

ارزیابی دقت دانسیتومتری تصاویر دیجیتال غیر مستقیم با استفاده از نرم افزار Photoshop اصلاح شده

دکتر حوریه باشی زاده فخار⁺ - دکتر سیداحمد فاطمی تبار^{**}

^{*} استادیار گروه آموزشی رادیولوژی فک و صورت دانشکده دندانپزشکی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی تهران
^{**} استادیار گروه آموزشی رادیولوژی فک و صورت دانشکده دندانپزشکی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی شیراز

Title: An evaluation on the accuracy of the indirect digital images densitometry by modified Photoshop software

Authors: Bashizadeh Fakhar H. Assistant Professor^{*}, Fatemi Tabar SA. Assistant Professor^{**}

Address: ^{*}Dept. of Oral and Maxillofacial Radiology, Faculty of Dentistry, Tehran University of Medical Sciences

^{**} Dept. of Oral and Maxillofacial Radiology, Faculty of Dentistry, Shiraz University of Medical Sciences

Statement of Problem: One of the major goals, in most dental researches, is to measure bone destruction or deposition due to the progression or regression of disease. Failure of human eyes to detect minor radiographic density changes resulted in more accurate methods such as optical densitometry and direct or indirect digital densitometry.

Purpose: The aim of this study was to determine the accuracy of a newly proposed method of indirect digital densitometry using modified Photoshop software.

Materials and Methods: Radiographs from 37 samples of urografin solution with three concentrations (12.5%, 25% and 37.5%) were taken on dental radiographic films no.2 and digitized by a scanner. A region with 800×800 pixels was cropped from each image and compressed with the Joint Photographic Experts Group (JPEG) compression algorithm and saved. These new images were then put into registration with new algorithm using MATLAB software version 6.1. This algorithm assigned each image and average pixel value (between 0 and 255). The association between concentration and calculated values for each image was tested with regression analysis and the meaning fullness of differences between calculated values was also analysis by ANOVA test. Tukey HSD and Alpha Krunbach were used whenever needs.

Results: Regression analysis revealed significant correlation between concentration and calculated average pixel value ($r=0.883$). The differences between average of pixels value for different concentration was significant ($P=0.0001$). Pixel values showed a good intra- sample and intra-group repeatability (Alpha Krunbach: $\alpha=99.96\%$, $\alpha=99.68\%$).

Conclusion: This method due to its high accuracy, easy usage and densitometer independency can be considered as a suitable alternative for conventional densitometry methods.

Key words: Optical density; Digitization; Indirect digital radiography; Pixel value; Densitometry

Journal of Dentistry. Tehran University of Medical Sciences (Vol. 17; No1; 2004)

⁺ مؤلف مسؤول: دکتر حوریه باشی زاده فخار: تهران - خیابان انقلاب اسلامی - دانشگاه علوم پزشکی تهران - دانشکده دندانپزشکی - گروه آموزشی رادیولوژی دهان و فک و صورت تلفن: ۶۱۱۲۴۲۷ دورنما: ۶۴۰۱۱۳۲

چکیده

بیان مسأله: در بسیاری از تحقیقات دندانپزشکی، تعیین میزان تخریب یا ساخت استخوان در اثر پیشرفت بیماری یا موفقیت درمان، از اهداف اصلی به شمار می‌رود. از آنجا که چشم انسان قادر به تشخیص تغییرات اندک دانسیته رادیوگرافیک نیست، برای محاسبات کمی، از روشهای دقیقتری چون دانسیتومتری دیجیتال مستقیم و غیرمستقیم یا دانسیتومتری اپتیک استفاده می‌شود.

هدف: مطالعه حاضر با هدف تعیین دقت دانسیتومتری با یک روش جدید دیجیتال یعنی Photoshop اصلاح شده انجام گردید.

