікна вказують, який інструмент необхідно використовувати, щоб уникнути типових помилок;



- нове зображення дозволяє легко контролювати зону зображення перед обстеженням. Це зменшує ризик повторних зйомок і полегшує використання найменшого кута зору;



- рішення 4-в-1 поєднує панорамну технологію, КЛКТ-зображення, сканування 3D-моделі та додаткове цефалометричне зображення.

Carestream Dental Imaging є сумісним із усіма екстраоральними системами CS imaging, а також іншими провідними брендами.

3. DOLPHIN IMAGING PLUS

Програмне забезпечення Dolphin Imaging призначене для застосування в спеціалізованих стоматологічних кабінетах для отримання, внесення, редагування, упорядкування, зберігання та

Особливості

- [illegible]

39

- покращення яскравості, контрастності, гами відтінків, насиченості;
- можливість відкладення або автоматичного збереження оригінальних невідретушованих зображень;
- імпорт рентгенівських знімків, слайдів та інших зображень;
- підтримка TWAIN-сумісних пристроїв введення та сумісність із галузевими стандартними форматами зображень;
- додаткове програмне забезпечення для інтеграції рентгенівського випромінювання, яке дозволяє автоматично імпортувати цифрові рентгенівські зображення;
- ортодонтичний, стоматологічний і хірургічний попередній огляд;
- швидка зміна контурів профілю пацієнта, наприклад нижньої щелепи, щоб показати можливий результат лікування, активуючи та перетягуючи мишкою;
- імітування фронтальних видів: звуження верхньої щелепи, вкорочення нижньої щелепи тощо;
- можливість вдосконалення результатів за допомогою детальних інструментів “малювання”, “пензля змішування”, тощо;
- накладання зображення з бібліотеки готових випадків або зубів;
- демонстрація вигляду пацієнт із брекетами, з рівними зубами чи після процедури відбілювання;
- функція Морфінг дозволяє продемонструвати перехід від попередньої обробки до імітованих або фактичних результатів після обробки.

Програмне забезпечення підтримує ортодонтичне та хірургічне моделювання: швидка модифікація контурного профілю пацієнта для демонстрації передбачуваного результату лікування, моделювання фронтальних зображень, інструменти детального малювання (рис. 9).



Рис. 9. Планування та моделювання лікування.

- переміщення, нахил і ротація різців; репозиція молярів; авторотація нижньої щелепи;
- робочий аркуш "Розбіжність довжини дуги": початковий стан, свобода рухів, екстракція, розширення та зняття;
- моделювання точки опори нижньої щелепи при першому стоматологічному контакті; моделювання центрального співвідношення та/або центральної оклюзії (в залежності від орієнтації оригінальної рентгенограми);
- прогнозування росту;
- моделювання росту на рентгенівському знімку або накладеному на фотографію, ввівши поточний вік та бажану тривалість росту;
- прогнозування, планування та візуалізація послідовності лікування.

4. VIXWIN PLATINUM

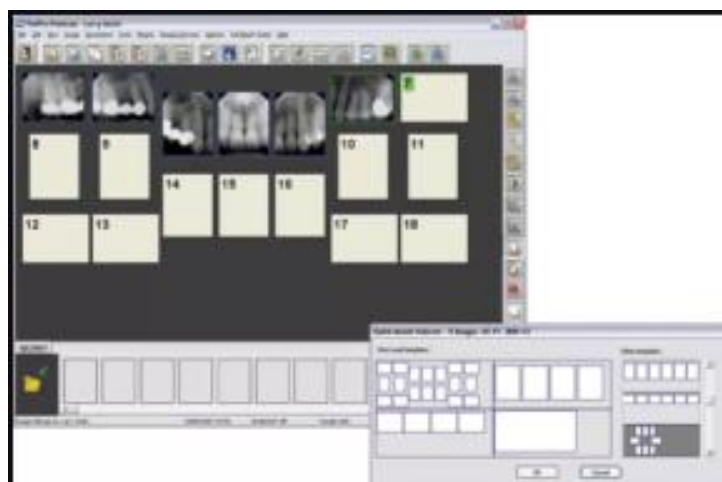
Програмне забезпечення VixWin Platinum призначене для візуалізації детальних зображень. Чіткість зображення легко підвищується. Завдяки зручному інтерфейсу та вбудованим інструментам легко підвищити деталізацію зображення, максимально збільшуючи контраст у локалізованій області.



Рис. 10. Основне вікно програми VixWin Platinum.

Особливості:

- можливість підвищення чіткості зображення для покращення діагностики;
- інтегрується з усіма основними програмами управління стоматологічної практики;



- має зручний графічний дизайн;
- інструмент Spine Compensation покращує якість цифрового панорамування;
- автоматичне просування та автоматичне обертання для захоплення

серій.

