

**UNIVERSITY OF MEDICINE AND PHARMACY
“VICTOR BABEȘ” FROM TIMISOARA FACULTY
OF DENTAL MEDICINE**

Department III - PROSTHETIC REHABILITATION AND IMPLANTS

BORȘANU IOAN ACHIM



DOCTORAL THESIS

**INNOVATIVE PASSIVATION METHODS FOR
IMPLANTSUPPORTED RESTORATION**

A B S T R A C T

Doctoral supervisor :

PROF. Dr. BRATU EMANUEL-ADRIAN

Timișoara

2026

A B S T R A C T

1. INTRODUCTION

Dental implant restorations represent the current therapeutic standard in the rehabilitation of partial and total edentulism, based on the biomechanical principle of direct force transmission to the bone substrate, in the absence of the periodontal ligament. In this context, the precision of adaptation at the implant-abutment-superstructure interface is not only a technical requirement, but a critical parameter with a direct impact on peri-implant homeostasis and the longevity of the system under functional load.

The concept of passive fit describes that state of biomechanical equilibrium in which the restoration is inserted on the prosthetic elements without inducing residual static stresses following screw tightening. In practice, this concept is intrinsically linked to the management of micro-gap phenomena, cumulative geometric tolerances and elastic deformations of the components. Although the specialized literature frequently invokes passivity as a determining factor of success, its clinical definition and quantification remain problematic. The lack of a terminological consensus means that therapeutic decisions are often based on indirect indicators, such as clinical screw strength tests or subjective radiographic assessments, which can mask stresses capable of generating marginal bone resorption or catastrophic mechanical failures.

Current data reveal that final passivity is the result of a “chain of errors” that can accumulate during the work stages: from implant position transfer (where we witness a competition between splinted analog impression and intraoral scanning), to laboratory processing and CAD/CAM production. If in short-span scenarios digital workflows demonstrate high reproducibility, in complex configurations — such as full-arch rehabilitations with angulated implants — stitching errors and milling system tolerances can compromise passive retention. Although the technical literature describes advanced instrumental methods (microCT or stress analysis), these remain predominantly segregated in the field of in vitro research, there being an acute need for standardized clinical protocols, capable of correlating “misfit” with real biological prognosis.

The current paradox of the field lies in the lack of universally accepted clinical tolerance thresholds, reproducibly correlated with long-term complications. The reported empirical values (of the order of $\sim 150\text{ }\mu\text{m}$) do not solve the problem of comparability between different CAD/CAM ecosystems. Moreover, major inconsistencies appear between the way discrepancies are measured and their clinical interpretation. In this context, the present research aims to clarify the performance of digital workflows in demanding prosthetic scenarios, while investigating the potential for simplifying prosthetic interfaces.

The thesis entitled "Innovative Passivation Methods for Implant-Supported Restorations" aims to approach passivity as a dynamic parameter, resulting from the interaction between three fundamental pillars: (i) the accuracy of state-of-the-art digital transfer, (ii) the optimization of interface design by exploring the "coping-free" concept (elimination of PKT intermediate metal interfaces) and (iii) the biomechanical behavior of segmented full-arch structures.

The originality of the theme derives from the hypothesis that the integration of a rigorously controlled CAD/CAM flow allows for superior passive adaptation even in the absence of traditional metal compensation components, thus providing an optimized emergence profile and superior bone stability. The paper is structured to provide a coherent response to the need for correlation between workflow decisions and quantifiable clinical outcomes, while proposing an original protocol for digital radiographic monitoring of prosthetic interfaces.

2. PURPOSE AND OBJECTIVES OF THE THESIS

2.1 Research purpose

The aim of this doctoral thesis is to develop an optimized methodological framework for achieving passive adaptation in complex implant-prosthetic rehabilitations. The research aims to analyze the multidimensional variables that determine clinical success, from the precision of digital transfer technology to the architecture of the prosthetic interface, in order to establish predictable protocols that ensure biomechanical stability and longevity of restorations.

2.2 General and specific objectives

General objective: Comparative evaluation and optimization of passivation strategies by integrating advanced digital workflows and innovative prosthetic design, aiming to minimize static stresses and improve the mechanical behavior of partial and full implant restorations.

Specific objectives:

1. Comparative analysis of positional transfer fidelity: Evaluation of the impact of conventional impression techniques (closed/open circuit) versus intraoral scanning (IOS) on the geometric accuracy of the final model and the passivity of prosthetic structures.
2. Biomechanical validation of the "Coping-Free" concept: Investigation of the mechanical performance (torque resistance and compressive loading) and clinical stability of screwretained zirconia restorations, by comparing the traditional metal-to-metal interface (PKT) design versus the direct (monolithic) design, for the optimization of the emergence profile.
3. Clinical feasibility assessment in extensive rehabilitations: Investigating the predictability of the restoration concept without metal intermediate components in the case of complex segmented full-arch architectures, analyzing the incidence of "screw loosening" complications.
4. Development of an original metric monitoring protocol: Implementation of a reproducible methodology for digital analysis of radiographic images (through metric calibration) for the objective quantification of marginal adaptation over time.
5. Substantiation of a decision-making algorithm: Integrating clinical and experimental data into a structured approach, intended to guide the selection of prosthetic design according to the biomechanical complexity of the case, to ensure a sustainable passive adaptation .

3. THESIS STRUCTURE

The doctoral thesis entitled "Innovative Passivation Methods for Implant-Supported Restorations" is developed in accordance with the academic norms in force, being structured in two complementary parts, preceded by administrative sections (List of scientific papers, Abbreviations, List of figures and tables) and concluded with the synthesis of conclusions and reference bibliography.

General Part. This section (Chapters 1–3) constitutes the theoretical and methodological foundation of the work, analyzing the specialized literature to identify the gaps that justify the experimental approach:

- Chapter 1: Analyzes the evolution of the concept of passive fit and the biomechanical impact of "misfit" on the bone-implant interface, highlighting the correlation between static stresses and the risk of iatrogenic peri-implantitis.
- Chapter 2: Synthesizes the determinants of passivity, from prosthetic connection architecture and infrastructure biomaterials, to critical variables of CAD/CAM workflows.

- Chapter 3: Conducts a critical inventory of adaptation assessment methods, contrasting traditional clinical methods with emerging technologies (AI, OCT, and finite element analysis - FEA).

Special Part (original). The core of the thesis (Chapters 4–8) documents the actual research activity, being structured on three interconnected experimental and clinical directions:

- Chapter 4: Defines the rigorous framework of the research, including the working hypotheses, ethical protocols, and the design of the three integrated studies.
- Chapter 5 (Study 1): Comparative clinical study between conventional impression taking and intraoral scanning, evaluating the predictability of positional transfer in terms of clinical passivity.
- Chapter 6 (Study 2): Analysis of the mechanical and clinical performance of the “copingfree” concept. Screw-retained zirconia restorations are evaluated, comparing the PKT interface design to the monolithic one, through overtorque and compressive loading resistance tests.
- Chapter 7 (Study 3): Extends the validation of the prosthetic simplification concept to segmented full-arch rehabilitations, implementing an original protocol for digital radiographic assessment of interface stability.
- Chapter 8: Synthesizes the data through a cross-sectional interpretation of the results, highlighting the clinical relevance of the proposed algorithms and the methodological limitations assumed .

The thesis culminates with the General Conclusions section, which highlights the original contributions to the progress of the field, followed by the selective bibliography and annexes containing articles published in extenso in specialized journals.

4. MATERIALS AND METHODS

4.1. General framework, data source and ethical considerations

The research integrates a hybrid approach, combining retrospective clinical analysis with in vitro experimental validation. To ensure data reproducibility, all clinical cases were selected from the same reference center, using uniform diagnostic, treatment and laboratory protocols.

- Ethics: The study was approved by the Ethics Committee of the UMFT (No.

16/21.01.2025), respecting the Declaration of Helsinki, with full anonymization of data and obtaining informed consent.

- Data source: Digital clinic archive, patient records and agreements, and radiographic databases (2019–2025).

4.2. Study 1 – Comparison of conventional versus digital impression in fixed implant restorations

The objective of this first study was to evaluate the impact of impression technology on achieving passive adaptation in fixed implant-retained restorations.

4.2.1. Study design and group selection

The research is designed as a retrospective comparative clinical study on consecutive cases. The experimental group included 40 patients (n=40), equally divided into two study groups, depending on the transfer protocol used:

- Group A (Analog, n=20): Transfer of implant position using conventional techniques.
- Group B (Digital, n=20): Intraoral scanning (IOS) transfer.

4.2.2. Eligibility criteria and operating protocol

To ensure data comparability, strict inclusion criteria were applied:

- Inclusion: Adult patients, minimum two integrated implants requiring bonded restorations, stable bone support, minimum recall of 12 months.
- Exclusion: Total edentulism, severe parafunctions (uncontrolled bruxism), limitations of oral cavity opening, incomplete radiographic documentation.

Working protocols:

- Conventional Method (Gold Standard): Use of open-tray or closed-tray techniques with high-precision elastomeric materials (PVS/Polyether). Intraoral splinting of the transfer copings was practiced to minimize distortions.
- Digital Method (Innovation): Intraoral scanning using system-specific scan-bodies and STL file generation, followed by a full CAD/CAM workflow.

4.2.3. Research variables and clinical endpoints

The evaluation of passivity and efficiency was carried out through the following parameters:

- Passivity Analysis: Detection of misfits through the Sheffield Test (one-screw test) and radiographic confirmation of prosthetic stay on the implant/abutment.
- Procedural Efficiency: Monitoring of clinical time allocated to impression taking (chairside time).