روش بررسی: در این مطالعه که از نوع بررسی تست‌ها بود، از ۳۷ نمونه محلول اوروگرافین با سه غلظت ۱۲/۵، ۲۵ و ۳۷/۵٪ با شرایط یکسان روی فیلم‌های شماره ۲ دندان‌ی تصویر رادیوگرافیک، تهیه و توسط اسکنر دیجیتالیز شد. از هر تصویر منطقه‌ای به ابعاد ۸۰۰×۸۰۰ پیکسل جدا و با فرمت JPEG فشرده و ذخیره گردید. میانگین ارزش پیکسلی هر تصویر به صورت عددی بین صفر تا ۲۵۵ با استفاده از الگوریتم نوشته شده در MATLAB 6.1 محاسبه گردید. همبستگی بین غلظت نمونه و مقادیر عددی محاسبه شده برای هر تصویر با آنالیز رگرسیون و معنی‌داری اختلاف اعداد محاسبه شده برای غلظتهای مختلف با استفاده از آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) بررسی شد. برای آزمون اختلاف گروهها به صورت دو به دو از Tukey HSD استفاده گردید؛ همچنین از آزمون آلفا کرونباخ برای بررسی تکرارپذیری روش در اندازه‌گیریهای سه‌گانه استفاده شد.

یافته‌ها: آنالیز رگرسیون همخوانی بین غلظت و میانگین ارزش پیکسلی محاسبه شده را قوی ($r=0/883$) نشان داد؛ اختلاف میانگین ارزش پیکسل‌ها برای غلظتهای مختلف نیز معنی‌دار بود ($P=0/001$)؛ همچنین ضریب تکرارپذیری مناسبی در مورد بررسیهای مکرر یک نمونه ($\alpha=99/96\%$) و نمونه‌های مشابه ($\alpha=99/68\%$) حاصل گردید.

نتیجه‌گیری: دانسیتومتری به روش Photoshop اصلاح شده، به علت دقت بالا، سهولت استفاده و عدم نیاز به دانسیتومتر می‌تواند جایگزین مناسبی برای روش دانسیتومتری معمولی یا اپتیک باشد.

کلید واژه‌ها: دانسیته اپتیک؛ دیجیتالیز کردن؛ رادیوگرافی دیجیتال غیرمستقیم؛ ارزش پیکسل؛ دانسیتومتری

مجله دندانپزشکی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی، درمانی تهران (دوره ۱۷، شماره ۱، سال ۱۳۸۳)

مقدمه

تحقیقات، مشخص کردن درجه سیاهی تصویر رادیوگرافیک با سنجش شدت نور خروجی از هر قسمت از تصویر است که دانسیتومتری اپتیک نامیده می‌شود و برای بررسی تصاویر یکنواخت، دارای دقت و تکرارپذیری نسبتاً خوبی است (۵)؛ ولی استفاده از آن برای تصاویر ساختمانهای آناتومیک غیر یکنواخت نظیر تصویر استخوان از نظر عملی مشکلاتی را در بر دارد.

در سالهای اخیر توجه محققان به روشهای مبتنی بر کاربرد رایانه یا روشهای دانسیتومتری دیجیتال معطوف شده است. این روشها بر پایه تعیین ارزش عددی پیکسل در دامنه خاکستری استوار می‌باشند که به صورت عددی بین صفر و ۲۵۵ بیان می‌شود. به عنوان رایجترین نرم‌افزارهای ویژه

امروزه از روشهای کمی پیشرفته نظیر سی‌تی‌اسکن،^۱ DEXA و پزشکی هسته‌ای به منظور تشخیص زودهنگام تغییرات تراکم استخوان استفاده می‌شود. این روشها با وجود دقت زیاد به دلیل قیمت بالا، کمتر در تحقیقات دندانپزشکی مورد استفاده قرار می‌گیرند.

تعیین دانسیته استخوان در بررسیهای پس از جراحی پریدونتال و ایمپلنت، بررسی سیر بهبود ضایعات و شکستگیهای استخوان، تشخیص زودهنگام بیماریهای استخوان و تعیین دانسیته مواد ترمیمی دندان کاربرد دارد (۴،۳،۲،۱). یکی از روشهای رایج تعیین دانسیته استخوان در

^۱ DE XA: Dual Energy X-ray Absorbtiometry

Hildebolt و همکاران در سال ۱۹۹۸ به این نتیجه رسیدند که می‌توان از یکی از دو روش دستی یا خودکار برای جدا کردن (Cropping) قسمتی از تصویر و محاسبه میانگین عددی ارزش پیکسل‌ها در قطعه جدا شده استفاده کرد؛ ولی چنانچه این کار با محاسبه قبلی و به طور خودکار با جدا کردن قطعات یکسان انجام گیرد، نتیجه بهتری به دست خواهد آمد (۱۵).