VixWin дозволяє користувачам легко контролювати свої рентгенограми. Завдяки потужним інструментам, таким як оптимізатор і функції компенсації можна легко підвищити чіткість зображення для покращення діагностики. Функція Spotlight ще

більше посилює деталізацію зображення, максимізуючи контраст у локалізований, визначеній користувачем області.



Піктограми програм і панелі інструментів дозволяють користувачам швидко визначати та отримувати доступ до інструментів для графічних програм, скорочуючи час виконання завдань і підвищуючи продуктивність.

Під час захоплення рентгенівських знімків серії рентгенівських зображень програмне забезпечення автоматично зберігає, орієнтує та правильно монтує зображення.

У цьому програмному забезпеченні є гнучкі фільтри й інструменти обробки зображень:

- область інтересу (ROI): збільшення, збільшення та вирівнювання;
- фільтри автоматичної обробки зображень на основі модальності, повністю настроюються користувачем;
- підвищення різкості зображення, включаючи маску нерізкості;
- фільтри підвищення різкості країв - щільність і забарвлення;
- інструмент Spine Compensation для покращення якості цифрового панорамування
- фільтр м'яких тканин (The Soft Tissue Filter), який посилює якість цефалометричних зображень і надає детальну інформацію про кістки; дозволяє автоматично регулювати гамма-фільтрацію по всьому зображенню, покращуючи видимість профілю пацієнта, одночасно інтенсифікуючи розпізнавання деталей в області кісток.

5. APTERYX® IMAGING (XRAYVISION®, XVLITE™)

Apteryx Imaging - це хмарне рішення для обробки зображень зубів, яке дозволяє зберігати, переглядати та оптимізувати клінічні

зображення для планування лікування, доступ до яких доступний у будь-який час і з будь-якого місця.



Рис. 11. Основне вікно програми Aptyx Imaging.

Модулі:

- Planet DDS забезпечує безпечну хмарну платформу, яка оптимізує операції та процеси.
- Denticon забезпечує надійне звітування та централізований безпечний доступ до даних.
- Aptyx надає повний пакет програмного забезпечення для обробки зображень, яке пропонує хмарну доступність, значну економію коштів, 3D-можливості та покращену IT-безпеку.

Сукупно вони дають змогу Midtown Dentistry безпечно отримувати доступ до зображень пацієнтів та інформації з будь-якого місця, отримуючи при цьому ключову операційну інформацію.

Хмарна платформа зручна у використанні для стоматологічних клінік, оскільки захищає дані та одночасно зменшує витрати за рахунок простого та безпечного віддаленого доступу до інформації та зображень.

Особливості:

- повний клінічний набір, включаючи шаблони та інструменти вимірювання;

- інтеграція датчиків;
- практика управління інтеграціями;
- форматування зображення DICOM;
- портал безпечного обміну;
- інформаційна панель Analytics;
- доступні можливості AI;
- додатковий засіб 3D-перегляду;
- перегляд і зберігання файлів STL.

Apteryx Imaging надає повний набір клінічних інструментів, які включають функції візуалізації. Він використовує штучний інтелект для допомоги в діагностиці і додаткову програму 3D-перегляду для найповнішого доступу до зображень пацієнта.

Під час перегляду зображення можна покращувати, зокрема змінювати яскравість, різкість, порівнювати зображення, зроблені з того самого інтерфейсу, кількома клацаннями миші.

Усі дані розміщені в захищеному центрі обробки даних Microsoft Azure, тому можна бути впевненим, що зображення безпечно зберігаються в хмарі з найвищим рівнем безпеки даних і відповідності HIPAA (закон, який врегульовує мобільність та підзвітність медичного страхування і встановлює стандарти захисту медичної звітності та особистих медичних даних пацієнтів).

6. DENTIMAX

Dentimax — комплексне програмне забезпечення для обробки відображень зубів із зручним інтерфейсом. Програмне забезпечення DentiView Imaging є однією з небагатьох відкритих систем цифрової обробки зображень. Він підтримує практично всі датчики, сканери з люмінофорними пластинами, внутрішньоротові камери та цифрові панелі.

Особливості:

- захоплення внутрішньоротового рентгенівського датчика;
- внутрішньоротові/позаротові апарати захоплення;
- панорамна/цефалометрична зйомка;

- захоплення пристроїв Twain;
- інтеграції управління пацієнтами;
- імпорт/експорт зображень і документів;
- нестандартні макети.



Рис. 12. Основне вікно програми DentiView Imaging.

Dentimax може отримувати зображення з внутрішньоротових і позаротових пристроїв та інтегрувати їх із широким спектром інструментів в управління стоматологічною практикою. Програма дозволяє створювати власні макети та спрощує імпорт та експорт зображень і документів.

