

Vers une médecine personnalisée par la prévention bucco-dentaire digitale

Ioana Porumb

Division de
Prévention en Médecine Dentaire
Université de Médecine et Pharmacie
“Iuliu Hatieganu”
Cluj-Napoca, Roumanie
porumb.ioana@umfcluj.ro
ORCID: 0000-0003-1097-4442

Marion Nigoghossian

Faculté de Médecine Dentaire
Université de Médecine et Pharmacie
“Iuliu Hatieganu”
Cluj-Napoca, Roumanie
marion.audr.nigoghossian@elearn.umfcluj.ro
ORCID : 0009-0003-6532-6933

Dhyâna Brou

Faculté de Médecine Dentaire
Université de Médecine et Pharmacie “Iuliu
Hatieganu”
Cluj-Napoca, Roumanie
brou.dhyana.gloria@elearn.umfcluj.ro

Camille Binoche

Cabinet Dentaire Pédodontie
Paris, France
camille.ceci.binoche@elearn.umfcluj.ro

Iulia Badea

Division de Prévention en Médecine Dentaire
Université de Médecine et Pharmacie
“Iuliu Hatieganu”
Cluj-Napoca, Roumanie
iulia.badea@umfcluj.ro
ORCID : 0000-0002-7022-5104

Bogdan Culic

Division de Propédeutique et Esthétique
Dentaire
Université de Médecine et Pharmacie “Iuliu
Hatieganu”
Cluj-Napoca, Roumanie
bculic@umfcluj.ro

Meda-Romana Simu

Division de Pédodontie
Université de Médecine et Pharmacie “Iuliu
Hatieganu”
Cluj-Napoca, Roumanie
romana.simu@elearn.umfcluj.ro

Résumé— En médecine dentaire, grâce au développement des flux de travaux numériques, une multitude de données est disponible, offrant des possibilités pour améliorer le diagnostic des patients. Une étude de cohorte prospective a été menée auprès de 24 volontaires afin d'évaluer la fiabilité du diagnostic des caries sur les modèles virtuels 3D, réalisée par des examinateurs avec différents degrés d'expérience

significatives ont été obtenues, avec des coefficients d'accord plus élevés pour les examinateurs ayant plus d'expérience clinique. La valeur maximale de 0.902 a été obtenue pour le coefficient Kappa pondéré de Cohen ($p < 0.001$). Ces résultats suggèrent que l'analyse des modèles virtuels 3D pourrait s'avérer très utile dans la prise en charge des patients selon des protocoles de prévention bucco-dentaire personnalisée.

Mots-clés— médecine dentaire personnalisée, modèles virtuels 3D, scanners intra-oraux, logiciels open-source.

clinique (étudiants en médecine dentaire, internes en dentisterie générale, chirurgiens-dentistes avec plus de 15 ans d'expérience en omnipratique). Les concordances inter- et intra-observateurs pour les données ordinales ont été évaluées à l'aide des coefficients kappa de Fleiss, les coefficients kappa de Cohen pondérés et des coefficients de corrélation interclasse. Des valeurs statistiquement

standard est réservé aux lésions amélaire localisées dans le 1/3 externe amélaire (fluorose, taches blanches, etc...). Dans le cas de MIH, le défaut de minéralisation s'étend jusque dans le 1/3 interne de l'émail. Un ajustement du protocole est alors nécessaire, impliquant une érosion et une infiltration en profondeur, grâce à une action mécanique (aéropolisseur à poudre d'oxyde d'aluminium). Malgré le manque de recul clinique, ce traitement semble offrir une solution à long terme, avec une bonne stabilité chromatique [7].

I. INTRODUCTION

Les chirurgiens-dentistes pourraient jouer un rôle clé dans l'évaluation des risques et le diagnostic précoce de certaines pathologies, contribuant ainsi à une médecine personnalisée, en utilisant des informations complémentaires aux analyses génétiques et aux prélèvements de salive. En médecine dentaire, grâce au développement des flux de travaux numériques, une multitude de données est disponible, offrant des possibilités pour améliorer le diagnostic des patients. Selon plusieurs études récentes, incluant notamment celle de notre équipe [1], le diagnostic sur les modèles virtuels 3D pourrait être plus précis que le diagnostic clinique, indépendamment de l'expérience clinique de l'examineur.