مطالعه حاضر با هدف تعیین دقت الگوریتم نوشته شده در MATLAB 6.1 (Matworks Inc. USA) به منظور محاسبه میانگین ارزش عددی پیکسل‌های جدا شده از یک تصویر دیجیتال غیرمستقیم توسط Photoshop.7 (Microsoft; USA) با هدف بررسی این نکته که آیا می‌توان از آن به جای نرم‌افزارهای اختصاصی‌تر نظیر CADIA و Digital Subtraction در دانسیتومتری کمی تصاویر رادیوگرافیک استفاده نمود، انجام شد.

روش بررسی

مطالعه حاضر که از نوع بررسی تست‌ها بود، به صورت In-vitro بر روی نمونه‌های تهیه شده از اوروگرافین و آب مقطر در سال ۱۳۸۲ در دانشکده دندانپزشکی دانشگاه علوم پزشکی تهران انجام شد. اوروگرافین نوعی ماده حاجب یا کنتراست مدیای محلول در آب است که در تصویربرداری از نسوج نرم بخصوص غدد بزاقی کاربرد دارد. سه نوع محلول اوروگرافین (شرکت داروپخش ایران) به غلظت‌های ۱۲/۵، ۲۵ و ۳۷/۵٪ در ۱۰۰cc با استفاده از آب مقطر تهیه شد که به ترتیب گروه‌های یک، دو و سه نامیده شدند. توسط پیمتهایی به حجم کلی ۱ و دقت ۰/۰۱cc از هر محلول ۱۵ نمونه به حجم ۴cc در ظروف پلاستیکی استوانه‌ای یک‌شکل به طریقی ریخته شد که با تکیه پیمت به کف ظرف، دیواره‌ها به محلول آغشته نگردند. ظروفی که دیواره آنها در سطوح بالاتر از سطح آزاد مایع آغشته شد، از مطالعه حذف و با ظرف

دانسیتومتری دیجیتال می‌توان به CADIA² و نرم‌افزار Digital Subtraction اشاره کرد که از دقت خوبی برای تعیین کمیت دانسیته استخوان برخوردار می‌باشند (۹،۸،۷،۶). جهت این امر تصاویر تهیه شده بر روی فیلم را باید به وسیله دیجیتایزرها، دیجیتایز کرد. در این فرایند تصویر به وسیله دوربین‌های ویدیویی یا اسکنر به سری‌های کوچک و مساوی از المان‌های تصویری به نام پیکسل تبدیل می‌شود. واضح است که روش و شرایط دیجیتایز کردن بر کیفیت تصاویر مؤثر می‌باشد. Chen و Hollender در سال ۱۹۹۵ شرایط دیجیتایز کردن تصاویر رادیوگرافیک به وسیله اسکنرهای سطح را بررسی کردند (۱۰).

مطالعه Dubrez و همکاران در سال ۱۹۹۲ نشان داد که دقت دانسیتومتری به روش دیجیتال و اپتیک یکسان است (۱۱). در سالهای اخیر برخی دیگر از محققان، برای بررسی دقت دانسیتومتری در نرم افزارهای CADIA و Digital Subtraction از ورقه‌های نازک استخوانی استفاده کردند (۱۴،۱۳،۱۲).

باشی‌زاده و همکاران در سال ۱۳۷۹ دقت دانسیتومتری اپتیک و دانسیتومتری دیجیتال مستقیم به وسیله نرم‌افزار رادیوویزیوگرافی (RVG) را به صورت In-vitro و به وسیله نمونه‌های تهیه شده از محلول اوروگرافین بررسی کردند و دقت دانسیتومتری اپتیک را بیش از RVG گزارش کردند (۵). با این فرض که نقص RVG احتمالاً مربوط به نرم‌افزار آن است، در بررسی حاضر با توجه به سهولت دسترسی به نرم‌افزار Photoshop، از قابلیت‌های آن در تعیین درجه سیاهی تصاویر یا دانسیتومتری استفاده شد؛ گرچه گزینه Info در محیط Photoshop قادر است درجه خاکستری هر پیکسل از تصویر را به صورت یک عدد مشخص کند ولی در بسیاری از پژوهشها لازم است میانگین ارزش عددی پیکسل‌ها در یک منطقه انتخاب شده از تصویر، محاسبه گردد.

