

**“VICTOR BABEȘ” UNIVERSITY OF MEDICINE AND PHARMACY FROM
TIMISOARA
FACULTY OF DENTAL MEDICINE
Department II
University clinic of Orthodontics I**

STĂNCIOIU ANDRA-ALEXANDRA



DOCTORAL THESIS

DIGITAL INVESTIGATIONS IN ORTHODONTICS

A B S T R A C T

Scientific Coordinator:

PROF. UNIV. DR. SZUHANEK CAMELIA-ALEXANDRINA

Timișoara

2026

ABSTRACT

General Part

The growing use of digital and AI-assisted diagnostic tools in orthodontic practice, as well as the necessity to evaluate their clinical validity and applicability, served as the impetus for this study. In order to maintain clinician-centered treatment planning while supporting evidence-based diagnostic decision-making, the study focuses on widely used imaging modalities. Rapid advancements in digital technology have caused orthodontics to undergo a significant transformation in recent decades. Digital tools have had a huge impact on dental and medical practice, changing clinical workflows, treatment planning techniques, and diagnostic methods as they have become an essential part of daily life. The way orthodontists assess malocclusions, plan treatments, record cases, and make appliances has been completely transformed by the shift from traditional analog methods to digital workflows.

A more accurate and customized approach to orthodontic treatment has been made possible by technological advancements like computer-aided design and computer-aided manufacturing (CAD/CAM), digital models, and three-dimensional imaging of the face, skeleton, and dentition. Clinicians can now incorporate digital dental models, panoramic radiographs, cone-beam computed tomography (CBCT), and facial images into thorough virtual treatment simulations thanks to digital platforms. Improved patient communication, better treatment goal visualization, and more consistent clinical results are all made possible by these systems. The field of orthodontic diagnostics and monitoring has been further extended by the use of digital videography and cloud-based data storage. In addition to tracking dental and skeletal changes over time, clinicians can now record dynamic facial expressions, speech patterns, and functional movements. Long-term follow-up, efficiency, and continuity of care have all been enhanced by remote access to patient records and digital monitoring tools. As a result, digitalization has challenged conventional ideas of clinical expertise and workflow efficiency in addition to improving diagnostic accuracy and consistency. In response to the demands of a rapidly changing digital era, orthodontics was one of the first dental specialties to embrace digital technologies. The use of intraoral scanners, digital photography, cephalometric software, and three-dimensional printers in fully digital orthodontic practices has revolutionized appliance manufacturing and diagnosis.

Customized brackets, indirect bonding trays, robotically bent archwires, clear aligners, retainers, and other patient-specific appliances can all be produced thanks to digitally driven workflows. By evaluating tooth movement and compliance, artificial intelligence-based dental monitoring software enhances treatment supervision and minimizes chair time while maximizing clinical effectiveness. Orthodontic practice is moving more and more toward computer-assisted planning as digital systems advance, but clinical knowledge is still crucial for handling complicated malocclusions and making customized treatment choices. Two-dimensional digital radiography techniques are still essential for orthodontic diagnosis, even with the increasing popularity of three-dimensional imaging technologies. In particular, digital lateral cephalometry remains a fundamental tool for assessing growth tendencies, dentoalveolar patterns, skeletal relationships, and craniofacial morphology. An important source of additional information about mandibular morphology, dental development, and general dental health is panoramic radiography. When combined, these imaging modalities provide a useful balance between radiation safety, clinical viability, and diagnostic accuracy. In light of this, the current doctoral thesis seeks to explore the function of digital diagnostic tools in orthodontics. Digital lateral cephalometric analysis is the main focus, with panoramic radiography providing support and three-dimensional facial scanning and dental scanning serving as a limited and supplemental tool. The accuracy, dependability, and clinical significance of digitally assisted measurements and automated landmark detection systems need to be thoroughly assessed given the growing incorporation of artificial intelligence into orthodontic imaging.

Finding evidence-based diagnostic markers that connect digital imaging data, cephalometric analysis, and modern computational technologies is the main goal of this thesis. While confirming that digital technologies and artificial intelligence serve as auxiliary tools that do not replace the orthodontist's knowledge, experience, and critical clinical reasoning, the findings seek to show that digital investigations greatly enhance diagnostic accuracy, reproducibility, and clinical decision-making in orthodontics. Physical records, such as paper case sheets, radiographs, printed photos, and plaster casts, were the mainstay of traditional orthodontic documentation. These records were susceptible to loss, deterioration, and restricted accessibility. By facilitating dependable storage, instantaneous access, and effective data transfer, the shift to digital records addressed these constraints and enhanced clinical decision-making and continuity of care. Diagnostic techniques have changed from primarily two-dimensional (2D) approaches to more thorough, data-rich, and workflow-integrated

solutions as orthodontics uses digital tools more frequently. The advancement of dentofacial imaging has been a significant turning point in this development. After X-rays were discovered, dental radiology advanced quickly thanks to advancements that enhanced image quality, shortened exposure times, and increased clinical applicability. Because radiographic techniques allowed for the objective evaluation of craniofacial morphology, dental relationships, and growth-related changes, they became essential to orthodontic diagnosis and treatment planning. Analog film-based methods gave way to digital radiography and then three-dimensional (3D) imaging modalities, such as cone-beam computed tomography (CBCT), which provides better anatomical visualization than traditional 2D projections but comes with radiation exposure and indication concerns.

Because of its proven ability to assess skeletal and dental relationships, support growth assessment, and aid in outcome prediction, lateral cephalometry has remained essential among traditional orthodontic imaging tools. Cephalometric analysis, which was first used in a standardized form in the early 20th century, allowed medical professionals to link malocclusion patterns to craniofacial structure and create more customized treatment plans. However, because lateral cephalograms naturally depict a 3D anatomical complex on a 2D image, they have methodological drawbacks such as magnification effects, structure superimposition, and inconsistent landmark identification. These limitations may affect the accuracy of diagnosis and have prompted the creation of complementary digital processing techniques and 3D imaging strategies. Because of its wide coverage of maxillofacial structures, comparatively low radiation dose, and effective acquisition, panoramic radiography (orthopantomography, OPG) is frequently used in routine dentistry and orthodontics. When patient positioning is ideal, it can provide clinically useful vertical and angular information in addition to a practical overview of the dentition and supporting structures. However, distortion, blurring, magnification variability, and artifacts (such as ghost images) can also affect panoramic imaging, making interpretation more difficult and reducing the accuracy of some measurements, especially horizontal dimensions. Because of this, OPG is frequently regarded as supplemental rather than conclusive for thorough skeletal evaluation, and cautious indication is still crucial.

