

Білей Анастасія Михайлівна,
аспірантка кафедри хірургічної стоматології та клінічних дисциплін,
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
ORCID ID: 0009-0002-7673-6930
м. Ужгород, Україна

Мочалов Юрій Олександрович,
доктор медичних наук, професор, професор кафедри хірургічної
стоматології та клінічних дисциплін,
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
ORCID ID: 0000-0002-5654-1725
м. Ужгород, Україна

Баранець Владислав Васильович,
аспірант кафедри терапевтичної стоматології,
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
ORCID ID: 0009-0006-8863-7605
м. Ужгород, Україна

Гончарук-Хомин Мирослав Юрійович,
доктор філософії, доцент,
завідувач кафедри терапевтичної стоматології,
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
ORCID ID: 0000-0002-7482-3881
м. Ужгород, Україна

Значущість критерію співвідношення розміру коронки до розміру залишкової частини кореня як складової функціонального прогнозу зубів після проведення процедури апікоектомії

Вступ. Апікоектомія є складовою процедурою хірургічних ендодонтичних втручань, яка за своїм визначенням призводить до зменшення довжини кореня, а відтак – і до порушення вихідного співвідношення розміру коронки до розміру кореня. Проте досі в літературі відмічається дефіцит досліджень строгої цільової спрямованості, які б дозволяли квантифікувати значущість даного співвідношення як критерію прогнозу функціонування зубів після проведеної маніпуляції резекції верхівки кореня.

Мета дослідження. Проаналізувати пул цільових наукових досліджень, котрі стосуються значущості змін співвідношення розмірів висоти коронки до залишкової довжини кореня після виконання процедури апікоектомії, як критерію біомеханічного прогнозу функціонування зубів після проведених хірургічних ендодонтичних втручань.

Матеріали та методи. Пошук цільових публікацій проводився за різними комбінаціями ключових слів «crown root ratio», «tooth», «biomechanics», «prognosis», «endodontic surgery», «root end resection», «apicoectomy» та їх відповідниками українською мовою.

Результати досліджень та їх обговорення. Дані, акумульовані в ході опрацювання результатів попередньо проведених досліджень, засвідчують, що показник співвідношення розміру коронки до розміру кореня не слід розцінювати у якості надійного ізолюваного предиктора біомеханічного прогнозу зуба після проведення процедури резекції верхівки кореня за умови доступності функціонально-прийнятної залишкової площі пародонтального прикріплення та за умови відсутності ознак його прогресуючої втрати.

Висновки. Показник втрати пародонтального прикріплення в корональній частині кореня є більш значущою детермінантою прогнозу функціонування одиниці зубного ряду після проведення процедури апікоектомії, аніж показник втрати пародонтального прикріплення в апікальній частині кореня внаслідок резекції, за умови висоти резекції до 6 мм (за сприятливих оклюзійних умов), або ж при залишковій довжині кореня в 7 мм. Параметр співвідношення розміру коронки до розміру кореня не є доказово аргументованим предиктором прогнозу виживання зубів після проведення процедури апікоектомії (за умови доступності функціонально-прийнятної площі залишкового пародонтального прикріплення), однак даний критерій потенційно може впливати на прогноз успішності результатів резекції верхівки кореня в довгостроковій перспективі.

Ключові слова: апікоектомія, резекція верхівки кореня, ендодонт, пародонт, пародонтальне прикріплення, діагностика, біомеханіка, зуб, критерії оцінки, прогноз, ендодонтичне лікування.

Biley Anastasia Mykhaylivna, Postgraduate Student at the Department of Surgical Dentistry and Clinical Disciplines, Uzhhorod National University, ORCID ID: 0009-0002-7673-6930, Uzhhorod, Ukraine

Mochalov Yurii Oleksandorvych, Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor at the Department of Surgical Dentistry and Clinical Disciplines, Uzhhorod National University, ORCID ID: 0000-0002-5654-1725, Uzhhorod, Ukraine

Baranets Vladyslav Vasylovych, Postgraduate Student at the Department of Restorative Dentistry, Uzhhorod National University, ORCID ID: 0009-0006-8863-7605, Uzhhorod, Ukraine

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

The significance of the criterion represented by the ratio of the crown size to the size of residual root part as a component of the functional teeth's prognosis after the apicoectomy procedure

Introduction. Apicoectomy is a component procedure of surgical endodontic interventions, which by definition leads to a decrease in root length, and therefore to a violation of the initial ratio of crown size to root size. However, there is still a lack of strictly targeted studies in the literature that would allow to quantify the significance of this ratio as a criterion for predicting the functioning of the teeth after the performed manipulation of root apical resection.