7. XDR СТОМАТОЛОГІЧНА ВІЗУАЛІЗАЦІЯ

Програмне забезпечення XDR Imaging Software забезпечує найвищий рівень зображень і унікальну діагностичну потужність.



Рис. 13. Основне вікно програми XDR.

Особливості



- просторова роздільна здатність найвищого рівня для візуалізації дрібних деталей;
- максимально збільшена мезіальна область зображення збільшує швидкість захоплення контакту в ділянці ікло/премоляр;
- зображення найвищого рівня: перегляд найтонших уражень; можливість досягнути «ідеальної» експозиції; вибір клінічно релевантної обробки зображення.
- запатентована ергономіка: фіксація контактів ікло/премоляр; застосування

скошених кутів для отримання потрібної світлин.

Отже, якщо операційна система - Windows і якість зображення є головним пріоритетом, XDR Imaging може стати найкращим вибором для стоматологічної практики.

8. SENSEI IMAGING



Рис. 14. Основне вікно програми Sensei Imaging.

Sensei Imaging — це хмарне рішення для обробки зображень зубів, яке містить корисні функції керування практикою. Сумісне з усіма браузерами.

Зображення доступні в будь-який час, коли їх потрібно переглянути, безпечно та без обмежень.

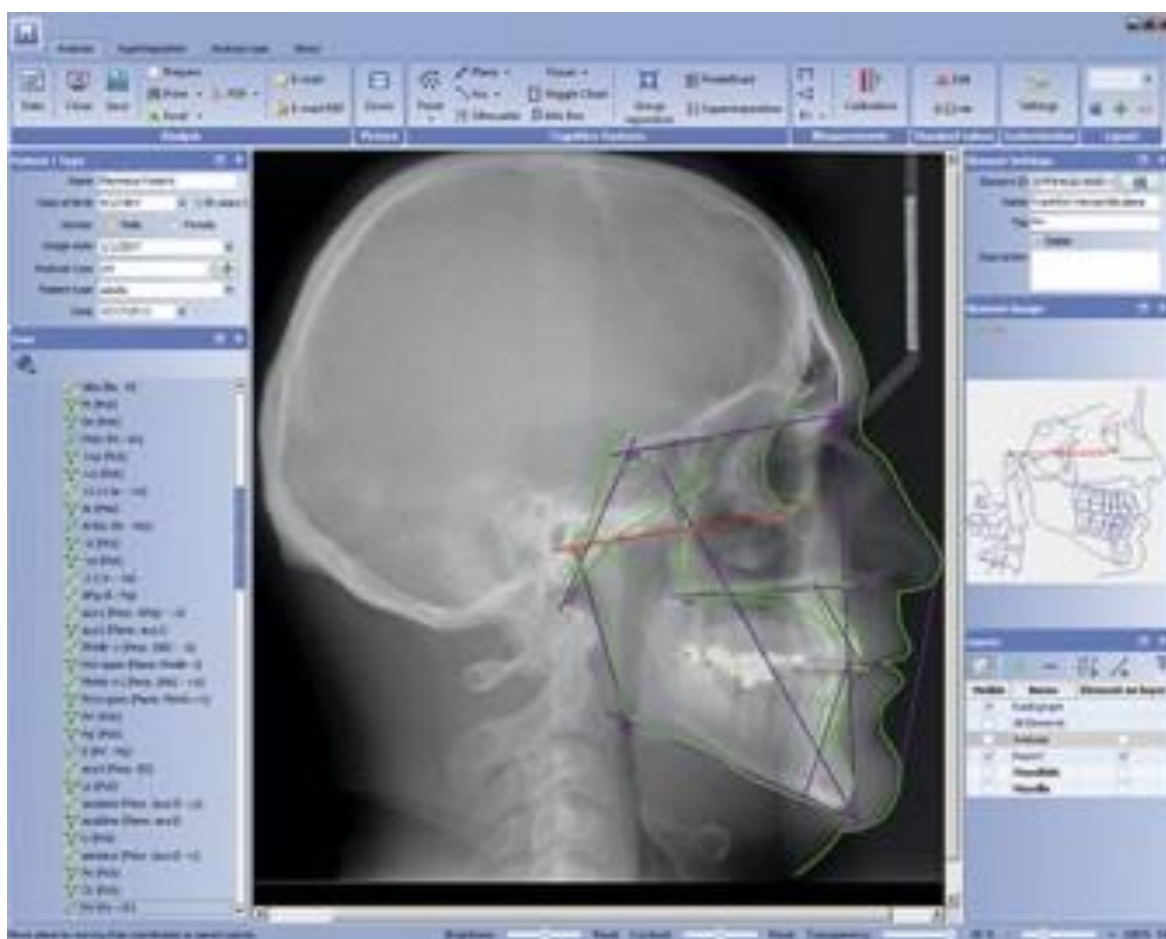
Висока якість зображення впливає на план лікування, а надійний набір інструментів надає можливість керувати зображеннями безпосередньо в хмарі.

