

Dentist-YOLO: Alveolar Bone and Mandibular Canal Detection on Cone Beam Computed Tomography Images for Dental Implant Planning

Parmis Vatani *

University of Pécs

Aysooda Hooshmand

Hormozgan university of medical science

Fataemeh Taghavi

Tehran university

Abstract

The accurate identification of the alveolar bone (AB) and mandibular canal (MC) is crucial for planning dental implant surgery. Cone-beam computer is a 3D imaging method widely used for dental implant planning which requires less radiation dose than medical CT scans and can provide sectional image quality for visualizing alveolar bone and mandibular canal. Radiologists manually perform the process of diagnosing alveolar bone and mandibular canal on each section of the CBCT image to determine the appropriate area for measuring bone. However, this manual process can be time-consuming and subjective. This paper proposes an automatic system, Dental-YOLO, based on 2D grayscale CBCT images, which can simultaneously detect AB and MC. The system uses YOLOv4 and two-scale feature maps to detect AB and MC, and estimates the height and width of the available bone in the implant area using detected bounding box attributes. The Dental-YOLO system achieved a mean average precision of 99.46% in AB and MC detection. The study also found no significant difference in bone height and width measurements between the proposed approach and manual measurements by radiologists. The authors suggest that Dental-YOLO could be a valuable tool for simplifying and expediting dental implant planning.

Keywords: alveolar bone, CBCT, bone measurement, dental implant planning, mandibular canal, object detection, YOLO

Received: 19/January/2023

Accepted: 19/April/2023

ISSN: 2980-8936

یولو-دندان پزشک؛ تشخیص استخوان آلوئول و کانال فک پایین روی تصاویر توموگرافی با پرتو مخروطی برای برنامه‌ریزی ایمپلنت دندان

دانشگاه پکس، دانشکده دندانپزشکی، پکس، مجارستان

پارمیس وطنی*

دانشگاه علوم پزشکی هرمزگان، دانشکده پرستاری، بندرعباس، ایران

آیسودا هوشمند

دانشگاه تهران، دانشکده حسابداری، تهران، ایران

فاطمه تقوی

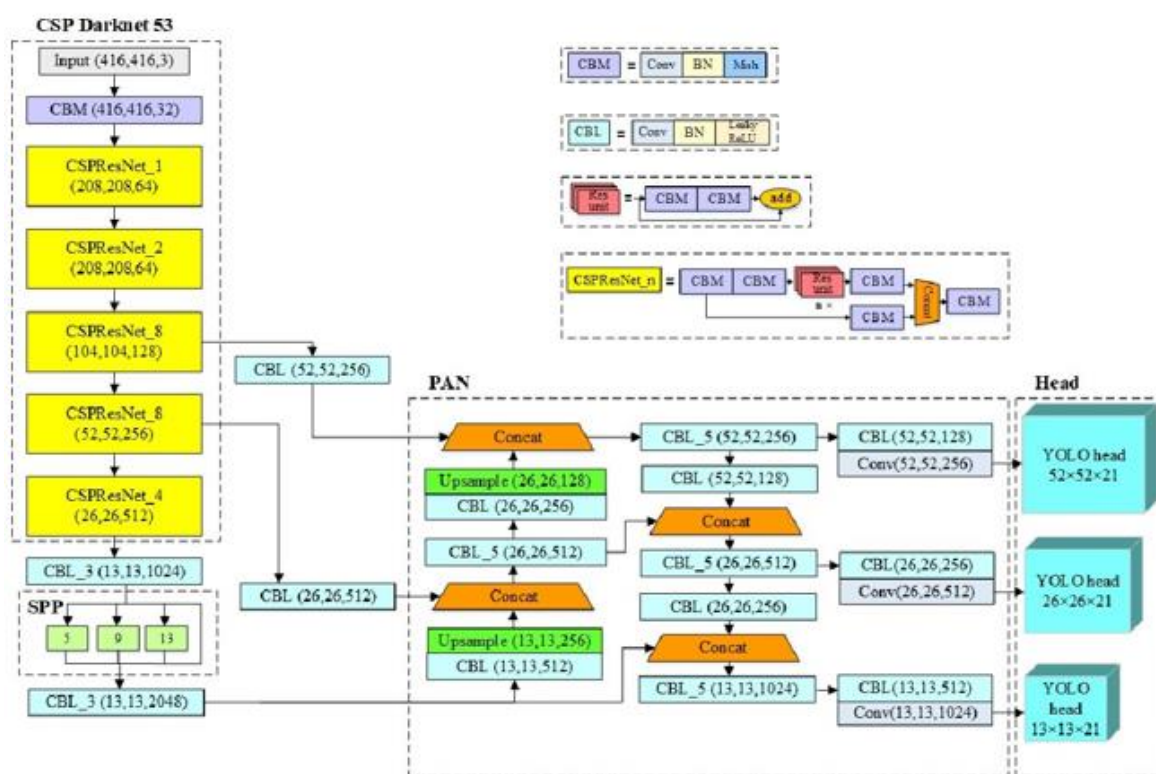
چکیده

در برنامه‌ریزی ایمپلنت دندانی خلفی فک پایین، شناسایی محل دقیق استخوان آلوئول (AB) و کانال فک پایین (MC) برای تعیین ارتفاع و عرض استخوان موجود ضروری است. توموگرافی کامپیوتری با پرتو مخروطی (مقطع‌نگاری رایانه‌ای با اشعه مخروطی) یک روش تصویربرداری سه‌بعدی است که به طور گسترده برای برنامه‌ریزی ایمپلنت دندان استفاده می‌شود که در مقایسه با سی‌تی‌اسکن پزشکی به دوز تابش کمتری نیاز دارد و می‌تواند کیفیت تصویر مقطعی را برای تجسم استخوان آلوئول و کانال فک پایین ارائه دهد. رادیولوژیست فرآیندهای تشخیص استخوان آلوئول و کانال فک پایین را به صورت دستی بر روی هر بخش از تصویر مقطع‌نگاری رایانه‌ای با اشعه مخروطی انجام می‌دهد تا ناحیه مناسب برای اندازه‌گیری استخوان تعیین شود. این فرآیند زمان‌بر است و دقت اندازه‌گیری به توانایی و تجربه رادیولوژیست بستگی دارد. این مطالعه یک سیستم تشخیص خودکار و هم‌زمان برای استخوان آلوئول و کانال فک پایین بر اساس تصاویر ۲ بعدی مقطع‌نگاری رایانه‌ای با اشعه مخروطی در مقیاس خاکستری را پیشنهاد می‌کند که می‌تواند برنامه‌ریزی ایمپلنت دندان را ساده و تسریع کند. ما یولو-دندان‌پزشک را معرفی می‌کنیم، نسخه‌ای کارآمد از یولو^۱ با نقشه‌های ویژگی دو مقیاسی در مقیاس‌های پایین و بالا که به طور خاص برای تشخیص استخوان آلوئول و کانال فک پایین ساخته شده است. ارتفاع و عرض استخوان موجود در ناحیه ایمپلنت با استفاده از ویژگی‌های جعبه مرزی شناسایی شده تخمین زده شد. عملکرد تشخیص استخوان آلوئول و کانال فک پایین با استفاده از یولو-دندان‌پزشک به میانگین دقت ۹۹٫۴۶٪ رسید. آزمون آنالیز واریانس دوطرفه تفاوتی در اندازه‌گیری ارتفاع و عرض استخوان تولیدشده توسط روش پیشنهادی و اندازه‌گیری دستی توسط رادیولوژیست‌ها نشان نداد. نتایج ما نشان می‌دهد که سیستم تشخیص یولو-دندان‌پزشک می‌تواند برای جراحی ایمپلنت دندان و برنامه‌ریزی درمان قبل از جراحی مفید باشد.

کلیدواژه‌ها: استخوان آلوئولار، مقطع‌نگاری رایانه‌ای با اشعه مخروطی، اندازه‌گیری استخوان، برنامه‌ریزی ایمپلنت دندان، کانال فک پایین، تشخیص اشیا، یولو

مقدمه

ایمپلنت‌های دندان‌های ریشه‌های مصنوعی دندان‌های هستند که در استخوان فک برای جایگزینی دندان‌های ازدست‌رفته کاشته می‌شوند. برنامه‌ریزی درمان قبل از جراحی ویراستار هماهنگ‌کننده‌ی بازبینی این دست‌نوشته و تأیید آن برای انتشار، عصام اف. توموگرافی کامپیوتری با پرتو مخروطی (مقطع‌نگاری رایانه‌ای با اشعه‌مخروطی) به دلیل مزایای آن در ارائه‌ی اطلاعات تشریحی و همچنین تصاویر سه‌بعدی ریشه (Bae et al., 2021)، استخوان (Worthington et al., 2010) و ساختارهای مهم در محل کاشت اعصاب به طور گسترده در دندان‌پزشکی ایمپلنت استفاده شده است؛ بنابراین، مقطع‌نگاری رایانه‌ای با اشعه‌مخروطی به برنامه‌ریزی ایمپلنت دندان برای بهبود نتایج درمان با ارائه‌ی اطلاعات ضروری در مورد ابعاد و موقعیت‌های ایده‌آل ایمپلنت با توجه به استخوان موجود کمک می‌کند (Jacobs et al., 2018).



تصویر ۱. معماری یولو ۴.

