

DOI <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2025-25-2-16>

УДК 514.18

О. Є. Мацулевич¹, канд. техн. наукО. О. Вершков¹, канд. техн. наукА. П. Чаплінський¹, ст. викладачМ. В. Супрун¹, асистент

ORCID: 0000-0001-5553-709X

ORCID: 0009-0009-0616-8983

ORCID: 0000-0001-9213-5452

ORCID: 0009-0000-5903-1336

¹ Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторногоe-mail: oleksandr.matsulevych@tsatu.edu.ua

МОДЕЛЮВАННЯ МОСТОПОДІБНИХ ПРОТЕЗІВ У ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ DENTCAD

Анотація. Моделювання зубів під час протезування на імплантах – це інноваційна методика в стоматології зі створення тривимірної цифрової моделі майбутньої посмішки пацієнта з урахуванням його анатомічних особливостей: форми, кольору, розташування та розміру зубів, контуру обличчя, рівня ясен тощо. За допомогою спеціальної комп'ютерної програми лікар може побачити найбільш оптимальні для протезування місця, відтворити прообраз майбутніх зубних рядів та продемонструвати пацієнтові можливий результат, щоб обговорити критичні побажання. Застосування комп'ютера та цифрових програм не лише прискорює відповідне лікування, а й дає змогу виключити лікарські помилки.

Цифрові технології CAD/CAM забезпечують повний автоматизований процес створення зубних реставрацій – від цифрових знімків і дизайну до імплантації та протезування. CAD/CAM-технологія – це прогресивна методика, що дає змогу автоматизувати основні етапи створення коронок та інших зубних ортопедичних конструкцій.

У роботі пропонується методика комп'ютерного моделювання зубних протезів із використанням сучасних комп'ютерних технологій та програмних пакетів Delcam Dental, DentMILL, що істотно спрощує та прискорює процес виробництва зубних протезів без втрати якості. Спочатку за результатами цифрового 3D-сканування створюється модель протеза, який ідеально підходить конкретному пацієнтові, а вже після цього всі отримані дані передаються на спеціальне обладнання для виготовлення протезів. Авторам удалося наблизити зубозамінні конструкції до ідеалу, максимально виключивши неточності, і заздалегідь побачити повноцінну модель зубного протеза, у тому числі вже в установленому вигляді, щоб якнайкраще спланувати сам процес протезування.

Ключові слова: протезування зубів, математична модель, синергія клінічних потреб, 3D-сканер, оцифрування, реверсний інжиніринг, цифрові програми, нижня та верхня щелепи.

Постановка проблеми. Сьогодні зубопротезування є одним із найбільш затребуваних видів лікування у стоматолога. Це пов'язано зі слабким розвитком заходів профілактики захворювань зубів та поганим медичним обслуговуванням, що перейшло до постперебудовної України як спадщина соціалістичних часів. У наші дні українці (і не тільки) прагнуть стати володарями гарної, здорової, «голлівудської» посмішки, і єдиним способом досягти бажаного результату є зубопротезування. Новітні методи протезування зубів передбачають максимальну автоматизацію процесу, тому виникає необхідність у розробленні нових методик виготовлення зубних протезів в автоматизованому режимі без утручання людини.

Аналіз попередніх досліджень. Еволюція методів моделювання зубних протезів не є випадковим процесом, а зумовлена комплексом взаємопов'язаних чинників. Традиційні методи, незважаючи на свою тривалу історію застосування, мають іманентні обмеження: вони трудомісткі, значною мірою залежать від індивідуальних навичок та досвіду зубного техника, а також схильні до потенційних неточностей через усадку відбиткових та модельних матеріалів. Відтво-