- Subjective Indicators: Evaluation of the patient's experience (comfort, gag reflex) using visual analog scales (VAS).

4.2.4. Statistical methodology

The data were statistically analyzed to identify significant differences between the two streams. The significance threshold was set at $p < 0.05$, using comparison tests adapted to the data distribution, to validate the hypothesis of superiority or non-inferiority of the digital stream in achieving passivity.

4.3. Study 2 – Validation of the “Coping-Free” Concept: Comparative, Clinical and Experimental Analysis of Screw-Retained Zirconia Restorations

This study investigates the impact of eliminating the intermediate metal interface (PKT/coping) on the marginal stability and mechanical strength of zirconia partial restorations.

4.3.1. Research design: Mixed approach (In Vivo & In Vitro)

The study is structured on two complementary coordinates to provide a complete picture of the behavior of biomaterials and the proposed design:

1. Clinical Component (Retrospective): Monitoring of 20 implant restorations (period 2019–2025), with a follow-up of up to 5 years. The batch was divided into:
 - PKT Group: Traditional metal interface restorations.
 - Non-PKT (Coping-Free) Group: Directly screwed monolithic zirconia restorations.
2. Experimental Component (In Vitro): Testing on laboratory models to determine structural strength limits.

4.3.2. Evaluation Methodology and Innovation "ImageJ"

- Clinical Protocol: Semi-annual and annual monitoring of the stability of the screw-implant joint, the integrity of the ceramic (identification of chipping or fracture phenomena) and assessment of patient satisfaction through VAS scales.
- Digital Metric Analysis (Original): To eliminate the subjectivity of radiographic interpretation, a measurement protocol was implemented in ImageJ software. Individual image calibration was performed by referencing a known standard (Bredent SKY implant platform diameter of 4.0 mm), allowing automatic pixel-mm conversion and accurate quantification of the marginal gap.

4.3.3. Mechanical testing under controlled loads

Validation of resistance in the absence of PKT was performed by:

- Torque Resistance: Application of a controlled torque of 30 Ncm (50% exceeding the standard recommendation of 20 Ncm) to assess the stability of the connection and the risk of platform deformation.
- Static compressive loading: Application of progressive axial forces to simulate masticatory overload conditions and identify the structural fracture threshold.

4.3.4. Statistical analysis and primary endpoint

The primary endpoint of the study was defined by the marginal gap value. Data processing was performed in the JASP and StatsKingdom platforms, using normality tests (Shapiro-Wilk) and intergroup comparison tests (t-test / Mann-Whitney), at a significance threshold of $p < 0.05$.

4.4. Study 3 – Extension of the “cap-free” concept to segmented full-arch restorations (with/without PKT)

This study represents the extended clinical validation stage, investigating the feasibility and predictability of eliminating intermediate metal interfaces in full-arch reconstructions.

4.4.1. Study design and group selection

The research is designed as a retrospective observational clinical study, focused on analyzing the medium-term performance of full *-arch restorations* made using CAD/CAM digital flow in zirconia.

- Prosthetic configuration: Exclusively segmented structures were included (avoiding the monobloc design for superior biomechanical control).
- Clinical sample: 20 complex cases, distributed in:
 - PKT Group (n=10): Total rehabilitation with metal support infrastructure.
 - Non-PKT Group (n=10): Total rehabilitations using the innovative “cap-free” design.

4.4.2. Monitoring protocol and prosthetic endpoints

Post-insertion follow-up (minimum 12 months) aimed at early detection of any loss of passivity by recording critical prosthetic events:

- Connection stability: Monitoring the incidence of screw loosening and the need for reinterventions to re-tighten to nominal torque.
- Structural integrity: Clinical inspection to detect micro-fractures or patient-reported instability.
- Occlusal dynamics: Recording any need for occlusal adjustment correlated with the stability of the prosthetic position.

4.4.3. Imaging audit and passivity indicators

Radiographic evaluation (periapical and panoramic) served as an audit tool to maintain the continuity of the implant-abutment-restoration interface:

- Qualitative analysis: Identification of radiolucent lines suggestive of an incomplete seating error or a misfit occurring under functional load.
- Peri-implant stability monitoring: Indirect tracking of marginal bone level as an indicator of the absence of harmful static stresses.

4.4.4. Data analysis

The interpretation of the results aimed to establish a correlation between the absence of intermediate metal components and the frequency of technical incidents, evaluating whether the simplification of prosthetic design introduces additional risks in full-arch rehabilitations.

5. MAIN RESULTS

This section presents exclusively the original results obtained in the three studies included in the special part of the thesis. The results are structured according to the research directions, without extensive interpretations or comparisons with the specialized literature, these being addressed in the discussion chapters.

5.1. Study 1 – Conventional impression taking vs. digital impression taking: passivity and clinical effectiveness

The study included a total of 40 patients treated with fixed implant-supported restorations, distributed evenly into two groups according to the impression technique used: conventional impression (n = 20) and digital impression (n = 20). All cases analyzed were prosthetically completed and had a minimum clinical follow-up of 1 year, with no significant differences between groups in terms of restoration distribution or implant characteristics.

During the follow-up period, the prosthetic survival rate was 100% in both groups, with no major prosthetic failures requiring re-restoration. All restorations remained functional at the end of the observation period.

The clinical adaptation assessment highlighted differences between the two workflows:

- in the conventional group, 5 cases of prosthetic maladjustment were identified;
- In the digital group, 3 cases of prosthetic maladjustment were identified.

Radiographic confirmation of non-adaptation and positive Sheffield test were reported exclusively in the conventional group (3 cases with radiographic confirmation and 5 positive Sheffield tests), while no such situations were recorded in the digital group.

The analysis of the stages in which the non-adaptations were identified highlighted:

- in the conventional group:
 - 4 cases of non-adaptation in the provisional phase;
 - 1 case of non-adaptation upon delivery of the definitive restoration;
- in the digital group:
 - 3 cases of non-adaptation in the provisional phase; ◦ no case of non-adaptation to the final delivery.

Only one case in the conventional group required chairside adjustment upon delivery of the final restoration, while no case in the digital group required adjustments.

Table 5.1. Summary of prosthetic maladjustments according to impression technique

Indicator	Conventional impression (n=20)	Fingerprinting (n=20)
Total cases of non-adaptation	5	3
Radiographically confirmed maladjustments	3	0
Sheffield test positive	5	0
Chairside adjustments required	1	0
Non-adaptations to final delivery	1	0

Clinical efficiency and procedural time

The analysis of working time highlighted significant differences between the two flows: • conventional flow: average impression time 27.4 ± 3.1 minutes;

- digital flow: average fingerprinting time 13.2 ± 2.5 minutes.

The difference was statistically significant ($p < 0.001$). No repeat impressions were required in the digital group and no prosthetic adjustments were reported at final delivery.

Patient-reported outcomes (VAS)

Subjective assessment using the VAS scale revealed consistently higher scores in the digital group, especially for: • procedural comfort;

- reducing the nausea reflex;
- global acceptance of the treatment.

Satisfaction with the definitive restoration and masticatory function were high and comparable between the two groups, with no statistically significant differences for these variables.

The results indicate that both impression techniques allow for acceptable clinical fit, but digital flow was associated with a lower incidence of prosthetic maladjustments, the absence of radiographic confirmation of maladjustment, the elimination of the need for final adjustments, and significantly greater procedural efficiency. These differences support the role of digital impression as a favorable step in optimizing the passivity of implant-supported restorations.

5.2. Study 2 (Chapter 6). Screw-retained partial zirconia restorations: with PKT head vs. without PKT head (clinical and radiographic results)

The study included a total of 20 patients rehabilitated with implant-supported partial restorations, made as monolithic zirconia screw-retained restorations, distributed into two equal groups:

- Group A – restorations fabricated with PKT prosthetic head (n = 10);
- Group B – restorations fabricated without PKT prosthetic head (n = 10).

The clinical follow-up period ranged from 3 to 5 years, with no significant differences between groups in terms of follow-up duration.

During the observation period:

- The prosthetic survival rate was 100% in both groups;
- No catastrophic fractures of the restorations were recorded;
- No biological complications (peri-implantitis, pathological marginal bone loss) were observed.

The distribution of mechanical events was low and comparable between groups:

- In the PKT group, 1 case of loosening of the prosthetic screw was recorded, resolved by re-tightening;
- In the group without PKT, no mechanical events (screw loosening or prosthetic instability) were reported.

Evaluation of prosthetic adaptation was performed radiographically, through calibrated measurements in ImageJ, at a standardized torque of 30 N·cm.

- The PKT group presented a mean marginal gap of 0.289 ± 0.06 mm;
- The group without PKT presented a mean marginal gap of 0.183 ± 0.04 mm.

The difference between the two groups was statistically significant, confirmed by both parametric and non-parametric tests ($p < 0.01$), indicating a more precise prosthetic fit in the case of restorations without PKT.

Subjective assessment using the VAS scale revealed clear differences in favor of restorations without PKT:

- Mean VAS score PKT group: 8.2 ± 0.1 ;
- Average VAS score group without PKT: 9.3 ± 0.1 .

The differences were more pronounced for:

- aesthetic satisfaction;
- perception of emergence profile;
- ease of maintaining oral hygiene.

In vitro mechanical testing of PKT-free restorations demonstrated:

- tolerance to torques above recommended clinical values, without deformations or fractures;
- resistance to compressive loads >1200 N, above physiological masticatory values.

