

Богдан Іван Михайлович,

старший викладач кафедри ортопедичної стоматології,

ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

ORCID ID: 0000-0002-0948-5548

м. Ужгород, Україна

Гончарук-Хомин Мирослав Юрійович,

доктор філософії,

завідувач кафедри терапевтичної стоматології,

ДВНЗ «Ужгородський національний університет»

ORCID ID: 0000-0002-7482-3881

м. Ужгород, Україна

Лабораторне обґрунтування можливості застосування резонансно-частотного аналізу для ідентифікації випадків повного розцементування одиночних ортопедичних конструкцій

Вступ. За даними попередньо проведеного мультифакторного аналізу втрата ретенції є основною причиною констатації факту неспішності функціонування одиночних коронок з опорою на власних зубах. Описані в літературі методи оцінки рівня ретенції одиночних ортопедичних конструкцій носять в основному інвазійний характер, або ж є лабораторно-орієнтованими, без перспективи їх подальшої імплементації в клінічну практику.

Мета дослідження. Обґрунтувати можливість застосування методу резонансно-частотного аналізу з метою диференціації випадків повної втрати цементної фіксації одиночних ортопедичних конструкцій в лабораторних умовах.

Матеріали та методи. Приймаючи до уваги принципові особливості проведення відповідних вимірювань в ході реалізації резонансно-частотного аналізу з використанням апарату Osstell ISQ для обґрунтування застосування даного методу з метою диференціації випадків повної втрати цементної фіксації одиночних ортопедичних конструкцій запропоновано використання спеціальних металевих ковпачків, які імітують штучні коронки, на оклюзійній проекції котрих розміщується додатковий мікроциліндричний паз, в який проводиться фіксація стандартизованого трансдюцера SmartPeg. Після фіксації датчика SmartPeg в просторі мікроциліндричного пазу ковпачків вимірювання стабільності проводили згідно стандартної методики резонансно-частотного аналізу на всіх ковпачках (по 10 для кожної групи зубів) до проведення їх фіксації на склоіономерний цемент і через 24 години після фіксації.

Результати досліджень та їх обговорення. Показники стабільності виражені в одиницях ISQ, були розподілені між конструкціями, виготовленими на різні групи зубів наступним чином: середня стабільність ковпачків виготовлених для молярів до їх цементної фіксації складала $42,6 \pm 11,2$ одиниць ISQ, через 24 години після цементної фіксації – $73,8 \pm 7,5$ одиниць ISQ; середня стабільність ковпачків виготовлених для премоларів до їх цементної фіксації складала $39,2 \pm 14,3$ одиниць ISQ, через 24 години після цементної фіксації – $71,2 \pm 6,8$ одиниць ISQ; середня стабільність ковпачків виготовлених для ікол до їх цементної фіксації складала $39,8 \pm 12,4$ одиниць ISQ, через 24 години після цементної фіксації – $72,5 \pm 7,2$ одиниць ISQ; середня стабільність ковпачків виготовлених для різців до їх цементної фіксації складала $35,6 \pm 18,2$ одиниць ISQ, через 24 години після цементної фіксації – $70,1 \pm 11,3$ одиниць ISQ.

Висновки. У даній моделі лабораторного дослідження відсутність цементної фіксації ковпачків імітувала клінічну ситуації повної втрати ретенції ортопедичної конструкції, і, враховуючи, що середні показники ISQ статистично відрізнялися у всіх випадках до та після проведення цементної фіксації, можна резюмувати, що запропонований вдосконалений підхід резонансно-частотного аналізу є достатньо чутливим для диференціації випадків повної втрати цементної фіксації одиночних ортопедичних конструкцій в експериментальних умовах.

Ключові слова: ортопедична стоматологія, коронка, ортопедичні конструкції, резонансно-частотний аналіз, цементна фіксація, розцементування.

