

Клітинська Оксана Василівна,
доктор медичних наук, професор,
професор кафедри стоматології післядипломної освіти,
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
ORCID ID: 0000-0001-9969-2833
SCOPUS ID: 57193120681
м. Ужгород, Україна

Бунь Орест Вікторович,
аспірант кафедри стоматології післядипломної освіти,
ДВНЗ «Ужгородський національний університет»
ORCID ID: 0000-0003-0176-2210
м. Ужгород, Україна

Мінеральний склад твердих тканин зубів як детектор загального стану організму

Вступ. Мета дослідження. Проаналізувати дані літературних джерел з щодо вивчення взаємозв'язку мінерального складу твердих тканин зубів та загального стану організму.

Матеріали та методи дослідження: наукові публікації дослідників за визначеною тематикою; був використаний бібліо-семантичний метод та структурно-логічний аналіз.

Результати. В організмі людини 99% його елементного складу представлено такими складниками як кисень, водень, вуглець, азот, натрій, кальцій, магній, калій, сірка, фосфор, хлор та фтор. В свою чергу більш ніж 90% хімічного складу живих клітин складають вуглець, водень, кисень і азот. Мінеральний склад твердих тканин здорових зубів перебуває в динамічній рівновазі все життя, з віком змінюються фізичні властивості зубної емалі та дентину, зокрема вірогідна відмінність показників твердості, модуля пружності та крихкості, що впливає й на механічні та фізіологічні характеристики всіх тканин зуба та функціонування зуба як органа в цілому. В ході проведених досліджень доведено, що концентрація всіх металів (Ca, Mg, Cd, Cu, Pb, K, Cr) у тканинах тимчасових зубів з віком знижується ($p \leq 0,05$). За результатами проведеного кореляційного та кластерного аналізу визнана участь іонів свинцю, заліза, марганцю та хрому у формуванні вмісту міді в твердих тканинах тимчасових зубів. Проте, не дивлячись на те, що певні елементи присутні в невеликих кількостях в емалі і дентині зубів, їх відсутність може порушити здоровий розвиток емалі та дентину та призвести до дефектів розвитку зубів, а також до карієсу. Окрім того, надмірне споживання деяких мікроелементів може зворотньо вплинути на розвиток і здоров'я зубів. Дослідники встановили, що іони свинцю замінюють кальцій, а також кальцій і фосфор у кристалах кісткових мінералів, викликаючи гіперкальціємію та гіперфосфатемію, тобто свинець вважається елементом, що сприяє карієсу. Точний вплив мікроелементів на здоров'я зубів і ротової порожнини досі залишається невивченим. Для визначення хімічного складу твердих тканин зубів використовують методи фізико-хімічного аналізу, зокрема: атомну, силову, скануючу, електронну, інфрачервону, оптичну мікроскопію, електронне мікрозондування, мас-спектрометрію, термодеріватографію, інфрачервону спектроскопію. Результати спектрального дослідження твердих тканин зубів допоможуть підібрати пломбувальний матеріал з урахуванням його адгезивних властивостей, що покращить віддалені результати лікування карієсу та якість здійснених реставраційних робіт.

Висновок. Обґрунтований підхід до вивчення елементарного складу емалі та дентину на різних рівнях в зубах при карієсі та ураженнях тканин пародонта представляє суттєвий науковий інтерес.

Ключові слова: мінеральний склад зубів, карієс зубів, емаль та дентин зубів, спектральний аналіз, вміст свинцю та міді в твердих тканинах зубів.

Klitynska Oksana Vasylivna, Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor at the Department of Dentistry of Postgraduate Education, Uzhhorod National University, ORCID ID: 0000-0001-9969-2833, Uzhhorod, Ukraine

Bun Orest Viktorovych, Postgraduate Student at the Department of Dentistry of Postgraduate Education, Uzhhorod National University, ORCID ID: 0000-0003-0176-2210, Uzhhorod, Ukraine

The mineral composition of the hard tissues of the teeth as a detector of the general state of the body

Introduction. The aim of the study. To analyze the data of literary sources on the study of the relationship between the mineral composition of the hard tissues of the teeth and the general state of the body.