No relevant structural differences were observed indicating a mechanical vulnerability associated with removal of the PKT prosthetic head.

The results obtained show that:

- removal of the PKT prosthetic head does not compromise the mechanical or biological stability of screw-retained partial restorations;
- restorations without PKT showed superior prosthetic fit and higher VAS scores;
- The coping-free concept is clinically feasible and predictable under conditions of controlled digital flow.

5.3. Study 3 (Chapter 7) – prosthetic events and follow-up radiographic observations

The study included a total of 20 full-arch implant-supported restorations, realized with a segmented concept, fabricated from zirconia by digital CAD/CAM workflow. The cases were distributed into two equal groups, depending on the prosthetic configuration used: restorations with PKT prosthetic interface ($n = 10$) and restorations made without PKT ($n = 10$). The minimum clinical follow-up period was 12 months, with standardized post-insertion monitoring.

At the time of definitive insertion, clinical and radiographic fit was complete in all cases, regardless of the prosthetic configuration used. No radiographic discrepancies suggestive of major maladjustment were observed and no peri-implant biological complications were recorded in either group during follow-up.

The prosthetic events recorded were limited exclusively to loosening of the fixation screws, without the occurrence of infrastructure fractures, ceramic defects or the need for restorations to be remade. The distribution of these events revealed temporal differences between the groups:

- in the PKT group, 4 incidents were reported, with a median time to first event of 17 months;
- in the group without PKT, 5 incidents were reported, with a median time to first event of 26 months.

All incidents were asymptomatic, identified during maintenance checks, and were managed conservatively by re-tightening the screws to standardized torque, with no consequences on the biological or functional stability of the restorations.

Radiographic evaluation performed after maintenance interventions confirmed the restoration of full retention in all cases, without changes in the peri-implant marginal bone. The purpose of the imaging evaluation was not to quantify micro-gaps below the radiographic resolution limit, but to identify indirect indicators of stability and adaptation over time.

The results of this study suggest that both prosthetic concepts are clinically feasible in segmented full-arch restorations made by digital flow. The differences observed did not concern the total incidence of prosthetic events, but the timing of their occurrence, indicating a possible temporal modulation effect of preload loss in the presence of the PKT interface. Under the conditions of respecting the principles of segmentation, occlusal control and periodic maintenance, the “cap-free” concept appears as a viable clinical alternative for implantsupported full-arch restorations.

6. ORIGINAL DISCUSSIONS AND CONTRIBUTIONS

Study 1 (conventional vs digital fingerprinting).

The literature has extensively evaluated analog and digital impressions in implantsupported restorations, reporting variable results, dependent on the clinical configuration, the type of restoration, and the cumulative sources of error associated with transfer, modeling, and fabrication. In the present thesis, the comparative analysis was explicitly oriented towards passivity as the ultimate clinical indicator of prosthetic accuracy, and not exclusively towards isolated geometric parameters or in vitro measurements.

The data obtained revealed a significant reduction in chairside time in the digital flow (13.2 ± 2.5 min vs. 27.4 ± 3.1 min; $p < 0.001$), associated with a lower incidence of clinically classified maladjustments, without the need for adjustments at delivery for the digital group. Statistical analysis indicated significant differences in marginal adaptation in favor of the digital flow, concomitantly with a reduction in intra-group variability, while within each group no significant differences were identified according to implant position or restoration type.

These results are consistent with the trends reported in the reviewed literature, with the particularity that the endpoint was operationally defined in terms of passivity and clinical predictability, not exclusively of geometric fidelity.

Study 2 (screw-retained zirconia with PKT vs without PKT).

In classical implant prosthetics, the use of an intermediate metal component (coping/cap) is justified by compensating for manufacturing tolerances and stabilizing the implant-restoration interface. The results of the present thesis allowed a direct clinical and radiographic comparison between the two concepts, complemented by an in vitro mechanical verification component.

The group without PKT presented higher VAS values (9.3 ± 0.13 vs. 8.2 ± 0.10) and a more favorable radiographic marginal adaptation (0.1831 mm vs. 0.2893 mm), the differences being statistically supported by parametric and non-parametric tests.

From a clinical point of view, no biological complications were reported in the studied group, and the mechanical component demonstrated tolerance to a torque of 30 N·cm and resistance to compressive loading >1200 N, without the occurrence of catastrophic failures under the described experimental conditions.

The added value of this study is the demonstration that the removal of the PKT component did not induce a measurable deficit in mechanical strength, marginal adaptation, or biological stability, in the context of a controlled CAD/CAM workflow and the use of highstrength zirconia. In addition, the removal of the metal interface allowed for the optimization of prosthetic emergence and aesthetic outcome .

Study 3 ("cap-free" extension in segmented full-arch).

In the case of full-arch rehabilitations, the literature remains heterogeneous, due to the diversity of segmentation strategies, materials used, and functional loading conditions, and comparative clinical data on the role of intermediate interfaces are limited.

The study included in this thesis was deliberately formulated as an exploratory one, focusing on prosthetic events requiring intervention and on longitudinal radiographic audit.

The results supported the clinical feasibility of the “cap-free” concept in segmented fullarch restorations, with the observation that the presence of PKT does not reduce the incidence of screw loosening events, but may influence the timing of their occurrence, suggesting a possible temporal modulation effect of preload loss. Restoration segmentation was treated as the main protective factor against infrastructure fractures, independent of the presence of the PKT interface.

Consequently, the advantages of the “cap-free” approach are conditional on digital control of manufacturing and careful post-insertion monitoring, especially in the initial interval.

Conceptual integration.

A distinct element of the thesis is the approach to passivity as a dynamic parameter, dependent on the behavior over time of the screw-abutment interface under the action of functional loads, and not exclusively as a static state immediately post-insertion.

In this context, the thesis proposes a framework for rational selection between PKT design and "coping-free" design, based on clinical, technological and biomechanical criteria, and introduces an individually calibrated digital radiographic analysis method for monitoring marginal adaptation.

Limits (assumed, synthesized).

Interpretation of the results is conditioned by the retrospective nature of some segments, the limited sample size, and the allocation to groups according to clinical flow; the predominantly static mechanical testing, without full thermomechanical fatigue simulation; the limitations of 2D radiography resolution for microspaces below the detectable threshold; and the exploratory nature of the full-arch group, which requires validation on larger cohorts and extended follow-up periods.

Original contributions

1. Clinical validation of digital flow in implant-supported restorations by direct comparison with conventional impression taking, with the definition of passivity as a clinical indicator of prosthetic accuracy.

2. Clinical and experimental validation of the "cap-free" concept for zirconia infrastructures, demonstrating the absence of a negative impact on mechanical strength, marginal adaptation and biological stability.
3. Reformulation of prosthetic passivity as a dynamic parameter, evaluable in relation to interface stability and loss of preload events over time.
4. Development and application of an original digital radiographic analysis protocol, with individual calibration and reproducible measurements (ImageJ), for monitoring marginal adaptation.
5. Extension of the concept of prosthetic simplification without metal interfaces to segmented full-arch restorations, with reporting of preliminary clinical data.
6. Proposing an integrative decision-making framework that correlates impression accuracy, zirconia properties, segmentation strategy, and biomechanical behavior for rational prosthetic design selection.

7. CONCLUSIONS

1. The thesis was built on three interrelated studies (impression, partial restorations with/without PKT, extension to segmented full-arch), which successively addressed the key stages of the implant prosthetic flow, and the general and specific objectives defined in the research program were achieved within this design.
2. In the comparative study on impression techniques ($n = 20/\text{group}$), both streams allowed to obtain a satisfactory clinical adaptation, but the incidence of situations classified as nonadaptation was higher in the conventional group (5 cases) than in the digital group (3 cases). Radiographic confirmation of non-adaptation and positive Sheffield test were reported exclusively in the conventional stream (3 and 5 cases, respectively), while in the digital stream these situations were not recorded.
3. The procedural efficiency of impression taking differed significantly between the streams: the mean working time was 27.4 ± 3.1 minutes for the conventional protocol and 13.2 ± 2.5 minutes for the digital protocol, the difference being statistically significant ($p < 0.001$). In the analyzed cohort, the digital stream allowed the delivery of definitive restorations without repeat impression taking and without adjustments at final delivery.

4. In the same investigation, the inclusion of patient-reported outcomes through the VAS questionnaire allowed the objective assessment of prosthetic adaptation to be supplemented with standardized indicators of clinical acceptability, such as procedural comfort, gag reflex, functional adaptation, and treatment acceptance. These data were used as a complementary tool, without substituting clinical and radiographic adaptation criteria.
5. In the study on screw-retained zirconia partial restorations, the comparison between the design with PKT and the design without PKT revealed significant differences in favor of the design without metal interface, with the mean VAS score being 8.2 ± 0.10 in the group with PKT and 9.3 ± 0.13 in the group without PKT.
6. Radiographic marginal adaptation assessment, quantified by ImageJ measurements calibrated to known implant dimensions, indicated lower mean marginal gap values for restorations without PKT (0.1831 mm) compared to those with PKT (0.2893 mm), the difference being statistically confirmed by parametric and non-parametric tests.
7. Standardizing the evaluation conditions, by performing radiographic measurements at a torque of 30 N-cm, allowed for the coherent definition of the endpoint used (radiographic marginal gap) and the direct comparison between the two prosthetic concepts.
8. In the extension to segmented full-arch restorations, prosthetic events were operationally defined as situations requiring intervention after definitive insertion. In the analyzed group, the only events observed were screw loosening, with 4 incidents in the PKT group and 5 incidents in the non-PKT group; the mean time to first incident was 17 months for the PKT group and 26 months for the non-PKT group.
9. In the radiographic evaluation of full-arch restorations, the aim was not to quantify microspaces below the radiographic resolution limit, but to identify indirect indicators of adaptation and stability. According to the observations, the stay was complete upon insertion in all cases, without changes in the marginal bone associated with the events, and after maintenance interventions, complete restoration of prosthetic adaptation was achieved in both groups.
10. Overall, the results of the thesis support a strategy for optimizing the design of implant-supported partial restorations, based on the rational selection between the traditional PKT interface design and the "coping-free" design. This selection is conditioned by the control of digital flow, the observance of prosthetic and occlusal principles and the

post-insertion clinical monitoring, and under these conditions both concepts were demonstrated to be clinically feasible in the analyzed cohorts.