Bohdan Ivan Mykhaylovych, Senior Lecturer at the Department of Prosthetic Dentistry, Uzhhorod National University, ORCID ID: 0000-0002-0948-5548, Uzhhorod, Ukraine

Goncharuk-Khomyn Myroslav Yuriyovich, PhD, Head of Department of Restorative Dentistry, Uzhhorod National University, ORCID ID: 0000-0002-7482-3881, Uzhhorod, Ukraine

Laboratorial argumentation of possibility to use resonance-frequency analysis for the identification of cases with full cement fixation loss among single prosthetic constructions

Introduction. According to the previously conducted multifactorial analysis, the loss of retention is the main reason for ascertaining the fact of the failure for single crowns fixed on abutment teeth. The methods described in the literature for assessing the level of retention among single prosthetic constructions are mainly invasive in nature, or are laboratory-oriented, without the prospect of their further implementation within the clinical practice.

Objective of the research. To substantiate the possibility of using resonance-frequency analysis in order to differentiate cases with complete cement fixation loss among single prosthetic constructions within laboratory conditions.

Materials and methods. Taking into account the fundamental features of conducting relevant measurements during the implementation of resonance-frequency analysis using the Osstell ISQ device, while justifying use of such method in order to differentiate cases with complete cement fixation loss among single prosthetic constructions, it was proposed to use special metal caps that imitate artificial crowns, on the occlusal projection of which an additional microcylindrical groove was modeled; within the latter the standardized SmartPeg transducer should be fixed. After fixing the SmartPeg sensor in the space of the microcylindrical groove on the caps, stability measurements were performed according to the standard method of resonance-frequency analysis on all caps (10 for each group of teeth) before their fixation on glass ionomer cement and 24 hours after fixation.

Results and discussions. The stability indicators, expressed in ISQ scores, were distributed among the constructions made for different groups of teeth as follows: the average stability of caps made for molars before their cement fixation was $42,6 \pm 11,2$ ISQ scores, while 24 hours after cement fixation – $73,8 \pm 7,5$ ISQ scores; the average stability of caps made for premolars before their cement fixation was $39,2 \pm 14,3$ ISQ scores, while 24 hours after cement fixation – $71,2 \pm 6,8$ ISQ scores; the average stability of caps made for canines before their cement fixation was $39,8 \pm 12,4$ ISQ scores, while 24 hours after cement fixation – $72,5 \pm 7,2$ ISQ scores; the average stability of caps made for incisors before their cement fixation was $35,6 \pm 18,2$ ISQ scores, while 24 hours after cement fixation – $70,1 \pm 11,3$ ISQ scores.

Conclusions. In this laboratory study model, the absence of cement fixation among caps simulated the clinical situation of complete retention loss for the prosthetic constructions, and considering that the average ISQ scores were statistically different in all cases before and after cement fixation, it can be concluded that the proposed improved approach of resonance-frequency analysis is sensitive enough to differentiate cases of complete loss of cement fixation among single prosthetic constructions in experimental conditions.

Key words: prosthetic dentistry, dental crown, prosthetic constructions, resonance-frequency analysis, cement fixation, cement fixation loss.

Вступ. За даними попередньо проведеного мультифакторного аналізу втрата ретенції є основною причиною констатації факту неуспішності функціонування одиночних коронок з опорою на власних зубах [1]. У попередніх роботах Goodacre С. та співавторів було відмічено, що втрата ретенції одиночних ортопедичних конструкцій завжди входить у трійку найпоширеніших ускладнень пов'язаних із функціонуванням таких [2], при цьому результати моніторингу за функціонуванням 1037 одиночних коронок засвідчили, що втрата ретенції відповідала за частку 26,5% випадків неуспішного функціонування даних конструкцій, з частотою розвитку в діапазоні 8,3-10,5% випадків незалежно від типу коронки (цілнокерамічна, золотокерамічна, кобальтохромкерамічна чи суцільно-золота) [1].

Окремі роботи демонструють дещо нижчу поширеність випадків втрати цементної фіксації серед металокерамічних коронок, яка складає в районі 2-3,8% при 5-річному спостереженні, при цьому коронки зафіксовані на передніх зубах характеризуються в 2,66 раз вищим ризиком втрати ретенції, ніж коронки зафіксовані на дистальних зубах [3, 4]. Очевидно, що такі значущі розбіжності даних щодо поширеності випадків втрати ретенції серед одиночних ортопедичних конструкцій, відмічені в попередніх наукових роботах, можуть бути аргументовані відмінностями у підходах до препарування, різницею у поширеності похибок на етапах лабораторного виготовлення коронок, а також неуніфікованістю підходів до ідентифікації ранніх ознак втрати цементної фіксації.