برای قراردادن ایمپلنت دندان‌های در محل خلفی فک پایین، باید محل کانال فک پایین را به عنوان یک ساختار مهم در نظر گرفت (Juodzbalys & Daugela, 2013; Sun et al., 2020). کانال فک پایین به صورت دستی در هر مقطع از تصاویر مقطع‌نگاری رایانه‌ای با اشعه‌مخروطی شناسایی شد و به دنبال آن اندازه‌گیری دستی ارتفاع و عرض استخوان توسط رادیولوژیست با استفاده از یک نرم‌افزار تصویربرداری سه‌بعدی انجام شد. عرض و ارتفاع استخوان آلوئول برای تعیین ابعاد ایمپلنت ضروری است. شناسایی کانال فک پایین و اندازه‌گیری استخوان کاری فشرده و زمان‌بر است. علاوه بر این، دقت اندازه‌گیری به تخصص و تجربه رادیولوژیست در تفسیر تصاویر مقطع‌نگاری رایانه‌ای با اشعه‌مخروطی بستگی دارد (Jaskari et al., 2020; Putra et al., 2022).

پیشینه پژوهش

یادگیری عمیق به سرعت پیشرفت کرده و به دقت بسیار بالاتری نسبت به یادگیری ماشین سنتی دست یافته است؛ زیرا می تواند ویژگی های با ابعاد بالا را به طور خودکار استخراج کند (Hu et al., 2021). رویکردهای مبتنی بر یادگیری عمیق می توانند زمان و اشتباهات انجام شده توسط رادیولوژیست های بی تجربه را در تفسیر تصاویر پزشکی در عمل بالینی روزانه خود به میزان قابل توجهی کاهش دهند. رویکرد یادگیری عمیق در ابتدا در تحقیقات رادیولوژی دندان اجرا شد (Bayraktar & Ayan, 2022). یادگیری عمیق برای تشخیص موفقیت آمیز سطوح رادیوگرافی استخوان در رادیوگرافی پانورامیک (Chang et al., 2020)، بومی سازی کانال فک پایین بر روی حجم مقطع نگاری رایانه ای با اشعه مخروطی (Jaskari et al., 2020)، طبقه بندی دندان ها بر روی تصاویر مقطع نگاری رایانه ای با اشعه مخروطی (Miki et al., 2017)، بخش استخوان آلوئول در تصاویر مقطع نگاری رایانه ای با اشعه مخروطی (Cui et al., 2022) و بخش بندی فک پایین استفاده شده است. استخوان کورتیکال (Premalatha & Srikrishna, 2019)، کانال فک پایین (Cui et al., 2022; Indraswari et al., 2020; Kwak et al., 2020; Lahoud et al., 2022)، دندان (Cui et al., 2022; Indraswari et al., 2020; Lee et al., 2020; al., 2019) و عصب آلوئولی تحتانی (Lim et al., 2021) در تصاویر مقطع نگاری رایانه ای با اشعه مخروطی.

برنامه ریزی ایمپلنت دندانی فک پایین نیازمند تشخیص یا تقسیم بندی استخوان آلوئول و کانال فک پایین است. کوی و همکاران قطعه بندی خودکار دندان و استخوان آلوئولی را بر روی تصاویر مقطع نگاری رایانه ای با اشعه مخروطی سه بعدی با استفاده از روش V-Net که یک CNN کاملاً سه بعدی است، پیشنهاد کرد (Cui et al., 2022). دقت قطعه بندی استخوان آلوئولی در آن مطالعه به مقدار تاس ۹۴٫۵ درصد رسید. تحقیقات روی تقسیم بندی استخوان آلوئولی با رویکرد یادگیری عمیق که از تصاویر مقطع نگاری رایانه ای با اشعه مخروطی استفاده می کند، چندان انجام نشده است. برای انجام مطالعات بر روی تقسیم بندی استخوان آلوئول با استفاده از تصاویر مقطع نگاری رایانه ای با اشعه مخروطی فرصت هایی در دسترس است. جاسکری و همکاران یک رویکرد یادگیری عمیق برای مکان یابی خودکار کانال فک پایین در تصاویر مقطع نگاری رایانه ای با اشعه مخروطی با استفاده از یک CNN کاملاً سه بعدی ارائه کرد (Jaskari et al., 2020). دقت محلی سازی کانال فک پایین ۰٫۹۰ بود. نتیجه می تواند روند دستی حاشیه نویسی کانال فک پایین را کاهش دهد. کواک و همکاران یک رویکرد یادگیری عمیق مبتنی بر دو بُعد (2K) SegNet و D U-۲ Nets و D U-Nets ۳ برای تقسیم خودکار کانال فک پایین بر روی تصاویر مقطع نگاری رایانه ای با اشعه مخروطی پیشنهاد کرد (Kwak et al., 2020). آزمایش های با تمرین با استفاده از وزنه های قبل از تمرین، نتایج تقسیم بندی بهتری را نشان دادند و دقت تقسیم بندی مدل سه بعدی U-Net با دقت جهانی ۰٫۹۹، بهترین بود. این نتایج به طور قابل توجهی به برنامه ریزی ایمپلنت دندان کمک می کند.

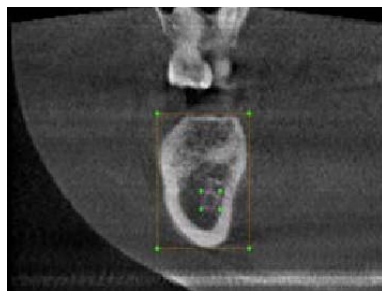
معماری سه بعدی U-Net نیز برای تقسیم بندی کانال فک پایین در ماژول های AI-driven استفاده می شود (Lahoud et al., 2022). این مطالعه یک ماژول جدید، سریع و دقیق مبتنی بر AI را برای تقسیم بندی کانال فک پایین در مقطع نگاری رایانه ای با اشعه مخروطی نشان داد. با این حال، مطالعاتی که به طور همزمان و به طور خودکار استخوان آلوئول و کانال فک پایین را شناسایی می کنند، هنوز به طور گسترده ایجاد نشده اند؛ بنابراین، فرصت های زیادی برای تشخیص خودکار دقیق با استفاده از یادگیری عمیق برای شناسایی هر دو شیء وجود دارد.

یولو، یک سیستم تشخیص پیشرفته مبتنی بر یادگیری عمیق و یک آشکارساز CNN تک مرحله ای است که به طور همزمان پیش بینی های محلی سازی و طبقه بندی اشیاء را با دقت و سرعت تشخیص بالا انجام می دهد (Redmon et al., 2016). طبقه بندی آن ها باید در اطراف شیء ترسیم شود. نسخه های مختلفی از یولو وجود دارد: یولو ۲

(Redmon & Farhadi, 2017)، یولو ۳ (Redmon & Farhadi, 2018) و یولو ۴ (Bochkovskiy et al., 2020). برای تجزیه و تحلیل تصاویر پزشکی، از یولو برای محلی سازی و ردیابی دیواره میوکارد از تصاویر فراصوت میدان جریان قلب (Zhuang et al., 2020) و برای تشخیص خودکار COVID-19 از تصاویر خام اشعه ایکس قفسه سینه استفاده شد (Mahmud et al., 2020). از یولو ۳ برای تشخیص توده های پستان در ماموگرافی های دیجیتال کامل (Aly et al., 2021) و یولو ۴ برای تشخیص موفقیت آمیز ضایعات ملانوم (Albahli et al., 2020) استفاده شد. در دندان پزشکی، یولو ۳ با موفقیت برای تشخیص پوسیدگی دندان در رادیوگرافی دیجیتال بایت (Bayraktar & Ayan, 2022) و یولو ۳ با موفقیت برای تشخیص استخوان آلوئول استفاده شده است (Widiasri et al., 2022)؛ بنابراین، یولو برای برنامه ریزی ایمپلنت دندانی و در این مورد برای تشخیص هم زمان استخوان آلوئول و کانال فک پایین مناسب است.

آشکارساز یولو از سه بخش اصلی تشکیل شده است: اجزای ستون فقرات، گردن و سر. همه آشکارسازهای شیء یک تصویر را به عنوان ورودی می گیرند و ویژگی ها را از طریق ستون فقرات CNN فشرده می کنند. در گردن، ترکیبی از ویژگی های ستون فقرات در لایه ها رخ می دهد. بخش head یک شیء را با ایجاد یک جعبه محدود کننده شیء، پیش بینی کلاس شیء و تعیین مکان شیء شناسایی می کند. یولو ۴ از یک Darknet53 جزئی (CSP) متقاطع به عنوان شبکه ستون فقرات، مدول ادغام هرمی فضایی (SPP)، PANet به عنوان شبکه گردن و یولو ۳ به عنوان سر تشکیل شده است که از یک نقشه ویژگی سه مقیاسی در سر استفاده می کند. پیش بینی نتایج تشخیص CSP Darknet53 از یک بلوک ساختمان کانولوشن (CBM) و پنج ماژول CSPResNet تشکیل شده است (Bochkovskiy et al., 2020). CBM شامل یک لایه پیچشی (Conv)، لایه نرمال سازی دسته ای و لایه Mish است. CSPResNet یک شبکه عصبی کانولوشن با رویکرد CSP است که در ResNet اعمال می شود. شکل I معماری یولو ۴ را نشان می دهد. در معماری یولو ۴، نقشه های سه مقیاسی (کم، متوسط و زیاد) برای تشخیص اشیاء با اندازه های مختلف استفاده می شود. در برنامه ریزی ایمپلنت دندان، تشخیص هم زمان استخوان آلوئول و کانال فک پایین برای اندازه گیری استخوان موجود در ناحیه ایمپلنت مورد نیاز است. استخوان آلوئول به دلیل اندازه بزرگ آن به راحتی قابل تشخیص است، در حالی که تشخیص کانال فک پایین به دلیل اندازه کوچک آن دشوارتر است. تشخیص با استفاده از یولو ۴ برای تشخیص خاص استخوان آلوئول و کانال فک پایین که تفاوت های زیادی در اندازه دارند، ممکن است کارآمدتر باشد؛ بنابراین، ارائه نقشه های ویژگی مناسب در معماری یولو ۴ برای افزایش کارایی تشخیص استخوان آلوئول و کانال فک پایین بسیار مهم است.