рення складних анатомічних форм та індивідуальних особливостей пацієнта часто стає викликом. Водночас зростаючі вимоги пацієнтів до естетики та функціональності зубних протезів, а також прагнення стоматологів до більш передбачуваних та відтворюваних результатів лікування стимулювали активний пошук нових, більш досконалих технологічних рішень. Розвиток комп'ютерних технологій, зокрема потужного програмного забезпечення для тривимірного моделювання, та прогрес у галузі матеріалознавства створили необхідну технологічну базу для широкого впровадження цифрових підходів у стоматологічну практику. Переваги цифрових методів, таких як вища точність завдяки прямому скануванню та комп'ютерному контролю виробництва, значне скорочення часу на виготовлення, можливість віртуального планування та візуалізації результату для пацієнта, а також покращена комунікація між лікарем, техніком та пацієнтом, стали очевидними та сприяли їх швидкій адаптації та поширенню в клінічній практиці. Таким чином, перехід до цифрового моделювання є результатом синергії клінічних потреб, технологічного прогресу та економічних міркувань, таких як оптимізація робочого часу та ресурсів. Це не просто заміна інструментарію, а фундаментальна зміна парадигми в ортопедичній стоматології, що відкриває нові горизонти для підвищення якості лікування.

Формулювання мети статті. Виходячи з вищезазначеного, можна зробити висновок про необхідність розроблення нових методів автоматизованого зубопротезування з використанням пакетів прикладних програм Delcam та Autodesk Inventor.

Основна частина. Моделювання зубного протезу починається з виготовлення та сканування зліпка щелепи.

Як приклад візьмемо виготовлення зубних протезів нижньої та верхньої щелеп конкретного пацієнта.

Виготовлення зліпка щелепи починається з консультації фахівця та санації ротової порожнини. Для цього необхідно зробити панорамний знімок щелеп (рис. 1).

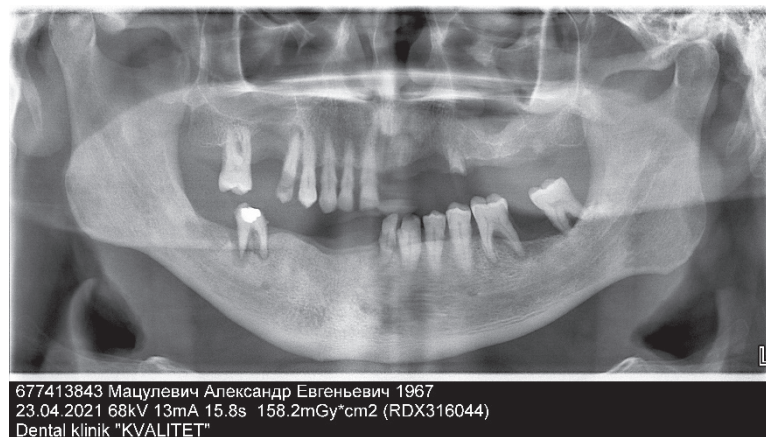


Рис. 1. Панорамний знімок щелеп пацієнта

На основі панорамного знімку стоматолог робить висновок про стан ротової порожнини і про подальші процедури. Якщо стан щелеп пацієнта задовольняє вимогами протезування, із них знімаються обернені відбитки, на основі яких робляться зліпки щелеп.

Сканування зліпка щелепи виконується на 3D-сканері, що є дуже важливою процедурою: від даних, отриманих скануванням, залежать точність отриманої пізніше моделі та точність ліній препарування.

Зліпок (рис. 2) фіксується на стенді в сканері (рис. 3), після чого задаються стратегія та параметри сканування. У цій операції важливо розташувати зліпок правильно, щоб сканер

зміг точніше відсканувати елементи зліпка, у нашому випадку це препаровані зуби верхньої щелепи.



Рис. 2. Зліпок щелепи



Рис. 3. Стенд сканера

Далі починається оцифрування зліпка (рис. 4). Після завершення готову математичну модель (рис. 5) передаємо у форматі STL програмний пакет для реверсивного інжинірингу СоруСAD.