Як у попередніх роботах Behr М., так і в дослідженні Sharif F. було відмічено, що більша частина випадків втрати цементної фіксації відмічається у перші 3-5 років функціонування одиночних ортопедичних конструкцій [3, 4].

Ускладнення у формі втрати цементної фіксації не виникає одномоментно, а розвивається протягом певного періоду часу з послідовним зниженням показників ретенції коронки по причині деградації цементного матеріалу в проекції його контакту з опорним зубом та власне коронкою. Sharif М. та колеги повідомили про три можливі патерни втрати цементної фіксації одиноч-

них коронок з опорою на власних зубах: вздовж шару цементу (36,3% випадків), на інтерфейсі з'єднання цементу та коронки (55%), на інтерфейсі з'єднання опорного зуба та цементу (8,8%) [4]. Можливість ранньої верифікації ознак втрати цементної фіксації дозволила б вжити заходів щодо заміни ортопедичних конструкцій з попередженням розвитку ускладнень біологічного характеру, по типу вторинного карієсу, втрати вітальності зуба, перелому, пародонтологічних ускладнень у формі втрати рівня клінічного прикріплення, редукції рівня оточуючої кісткової тканини та розвитку рецесії [1].

Проте описані в літературі методи оцінки рівня ретенції одиночних ортопедичних конструкцій носять в основному інвазійний характер, або ж є лабораторно-орієнтованими, без перспективи їх подальшої імплементації в клінічну практику. Так, Majcher А. та колеги описали методику оцінки ретенції телескопічних коронок з використанням апарату, який імітував циклічне навантаження з прикладенням сил різного діапазону [5]. Тест на зняття коронки (тест ретенції коронки) первинно був розроблений для оцінки міцності фіксації різних цементів, і в кінцевому результаті призводить до видалення конструкції з опори, а відтак є доцільним для реалізації лише в лабораторних умовах [6].

У декількох попередніх дослідженнях повідомлялось про можливість застосування методу резонансно-частотного аналізу, який первинно був розроблений для оцінки стабільності дентальних імплантатів в структурі кісткової тканини щелеп, з метою верифікації змін показників стабільності ортопедичних конструкцій з опорою на власних зубах [7, 8, 9]. Проте описані в попередніх роботах дані щодо особливостей застосування методу резонансно-частотного аналізу для оцінки міцності фіксації ортопедичних конструкцій є неуніфікованими з точки зору репрезентації результатів, а також були отримані в результаті реалізації принципово відмінних підходів [7, 8, 9]. Крім того, описані підходи характеризувалися технічними обмеженнями (фіксація датчика на композитний матеріал, довільне позиціонування датчика, використання модифікованих одиниць вимірювань), які критично відрізняються

від оригінального алгоритму реалізації методу резонансно-частотного аналізу.

Відтак перевірка можливостей застосування резонансно-частотного аналізу для оцінки стабільності одиночних ортопедичних конструкцій з дотриманням принципових особливостей проведення відповідних вимірювань дозволить підтвердити або ж спростувати чутливість даного методу по відношенню до диференціації випадків повної втрати цементної фіксації, і в разі підтвердження такої експериментально – окреслити перспективи вдосконалення підходу для його імплементації до умов клінічного стоматологічного прийому.

Мета. Обґрунтувати можливість застосування методу резонансно-частотного аналізу з метою диференціації випадків повної втрати цементної фіксації одиночних ортопедичних конструкцій в лабораторних умовах.

Матеріали та методи. Перевірка можливостей застосування методу резонансно-частотного аналізу для оцінки стабільності одиночних ортопедичних конструкцій в лабораторних умовах передбачає вдосконалення оригінального підходу, запропонованого Meredith N. та Sennerby L. для оцінки стабільності встановлених внутрішньокісткових титанових дентальних імплантатів [10, 11]. Приймаючи до уваги принципові особливостей проведення відповідних вимірювань в ході реалізації резонансно-частотного аналізу з використанням апарату Osstell ISQ (Osstell, Гетеборг, Швеція) запропоновано використання спеціальних металевих ковпачків, які імітують штучні коронки з дотриманням до таких вимог виготовлення ковпачків для металокерамічних коронок (стандартна ширини цементного зазору в діапазоні 0,4-0,6 мм, точність посадки в діапазоні 100-120 мікрон, дотримання параметрів товщини ковпачка з різних сторін) на оклюзійній проекції котрих проектується додатковий мікроциліндричний паз, геометричні параметри котрого відповідають параметрам різьби стандартизованого трансдюцера SmartPeg [12].