این مطالعه یک سیستم تشخیص خودکار و هم زمان برای استخوان آلوئول و کانال فک پایین بر اساس تصاویر دوبعدی مقطع نگاری رایانه ای با اشعه مخروطی در مقیاس خاکستری پیشنهاد می کند که می تواند برنامه ریزی ایمپلنت دندان را ساده و تسریع کند. ما یولو-دندان پزشک را معرفی می کنیم؛ نسخه ای کارآمد از یولو ۴ با نقشه های ویژگی دو مقیاسی در مقیاس های پایین و بالا که به طور خاص برای تشخیص استخوان آلوئول و کانال فک پایین ساخته شده است. یک نقشه ویژگی در مقیاس پایین در تشخیص اجسام نسبتاً بزرگ استخوان آلوئول کارآمدتر است، در حالی که یک نقشه ویژگی با مقیاس بالا در تشخیص اجسام بسیار کوچک تر کانال فک پایین کارآمدتر است. سپس از ویژگی جعبه مرزی شناسایی شده برای اندازه گیری ارتفاع و عرض استخوان موجود در ناحیه ایمپلنت استفاده شد. سیستم تشخیص پیشنهادی می تواند اندازه گیری کمیت استخوان را انجام دهد که در ایمپلنت های دندانی بسیار مهم است.



تصویر ۲. حاشیه نویسی (لیبل زدن) کانال فک پایین و استخوان آلوئول روی برش تاج.

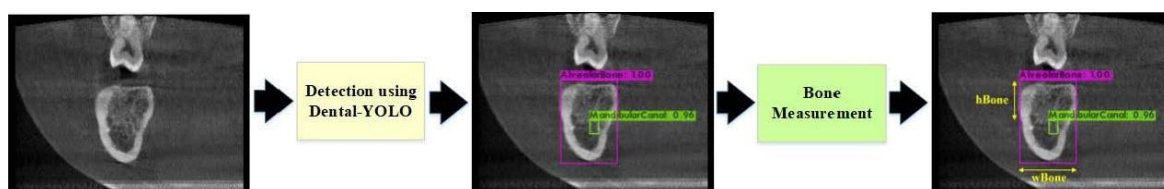
جدول ۱. توزیع داده

| گروه | Total Images | AB | MC |
|-------|--------------|------|-----|
| آموزش | 744 | 773 | 402 |
| تست | 320 | 330 | 173 |
| مجموع | 1064 | 1103 | 575 |

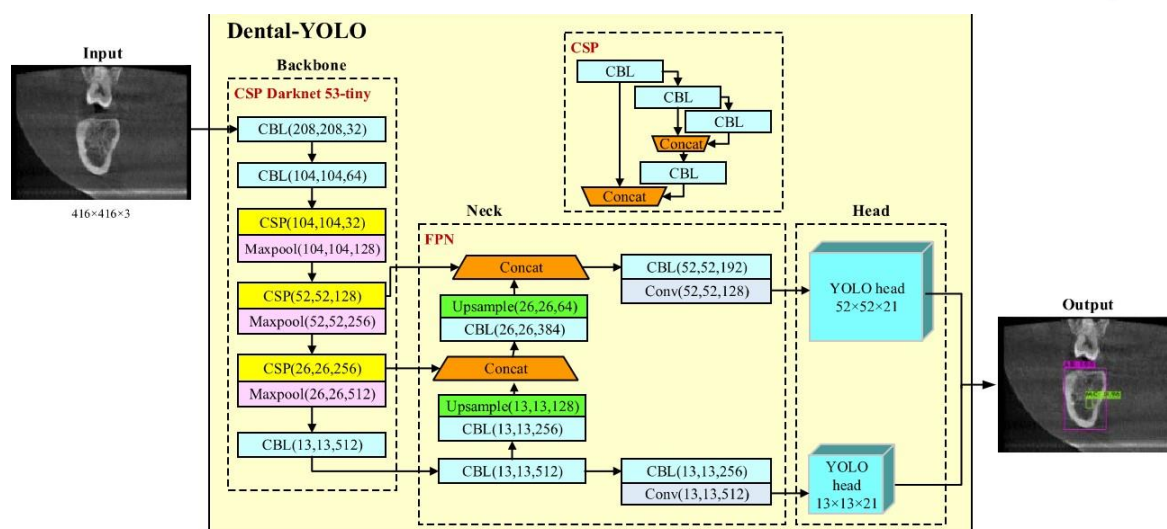
روش

ما در این مقاله از تصاویر دوبعدی مقطع نگاری رایانه‌ای با اشعه مخروطی با مقیاس خاکستری از برش‌های تاج فک پایین استفاده کرده‌ایم. تصاویر برای ایجاد تصاویر واقعی با استفاده از یک ابزار حاشیه نویسی گرافیکی^۱، حاشیه نویسی شدند. فرآیند حاشیه نویسی با ایجاد کادرهای محدود کننده برای اشیاء استخوان آلوئول و کانال فک پایین هر تصویر انجام شد. تصویر ۲، نمونه‌ای از حاشیه نویسی اشیاء استخوان آلوئول و کانال فک پایین از برش تاج را نشان می‌دهد. حاشیه نویسی استخوان آلوئول به صورت یک کادر زرد و حاشیه نویسی کانال فک پایین به صورت یک کادر بنفش نشان داده شده است. یک فایل متنی با فرمت یولو برای هر تصویر حاوی شماره کلاس، مقادیر مختصات مرکزی و عرض و ارتفاع کادر مرزی نسبت به عرض و ارتفاع تصویر برای هر شیء تولید شد.

تصاویر دندان پزشکی مقطع نگاری رایانه‌ای با اشعه مخروطی از بیمارستان آکادمیک دندان پزشکی دانشگاه ابرلانگا گرفته شد. تمام تصاویر با استفاده از اسکنر سه بعدی مقطع نگاری رایانه‌ای با اشعه مخروطی OP300 (Tuusula Instrumentarium Dental، فنلاند) به دست آمد. در این آزمایش از ۱۰۶۴ تصویر مقطع نگاری رایانه‌ای با اشعه مخروطی دوبعدی از برش‌های تاج، ۷۰ درصد برای آموزش و ۳۰ درصد برای آزمایش استفاده شد. در فرآیند آموزش از ۷۴۴ تصویر و ۳۲۰ تصویر برای فرآیند تست استفاده شده است. ۱۶۷۸ حاشیه نویسی شامل ۱۱۰۳ استخوان آلوئول و ۵۷۵ حاشیه نویسی کانال فک پایین ساخته شد.



تصویر ۳. جریان روندی سیستم.



تصویر ۴. معماری یولو-دندان‌پزشک.

یک رادیولوژیست با ۱۴ سال تجربه حرفه‌ای نتایج حاشیه‌نویسی را تأیید کرد. جدول شماره ۱ توزیع تصاویر و حاشیه‌نویسی مورد استفاده در این مطالعه را نشان می‌دهد.

برای تشخیص اجسام استخوان آلوئول و MC، تصویر و حقیقت زمینی که ایجاد شده‌اند به عنوان ورودی برای آموزش و آزمایش یولو-دندان‌پزشک استفاده می‌شوند. مدل یولو-دندان‌پزشک یک تصویر ورودی با اندازه 416×416 پیکسل را می‌پذیرد. آموزش و آزمایش دندان‌پزشکی-YOLO از مجموعه داده‌های آموزش و آزمایش از پیش آماده شده استفاده کرد. نتایج تشخیص به عنوان یک کادر محدود، نام کلاس و مقدار اطمینان تشخیص برای شیء شناسایی شده نشان داده می‌شود. نام کلاس مورد استفاده در این مطالعه استخوان آلوئول برای استخوان آلوئول و کانال فک پایین برای کانال فک پایین بود. مقدار اطمینان تشخیص از ۰,۰۰ تا ۱,۰۰ متغیر است که در آن ۱,۰۰ بالاترین سطح اطمینان تشخیص را نشان می‌دهد. ارتفاع و عرض استخوان موجود در ناحیه ایمپلنت با استفاده از مختصات، طول و عرض جعبه مرزی به دست آمده از تشخیص یولو-دندان‌پزشک اندازه‌گیری شد. شکل ۳ گردش کار سیستم را نشان می‌دهد. عملکرد تشخیص یولو-دندان‌پزشک با مقایسه نتایج تشخیص با نتایج یک آشکارساز مقایسه مورد بررسی قرار گرفت. اندازه‌گیری ارتفاع و عرض استخوان با استفاده از روش پیشنهادی با اندازه‌گیری‌های دستی انجام شده توسط دو رادیولوژیست مقایسه شد.