Особливості:

- стоматологічна карта пацієнта;
- зовнішньо- та внутрішньоротові рентгенограми;
- планування лікування;
- ведення історії пацієнтів;
- комунікаційний менеджмент.

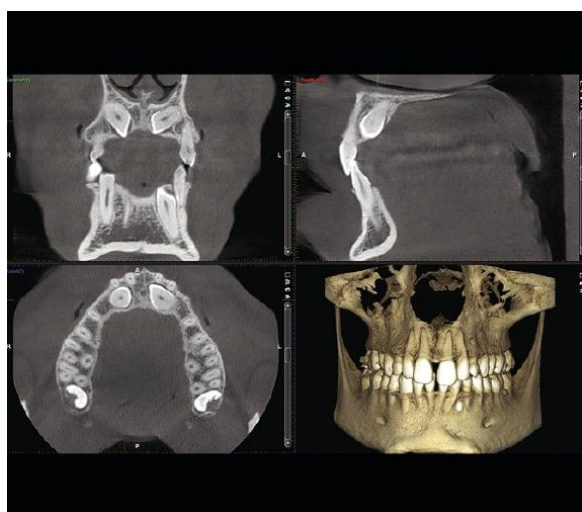
Sensei Imaging не має низки розширених функцій програмних рішень, але пропонує надійні можливості отримання зображень у поєднанні з функціями керування стоматологічною практикою.

9. PLANMECA ROMEXIS



ис. 15. Основне вікно програми Planmeca Romexis.

P



Planmeca Romexis - це програмне забезпечення для обробки зображень, яке може об'єднати будь-яку технологію Planmeca у практиці, включаючи технології CAD/CAM, 3D-рентгенівські промені тощо.

Усі пристрої для отримання зображень Planmeca CBCT підтримують три різні типи 3D-зображень зубів, а також панорамне, екстраоральне зображення прикусу та цефалометричне зображення. Оснащені інтелектуальними високотехнологічними рішеннями та алгоритмами, усі 3D-пристрої для обробки зубів пропонують легкий

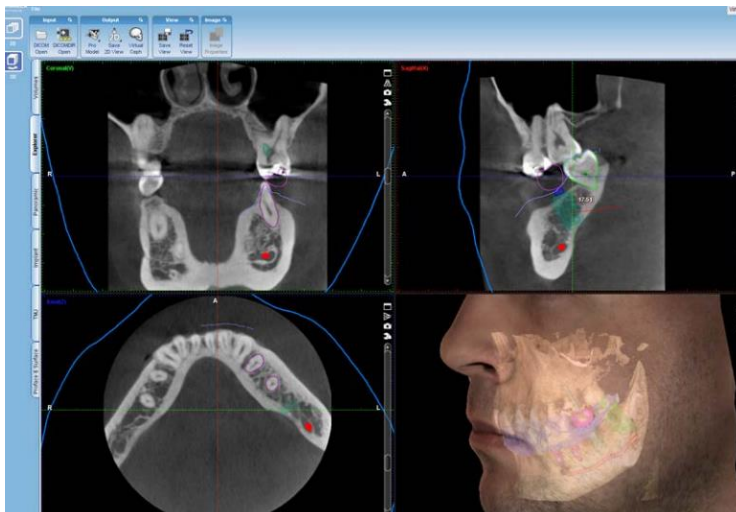
процес отримання зображень і чисті зображення - навіть при низькій дозі. Пристрої були розроблені для оцінки КЛКТ-зображень лікарем-стоматологом із різними доступними опціями.

Особливості:



- автоматична корекція рухів пацієнта. Працює з усіма розмірами об'ємів і додає лише менше 30 секунд до загального часу реконструкції;

- універсальне зображення зубів. Усі пристрої КЛКТ дозволяють гнучко вибирати відповідний розмір вокселя, роздільну здатність і значення експозиції. Окрім КЛКТ-зображень, вони підтримують панорамні 2D зображення, а також низку інших варіантів зображень – від фотографій Planmeca ProFace® до сканування 3D-моделей;
- доступні спеціальні протоколи, розроблені для конкретних діагностичних завдань, областей і цільових розмірів; два режими для навігації по тривимірних знімках - за об'ємом або по площині.
- унікальний протокол візуалізації Planmeca Ultra Low Dose™ є



провідним у світі методом отримання КЛКТ зображень при низьких ефективних дозах опромінення для пацієнтів. Це дозволяє клініцистам збирати більше інформації, ніж зі стандартних 2D панорамних зображень при

еквівалентній або навіть нижчій дозі опромінення для пацієнта без статистичного зниження якості;

При навігації за об'ємом 3D знімок можна переміщати і повертати таким чином, щоб ортогональні площини залишалися під прямими кутами під час переміщення/ обертання об'єму. При використанні навігації по площині 3D знімок залишається статичним, тоді як ортогональні площини переміщуються і обертаються всередині об'єму. Це можна використовувати для отримання довільних похилих зрізів без переміщення фактичної анатомії.