De plus en plus de logiciels sont désormais disponibles pour analyser des images 3D complexes, la plupart d'entre eux étant librement accessibles (open source) [2],[3],[4],[5],[6].

Les changements de couleur des tissus durs dentaires sont difficiles à diagnostiquer et les traitements minimalement invasifs impliquent des protocoles de diagnostic et de suivi uniformes.

Dans la prise en charge des cas d'hypominéralisation incisivo-molaire (MIH), une étape de déminéralisation superficielle est souvent requise pour atteindre une perméabilité maximale, en utilisant un acide chlorhydrique de concentration 15%. La lésion sera ensuite infiltrée avec une résine hydrophobe à faible viscosité (TEDGMA). Le seul produit disponible actuellement sur le marché pour cette utilisation est Icon® de DMG. Le protocole

II. MÉTHODES

A. Conception, cadre et considérations éthiques de l'étude

Une étude de cohorte prospective a été menée à la Faculté de Médecine Dentaire de l'Université de Médecine et de Pharmacie « Iuliu Hatieganu », à Cluj-Napoca, en Roumanie.

Toutes les procédures mises en œuvre dans le cadre de cette étude ont respecté les principes éthiques énoncés dans la Déclaration d'Helsinki. Une approbation par le Comité d'Éthique de l'Université de Médecine et de Pharmacie « Iuliu Hatieganu » (DEP125/20 avril 2023) a été obtenue. Les participants ont été informés de manière claire et détaillée sur les objectifs de la recherche, la nature des examens réalisés, ainsi que le droit de se retirer à tout moment sans préjudice. Un consentement éclairé, écrit et signé, a été obtenu pour chaque participant avant le début de la collecte de données.

B. Participants

Un total de 24 volontaires, sélectionnés parmi 60 internes en dentisterie générale et parmi 98 étudiants en troisième année de dentisterie, ont participé à cette étude. En fonction des dispositifs disponibles et au début de chaque séance, les participants ont été assignés à un type d'examen (parmi les quatre types testés) et à un examinateur parmi les 31 disponibles, répartis en trois niveaux d'expérience : (a) étudiants en troisième année de médecine dentaire ; (b) internes en médecine dentaire générale (avec 1-3 ans

d'expérience clinique en omnipratique) ; et (c) dentistes expérimentés (ayant plus de 15 ans d'expérience clinique en omnipratique). L'examineur a été sélectionné au hasard, après exclusion des évaluateurs ayant examiné le même patient ou ses modèles virtuels 3D au cours des trois derniers mois.

Les critères d'inclusion étaient les suivants : adultes volontaires, étudiants et internes en dentisterie générale à la Division de Prévention en Médecine Dentaire de l'Université de Médecine et de Pharmacie « Iuliu Hatieganu », Cluj-Napoca, Roumanie. Les enfants et les patients présentant des contre-indications au nettoyage professionnel n'ont pas été inclus dans cette étude. Les patients ont été préparés pour l'étude et examinés cliniquement selon la méthodologie International Caries Detection and Assessment System (ICDAS) [8] et/ou para cliniquement (scanners intra-oraux).

C. Nettoyage dentaire professionnel

Avant l'examen, toutes les dents ont été soigneusement nettoyées. Le nettoyage professionnel a été effectué à l'aide d'un aéropolisseur autoclavable à 135°C (Air flow → Handy 2+, EMS, Nyon, Switzerland) contenant du bicarbonate de sodium en poudre. Les restes de poudre ont été éliminés, en rinçant les dents à l'aide d'un jet d'eau pendant 5 secondes, à chaque fois.

D. Méthodes de diagnostic

1) Examen visuel (ICDAS)