یولو-دندان‌پزشک

مدل شبکه یولو-دندان‌پزشک به طور خاص برای تشخیص استخوان آلوئول و کانال فک پایین با کارآمدتر کردن مدل شبکه یولو ۴ در فرآیندهای آموزش و تشخیص طراحی شده است. شکل ۴، معماری یولو-دندان‌پزشک را نشان می‌دهد. یولو-دندان‌پزشک از یک شبکه کوچک CSP Darknet53 به عنوان شبکه ستون فقرات استفاده می‌کند. CSP Darknet53-tiny از سه شبکه پیچیدگی، نرمال‌سازی دسته‌ای، لایه‌های عملکرد فعال‌سازی LeakyReLU (CBL) و سه ماژول CSP تشکیل شده است. شبکه CSP Darknet53-tiny از ماژول CSP به جای ماژول CSPResNet استفاده شده در CSP Darknet53 استفاده می‌کند. ماژول CSP می‌تواند توانایی یادگیری شبکه کانولوشن را در مقایسه با ماژول ResNet بهبود بخشد (Xu et al., 2021). استراتژی شبکه CSP پیچیدگی محاسباتی را با تقسیم نقشه ویرگی از لایه پایه به دو قسمت و سپس ترکیب آن‌ها از طریق یک سلسله‌مراتب مرحله‌ای

کاهش می‌دهد. علاوه بر این، CSPDarknet53-tiny از تابع فعال‌سازی LeakyReLU در ماژول CSP برای ساده‌سازی فرآیند محاسباتی استفاده می‌کند (Xu et al., 2021). لایه maxpool بعد از ماژول CSP اضافه می‌شود تا وضوح نقشه و ویژگی حفظ شود. ساده‌سازی این شبکه ستون فقرات می‌تواند منجر به سریع‌تر شدن روند آموزش شود. در بخش فیوژن ویژگی شبکه گردن، رویکرد یولو-دندان پزشکی از یک شبکه هرمی ویژگی (FPN) برای استخراج نقشه‌های ویژگی با مقیاس‌های مختلف استفاده می‌کند. FPN شبکه‌های پیچیدگی مسیر از بالا به پایین و اتصالات جانبی را برای ایجاد نقشه‌های ویژگی معنایی سطح بالا در همه مقیاس‌ها ترکیب می‌کند (Li et al., 2019). یک FPN می‌تواند سرعت تشخیص اشیا را با دقت تشخیص بالا افزایش دهد. یولو-دندان پزشکی از نقشه‌های ویژگی دو مقیاسی بر روی سر برای پیش‌بینی نتایج تشخیص استفاده می‌کند و در تشخیص دو جسم کارآمدتر می‌شود.

برای تشخیص بهتر استخوان آلوئول و MC، از نقشه‌های ویژگی دو مقیاس پایین و بالا استفاده کردیم. از آنجایی که اشیاء استخوان آلوئول به دلیل اندازه نسبتاً بزرگ آن‌ها در تصاویر مقطع‌نگاری رایانه‌ای با اشعه مخروطی به راحتی قابل شناسایی هستند، اولین شاخه از خروجی یولو-دندان پزشکی از نقشه ویژگی با مقیاس پایین 13×13 استفاده کرد. کانال فک پایین جسمی است که تشخیص آن در تصاویر مقطع‌نگاری رایانه‌ای با اشعه مخروطی دشوار است زیرا کوچک است و گاهی اوقات نامرئی است؛ بنابراین، در این مطالعه، از ویژگی نقشه با مقیاس بالا 52×52 برای به دست آوردن تشخیص بهتر کانال فک پایین استفاده شد.

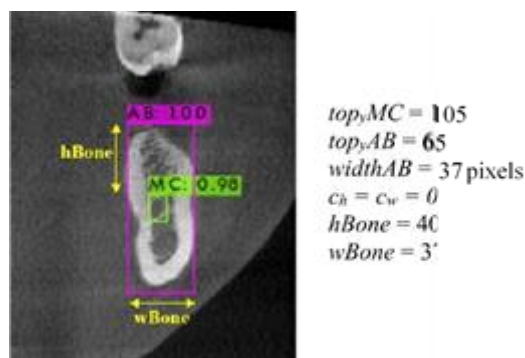
فرآیند تشخیص یولو-دندان پزشکی با تقسیم یک تصویر ورودی 416×416 پیکسل به اندازه شبکه‌ای 13×13 شروع می‌شود. در هر شبکه، سه جعبه محدودکننده برای شناسایی اشیاء ایجاد شد. در هر جعبه مرزی، یک مقدار اطمینان تشخیص برای نشان دادن دقت نتایج تشخیص برای هر شیء در شبکه ایجاد شد. اگر هیچ جسمی در شبکه وجود نداشته باشد، مقدار اطمینان تشخیص صفر است. در غیر این صورت، مقدار اطمینان تشخیص برابر است با تقاطع بیش از اتحادیه (IOU) بین حقیقت زمین و جعبه مرزی. آستانه نمره اطمینان برای تعیین اینکه کدام جعبه محدود باید حفظ شود استفاده شد (Redmon & Farhadi, 2018). جعبه مرزی با بالاترین مقدار اطمینان تشخیص به عنوان خروجی فرآیند تشخیص انتخاب می‌شود.

خروجی‌های فرآیند تشخیص مختصات بالا، سمت چپ (x,y) جعبه مرزی و طول و عرض جسم در تصویر قابل تشخیص است. مقادیر خروجی برای محاسبه ارتفاع و عرض استخوان موجود در ناحیه ایمپلنت استفاده شد. ارتفاع استخوان (hBone) فاصله بین تاج استخوان و کانال فک پایین است (Jacobs et al., 2018). در این مطالعه، hBone به عنوان تفاوت بین مقدار مختصات y بالای کانال فک پایین (topyMC) و مقدار مختصات y بالای استخوان آلوئول (topyAB) محاسبه شد. برای به دست آوردن hBone مطابق با محاسبات متخصص، مقدار تنظیم ارتفاع استخوان (Ch) بر حسب میلی‌متر اضافه شد. معادله hBone ارائه شده در این مطالعه مانند (۱) است.

$$hBone = topyMC - topyAB - Ch \quad (1)$$

عرض فرآیند آلوئولی، پهنای استخوان (wBone) را تعیین می‌کند (Juodzbalys & Daugela, 2013). در این مطالعه، همان طور که در (۲) نشان داده شده است، wBone از عرض جعبه مرزی استخوان آلوئول (widthAB) محاسبه شد. برای به دست آوردن wBone مطابق با محاسبات متخصص، مقدار تنظیمی برای عرض استخوان (cw) بر حسب میلی‌متر اضافه شد.

$$wBone = widthAB + cw \quad (2)$$



تصویر ۵. نمونه‌ای از اندازه‌گیری hBone و wBone استخوان موجود را با استفاده از نتیجه تشخیص یولو-دندان‌پزشک نشان می‌دهد. hBone با استفاده از (۱) با $Ch = 0$ محاسبه می‌شود، به طوری که hBone از تفاوت بین topyMC و topyAB که ۴۰ پیکسل است به دست می‌آید. wBone با استفاده از (۲) با $cw = 0$ محاسبه می‌شود، بنابراین wBone برابر با widthAB است که ۳۷ پیکسل است. وضوح تصویر $0.3 \times 0.3 \times 0.3$ میلی‌متر است، به این معنی است که ۱ پیکسل در فایل تصویر برابر با ۰.۳ میلی‌متر است.

یافته‌های تجربی

فرآیند آموزش برای توسعه یک مدل تشخیص با استفاده از یولو-دندان‌پزشک انجام شد. در این فرآیند از ۷۴۴ تصویر دوبعدی حاشیه تاج در مقیاس خاکستری استفاده شد. فرآیند آموزش تا حداکثر دسته ۴۰۰۰ انجام شد. اندازه دسته، سرعت یادگیری، تکانه و واپاشی مورد استفاده در آزمایش به ترتیب ۶۴، ۰.۰۰۱، ۰.۹ و ۰.۰۰۰۵ بود. پس از توسعه مدل تشخیص، ۳۲۰ تصویر برای آزمایش استفاده شد. خروجی فرآیند تشخیص برای فرآیند اندازه‌گیری استخوان استفاده می‌شود. در این مطالعه، چهار ناحیه ایمپلنت با مورفول استخوان آلئول متفاوت برای اندازه‌گیری استخوان انتخاب شدند. در هر ناحیه ایمپلنت، یازده تصویر که ارتفاع و عرض استخوان موجود را اندازه‌گیری می‌کردند، انتخاب شدند. انتخاب تصویر بر اساس ناحیه محل ایمپلنت در رابطه با دندان‌های همسایه و عرض مزیا-دیستال استخوان آلئول برای مکان ایده آل ایمپلنت دندان که ۳ میلی‌متر است، انجام شد. از آنجایی که فاصله پیکسل‌ها ۰.۳ میلی‌متر است، پنج تصویر در جهت مزیا و پنج تصویر در جهت دیستال از تصویر مرکزی ناحیه محل ایمپلنت گرفته شد، به طوری که برای هر ناحیه ایمپلنت یازده تصویر انتخاب شد. دو رادیولوژیست دندان‌پزشکی از بیمارستان دندان‌پزشکی دانشگاه ایرلانگا، اندازه‌گیری استخوان را به صورت دستی انجام دادند. اولین رادیولوژیست، ۱۴ سال سابقه داشت، در حالی که متخصص دوم، دو سال سابقه کار داشت. این دو متخصص به صورت جداگانه برای اندازه‌گیری استخوان با استفاده از نمایشگر مقطع‌نگاری رایانه‌ای با اشعه مخروطی کار می‌کنند. روش پیشنهادی استخوان را با استفاده از معادله ۱ و ۲ اندازه‌گیری می‌کند؛ جایی که قبلاً تصاویر با استفاده از یولو-دندان‌پزشک شناسایی شده بودند. پس از اندازه‌گیری، میانگین اندازه‌گیری ارتفاع و عرض استخوان در هر ناحیه ایمپلنت محاسبه شد. این مقادیر میانگین برای مقایسه آماری نتایج اندازه‌گیری استخوان دو رادیولوژیست و روش پیشنهادی استفاده شد.