Another significant development in orthodontic imaging is the transition from manual to computerized and automated workflows. Conventional cephalometric tracing increased vulnerability to fatigue-related error and inter-/intra-examiner variability because it required laborious manual landmark identification and measurement. Through image enhancement, zooming, standardized analysis templates, quicker computation of angular and linear

parameters, simplified archiving, and simpler sharing, digital cephalometric systems and specialized software enhanced efficiency and usability, supporting both clinical care and research. However, since accuracy still depends on proper image quality, operator skill, and accurate landmark verification, these advantages do not remove the need for expert supervision. Artificial intelligence (AI), which includes machine learning and deep learning, has been used more frequently in orthodontic diagnostics in recent years, especially for automated landmark detection and expedited cephalometric analysis. AI-based systems can shorten analysis times and lessen errors caused by human fatigue, improving workflow consistency. However, platform variations and possible measurement variability among algorithms highlight the need for clinicians to evaluate AI outputs critically. Therefore, rather than taking the place of clinical expertise and accountability, the evidence currently available supports a model in which AI serves as an adjunct that improves efficiency and standardization. Lastly, more thorough diagnostic workflows that facilitate customized treatment planning, enhanced patient communication, and more predictable execution have been promoted by the wider adoption of digital dentistry, including CAD/CAM systems, intraoral scanning, and integrated digital data environments. Despite these benefits, balanced decision-making is still necessary when using imaging in orthodontics, particularly when it comes to radiation justification, data security, and ethical responsibility. Modern guidelines emphasize that radiographs should only be ordered when more diagnostic data is required and should adhere to the ALARA principle ("as low as reasonably achievable"), especially for younger patients. The integrated assessment of occlusion, craniofacial morphology, and soft tissue relationships is the foundation of modern orthodontic diagnosis, and it is usually bolstered by radiographs, clinical examination, dental casts/models, and standardized photographs. Lateral cephalograms and panoramic radiographs (OPG), two commonly used radiographic records, continue to be crucial screening tools that offer supplementary data for diagnosis and treatment planning. The efficiency of clinical workflow and the repeatability of orthodontic measurements have been directly impacted by the increasing digitization of dentistry, which has changed how these records are obtained, processed, stored, and interpreted.

Cephalometric software and digital imaging systems—Manual tracing and film-based processing have gradually been replaced by digital systems because they allow for quick image acquisition, enhancement (e.g., adjustments for contrast and magnification), standardized calculations, and safe sharing and archiving. By providing a more interactive learning environment and lowering the procedural burden associated with traditional tracing,

digital cephalometry has increased accessibility for both clinical work and education. Digitized cephalometric analysis is crucial for tracking changes in growth and treatment over time because it speeds up measurement generation and makes it easier to compare serial radiographs. Simultaneously, digital calibration and software-based measurement tools have helped panoramic radiographs, which are widely used because of their wide anatomic coverage and comparatively low radiation dose. Digital processing can lower measurement variability and improve standardization, especially for vertical and angular parameters, even though OPG images are still prone to distortion and technique-related limitations. The wider clinical need for impartial and quick screening instruments in orthodontic practice is supported by these advancements.

Advantages over manual techniques for digital cephalometry—Due in part to variations in landmark identification and the manual computation of angular and linear parameters, manual cephalometric tracing is intrinsically time-consuming and susceptible to inter- and intra-observer variability. By automating calculations and facilitating image manipulation that can enhance landmark visualization, digital cephalometric analysis lessens these constraints. The removal of chemical processing, long-term record preservation without film deterioration, simple data duplication and transfer, and the ability to conduct several analyses on a single platform are further benefits. When combined, these characteristics reduce systematic and random errors associated with measurement processes and facilitate more reliable diagnostic workflows. However, accurate landmark identification is still necessary for digital cephalometry to be accurate. Therefore, professional supervision is still necessary to ensure clinically valid interpretation even when software offers automated calculations, particularly in borderline cases or when radiographic quality is subpar.

Digital orthodontic diagnostics' accuracy and dependability—The majority of reported differences between manual and digital methods are statistically detectable but not clinically significant, according to the available data, which generally supports the clinical utility of digital cephalometry. Time efficiency, decreased mathematical error, and enhanced reproducibility through repeated measurements when necessary are the main benefits of digital analysis. However, landmark identification continues to be a major source of variability, and operator experience, image quality, and the software's particular algorithmic approach all affect how reliable any digital platform is.

WebCeph and related AI-powered systems facilitate cephalometric and panoramic analysis by automating measurement computation and landmark detection while permitting

clinician correction. These tools show how diagnostic workflows are becoming more mobile and cloud-based. Variability still exists for some landmarks because of variations in datasets and algorithms, despite studies showing increased efficiency and clinically acceptable accuracy. As a result, AI-based systems should be viewed as supplemental tools that improve workflow efficiency but still need orthodontist approval. In orthodontics, artificial intelligence is primarily applied through deep learning and machine learning, especially for image-based tasks like landmark detection. Although accuracy may be impacted by anatomical complexity and image-related factors, AI-assisted cephalometry increases speed and reproducibility. Therefore, rather than taking the place of clinical expertise, AI continues to be a tool for decision support.

Interpreting panoramic radiographs with AI—Because of its extensive anatomical coverage and comparatively low radiation dose, panoramic radiography (OPG) is frequently used as a routine imaging modality. However, interpretation calls for experience and prolonged focus, and fatigue, inconsistent image quality, and structural overlap can all have an impact on performance. AI-based systems have been developed to support screening-level diagnostic workflows, identify dental restorations or implants, and detect impacted teeth, among other tasks. Additionally, recent advancements point to a move away from basic detection and toward more advanced clinical support (e.g., predicting procedural difficulty in specific surgical situations), demonstrating the wider development of AI in dentistry and radiology. Despite these developments, the representativeness and annotation quality of training data continue to determine the quality of AI output. Therefore, automated interpretations should be used to supplement professional assessment rather than replace it, particularly when complex clinical judgment is needed or when false positives or negatives could have clinical ramifications.

Data security, clinical, and ethical issues—There are new ethical and professional obligations when AI is incorporated into orthodontic diagnostics. Accountability for clinical judgments, the danger of relying too much on algorithmic results, and the necessity of open communication between clinicians and patients about AI-supported outcomes are important factors to take into account. When presented as deterministic outcomes rather than probabilistic estimates, patient-facing simulations and visual predictions may inadvertently skew decision-making. Furthermore, data governance is essential to the ethical application of AI. While large datasets are frequently needed for reliable model training, the gathering, storing, and exchange of medical images raise issues with informed consent, privacy, and re-identification risk. Another issue in digitally advanced healthcare settings is cybersecurity.

Threats like ransomware, phishing, and unauthorized access can jeopardize patient confidentiality and operational continuity as orthodontic and academic institutions depend more and more on networked systems. Therefore, adhering to data protection laws and putting strong cybersecurity procedures in place are crucial elements of safe digital orthodontic practice. Limitations and future perspectives—AI still has limitations even though it has a lot of potential to improve diagnostic efficiency and standardization. Small or biased datasets, limited generalizability across populations, and the intrinsic "black-box" nature of some DL models can all lower algorithm performance. Furthermore, human-centered clinical abilities like contextual reasoning, ethical consideration, and tailored patient communication cannot be replicated by AI. Rigorous validation studies, better dataset quality and diversity, more precise guidelines for landmark definitions and reporting, and frameworks that prioritize responsible, clinician-supervised AI deployment are likely to be necessary for future advancements.