Les examens cliniques ont été réalisés dans un cabinet dentaire, sous un éclairage approprié (25 000 lux fournis par la lampe de l'unité dentaire), une seringue à air, un miroir intra-oral plat et, si nécessaire, une sonde parodontale OMS. L'examineur clinique a évalué toutes les dents *in vivo* sur les surfaces humidifiées et séchées à l'air pendant 5 s, et les lésions ont été classées selon les critères ICDAS II [8], avec un code à deux chiffres comme critère de détection des caries coronaires primaires. Le premier chiffre est lié à la restauration des dents et comporte un code allant de 0 à 9. Le deuxième chiffre, compris entre 0 et 6, est utilisé pour coder les caries. Un pré-étalonnage de tous les examinateurs a été effectué de la manière suivante : un enseignant a assuré une formation sur les critères cliniques de l'ICDAS pour la détection des caries et sur l'enregistrement des scores cliniques correspondants. Cette formation comprenait un cours introductif en présentiel, détaillant les critères diagnostiques ICDAS, suivi d'une session pratique didactique. Lors de la partie pratique, cinq examens de patients ont été réalisés, permettant aux participants d'évaluer des lésions carieuses avec divers degrés de gravité et de cavitation.

2) Scanners Intra Oraux

Trois systèmes de scanners intra oraux (IOS) ont été utilisés pour enregistrer les images 3D des toutes les dents : Medit i500® (MEDIT Corp., Séoul, Republic of Korea), Virtuo Vivo® de Straumann et Omnicam® (Dentsply Sirona, Charlotte, NC, USA) version 4.5. Les paramètres de numérisation ont été réglés comme suggéré par le fabricant, en mode lumière bleue, avec un niveau de filtrage de 2 et une distance focale de 17 mm, dans un environnement sombre (sans éclairage de l'unité dentaire). Toutes les surfaces dentaires ont été séchées à l'air libre pendant 5 secondes avant le balayage numérique. Les scanners intra-oraux et les examens cliniques ont été réalisés lors du même rendez-vous. Les données des images 3D en couleur acquises ont été visualisées à l'aide du logiciel Exocad viewer (version 1.6.2/2021), comme le montre la figure 1. À l'instar de l'examen clinique visuel direct, les lésions ont été évaluées à l'aide de modèles virtuels tridimensionnels, classées selon les critères de l'ICDAS II, puis enregistrées sur une fiche ICDAS. Un intervalle de 3 mois s'est écoulé entre les examens cliniques et les évaluations des modèles

virtuels 3D par le même examinateur. Les scores attribués par chaque examinateur pour chacune des surfaces définies par l'ICDAS ont été rassemblés dans une base de données structurée, construite à l'aide Microsoft® Excel® pour Microsoft 365 MSO (Version 2306 Build 16.0.16529.20164), 64-bit.

E. Données manquantes

Seuls les cas complets ont été retenus pour l'analyse, c'est-à-dire, les cas pour lesquels les valeurs étaient enregistrées pour chaque surface ICDAS, avec une indication claire de l'examineur, de l'identifiant du patient, du niveau d'expertise de l'examineur et du type d'examen. Les volontaires dont l'évaluation clinique était manquante ont été exclus de toutes les analyses.

F. Analyse statistique

Les concordances inter-évaluateurs et intra-évaluateurs pour les données ordinales ont été mesurées à l'aide du coefficient kappa de Fleiss, le kappa de Cohen pondéré et du coefficient de corrélation interclasse, avec un intervalle de confiance à 95 %. En outre, un test statistique formel a été utilisé pour vérifier la signification des résultats. Les analyses suivantes ont été effectuées pour le même niveau d'expérience clinique et pour des niveaux d'expérience clinique différents, respectivement :

- Entre les techniques d'examen pour le même évaluateur (concordance intra-évaluateur) ;
- Entre les évaluateurs pour une même technique d'examen (concordance inter-évaluateurs)

Pour évaluer la concordance entre les différentes techniques d'examen réalisées par le même évaluateur, les tests suivants ont été effectués : tests de concordance intra-évaluateur des dentistes expérimentés pour Medit i500® en comparaison avec l'examen clinique ; tests de concordance intra-évaluateur des dentistes expérimentés pour Omnicam® en comparaison avec l'examen clinique. Des tests de concordance inter-évaluateurs ont été ensuite effectués pour la même technique d'examen, incluant des comparaisons entre évaluateurs de même niveau d'expérience, tant pour les dentistes expérimentés que pour les étudiants en médecine dentaire, spécifiquement avec l'Omnicam.

Les tests de concordance ont été réalisés séparément pour les dents frontales (11-13, 21-23, 31-33 et 41-43) et latérales (toutes les autres dents à l'exception des dents frontales) en raison des différences significatives de visibilité et de complexité de l'examen. Pour la même raison, des comparaisons ont été effectuées entre les puits et les fissures sur les surfaces lisses.