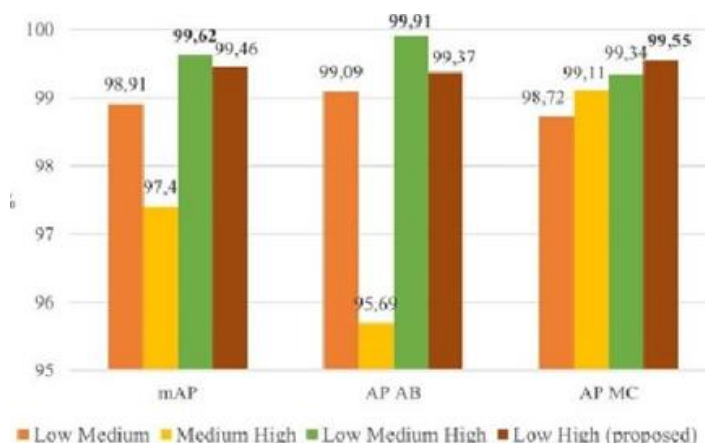
جدول ۲. مقایسه کارایی روش در الگوریتم‌های متفاوت

| روش | AP AB | AP MC | AP | میانگین | BFLOPS |
|-------------|-------|-------|-------|---------|--------|
| یولو ۳ | 99.07 | 99.22 | 99.15 | 83.12 | 65.31 |
| یولو ۳ tiny | 99.04 | 96.12 | 97.58 | 78.50 | 5.45 |
| یولو ۴ | 99.68 | 98.31 | 98.99 | 84.51 | 59.57 |
| DentalYOLO | 99.37 | 99.55 | 99.46 | 81.33 | 6.83 |

کارایی الگوریتم

عملکرد الگوریتم با سه الگوریتم یولو ۴، یولو ۳ و یولو ۳ tiny مقایسه می شود. معیارهای مورد استفاده در این آزمایش عبارتند از میانگین دقت (AP) و میلیارد عملیات ممیز شناور (BFLOPS). دو معیار اول، میانگین و AP، برای اندازه گیری دقت آشکارسازهای شیء استفاده می شوند. هرچه مقادیر AP و میانگین بالاتر باشد، عملکرد تشخیص بهتر است. در مقابل، اخیراً از BFLOPS برای اندازه گیری پیچیدگی زمانی محاسباتی تعداد عملیات مدل استفاده شد. هرچه مقدار BFLOPS کمتر باشد، عملکرد بهتری دارد، به این معنی که الگوریتم به قدرت محاسباتی کمتری برای انجام فرآیند آموزش نیاز دارد.

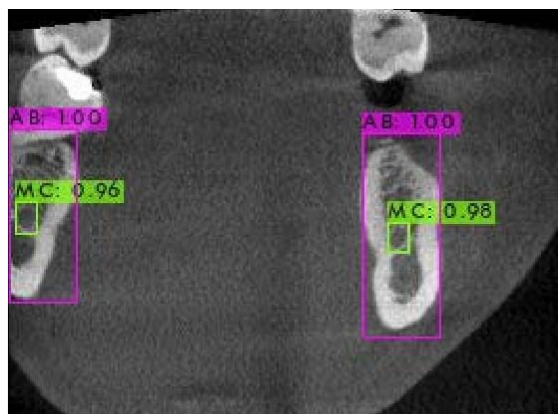
از جدول ۲، می بینیم که از نظر AP، یولو-دندان پزشک از سایر الگوریتم هایی که بالاترین مقدار میانگین دقت متوسط (mAP) ۹۹,۴۶ درصد را دارند، بهتر عمل می کند. توجه داشته باشید که mAP میانگین AP کلاس استخوان آلوئول و AP از کانال فک پایین است. حتی اگر میانگین IOU دندان پزشکی-YOLO ۸۱,۳۳ درصد است، کمی کمتر از یولو ۳ و یولو ۴ با میانگین IOU ۸۳,۱۲ و به ترتیب ۸۴,۵۱ یولو-دندان پزشک هشت برابر سریع تر از یولو ۴ است. از نظر قدرت محاسباتی، عملکرد یولو-دندان پزشک با کارآمدترین الگوریتم، یولو ۳ tiny-قابل مقایسه است. توجه داشته باشید که یولو-دندان پزشک به طور قابل توجهی از یولو ۳ tiny-هم در mAP و هم در میانگین IOU بهتر عمل کرد. ثابت شده است که یولو-دندان پزشک، الگوریتمی با قدرت محاسباتی کارآمد است بدون اینکه دقت تشخیص را به خطر بیندازد. کارایی یولو-دندان پزشک از طریق ساده سازی معماری کار قبلی، مانند یولو ۴، به دست می آید؛ جایی که می تواند به طور قابل توجهی BFLOPS مورد نیاز را از ۵۹,۵۷ به ۶,۸۳ کاهش دهد و روند آموزش را سریع تر کند. ساده سازی معماری یولو-دندان پزشک و یولو ۳ tiny-از دو نقشه ویزگی در شاخه خروجی استفاده می کند؛ بنابراین، BFLOPS یولو-دندان پزشک و یولو ۳ tiny از دو الگوریتم دیگر یولو ۳ و یولو ۴ کوچک تر هستند. توجه داشته باشید که اندازه شبکه ستون فقرات در یولو-دندان پزشک کمی پیچیده تر از یولو ۳ tiny-است، در نتیجه BFLOPS یولو-دندان پزشک کمی بزرگ تر از یولو ۳ tiny-است. نتیجه تشخیص کلی رویکرد پیشنهادی، یولو-دندان پزشک، بهتر از روش یولو ۳ tiny-است.



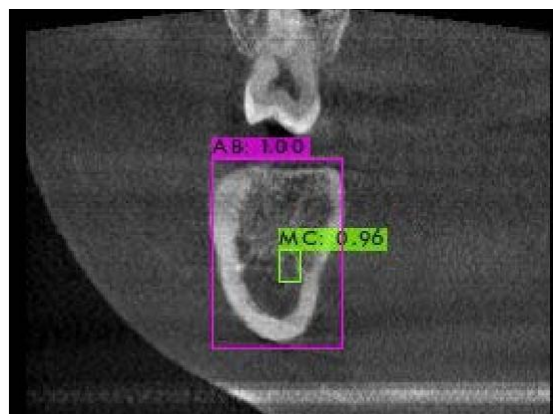
تصویر ۶. عملکرد تشخیص با تغییرات مقیاس نقشه ویزگی روی یولو-دندان پزشک.

مقایسه عملکرد تشخیص با تغییر ترکیب مقیاس های نقشه ویزگی روی یولو-دندان پزشک انجام شد. تغییرات مقیاس انجام شده در مقیاس پایین و متوسط، مقیاس متوسط و بالا و همچنین ترکیبی از مقیاس های پایین، متوسط و بالا هستند. نتایج حاصل از تشخیص تغییرات در مقیاس های کم و زیاد مورد استفاده در این مطالعه مقایسه شد. شکل ۶

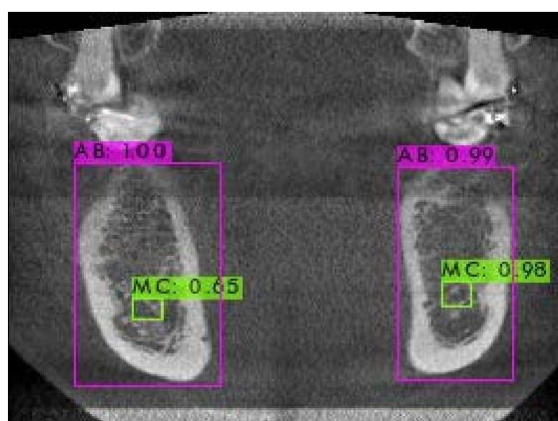
نتایج عملکرد تشخیص را نشان می‌دهد که با استفاده از تغییرات مقیاس نقشه ویزگی در یولو-دندان‌پزشک به دست آمده است. مقیاس‌های پایین و بالای مورد استفاده در معماری پیشنهادی یولو-دندان‌پزشک بهترین نتایج را در تشخیص MC، با AP کانال فک پایین ۹۹,۵۵٪ به دست آوردند؛ در حالی که استفاده از مقیاس‌های پایین و متوسط منجر به کمترین تشخیص کانال فک پایین در مقایسه با سایر تغییرات مقیاس شد. این نتایج نشان می‌دهد که نقشه‌های ویزگی با مقیاس بالا برای تشخیص کانال فک پایین مناسب‌تر هستند. استفاده از مقیاس‌های کم و زیاد در معماری پیشنهادی یولو-دندان‌پزشک باعث شد مقادیر mAP و AP استخوان آلوئول کمی کمتر از استفاده از همه مقیاس‌ها (کم، متوسط و زیاد) باشد؛ اما استفاده از دو ترازو در یولو-دندان‌پزشک کارآمدتر از سه ترازو است. برای نتایج تشخیص AB، استفاده از مقیاس‌های متوسط و بالا، کمترین مقادیر mAP و AP را در مقایسه با سایر ترکیب‌هایی که از مقیاس‌های پایین استفاده می‌کنند، تولید می‌کنند. این نشان می‌دهد که ترکیب مقیاس متوسط و بالا برای تشخیص استخوان آلوئول مناسب نیست؛ پس استخوان آلوئول را می‌توان با مقیاس پایین به‌خوبی تشخیص داد. شکل ۷ نمونه‌هایی از نتایج تشخیص استخوان آلوئول و کانال فک پایین را با استفاده از یولو-دندان‌پزشک با تغییرات در شکل و تعداد استخوان آلوئول و کانال فک پایین نشان می‌دهد. این تصویر نتایج تشخیص را به شکل یک جعبه مرزی روی استخوان آلوئول و کانال فک پایین نشان می‌دهد که با موفقیت شناسایی شدند و مقدار اطمینان تشخیص در بالای جعبه مرزی نوشته شده است. تمام اشیاء استخوان آلوئول در نمونه با موفقیت و با اندازه‌گیری اطمینان بالا شناسایی شدند؛ زیرا اندازه استخوان آلوئول بسیار بزرگ و قابل مشاهده بود. برای تشخیص MC، مقدار اطمینان نتایج تشخیص به‌وضوح تصویر کانال فک پایین بستگی دارد. اگر واضح است، مقدار اطمینان بالا است (بالا تر از ۰,۹)؛ همان طور که در شکل ۷ (a)، (b)، (c) در سمت راست و (d) در سمت چپ نشان داده شده است، کانال فک پایین یک کره کوچک است. در AB کانال فک پایین در شکل ۷ (c) سمت چپ کمتر واضح است؛ بنابراین، مقدار اطمینان تنها ۰,۶۵ است. در همین حال، در شکل ۷ (d)، یک مورد مثبت کاذب در تشخیص کانال فک پایین در استخوان راست به عنوان دو شیء کانال فک پایین مجاور وجود دارد. این به این دلیل است که شکل کانال فک پایین از دیواره‌های استخوان آلوئول و داخل استخوان آلوئول کشیده شده است. این مطالعه، استخوان آلوئول را با استفاده از یولو ۳-tiny- شناسایی کرد که نتیجه آن ۹۸,۶۰٪ بود (Widiasri et al., 2022). تفاوت بین یولو ۳-tiny- و یولو-دندان‌پزشک در ساختار ستون فقرات نهفته است. یولو ۳ از Darknet53 استفاده می‌کند؛ در حالی که یولو-دندان‌پزشک از CSPDarknet استفاده می‌کند. استفاده از ماژول‌های CSP می‌تواند توانایی یادگیری شبکه‌های کانولوشن را بهبود بخشد و دقت آن‌ها را افزایش دهد.