Research materials and methods: scientific publications of researchers on specific topics; the bibliographic-semantic method and structural-logical analysis were used.

The results. In the human body, 99% of its elemental composition is represented by such components as oxygen, hydrogen, carbon, nitrogen, sodium, calcium, magnesium, potassium, sulfur, phosphorus, chlorine and fluorine. In turn, more than 90% of the chemical composition of living cells consists of carbon, hydrogen, oxygen and nitrogen. The mineral composition of the hard tissues of healthy teeth is in dynamic equilibrium throughout life, the physical properties of tooth enamel and dentin change with age, in particular, the likely difference in hardness, modulus of elasticity and fragility indicators, which also affects the mechanical and physiological characteristics of all tooth tissues and the functioning of the tooth as an organ in general. In the course of the conducted research, it was proved that the concentration of all metals (Ca, Mg, Cd, Cu, Pb, K, Cr) in the tissues of temporary teeth decreases with age ($p \leq 0.05$). According to the results of the conducted correlation and cluster analysis, the participation of lead, iron, manganese and chromium ions in the formation of the copper content in the hard tissues

of temporary teeth was recognized. However, despite the fact that certain elements are present in small amounts in the enamel and dentin of teeth, their absence can disrupt the healthy development of enamel and dentin and lead to defects in the development of teeth, as well as caries. In addition, excessive consumption of some trace elements can adversely affect the development and health of teeth. Researchers have found that lead ions replace calcium, as well as calcium and phosphorus in bone mineral crystals, causing hypercalcemia and hyperphosphatemia, meaning lead is considered a caries-promoting element. The exact impact of micronutrients on dental and oral health is still unknown. To determine the chemical composition of the hard tissues of the teeth, methods of physicochemical analysis are used, in particular: atomic, force, scanning, electronic, infrared, optical microscopy, electronic microprobing, mass spectrometry, thermoderivatography, infrared spectroscopy. The results of a spectral study of the hard tissues of the teeth will help to choose a filling material the material, taking into account its adhesive properties, which will improve the long-term results of caries treatment and the quality of the performed restoration works.

Conclusion. A reasonable approach to the study of the elementary composition of enamel and dentin at different levels in teeth with caries and lesions of periodontal tissues is of significant scientific interest.

Key words: mineral composition of teeth, dental caries, tooth enamel and dentin, spectral analysis, lead and copper content in hard tooth tissues.

Вступ. В організмі людини 99% його елементного складу представлено такими складниками як кисень, водень, вуглець, азот, натрій, кальцій, магній, калій, сірка, фосфор, хлор та фтор. В свою чергу більш ніж 90% хімічного складу живих клітин складають вуглець, водень, кисень і азот, на решту елементів припадає до 9 % ваги. [1].

Мінеральний склад твердих тканин здорових зубів перебуває в динамічній рівновазі все життя, з віком змінюються фізичні властивості зубної емалі та дентину, зокрема вірогідна відмінність показників твердості, модуля пружності та крихкості, що впливає й на механічні та фізіологічні характеристики всіх тканин зуба та функціонування зуба як органа в цілому. [2].

Не дивлячись на досить повне та досконале вивчення макроелементного складу твердих тканин зубів, саме значення мікроелементів у підтримці здоров'я ротової порожнини до тепер залишається предметом досліджень і дискусій. Одні мікроелементи є етіологічними чинниками виникнення та прогресування карієсу, а інші, навпаки, сприяють ремінералізації твердих тканин зуба. [3].

Мета дослідження. Проаналізувати дані літературних джерел з щодо вивчення взаємозв'язку мінерального складу твердих тканин зубів та загального стану організму.

Матеріали та методи дослідження: наукові публікації дослідників за визначеною тематикою; був використаний бібліо-семантичний метод та структурно-логічний аналіз.