Afin de quantifier les scores des surfaces où des lésions carieuses ont été identifiées, le protocole suivant a été appliqué : une carie a été considérée si le dernier chiffre des scores ICDAS (examens cliniques et évaluation du modèle 3D) était ≥ 1 et ≤ 6 ; les caries non cavitaires à un stade précoce ont été considérées si le dernier chiffre des scores ICDAS était ≥ 1 et ≤ 3 . Le rapport de la présente étude a suivi les lignes directrices EQUATOR, en particulier la déclaration STROBE [9]. Les analyses statistiques ont été réalisées à l'aide de l'environnement R pour l'informatique statistique et les graphiques (R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria) version 4.3.1 en utilisant le package irr R

III. RÉSULTATS

La concordance intra-évaluateur a été évaluée séparément pour les zones frontales et latérales, sur des fiches ICDAS remplies selon l'examen clinique, et selon l'examen des modèles virtuels 3D visualisés à l'aide de logiciels open-source (fig.1).

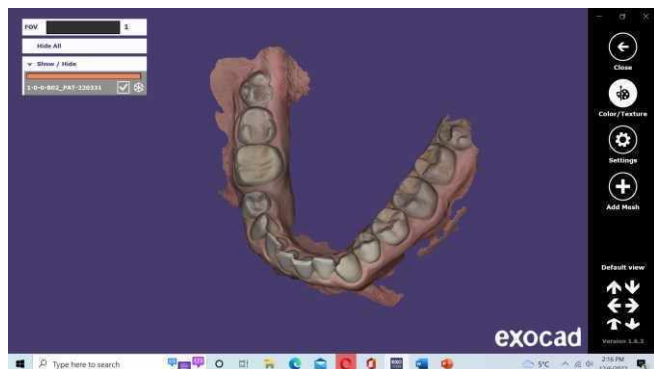


Fig. 1. Modèle virtuel 3D (PLY) ouvert dans un logiciel open-source

Les résultats obtenus pour le modèle 3D acquis par le scanner intra-oral Medit i500®, comparé au fichier ICDAS enregistré cliniquement, sont statistiquement significatifs ($p < 0.001$).

Un bon degré de concordance (> 0.5) a été observé pour les évaluations faites sur les surfaces lisses, non seulement pour la zone frontale, mais également pour la zone latérale. Les meilleures concordances ont été obtenues pour l'identification des caries sur toutes les dents et toutes les surfaces, pour les participants ayant une expérience clinique plus avancée (tableau no 1).

TABLEAU 1. ACCORD INTRA-EVALUATEUR ET INTER-EVALUATEUR POUR DIFFERENTS EXAMENS.

Test d'accord (TA)	Observations	Nombre d'observations	Kappa pondéré de Cohen	p-Value	Fleiss Kappa	p-Value	ICC (95% CI)	p-Value
TA intra-évaluateur pour Medit i500 avec examen clinique	Toutes les dents & toutes les surfaces	287	0.608	<0.001	0.58	<0.001	0.614 (95% CI 0.536–0.681)	<0.001
	Surfaces lisses	224	0.568	<0.001	0.597	<0.001	ICC = 0.543 (95% CI 0.444–0.629)	<0.001
TA Intra-évaluateur pour Omnicam® avec examen clinique	Toutes les dents & toutes les surfaces	288	0.863	<0.001	0.771	<0.001	0.921 (95% CI 0.902–0.937)	<0.001
	Surfaces lisses	224	0.663	<0.001	0.596	<0.001	0.704 (95% CI 0.631–0.764)	<0.001
TA inter-évaluateur pour les dentistes seniors avec Omnicam®	Toutes les dents & toutes les surfaces	288	0.902	<0.001	0.809	<0.001	0.959 (95% CI 0.948–0.967)	<0.001
	Surfaces lisses	224	0.748	<0.001	0.597	<0.001	0.856 (95% CI 0.817–0.888)	<0.001

CI, intervalle de confiance ; ICC, coefficient de corrélation inter-classe.

IV. DISCUSSIONS

Le suivi de l'évolution des lésions carieuses initiales, ainsi que le suivi des résultats de la thérapie de reminéralisation, restent en grande partie dépendant de l'examineur. Toutefois, cliniquement, la plupart des patients présentent une rémission ou une stagnation des caries non cavitaires à la suite de protocoles intensifs et répétés.