Facial scanning in orthodontic diagnosis—Modern orthodontics increasingly integrates non-invasive digital documentation tools into larger digital workflows in addition to AI-supported radiographic analysis.

Special Part – Personal Contributions

One of the published studies assessed the cephalometric facial height ratios and craniofacial growth patterns in an orthodontic population. The digitally assisted lateral cephalometric analysis was used to evaluate the sagittal and vertical skeletal relationships. Special emphasis was given to facial height proportions and their correlation with different growth tendencies and dentoalveolar classifications. The study used artificial intelligence-assisted digital tracing for improving measurement reproducibility as well as landmark identification. Relationships between mandibular growth direction, facial height ratios, and anterior and posterior facial heights were analyzed in this study, underscoring the importance of proportional analysis in orthodontic diagnosis. Results validate the applicability of facial height ratios as objective measures of vertical growth patterns in clinical practice. Findings also stress how imperative it is to integrate both vertical and sagittal parameters into comprehensive treatment planning, underscoring digital cephalometry's value as a reliable and efficient diagnostic tool in modern orthodontics.

Another study published assessed the relationship between the digital measurements derived from lateral cephalograms and orthopantomography in determining mandibular morphology and facial asymmetry. The study aimed to assess how much clinically significant

information could be revealed by routinely obtained panoramic imaging when read together with lateral cephalometric analysis. Mandibular angular and linear parameters were assessed using AI-assisted digital tracing on both imaging modalities, with particular focus on measurements relevant to morphological assessment as well as asymmetry screening. It was highlighted that though panoramic radiography could be reliable support for some particular angular and vertical parameters of the mandible, lateral cephalometry is still the method par excellence for thorough skeletal evaluation. The findings fit into a complementary diagnostic strategy: complete orthodontic diagnostic interpretation and treatment planning necessitate lateral cephalograms, while effective screening plus supplementary mandibular assessment can benefit from orthopantomography.

Another published study that was published recently integrated hard and soft tissue analyses into a diagnostic workflow with the help of digital tools for cutting-edge orthodontic planning. This study emphasized that current orthodontic treatment objectives should not only focus on correcting occlusion but also consider soft-tissue balance and facial aesthetics. Skeletal and dental parameters were analyzed alongside key soft-tissue profile indicators to assess their relationships and clinical significance using AI-supported digital lateral cephalometric analysis. This analysis further emphasized the importance of a multiparametric approach in diagnosis by highlighting the need to evaluate incisor position and dentoalveolar compensation concerning the facial profile. The results, therefore, are in favor of an integrated diagnostic framework where, under clinician supervision, AI-based tools allow more efficiency and consistency in measurements while skeletal, dental, and soft tissue assessments work together toward customized, esthetically focused, functionally stable orthodontic treatment planning.

Advanced three-dimensional facial scanning was examined in another published study as a non-invasive orthodontic evaluation technique. Using digital facial morphometry and the evaluation of craniofacial soft-tissue landmarks, the study sought to support treatment planning, growth tracking, and aesthetic diagnosis in a contemporary digital workflow. Key anthropometric parameters were obtained using standardized 3D facial scans, and correlations between facial dimensions and angles were investigated to better characterize clinically significant relationships in an orthodontic population. The study demonstrated how 3D facial analysis could be used to supplement traditional radiographic evaluation by offering objective soft-tissue information. Overall, the results confirm that 3D facial scanning can be used in clinical settings as a radiation-free supplement to record facial proportions and soft-

tissue morphology. This is especially helpful for communication, long-term monitoring, and customized orthodontic planning that is both functional and aesthetically pleasing.

A different published study evaluated skeletal, dental, and soft-tissue changes following orthognathic surgery using digitally assisted cephalometric assessment. The research aimed to quantify postoperative modifications in craniofacial relationships and to support a structured, evidence-based follow-up of surgical–orthodontic treatment outcomes. AI-supported digital cephalometric analysis was used to assess key parameters related to sagittal skeletal balance, dentoalveolar compensation, and soft-tissue profile adaptation. The study emphasized the importance of standardized imaging protocols and consistent measurement workflows for objective comparison between pre- and postoperative records. Overall, the findings support the clinical value of integrated orthodontic–surgical planning and highlight that cephalometric evaluation remains a practical method for monitoring combined hard- and soft-tissue responses after orthognathic interventions, while digital tools can improve efficiency and reproducibility under clinician supervision.

Another investigation used orthopantomograms to digitally screen mandibular morphology, focusing on the bilateral symmetry and proportional relationships. The gonial angles, ramus heights, and transverse mandibular dimensions were studied by means of digital tracing and AI-assisted landmark identification. The objective of the study was to investigate the internal consistency and potential clinical utility of panoramic measures in orthodontic diagnostics. A bilateral comparison was performed to explore symmetry correlations and structural patterns, suggesting the potential of panoramic imaging to be used in everyday morphological diagnosis. Despite limitations in transverse visual assessment, the findings broadly favor integration of orthopantomography as a low-radiation, readily available adjunct to assessment of angular and vertical factors of mandibular anatomy. Panoramic-based orthodontic study findings have proved that AI-assisted digital analysis can standardize the measurement for accuracy, reproducibility, and repeatability of measurements.

A recently published study was performed comparing postoperative clinical outcomes with simulated treatment outcomes to evaluate the effectiveness of digital virtual planning in orthognathic surgery. In a digital workflow, the study investigated the predictability of dentoskeletal repositioning and the extent of agreement among planned modifications and those performed in real time. The digital planning platforms were demonstrated to improve interdisciplinary coordination and treatment precision through standardized cephalometric assessment of sagittal and vertical constructs before and after the surgery. It is important to

recognize landmarks repeatedly and have structured testing procedures that can confirm that surgery is accurate. The study highlighted the significance of repeatable landmark identification and structured measurement protocols for attesting to surgical accuracy. The main result is that digital surgical planning system technologies can be used clinically in the way of digital surgical planning technology for orthognathic treatment, promoting better predictability and communication while leaving the crucial role of clinical expertise intact.

Finally, a study focused particularly on digital full-arch intraoral impressions and investigated how scanning technique influenced the quality of digital full-arch intraoral impressions. The study explored how different segmentation techniques and scanning motions might impact the precision and effectiveness of digital data collection in clinical settings. Standardized movement patterns and consistent acquisition protocols are important features of digital workflows, as revealed by comparing different scanning methods. The importance of technique selection as a means to achieve the highest possible digital accuracy, while retaining procedural efficacy, was emphasized by the study. In short, from the data, scanning protocols need to be both simplified and organized if the accuracy and clinical reliability are going to be improved in 21st-century digital orthodontics and restorative practice.