Моделювання металевих ковпачків з додатковим мікроциліндричним пазом проводиться у програмному забезпеченні Exocad (Exocad, Дармштадт, Німеччина). Мікроциліндричний паз проектується на середину оклюзійної поверхні молярів та премолярів, а у випадках різців та ікол – на середину ріжучого краю (рис. 1).

Фізичне виготовлення ковпачків із мікроциліндричним пазом на оклюзійній поверхні проводиться методом високоточного лиття, дотримуючись протоколу лабораторного виконання даного процесу.

Для виконання вимог до фіксації датчика необхідним є загвинчування такого в мікроциліндричний паз на поверхні коронки із силою в діапазоні 5-15 Н [13, 14]. З метою перевірки надійності загвинчування SmartPeg в мікроциліндричному пазі можна провести процес калібрації, порівнюючи показники отриманні при утриманні ковпачка в нерухомому положенні, із показниками, які будуть зареєстровані при нерухомому положенні референтного зразка TestPeg. Відсутність різниці між такими в понад 12 одиниць ISQ засвідчує надійну фіксацію датчика в структурі мікроциліндричного пазу на поверхні металевих ковпачка.

Вимірювання показників стабільності в одиницях ISQ проводиться у відповідності до оригінального протоколу методики резонансно-частотного аналізу та з дотриманням інструкції апарату Ostell ISQ (Osstell, Гетеборг, Швеція): у активному режимі апарату зонд розміщують спочатку з вестибулярної сторони ковпачка, орієнтованим на верхню частину датчика, а потім перпендикулярно до даного положення – з мезіальної чи дистальної сторін ковпачка. Після активації зонда очікують на відклик (рекол) від датчика SmartPeg, показники котрого зберігаються у форматі серії даних в пам'яті апарату.

Для перевірки можливостей застосування методу резонансно-частотного аналізу з метою оцінки стабільності одиночних ортопедичних конструкцій та

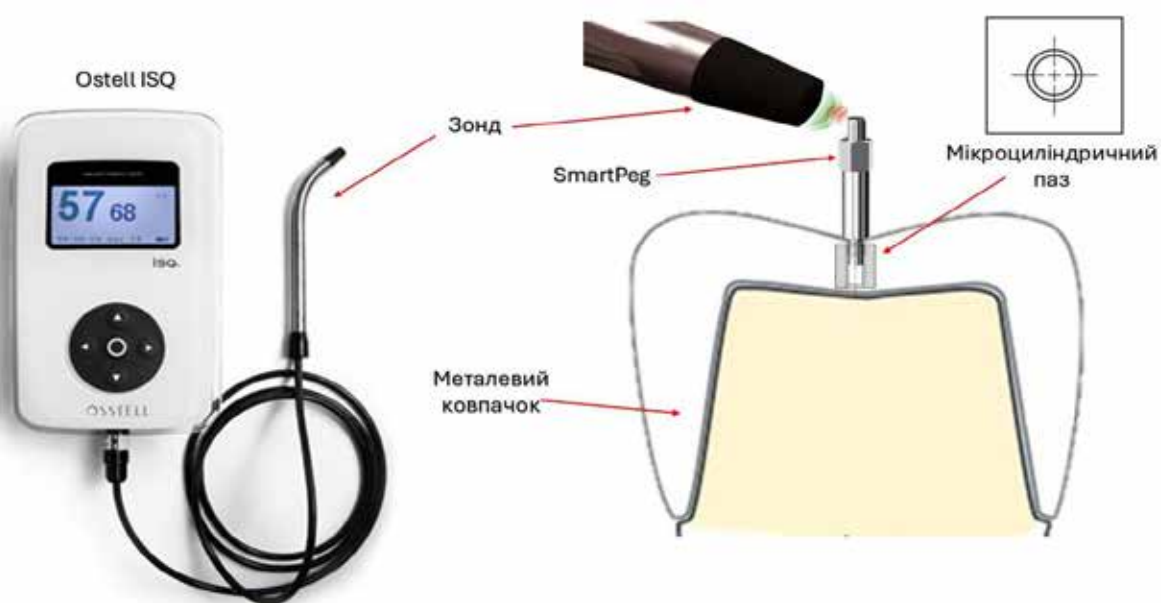


Рис. 1. Схематичне зображення технічної пропозиції вдосконалення методики резонансно-частотного аналізу для оцінки стабільності незнімних ортопедичних конструкцій