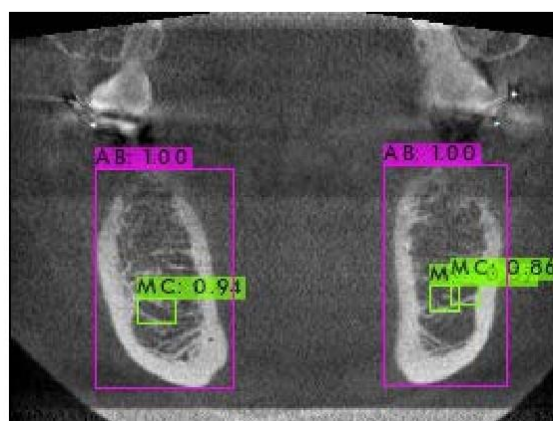
(a)



(b)



(c)



(d)

تصویر ۷. نمونه‌هایی از نتایج تشخیص با استفاده از یولو-دندان پزشک. (الف) و (ب) ارزش اطمینان بالا در تشخیص استخوان آلوئول و MC. (ج) ارزش اطمینان پایین برای تشخیص کانال فک پایین سمت چپ. (د) مثبت کاذب در تشخیص کانال فک پایین سمت راست.

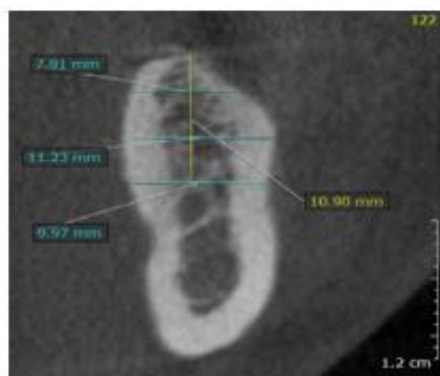
تشخیص استخوان

اندازه‌گیری‌های hBone و wBone رویکرد پیشنهادی (P) با استفاده از معادلات (I) و (۲) محاسبه شد و با اندازه‌گیری‌های انجام‌شده در متخصص اول (El) و متخصص دوم (E2) مقایسه شد. جدول ۳ میانگین ارتفاع (Mh) و میانگین عرض (Mv) و همچنین تفاوت میانگین ارتفاع (MDh) و اختلاف میانگین عرض (MDw) در چهار ناحیه ایمپلنت استخوان را نشان می‌دهد. میانگین تفاوت (MD) از تفاوت در میانگین اندازه‌گیری بین خبرگان (MDhE و MDwE) و تفاوت در میانگین اندازه‌گیری بین متخصص و رویکرد پیشنهادی (MDhE2P، MDhEIP، MDwE2P و MDwEIP) محاسبه شد. ستون MD برای هر اندازه‌گیری ارتفاع و عرض نیز کوچک‌ترین مقدار (min)، بزرگ‌ترین مقدار (حداکثر) و محدوده بین کوچک‌ترین و بزرگ‌ترین مقادیر MD (محدوده) را نشان می‌دهد. در این مطالعه، مقدار Ch برای اندازه‌گیری hBone -I و cw برای اندازه‌گیری wBone -0.3 بود. جدول ۳ نشان می‌دهد که MD در بین متخصصان برای اندازه‌گیری ارتفاع استخوان (MDhE) و عرض (MDwE) کوچک بود. محدوده MD نشان می‌دهد که اندازه‌گیری ارتفاع استخوان MD کوچک‌تری نسبت به عرض استخوان دارد.

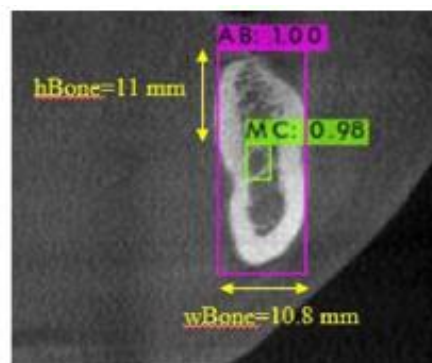
جدول ۳. میانگین و اختلاف میانگین (MD) در اندازه‌گیری ارتفاع و عرض استخوان

| Mean bone height (mm) | | | | Mean bone width (mm) | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|-------|-------|----------------------|--------|--------|-------|-------|-------|------|--------|--------|
| Implant area | MhE1 | MhE2 | MhP | MDhE | MDhEIP | MDhE2P | MwE1 | MwE2 | MwP | MDwE | MDwEIP | MDwE2P |
| 2 | 10.99 | 10.98 | 10.89 | 0.01 | 0.10 | 0.09 | 11.36 | 11.13 | 11.26 | 0.23 | 0.10 | 0.13 |
| 3 | 11.66 | 11.51 | 12.64 | 0.15 | 0.98 | 1.13 | 18.81 | 18.64 | 18.33 | 0.17 | 0.48 | 0.31 |
| 4 | 17.02 | 16.83 | 17.05 | 0.19 | 0.03 | 0.22 | 15.43 | 14.71 | 17.75 | 0.15 | 2.89 | 3.04 |
| | 16.38 | 16.28 | 16.54 | 0.10 | 0.16 | 0.26 | | 15.37 | 19.88 | 0.06 | 4.45 | 4.51 |
| | | | | 0.01 | 0.03 | 0.09 | | | | 0.06 | 0.10 | 0.13 |
| range | | | | 0.19 | 0.98 | 1.13 | | | | 0.23 | 4.45 | 4.51 |
| | | | | 0.18 | 0.95 | 1.04 | | | | 0.17 | 4.35 | 4.38 |

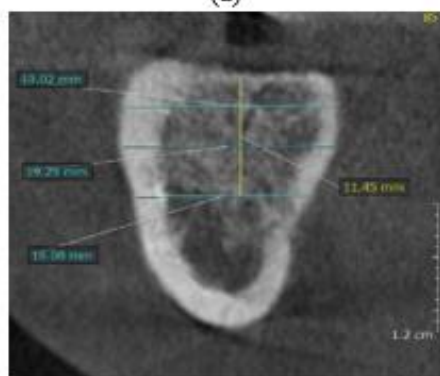
اندازه‌گیری‌های استخوان توسط آنالیز واریانس دوطرفه با استفاده از Minitab 19 مورد ارزیابی قرار گرفت. آنالیز واریانس دوطرفه برای آزمایش اینکه آیا تفاوتی در اندازه‌گیری بین روش پیشنهادی و متخصصان وجود دارد یا خیر، انجام شد. دو متغیر مستقل برای اهمیت آن‌ها در اندازه‌گیری میانگین ارتفاع و عرض استخوان مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. اولین متغیر، سیستم است که شیئی است که اندازه‌گیری‌ها را انجام می‌دهد و از رویکرد پیشنهادی، متخصص اول و متخصص دوم تشکیل شده است. متغیر دوم، ناحیه ایمپلنت است که شامل چهار ناحیه ایمپلنت است که در آن اندازه‌گیری‌ها انجام می‌شود؛ یعنی نواحی ایمپلنت I، ۲، ۳ و ۴. شکل ۸ استخوان‌هایی را با تغییرات مورفولوژی استخوان آلئوئول مختلف از هر ناحیه ایمپلنت نشان می‌دهد. جداول ۴ و ۵ نتایج آزمون ANOVA دوطرفه برای اندازه‌گیری ارتفاع و عرض استخوان را به ترتیب از Minitab 19 نشان می‌دهد. سطح معنی‌داری (a) مورد استفاده در آزمون آنالیز واریانس دوطرفه ۰/۰۵ بود. برای متغیر سیستم، مقدار p به دست آمده از اندازه‌گیری ارتفاع استخوان ۰/۲۴۹ و عرض استخوان ۰/۱۸۴ بود که هر دو بیشتر از ۰/۰۵ بودند. این به این معنی است که متغیر سیستم تأثیر معنی‌داری بر اندازه‌گیری ارتفاع و عرض استخوان نداشت. می‌توان نتیجه گرفت که تفاوتی در اندازه‌گیری ارتفاع و عرض استخوان تولیدشده توسط روش پیشنهادی و متخصصان وجود ندارد. در مورد متغیر ناحیه ایمپلنت، p-value اندازه‌گیری ارتفاع استخوان ۰/۰۰۰ و اندازه‌گیری عرض استخوان ۰/۰۰۳ بود که هر دو کوچک‌تر از ۰/۰۵ بودند. این بدان معنی است که متغیر ناحیه ایمپلنت به طور قابل توجهی بر اندازه‌گیری ارتفاع و عرض استخوان تأثیر می‌گذارد. تجزیه و تحلیل پس از آنالیز واریانس دوطرفه برای متغیرهای با p-value S 0.05 انجام شد. از آزمون توکی برای تعیین گروه متغیر ناحیه ایمپلنت بر اساس میانگین ارتفاع و عرض استخوان استفاده شد. جداول ۶ و ۷ اطلاعات گروه‌بندی را با استفاده از تجزیه و تحلیل برای اندازه‌گیری ارتفاع و عرض استخوان از ۱۹ قسمت نشان می‌دهد. از اطلاعات مربوط به گروه ناحیه ایمپلنت برای اندازه‌گیری ارتفاع استخوان، نواحی ایمپلنت ۳ و ۴ در یک گروه قرار داشتند، در حالی که نواحی ۲ و I که در یک گروه قرار داشتند در گروه‌های جداگانه قرار گرفتند. در همین حال، اطلاعات گروه برای اندازه‌گیری پهنای استخوان نشان داد که قسمت‌های ۲، ۴ و ۳ ایمپلنت در یک گروه و ناحیه ۱ در یک گروه دیگر قرار داشتند. نتایج آزمون آنووا^۱ دوطرفه نشان داد که تفاوتی در اندازه‌گیری ارتفاع و عرض استخوان تولیدشده توسط روش پیشنهادی و متخصصان وجود ندارد. این نشان می‌دهد که روش پیشنهادی می‌تواند برای اندازه‌گیری استخوان موجود در ناحیه ایمپلنت استفاده شود. این بدان معنی است که ویژگی جعبه مرزی تشخیص استخوان آلئوئول و کانال فک پایین از یولو-دندان‌پزشک می‌تواند برای اندازه‌گیری استخوان در برنامه‌ریزی ایمپلنت دندان استفاده شود.