With digitally enhanced lateral cephalometry as the main focus, this doctoral thesis investigated the function of digital imaging technologies in modern orthodontic diagnostics. The results verify that digital lateral cephalometric analysis is still a valid and useful technique for assessing sagittal and vertical discrepancies, dentoalveolar relationships, and craniofacial morphology. While preserving the crucial role of clinical expertise in validating landmarks and interpreting results, the incorporation of artificial intelligence-assisted software enhanced measurement accuracy, reproducibility, and efficiency. Orthopantomographic analysis turned out to be a useful supplementary technique, especially for examining vertical parameters and mandibular morphology. Its incorporation into a combined diagnostic approach improves clinical practicality while maintaining low radiation exposure, even though it cannot take the place of lateral cephalometry in thorough skeletal assessment. Without changing the main diagnostic framework, three-dimensional facial scanning supported aesthetic evaluation by providing additional soft-tissue information. This thesis is unique in that it restates digitally assisted lateral cephalometry as a methodologically sound and scientifically supported cornerstone of orthodontic diagnosis in a setting that is becoming more and more reliant on technology. This study shows that diagnostic accuracy can be improved without raising clinical complexity by optimizing traditional two-dimensional imaging through digital workflows and AI-

assisted analysis. AI-based landmark detection should be improved, digital superimposition protocols should be validated, and complementary imaging modalities should be further integrated into unified diagnostic systems. Nevertheless, digitally enhanced lateral cephalometry is still essential to evidence-based orthodontic diagnosis and treatment planning, even in a changing three-dimensional environment.

UNIVERSITATEA DE MEDICINĂ ȘI FARMACIE

“VICTOR BABEȘ” DIN TIMISOARA

FACULTATEA DE MEDICINĂ DENTARĂ

Departamentul II

Clinica universitară Ortodonție I

STĂNCIOIU ANDRA-ALEXANDRA



TEZĂ DE DOCTORAT

INVESTIGAȚII DIGITALE ÎN ORTODONȚIE

R E Z U M A T

Conducător de doctorat:

PROF. UNIV. DR. SZUHANEK CAMELIA-ALEXANDRINA

Timișoara

2026

REZUMAT

Partea generală

Utilizarea tot mai frecventă a instrumentelor de diagnostic digitale și asistate de inteligență artificială în practica ortodontică, precum și necesitatea evaluării validității și aplicabilității lor clinice, au reprezentat punctul de plecare al acestui studiu. Pentru a menține planificarea tratamentului centrată pe clinician, susținând totodată luarea deciziilor diagnostice bazate pe dovezi, studiul se concentrează asupra modalităților imagistice utilizate pe scară largă. Progresele rapide ale tehnologiei digitale au determinat o transformare semnificativă a ortodonției în ultimele decenii. Instrumentele digitale au avut un impact major asupra practicii stomatologice și medicale, modificând fluxurile de lucru clinice, tehnicile de planificare a tratamentului și metodele de diagnostic, pe măsură ce au devenit o parte esențială a vieții cotidiene. Trecerea de la metodele analogice tradiționale la fluxurile de lucru digitale a transformat complet modul în care ortodonții evaluează malocluziile, planifică tratamentele, documentează cazurile și realizează aparatele ortodontice.

O abordare mai precisă și personalizată a tratamentului ortodontic a devenit posibilă datorită progreselor tehnologice precum proiectarea asistată de calculator și fabricarea asistată de calculator (CAD/CAM), modelele digitale și imagistica tridimensională a feței, scheletului și dentiției. Platformele digitale permit acum clinicianilor să integreze modele dentare digitale, radiografii panoramice, tomografie computerizată cu fascicul conic (CBCT) și imagini faciale în simulări virtuale complete ale tratamentului. Comunicarea îmbunătățită cu pacientul, o mai bună vizualizare a obiectivelor tratamentului și rezultate clinice mai consecvente sunt toate posibile datorită acestor sisteme. Domeniul diagnosticului și monitorizării ortodontice a fost extins și mai mult prin utilizarea videografiei digitale și a stocării datelor în cloud. Pe lângă urmărirea modificărilor dentare și scheletale în timp, clinicianii pot acum înregistra expresii faciale dinamice, tipare de vorbire și mișcări funcționale. Urmărirea pe termen lung, eficiența și continuitatea îngrijirii au fost toate îmbunătățite prin accesul la distanță la fișele pacienților și instrumentele digitale de monitorizare. Ca rezultat, digitalizarea a pus la îndoială ideile convenționale despre expertiza clinică și eficiența fluxului de lucru, pe lângă îmbunătățirea acurateței și consecvenței diagnosticului. Ca răspuns la cerințele unei ere digitale în rapidă schimbare, ortodonția a fost una dintre primele specialități stomatologice care a adoptat tehnologiile digitale. Utilizarea scanerelor intraorale, a fotografiei digitale, a software-

ului cefalometric și a imprimantelor tridimensionale în practicile ortodontice complet digitale a revoluționat fabricarea aparatelor și diagnosticul. Fluxurile de lucru bazate pe digital permit producerea de braceți personalizați, gutiere pentru tehnica de colaj indirect, arcuri îndoite robotic, alinere transparente, contenții și alte aparate specifice pacientului. Prin evaluarea mișcării dentare și a complianței, software-ul de monitorizare dentară bazat pe inteligență artificială îmbunătățește supravegherea tratamentului și minimizează timpul petrecut la scaun, maximizând în același timp eficiența clinică. Pe măsură ce sistemele digitale avansează, practica ortodontică se îndreaptă tot mai mult către planificarea asistată de calculator, însă cunoștințele clinice rămân esențiale pentru gestionarea malocluziilor complicate și luarea unor decizii de tratament personalizate. Tehnicile de radiografie digitală bidimensională sunt încă esențiale pentru diagnosticul ortodontic, chiar și odată cu popularitatea crescândă a tehnologiilor de imagistică tridimensională. În special, cefalometria laterală digitală rămâne un instrument fundamental pentru evaluarea tendințelor de creștere, a tiparelor dentoalveolare, a relațiilor scheletale și a morfologiei craniofaciale. O sursă importantă de informații suplimentare despre morfologia mandibulară, dezvoltarea dentară și sănătatea dentară generală este radiografia panoramică. Împreună, aceste modalități imagistice oferă un echilibru util între siguranța la radiații, aplicabilitate clinică și acuratețea diagnosticului. În acest context, prezenta teză de doctorat își propune să exploreze funcția instrumentelor digitale de diagnostic în ortodonție. Analiza cefalometrică laterală digitală reprezintă obiectivul principal, radiografia panoramică oferind suport, iar scanarea facială tridimensională și scanarea dentară servind drept instrumente limitate și suplimentare. Având în vedere integrarea tot mai mare a inteligenței artificiale în imagistica ortodontică, acuratețea, fiabilitatea și semnificația clinică a măsurătorilor asistate digital și a sistemelor automate de detectare a reperelor anatomice trebuie evaluate în mod riguros.