Purpose of the study. To analyze a pool of targeted scientific studies related to the significance of changes in the ratio of crown height to residual root length after the apicoectomy procedure, as a criterion for biomechanical prediction of tooth functioning after performed surgical endodontic interventions.

Research methods. The search for target publications was carried out using various combinations of keywords «crown root ratio», «tooth», «biomechanics», «prognosis», «endodontic surgery», «root end resection», «apicoectomy» and their equivalents in Ukrainian.

Scientific novelty. The data accumulated during the processing of the previous studies' results indicate that the ratio of crown size to root size should not be regarded as a reliable isolated predictor for the biomechanical prognosis of the tooth after the root apex resection procedure, if functionally acceptable residual area of periodontal attachment is available and there is no signs of its progressive loss.

Conclusions. The indicator of periodontal attachment loss in the coronal part of the root is more significant determinant for the prognosis of the further tooth functioning after the apicoectomy procedure than the indicator of clinical attachment loss in the apical part of the root due to resection itself, if provided resection length was up to 6 mm (under favorable occlusal conditions), or if the residual root length is 7 mm. The crown-to-root ratio parameter is not an evidence-based predictor of tooth survival after apicoectomy (if functionally acceptable area of residual periodontal attachment is available), but this criterion can potentially impact the prognosis of the root apex resection success in the long term.

Key words: apicoectomy, root apex resection, endodontium, periodontium, periodontal attachment, diagnostics, biomechanics, tooth, assessment criteria, prognosis, endodontic treatment.

Вступ. Критерій співвідношення розміру коронки до розміру кореня вперше був запропонований до врахування в ортопедичній стоматологічній практиці як детермінанта оцінки спроможності одиниці зубного ряду виконувати функцію опори протетичної конструкції [1]. Обґрунтування даного критерію впливає із біомеханічних принципів функціонування зубів-опор ортопедичних конструкцій за механізмом важеля першого типу, в якому точка опори розташована між точками прикладення сил, при цьому центр ротації локалізується посередині тієї частини кореня, яка знаходиться в структурі кісткової тканини [1, 2, 3]. При втраті рівня оточуючої кісткової тканини плече прикладення сили зростає, а плече протидії – навпаки, зменшується з міграцією центру ротації апікальніше відносно первинного положення, що потенційно може провокувати розвиток нефізіологічних напруг в структурі твердих тканин зуба, а також в оточуючій кістковій тканині, як наслідок ефекту позанормових латеральних зміщень під впливом оклюзійного навантаження [1, 2, 3, 4]. З точки зору ортопедичної практики ідеальним співвідношенням розміру коронки до розміру кореня є співвідношення 1:2, однак таке за даними низки попередніх досліджень є занадто ідеалізованим, відтак клінічно-допустимими на сьогодні вважаються співвідношення 1:1,5 та 1:1 (як мінімально прийнятне) [1].

Попри позиціонування вищезазначених показників як референтних, досі не встановлено достовірної про-

гностичної значущості конкретних параметрів співвідношення розміру коронки до розміру кореня у розрізі оцінки ймовірності виникнення критичних біомеханічних ускладнень при незалежному функціонуванні одиниць зубного ряду в умовах інтактного та ураженого пародонту, а також при їх використанні у якості опор незнімних ортопедичних конструкцій [1, 3]. Зокрема, у ретроспективному дослідженні Tada S. та колег, в якому дослідники вивчали показники виживання опор знімних ортопедичних конструкцій з різним рівнем співвідношення розміру коронки до розміру кореня, не вдалось встановити суттєвих відмінностей щодо виживання опор з рівнями співвідношення $\leq 0,75$ (89,1%), 0,76–1,00 (85,9%) та 1,01–1,25 (86,5%) протягом 7-річного періоду спостереження [4]. Тільки при показниках вищезгаданого співвідношення більше 1,26 відмічалось зниження показників виживання опор знімних ортопедичних конструкцій до 76,9% (при 1,26–1,5), і до 46,7% при $\geq 1,51$ відповідно [4].