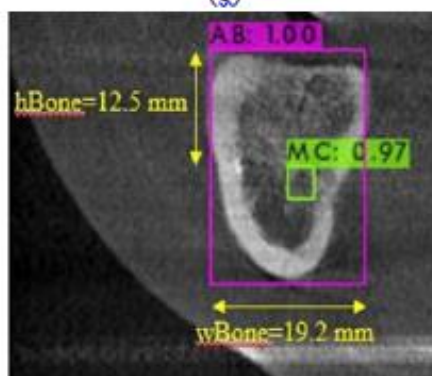
(a)



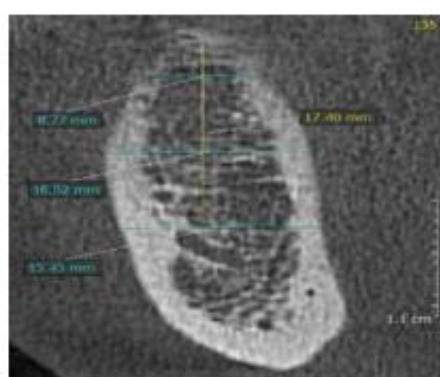
(b)



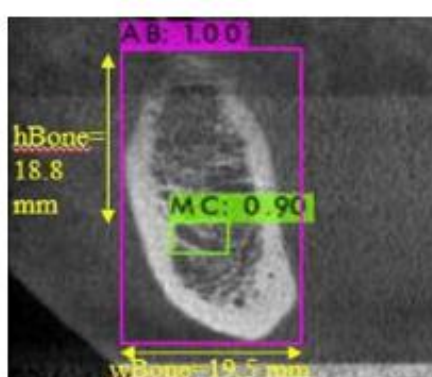
(c)



(d)



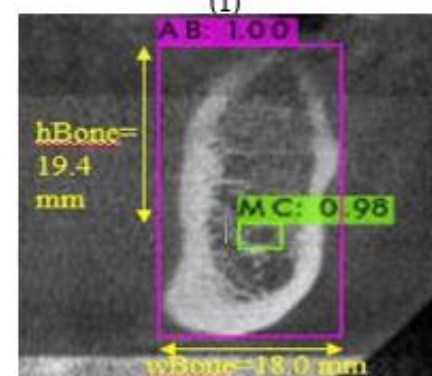
(e)



(f)



(g)



(h)

تصویر ۸ اندازه‌گیری قد و عرض استخوان توسط متخصص و رویکرد پیشنهادی. (a) و (b) ناحیه ایمپلنت I- منطقه ۳۶، (c) و (d) ناحیه ایمپلنت ۲- منطقه ۴۷، (e) و (f) ناحیه ایمپلنت ۳- منطقه ۴۶، (g) و (h).

ناحیه ایمپلنت بر اندازه‌گیری ارتفاع و عرض استخوان تأثیر می‌گذارد. این به دلیل مورفولوژی‌های مختلف استخوان آلوئول در ناحیه ایمپلنت اندازه‌گیری شده است. شکل ۸ نتایج اندازه‌گیری استخوان را برای چهار ناحیه ایمپلنت با مورفولوژی استخوان آلوئول متفاوت از متخصص و رویکرد پیشنهادی نشان می‌دهد. استخوان آلوئول در نواحی ایمپلنت ۳ و ۴ مورفولوژی استخوان مشابهی با استخوان در نواحی I و ۲ داشت. نواحی ایمپلنت ۳ و ۴ بر اساس نتایج گروه‌بندی ارتفاع و عرض استخوان در یک گروه قرار گرفتند. ناحیه ایمپلنت I دارای استخوان آلوئول است که از نظر عرض باریک‌تر از سایر نواحی ایمپلنت است؛ بنابراین در اندازه‌گیری پهنای استخوان در گروه جداگانه‌ای قرار می‌گیرد. اندازه‌گیری استخوان نشان‌داده‌شده در جدول ۳ نشان می‌دهد که ارتفاع استخوان MD در ناحیه ایمپلنت ۱ کوچک‌ترین بوده است. تاج استخوان ناحیه ایمپلنت I کاهش نیافته بود و موقعیت استخوان عمودی بود به طوری که تاج استخوان در بالای جعبه پیوندی محدود شده بود. شکل ۸ (a) اندازه‌گیری hBone متخصص اول را در ناحیه I ۱۰,۹۰ میلی‌متر نشان می‌دهد. شکل ۸ hBone (b) رویکرد پیشنهادی IImm را نشان می‌دهد. اختلاف اندازه‌گیری ۰,۱ میلی‌متر بود. در مقابل، ارتفاع استخوان MD در ناحیه ایمپلنت ۲ بالاترین میزان بود. شکل ۸ (c) و (d) تصاویر مقطع‌نگاری رایانه‌ای با اشعه مخروطی دوبعدی را در ناحیه ایمپلنت ۲ نشان می‌دهد. در این تصاویر، تاج استخوان به دلیل از دست دادن استخوان کاهش یافته است. بالای ناحیه استخوان زیر بالای جعبه مرزی استخوان آلوئول قرار داشت. شکل ۸ (c) اندازه‌گیری hBone متخصص اول را در ناحیه ۲ از ۱,۴۵ میلی‌متر نشان می‌دهد و (d) رویکرد پیشنهادی ۱۲,۵ میلی‌متر را نشان می‌دهد. اختلاف اندازه‌گیری ۱,۰۵ میلی‌متر بود. کاهش در اوج استخوان آلوئول بر مقدار اندازه‌گیری hBone تأثیر گذاشت.

سه اندازه‌گیری توسط هر متخصص برای تعیین عرض استخوان در دسترس انجام شد. کارشناسان از بین سه اندازه‌گیری پهنای استخوان، بزرگ‌ترین را به عنوان wBone انتخاب کردند. شکل ۸ (a) مقدار wBone به دست آمده توسط متخصص اول را ۱۱,۲۳ میلی‌متر نشان می‌دهد. اندازه‌گیری wBone پیشنهادی در این مطالعه، عرض استخوان آلوئول را از عرض جعبه مرزی استخوان آلوئول اندازه‌گیری می‌کند. شکل ۸ (b) مقدار vvBone ۱۰,۸ میلی‌متر را نشان می‌دهد. جدول ۳ نشان می‌دهد که در اندازه‌گیری عرض استخوان، MD در عرض برای ایمپلنت‌های ۱ و ۲ کمتر از ۱ میلی‌متر است؛ در حالی که مساحت ایمپلنت‌های ۳ و ۴ بیش از ۳ میلی‌متر است. شکل ۸ (الف) تا (د) تصاویر مقطع‌نگاری رایانه‌ای با اشعه مخروطی دوبعدی را برای نواحی ایمپلنت I و ۲ نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل نشان داده شده است، استخوان‌های استخوان آلوئول در وضعیت عمودی قرار دارند به طوری که پهنای استخوان موجود اندازه‌گیری شده با عرض مرز استخوان آلوئول مطابقت دارد. جعبه اندازه‌گیری‌های عرض، مشابه اندازه‌گیری‌های متخصص بود. شکل ۸ (e) تا (h) تصاویری از نواحی ایمپلنت ۳ و ۴ را نشان می‌دهد. در تصاویر مشاهده می‌شود که شکل استخوان آلوئول عمود نیست؛ بنابراین، عرض جعبه مرزی استخوان آلوئول بزرگ‌تر از عرض استخوان واقعی است. این باعث می‌شود اندازه‌گیری عرض استخوان رویکرد پیشنهادی، بزرگ‌تر از اندازه‌گیری متخصص باشد.