Identificarea markerilor diagnostici bazați pe dovezi care conectează datele imagistice digitale, analiza cefalometrică și tehnologiile computaționale moderne reprezintă obiectivul principal al acestei teze. Confirmând faptul că tehnologiile digitale și inteligența artificială funcționează ca instrumente auxiliare care nu înlocuiesc cunoștințele, experiența și raționamentul clinic critic al ortodontului, rezultatele urmăresc să demonstreze că investigațiile digitale îmbunătățesc semnificativ acuratețea diagnosticului, reproductibilitatea și procesul decizional clinic în ortodonție. Documentația ortodontică tradițională s-a bazat în principal pe înregistrări fizice, precum fișe de caz pe hârtie, radiografii, fotografii tipărite și modele din gips. Aceste înregistrări erau susceptibile la pierdere, deteriorare și accesibilitate limitată. Trecerea

la documentația digitală a depășit aceste constrângeri prin facilitarea stocării fiabile, a accesului instantaneu și a transferului eficient de date, îmbunătățind procesul decizional clinic și continuitatea îngrijirii. Tehnicile de diagnostic au evoluat de la abordări predominant bidimensionale (2D) către soluții mai cuprinzătoare, bogate în date și integrate în fluxul de lucru, pe măsură ce ortodonția utilizează tot mai frecvent instrumente digitale. Progresul imagisticii dentofaciale a reprezentat un punct de cotitură important în această evoluție. După descoperirea razelor X, radiologia dentară a avansat rapid datorită progreselor care au îmbunătățit calitatea imaginii, au redus timpii de expunere și au crescut aplicabilitatea clinică. Deoarece tehnicile radiografice au permis evaluarea obiectivă a morfologiei craniofaciale, a relațiilor dentare și a modificărilor asociate creșterii, acestea au devenit esențiale pentru diagnosticul ortodontic și planificarea tratamentului. Metodele analogice bazate pe film au fost înlocuite de radiografia digitală și ulterior de modalități imagistice tridimensionale (3D), precum tomografia computerizată cu fascicul conic (CBCT), care oferă o vizualizare anatomică superioară comparativ cu proiecțiile 2D tradiționale, dar care implică expunere la radiații și necesită o indicație atent justificată.

Datorită capacității sale demonstrate de a evalua relațiile scheletale și dentare, de a susține evaluarea creșterii și de a contribui la predicția rezultatelor, cefalometria laterală a rămas esențială printre instrumentele tradiționale de imagistică ortodontică. Analiza cefalometrică, utilizată pentru prima dată într-o formă standardizată la începutul secolului al XX-lea, a permis profesioniștilor din domeniul medical să coreleze tiparele de malocluzie cu structura craniofacială și să elaboreze planuri de tratament mai personalizate. Cu toate acestea, deoarece cefalogramele laterale reprezintă în mod inerent un complex anatomic tridimensional pe o imagine bidimensională, acestea prezintă limitări metodologice precum efectele de mărire, suprapunerea structurilor și identificarea inconsistentă a reperelor anatomice. Aceste limitări pot influența acuratețea diagnosticului și au determinat dezvoltarea unor tehnici digitale complementare de procesare și a strategiilor de imagistică tridimensională. Datorită acoperirii extinse a structurilor maxilofaciale, dozei relativ scăzute de radiații și achiziției eficiente, radiografia panoramică (ortopantomografia, OPG) este frecvent utilizată în stomatologia și ortodonția de rutină. Atunci când poziționarea pacientului este optimă, aceasta poate furniza informații verticale și angulare utile clinic, pe lângă o imagine de ansamblu practică a dentiției și a structurilor de susținere. Cu toate acestea, distorsiunile, neclaritățile, variabilitatea măritii și artefactele (precum imaginile fantomă) pot afecta, de asemenea, imagistica panoramică, îngreunând interpretarea și reducând acuratețea anumitor

măsurători, în special a dimensiunilor orizontale. Din acest motiv, OPG este adesea considerată suplimentară, mai degrabă decât concluzivă, pentru evaluarea scheletală detaliată, iar indicarea prudentă rămâne esențială.

Un alt progres semnificativ în imagistica ortodontică este tranziția de la fluxurile de lucru manuale la cele computerizate și automatizate. Trasarea cefalometrică convențională a crescut vulnerabilitatea la erori legate de oboseală și la variabilitatea inter- și intra-examinator, deoarece necesita identificarea și măsurarea manuală laborioasă a reperelor anatomice. Prin îmbunătățirea imaginii, posibilitatea de mărire, șabloane standardizate de analiză, calculul mai rapid al parametrilor unghiulari și liniari, arhivarea simplificată și partajarea facilă, sistemele digitale de cefalometrie și software-ul specializat au crescut eficiența și ușurința în utilizare, susținând atât îngrijirea clinică, cât și cercetarea. Cu toate acestea, întrucât acuratețea depinde în continuare de calitatea adecvată a imaginii, de competența operatorului și de verificarea corectă a reperelor, aceste avantaje nu elimină necesitatea supravegherii de către experți. Inteligența artificială (IA), care include învățarea automată și învățarea profundă, a fost utilizată din ce în ce mai frecvent în diagnosticul ortodontic în ultimii ani, în special pentru detectarea automată a reperelor și analiza cefalometrică accelerată. Sistemele bazate pe IA pot scurta timpii de analiză și pot reduce erorile cauzate de oboseala umană, îmbunătățind consecvența fluxului de lucru. Cu toate acestea, variațiile dintre platforme și posibila variabilitate a măsurătorilor între algoritmi evidențiază necesitatea ca clinicianul să evalueze critic rezultatele generate de IA. Prin urmare, dovezile disponibile în prezent susțin un model în care IA funcționează ca un element adjunct care îmbunătățește eficiența și standardizarea, mai degrabă decât să înlocuiască expertiza clinică și responsabilitatea profesională. În cele din urmă, adoptarea pe scară mai largă a stomatologiei digitale, incluzând sistemele CAD/CAM, scanarea intraorală și mediile digitale integrate de date, a promovat fluxuri de diagnostic mai cuprinzătoare care facilitează planificarea personalizată a tratamentului, o comunicare îmbunătățită cu pacientul și o execuție mai predictibilă. În ciuda acestor beneficii, utilizarea imagisticii în ortodonție necesită în continuare un proces decizional echilibrat, în special în ceea ce privește justificarea expunerii la radiații, securitatea datelor și responsabilitatea etică. Ghidurile moderne subliniază că radiografiile trebuie solicitate doar atunci când sunt necesare informații diagnostice suplimentare și trebuie să respecte principiul ALARA („as low as reasonably achievable”), în special în cazul pacienților tineri. Evaluarea integrată a ocluziei, a morfologiei craniofaciale și a relațiilor țesuturilor moi reprezintă fundamentul diagnosticului ortodontic modern și este, de regulă, susținută de radiografii,

examinare clinică, modele/turnări dentare și fotografii standardizate. Cefalogramele laterale și radiografiile panoramice (OPG), două dintre cele mai frecvent utilizate înregistrări radiografice, continuă să fie instrumente esențiale de screening care oferă date suplimentare pentru diagnostic și planificarea tratamentului. Creșterea digitalizării stomatologiei a influențat direct eficiența fluxului de lucru clinic și reproductibilitatea măsurătorilor ortodontice, modificând modul în care aceste înregistrări sunt obținute, procesate, stocate și interpretate.