Une évaluation objective de la surface des lésions carieuses débutantes permettrait d'améliorer l'observance des patients. À terme, cela permettrait aussi l'utilisation de l'intelligence artificielle pour un suivi objectif des résultats, notamment dans la zone cliniquement visible, y compris du point de vue esthétique.

À partir des études antérieures menées par notre équipe [11], et en suivant la même méthodologie, il est possible d'évaluer la concordance intra et inter-évaluateurs concernant les mesures des dimensions de surfaces de récession gingivale. Celles-ci sont délimitées manuellement sur des modèles virtuels 3D par des examinateurs possédant 3 niveaux d'expérience clinique (étudiants, résidents et cliniciens avec plus de 15 ans d'expérience), à l'aide d'au moins 3 logiciels open source différents. Les modèles virtuels 3D seront obtenus par balayage intra-oral des arcades dentaires et de la gencive vestibulaire fixe de chaque patient. Des mesures cliniques peuvent également être effectuées au moyen d'une sonde parodontale sur un minimum de 3 points, et la surface de la zone de récession sera calculée. Un questionnaire pré-validé en 5 points peut être également utilisé pour évaluer la courbe d'apprentissage de chaque logiciel.

Le suivi de l'évolution de la parodontite marginale chronique, comme le suivi des résultats de la thérapie photodynamique au laser, reste encore largement tributaire de l'examineur [12],[13]. Cependant, cliniquement, la plupart des patients observent une rémission ou une stabilisation de la parodontite après la thérapie photo dynamique. Une évaluation objective des surfaces de récession gingivale permettrait d'améliorer l'observance des patients et, à l'avenir, d'envisager l'utilisation de l'intelligence artificielle pour un suivi objectif des résultats dans la zone cliniquement visible, notamment d'un point de vue esthétique.

L'analyse des modèles virtuels 3D pourrait être également très utile dans la prise en charge des cas d'hypominéralisation incisivo molaire. En effet, des études portant sur les propriétés structurales, mécaniques, chimiques, menées sur des dents humaines extraites, diagnostiquées cliniquement comme présentant une MIH, ont montré que ces dents ont des propriétés altérées [14].

Parmi ces observations, il convient de noter :

- Une diminution de la qualité et la quantité de minéraux (moins de calcium et phosphore). Le phosphore étant un minéral essentiel à l'assimilation du calcium, ces deux minéraux sont indissociables pour assurer une bonne minéralisation, chacun permettant la fixation de l'autre, et inversement.
- Une réduction significative de la densité minérale de 19 à 20%, comparé à un émail sain.
- Une diminution de la dureté et du module d'élasticité de l'émail, rendant celui-ci moins résistant, plus cassant, et responsable de fractures post-éruptives, ainsi que d'hypersensibilité.
- Une augmentation de la porosité, altérant la couleur de l'émail et le rendant plus vulnérable aux attaques bactériennes.
- Une concentration accrue de carbone et de protéines, élargissant la zone interprismatique, ce qui entraîne une diminution du coefficient d'adhésion, rendant l'émail plus difficile à traiter.

L'utilisation de logiciels open-source pour l'analyse détaillée des modèles virtuels 3D est une option envisageable [15], particulièrement dans le contexte actuel où la nécessité de protocoles de prophylaxie bucco-dentaire personnalisée est de plus en plus reconnue [14],[16].

Les trois systèmes de numérisation intra-orale étudiés (Medit i500®, Virtuo Vivo®, Omnicam®) présentent des caractéristiques distinctes pouvant influencer leur choix en pratique clinique.

Le Medit i500® utilise les technologies de lumière structurée et de vidéo 3D-in-motion. Cet appareil à embout fin offre une

précision élevée. En effet, la justesse est de $25.2 \mu\text{m} \pm 7.3 \mu\text{m}$ de déviation standard (17)(18). La différenciation des tissus mous, les dents et le tartre se fait grâce à deux caméras haute vitesse.

La technologie de balayage du Virtuo Vivo® se base sur le principe de stéréoscopie multi-modules. Conçue de manière ergonomique, la pièce à main compacte et légère garantit un confort optimal pour le patient (19). Seules quelques études ont été menées sur le scanner intra-oral Virtuo Vivo (20). Cependant, une justesse de $52 \mu\text{m}$ a été rapportée (21).