تحقیقات بیشتری برای اندازه‌گیری قد و عرض استخوان آلوئول به منظور کاهش MD در ارتفاع و عرض استخوان مورد نیاز است. تشخیص تاج استخوان آلوئول می‌تواند برای به دست آوردن hBone دقیق‌تر، به‌ویژه در استخوان‌هایی با تاج استخوان آلوئول کاهش یافته اعمال شود. فرآیند تقسیم‌بندی استخوان آلوئول می‌تواند برای تعیین اندازه دقیق‌تر wBone با اندازه‌گیری wBone از لبه استخوان آلوئول اعمال شود.

بحث و نتیجه گیری

یولو-دندان پزشک نسخه فشرده شده یولو ۴ است که با استفاده از ویژگی های مقیاس پایین و بالا، استخوان آلوتول و کانال فک پایین را به طور هم زمان با موفقیت شناسایی می کند. یولو-دندان پزشک دارای دقت تشخیص متوسط ۹۹,۴۶٪ است. تشخیص یولو-دندان پزشک هشت برابر سریع تر از روش یولو ۴ بود. BFLOPS یولو-دندان پزشک ۶,۸۳ بود که به طور قابل توجهی کوچک تر از BFLOPS یولو ۴ با ۵۹,۵۷ بود که به همین دلیل روند آموزش بسیار کارآمدتر می شود. این به کارایی توسعه سیستم یولو-دندان پزشک در برنامه ریزی درمان ایمپلنت کمک زیادی می کند. تست ANOVA که مقایسه بین نتایج اندازه گیری توسط سیستم و رادیولوژیست ها را تجزیه و تحلیل می کند، نشان می دهد که تشخیص خودکار استخوان آلوتول و کانال فک پایین می تواند برای اندازه گیری مناسب استخوان موجود در ناحیه ایمپلنت استفاده شود. تفاوت معنی داری بین اندازه گیری های رادیولوژیست و روش پیشنهادی وجود نداشت؛ بنابراین می توان از اندازه گیری های خودکار برای ساده سازی برنامه ریزی ایمپلنت دندان استفاده کرد. با این حال، تحقیقات بیشتری برای بهبود دقت اندازه گیری استخوان از طریق تشخیص تاج استخوان آلوتول و تقسیم بندی استخوان آلوتول در تصاویر مقطع نگاری رایانه ای با اشعه مخروطی دندان مورد نیاز است.

- Albahli, S., Nida, N., Irtaza, A., Yousaf, M. H., & Mahmood, M. T. (2020). Melanoma lesion detection and segmentation using YOLOv4-DarkNet and active contour. *IEEE Access*, 8, 198403-198414.
- Aly, G. H., Marey, M., El-Sayed, S. A., & Tolba, M. F. (2021). YOLO based breast masses detection and classification in full-field digital mammograms. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 200, 105823.
- Bae, M., Park, J.-W., & Kim, N. (2021). Fully automated estimation of arch forms in cone-beam CT with cubic B-spline approximation: Evaluation of digital dental models with missing teeth. *Computers in Biology and Medicine*, 131, 104256.
- Bayraktar, Y., & Ayan, E. (2022). Diagnosis of interproximal caries lesions with deep convolutional neural network in digital bitewing radiographs. *Clinical oral investigations*, 26(1), 623-632.
- Bochkovski, A., Wang, C.-Y., & Liao, H.-Y. M. (2020). YOLOv4: Optimal speed and accuracy of object detection. *arXiv preprint arXiv:2004.10934*.
- Chang, H., Lee, S., Yong, T., Shin, N., Jang, B., & Kim, J. (2020). Deep Learning Hybrid Method to Automatically Diagnose Periodontal Bone Loss and Stage Periodontitis. *Sci Rep*, 10, 7531.
- Cui, Z., Fang, Y., Mei, L., Zhang, B., Yu, B., Liu, J., Jiang, C., Sun, Y., Ma, L., & Huang, J. (2022). A fully automatic AI system for tooth and alveolar bone segmentation from cone-beam CT images. *Nature communications*, 13(1), 2096.
- Hu, X., Liu, Y., Zhao, Z., Liu, J., Yang, X., Sun, C., Chen, S., Li, B., & Zhou, C. (2021). Real-time detection of uneaten feed pellets in underwater images for aquaculture using an improved YOLO-V4 network. *Computers and Electronics in Agriculture*, 185, 106135.
- Indraswari, R., Kurita, T., Arifin, A. Z., Suciati, N., & Astuti, E. R. (2019). Multi-projection deep learning network for segmentation of 3D medical images. *Pattern Recognition Letters*, 125, 791-797.
- Jacobs, R., Salmon, B., Codari, M., Hassan, B., & Bornstein, M. M. (2018). Cone beam computed tomography in implant dentistry: recommendations for clinical use. *BMC Oral Health*, 18(1), 1-16.
- Jaskari, J., Sahlsten, J., Järnstedt, J., Mehtonen, H., Karhu, K., Sundqvist, O., Hietanen, A., Varjonen, V., Mattila, V., & Kaski, K. (2020). Deep learning method for mandibular canal segmentation in dental cone beam computed tomography volumes. *Sci Rep* 10: 5842. In.
- Juodzbals, G., & Daugela, P. (2013). Mandibular third molar impaction: review of literature and a proposal of a classification. *Journal of oral & maxillofacial research*, 4(2).
- Kwak, G. H., Kwak, E.-J., Song, J. M., Park, H. R., Jung, Y.-H., Cho, B.-H., Hui, P., & Hwang, J. J. (2020). Automatic mandibular canal detection using a deep convolutional neural network. *Scientific Reports*, 10(1), 5711.
- Lahoud, P., Diels, S., Niclaes, L., Van Aelst, S., Willems, H., Van Gerven, A., Quirynen, M., & Jacobs, R. (2022). Development and validation of a novel artificial intelligence driven tool for accurate mandibular canal segmentation on CBCT. *Journal of dentistry*, 116, 103891.
- Lee, S., Woo, S., Yu, J., Seo, J., Lee, J., & Lee, C. (2020). Automated CNN-based tooth segmentation in cone-beam CT for dental implant planning. *IEEE Access*, 8, 50507-50518.
- Li, X., Lai, T., Wang, S., Chen, Q., Yang, C., Chen, R., Lin, J., & Zheng, F. (2019). Weighted feature pyramid networks for object detection. 2019 IEEE Intl Conf on Parallel & Distributed Processing with Applications, Big Data & Cloud Computing, Sustainable Computing & Communications, Social Computing & Networking (ISPA/BDCLOUD/SocialCom/SustainCom),
- Lim, H.-K., Jung, S.-K., Kim, S.-H., Cho, Y., & Song, I.-S. (2021). Deep semi-supervised learning for automatic segmentation of inferior alveolar nerve using a convolutional neural network. *BMC Oral Health*, 21, 1-9.
- Mahmud, T., Rahman, M. A., & Fattah, S. A. (2020). CovXNet: A multi-dilation convolutional neural network for automatic COVID-19 and other pneumonia detection from chest X-ray images with transferable multi-receptive feature optimization. *Computers in Biology and Medicine*, 122, 103869.

- Miki, Y., Muramatsu, C., Hayashi, T., Zhou, X., Hara, T., Katsumata, A., & Fujita, H. (2017). Classification of teeth in cone-beam CT using deep convolutional neural network. *Computers in Biology and Medicine*, 80, 24-29.
- Premalatha, H. M., & Srikrishna, C. V. (2019). Effort estimation in agile software development using evolutionary costsensitive deep belief network. *Int. J. Intell. Eng. Syst*, 12(2), 261-269.
- Putra, R. H., Doi, C., Yoda, N., Astuti, E. R., & Sasaki, K. (2022). Current applications and development of artificial intelligence for digital dental radiography. *Dentomaxillofacial Radiology*, 51(1), 20210197.
- Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., & Farhadi, A. (2016, 27-30 June 2016). You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection. 2016 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR),
- Redmon, J., & Farhadi, A. (2017). YOLO9000: better, faster, stronger [C]//Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. YOLO9000: better, faster, stronger [C]//Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition.,
- Redmon, J., & Farhadi, A. (2018). Yolov3: An incremental improvement. *arXiv preprint arXiv:1804.02767*.
- Sun, M.-L., Liu, Y., Liu, G., Cui, D., Heidari, A. A., Jia, W.-Y., Ji, X., Chen, H., & Luo, Y. (2020). Application of machine learning to stomatology: a comprehensive review. *IEEE Access*, 8, 184360-184374.
- Widiasri, M., Arifin, A. Z., Suciati, N., Fatichah, C., Astuti, E. R., Indraswari, R., Putra, R. H., & Za'in, C. (2022). Dental-YOLO: Alveolar Bone and Mandibular Canal Detection on Cone Beam Computed Tomography Images for Dental Implant Planning. *IEEE Access*, 10, 101483-101494.
- Worthington, P., Rubenstein, J., & Hatcher, D. C. (2010). The role of cone-beam computed tomography in the planning and placement of implants. *The Journal of the American Dental Association*, 141, 19S-24S.
- Xu, P., Li, Q., Zhang, B., Wu, F., Zhao, K., Du, X., Yang, C., & Zhong, R. (2021). On-board real-time ship detection in HISEA-1 SAR images based on CFAR and lightweight deep learning. *Remote Sensing*, 13(10), 1995.
- Zhuang, Z., Liu, G., Ding, W., Raj, A. N. J., Qiu, S., Guo, J., & Yuan, Y. (2020). Cardiac VFM visualization and analysis based on YOLO deep learning model and modified 2D continuity equation. *Computerized Medical Imaging and Graphics*, 82, 101732.