Результати та їх обговорення. Увагу науковців привернули дослідження, пов'язані з поширеним, зональним розподілом есенціальних мікроелементів у дентині та емалі інтактних зубів та розподілом таких карієсостатичних елементів як кальцій, фтор та фосфор на поверхні емалі та в парапульпарному дентині. Так, Mamaladze M, та Jalabadze N. (2022) провели рентгеноспектральний аналіз 6 інтактних видалених зубів за допомогою скануючої електронної мікроскопії (SEM) з метою ідентифікації мікроелементів в структурах зубів людини та визначення їх локалізації та концентрації на 6 ділянках цих зубів: поверхневій емалі, товщині емалі, емалево-дентинній межі, парапульпарному дентині, кореневому дентині та цементі. Дослідниками встановлено, що розподіл есенціальних мікроелементів у твердих тканинах зубів є нерівномірним, а фтор у твердих тканинах міститься лише в мінімальних концентраціях. [4].

Дослідження Frank RM., проведені раніше встановили, що навіть при початкових ураженнях емалі збіль-

шується з'єднання емалевих призм, спостерігається дифузне мінеральне руйнування ядер призм та між-призматичної речовини. У випадку карієсу кореня руйнування цементу почалося вздовж з'єднань між кальцинованими шарами зовнішніх і внутрішніх колагенових волокон та вздовж інкрементальних ліній, з подальшою інвазією грампозитивних мікроорганізмів. Дослідники визначили етапи виникнення карієсу, а саме: склероз просвітів дентинних каналців, демінералізація міжтрубчастого дентину та руйнуванням оклюзованих просвітів каналців і перитубулярного дентину. Первинним є проникнення бактерій в дентинні каналці потім виникає руйнування міжтрубчастого дентину. Визначено наявність відмінностей в явищах кристалічної ремінералізації в емалі та дентині, зокрема: при карієсі емалі та дентину спостерігався важливий градієнт демінералізації перед бактеріальною інвазією, а в цементі відбувається одночасне руйнування мінеральних і органічних компонентів. [5]

Для покращення оптичних властивостей реставраційних матеріалів Pink K, та співав. 2022 застосували колімовану трансмісійну спектроскопію. Метою дослідження стало визначення коефіцієнта екстинкції зубної емалі людини для надання додаткових оптичних властивостей емалі та покращення поширення світла в зубах та вдосконалення оптичних властивостей реставраційних матеріалів. [6]. Коефіцієнт екстинкції – показник швидкості затухання світлової хвилі в середовищі, вимірювали в спектральному діапазоні 300-980 нм з використанням колімованої установки передачі. Досліджено 35 зразків від 16 донорів різного віку; досліджувані зразки класифікували за типом зуба, якістю зуба та боковим розширенням емалі, щоб з'ясувати вплив цих параметрів. Оцінювання проводили за такими параметрами, як вік пацієнта, тип зуба, якість зразка емалі та ширина емалі. Для цього порівнювали середні значення багаторазових вимірювань одного зразка у визначеному спектральному діапазоні, та нахил кривої усереднених результатів у залежності від довжини хвилі. Отримані результати дають детальну інформацію про оптичні властивості емалі зубів, зокрема при розсіюванні світла та оптичної відповіді емалі за будь-яких умов освітлення. Однак відхилення коефіцієнта екстинкції між середніми значеннями для зразків, згрупованих за кількома параметрами, змінюється менше, ніж між самими зразками в групі. Це вказує на унікальну оптичну поведінку для кожного зразка, що має велике значення при розробці реставраційних стоматологічних матеріалів. [6].