Bibliography

1. Morton D, Gallucci G, Lin WS, Pjetursson B, Polido W, Roehling S, et al. Group 2 ITI Consensus Report: Prosthodontics and implant dentistry. *Clinical Oral Implants Research*. 2018;29(Suppl 16):215–223.
2. Brånemark PI, Breine U, Adell R, Hansson BO, Lindström J, Ohlsson Å. Intra-osseous anchorage of dental prostheses. I. Experimental studies. *Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery*. 1969;3(2):81–100.
3. Abdelrehim A, Etajuri EA, Sulaiman E, Sofian H, Mohd Salleh N. Magnitude of misfit threshold in implant-supported restorations: a systematic review. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2024;132(3):528–535.
4. Couso-Queiruga E, Ramseier CA, Chappuis V, Janner SFM, Buser D, Brägger U, Salvi GE. Impact of marginal misfit in implant-supported fixed dental prostheses on periimplant bone levels: a retrospective quantitative analysis. *Clinical Oral Implants Research*. 2025;36.
5. Jemt T, Lekholm U, Johansson CB. Bone response to implant-supported frameworks with differing degrees of misfit preload: an in vivo study in rabbits. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*. 2007;9(1).
6. Natali AN, Pavan PG, Ruggero AL. Evaluation of stress induced in peri-implant bone tissue by misfit in multi-implant prosthesis. *Dental Materials*. 2006;22(4):388–395.
7. Rutkunas V, Larsson C, von Steyern PV, Mangano F, Gedrimiene A. Clinical and laboratory passive fit assessment of implant-supported zirconia restorations fabricated using conventional and digital workflow. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*. 2020;22(2):237–245.
8. Papaspyridakos P, Chen CJ, Gallucci GO, Doukoudakis A, Weber HP, Chronopoulos V. Accuracy of implant impressions for partially and completely edentulous patients: a systematic review. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*. 2014;29(4):836–845.
9. Wulfman C, Naveau A, Rignon-Bret C. Digital scanning for complete-arch implantsupported restorations: a systematic review. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2020;124(2):161–167.
10. Giachetti L, Sarti C, Cinelli F, Russo DS. Accuracy of digital impressions in fixed prosthodontics: a systematic review of clinical studies. *International Journal of Prosthodontics*. 2020;33(2):192–201.
11. Ahlholm P, Sipilä K, Vallittu P, Jakonen M, Kotiranta U. Digital versus conventional impressions in fixed prosthodontics: a review. *Journal of Prosthodontics*. 2018;27(1):35–41.
12. D'haese R, Vrombaut T, Roeykens H, Vandeweghe S. In vitro accuracy of digital and conventional impressions for full-arch implant-supported prostheses. *Journal of Clinical Medicine*. 2022;11(3):594.

13. Kim KR, Seo KY, Kim S. Conventional open-tray impression versus intraoral digital scan for implant-level complete-arch impression. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2019;122(6):543–549.
14. Borşanu IA, Rusu LC, Antonie SM, Bratu EA. Comparative clinical evaluation of digital versus conventional dental impression techniques in implant-supported restorations. *Prosthesis*. 2025;7(6):135.
15. Borşanu IA, Rusu LC, Antonie SM, Bratu EA. Prosthetic head-free implant restorations: five-year clinical performance with mechanical verification. *Dentistry Journal*. 2025;13(12):586.
16. Erdelyi RA, Duma VF, Sinescu C, Dobre GM, Bradu A, Podoleanu A. Dental diagnosis and treatment assessments: between X-rays radiography and optical coherence tomography. *Materials*. 2020;13(21):4825.
17. Erdelyi RA, Duma VF, Sinescu C, Dobre GM, Bradu A, Podoleanu A. Optimization of Xray investigations in dentistry using optical coherence tomography. *Sensors*. 2021;21(13):4554.
18. Torsello F, Mirisola Di Torresanto V, Ercoli C, Cordaro L. Evaluation of the marginal precision of one-piece complete arch titanium frameworks fabricated using five different methods for implant-supported restorations. *Clinical Oral Implants Research*. 2008;19(10).
19. Kallus T, Bessing C. Loose gold screws frequently occur in full-arch fixed prostheses supported by osseointegrated implants after 5 years. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*. 1994;9(2):169.
20. Binon PP. The effect of implant/abutment hexagonal misfit on screw joint stability. *International Journal of Prosthodontics*. 1996;9(2):149–160.

UNIVERSITATEA DE MEDICINĂ ȘI FARMACIE
“VICTOR BABEȘ” DIN TIMISOARA
FACULTATEA DE MEDICINĂ DENTARĂ
Departamentul III - REABILITARE PROTETICĂ ȘI IMPLANTE

BORȘANU IOAN ACHIM



TEZĂ DE DOCTORAT

**INNOVATIVE PASSIVATION METHODS FOR IMPLANT-
SUPPORTED RESTORATIONS**

R E Z U M A T

Conducător de doctorat:

PROF. DR. BRATU EMANUEL-ADRIAN

Timișoara

2026

REZUMAT

1. INTRODUCERE

Restaurările pe implanturi dentare reprezintă standardul terapeutic actual în reabilitarea edentațiilor parțiale și totale, fundamentat pe principiul biomecanic al transmiterii forțelor direct către substratul osos, în absența ligamentului periodontal. În acest context, precizia adaptării la nivelul interfeței implant-bont-suprastructură nu reprezintă doar un deziderat tehnic, ci un parametru critic cu impact direct asupra homeostaziei peri-implantare și a longevității sistemului sub încărcare funcțională.

Conceptul de adaptare pasivă (passive fit) descrie acea stare de echilibru biomecanic în care restaurarea este inserată pe elementele protetice fără a induce tensiuni statice remanente în urma strângerii șuruburilor. În practică, acest concept este intrinsec legat de gestionarea fenomenelor de micro-gap, a toleranțelor geometrice cumulative și a deformărilor elastice ale componentelor. Deși literatura de specialitate invocă frecvent pasivitatea ca factor determinant al succesului, definirea și cuantificarea sa clinică rămân problematice. Lipsa unui consens terminologic face ca deciziile terapeutice să se bazeze adesea pe indicatori indirecti, precum testele clinice de rezistență la înșurubare sau evaluările radiografice subiective, care pot masca tensiuni capabile să genereze resorbție osoasă marginală sau eșecuri mecanice catastrofale.

Datele actuale relevă faptul că pasivitatea finală este rezultatul unui „lanț de erori” ce se pot acumula pe parcursul etapelor de lucru: de la transferul poziției implanturilor (unde asistăm la o competiție între amprentarea analogică splintată și scanarea intraorală), până la procesarea de laborator și producția CAD/CAM. Dacă în scenariile cu span redus fluxurile digitale demonstrează o reproductibilitate înaltă, în configurațiile complexe — precum reabilitările full-arch cu implanturi angulate — erorile de „stitching” și toleranțele sistemelor de frezare pot compromite șederea pasivă. Deși literatura tehnică descrie metode instrumentale avansate (micro-CT sau analize de tensiune), acestea rămân preponderent segregate în sfera cercetării in vitro, existând o nevoie acută de protocoale clinice standardizate, capabile să coreleze „misfit-ul” cu prognosticul biologic real.

Paradoxul actual al domeniului rezidă în lipsa unor praguri clinice de toleranță universal acceptate, corelate în mod reproductibil cu complicațiile pe termen lung. Valorile empirice raportate (de ordinul a $\sim 150 \mu\text{m}$) nu soluționează problema comparabilității între ecosisteme CAD/CAM diferite. Mai mult, apar neconcordanțe majore între modalitatea de măsurare a discrepanțelor și interpretarea lor clinică. În acest context, cercetarea de față urmărește să clarifice performanța fluxurilor digitale în scenarii protetice solicitante, investigând totodată potențialul de simplificare a interfețelor protetice.

Teza intitulată „Innovative Passivation Methods for Implant-Supported Restorations” își propune să abordeze pasivitatea ca pe un parametru dinamic, rezultat al interacțiunii dintre trei piloni fundamentali: (i) acuratețea transferului digital de ultimă generație, (ii) optimizarea designului interfeței prin explorarea conceptului „coping-free” (eliminarea interfețelor metalice intermediare PKT) și (iii) comportamentul biomecanic al structurilor full-arch segmentate.

Originalitatea temei derivă din ipoteza că integrarea unui flux CAD/CAM controlat riguros permite obținerea unei adaptări pasive superioare chiar și în absența componentelor metalice tradiționale de compensare, oferind astfel un profil de emergență optimizat și o stabilitate osoasă superioară. Lucrarea este structurată pentru a oferi un răspuns coerent la nevoia de corelare între deciziile de workflow și rezultatele clinice cuantificabile, propunând totodată un protocol original de monitorizare radiografică digitală a interfețelor protetice.