² Computer Assisted Densitometric Analysis

نوع اسکنر بر خلاف محصولات مشابه قادر است دانسیته‌های بین ۱/۸-۱/۴ را نیز به سایه‌های خاکستری با ارزش پیکسلی (Pixel Values) متفاوت تبدیل نماید.

نمونه‌ها در شرایط یکسان و در یک روز در حالت Full Auto Mode هر یک ۳ بار اسکن شدند. برای این کار فیلم‌ها در آداپتور مخصوص فیلم به نحوی که برجستگی ذات به سمت بالا بود، قرار گرفتند. اسکنر در تمام طول مدت کار خاموش نشد؛ زیرا خاموش و روشن کردن اسکنر موجب تغییر در کیفیت تصاویر اسکن شده می‌گردد. تصاویر با فرمت JPEG و سیستم رنگ Gray Scale در رایانه شخصی و لوح فشرده (CD) ذخیره شدند. لوح فشرده در نرم افزار Photoshop 7.0 باز و قطعات مربع‌شکل یکسانی از مرکز همه نمونه‌ها به ابعاد ۰/۸۵×۰/۸۵ سانتیمتر یا ۸۰۰×۸۰۰ پیکسل به وسیله گزینه Crop جدا و در فایل جدیدی ذخیره شدند. الگوریتمی در نرم‌افزار MATLAB 6.1 نوشته شد که هر پیکسل را به عنوان یک درایه در ماتریس در نظر می‌گرفت و ارزش عددی هر درایه را در محدوده‌ای بین صفر (سیاهی کامل) و ۲۵۵ (سفیدی کامل) تعریف می‌نمود. مقادیر درایه‌ها در هر تصویر محاسبه و میانگین آنها به عنوان درجه سیاهی کل تصویر تعیین گردید.

همبستگی بین غلظت نمونه و مقادیر عددی محاسبه شده برای هر تصویر با آنالیز رگرسیون و معنی‌داری اختلاف اعداد محاسبه شده برای غلظتهای مختلف به وسیله آنالیز واریانس یک‌طرفه (ANOVA) بررسی شد. برای آزمون اختلاف گروهها به صورت دو به دو از Tukey HSD استفاده گردید؛ همچنین از آزمون آلفا کرونباخ برای بررسی تکرارپذیری روش در اندازه‌گیریهای سه‌گانه استفاده شد.

یافته‌ها

در جدولهای ۱ و ۲ میانگین و انحراف معیار مقادیر عددی دانسیته اپتیک و ارزش عددی پیکسل‌ها در روش جدید آورده

دیگری جایگزین شدند. به علت وجود احتمال جذب فوتون‌های ایکس توسط ظرف و یا آب مقطر به عنوان یک عامل مخدوش‌کننده، پیش از شروع کار از ظرف پلاستیکی خالی و ظرف محتوی ۴cc آب مقطر تصویربرداری شد که در شرایط بکار رفته برای تصویربرداری از نمونه‌ها تصویری از کف ظرف و محلول آب مقطر تشکیل نشد.

از نمونه‌های کدگذاری شده توسط فیلم پری‌آپیکال شماره ۲ E-Speed (Agfa; Germany) با زمان تابش ۱ ثانیه و در حالی که فاصله لبه تیوب از لبه فیلم ۶ سانتیمتر بود، تصویربرداری شد. برای حصول اطمینان از یکسان بودن سطح محلول در همه نمونه‌ها، افقی بودن فیلم از دو جهت به وسیله تراز بررسی گردید. مسیر اشعه از بالا به پایین و عمود بر سطح فیلم و محلول بود. از دستگاه رادیوگرافی دندان‌دانی Villa:84606 (Villa; Italy) به مشخصات ۷۰KVp و ۸mA با فیلتر کلی معادل ۲ میلی‌متر آلومینیوم به عنوان منبع اشعه استفاده شد. همه فیلم‌ها در یک روز و در شرایط یکسان در تاریکی مطلق به روش زمانی-حرارتی به وسیله محلول‌های خودکار (طیف‌ساز، ایران) ظاهر، ثابت و توسط خشک‌کن الکتریکی، خشک شدند.