диференціації випадків повної втрати цементної фіксації таких була запропонована наступна лабораторна модель дослідження:

1) на гіпсовій моделі нижньої щелепи проводилося препарування різних груп зубів з урахуванням класичних принципів направленої редукції під металокерамічну коронку за Shillingburg H.T. [15];

2) сканування відпрепарованих моделей проводилося із застосуванням апарату Medit I500 (Medit Corp., Сеул, Корея)

3) отримані цифрові дані передавали в лабораторію, де в цифровому середовищі забезпечували проведення моделювання металевих ковпачків на відпрепаровані зуби з середньою величиною цементного зазору в 0,5 мм, при цьому в структурі кожного ковпачка при цифровому проектуванні проводили формування мікроциліндричного пазу для подальшої фіксації SmartPeg;

4) ковпачки для кожної групи зубів (різці, ікла, моляри, премоляри) виготовляли у кількості 10 методом високоточного лиття з подальшою класичною обробкою металу;

5) для уніфікації умов дослідження відпрепарована гіпсова модель були відсканована інтраоральним сканером та п'ятикратно продубльована методом SLA-принтингу (EnvisionTEC Micro Plus, EnvisionTEC, Гладбек, Німеччина);

1) після фіксації датчика SmartPeg в просторі мікроциліндричного пазу ковпачків вимірювання стабільності проводили вищеписаним підходом на всіх ковпачках до проведення їх фіксації на склоіономерний цемент (Fuji Plus, GC Europe N.V., Левен, Бельгія) і через 24 години після фіксації такого.

Групування та статистичне опрацювання даних проводилося у табличному редакторі Microsoft Excel 2021 (Microsoft Office 2021, Microsoft, США).

Результати дослідження та їх обговорення. Опрацювання даних, отриманих в ході оцінки стабільності одиночних ортопедичних конструкцій імітованих за рахунок металевих ковпачків, до та після фіксації таких дозволило встановити, середні значення ISQ через 24 години після цементної фіксації статистично перевищували середні значення ISQ, відмічені до цементної фіксації ($p < 0,05$). Показники стабільності виражені в одиницях ISQ були розподілені між конструкціями, виготовленими на різні групи зубів наступним чином: середня стабільність ковпачків виготовлених для молярів до їх цементної фіксації складала $42,6 \pm 11,2$ одиниць ISQ, через 24 години після цементної фіксації – $73,8 \pm 7,5$ одиниць ISQ, різниця між котрими була статистично аргументованою ($p < 0,05$); середня стабільність ковпачків виготовлених для премолярів до їх цементної фіксації складала $39,2 \pm 14,3$ одиниць ISQ, через 24 години після цементної фіксації – $71,2 \pm 6,8$ одиниць ISQ, відмінності між показниками були статистично підтвердженими ($p < 0,05$); середня стабільність ковпачків виготовлених для ікол до їх цементної фіксації складала $39,8 \pm 12,4$ одиниць ISQ, через 24 години після цементної фіксації – $72,5 \pm 7,2$ одиниць ISQ, різниця між якими була статистично значущою ($p < 0,05$); середня стабільність ковпачків виготовлених для різців до їх цемент-

ної фіксації складала $35,6 \pm 18,2$ одиниць ISQ, через 24 години після цементної фіксації – $70,1 \pm 11,3$ одиниць ISQ, відмінності між котрими відповідали величині статистичного критерію значущості ($p < 0,05$).

Міжгрупове порівняння дозволило встановити статистично значущу різницю показників стабільності металевих ковпачків до їх цементної фіксації лише при співставленні показників, зареєстрованих у випадках дослідження ковпачків, виготовлених на моляри та різці ($p < 0,05$); статистичних відмінностей у стабільності ковпачків, виготовлених на моляри, ікла та премоляри до проведення їх цементної фіксації за даними зареєстрованих рівнів ISQ встановити не вдалось ($p > 0,05$).