Shaik I та співав. 2021, розглянули наявність мікроелементів у зубах та їх роль у здоров'ї та розвитку зубів. Роль таких елементів як кальцій та фосфат є основними компонентами кристалів гідроксиапатиту, які утворюють неорганічну частину зубів вивчена більш ретельно [1]. Проте, не дивлячись на те, що інші елементи присутні в невеликих кількостях в емалі і дентині зубів, їх відсутність може порушити здоровий розвиток емалі та дентину та призвести до дефектів розвитку зубів, а також до карієсу. Крім того, надмірне споживання деяких мікроелементів може зворотно вплинути на розвиток і здоров'я зубів. Точний вплив мікроелементів на здоров'я зубів і ротової порожнини досі залишається невивченим. Дослідники встановили, що іони свинцю замінюють кальцій, а також кальцій і фосфор у кристалах кісткових мінералів, викликаючи гіперкальціємію та гіперфосфатемію, тобто свинець вважається елементом, що сприяє карієсу. Було виявлено прямий зв'язок між гіпоплазією емалі та впливом свинцю на дітей [7]. Needleman *et al.* у своєму дослідженні виявили підвищену захворюваність тимчасових зубів у дітей американських передмість, які зазнали впливу свинцю [8]. Крім того, було виявлено прямий зв'язок між розвитком раннього дитячого карієсу у дітей та впливом свинцю. [8]. Значна кількість мікроелементів необхідні для правильного розвитку організму і наших зубів, котрі відіграють важливу роль у розвитку зубів, у тому числі в амелогенезі, а також дентиногенезі. Подальші дослідження в цій галузі дозволять точно визначити роль різних мікроелементів у формуванні емалі та дентину [1].

Підтвердження гіпотези про те, що порушення експресії X-хромосоми впливає на інкорпорацію мінералів під час амелогенезу та, опосередковано, під час дентиногенезу при синдромі Тернера (ТС), коли одна X-хромосома відсутня або дефектна присвячена робота Rizell S та співав. 2010. Встановлено, що ген амелогеніну, розташований в X-хромосомі, відіграє ключову роль у формуванні зубної емалі. Дослідники методом скануючої мікроскопії порівнювали емаль та дентин тимчасових зубів здорових дівчат та дівчат із ТС. Встановлено, що порушення експресії X-хромосоми при синдромі Тернера впливає на формування твердих тканин зуба. У емалі дівчат з ТС виявлено якісні та кількісні зміни у складі ТС-емалі, вищі частоти підповерхневих уражень і зон, вільних від паличок; емалеві призми зубів були нетипових розмірів і напрямків. Також методом рентгенівського мікроаналізу було виявлено високі рівні кальцію та фосфору та низькі рівні вуглецю як в емалі, так і в дентині; виявлено менший ступінь мінералізації ТС-емалі. Низькі значення вуглецю були найбільш критичними характеристиками ТС-емалі. [9].

В своїх дослідженнях Palmer RF. Т співав. 2024 визначали кількісні відмінності хімічних речовин, виявлених у тимчасових зубах, у дітей з розладами спектру аутизму (РАС) і без них, оскільки тимчасові зуби є ймовірним біомаркером внутрішньоутробного впливу. РАС – це розлад нервової системи, який визначається поведінкою, що характеризується дефіцитом мови, комунікації та соціальних функцій з приблизною поширеністю від 1 до 44 народжених

у США. Для дослідження використали 22 тимчасові зуби дітей із РАС і 20 зубів дітей без РАС були відпрепаровані та проаналізовані за допомогою часопротітного мас-спектрометра THE Two-Dimensional Gas Chromatography (GC × GC-TOF MS) із програмним забезпеченням ChromaTOF версії 23H2 та Agilent 7890 газовий хроматограф. Зразки з РАС містили вірогідно більшу кількість хімічних речовин у зубах, ніж типовий зразок (99,4; 80,7; $p < 0,0001$) головним чином із пестицидів і пластику/полімерів, які часто містяться в їжі, косметиці чи побутових товарах. Автори пояснюють такі результати наступним чином, мінералізація тимчасових зубів починається внутрішньоутробно, екзогенні та ендогенні органічні хімічні речовини або їхні метаболіти, що циркулюють у крові матері, поглинаються зубом, що розвивається і залишаються в його складі в постнатальному періоді. Згідно даних літератури при РАС діагностуються відмінності в здатності метаболізувати ксенобіотики, тому в зубах дітей з розладом аутичного синдрому було виявлено більше хімічних речовин. Зворотній механізм пояснюється тим, що пестициди та пластмаси є нейротоксинами та руйнівниками ендокринної системи, тому гестаційний вплив пестицидів пов'язаний із ризиком аутизму. Серед рекомендацій відмова під час вагітності від штучних підсолоджувачів [10]. Дослідження Фаулер та ін. [11] показали, що аспартам у дієтичних газованих напоях та інших штучних хімічних підсолоджувачах пов'язаний із потрійним ризиком РАС та СДУГ. Непереносимість матері хімічних речовин може ще більше збільшити ризик РАС [12]. Дослідники резюмували, що уникання використання пестицидів, пластику та ароматизованих засобів особистої гігієни надзвичайно актуально для жінок дітородного віку, які хочуть мати дітей [13].