2. SCOPUL ȘI OBIECTIVELE TEZEI

2.1 Scopul cercetării

Scopul prezentei teze de doctorat rezidă în dezvoltarea unui cadru metodologic optimizat pentru obținerea adaptării pasive în reabilitările implanto-protetice complexe. Cercetarea vizează analiza multidimensională a variabilelor care condiționează succesul clinic, de la precizia tehnologiei de transfer digital la arhitectura interfeței protetice, în scopul stabilirii unor protocoale predictibile care să asigure stabilitatea biomecanică și longevitatea restaurărilor.

2.2 Obiectivele generale și specifice

Obiectiv general: Evaluarea comparativă și optimizarea strategiilor de pasivizare prin integrarea fluxurilor digitale avansate și a designului protetic inovator, urmărind minimizarea tensiunilor statice și îmbunătățirea comportamentului mecanic al restaurărilor parțiale și totale pe implanturi.

Obiective specifice:

1. Analiza comparativă a fidelității transferului pozițional: Evaluarea impactului tehnicilor de amprentare convențională (în circuit închis/deschis) versus scanarea intraorală (IOS) asupra acurateței geometrice a modelului final și a pasivității structurilor protetice.
2. Validarea biomecanică a conceptului „Coping-Free”: Investigarea performanței mecanice (rezistență la cuplu și încărcare compresivă) și a stabilității clinice a restaurărilor din zirconiu înșurubate, prin compararea designului tradițional cu interfață metalică (PKT) versus designul direct (monolitic), pentru optimizarea profilului de urgență.
3. Evaluarea fezabilității clinice în reabilitări extinse: Investigarea predictibilității conceptului de restaurare fără componente intermediare metalice în cazul arhitecturilor complexe de tip full-arch segmentat, analizând incidența complicațiilor de tip „screw loosening”.
4. Dezvoltarea unui protocol original de monitorizare metrică: Implementarea unei metodologii reproductibile de analiză digitală a imaginilor radiografice (prin calibrare metrică) pentru cuantificarea obiectivă a adaptării marginale în timp.
5. Fundamentarea unui algoritm decizional: Integrarea datelor clinice și experimentale într-o abordare structurată, menită să ghideze selecția designului protetic în funcție de complexitatea biomecanică a cazului, pentru asigurarea unei adaptări pasive sustenabile.

3. STRUCTURA TEZEI

Teza de doctorat intitulată „Innovative Passivation Methods for Implant-Supported Restorations” este elaborată în conformitate cu normele academice în vigoare, fiind structurată în două părți complementare, precedate de secțiunile administrative (Lista lucrărilor științifice, Abrevieri, Lista figurilor și tabelelor) și finalizate cu sinteza concluziilor și bibliografia de referință.

♦ Partea generală (General Part). Această secțiune (Capitolele 1–3) constituie fundamentul teoretic și metodologic al lucrării, analizând literatura de specialitate pentru a identifica lacunele ce justifică demersul experimental:

- Capitolul 1: Analizează evoluția conceptului de adaptare pasivă (passive fit) și impactul biomecanic al „misfit-ului” asupra interfeței os-implant, evidențiind corelația dintre tensiunile statice și riscul de peri-implantită iatrogenă.
- Capitolul 2: Sintetizează factorii determinanți ai pasivității, de la arhitectura conexiunilor protetice și biomaterialele infrastructurii, până la variabilele critice ale fluxurilor CAD/CAM.
- Capitolul 3: Realizează un inventar critic al metodelor de evaluare a adaptării, contrastând metodele clinice tradiționale cu tehnologiile emergente (AI, OCT și analiza prin element finit - FEA).

♦ Partea specială (Special Part, originală). Nucleul tezei (Capitolele 4–8) documentează activitatea de cercetare propriu-zisă, fiind structurat pe trei direcții experimentale și clinice interconectate:

- Capitolul 4: Definește cadrul riguros al cercetării, incluzând ipotezele de lucru, protocoalele etice și designul celor trei studii integrate.
- Capitolul 5 (Studiul 1): Studiu clinic comparativ între amprentarea convențională și scanarea intraorală, evaluând predictibilitatea transferului pozițional în termeni de pasivitate clinică.
- Capitolul 6 (Studiul 2): Analiza performanței mecanice și clinice a conceptului „coping-free”. Sunt evaluate restaurările din zirconiu înșurubate, comparând designul cu interfață PKT față de cel monolitic, prin teste de rezistență la supratorcare și încărcare compresivă.
- Capitolul 7 (Studiul 3): Extinde validarea conceptului de simplificare protetică la reabilitările de tip full-arch segmentat, implementând un protocol original de evaluare radiografică digitală a stabilității interfeței.

- Capitolul 8: Sintetizează datele prin interpretarea transversală a rezultatelor, evidențiind relevanța clinică a algoritmilor propuși și limitele metodologice asumate..

Teza culminează cu secțiunea de Concluzii Generale, care evidențiază contribuțiile originale la progresul domeniului, urmată de bibliografia selectivă și anexele ce conțin articolele publicate in extenso în jurnale de specialitate.

4. MATERIAL ȘI METODĂ

4.1. Cadru general, sursa datelor și considerente etice

Cercetarea integrează o abordare hibridă, combinând analiza clinică retrospectivă cu validarea experimentală in vitro. Pentru a asigura reproductibilitatea datelor, toate cazurile clinice au fost selectate din același centru de referință, utilizând protocoale unitare de diagnostic, tratament și laborator.

- Etică: Studiul a fost avizat de Comisia de Etică a UMFT (Nr. 16/21.01.2025), respectând Declarația de la Helsinki, cu anonimizarea integrală a datelor și obținerea consimțământului informat.
- Sursa datelor: Arhiva digitală a clinicii, fișe și acordurile pacienților și baze de date radiografice (2019–2025).

4.2. Studiul 1 – Compararea amprentării convenționale versus digitale în restaurări fixe pe implanturi

Obiectivul acestui prim studiu a fost evaluarea impactului tehnologiei de amprentare asupra obținerii adaptării pasive în reabilitările fixe solidarizate pe implanturi.

4.2.1. Designul studiului și selecția lotului

Cercetarea este concepută ca un studiu clinic retrospectiv comparativ pe cazuri consecutive. Lotul experimental a inclus 40 de pacienți (n=40), repartizați echitabil în două grupuri de studiu, în funcție de protocolul de transfer utilizat:

- Grupul A (Analogic, n=20): Transferul poziției implanturilor prin tehnici convenționale.
- Grupul B (Digital, n=20): Transferul prin scanare intraorală (IOS).

4.2.2. Criterii de eligibilitate și protocol operator

Pentru a asigura comparabilitatea datelor, au fost aplicate criterii stricte de includere:

- Includere: Pacienți adulți, minimum două implanturi integrate ce necesită restaurări solidarizate, suport osos stabil, recall minim de 12 luni.
- Excludere: Edentații totale, parafuncții severe (bruxism necontrolat), limitări ale deschiderii cavității bucale, documentație radiografică incompletă.

Protocoale de lucru:

- Metoda Convențională (Standardul de aur): Utilizarea tehnicilor open-tray sau closed-tray cu materiale elastomerice de înaltă precizie (PVS/Polieter). Pentru minimizarea distorsiunilor, s-a practicat splintarea intraorală a coping-urilor de transfer.
- Metoda Digitală (Inovația): Scanare intraorală utilizând scan-body-uri specifice sistemului și generarea fișierelor STL, urmată de un flux integral CAD/CAM.

4.2.3. Variabilele cercetării și endpoint-uri clinice

Evaluarea pasivității și a eficienței a fost realizată prin următorii parametri:

- Analiza Pasivității: Detectarea neadaptărilor (misfit) prin Testul Sheffield (one-screw test) și confirmare radiografică a șederii protetice pe implant/bont.
- Eficiența Procedurală: Monitorizarea timpului clinic alocat amprentării (chairside time).
- Indicatori Subiectivi: Evaluarea experienței pacientului (confort, reflex de vomă) utilizând scalele analog-vizuale (VAS).

4.2.4. Metodologia statistică

Datele au fost analizate statistic pentru a identifica diferențe semnificative între cele două fluxuri. Pragul de semnificație a fost stabilit la $p < 0,05$, utilizând teste de comparație adaptate distribuției datelor, pentru a valida ipoteza superiorității sau non-inferiorității fluxului digital în obținerea pasivității.

4.3. Studiul 2 – Validarea conceptului „Coping-Free”: Analiză comparativă, clinică și experimentală a restaurărilor din zirconiu înșurubate

Acest studiu investighează impactul eliminării interfeței metalice intermediare (PKT/coping) asupra stabilității marginale și rezistenței mecanice a restaurărilor parțiale din zirconiu.

4.3.1. Designul cercetării: Abordare mixtă (In Vivo & In Vitro)

Studiul este structurat pe două coordonate complementare pentru a oferi o imagine completă asupra comportamentului biomaterialelor și designului propus:

1. Componenta Clinică (Retrospectivă): Monitorizarea a 20 de restaurări pe implant (perioada 2019–2025), cu un follow-up de până la 5 ani. Lotul a fost divizat în:
 - Grupul PKT: Restaurări cu interfață metalică tradițională.
 - Grupul Non-PKT (Coping-Free): Restaurări monolitice din zirconiu înșurubate direct.
2. Componenta Experimentală (In Vitro): Testarea pe modele de laborator pentru determinarea limitelor de rezistență structurală.