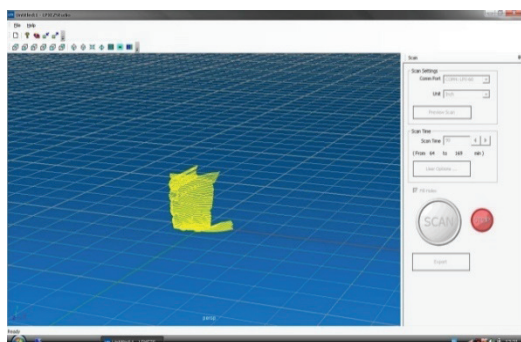


Рис. 4. Оцифрування зліпка

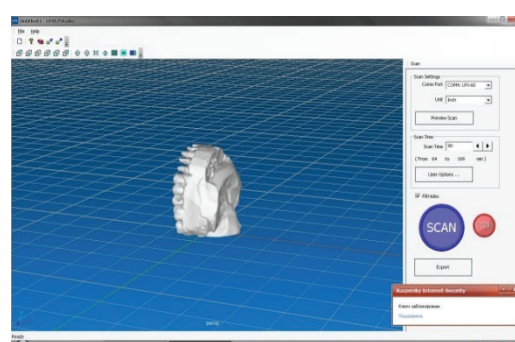


Рис. 5. Математична модель

У СоруСAD робимо обробку відсканованої моделі (рис. 6), готуючи її для використання у спеціалізованій системі тривимірного моделювання зубних мостів та коронок DentCAD, виправляємо неправильно з'єднані трикутники, вирізаємо зайві фрагменти (рис. 7–9).

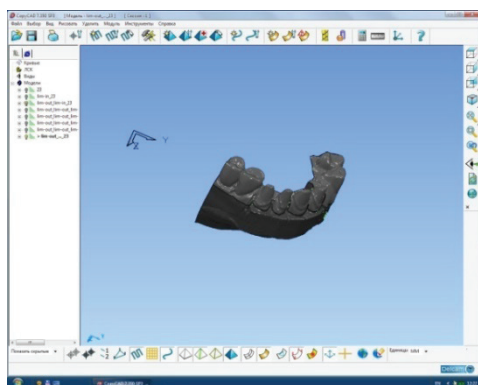


Рис. 6

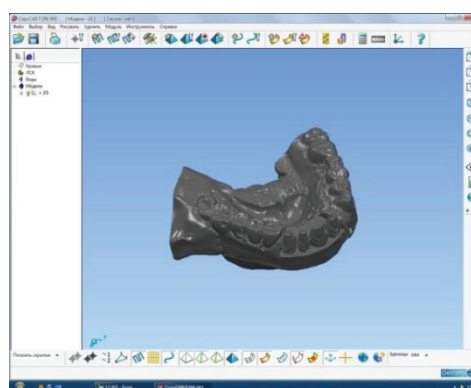


Рис. 7

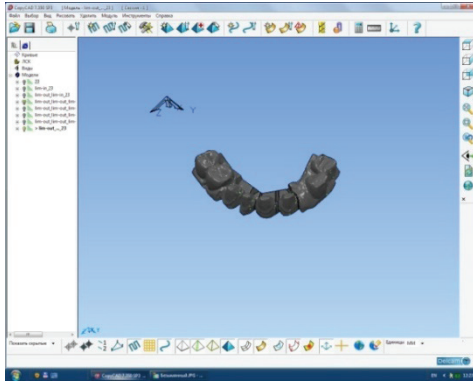


Рис. 8

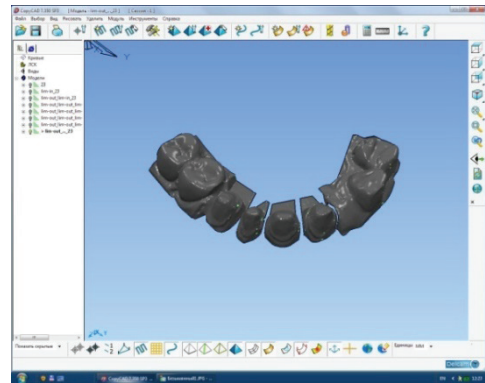


Рис. 9

Завдяки комп'ютерному моделюванню під час протезування зубів можна ще до початку роботи побачити, якими будуть нові зуби, і вибрати оптимальний варіант зовнішнього вигляду та встановлення протеза. Адже зуби у всіх різні: великі та маленькі, округлі, прямокутні або квадратні, і для кожного типу обличчя підійдуть свої форма та розмір зубів.

У DentCADi можливе моделювання будь-яких зубів, ми будемо виготовляти каркас моста з товщиною стінки зуба 0.6 мм.