Tout comme le Virtuo Vivo®, le Omnicam® reste l'un des scanners intra oraux les plus compacts du marché, ce qui le rend très facile à manipuler(22). Ce système repose sur les technologies de lumière structurée, triangulation optique, et microscopie confocale. Sa justesse est évaluée à $57.5 \mu\text{m} \pm 3.2 \mu\text{m}$ de déviation standard (17).

Ces trois systèmes possèdent une capacité de numérisation sans poudre. Leur gamme de prix varie selon les pays et selon les distributeurs d'équipements médicaux.

Enfin, ces modèles de scanners intraoraux évalués dans cette étude appartenaient à des générations similaires d'un point de vue technologique. Ceci pourrait expliquer l'absence de différences statistiquement significatives entre les examens visuels cliniques et les examens réalisés sur les modèles virtuels 3D. Ces résultats sont cohérents avec les résultats obtenus lors d'études in vitro (23,24).

V. CONCLUSIONS

L'évolution des flux de travaux numériques permet aux dentistes d'améliorer la précision des diagnostics, de mieux orienter les choix thérapeutiques et de mettre en place des protocoles dentaires préventifs personnalisés pour fidéliser les patients.

La prévention dentaire, dans sa globalité, tire parti du diagnostic précoce. Celui-ci peut être optimisé par des flux numériques intégrés, utilisant des modèles virtuels 3D (fichiers .obj et .ply) issus de scanners intra-oraux. Ces images 3D en couleur permettent de détecter et de suivre l'évolution des lésions carieuses dès les premiers stades.

REMERCIEMENTS

Nous remercions les étudiants impliqués dans le "Groupe Scientifique" au sein de la Division de Prévention en Médecine Dentaire de UMFH : Marion Nigoghossian, Henri Bouteiller, Pierre-Marc Caillaud, Robustelli Benjamin, Louis Briau, Nussli Alissa, Anne Daniel, Dhyâna Brou, Eugene Astruc, Andra Gabriela Nicoara, Rebeca-Valeriana Sandru. Cet article s'inscrit dans la continuité du travail réalisé dans le cadre du projet de financement interne UMF nr 35196/17.12.2021, dont les résultats ont été présentés et ont obtenu des prix lors de congrès et conférences internationaux.