Апікоектомія є складовою процедурою хірургічних ендодонтичних втручань, яка за своїм визначенням призводить до зменшення довжини кореня, а відтак – і до порушення вихідного співвідношення розміру коронки до розміру кореня [1, 5, 6, 7]. Проте досі в літературі відмічається дефіцит досліджень строгої цільової спрямованості, які б дозволяли квантифікувати значущість даного співвідношення як критерію прогнозу функці-

онування зубів після проведеної маніпуляції резекції верхівки коронки. Наразі доступно лише декілька наукових робіт, присвячених вивченню цього питання, однак дані таких повинні бути належним чином порівняні між собою задля формулювання конкретних узагальнюючих висновків [11, 12, 13, 14, 15]. Крім того, систематизація даних щодо впливу параметру співвідношення розміру коронки до розміру кореня потенційно може аргументувати потребу в перегляді концепції щодо критичного рівня резекції, попри те, що більшість даних маніпуляцій згідно рекомендацій виконуються на рівні апікальних 3 мм кореня [7, 8, 9, 10].

Мета. Проаналізувати пул цільових наукових досліджень, котрі стосуються значущості змін співвідношення розмірів висоти коронки до залишкової довжини кореня після виконання процедури апікоектомії, як критерію біомеханічного прогнозу функціонування зубів після проведених хірургічних ендодонтичних втручань.

Матеріали та методи. Пошук наукових робіт, асоційованих із метою даного дослідження, проводився з використанням академічного сервісу Google Scholar (<https://scholar.google.com/>) без використання додаткових фільтрів щодо глибини пошуку чи мови публікації з метою максимізації первинної когорти публікацій. Пошук цільових досліджень проводився за різними комбінаціями ключових слів «crown root ratio», «tooth», «biomechanics», «prognosis», «endodontic surgery», «root end resection», «apicoectomy» та їх відповідниками українською мовою.

Категоріями контент-аналізу виступали наступні: 1) підходи до оцінки параметру співвідношення розмірних показників коронкової та кореневої частин зубів; 2) вплив різних співвідношень розміру коронки до розміру кореня на зміни складових біомеханічної взаємодії зуба з оточуючою кістковою тканиною після виконання процедури резекції верхівки кореня; 3) фактори асоційовані зі змінами співвідношення розміру коронки до

розміру кореня на фоні зменшення довжини кореня після проведення процедури апікоектомії та їх вплив на біомеханічний прогноз функціонування зуба; 4) значущість критерію співвідношення розміру коронки до розміру кореня на прогноз виживання зуба в цілому та довгострокову успішність маніпуляції резекції верхівки кореня зокрема.

Групування чисельних даних, а також блоків текстової інформації проводилося у програмному забезпеченні Microsoft Excel 2019 (Microsoft Office 2019, Microsoft, США) з побудовою зв'язків між такими у разі ідентифікації відповідних асоціацій серед різних категорій контент-аналізу.

Результати дослідження та їх обговорення. Під час аналізу співвідношення розміру коронкової частини зуба до розміру кореня важливо розуміти доцільність послуговуватися не параметрами анатомічної або ж клінічної коронки та відповідно кореня, а саме тих частин зуба, які знаходяться вище і нижче рівня альвеолярного гребня відповідно, оскільки саме вони відіграють роль похідних у аналізі біомеханічного прогнозу як елементи важеля першого типу [1] (рис. 1).

Середнє співвідношення розмірів кореня до розміру коронки при референсі до цементно-емалевої границі за даними попередніх досліджень складало 1,83 до проведення апікоектомії і 1,35 після апікоектомії, в той же час при референсі до рівня оточуючої кісткової тканини – 1,08 та 0,72 відповідно, що вказує на критичні зміни обрахованих параметрів в залежності від обраного рівня відліку [11].