Для цього вибираємо потрібні нам зуби на віртуальній моделі щелепи у програмі (рис. 10) та тип протезованих зубів. Після вибору зубів відкриваємо математичну модель зліпка, відредаговану в SolidCAD, і на ній вибираємо препаровані зуби, як указує програма, так само вибираємо ясна, на яких розташуємо зубний протез (рис. 11).

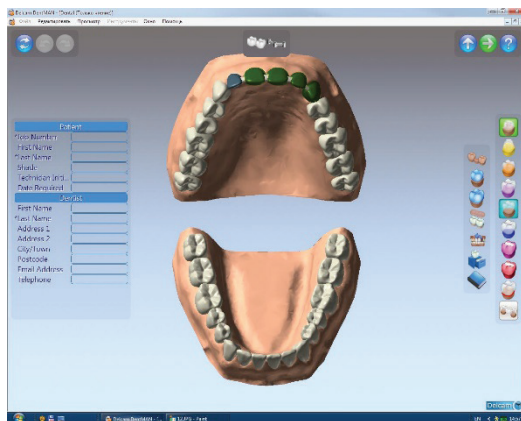


Рис. 10. Віртуальна модель щелепи

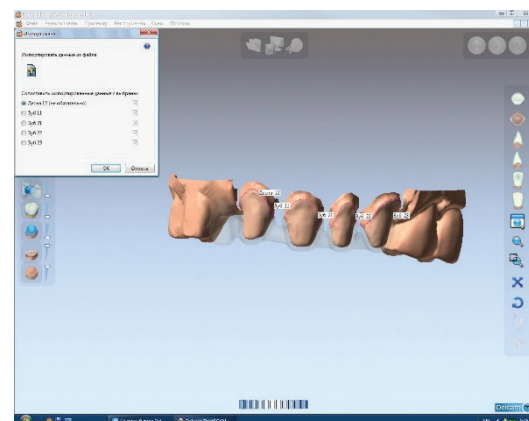


Рис. 11. Модель зубного протезу

Після цього виправляємо лінію препарування, яку створила автоматично програма DentCAD (рис. 12–15).

Наступним етапом проєктування є орієнтування зубопротезу (відсутнього зуба), який програма створила, на підставі відсканованих даних (рис. 16). Після цього отримуємо модель каркаса у віртуальному вигляді (рис. 17); уже зараз можна оцінити правильність виконання моделі та виправити недоліки.

Важливим етапом проєктування є редагування товщини коронної основи (рис. 18, 19).

Потім робимо редагування напрямку посадки моста (рис. 20) та докладніше проєктуємо з'єднувальні частини зубного мосту (рис. 21).