Метою дослідження Guler C та співав. 2014 було оцінити вміст мінеральних речовин у здоровому дентині в тимчасових зубах, препарованих за допомогою Er:YAG лазера при двох різних налаштуваннях потужності. Для дослідження відібрано 36 тимчасових других молярів; з кожного зуба було отримано три зрізи дентину, котрі розділили на три групи: група А, контроль; Група В, лазер Er:YAG 3,5 Вт, 175 мДж і 20 Гц, режим короткого імпульсу; і група С, Er:YAG лазер на 4 Вт, 200 мДж і 20 Гц, режим середньо-короткого імпульсу. Оцінювали морфологію дентину та шорсткість поверхні за допомогою SEM та профілометра. Атомно-емісійної спектрометрії з індуктивно зв'язаною плазмою (ICP-AES) визначали вміст мінеральних речовин в зрізах дентину. Не виявлено вірогідних відмінностей у рівнях Ca, K, Mg, Na та P або співвідношенні Ca/P між групами ($p > 0,05$). Мікрофотографії SEM показали, що нерівності поверхні збільшуються з вищим налаштуванням потужності; шорсткість поверхні після лазерної обробки в групі В і групі С вірогідно не відрізнялася, на відміну від групи А. Лазерне опромінення викликає структурні та хімічні зміни твердих тканин зуба. Ці зміни змінюють рівень розчинності та проникності дентину. Отже, міцність з'єднання адгезивних систем на поверхнях дентину може бути порушена в клінічній практиці. Проте лазерне лікування не вплинуло на середній процентний вміст Ca, K, Mg, Na та P або на

співвідношення Ca/P у всіх групах зубів. Таким чином, перевірені параметри потужності лазера Er:YAG безпечні для препарування каріозних порожнин молочних зубів [14].

Sabel та співавт з метою представити градієнти концентрації для C, O, P і Ca і F, Na, Mg, Cl, K і Sr у нормальній емалі тимчасових зубів здорових людей за допомогою рентгенівського мікроаналізу (XRMA) і вторинної іонної мас-спектрометрії (SIMS) дослідили зрізи тимчасових зубів різних груп 36 здорових дітей. Встановлено, що статистично значущих відмінностей в елементному складі між різцями та молярами не виявлено. Співвідношення Ca/P узгоджується з іншими дослідженнями. Деякі елементи показали статистично значущі відмінності між різними рівнями вимірювання. Автори вважають, що отримані результати можуть бути використані як еталонні значення для дослідження хімічного складу емалі та дентину тимчасових зубів у дітей з різними захворюваннями та/або синдромами [15].

Fischer, D та співавт. 2013 описали зміни концентрації таких елементів як Mn, Fe, Mg, Cu, K, Cr, Pb, Cd, Ca у складі тимчасових зубів та відповісти на дослідили тенденцію зміни їх концентрації в залежності від віку дітей. Предметом дослідження були тимчасові зуби, взяті у 45 дітей віком 5-14 років, котрі проживають на півдні Польщі, видалені при неінвазивній фізіологічній зміні. Концентрації елементів у зразках визначали методом атомно-абсорбційної спектроскопії. Дослідники встановили вірогідне зниження концентрації досліджуваних елементів у тимчасових зубах дітей старшого віку порівняно з дітьми молодшого віку, тобто концентрація всіх металів (Ca, Mg, Cd, Cu, Pb, K, Cr) у тканинах тимчасових зубів з віком знижувалася. ($p \leq 0,05$). Вміст Ca був вказаний як значення постійної катіонної рівноваги; загальна концентрація всіх досліджуваних металів відносно вмісту Ca, вірогідно не змінювалася з віком дітей ($p > 0,05$), тобто в елементному складі твердих тканин зубів існує кількісна рівновага [16].