Підходи до кількісної оцінки співвідношення розміру коронки до розміру кореня в основному передбачають варіанти порівняння саме лінійних характеристик висоти коронки до довжини кореня [1, 11]. Проте на досліджуваній моделі премолярів було встановлено значущі відмінності показників співвідношення розмірів коронки до розміру кореня, коли такі були квантифіковані за рахунок лінійних вимірювань, площі та

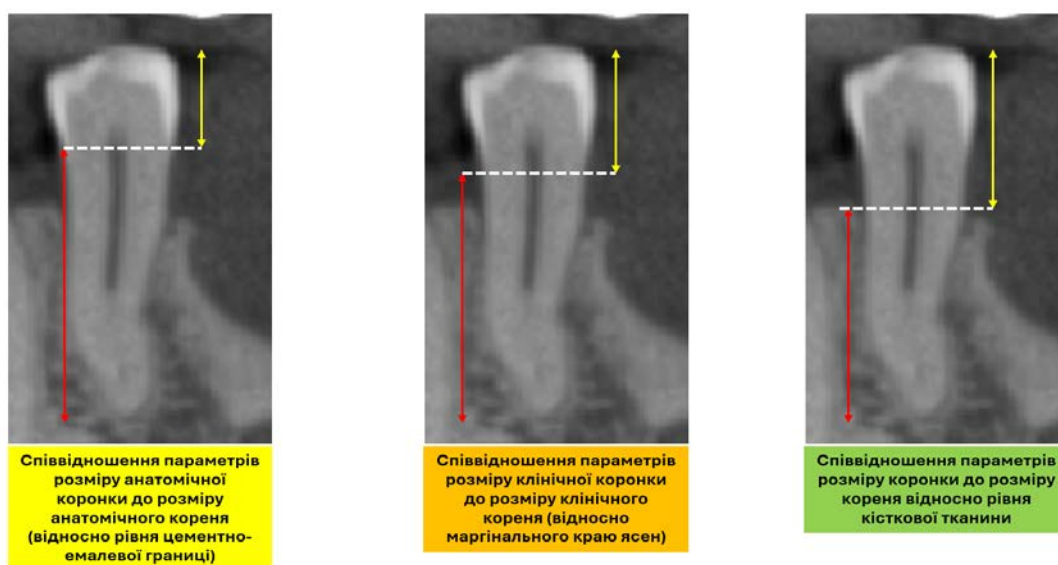


Рис. 1. Різні підходи до оцінки співвідношення параметрів розміру коронки до розміру кореня

об'єму. Так, аналіз 25 премолярів, виявив що співвідношення розміру коронки до розміру кореня у лінійних показниках довжини складало в середньому $0,65 \pm 0,08$, у показниках площі – $0,98 \pm 0,19$, у показниках об'єму – $1,25 \pm 0,31$ [2].

Крім того існуючий принцип вимірювання співвідношення розміру коронки до розміру кореня не позбавлений недоліків, оскільки він базується на врахуванні лише лінійних характеристик власне висоти коронки та довжини кореня, тоді як, очевидно, не менш значущим є параметр сумарної площі контакту внутрішньокісткової частини зуба з оточуючими середовищем кісткової лунки через систему зв'язок (параметр площі пародонтального прикріплення) [1, 11]. Результати попередніх наукових досліджень засвідчують, що навіть при умовно-достатньому співвідношенні розміру коронки до розміру кореня редукована пародонтальна підтримка, або ж компрометований стан тканин пародонту в цілому на фоні наявної патології пародонтиту виступають більш значущими предикторами змін біомеханічного прогнозу зуба, аніж власне результат обрахунку співвідношення лінійних розмірних показників висоти коронки та довжини кореня [15, 16, 17]. Крім того, варто відмітити, що лінійна вертикальна характеристика втрати пародонтального прикріплення, квантифікована в міліметрах, не тотожна площі втрати пародонтального прикріплення, хоча і корелює з нею за результатами попередніх досліджень. Класичне дослідження Levy A. та Wright W. продемонструвало, що втрата половини висоти пародонтального прикріплення асоційовано з втратою 61,5% площі пародонтального прикріплення; у пізніших дослідженнях було встановлено, що втрата пародонтального прикріплення до половини довжини кореня характеризується доступністю лише 38% залишкової площі прикріплення на досліджуваній моделі однокореневого зуба [18]. Ran S. J. та колеги встановили наступні співвідношення довжини резекції кореня та відсоткового значення втрати пародонтального прикріплення: 3 мм – 12,71%, 4 мм – 19,58%, 5 мм – 26,77%, 6 мм – 34,48%, 7 – 42,78%, 8 мм – 51,52% [15]. У дослідженні проведеному на основі даних конусно-променевої комп'ютерної томографії von Arx T. та співавтори відмітили, що середня величина резекції в $3,58 \pm 1,43$ мм тотожна 26% втрати довжини кореня та 33,2% втрати пародонтального прикріплення [11]. Кореляція показників лінійної втрати пародонтального прикріплення та площі втрати такого була вищою в проекції однокоренових зубів, аніж в ділянках дистальних зубів [19].