4.3.2. Metodologia de evaluare și inovația „ImageJ”

- Protocol Clinic: Monitorizarea semestrială și anuală a stabilității îmbinării șurub-implant, a integrității ceramicii (identificarea fenomenelor de chipping sau fractură) și evaluarea satisfacției pacientului prin scale VAS.
- Analiza Metrică Digitală (Originală): Pentru eliminarea subiectivității interpretării radiografice, s-a implementat un protocol de măsurare în software-ul ImageJ. Calibrarea individuală a imaginilor s-a realizat prin raportarea la un etalon cunoscut (diametrul platformei implantului Bredent SKY de 4,0 mm), permițând conversia automată pixel-mm și cuantificarea exactă a gap-ului marginal.

4.3.3. Testarea mecanică sub sarcini controlate

Validarea rezistenței în absența PKT a fost realizată prin:

- Rezistența la supratorcare (Torque Resistance): Aplicarea unui cuplu controlat de 30 Ncm (depășind cu 50% recomandarea standard de 20 Ncm) pentru a evalua stabilitatea conexiunii și riscul de deformare a platformei.
- Încărcare compresivă statică: Aplicarea forțelor axiale progresive pentru simularea condițiilor de suprasolicitare masticatorie și identificarea pragului de fractură structurală.

4.3.4. Analiza statistică și Endpoint-ul primar

Endpoint-ul principal al studiului a fost definit de valoarea gap-ului marginal. Prelucrarea datelor a fost realizată în platformele JASP și StatsKingdom, utilizând teste de normalitate (Shapiro-Wilk) și teste de comparație intergrup (t-test / Mann-Whitney), la un prag de semnificație de $p < 0,05$.

4.4. Studiul 3 – Extinderea conceptului „cap-free” la restaurări full-arch segmentate (cu/fără PKT)

Acest studiu reprezintă etapa de validare clinică extinsă, investigând fezabilitatea și predictibilitatea eliminării interfețelor metalice intermediare în reconstrucțiile totale de arcadă.

4.4.1. Designul studiului și selecția lotului

Cercetarea este concepută ca un studiu clinic retrospectiv observațional, axat pe analiza performanței pe termen mediu a restaurărilor de tip *full-arch* realizate prin flux digital CAD/CAM din zirconiu.

- Configurația protetică: Au fost incluse exclusiv structuri segmentate (evitându-se designul monobloc pentru un control biomecanic superior).
- Eșantionul clinic: 20 de cazuri complexe, distribuite în:

- Grupul PKT (n=10): Reabilitări totale cu infrastructură metalică de susținere.
- Grupul Non-PKT (n=10): Reabilitări totale utilizând designul inovator „cap-free”.

4.4.2. Protocolul de monitorizare și endpoint-uri protetice

Urmărirea post-insertie (minim 12 luni) a vizat detectarea precoce a oricărei pierderi a pasivității prin înregistrarea evenimentelor protetice critice:

- Stabilitatea conexiunii: Monitorizarea incidenței slăbirii șuruburilor de fixare (screw loosening) și necesitatea reintervențiilor pentru re-strângere la cuplul nominal.
- Integritatea structurală: Inspecția clinică pentru detectarea micro-fracturilor sau a instabilității raportate de pacient.
- Dinamica ocluzală: Înregistrarea oricărei necesități de ajustare ocluzală corelată cu stabilitatea poziției protetice.

4.4.3. Auditul imagistic și indicatorii de pasivitate

Evaluarea radiografică (periapicală și panoramică) a servit drept instrument de audit pentru menținerea continuității interfeței implant-abutment-restaurare:

- Analiza calitativă: Identificarea liniilor radiotransparente sugestive pentru o ședere incompletă (seating error) sau pentru un misfit apărut sub sarcină funcțională.
- Monitorizarea stabilității peri-implantare: Urmărirea indirectă a nivelului osos marginal ca indicator al absenței tensiunilor statice nocive.

4.4.4. Analiza datelor

Interpretarea rezultatelor a urmărit stabilirea unei corelații între absența componentelor metalice intermediare și frecvența incidentelor tehnice, evaluând dacă simplificarea designului protetic introduce riscuri suplimentare în reabilitările full-arch.

5. REZULTATE PRINCIPALE

În această secțiune sunt prezentate exclusiv rezultatele originale obținute în cadrul celor trei studii incluse în partea specială a tezei. Rezultatele sunt structurate conform direcțiilor de cercetare, fără interpretări extinse sau comparații cu literatura de specialitate, acestea fiind abordate în capitolele de discuții.

5.1. Studiul 1 – Amprentare convențională vs. amprentare digitală: pasivitate și eficiență clinică

Studiul a inclus un total de 40 de pacienți tratați cu restaurări implanto-susținute fixe, distribuiți echilibrat în două grupuri în funcție de tehnica de amprentare utilizată: amprentare convențională (n = 20) și amprentare digitală (n = 20). Toate cazurile analizate au fost finalizate protetic și au beneficiat de un follow-up clinic minim de 1 an, fără diferențe semnificative între grupuri din punct de vedere al distribuției restaurărilor sau al caracteristicilor implantare.

Pe parcursul perioadei de urmărire, rata de supraviețuire protetică a fost de 100% în ambele grupuri, nefiind înregistrate eșecuri protetice majore care să impună refacerea restaurărilor. Toate lucrările au rămas funcționale la finalul intervalului de observație.

Evaluarea adaptării clinice a evidențiat diferențe între cele două fluxuri de lucru:

- în grupul convențional, au fost identificate 5 cazuri de neadaptare protetică;
- în grupul digital, au fost identificate 3 cazuri de neadaptare protetică.

Confirmarea radiografică a neadaptării și testul Sheffield pozitiv au fost raportate exclusiv în grupul convențional (3 cazuri cu confirmare radiografică și 5 teste Sheffield pozitive), în timp ce în grupul digital nu au fost consemnate astfel de situații.

Analiza etapelor în care au fost identificate neadaptările a evidențiat:

- în grupul convențional:
 - 4 cazuri de neadaptare în faza provizorie;
 - 1 caz de neadaptare la livrarea restaurării definitive;
- în grupul digital:
 - 3 cazuri de neadaptare în faza provizorie;
 - niciun caz de neadaptare la livrarea finală.

Doar un singur caz din grupul convențional a necesitat ajustare chairside la livrarea restaurării definitive, în timp ce niciun caz din grupul digital nu a necesitat ajustări.

Tabelul 5.1. Sinteza neadaptărilor protetice în funcție de tehnica de amprentare

Indicator	Amprentare convențională (n=20)	Amprentare digitală (n=20)
Cazuri totale de neadaptare	5	3
Neadaptări confirmate radiografic	3	0
Test Sheffield pozitiv	5	0
Ajustări chairside necesare	1	0
Neadaptări la livrarea finală	1	0

Eficiență clinică și timp procedural

Analiza timpului de lucru a evidențiat diferențe semnificative între cele două fluxuri:

- fluxul convențional: timp mediu de amprentare $27,4 \pm 3,1$ minute;
- fluxul digital: timp mediu de amprentare $13,2 \pm 2,5$ minute.

Diferența a fost semnificativă statistic ($p < 0,001$). În grupul digital nu au fost necesare repetări ale amprentelor și nu au fost raportate ajustări protetice la livrarea finală.

Rezultate raportate de pacient (VAS)

Evaluarea subiectivă prin scala VAS a evidențiat scoruri constant mai ridicate în grupul digital, în special pentru:

- confort procedural;
- reducerea reflexului de greață;
- acceptarea globală a tratamentului.

Satisfacția față de restaurarea definitivă și funcția masticatorie au fost ridicate și comparabile între cele două grupuri, fără diferențe semnificative statistic pentru aceste variabile.

Rezultatele indică faptul că ambele tehnici de amprentare permit obținerea unei șederi clinice acceptabile, însă fluxul digital a fost asociat cu o incidență mai redusă a neadaptărilor protetice, cu absența confirmărilor radiografice ale neadaptării, cu eliminarea necesității ajustărilor finale și cu o eficiență procedurală semnificativ superioară. Aceste diferențe susțin rolul amprentării digitale ca etapă favorabilă în optimizarea pasivității restaurărilor implanto-susținute.

5.2. Studiul 2 (Capitolul 6). Restaurări parțiale înșurubate din zirconiu: cu cap PKT vs. fără cap PKT (rezultate clinice și radiografice)

Studiul a inclus un total de 20 de pacienți reabilitați prin restaurări parțiale implanto-susținute, realizate ca restaurări înșurubate din zirconiu monolitic, distribuiți în două grupuri egale:

- Grupul A – restaurări fabricate cu cap protetic PKT ($n = 10$);
- Grupul B – restaurări fabricate fără cap protetic PKT ($n = 10$).

Perioada de urmărire clinică a fost cuprinsă între 3 și 5 ani, fără diferențe semnificative între grupuri în ceea ce privește durata follow-up-ului.

Pe parcursul perioadei de observație:

- Rata de supraviețuire protetică a fost de 100% în ambele grupuri;
- Nu au fost înregistrate fracturi catastrofale ale restaurărilor;
- Nu au fost observate complicații biologice (periimplantită, pierderi osoase marginale patologice).

Distribuția evenimentelor mecanice a fost redusă și comparabilă între grupuri:

- În grupul cu PKT, a fost înregistrat 1 caz de slăbire a șurubului protetic, rezolvat prin re-strângere;
- În grupul fără PKT, nu au fost raportate evenimente mecanice (slăbiri de șurub sau instabilitate protetică).