سه نمونه از گروه اول، ۲ نمونه از گروه دوم و ۳ مورد از گروه سوم به دلیل رعایت نشدن شرایط استاندارد ظهور از مطالعه خارج شدند. فیلم‌های آماده شده به وسیله دانسیتومتر دیجیتال PD-504 (Mac Beth; UK) در ۵ نقطه از وسط تصویر به صورت اتفاقی دانسیتومتری شدند؛ میانگین اعداد حاصل به عنوان دانسیته اپتیک هر نمونه در نظر گرفته شد. این کار برای هر یک از نمونه‌ها در مجموع ۳ بار تکرار گردید. پس از بررسی‌های اولیه، اسکنر مسطح (Flat Bed) Epson 1240u Photo Epson (Epson; Taiwan) با قدرت تفکیک نوری ۱۲۰۰×۱۲۰۰dpi، قدرت تفکیک حداکثر ۹۶۰۰dpi، سیستم رنگ ۴۲ بیتی همراه نرم افزار Epson Twains برای اسکن کردن نمونه‌ها انتخاب شد. این

روش دانسیتومتري به وسيله Photoshop اصلاح شده، قادر است تفاوت بين نمونه‌های گروه‌های سه‌گانه را مانند دانسیتومتري اپتيک تشخيص دهد؛ در حالی که طبق مطالعه مشابه قبلی (۵) نرم‌افزار سيستم RVG نتوانسته بود به دليل پراکندي زياد داده‌ها بين دانسیته تصوير غلظتهای مختلف تفاوت معنی‌داری قائل شود.

همبستگي بين غلظت يا تراکم فیزیکی نمونه با میانگین محاسبه شده در روش جدید دانسیتومتري با Photoshop اصلاح شده ($r^2=0/7796$) از RVG ($r^2=0/1764$) بیشتر ولی از روش دانسیتومتري اپتيک کمتر بود ($r^2=0/9741$)؛ در مطالعه Woo و همکاران ضریب همبستگي دانسیته فیزیکی نمونه با مقادیر حاصل از روش CADIA $0/8$ محاسبه شد که از روش دانسیتومتري با Photoshop اصلاح شده بیشتر است (۱۲). در مطالعه‌ای که Christgau و همکاران درباره دانسیتومتري به وسيله نرم‌افزار Subtraction انجام دادند، مقادیر r^2 در استخوان کورتیکال بين $0/89$ تا $0/99$ و در استخوان اسفنجی بين $0/61$ تا $0/86$ محاسبه شد (۱۴). در مطالعه مشابه دیگری که توسط Rawlinson و همکاران انجام شد، مقدار r^2 $0/96$ بود (۱۳).

تکرارپذیری روش جدید تقریباً با روش اپتيک مشابه ولی از RVG اندکی بهتر است. در مطالعه قبلی مقدار ضریب تکرارپذیری α برای اندازه‌گیری‌های سه‌گانه یک نمونه با RVG $97/68\%$ محاسبه شد که تفاوت زیادی با روش دانسیتومتري اپتيک و روش جدید ندارد (۵).

جدول ۱- شاخصهای مرکزی و پراکندي محاسبه شده برای ارزش عددی پیکسل‌ها در گروه‌های سه‌گانه به وسيله Photoshop اصلاح شده

گروه	میانگین و انحراف معیار ارزش عددی پیکسل‌ها	CV(%)*
اول	$24/09 \pm 0/55$	۲/۲۸
دوم	$29/2 \pm 0/86$	۲/۹۴
سوم	$34/04 \pm 0/98$	۲/۸۹

* Coefficient of variations

شده است. نمودار پراکندي ارزش عددی پیکسل‌ها و دانسیته اپتيک نمونه‌ها نیز به ترتیب در نمودارهای ۱ و ۲ مشاهده می‌شود. آنالیز رگرسیون همبستگي بين غلظت و میانگین ارزش عددی پیکسل‌ها را بالا نشان داد ($r=0/883$) و $r^2=0/7796$ ؛ این مقدار برای دانسیتومتري اپتيک $r^2=0/974$ بود.

آنالیز واریانس یک طرفه (ANOVA) دانسیتومتري اپتيک و روش جدید دانسیتومتري یعنی Photoshop اصلاح شده، اختلاف معنی‌داری را در غلظتهای متفاوت نشان داد ($P<0/05$). آزمون Tukey HSD نیز اختلاف گروه‌ها به صورت دو به دو را در هر دو روش معنی‌دار نشان داد ($P<0/05$). آزمون آلفاکرونیخ ضریب تکرارپذیری α در اندازه‌گیری‌های سه‌گانه هر نمونه را در روش دیجیتال $99/96\%$ و در روش اپتيک $99/97\%$ نشان داد. این ضریب برای نمونه‌های مختلف با غلظت مشابه برای روش دیجیتال و اپتيک به ترتیب $99/68\%$ و $99/84\%$ حاصل شد.