Проведене дослідження з використанням методу скінчених елементів на моделі центрального різця верхньої щелепи виявило, що величина резекції в 6 мм і більше спричиняла виражене зростання показника максимального зміщення зубів під дією оклюзійних сил та показника максимального накопичення напруг в структурі оточуючої кісткової тканини [15]. В умовах збільшеного горизонтального перекриття резекція уже лише 5 мм кореня провокувала значуще зростання показника максимального зміщення зуба в структурі кісткової тканини, хоча рівень напруг в самій кістці в умовах збільшеного горизонтального перекриття

зростав лише після апікоектомії в 8 мм [15]. В умовах глибокого вертикального перекриття резекція верхівки кореня всього в 4 мм уже провокувала зростання стресу за вон Мізесом в структурі оточуючої кісткової тканини [15]. Враховуючи значущість впливу оклюзійних складових на прогноз функціонування зубів після апікоектомії Jang Y. та колеги та Ran S.J. замість класичного співвідношення розміру коронки до кореня запропонували використовувати показник ефективного співвідношення, який враховував рівні вертикального та горизонтального перекриття та факт прикладення зусиль не на ріжучому краї фронтального зуба, як досліджуваної моделі, а на його язиковій поверхні [15, 16, 17]. Отримані дані засвідчують, що аналіз впливу рівня резекції верхівки кореня на параметри максимального зміщення зуба в структурі кісткової тканини та концентрації напруг в структурі кісткової тканини навколо зуба повинен проводитися лише з врахуванням впливу складових оклюзійної схеми, зокрема величин вертикального та горизонтального перекриття, які є статистично значущими змінними у структурі біомеханічного прогнозу.

В попередній роботі Jang Y. було підтверджено аналогічні результати, щодо того, що резекція кореня величиною до 6 мм не провокує значних варіацій розподілу стресу за вон Мізесом та показника максимального зміщення зуба під дією оклюзійних сил [16, 17]. У роботі Ran S.J. також було виявлено, що резекція лише понад 7 мм довжини кореня провокує зростання співвідношення розміру коронки до розміру кореня до понад 1,58 та концентрацію напруг в ділянці шийки зуба [15]. Водночас автори відмітили, що втрата маргінальних 2 мм кісткової тканини асоційована з більш вираженими порушеннями розподілу стресу та максимального зміщення зубів, ніж резекція 6 мм кореня, навіть якщо ці клінічні сценарії характеризуються тотожним співвідношення розміру коронки до розміру кореня [16, 17]. Даний феномен можна пояснити наступними фактами: 1) втрата маргінальних 2 мм оточуючої кісткової тканини провокує одночасно і збільшення величини коронкової частини (частини над рівнем кісткового гребня), і зменшення власне частини кореня, яка знаходиться всередині кісткової лунки, тоді як резекція верхівки кореня провокує лише редукцію кореневої частини; 2) площа пародонтального прикріплення в корональних 3 мм кореня у 8 разів вища, ніж площа пародонтального прикріплення в апікальних 3 мм, і преваліююча частина функціональних напруг концентрується саме в проекції корональної частини кореня, яка першою контактує із оточуючою кістковою тканиною [15, 16, 17]. Проведене порівняння втрати пародонтального прикріплення в корональній частині кореня на 3 мм та резекції верхівки кореня в 3 мм дозволило встановити, що при аналогічних умовах оклюзійного навантаження у першому сценарії показник максимального зміщення зуба в порівнянні із інтактною моделлю збільшується на 204,4%, тоді як в другому сценарії – лише на 14,7% [15, 16, 17]. В середньому приблизно 1 мм втрати рівня пародонтального прикріплення в корональній частині кореня демонстрував вищі показники максимального зміщення, ніж резекція