10. SIDEXIS 4

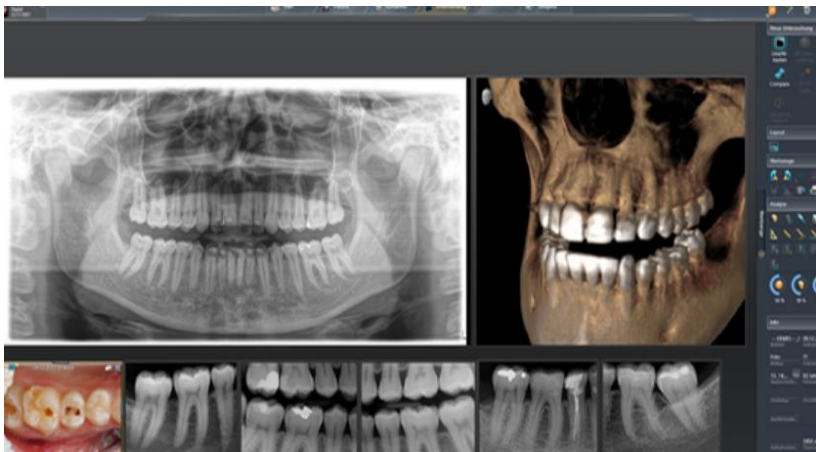


Рис. 16. Основне вікно програми SIDEXIS.

SIDEXIS 4 - програмне забезпечення для точної діагностики у стоматологічній практиці. Завдяки своєму сучасному та інтуїтивному інтерфейсу Sidexis 4 ефективно структурує робочий процес та служить основою для діагностики і планування подальшого лікування.

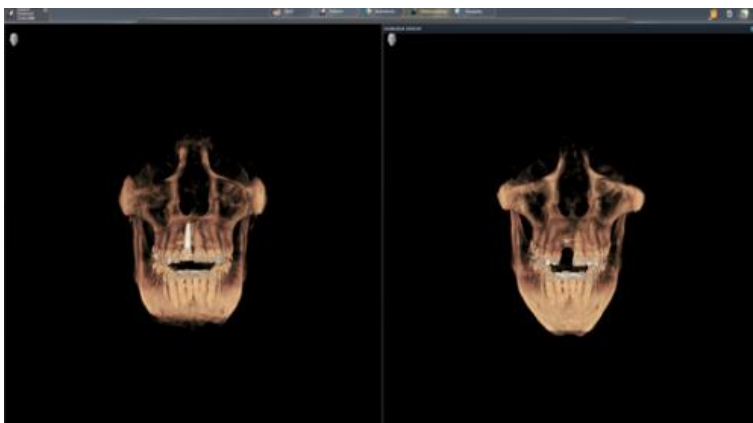
Програмне забезпечення для отримання та обробки рентгенівських знімків заощаджує час, є абсолютно безпечне та дозволяє покращувати результати лікування. Sidexis 4 надає ряд важливих функцій для зйомки пацієнта, управління зображеннями, аналізу, діагностики, консультації та простої передачі зображень. Найчастіше інструменти, що використовуються, виділені і їх легко знайти, що дозволяє працювати інтуїтивно.

SIDEXIS 4 має ряд унікальних функцій:



Вікно перегляду характеризується гнучкістю, що дозволяє безперешкодно відображати зображення всіх типів в одному інтерфейсі програмного забезпечення. Всі 2D,

3D та інші зображення можуть бути оброблені і переглянуті одночасно, забезпечуючи доступність всіх даних у процесі діагностики. Наприклад, можливе швидке та легке перехресне порівняння внутрішньоротового зображення та результатів тривимірного сканування. Таким чином, це інтуїтивно зрозуміле програмне забезпечення пропонує ідеальні умови для діагностики – від консультації пацієнта до планування лікування та моделювання.



Compare function (функція порівняння).

Працюючи в вікні порівняння, можна оцінити декілька зображень одночасно.

Наприклад, зіставлення двох панорамних знімків,

одержаних з двох різних періодів часу в процесі лікування стає

простішим і ефективнішим. Декілька 3D зображень можуть бути пов'язані один з одним для того, щоб отримати ідеальне порівняння. Ця функція також робить програмне забезпечення дуже зручним, тому що більше не потрібно перемикатися від вікна до вікна.



Timeline (часова шкала)

Завдяки часовій шкалі, огляд всієї історії хворого пацієнта можна побачити з першого погляду.