REFERENCES

- [1] Porumb, I.; Leucuta, D.-C.; Nigoghossian, M.; Culic, B.; Lucaciu, P.O.; Culic, C.; Badea, I.C.; Leghezeu, A.-N.; Nicoara, A.G.; Simu, M.-R. Caries Lesion Assessment Using 3D Virtual Models by Examiners with Different Degrees of Clinical Experience. *Medicina* **2023**, *59*, 2157. <https://doi.org/10.3390/medicina59122157>
- [2] <https://www.meshlab.net>
- [3] <https://meshmixer.com>
- [4] Open3D – A Modern Library for 3D Data Processing. (s. d.). <https://www.open3d.org/>
- [5] Download — blender.org
- [6] FreeCAD: Your own 3D parametric modeler
- [7] Brescia AV, Montesani L, Fusaroli D, Docimo R, Di Gennaro G. Management of Enamel Defects with Resin Infiltration Techniques: Two Years Follow Up Retrospective Study. *Children (Basel)*. 2022 Sep 8;9(9):1365. doi: 10.3390/children9091365. PMID: 36138674; PMCID: PMC9497803.
- [8] Dikmen, B. ICDAS II Criteria (International Caries Detection and Assessment System). *J. Istanbul Univ. Fac. Dent.* 2015, 49, 63. [Google Scholar] [CrossRef] [PubMed]
- [9] Transparent Reporting of a Multivariable Prediction Model for Individual Prognosis or Diagnosis (TRIPOD): The TRIPOD Statement| EQUATOR Network. Available online: <https://www.equator-network.org/reporting-guidelines/tripod-statement/>
- [10] R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing; Institute for Statistics and Mathematics Wirtschaftsuniversität: Wien, Austria, 2023. [Google Scholar]
- [11] Chifor I, VÁZQUEZ PAZ E-A, VÁZQUEZ L, NAP AI, ROTARU DI, CULIC C, SIMU M-R, BADEA A-F, RODRIGUEZ-CAL I- "Mathematical Modelling for Optimized Implantology Procedures"- "6th Edition of International Conference on Dentistry and Oral Health (ICDO 2022)", August 11-12, 2022 <https://dental-conferences.magnusgroup.org/speaker/chifor-ioana>
- [12] Handelman CS, Eltink AP, BeGole E. Quantitative measures of gingival recession and the influence of gender, race, and attrition. *Prog Orthod*. 2018 Jan 29;19(1):5. doi: 10.1186/s40510-017-0199-4. PMID: 29376198; PMCID: PMC5787531.
- [13] Shafae, Hooman et al. "The effects of low-level laser therapy and photodynamic therapy on oral health of fixed orthodontics patients. A systematic review and meta-analysis." *Photodiagnosis and photodynamic therapy* vol. 44 (2023): 103759. doi:10.1016/j.pdpdt.2023.103759
- [14] Bekes K, Steffen R, Krämer N. Update of the molar incisor hypomineralization: Würzburg concept. *Eur Arch Paediatr Dent*. 2023 Dec;24(6):807-813. doi: 10.1007/s40368-023-00848-5. Epub 2023 Oct 19. PMID: 37856065; PMCID: PMC10657291.
- [15] Jungherr, A., & Schlarb, D. B. (2022). The extended reach of game engine companies: How companies like Epic Games and Unity Technologies provide platforms for extended reality applications and the metaverse. *Social Media + Society*, 8(2), 205630512211076. <https://doi.org/10.1177/20563051221107641>
- [16] Jain N, Dutt U, Radenkov I, Jain S. WHO's global oral health status report 2022: Actions, discussion and implementation. *Oral Dis*. 2024 Mar;30(2):73-79. doi: 10.1111/odi.14516. Epub 2023 Feb 5. PMID: 36680388.
- [17] Nulty A. A Comparison of Full Arch Trueness and Precision of Nine Intra-Oral Digital Scanners and Four Lab Digital Scanners. *Dent J*. 2021 Jun 23;9:75.
- [18] L'entrée en douceur dans la dentisterie numérique - Medit i500 [Internet]. Straumann group - Digital Solutions; Available from: https://www.straumann.com/content/dam/sites/straumann/fr/news/digital-solution/Brochure%20490.676-fr_FR_low.pdf
- [19] Caméra intra orale Virtuo Vivo - Facile pour vous. Confortable pour votre patient. [Internet]. Straumann; Available from: https://www.straumann.com/content/dam/media-center/digital/fr/documents/brochure/product-information/490.710-fr_low.pdf
- [20] Janosi K, Cerghizan D, Bai E, Mureşan I, Kovács A, Szász A, et al. An Evaluation of the Accuracy of Digital Models—An In Vitro Study. *Dent J*. 2024 Sep 29;12:313.
- [21] Diker B, Tak Ö. Comparing the accuracy of six intraoral scanners on prepared teeth and effect of scanning sequence. *J Adv Prosthodont*. 2020 Oct 1;12:299.
- [22] CEREC - Solutions numériques pour les soins dentaires [Internet]. Dentsply Sirona; Available from: https://www.dentsplysirona.com/content/dam/flagship/fr_fr/explore/cerec/brochure/FR-19-03-2021-M43-C237-01-7700-brochure-CEREC.pdf.coredownload.pdf
- [23] Róth I, Czizola A, Fehér D, Vitai V, Joós-Kovács GL, Hermann P, Borbély J, Vecsei B. Digital intraoral scanner devices: a validation study based on common evaluation criteria. *BMC Oral Health*. 2022 Apr 26;22(1):140. doi: 10.1186/s12903-022-02176-4. PMID: 35473932; PMCID: PMC9044896.
- [24] Aung HMM, Linn TY, Lee WF, Chao JC, Teng NC, Renn TY, Chang WJ. Accuracy of intraoral scanners in maxillary multiple restorations: An in vitro study. *J Dent Sci*. 2024 Dec;19(Suppl 2):S116-S121. doi: 10.1016/j.jds.2024.07.016. Epub 2024 Jul 27. PMID: 39807255; PMCID: PMC11725155