Досить велика кількість досліджень присвячена визначенню рівня свинцю (Pb), як маркера інтоксикації. Так, Youravong N. Та співавт, 2008 проаналізували за допомогою вторинної іонної мас-спектрометрії (SIMS) і рентгенівського мікроаналізу (XRMA) емаль та дентин зубів дітей із високим вмістом свинцю в крові у порівнянні з зубами дітей із низьким вмістом свинцю в крові. Аналіз SIMS виявив помітні рівні Pb у дентині поблизу пульпи. Аналізи XRMA не змогли виявити жодного свинцю. Не було виявлено вірогідних відмінностей рівня свинцю в емалі зубів із високим вмістом свинцю в порівнянні з зубами з низьким рівнем. Результати підтверджують, що діти з високим рівнем свинцю в крові поглинають його дентином поблизу пульпи [17].

Споріднені дослідження провели Costa de Almeida GR та співавт., 2007, а саме визначали вміст свинцю та глибину його проникнення в поверхневій емалі дітей 4-6-років, серед яких 247 проживали в екологічно незабрудненій місцевості (Рібейран-Прету, штат Сан-Паулу, SP, Бразилія), а 26 – в зоні, забрудненій свинцем (Бауру, штат Сан-Паулу, Бразилія). Мікробіопсію поверхневої емалі проводили *in vivo* на одному верхньому тимчасовому різці після кислотного протравлення. Рівень

свинцю вимірювали за допомогою атомно-абсорбційної спектроскопії в графітовій печі (GFAAS), вміст фосфору вимірювали колориметрично, щоб визначити глибину біопсії. Зразки з обох популяцій були класифіковані за категоріями з однаковою глибиною біопсії на основі квантилів глибини біопсії. Середні показники вмісту свинцю вірогідно відрізнялися в дітей з Рібейран-Прету (206 мкг/г, діапазон: 5-1399 мкг/г) та дітей з Бауру (786 мкг/г, діапазон: 320-4711 мкг/г) ($p < 0,001$); проте глибина проникнення вірогідно не відрізнялася (3,9 мк, SD=0,9; 3,8 мк, SD=0,9; $p=0,7940$). Коефіцієнт кореляції Пірсона для глибини біопсії та значень відведення \log_{10} становив -0,29 для Ribeirão Preto і -0,18 для Вауру. Вміст свинцю вірогідно відрізнявся між двома групами дітей для всіх квантилів глибини біопсії. Отже вчені стверджують, що свинець, накопичений на поверхні емалі тимчасових зубів, прямо пропорційно залежить від середовищем, у якому мешкають діти, а емаль зубів є доступним біомаркером наявності екологічної інтоксикації [18].

Інші дослідники, de Oliveira VLF, та співавт 2017 оцінили ступінь забруднення свинцем, кадмієм і марганцем у 125 дітей віком від 6 до 13 років, які проживали в другому поколінні на промислово забруднених територіях у період з 2006 по 2009 рік в 4 районах Сан-Паулу, Бразилія. Перехресне дослідження включало клінічні огляди та тестування зубної емалі з метою визначення рівнів свинцю, кадмію та марганцю (мкг/г) за допомогою атомно-абсорбційної спектроскопії в графітовій печі. Середні показники концентрації становили свинцю 139,48 мкг/г; 151,89 мкг/г; 170,45 мкг/г; 213,52 мкг/г; кадмію 10,83 мкг/г; 10,92 мкг/г; 12,58 мкг/г; 14,57 мкг/г; марганцю 23,49 мкг/г; 30,90 мкг/г; 41,46 мкг/г; 42,00 мкг/г. Автори також підтвердили, що поверхневу емаль зубів доцільно використовувати як ефективний біомаркер інтоксикації важкими металами, особливо при тривалому проживанні на забруднених територіях [1].