Software cefalometric și sisteme de imagistică digitală — Trasarea manuală și procesarea pe bază de film au fost înlocuite treptat de sisteme digitale, deoarece acestea permit achiziția rapidă a imaginilor, îmbunătățirea acestora (de exemplu, ajustări ale contrastului și mărituri), calcule standardizate, precum și partajarea și arhivarea sigură. Prin oferirea unui mediu de învățare mai interactiv și reducerea sarcinii procedurale asociate trasării tradiționale, cefalometria digitală a crescut accesibilitatea atât pentru activitatea clinică, cât și pentru educație. Analiza cefalometrică digitalizată este esențială pentru monitorizarea modificărilor de creștere și a tratamentului în timp, deoarece accelerează generarea măsurătorilor și facilitează compararea radiografiilor seriate. În același timp, calibrarea digitală și instrumentele de măsurare bazate pe software au sprijinit utilizarea radiografiilor panoramice, care sunt larg utilizate datorită acoperirii anatomice extinse și dozei relativ scăzute de radiații. Deși imaginile OPG rămân predispuse la distorsiuni și limitări legate de tehnică, procesarea digitală poate reduce variabilitatea măsurătorilor și poate îmbunătăți standardizarea, în special pentru parametrii verticali și unghiulari. Aceste progrese susțin necesitatea clinică mai largă de instrumente de screening obiective și rapide în practica ortodontică.

Avantajele cefalometriei digitale față de tehnicile manuale — Din cauza variațiilor în identificarea reperelor anatomice și a calculului manual al parametrilor unghiulari și liniari, trasarea cefalometrică manuală este în mod inherent consumatoare de timp și susceptibilă la variabilitate inter- și intra-observator. Prin automatizarea calculelor și facilitarea manipulării imaginilor care poate îmbunătăți vizualizarea reperelor, analiza cefalometrică digitală reduce aceste constrângeri. Eliminarea procesării chimice, păstrarea pe termen lung a înregistrărilor fără deteriorarea filmului, duplicarea și transferul facil al datelor, precum și posibilitatea de a efectua mai multe analize pe o singură platformă reprezintă beneficii suplimentare. În ansamblu, aceste caracteristici reduc erorile sistematice și aleatorii asociate proceselor de măsurare și facilitează fluxuri de diagnostic mai fiabile. Cu toate acestea, identificarea corectă a reperelor anatomice rămâne esențială pentru acuratețea cefalometriei digitale. Prin urmare,

supravegherea profesională este în continuare necesară pentru a asigura o interpretare clinică validă, chiar și atunci când software-ul oferă calcule automatizate, în special în cazurile limită sau atunci când calitatea radiografică este suboptimală.

Acuratețea și fiabilitatea diagnosticului ortodontic digital — Conform datelor disponibile, majoritatea diferențelor raportate între metodele manuale și cele digitale sunt detectabile statistic, dar nu sunt semnificative clinic, ceea ce susține, în general, utilitatea clinică a cefalometriei digitale. Eficiența temporală, reducerea erorilor matematice și reproductibilitatea îmbunătățită prin măsurători repetate, atunci când este necesar, reprezintă principalele avantaje ale analizei digitale. Cu toate acestea, identificarea reperelor anatomice rămâne o sursă majoră de variabilitate, iar experiența operatorului, calitatea imaginii și abordarea algoritmică specifică a software-ului influențează toate fiabilitatea oricărei platforme digitale.

WebCeph și sisteme similare bazate pe inteligență artificială facilitează analiza cefalometrică și panoramică prin automatizarea calculului măsurătorilor și a detectării reperelor anatomice, permițând în același timp corecția de către clinician. Aceste instrumente ilustrează modul în care fluxurile de lucru diagnostice devin tot mai mobile și bazate pe cloud. În ciuda studiilor care arată o eficiență crescută și o acuratețe acceptabilă clinic, persistă variabilitatea pentru anumite repere, din cauza diferențelor dintre seturile de date și algoritmi. Ca urmare, sistemele bazate pe inteligență artificială ar trebui privite ca instrumente suplimentare care îmbunătățesc eficiența fluxului de lucru, dar care necesită în continuare validarea ortodontului. În ortodonție, inteligența artificială este aplicată în principal prin învățare profundă și învățare automată, în special pentru sarcini bazate pe imagini, precum detectarea reperelor anatomice. Deși acuratețea poate fi influențată de complexitatea anatomică și de factori legați de imagine, cefalometria asistată de inteligență artificială crește viteza și reproductibilitatea. Prin urmare, inteligența artificială rămâne un instrument de sprijin decizional, nu un înlocuitor al expertizei clinice.

Interpretarea radiografiilor panoramice cu ajutorul inteligenței artificiale — Datorită acoperirii anatomice extinse și dozei relativ scăzute de radiații, radiografia panoramică (OPG) este frecvent utilizată ca metodă imagistică de rutină. Cu toate acestea, interpretarea acesteia necesită experiență și concentrare prelungită, iar oboseala, calitatea inconstantă a imaginii și suprapunerea structurilor pot influența performanța. Sistemele bazate pe inteligență artificială au fost dezvoltate pentru a sprijini fluxurile de diagnostic de nivel screening, pentru a identifica restaurări dentare sau implanturi și pentru a detecta dinți incluși, printre alte aplicații. În plus, progresele recente indică o tranziție de la detecția de bază către suport clinic mai avansat (de

exemplu, predicția dificultății procedurale în anumite situații chirurgicale), demonstrând dezvoltarea mai largă a inteligenței artificiale în stomatologie și radiologie. În ciuda acestor evoluții, reprezentativitatea și calitatea adnotării datelor de antrenament continuă să determine calitatea rezultatelor generate de inteligența artificială. Prin urmare, interpretările automatizate ar trebui utilizate pentru a completa evaluarea profesională, nu pentru a o înlocui, în special atunci când este necesar un raționament clinic complex sau când rezultatele fals pozitive ori fals negative pot avea implicații clinice.