Через 24 години після проведеної цементної жодних статистично аргументованих відмінностей у середніх показниках стабільності за результатами резонансно-частотного аналізу між ковпачками, виготовленими на різні групи зубів верифікувати не вдалось ($p > 0,05$) (рис. 2).

Експериментальна перевірка можливості використання технології резонансно-частотного аналізу з метою оцінки стабільності одиночних ортопедичних конструкцій підтвердила ефективність адаптованого підходу по відношенню до ідентифікації та диференціації імітованих випадків повної втрати цементної фіксації в лабораторних умовах (визначення стабільності ковпачків методом резонансно-частотного аналізу без їх попередньої цементної фіксації). Відмінності середніх показників ISQ виявилися статистично значущими у всіх випадках порівняння стабільності металевих ковпачків, зафіксованих на моделях з використанням склоіономерного цементу та в умовах, коли фіксації таких не була проведена з використанням відповідного матеріалу.

Попередньо в спеціалізованій літературі повідомлялось всього про три підходи до вдосконалення методу резонансно-частотного аналізу з метою оцінки рівнів ретенції ортопедичних конструкцій. В наукових роботах Omer K. фіксацію датчика SmartPeg на поверхні досліджуваних коронок забезпечували за рахунок композитного матеріалу, що вочевидь не може гарантувати достатньо міцного з'єднання трансдюцера, оригінальний метод фіксації котрого передбачає механізм загвинчування [9]. В запропонований дослідницький моделі належна фіксація датчика в структурі металевих ковпачка забезпечувалась за рахунок конгруентного мікроциліндричного пазу, який моделюється в програмному забезпеченні для трьохмірного проектування. Додатково можливою є опція проведення калібрації для оцінки міцності фіксації датчика, шляхом порівняння отриманих даних при нерухомій фіксації ковпачка та референтного зразка TestPeg. Такий підхід дозволяє мінімізувати ризик розвитку похибки методу, забезпечуючи реалізацію оригінального алгоритму дослідження розробленого для Ostell ISQ з тією лише відмінністю, що загвинчування датчика відбувається не у шахту імплантата чи в абатмент, а в спроектований мікроциліндричний паз, при цьому глибина фіксації та характеристика різьби такого повністю відповідають геометричним параметрам обраного для дослідження варіанту SmartPeg.