بحث و نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر میزان Coefficient of Variations (CV) در روشهای دانسیتومتري به وسيله Photoshop اصلاح شده و دانسیتومتري اپتيک نزدیک به یکدیگر بود (جدولهای ۱ و ۲)؛ این امر بیانگر آن است که داده‌های دو روش، پراکندي قابل قبولی دارند؛ ولی طبق مطالعه قبلی بر روی نمونه‌های مشابه به وسيله رادیو-ویزیوگرافی، میزان CV در گروه‌های سه‌گانه به ترتیب $11/12$ ، 18 و $7/81\%$ بود که نشان‌دهنده پراکندي غیرقابل قبول داده‌ها در این روش می‌باشد (۵). در مطالعه Hildebolt و همکاران درباره دو روش جداسازی (Cropping) به صورت دستی و خودکار در دانسیتومتري دیجیتال CV برای روش دستی $2/78\%$ و برای روش خودکار $2/29\%$ محاسبه شد (۱۵) که به نتایج مطالعه حاضر نزدیک است.

جدول ۲- شاخصهای مرکزی و پراکندگی محاسبه شده برای دانسیته اپتیک در گروههای سه گانه

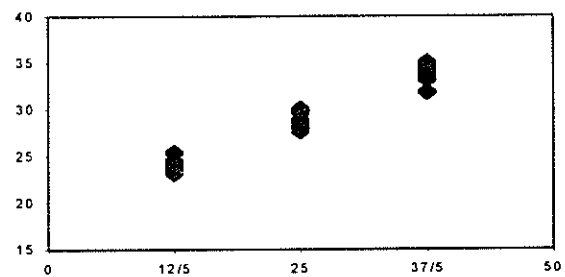
گروه	میانگین و انحراف معیار دانسیته اپتیک	CV (%)*
اول	۱۷۶/۲۲±۲/۳۳	۱/۳۲
دوم	۱۶۰/۵۰±۱/۶۳	۱/۰۱
سوم	۱۴۰/۸۷±۱/۶۸	۱/۹۳

* Coefficient of variations

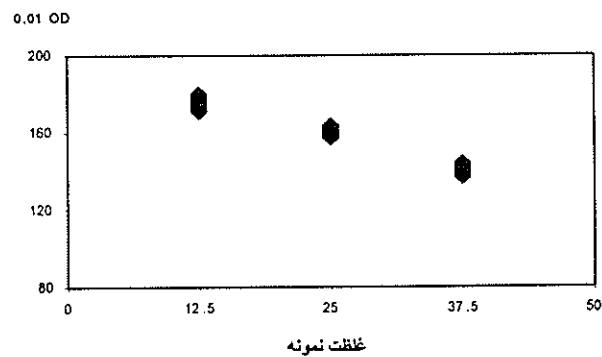
با توجه به یافته‌های مطالعه حاضر و مقایسه با سایر مطالعات مشابه، می‌توان چنین نتیجه گرفت که الگوریتم جدید برای محاسبه دانسیته تصاویر رادیوگرافیک دارای دقت نسبتاً بالایی است که با در نظر گرفتن وجود امکانات اجرای آن در کشور می‌تواند در پژوهشهای دندانپزشکی مورد استفاده قرار گیرد. برتری اندک دانسیتومتری اپتیک بر روش جدید، سهولت استفاده و قابلیت کاربرد آسان برای همه انواع تصاویر دیجیتال اعم از مستقیم و غیرمستقیم دانسیتومتری به روش Photoshop اصلاح شده را شایان توجه ساخته است. معمولاً مطالعه روی دقت نرم‌افزارهایی نظیر CADIA و Digital Subtraction که بارها آزمون شده و به صورت تجاری در دسترس هستند، با نمونه‌های مندیبل خشک و قطعات نازک استخوانی همراه با وج‌های مطبق آلومینیومی انجام می‌گیرد. پیشنهاد می‌شود در مراحل بعدی از روشهای دقیقتر و ترجیحاً نمونه‌های طبیعی در ارزیابیهای بیشتر و کالیبره کردن این روش جدید استفاده گردد.