Securitatea datelor, aspecte clinice și etice — Integrarea inteligenței artificiale în diagnosticul ortodontic aduce noi obligații etice și profesionale. Responsabilitatea pentru judecățile clinice, riscul de a se baza excesiv pe rezultatele algoritmice și necesitatea unei comunicări deschise între clinicieni și pacienți cu privire la rezultatele susținute de inteligența artificială sunt factori importanți de luat în considerare. Atunci când sunt prezentate ca rezultate deterministe, și nu ca estimări probabilistice, simulările și predicțiile vizuale destinate pacienților pot influența neintenționat procesul decizional. În plus, guvernanta datelor este esențială pentru aplicarea etică a inteligenței artificiale. Deși seturile mari de date sunt adesea necesare pentru antrenarea fiabilă a modelelor, colectarea, stocarea și schimbul imaginilor medicale ridică probleme legate de consimțământul informat, confidențialitate și riscul de reidentificare. O altă provocare în mediile de îngrijire medicală avansate digital este securitatea cibernetică. Amenințări precum ransomware-ul, phishing-ul și accesul neautorizat pot compromite confidențialitatea pacienților și continuitatea operațională, pe măsură ce instituțiile ortodontice și academice se bazează tot mai mult pe sisteme interconectate. Prin urmare, respectarea legislației privind protecția datelor și implementarea unor măsuri solide de securitate cibernetică reprezintă componente esențiale ale unei practici ortodontice digitale sigure. Limitări și perspective viitoare — Deși inteligența artificială are un potențial considerabil de a îmbunătăți eficiența și standardizarea diagnosticului, aceasta prezintă în continuare limitări. Seturile de date mici sau părtinitoare, generalizabilitatea limitată între populații și natura inherent „cutie neagră” a unor modele de învățare profundă pot reduce performanța algoritmilor. În plus, abilitățile clinice centrate pe factorul uman, precum raționamentul contextual, considerațiile etice și comunicarea personalizată cu pacientul, nu pot fi replicate de inteligența artificială. Progresele viitoare vor necesita probabil studii riguroase de validare, o calitate și o diversitate mai bună a seturilor de date, ghiduri mai precise pentru definirea și raportarea reperelor anatomice, precum și cadre care să prioritizeze implementarea responsabilă a inteligenței artificiale sub supravegherea clinicianului.

Scanarea facială în diagnosticul ortodontic — Ortodonția modernă integrează din ce în ce mai mult instrumente digitale de documentare non-invazivă în fluxuri de lucru digitale extinse, pe lângă analiza radiografică susținută de inteligența artificială.

Partea specială — Contribuții personale

Unul dintre studiile publicate a evaluat rapoartele cefalometrice ale înălțimilor faciale și tiparele de creștere craniofacială într-o populație ortodontică. Analiza cefalometrică laterală asistată digital a fost utilizată pentru evaluarea relațiilor scheletale sagitale și verticale. Un accent deosebit a fost pus pe proporțiile înălțimilor faciale și corelația acestora cu diferite tipare de creștere și clasificări dentoalveolare. Trasarea digitală asistată de inteligență artificială a fost utilizată pentru a îmbunătăți reproductibilitatea măsurătorilor și identificarea reperelor anatomice. Au fost analizate relațiile dintre direcția de creștere mandibulară, rapoartele înălțimilor faciale și înălțimile faciale anterioare și posterioare, subliniindu-se importanța analizei proporționale în diagnosticul ortodontic. Rezultatele validează aplicabilitatea rapoartelor înălțimilor faciale ca indicatori obiectivi ai tiparelor de creștere verticală în practica clinică. De asemenea, concluziile evidențiază necesitatea integrării parametrilor verticali și sagitali în planificarea terapeutică comprehensivă, confirmând valoarea cefalometriei digitale ca instrument diagnostic fiabil și eficient în ortodonția modernă.

Un alt studiu publicat a evaluat relația dintre măsurătorile digitale obținute din teleradiografii laterale și ortopantomografii în determinarea morfologiei mandibulare și a asimetriilor faciale. Studiul a urmărit să stabilească în ce măsură imagistica panoramică de rutină poate furniza informații clinice relevante atunci când este interpretată în corelație cu analiza cefalometrică laterală. Parametrii mandibulari angulari și liniari au fost analizați prin trasare digitală asistată de inteligență artificială în ambele modalități imagistice, cu accent pe măsurători relevante pentru evaluarea morfologică și screeningul asimetriilor. S-a evidențiat faptul că, deși radiografia panoramică poate oferi un suport fiabil pentru anumiți parametri angulari și verticali ai mandibulei, cefalometria laterală rămâne metoda de referință pentru evaluarea scheletală completă. Rezultatele susțin o strategie diagnostică complementară, în care interpretarea ortodontică și planificarea terapeutică necesită teleradiografia laterală, iar ortopantomografia contribuie la screening și la evaluări suplimentare ale morfologiei mandibulare.

Un alt studiu publicat recent a integrat analiza țesuturilor dure și moi într-un flux de lucru diagnostic asistat digital, destinat planificării ortodontice moderne. Studiul a subliniat faptul că

obiectivele actuale ale tratamentului ortodontic nu trebuie să se limiteze la corectarea ocluziei, ci să includă și evaluarea echilibrului țesuturilor moi și a esteticii faciale. Parametrii scheletali și dentari au fost analizați împreună cu indicatori relevanți ai profilului țesuturilor moi, utilizând analiza cefalometrică laterală asistată de inteligență artificială, pentru a evalua relațiile dintre aceștia și semnificația lor clinică. Analiza a evidențiat importanța unei abordări multiparametrice în diagnostic, subliniind necesitatea evaluării poziției incisivilor și a compensărilor dentoalveolare în raport cu profilul facial. Rezultatele susțin un cadru diagnostic integrat, în care instrumentele bazate pe inteligență artificială cresc eficiența și consistența măsurărilor, sub supraveghere clinică, iar evaluările scheletale, dentare și ale țesuturilor moi contribuie împreună la o planificare terapeutică personalizată, orientată estetic și stabilă funcțional.

Scanarea facială tridimensională avansată a fost analizată într-un alt studiu publicat, ca metodă non-invazivă de evaluare ortodontică. Prin utilizarea morfometriei faciale digitale și a evaluării reperelor țesuturilor moi craniofaciale, studiul a urmărit să sprijine planificarea tratamentului, monitorizarea creșterii și diagnosticul estetic în cadrul unui flux de lucru digital contemporan. Parametri antropometrici esențiali au fost obținuți prin scanări faciale 3D standardizate, iar corelațiile dintre dimensiunile și unghiurile faciale au fost investigate pentru a caracteriza mai precis relațiile cu semnificație clinică într-o populație ortodontică. Studiul a demonstrat că analiza facială tridimensională poate completa evaluarea radiologică tradițională prin furnizarea de informații obiective privind țesuturile moi. În ansamblu, rezultatele confirmă faptul că scanarea facială 3D poate fi utilizată în practica clinică drept metodă complementară, fără expunere la radiații, pentru documentarea proporțiilor faciale și a morfologiei țesuturilor moi, fiind deosebit de utilă pentru comunicare, monitorizare pe termen lung și planificare ortodontică personalizată, atât funcțională, cât și estetică.