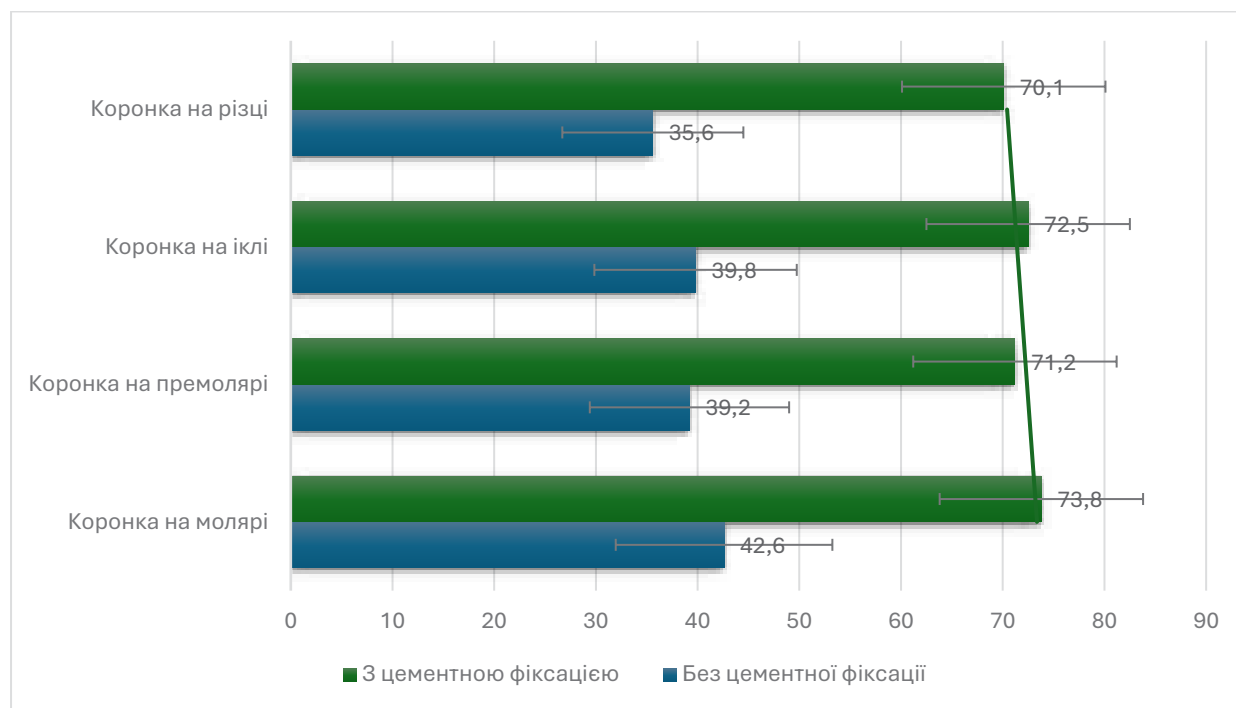


Рис. 2. Середні значення показників стабільності металевих ковпачків, виготовлених на різні групи зубів, до та після їх цементної фіксації, зареєстровані з використанням адаптованого підходу резонансно-частотного аналізу

У наукових роботах Qi J. та Naito H. (2024), а також Sammour S.R., Naito H. та співавторів (2024) з аналогічно вищеописаній меті було запропоновано модифікувати як апарат, так і дослідницький підхід, відтак замість зонда для подачі магнітного імпульсу використовували пристрій аналогічний Periotest (Medizintechnik Gulden e. K., Модауталь, Німеччина), робоча головка котрого контактувала з поверхнею коронки з певною частотою, а на поверхні коронки був зафіксований 3D акселометр, який реєстрував частоту досягнутого резонансу на коронці [7, 8]. Попри те, що такий підхід характеризується вищим рівнем діагностичної чутливості щодо верифікації ознак порушення міцності з'єднання коронки, однак водночас він не вирішував проблеми нерухокої фіксації власне самого акселометру, зміни принципу дії магнітного імпульсу на принцип безпосереднього фізичного контакту, а також необхідності відходу від уніфікованих одиниць вимірювання ISQ до показників частоти у герцах, які не підлягали конкретній цільовій клінічній інтерпретації. У описаній нами модифікації методу резонансно-частотного аналізу передбачено збереження всіх принципів для даного підходу особливостей проведення вимірювань та використання у якості показників таких одиниць ISQ, відмінності

котрих дозволяють диференціювати стан належної цементної фіксації коронки та повного її розцементування в експериментальних умовах

Висновки. Приймаючи до уваги принципові особливості проведення відповідних вимірювань в ході реалізації резонансно-частотного аналізу з використанням апарату Osstell ISQ для обґрунтування застосування методу з метою диференціації випадків повної втрати цементної фіксації одиночних ортопедичних конструкцій запропоновано використання спеціальних металевих ковпачків, які імітують штучні коронки, на оклюзійній проекції котрих розміщується додатковий мікроциліндричний паз, в який проводиться фіксація стандартизованого датчика SmartPeg.

У даній моделі лабораторного дослідження відсутність цементної фіксації ковпачків імітувала клінічну ситуацію повної втрати ретенції ортопедичної конструкції, і, враховуючи, що середні показники ISQ статистично відрізнялися у всіх випадках до та після проведення цементної фіксації, можна резюмувати, що запропонований вдосконалений підхід резонансно-частотного аналізу є достатньо чутливим для диференціації випадків повної втрати цементної фіксації одиночних ортопедичних конструкцій в експериментальних умовах.