تشکر و قدردانی

این مطالعه با همکاری مرکز تحقیقات دندانپزشکی دانشکده دندانپزشکی دانشگاه علوم پزشکی تهران به انجام رسیده است که بدین وسیله از مسؤولین و همکاران مرکز تشکر و قدردانی می‌گردد.



نمودار ۱- پراکندگی ارزش پیکسل‌ها در روش دانسیتومتری با استفاده از Photoshop اصلاح شده



نمودار ۲- پراکندگی داده‌ها در دانسیتومتری اپتیک

منابع:

- Garrett K, Kerr M, Hartwell G, O'Sullivan S, Mayer P. The effect of a bioresorbable matrix barrier in endodontics surgery on the rate of periapical healing: an in-vivo study. J Endod 2002 Jul; 28(7): 503-6.
- Nakagawa K, Igaki H, Aoki Y, Ohtomo K, Kawaguchi H, Eto M. A quantitative analysis of rat osteoporosis model with a microfocus X-ray tube and digital radiography system. Radiat Med 1999 Mar-Apr; 17(2): 165-68.
- Farman TT, Farman AG. Optical densities of dental resin composites: A comparison of CCD, storage phosphor, and Ektaspeed Plus radiographic film. Gen Dent 1996 Nov- Dec; 44(6): 532-37.
- Hausmann E. Radiographic and digital imaging in periodontal practice. J Periodontol 2000 Mar; 71(3): 497-503.
- باشی‌زاده فخار، حوریه؛ طلایی پور، احمدرضا؛ دباغی، آرش. بررسی دقت دانسیتومتری اپتیک فیلم‌های رادیوگرافی و دانسیتومتری در سیستم رادیوویزیوگرافی. مجله دندانپزشکی دانشگاه علوم پزشکی تهران. سال ۱۳۸۱، دوره ۱۵، شماره ۱، صفحه ۲۳.

- 6- Bragger U, Pasquali L, Rylander H, Carnes D, Kornman KS. Computer assisted densitometric image analysis in periodontal radiography. A methodological study. *J Clin Periodontol* 1988 Jan; 15(1): 27-37.
- 7- Ortman LF, Dunford R, Mchenry K, Hausmann E. Subtraction radiography and computer assisted densitometric analysis of standardized radiographs. *J Periodontal Res* 1985; 20: 466-51 .
- 8- Fourmouis I, Bragger U, Burgin W, Tonetti M, Lang NP. Digital image processing II. In-vitro quantitative evaluation of soft and hard peri-implant tissue changes. *Clin Oral Implants Res* 1994 Jun; 5(2): 105-14.
- 9- Zubery Y, Dove SB, Ebersole J. An in-vitro study of characteristics of a computer aided radiographic evaluation (CARE) system for longitudinal assessment of density changes. *J Periodontal Res* 1993 Jul; 28(4): 233-40.
- 10- Chen SK, Hollender L. Digitizing of radiographs with a flatbed scanner. *J Dent* 1995; 23: 205-8.
- 11- Dubrez B, Jacot-Descombes A, Pun T, Cimasoni G. Comparison of photodensitometric with high- resolution digital analysis of bone density from serial dental radiographs. *Dentomaxillofac Radiol* 1992 Feb; 21: 40-44.
- 12- Woo BM, Zee KY, Chan FH, Corbet EF. In-vitro calibration and validation of a digital subtraction radiography system using scanned images. *J Clin Periodontol* 2003 Feb; 30(2): 114-18.
- 13- Rawlinson A, Ellwood RP, Davies RM. An in-vitro evaluation of a dental subtraction radiography system using bone chips on dried human mandibles. *J Clin Periodontol* 1999 Mar; 26(3): 138-42.
- 14- Christgau M, Hiller KA, Schmalz G, Kolbeck C, Wenzel A. Quantitative digital subtraction radiography for the determination of small changes in bone thickness: an in-vitro study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 1998 Apr; 85(4): 462- 72.
- 15- Hildebolt CF, Brunsten B, Yokoyama-Crothers N, Pilgram TK, Townsend KE, Vannier MW, et al. Comparison of reliability of manual and computer-intensive methods for radiodensity measures of alveolar bone loss. *Dentomaxillofac Radiol* 1998 Jul; 27(4): 245-50.