Un alt studiu publicat a evaluat modificările scheletale, dentare și ale țesuturilor moi după intervenții de chirurgie ortognatică, utilizând evaluarea cefalometrică asistată digital. Cercetarea a urmărit cuantificarea modificărilor postoperatorii ale relațiilor craniofaciale și susținerea unei monitorizări structurate, bazate pe dovezi, a rezultatelor tratamentului ortodontico-chirurgical. Analiza cefalometrică digitală asistată de inteligență artificială a fost utilizată pentru evaluarea parametrilor esențiali legați de echilibrul scheletal sagital, compensările dentoalveolare și adaptarea profilului țesuturilor moi. Studiul a evidențiat importanța protocoalelor imagistice standardizate și a fluxurilor de măsurare consecutive pentru compararea obiectivă a înregistrărilor pre- și postoperatorii. În ansamblu, rezultatele

susțin valoarea clinică a planificării integrate ortodontico-chirurgicale și subliniază faptul că evaluarea cefalometrică rămâne o metodă practică pentru monitorizarea răspunsului combinat al țesuturilor dure și moi după intervențiile ortognatice, instrumentele digitale contribuind la creșterea eficienței și reproductibilității sub supraveghere clinică.

O altă investigație a utilizat ortopantomograme pentru evaluarea digitală a morfologiei mandibulare, cu accent pe simetria bilaterală și relațiile proporționale. Unghiurile goniace, înălțimile ramurilor mandibulare și dimensiunile transversale ale mandibulei au fost analizate prin trasare digitală și identificarea reperelor asistată de inteligență artificială. Obiectivul studiului a fost investigarea consistenței interne și a potențialei utilități clinice a măsurătorilor panoramice în diagnosticul ortodontic. A fost realizată o comparație bilaterală pentru a explora corelațiile de simetrie și tiparele structurale, sugerând potențialul imagisticii panoramice în evaluarea morfologică de rutină. În ciuda limitărilor în aprecierea transversală de înaltă precizie, rezultatele susțin integrarea ortopantomografiei ca metodă adjuvantă, cu iradiere redusă și accesibilitate crescută, pentru evaluarea parametrilor angulari și verticali ai anatomiei mandibulare. Analiza digitală asistată de inteligență artificială a demonstrat capacitatea de a standardiza măsurătorile, crescând acuratețea, reproductibilitatea și repetabilitatea evaluărilor în practica ortodontică.

Un studiu publicat recent a comparat rezultatele clinice postoperatorii cu rezultatele simulate preoperator pentru a evalua eficiența planificării virtuale digitale în chirurgia ortognată. În cadrul unui flux de lucru digital, cercetarea a analizat predictibilitatea repoziționării dentoscheletale și gradul de concordanță dintre modificările planificate și cele realizate clinic. Platformele digitale de planificare au demonstrat capacitatea de a îmbunătăți coordonarea interdisciplinară și precizia terapeutică prin evaluarea cefalometrică standardizată a parametrilor sagitali și verticali înainte și după intervenția chirurgicală. Studiul a subliniat importanța identificării repetabile a reperelor anatomice și a utilizării unor protocoale de măsurare structurate pentru validarea acurateței actului chirurgical. Concluziile arată că sistemele de planificare chirurgicală digitală pot fi utilizate eficient în tratamentul ortognatic, crescând predictibilitatea și facilitând comunicarea interdisciplinară, fără a diminua rolul esențial al expertizei clinice în procesul decizional.

În final, un studiu s-a concentrat în mod particular asupra amprentelor digitale intraorale ale arcadei complete și a investigat modul în care tehnica de scanare a influențat calitatea amprentelor digitale intraorale ale arcadei complete. Cercetarea a analizat impactul diferitelor strategii de segmentare și al tipurilor de mișcare utilizate în timpul scanării asupra preciziei și

eficienței colectării datelor digitale în practica clinică. Compararea metodelor de scanare a evidențiat importanța utilizării unor tipare standardizate de mișcare și a unor protocoale consecvente de achiziție în cadrul fluxurilor de lucru digitale. Studiul a subliniat relevanța selecției tehnicii de scanare pentru obținerea unei acurateți digitale optime, menținând totodată eficiența procedurală. În concluzie, rezultatele indică faptul că protocoalele de scanare trebuie simplificate și standardizate pentru a îmbunătăți acuratețea și fiabilitatea clinică în ortodonția și stomatologia restaurativă digitală contemporană.

Având ca obiectiv principal cefalometria laterală asistată digital, prezenta teză doctorală a investigat rolul tehnologiilor imagistice digitale în diagnosticul ortodontic modern. Rezultatele confirmă faptul că analiza cefalometrică laterală digitală rămâne o metodă validă și utilă pentru evaluarea morfologiei craniofaciale, a relațiilor dentoalveolare și a discrepanțelor sagitale și verticale. Integrarea software-ului asistat de inteligență artificială a îmbunătățit acuratețea, reproductibilitatea și eficiența măsurărilor, menținând totodată rolul esențial al expertizei clinice în validarea reperelor anatomice și interpretarea rezultatelor. Analiza ortopantomografică s-a dovedit a fi o metodă complementară utilă, în special pentru evaluarea morfologiei mandibulare și a parametrilor verticali. Deși nu poate înlocui cefalometria laterală în aprecierea scheletală completă, integrarea sa într-o abordare diagnostică combinată crește aplicabilitatea clinică, menținând în același timp un nivel redus al expunerii la radiații. Scanarea facială tridimensională a furnizat informații suplimentare privind țesuturile moi, sprijinind evaluarea estetică fără a modifica cadrul diagnostic principal. Originalitatea acestei teze constă în reafirmarea cefalometriei laterale asistate digital ca pilon metodologic solid și fundamentat științific al diagnosticului ortodontic, într-un context tot mai orientat către tehnologii avansate. Prin optimizarea imagisticii bidimensionale tradiționale prin fluxuri digitale și analiză asistată de inteligență artificială, studiul demonstrează că precizia diagnostică poate fi îmbunătățită fără a crește complexitatea clinică. Direcțiile viitoare de cercetare ar trebui să vizeze perfecționarea algoritmilor de identificare a reperelor bazată pe inteligență artificială, validarea protocoalelor digitale de suprapunere și integrarea mai amplă a modalităților imagistice complementare în sisteme diagnostice unificate. Cu toate acestea, chiar și într-un peisaj tridimensional aflat în continuă evoluție, cefalometria laterală asistată digital rămâne esențială pentru un diagnostic ortodontic și o planificare terapeutică fundamentate pe dovezi.