4 мм в апікальній ділянці, а 2 мм втрати рівня пародонтального прикріплення в корональній частині кореня – вищі показники максимального зміщення, ніж резекція 6 мм кореня [16, 17]. Мультифакторний аналіз, проведений Richert R. виявив частково аналогічні результати: рівень кісткової тканини в проекції зуба відіграв роль більш вагомому фактору по відношенню до формування функціональних напруг, ніж фактори використовуваного матеріалу для ретроградного пломбування, препарування та довжини резекції, хоча взаємодія між такими чинниками в ході моделювання була відповідальна за 50% прогнозу змін напруг в структурі досліджуваної моделі [20].

Дані систематичного огляду та супровідного мета-аналізу продемонстрували, що діапазон успішності ендодонтичного хірургічного лікування зубів, які не характеризувались втратою пародонтального прикріплення в корональній частині кореня складав 78,2–95,3%, тоді як зубів, які характеризувалися втратою пародонтального прикріплення – 67,6–88,2% [21]. Факт втрати пародонтального прикріплення в корональній частині кореня був класифікований у якості фактора ризику успішності функціонування зуба після проведення апікальної хірургії з величиною показника відношення шансів у 3,14 [21]. Cho S.-Y. та Kim E. у своїй науковій роботі з проведенням порівняльного аналізу випадків апікальної резекції із випадками горизонтального перелому кореня та апікальної резорбції, які також провокують зміну співвідношення розміру коронки до розміру кореня, продемонстрували, що за умов дотримання принципів до виконання периапікальних хірургічних втручань лише факт розвитку ендодонтичного сполучення внаслідок апікоектомії є критичним для подальшого біомеханічного прогнозу зуба [13].

У ретроспективному дослідженні Angerame D. та співавторів вдалось встановити, що рівні виживання зубів при середньому періоді спостереження в $4,2 \pm 2,4$ роки статистично не відрізнялися у порівнюваних підгрупах, де показник співвідношення довжини кореня до довжини коронки був відповідно вищим та нижчим одиниці [12, 14]. Проте статистично значуща відмінність у виживанні відмічалася у групах, в яких показники залишкової довжини кореня перевищували чи були меншими за медіанне значення у 8 мм.

З іншої сторони дані Yoo Y. та співавторів вказують на те, що співвідношення клінічних розмірів коронки та кореня, а саме його диференціація за значенням більше та менше 1, є статистично значущим у прогнозі успішності результатів власне самих периапікальних мікрохірургічних втручань у 10-річній перспективі [22]. В підгрупі в якій дане співвідношення перевищувало 1 показник успішності складав 37,3%, а в якій було менше 1 – 71,9%, різниця між котрими була статистично аргументованою [22].

Дані, акумульовані в ході опрацювання результатів попередньо проведених досліджень, засвідчують, що показник співвідношення розміру коронки до розміру кореня не слід розцінювати у якості надійного ізолюваного предиктора біомеханічного прогнозу зуба після проведення процедури резекції верхівки кореня за умови доступності функціонально-прийнятної залишкової площі пародонтального прикріплення та за умови відсутності ознак його прогресуючої втрати. Доцільним є проведення подальших досліджень з деталізованим кроком стратифікації показника змін співвідношення розміру коронки до розміру кореня (в 0,1) у структурі мультифакторного аналізу складових біомеханічного прогнозу в різних вихідних клінічних умовах після реалізації хірургічних ендодонтичних втручань.