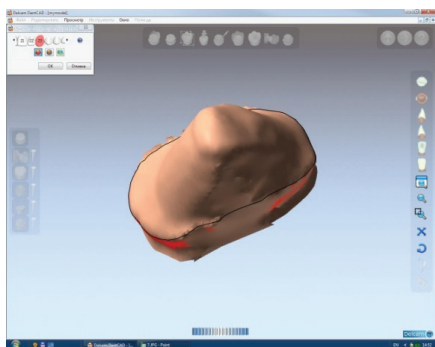


Рис. 12

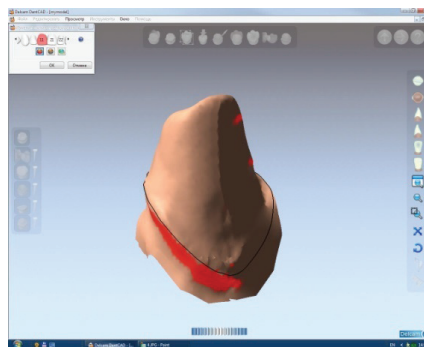


Рис. 13

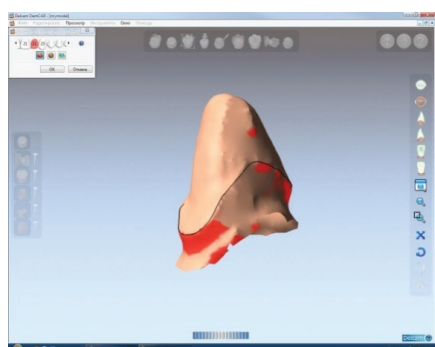


Рис. 14

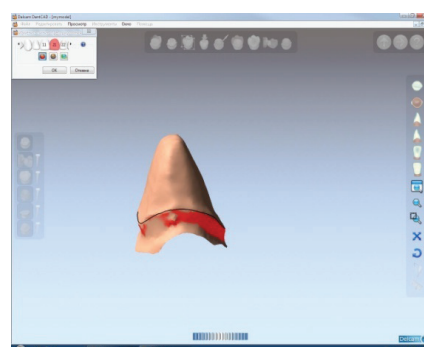


Рис. 15

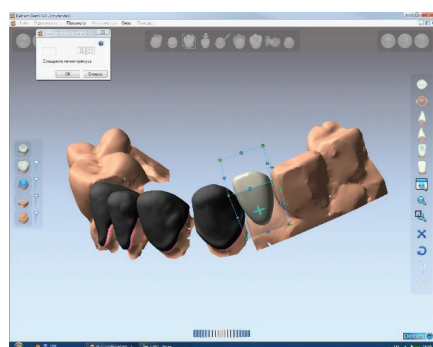
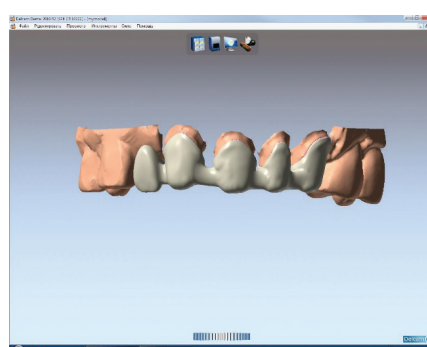
Рис. 16. Орієнтування зубопротезу
(відсутнього зуба)Рис. 17. Модель каркаса у віртуальному
вигляді

Рис. 18



Рис. 19

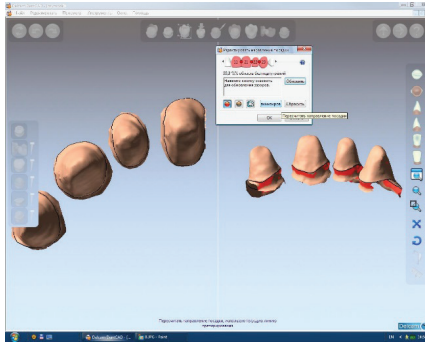


Рис. 20. Редагування напрямку посадки моста

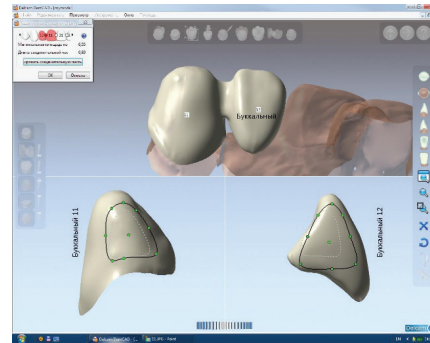


Рис. 21. Проектування з'єднувальних частин зубного моста

Після цього отримуємо каркас зубного протеза у загальному вигляді (рис. 22).

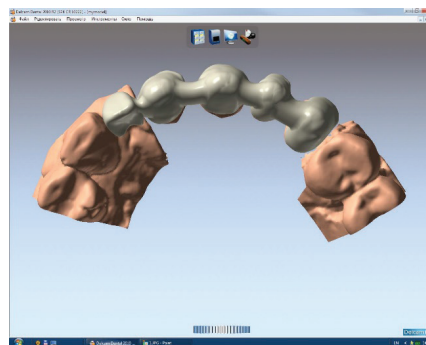


Рис. 22. Каркас зубного протеза у загальному вигляді

Висновки. Запропонована в роботі методика комп'ютерного моделювання зубних протезів із використанням сучасних комп'ютерних технологій та програмних пакетів Delcam Dental, DentMILL істотно спрощує та прискорює процес виробництва зубних протезів без утрати якості, наближає до ідеалу зубозамінної конструкції та дає змогу заздалегідь побачити повноцінну модель зубного протеза.