Evaluarea adaptării protetice a fost realizată radiografic, prin măsurători calibrate în ImageJ, la un torque standardizat de 30 N·cm.

- Grupul cu PKT a prezentat un gap marginal mediu de $0,289 \pm 0,06$ mm;
- Grupul fără PKT a prezentat un gap marginal mediu de $0,183 \pm 0,04$ mm.

Diferența dintre cele două grupuri a fost semnificativă statistic, confirmată atât prin teste parametrice, cât și neparametrice ($p < 0,01$), indicând o adaptare protetică mai precisă în cazul restaurărilor fără PKT.

Evaluarea subiectivă prin scala VAS a evidențiat diferențe clare în favoarea restaurărilor fără PKT:

- Scor VAS mediu grup PKT: $8,2 \pm 0,1$;
- Scor VAS mediu grup fără PKT: $9,3 \pm 0,1$.

Diferențele au fost mai pronunțate pentru:

- satisfacția estetică;
- percepția profilului de emergență;
- ușurința menținerii igienei orale.

Testarea mecanică in vitro a restaurărilor fără PKT a demonstrat:

- toleranță la torque-uri peste valorile clinice recomandate, fără deformări sau fracturi;
- rezistență la încărcări compresive >1200 N, peste valorile fiziologice masticatorii.

Nu au fost observate diferențe structurale relevante care să indice o vulnerabilitate mecanică asociată eliminării capului protetic PKT.

Rezultatele obținute arată că:

- eliminarea capului protetic PKT nu compromite stabilitatea mecanică sau biologică a restaurărilor parțiale înșurubate;
- restaurările fără PKT au prezentat adaptare protetică superioară și scoruri VAS mai ridicate;
- conceptul coping-free este clinic fezabil și predictibil în condițiile unui flux digital controlat.

5.3. Studiul 3 (Capitolul 7) – evenimente protetice și observații radiografice în urmărire

Studiul a inclus un total de 20 de restaurări full-arch implanto-susținute, realizate printr-un concept segmentat, fabricate din zirconiu prin flux digital CAD/CAM. Cazurile au fost distribuite în două grupuri egale, în funcție de configurația protetică utilizată: restaurări cu interfață protetică PKT ($n = 10$) și restaurări realizate fără PKT ($n = 10$). Perioada minimă de urmărire clinică a fost de 12 luni, cu monitorizare standardizată post-insertie.

La momentul inserării definitive, șederea clinică și radiografică a fost completă în toate cazurile, indiferent de configurația protetică utilizată. Nu au fost observate discrepante radiografice sugestive de neadaptare majoră și nu s-au înregistrat complicații biologice peri-implantare în niciunul dintre grupuri pe durata urmăririi.

Evenimentele protetice înregistrate au fost limitate exclusiv la slăbirea șuruburilor de fixare, fără apariția fracturilor infrastructurii, a defectelor ceramice sau a necesității refacerii restaurărilor. Distribuția acestor evenimente a evidențiat diferențe temporale între grupuri:

- în grupul cu PKT, au fost raportate 4 incidente, cu un timp mediu până la primul eveniment de 17 luni;
- în grupul fără PKT, au fost raportate 5 incidente, cu un timp mediu până la primul eveniment de 26 luni.

Toate incidentele au fost asimptomatice, identificate în cadrul controalelor de mentenanță, și au fost gestionate conservator prin re-strângerea șuruburilor la cuplu standardizat, fără consecințe asupra stabilității biologice sau funcționale a restaurărilor.

Evaluarea radiografică efectuată după intervențiile de mentenanță a confirmat restabilirea șederii complete în toate cazurile, fără modificări ale osului marginal peri-implantar. Scopul evaluării imagistice nu a fost cuantificarea micro-gap-urilor sub limita de rezoluție radiografică, ci identificarea indicatorilor indirecti de stabilitate și adaptare în timp.

Rezultatele acestui studiu sugerează că ambele concepte protetice sunt clinic fezabile în restaurările full-arch segmentate realizate prin flux digital. Diferențele observate nu au vizat incidența totală a evenimentelor protetice, ci momentul apariției acestora, indicând un posibil efect de modulație temporală a pierderii preload-ului în prezența interfeței PKT. În condițiile

respectării principiilor de segmentare, control ocluzal și mentenanță periodică, conceptul „cap-free” apare ca o alternativă clinică viabilă pentru restaurările full-arch implanto-susținute.

6. DISCUȚII ȘI CONTRIBUȚII ORIGINALE

Studiul 1 (amprentare convențională vs digitală).

Literatura de specialitate a evaluat extensiv amprentarea analogică și digitală în restaurările implanto-susținute, raportând rezultate variabile, dependente de configurația clinică, tipul restaurării și sursele cumulative de eroare asociate transferului, modelării și fabricației. În cadrul prezentei teze, analiza comparativă a fost orientată explicit către pasivitate ca indicator clinic final al acurateții protetice, și nu exclusiv către parametri geometrici izolați sau măsurători in vitro.

Datele obținute au evidențiat o reducere semnificativă a timpului chairside în fluxul digital ($13,2 \pm 2,5$ min vs. $27,4 \pm 3,1$ min; $p < 0,001$), asociată cu o incidență mai mică a situațiilor încadrate clinic ca neadaptare, fără necesitatea ajustărilor la livrare pentru grupul digital. Analiza statistică a indicat diferențe semnificative ale adaptării marginale în favoarea fluxului digital, concomitent cu o reducere a variabilității intra-grup, în timp ce în cadrul fiecărui grup nu au fost identificate diferențe semnificative în funcție de poziția implantului sau tipul restaurării.

Aceste rezultate sunt în concordanță cu tendințele raportate în literatura analizată, cu particularitatea că endpoint-ul a fost definit operațional în termeni de pasivitate și predictibilitate clinică, nu exclusiv de fidelitate geometrică..

Studiul 2 (zirconiu înșurubat cu PKT vs fără PKT).

În protetica implantară clasică, utilizarea unei componente metalice intermediare (coping/cap) este justificată prin compensarea toleranțelor de fabricație și stabilizarea interfeței implant–restaurare. Rezultatele prezentei teze au permis o comparație clinică și radiografică directă între cele două concepte, completată de o componentă de verificare mecanică in vitro.

Grupul fără PKT a prezentat valori VAS superioare ($9,3 \pm 0,13$ vs. $8,2 \pm 0,10$) și o adaptare marginală radiografică mai favorabilă ($0,1831$ mm vs. $0,2893$ mm), diferențele fiind susținute statistic prin teste parametrice și neparametrice.

Din punct de vedere clinic, nu au fost raportate complicații biologice în lotul urmărit, iar componenta mecanică a demonstrat tolerarea unui cuplu de 30 N·cm și rezistență la încărcare compresivă >1200 N, fără apariția eșecurilor catastrofale în condițiile experimentale descrise.

Valoarea adăugată a acestui studiu constă în demonstrarea faptului că eliminarea componentei PKT nu a indus un deficit măsurabil al rezistenței mecanice, al adaptării marginale sau al stabilității biologice, în contextul unui flux CAD/CAM controlat și al utilizării zirconiei cu rezistență ridicată. În plus, eliminarea interfeței metalice a permis optimizarea emergenței protetice și a rezultatului estetic.

Studiul 3 (extensia „cap-free” în full-arch segmentat).

În cazul reabilitărilor full-arch, literatura rămâne eterogenă, datorită diversității strategiilor de segmentare, materialelor utilizate și condițiilor de încărcare funcțională, iar datele clinice comparative privind rolul interfețelor intermediare sunt limitate.

Studiul inclus în prezenta teză a fost formulat deliberat ca explorator, concentrându-se pe evenimente protetice ce necesită intervenție și pe audit radiografic longitudinal.

Rezultatele au susținut fezabilitatea clinică a conceptului „cap-free” în restaurări full-arch segmentate, cu observația că prezența PKT nu reduce incidența evenimentelor de slăbire a șurubului, ci poate influența momentul apariției acestora, sugerând un posibil efect de modulație temporală a pierderii preload-ului. Segmentarea restaurării a fost tratată ca principal factor de protecție împotriva fracturilor infrastructurii, independent de prezența interfeței PKT.

În consecință, avantajele abordării „cap-free” sunt condiționate de controlul digital al fabricației și de monitorizarea atentă post-insertie, în special în intervalul inițial..

Integrare conceptuală.

Un element distinct al tezei îl reprezintă abordarea pasivității ca parametru dinamic, dependent de comportamentul în timp al interfeței șurub–abutment sub acțiunea încărcărilor funcționale, și nu exclusiv ca stare statică imediat post-insertie.

În acest context, teza propune un cadru de selecție rațională între designul cu PKT și designul „coping-free”, fundamentat pe criterii clinice, tehnologice și biomecanice, și introduce o metodă digitală de analiză radiografică calibrată individual pentru monitorizarea adaptării marginale.

Limite (asumate, sintetizat).

Interpretarea rezultatelor este condiționată de caracterul retrospectiv al unor segmente, dimensiunea limitată a eșantioanelor și alocarea pe grupuri în funcție de fluxul clinic; testarea mecanică predominant statică, fără simulare completă de oboseală termomecanică; limitările rezoluției radiografiei 2D pentru microspații sub pragul detectabil; și caracterul explorator al lotului full-arch, care necesită validare pe cohorte mai ample și perioade de urmărire extinse.