Висновок. В результаті проведеного аналізу пулу цільових наукових досліджень, котрі стосувалися значущості змін співвідношення розмірів висоти коронки до залишкової довжини кореня після виконання процедури апікоектомії, як критерію біомеханічного прогнозу функціонування зубів після проведених хірургічних ендодонтичних втручань, було систематизовано наступні висновки:

- 1) коректна оцінка співвідношення розміру коронки до розміру кореня повинна проводитися при інтерпретації коронки зуба, як частини зуба, яка знаходиться над рівнем кісткового гребня, а кореня – як частини, яка знаходиться в структурі кісткового гребня;
- 2) показник втрати пародонтального прикріплення в корональній частині кореня є більш значущою детермінантою прогнозу функціонування одиниці зубного ряду після проведення процедури апікоектомії, ніж показник втрати пародонтального прикріплення в апікальній частині кореня внаслідок резекції, за умови висоти резекції до 6 мм (за сприятливих оклюзійних умов), або ж при залишковій довжині кореня в 7 мм;
- 3) параметр співвідношення розміру коронки до розміру кореня не є доказово аргументованим предиктором прогнозу виживання зубів після проведення процедури апікоектомії (за умови доступності функціонально-прийнятної площі залишкового пародонтального прикріплення), однак даний критерій потенційно може впливати на прогноз успішності результатів резекції верхівки кореня в довгостроковій перспективі;
- 4) доцільним є проведення подальших досліджень з квантифікацією співвідношення розміру коронки зуба до розміру кореня зуба не тільки через лінійні показники висоти та довжини відповідно, а й з врахуванням активної площі взаємодії, фізичного об'єму частин, втрати площі пародонтального прикріплення та параметрів оклюзійної схеми (величини вертикального та горизонтального перекриття, розподілу ділянок адентії та оклюзійного навантаження по площі доступних одиниць зубного ряду).

REFERENCES

1. Grossmann Y, Sadan A. The prosthodontic concept of crown-to-root ratio: a review of the literature. The Journal of prosthetic dentistry. 2005 Jun 1;93(6):559-62. <https://doi.org/10.1016/j.prosdent.2005.03.006>
2. Volumen S, de Dientes Premolares UE. Crown-to-root ratios in terms of length, surface area and volume: A pilot study of premolars. Int J Morphol. 2016;34(2):465-70. <https://doi.org/10.4067/S0717-95022016000200009>
3. Hegde V, Acharya SR, Singh GP. Validity of crown-to-root ratio as a prognostic tool in clinical practice. Journal of Evolution of Medical and Dental Sciences. 2014 Dec 29;3(74):15589-600. <https://doi.org/10.14260/jemds/2014/4103>