Особливості:

- інтеграція в робочий процес знімків, зроблених з використанням обладнання Dentsply Sirona (рентгенівськими системами стоматологічних установок, інтраоральними камерами, CEREC, SICAT Air та SICAT Function) та пристроями інших виробників;
- шаблони зйомки для ефективної інтраоральної зйомки;
- швидкий та інтуїтивно зрозумілий імпорт;
- моніторинг каталогів: Sidexis 4 контролює каталог у мережі та імпортує з нього дані. Інтеграція вашої цифрової дзеркальної камери із Sidexis 4 особливо проста;
- експорт у різні формати, наприклад DICOM та PDF, швидкий та легкий перегляд;
- дистанційне керування стоматологічною установкою від Dentsply Sirona, включаючи функції автоматичного підголівника та апекслокатора;
- розширення Galileos Implant для вбудованої імплантології;
- інтерфейс для інтеграції додаткових програмних програм, наприклад системи управління пацієнтами;
- усі зображення безпечно копіюються в хмару в режимі реального часу.

Отже, програмне забезпечення для обробки рентгенологічних зображень зубів надає практикуючим стоматологам платформу для отримання та зберігання знімків зубів тощо. Можливості таких програмних продуктів підтримують різноманітні інтерфейси візуалізації, інструменти для покращення роздільної здатності зображення та відображення у градаціях сірого з інтерактивним налаштуванням яскравості, контрастності та інверсією градацій сірого, а також калібрування та вимірювання довжини.

Програмне забезпечення інтегрується з різноманітними технологіями обробки зображень, а також із програмним забезпеченням для управління стоматологічною практикою .

ПІСЛЯМОВА

Цифрова трансформація є повсюдним гаслом у різноманітних секторах медицини, і стоматологія не є винятком. Цифрова стоматологія стрімко розвивається, з'являються нові технології та тренди. Цифрові технології забезпечують ряд переваг, зокрема точність виконання, економію часу та економічну ефективність.

Постійний прогрес в царині інформаційних технологій дав змогу подолати обмеження та перешкоди, які існували в клінічних і технологічних робочих процесах лише кілька років тому. Крім того, соціальна та культурна поведінка цивілізованого суспільства в індустріальних країнах змінилася та сприяла тенденції цифровізації: урбанізм, централізація та мобільність, постійний доступ через смартфони та планшети в поєднанні з Інтернетом речей (IoT).

Впровадження цифрових інструментів і додатків розкриває нові варіанти розв'язання основних проблем сучасності в охороні здоров'я. У стоматологічній практиці низку цифрових робочих процесів для виробничої обробки вже інтегровано у протоколи лікування, особливо в швидко висхідній галузі автоматизованого проєктування/автоматизованого виробництва (CAD/CAM) і швидкого прототипування (RP).

Відкрилися нові можливості для автоматизованої обробки радіологічних зображень із використанням штучного інтелекту (AI) і машинного навчання (ML). Крім того, доповнена та віртуальна реальність (AR/VR) є технологічною основою для накладання різноманітних файлів зображень, створюючи віртуальних пацієнтів-стоматологів, неінвазивне моделювання, що порівнює результати клінічного втручання. Збільшення ІТ-потужності сприяло появі перспективних технологій, використання яких можна буде оцінити лише в майбутньому.

Подальший напрямок стоматологічних досліджень повинен сприяти зв'язку здоров'я ротової порожнини та загального здоров'я, щоб зосередитися на персоналізованій медицині з урахуванням результатів, орієнтованих на пацієнта.

Підбиваючи підсумок, можна сказати, що цифрова обробка зображень знайшла широкий спектр застосувань у рентгенографії зубів. Приклади операцій будь-якого з фундаментальних класів можна знайти в літературі, а зростаюча роль цифрових технологій у стоматологічній візуалізації сприятиме новим розробкам і клінічним застосуванням. . Незважаючи на те, що новизна все ще є потужною рушійною силою деяких наукових зусиль, прогрес у стоматологічній візуалізації ґрунтуватиметься на цілеспрямованій, цілеспрямованій розробці та застосуванні нових технологій.^{7 6}

Майбутнє цифрової стоматології виглядає багатообіцяючим, оскільки прогрес у телестоматології, штучному інтелекті та доповненій реальності відкриває нові можливості у діагностиці та лікуванні ротової порожнини.

СЛОВНИК ТЕРМІНІВ

Візуалізація — одержання (подання) видимого зображення предметів, явищ, процесів недоступних для безпосереднього спостереження: унаочнення, створення умов для візуального спостереження.

Воксель — елемент простору, позначає значення певної величини в клітинках рівномірної просторової ґратки. Аналогічний пікселю, у двовимірних зображеннях. Використовуються для візуалізації та аналізу медичних та наукових даних.