Відомі польські вчені, Fischer A, та співавт у 2008 році оприлюднили результати дослідження щодо вмісту міді в різних типах тимчасових зубів (різці, ікла, моляри) хлопчиків і дівчаток, які проживають у Верхньосілезькому промислового регіоні (Південна Польща). Середня концентрація міді в тимчасових зубах становила 9,92 мкг/г і була достовірно вищою у хлопчиків (12,24 мкг/г) порівняно з дівчатками (8,60 мкг/г), встановлено вірогідні відмінності вмісту міді в зубах різних груп. Результати кореляційного та кластерного аналізу вказують на участь іонів свинцю, заліза, марганцю та хрому у формуванні вмісту міді в твердих тканинах тимчасових зубів [20].

Вплив надмірної ваги на зміни мінерального складу зубів досліджували в 2016 році Fischer A, та співавт та встановили залежність між вагою дітей та концентрацією металів в тимчасових зубах. Предметом дослідження було визначення концентрації хрому (Cr), кальцію (Ca), міді (Cu), заліза (Fe) та марганцю (Mn) у тимчасових зубах дітей. Згідно індексу маси тіла (ІМТ) та графіка росту 59% дітей з досліджуваної вибірки мали нормальну вагу, 41% дітей спостерігалися порушення маси тіла, зокрема у 28% – недостатня

вага та у 12% – надлишок. Середня концентрація металів в тимчасових зубах становила: Mn – 3,79 мкг; Fe – 52,2 мкг; Cu – 4,73 мкг; Cr – 10,7 мкг, Ca – 36,1 мкг. Статистично вірогідних відмінностей у концентрації досліджуваних металів у зубах дітей із нормальною та аномальною вагою не виявлено, проте залежність між металами в зубах змінювалася залежно від ваги дітей, що свідчить про зміни в мінеральному складі тканин, пов'язані з порушенням обміну речовин [21].

Дослідження Kumagai A, та співавт 2012 продемонстрували зміну концентрації елементів у дентині в залежності від статті та віку. Оскільки після завершення формування дентину активний метаболізм елементів в ньому не відбувається, в нормі він оточений емаллю та цементом, на нього не впливає середовище ротової порожнини, а відповідно кількість мікроелементів у дентині може змінюватися з віком, і це вважається надійним показником біологічного навантаження. Ціль дослідження полягала у тому, щоб визначити концентрацію елементів у дентині здорових японців в залежності від статті та віку, та виявити зв'язок між рівнями елементів і віком. Досліджували однокореневі ікла, перші та другі премоляри та другі і треті моляри, які були видалені через захворювання тканин пародонта або за ортодонтичними показаннями. Загалом було видалено 121 здоровий зуб у пацієнтів віком від 14 до 91 року (середній вік = 49,7 року), з яких 55 були чоловіками та 66 жінками. Досліджували зрізи виключно дентину, товщиною 0,5- 1мм. З використанням мас-спектрометра з індуктивно зв'язаною плазмою визначали концентрацію 10 мікроелементів (B, Mn, Co, Cu, Zn, Rb, Sr, Mo, Cd і Pb).

Відмінності концентрації Co і Pb в дентині чоловіків і жінок були вірогідними ($p < 0,01$). Між концентраціями B, Co, Cu, Zn, Sr та Pb у дентині та віком спостерігалась достовірна позитивна кореляція ($p < 0,001$). Результати цього дослідження свідчать про те, що дентин людини є відповідною речовиною для порівняння зі статтю та віком у подальших майбутніх дослідженнях [2].

Fischer A, та співав 2009 дослідили концентрацію металів (Cd, Pb, Mn, Cu, Cr, Fe, Zn, Na, K, Mg, Ca) у тимчасових і постійних зубах з урахуванням їх розташування в ротовій порожнині, тобто на верхній чи нижній щелепі. Авторами доведено, що концентрація металів в тимчасових зубах вірогідно вища, ніж у постійних. Регресійний аналіз та аналіз головних компонент виявили підвищену динаміку процесів зв'язування елементів гідроксиапатитом в тимчасових зубах. А також виявлена залежність між концентрацією металів у постійних та тимчасових зубах та їх розташуванням на щелепі, в зубах верхньої щелепи виявлено вищі концентрації металів, ніж у нижньої щелепи [22].