4. Tada S, Allen PF, Ikebe K, Zheng H, Shintani A, Maeda Y. The impact of the crown-root ratio on survival of abutment teeth for dentures. *Journal of dental research*. 2015 Sep;94(9_suppl):220S-5S. <https://doi.org/10.1177/0022034515589710>
5. Kim S, Kratchman S. Modern endodontic surgery concepts and practice: a review. *Journal of endodontics*. 2006 Jul 1;32(7):601-23. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2005.12.010>
6. Bucchi C, Rosen E, Taschieri S. Non-surgical root canal treatment and retreatment versus apical surgery in treating apical periodontitis: A systematic review. *International endodontic journal*. 2023 Oct;56:475-86. <https://doi.org/10.1111/iej.13793>
7. Azim AA, Albanyan H, Azim KA, Piasecki L. The Buffalo study: outcome and associated predictors in endodontic microsurgery-a cohort study. *International endodontic journal*. 2021 Mar;54(3):301-18. <https://doi.org/10.1111/iej.13419>
8. Dioguardi M, Stellacci C, La Femina L, Spirito F, Sovereto D, Laneve E, Manfredonia MF, D'Alessandro A, Ballini A, Cantore S, Lo Muzio L. Comparison of endodontic failures between nonsurgical retreatment and endodontic surgery: systematic review and meta-analysis with trial sequential analysis. *Medicina*. 2022 Jul 4;58(7):894. <https://doi.org/10.3390/medicina58070894>
9. Setzer FC, Kratchman SI. Present status and future directions: Surgical endodontics. *International endodontic journal*. 2022 Oct;55:1020-58. <https://doi.org/10.1111/iej.13783>
10. Haxhia E, Ibrahim M, Bhagavatula P. Root-end surgery or nonsurgical retreatment: are there differences in long-term outcome?. *Journal of Endodontics*. 2021 Aug 1;47(8):1272-7. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2021.04.024>
11. Von Arx T, Jensen SS, Bornstein MM. Changes of root length and root-to-crown ratio after apical surgery: an analysis by using cone-beam computed tomography. *Journal of endodontics*. 2015 Sep 1;41(9):1424-9. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2015.04.001>
12. Angerame D, De Biasi M, Lenhardt M, Bevilacqua L, Franco V. Survival study on teeth after successful endodontic surgical retreatment: influence of crown height, root length, crown-to-root ratio and tooth type. *Giornale Italiano di Endodonzia*. 2018 Nov 1;32(2):63-9. <https://doi.org/10.1016/j.gien.2018.09.002>
13. Cho SY, Kim E. Does apical root resection in endodontic microsurgery jeopardize the prosthodontic prognosis?. *Restorative Dentistry & Endodontics*. 2013 May 1;38(2):59-64 <https://doi.org/10.5395/rde.2013.38.2.59>
14. Angerame D, Bardhi E, Lenhardt M, Zanin R, Maglione M. CROWN-TO-ROOT RATIO IN ENDODONTIC SURGERY: A SURVIVAL STUDY. *DENTAL CADMOS*. 2022;1(01):12-. <http://dx.doi.org/10.1016/j.gien.2018.09.002>
15. Ran SJ, Yang X, Sun Z, Zhang Y, Chen JX, Wang DM, Liu B. Effect of length of apical root resection on the biomechanical response of a maxillary central incisor in various occlusal relationships. *International Endodontic Journal*. 2020 Jan;53(1):111-21. <https://doi.org/10.1111/iej.13211>
16. Jang Y, Hong HT, Roh BD, Chun HJ. Influence of apical root resection on the biomechanical response of a single-rooted tooth: a 3-dimensional finite element analysis. *Journal of endodontics*. 2014 Sep 1;40(9):1489-93. <http://dx.doi.org/10.1016/j.joen.2014.03.006>
17. Jang Y, Hong HT, Chun HJ, Roh BD. Influence of apical root resection on the biomechanical response of a single-rooted tooth-part 2: apical root resection combined with periodontal bone loss. *Journal of endodontics*. 2015 Mar 1;41(3):412-6. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.11.011>
18. Levy AR, Wright WH. The relationship between attachment height and attachment area of teeth using a digitizer and a digital computer. *Journal of Periodontology*. 1978 Sep 1;49(9):483-5. <https://doi.org/10.1902/jop.1978.49.9.483>
19. Ktock KS, Gjerdet NR, Haugejorden O. Periodontal attachment loss assessed by linear and area measurements in vitro. *Journal of Clinical Periodontology*. 1993 Jul;20(6):443-7. <https://doi.org/10.1111/j.1600-051x.1993.tb00386.x>
20. Richert R, Farges JC, Maurin JC, Molimard J, Boisse P, Ducret M. Multifactorial analysis of endodontic microsurgery using finite element models. *Journal of Personalized Medicine*. 2022 Jun 20;12(6):1012. <https://doi.org/10.3390/jpm12061012>
21. Sarnadas M, Marques JA, Baptista IP, Santos JM. Impact of periodontal attachment loss on the outcome of endodontic microsurgery: a systematic review and meta-analysis. *Medicina*. 2021 Sep 1;57(9):922. <https://doi.org/10.3390/medicina57090922>
22. Yoo YJ, Cho EB, Perinpanayagam H, Gu Y, Zhu Q, Noblett WC, Kum KY. Endodontic microsurgery outcomes over 10 years and associated prognostic factors: a retrospective cohort study. *Journal of Endodontics*. 2024 Jul 1;50(7):934-43. <https://doi.org/10.1016/j.joen.2024.04.009>