Комп'ютерна томографія (КТ) — метод медичної візуалізації в основі якого є рентгенівське сканування, при якому пучок рентгенівського променя пошарово та поступово проходить через тонкий шар тканин людського тіла в різних напрямках.

Конусно-променева комп'ютерна томографія (КПКТ) — метод тривимірного рентгенологічного дослідження щелепно-лицьової системи. золотий стандарт дентальної діагностики.

Мейнфрейм — високопродуктивний комп'ютер зі значним обсягом оперативної та зовнішньої пам'яті, призначений для організації централізованих сховищ даних великої місткості та виконання інтенсивних обчислювальних робіт.

Оптична когерентна томографія (ОКТ) — неінвазивний метод візуалізації структур біотканин, який забезпечує найбільш високу роздільну здатність (до одиниць мікрометрів) при відновленні томографічних зображень, що представляють тривимірну внутрішню мікроструктуру неоднорідних об'єктів і середовищ на глибині проникнення оптичного випромінювання зі значним дифузним розсіюванням.

Панорамний знімок зубів або ортопантомограма (ОПТГ) — “паспорт зубів”, розгорнуте рентгенографічне обстеження щелепи, що дає вичерпну інформацію про стан всіх зубів, кореневих каналів, зачатків, кісток щелепи. Також даний метод діагностики допомагає оцінити стан гайморових пазух і скронево-щелепних суглобів.

Паралакс — видиме зміщення або різниця орієнтації об'єкта, що розглядається з двох різних позицій. Що далі розташований об'єкт, то менше змінюється його візуальна позиція. Що ближча відстань до об'єкта, або що більша відстань між точками спостереження (база), то більший паралакс.

Сіалографія — метод рентгенологічного дослідження слинних залоз, який полягає в наповненні слинних протоків рентгеноконтрастною речовиною.

Телерентгенограма (цефалометрія) — рентгенівський знімок черепа, зроблений на відстані, що відображає черепно-лицевий скелет і контури м'яких тканин обличчя. За допомогою телерентгенограми можна визначити особливості росту і розвитку лицевого скелета, локалізацію його зміненого росту; мати повну уяву про будову і взаємовідношення кісткової основи з м'якими тканинами обличчя; вибрати найбільш раціональний метод лікування.

Томографія — метод дослідження, який полягає в отриманні зображень окремих перерізів досліджуваного об'єкта.

Томосинтез — метод виконання томографії з обмеженим кутом високої роздільної здатності при рівнях доз опромінення, порівнянних з проекційною рентгенографією.

Флюорографія — метод медичної візуалізації і рентгенології, що полягає в одержанні фотознімка рентгенівського зображення з флюоресцентного екрана; використовується в сучасній інтервенційній дентальній рентгенографії для отримання статичних зображень (тобто періапікальні рентгенограми), отримані на різних етапах лікування кореневих каналів.

Флюороскопія (цифрова) — метод рентгенологічного дослідження, що полягає в одержанні рентгенівського зображення органів пацієнта в динаміці із застосуванням цифрового перетворення рентгенологічної інформації.

Хмарне сховище даних — це модель збереження даних у комп'ютері, в якій цифрові дані накопичуються в логічні пули, а фізичне зберігання охоплює кілька серверів (зазвичай у кількох місцях).

Цефалометричний аналіз — метод дослідження, яке надає уяву про анатомічні показники верхньої частини тіла: параметри та положення кісток черепа та щелепно-лицевої області, хребців в шийному відділі хребту, розміри та положення верхньої та нижньої щелеп відносно одна одної та багато необхідних вимірів для вибору плану лікування.

Цифрове зображення — модель реального або синтезованого зображення, що зберігається у файлі на машинному носії у вигляді сукупності кодів (цифр).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.