Список використаних джерел

1. Програмування фрезерної трьохкоординатної обробки за допомогою пакета PowerMill. Практикум. URL: www.delcam.com/
2. Дмитрієв Ю.О. Конспект лекцій із дисципліни «Інформаційні технології у виробництві» Мелітополь : ТДАТУ, 2019.
3. Михайленко В.Е. Кислюк В.Н., Лященко А.А. Геометрическое моделирование и машинная графика в САПР : учебник Киев : Вища школа, 1991. 374 с.
4. Сегментація медичних зображень методом фрактальної кластеризації / О.В. Залевська та ін. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2024. Вип. 24. Т. 3. DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-3-13.
5. Залевська О.В. Аналіз томографії злоякісної плеоморфної аденоми правої привушної зони за допомогою фрактальної апроксимації. *Науковий вісник МДПУ ім. Б. Хмельницького*. 2014.
6. Alrefo I.F., Rawashdeh M.O., Matsulevych O., Vershkov O., Halko S., Suprun, O. Designing the functional surfaces of camshaft cams of internal combustion engines. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2024, (3), pp. 72–78. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2024-3/072>.
7. Alrefo I.F., Matsulevych O., Vershkov O., Halko S., Suprun O., Miroshnyk O. Designing the working surfaces of rotary planetary mechanisms. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 2023, 4, pp. 82–88. DOI: <https://doi.org/10.33271/nvngu/2023-4/082>. ISSN 2071-2227, E-ISSN 2223-2362. (Q3).



8. Мацулевич О.Є. Застосування спеціалізованої PLM-системи Technologi CS при розробці автоматизованої системи ведення конструкторсько-технологічних баз даних підприємства сільськогосподарського машинобудування. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2024. Вип. 24. Т. 1. DOI: 10.32782/2078-0877-2024-24-1-13.
9. Програмування автоматизованих процесів обробки деталей : навчально-методичний посібник. Лабораторний практикум / Ю.О. Дмитрієв та ін. Мелітополь, 2022. 170 с.
10. Мацулевич О.Є., Щербина В.М., Залевський С.В. Автоматизація процесу геометричного моделювання робочих поверхонь насадок для фонтанів. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2019. Вип. 8. Т. 1. С. 55–68.
11. Мацулевич О.Є., Зінов'єва О.Г. Розв'язання задач аналізу тренд-сезонних часових рядів. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2019. Вип. 19(2). С. 264–270.
12. Михайленко О.Ю., Антонова Г.В. Технологія формоутворення елементів каркасу динамічної поверхні. *Науковий вісник ТДАТУ*. 2022. Вип. 12. Т. 2. № 26.

Стаття надійшла до редакції 20.04.2025

O. Matsulevych¹, O. Vershkov¹, A. Chaplinskyi¹, M. Suprun¹

¹ *Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University*

DENTAL BRIDGE MODELING IN THE PROGRAM PACKAGE DENTCAD

Summary

Dental modeling for implant prosthetics is an innovative technique in dentistry for creating a three-dimensional digital model of a patient's future smile, taking into account their anatomical features: shape, color, location and size of teeth, facial contour, gum level, etc. Using a special computer program, the doctor can see the most optimal places for prosthetics, recreate a prototype of future dentition, and demonstrate the possible result to the patient in order to discuss critical wishes with him. The use of computers and digital programs not only speeds up appropriate treatment, but also eliminates medical errors.

Digital CAD/CAM technologies provide a fully automated process for creating dental restorations – from digital images and design to implantation and prosthetics. CAD/CAM technology is a progressive technique that allows you to automate the main stages of creating crowns and other dental prosthetic structures.

This paper proposes a method for computer modeling of dentures using modern computer technologies and software packages Delcam Dental, DentMILL, which significantly simplifies and accelerates the process of denture production without loss of quality. First, a model of a prosthesis is created based on the results of a digital 3D scan, which ideally fits a specific patient. After that, all the obtained data is transferred to special equipment for manufacturing the prosthesis. The authors managed to bring the dental prosthesis designs closer to the ideal, eliminating inaccuracies as much as possible, and to see a full-fledged model of the denture in advance, including the already installed form, in order to best plan the prosthetics process itself.

Keywords: dental prosthetics, mathematical model, synergy of clinical needs, 3D scanner, digitization, reverse engineering, digital programs, lower and upper jaw.