REFERENCES

1. Hawthorn M, Chrcanovic BR, Larsson C. Retrospective clinical study of tooth-supported single crowns: A multifactor analysis. *European Journal of Oral Sciences*. 2022 Aug;130(4):e12871. <https://doi.org/10.1111/eos.12871>
2. Goodacre CJ, Bernal G, Rungcharassaeng K, Kan JY. Clinical complications in fixed prosthodontics. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2003 Jul 1;90(1):31-41. [https://doi.org/10.1016/S0022-3913\(03\)00214-2](https://doi.org/10.1016/S0022-3913(03)00214-2)
3. Behr M, Zeman F, Baitinger T, Galler J, Koller M, Handel G, Rosentritt M. The Clinical Performance of Porcelain-Fused-to-Metal Precious Alloy Single Crowns: Chipping, Recurrent Caries, Periodontitis, and Loss of Retention. *The International Journal of Prosthodontics*. 2014;27(2):153-60. <https://doi.org/10.11607/ijp.3440>

-
4. Jamal S, Ghafoor R, Khan FR, Zafar K. Five year evaluation of the complications observed in porcelain fused to metal (PFM) crowns placed at a university hospital. *JPMA. The Journal of the Pakistan Medical Association*. 2020;70(5):845. <https://doi.org/10.5455/JPMA.16442>
 5. Majcher A, Leśniewska-Kochanek A, Mierzwińska-Nastalska E. A method and a device for the evaluation of the retention of telescopic dental crowns. *Journal of the mechanical behavior of biomedical materials*. 2017 May 1;69:362-7. <https://doi.org/10.1016/j.jmbbm.2017.01.042>
 6. Heintze SD. Crown pull-off test (crown retention test) to evaluate the bonding effectiveness of luting agents. *Dental materials*. 2010 Mar 1;26(3):193-206. <https://doi.org/10.1016/j.dental.2009.10.004>
 7. Sammour SR, Naito H, Kimoto T, Sasaki K, Ogawa T. Anomaly detection of retention loss in fixed partial dentures using resonance frequency analysis and machine learning: An in vitro study. *Journal of Prosthodontic Research*. 2024;JPR_D_23_00154. https://doi.org/10.2186/jpr.JPR_D_23_00154
 8. QiJ, Miyashita M, Ogawa T, Naito H, Sasaki K. Resonance frequency analysis for evaluation of the connecting condition between fixed prostheses and their abutment teeth: An in vitro and finite element analysis study. *Journal of Prosthetic Dentistry*. 2024 May 1;131(5):886-94. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2022.03.005>
 9. Omer K, Fox K, Palermo D, Boyle L, Youngson C. An in vitro evaluation of resonant frequency analysis to measure fixed bridge stability. *BDJ open*. 2015 Oct 23;1(1):1-7. <https://doi.org/10.1038/bdjopen.2015.1>
 10. Sennerby L, Meredith N. Implant stability measurements using resonance frequency analysis: biological and biomechanical aspects and clinical implications. *Periodontology 2000*. 2008 Jan 1;47:51-66. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0757.2008.00267.x>
 11. Chen MH, Lyons KM, Tawse-Smith A, Ma S. Clinical significance of the use of resonance frequency analysis in assessing implant stability: a systematic review. *Int J Prosthodont*. 2019 Jan 1;32(1):51-8. <https://doi.org/10.11607/ijp.6048>
 12. Jaramillo R, Santos R, Lázaro P, Romero M, Rios-Santos JV, Bullón P, Fernández-Palacín A, Herrero-Climent M. Comparative analysis of 2 resonance frequency measurement devices: Osstell Mentor and Osstell ISQ. *Implant dentistry*. 2014 Jun 1;23(3):351-6. <https://doi.org/10.1097/ID.0000000000000072>
 13. Kästel I, de Quincey G, Neugebauer J, Sader R, Gehrke P. Does the manual insertion torque of smartpegs affect the outcome of implant stability quotients (ISQ) during resonance frequency analysis (RFA)? International Journal of Implant Dentistry. 2019 Dec;5:1-7. <https://doi.org/10.1186/s40729-019-0195-1>
 14. Salatti DB, Pelegri AA, Gehrke S, Teixeira ML, Moshaverinia A, Moy PK. Is there a need for standardization of tightening force used to connect the transducer for resonance frequency analysis in determining implant stability. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2019 Apr 1;34(4):886-90. <https://doi.org/10.11607/jomi.7361>
 15. Hobo S, Shillingburg HT. Porcelain fused to metal: tooth preparation and coping design. *The Journal of prosthetic dentistry*. 1973 Jul 1;30(1):28-36. [https://doi.org/10.1016/0022-3913\(73\)90075-9](https://doi.org/10.1016/0022-3913(73)90075-9)