1. Correlation of quantitative light-induced fluorescence and optical coherence tomography applied for detection and quantification of early dental caries / B. T. Amaechi et al. *Journal of Biomedical Optics*. 2003. Vol. 8, no. 4. P. 642.
2. Computer Analysis of Radiographic Images / S. ANDO et al. *The Journal of Nihon University School of Dentistry*. 1968. Vol. 10, no. 2. P. 65–70.
3. Clarke F., Leonard J. Proposal for a standardised continuous pseudo-colour spectrum with optimal visual contrast and resolution. 1989. P. 687–691.
4. Evaluation of enamel dental restoration interface by optical coherence tomography / L. S. A. de Melo et al. *Journal of Biomedical Optics*. 2005. Vol. 10, no. 6. P. 064027.
5. Duguay M. A. Light photographed in flight. *Am. Sci.* 1971. No. 59. P. 551–556.
6. Figures Smith C. A profile of Frank Harrison: a pioneering Sheffield dentist from 100 years ago. *British Dental Journal*. 2012. Vol. 213, no. 8. P. 405–408.
7. Forrai J., Spielman A. I. History of X-rays in dentistry. *Kaleidoscope history*. 2023. Vol. 13, no. 27. P. 374–376.
8. Imaging caries lesions and lesion progression with polarization sensitive optical coherence tomography / D. Fried et al. *Journal of Biomedical Optics*. 2002. Vol. 7, no. 4. P. 618.
9. Harrison F. The New Photography and its Application to Dental Practice. *J Br Dent Assoc*. 1896. No. 17. P. 343–344.
10. Heckmann K. Die Röntgenperspektive und ihre Umwandlung durch eine neue Aufnahmetechnik. *RöFo*. 1939. No. 60. P. 144–157.
11. Hedley W. S. Radiostereoscopy. *Lancet*. 1898. No. 151. P. 639.
12. Optical coherence tomography / D. Huang et al. *Science*. 1991. Vol. 254, no. 5035. P. 1178–1181.
13. Kordaß B. Dentale Informatik. *Zahnärztliche Prothetik Thieme, Stuttgart*. 2007. P. 269–286.

14. Langland O. E., Fortier A. P. Edmund Kells. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology*. 1972. Vol. 34, no. 4. P. 680–689.
15. Lehmann T. M., Kaser A., Repges R. A simple parametric equation for pseudocoloring grey scale images keeping their original brightness progression. *Image and Vision Computing*. 1997. Vol. 15, no. 3. P. 251–257.
16. McCormack F. W. A Plea for a Standardized Technique for Oral Radiography, with an Illustrated Classification of Findings and Their Verified Interpretations. *Journal of Dental Research*. 1920. Vol. 2, no. 3. P. 467–509.
17. Molteni R. The way we were (and how we got here): fifty years of technology changes in dental and maxillofacial radiology. *Dentomaxillofacial Radiology*. 2020. P. 20200133.
18. Morton W. J. The x-ray and its application in dentistry. *Dent Cosmos*. 1896. No. 38. P. 478–485.
19. Numatha H. Consideration of the parabolic radiography of the dental arch. *J Shimazu Stud*. 1933. No. 10. P. 13.
20. Dental optical coherence tomography: a comparison of two in vitro systems / L. L. Otis et al. *Dentomaxillofacial Radiology*. 1999. Vol. 29, no. 2. P. 85–89.
21. Price W. The technique necessary for making good dental skiagraphs. *Dent Items Interest*. 1904. No. 26. P. 161–171.
22. Rollins W. H. X-light kills. *Boston Med Surg J*. 1901. P. 144–173.
23. Ruttimann U. E., Webber R. L., Grondahl H.-G. Subtraction radiography in dentistry. *Proc Annu Symp Comput Appl Med Care*. 1982. No. 2. P. 937–42.
24. Digitized pattern recognition in the diagnosis of periodontal bone defects / P. F. Stelt et al. *Journal of Clinical Periodontology*. 1985. Vol. 12, no. 10. P. 822–827.
25. Van Der Stelt P. F. Filmless imaging: the uses of digital radiography in dental practice. *The Journal of the American Dental Association*. 2005. Vol. 136, no. 10. P. 1379–1387.
26. Panoramic X-ray apparatus. : patent 1408559. United States. Applied on 1922.

27. <https://www.medigy.com/offering/dexis-imaging-suite-software/>
28. https://www.carestreamdental.com/globalassets/resource-library/cs3160_imaginghdwitw.pdf.
29. Гаврилов В. П. Теорія цифрових зображень. Харків : Вид. дім "ІНЖЕК", 2009. 57 с.
30. Лісецька І. С., Шовкова Н. І. Використання цифрових технологій в освітньому процесі на кафедрі дитячої стоматології Івано-франківського національного медичного університету. Сучасні концепції викладання природничих дисциплін в медичних освітніх закладах : Матеріали XIV Міжрегіон. науково-метод. інтернет-конференції, м. Харків, 15 січ. 2021 р. С. 134–136.
31. Рентгенологічні ознаки основних стоматологічних захворювань : навч. посіб. / І. І. Соколова та ін. Харків : ХНМУ, 2022. 52 с.
32. Шуаїбов О.К., Грицак Р.М., Малініна А.В. Вступ до біомедичної інженерії : підручник. Ужгород : «Говерла», 2023. 169 с.

Навчальне видання

**Лотоцька Леся Богданівна
Чухрай Наталя Львівна**

Цифрові технології для отримання та обробки
рентгенівських зображень у стоматології

Навчальний посібник

Підписано до друку 27.12.2024 р..
Формат 60 × 84/16. Наклад 100 прим.
ТзОВ «Галицька видавнича спілка»
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК 7408 від 27.07.2021

Для заміток