Contribuții originale

1. Validarea clinică a fluxului digital în restaurările implanto-susținute prin comparație directă cu amprentarea convențională, cu definirea pasivității ca indicator clinic de acuratețe protetică.
2. Validarea clinică și experimentală a conceptului „cap-free” pentru infrastructuri din zirconiu, demonstrând absența unui impact negativ asupra rezistenței mecanice, adaptării marginale și stabilității biologice.
3. Reformularea pasivității protetice ca parametru dinamic, evaluabil în relație cu stabilitatea interfeței și evenimentele de tip loss of preload în timp.
4. Dezvoltarea și aplicarea unui protocol original de analiză radiografică digitală, cu calibrare individuală și măsurători reproductibile (ImageJ), pentru monitorizarea adaptării marginale.
5. Extinderea conceptului de simplificare protetică fără interfețe metalice la restaurări full-arch segmentate, cu raportarea unor date clinice preliminare.
6. Propunerea unui cadru decizional integrativ care corelează acuratețea amprentării, proprietățile zirconiei, strategia de segmentare și comportamentul biomecanic pentru selecția rațională a designului protetic.

7. CONCLUZII

1. Teza a fost construită pe trei studii intercorelate (amprentare, restaurări parțiale cu/fără PKT, extensie la full-arch segmentat), care au abordat succesiv etapele-cheie ale fluxului protetic implantar, iar obiectivele generale și specifice definite în programul de cercetare au fost atinse în cadrul acestui design.
2. În studiul comparativ privind tehnicile de amprentare ($n = 20/\text{grup}$), ambele fluxuri au permis obținerea unei adaptări clinice satisfăcătoare, însă incidența situațiilor încadrate ca neadaptare a fost mai mare în grupul convențional (5 cazuri) decât în grupul digital (3 cazuri). Confirmarea radiografică a neadaptării și testul Sheffield pozitiv au fost raportate exclusiv în fluxul convențional (3, respectiv 5 cazuri), în timp ce în fluxul digital aceste situații nu au fost consemnate.
3. Eficiența procedurală a amprentării a diferit semnificativ între fluxuri: timpul mediu de lucru a fost $27,4 \pm 3,1$ minute pentru protocolul convențional și $13,2 \pm 2,5$ minute pentru protocolul digital, diferența fiind statistic semnificativă ($p < 0,001$). În cohorta analizată,

fluxul digital a permis livrarea restaurărilor definitive fără repetarea amprentării și fără ajustări la livrarea finală.

4. În aceeași investigație, includerea rezultatelor raportate de pacient prin chestionarul VAS a permis completarea evaluării obiective a adaptării protetice cu indicatori standardizați de acceptabilitate clinică, precum confortul procedural, reflexul de greață, adaptarea funcțională și acceptarea tratamentului. Aceste date au fost utilizate ca instrument complementar, fără a substitui criteriile clinice și radiografice de adaptare.
5. În studiul privind restaurările parțiale din zirconiu înșurubate, comparația între designul cu PKT și designul fără PKT a evidențiat diferențe semnificative în favoarea designului fără interfață metalică, scorul VAS mediu fiind $8,2 \pm 0,10$ în grupul cu PKT și $9,3 \pm 0,13$ în grupul fără PKT.
6. Evaluarea adaptării marginale radiografice, cuantificată prin măsurători ImageJ calibrate pe dimensiuni implantare cunoscute, a indicat valori medii ale gap-ului marginal mai reduse pentru restaurările fără PKT (0,1831 mm) comparativ cu cele cu PKT (0,2893 mm), diferența fiind confirmată statistic prin teste parametrice și non-parametrice.
7. Standardizarea condițiilor de evaluare, prin realizarea măsurărilor radiografice la un torque de 30 N·cm, a permis definirea coerentă a endpoint-ului utilizat (gap marginal radiografic) și comparația directă între cele două concepte protetice.
8. În extensia la restaurări full-arch segmentate, evenimentele protetice au fost definite operațional ca situații care au necesitat intervenție după inserarea definitivă. În lotul analizat, singurele evenimente observate au fost de tip slăbire a șurubului, cu 4 incidente în grupul cu PKT și 5 incidente în grupul fără PKT; timpul mediu până la primul incident a fost de 17 luni pentru grupul cu PKT și 26 luni pentru grupul fără PKT.
9. În evaluarea radiografică a restaurărilor full-arch, scopul nu a fost cuantificarea microspațiilor sub limita de rezoluție radiografică, ci identificarea indicatorilor indirecți de adaptare și stabilitate. Conform observațiilor, șederea a fost completă la inserare în toate cazurile, fără modificări ale osului marginal asociate evenimentelor, iar după intervențiile de mentenanță s-a obținut restabilirea completă a adaptării protetice în ambele grupuri.
10. În ansamblu, rezultatele tezei susțin o strategie de optimizare a designului restaurărilor parțiale implanto-susținute, bazată pe selecția rațională între designul tradițional cu interfață PKT și designul „coping-free”. Această selecție este condiționată de controlul fluxului digital, de respectarea principiilor protetice și ocluzale și de monitorizarea clinică post-insertie, iar în aceste condiții ambele concepte au fost demonstrate ca fiind fezabile clinic în cohortele analizate..

Bibliografie

1. Morton D, Gallucci G, Lin WS, Pjetursson B, Polido W, Roehling S, et al. Group 2 ITI Consensus Report: Prosthodontics and implant dentistry. *Clinical Oral Implants Research*. 2018;29(Suppl 16):215–223.
2. Brånemark PI, Breine U, Adell R, Hansson BO, Lindström J, Ohlsson Å. Intra-osseous anchorage of dental prostheses. I. Experimental studies. *Scandinavian Journal of Plastic and Reconstructive Surgery*. 1969;3(2):81–100.
3. Abdelrehim A, Etajuri EA, Sulaiman E, Sofian H, Mohd Salleh N. Magnitude of misfit threshold in implant-supported restorations: a systematic review. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2024;132(3):528–535.
4. Couso-Queiruga E, Ramseier CA, Chappuis V, Janner SFM, Buser D, Brägger U, Salvi GE. Impact of marginal misfit in implant-supported fixed dental prostheses on peri-implant bone levels: a retrospective quantitative analysis. *Clinical Oral Implants Research*. 2025;36.
5. Jemt T, Lekholm U, Johansson CB. Bone response to implant-supported frameworks with differing degrees of misfit preload: an in vivo study in rabbits. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*. 2007;9(1).
6. Natali AN, Pavan PG, Ruggero AL. Evaluation of stress induced in peri-implant bone tissue by misfit in multi-implant prosthesis. *Dental Materials*. 2006;22(4):388–395.
7. Rutkunas V, Larsson C, von Steyern PV, Mangano F, Gedrimiene A. Clinical and laboratory passive fit assessment of implant-supported zirconia restorations fabricated using conventional and digital workflow. *Clinical Implant Dentistry and Related Research*. 2020;22(2):237–245.
8. Papaspyridakos P, Chen CJ, Gallucci GO, Doukoudakis A, Weber HP, Chronopoulos V. Accuracy of implant impressions for partially and completely edentulous patients: a systematic review. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*. 2014;29(4):836–845.
9. Wulfman C, Naveau A, Rignon-Bret C. Digital scanning for complete-arch implant-supported restorations: a systematic review. *The Journal of Prosthetic Dentistry*. 2020;124(2):161–167.
10. Giachetti L, Sarti C, Cinelli F, Russo DS. Accuracy of digital impressions in fixed prosthodontics: a systematic review of clinical studies. *International Journal of Prosthodontics*. 2020;33(2):192–201.
11. Ahlholm P, Sipilä K, Vallittu P, Jakonen M, Kotiranta U. Digital versus conventional impressions in fixed prosthodontics: a review. *Journal of Prosthodontics*. 2018;27(1):35–41.
12. D'haese R, Vrombaut T, Roeykens H, Vandeweghe S. In vitro accuracy of digital and conventional impressions for full-arch implant-supported prostheses. *Journal of Clinical Medicine*. 2022;11(3):594.
13. Kim KR, Seo KY, Kim S. Conventional open-tray impression versus intraoral digital scan for implant-level complete-arch impression. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2019;122(6):543–549.

14. Borşanu IA, Rusu LC, Antonie SM, Bratu EA. Comparative clinical evaluation of digital versus conventional dental impression techniques in implant-supported restorations. *Prosthesis*. 2025;7(6):135.
15. Borşanu IA, Rusu LC, Antonie SM, Bratu EA. Prosthetic cap-free implant restorations: five-year clinical performance with mechanical verification. *Dentistry Journal*. 2025;13(12):586.
16. Erdelyi RA, Duma VF, Sinescu C, Dobre GM, Bradu A, Podoleanu A. Dental diagnosis and treatment assessments: between X-rays radiography and optical coherence tomography. *Materials*. 2020;13(21):4825.
17. Erdelyi RA, Duma VF, Sinescu C, Dobre GM, Bradu A, Podoleanu A. Optimization of X-ray investigations in dentistry using optical coherence tomography. *Sensors*. 2021;21(13):4554.
18. Torsello F, Mirisola Di Torresanto V, Ercoli C, Cordaro L. Evaluation of the marginal precision of one-piece complete arch titanium frameworks fabricated using five different methods for implant-supported restorations. *Clinical Oral Implants Research*. 2008;19(10).
19. Kallus T, Bessing C. Loose gold screws frequently occur in full-arch fixed prostheses supported by osseointegrated implants after 5 years. *International Journal of Oral & Maxillofacial Implants*. 1994;9(2):169.
20. Binon PP. The effect of implant/abutment hexagonal misfit on screw joint stability. *International Journal of Prosthodontics*. 1996;9(2):149–160.