Вплив металів на стан та функціонування твердих тканин зубів досліджувалися низкою авторів. Розроблені багатовимірні аналітичні методи, які поєднують складний гістологічний і хімічний аналізи для точного відбору шарів зубів, які відповідають конкретним життєвим етапам, мають потенціал для реконструкції експозиції у другому та третьому триместрах внутрішньоутробного розвитку та в ранньому дитинстві. Так, Andra SS, та співав (2013) здійснили оцінку пренатального

впливу навколишнього середовища. Вплив навколишнього середовища варіює через неоднорідність плацентарного транспорту, що робить біозразки матері ненадійними для багатьох хімічних речовин, а зразки плода, зібрані при народженні, не дають інформації про час впливу протягом внутрішньоутробного періоду. Визначений авторами ретроспективний біомаркер дозволяє точно вимірює інтенсивність впливу та час під час внутрішньоутробного розвитку, що суттєво допоможе при проведенні епідеміологічних досліджень, зокрема досліджень випадок-контроль рідкісних наслідків для здоров'я [23].

В подальших дослідженнях автори запропонували концепцію експозиції комплексної оцінки впливу навколишнього середовища на тверді тканин зубів, починаючи з пренатального періоду і далі. Проте автор зазначає, що визначення тривалості негативного екологічного впливу, особливо протягом пренатального періоду, є проблематичним при проведенні екологічних епідеміологічних дослідженнях. Резюме дослідження: ретроспективний часовий експозомний підхід, який точно вимірює інтенсивність впливу «та час» під час внутрішньоутробного та раннього дитячого розвитку, суттєво допоможе епідеміологічним дослідженням, зокрема дослідженням випадок-контроль рідкісних наслідків для здоров'я [24].

Висновки. В ході проведених досліджень доведено, що концентрація всіх металів (Ca, Mg, Cd, Cu, Pb, K, Cr) у тканинах тимчасових зубів з віком знижується ($p \leq 0,05$). За результатами проведеного кореляційного та кластерного аналізу визнана участь іонів свинцю, заліза, марганцю та хрому у формуванні вмісту міді в твердих тканинах тимчасових зубів.

Проте, не дивлячись на те, що певні елементи присутні в невеликих кількостях в емалі і дентині зубів, їх відсутність може порушити здоровий розвиток емалі та дентину та призвести до дефектів розвитку зубів, а також до карієсу. Окрім того, надмірне споживання деяких мікроелементів може зворотно вплинути на розвиток і здоров'я зубів. Дослідники встановили, що іони свинцю замінюють кальцій, а також кальцій і фосфор у кристалах кісткових мінералів, викликаючи гіперкальціємію та гіперфосфатемію, тобто свинець вважається елементом, що сприяє карієсу. Точний вплив мікроелементів на здоров'я зубів і ротової порожнини досі залишається невивченим.

Для визначення хімічного складу твердих тканин зубів використовують методи фізико-хімічного аналізу, зокрема: атомну, силову, скануючу, електронну, інфрачервону, оптичну мікроскопію, електронне мікронзондування, мас-спектрометрію, термодериватографію, інфрачервону спектроскопію.

Результати спектрального дослідження твердих тканин зубів допоможуть підібрати пломбувальний матеріал з урахуванням його адгезивних властивостей, що покращить віддалені результати лікування карієсу та якість здійснених реставраційних робіт.

Отже, обґрунтований підхід до вивчення елементарного складу емалі та дентину на різних рівнях в зубах при карієсі та ураженнях тканин пародонта представляє суттєвий науковий інтерес.

REFERENCES

1. Shaik I, Dasari B, Shaik A, Doos M, Kolli H, Rana D, Tiwari RVC. Functional Role of Inorganic Trace Elements on Enamel and Dentin Formation: A Review. *J Pharm Bioallied Sci.* 2021 Nov;13(Suppl 2):S952-S956. doi: 10.4103/jpbs.jpbs_392_21. Epub 2021 Nov 10. PMID: 35017905; PMCID: PMC8686917.
2. Kumagai A, Fujita Y, Endo S, Itai K. Concentrations of trace element in human dentin by sex and age. *Forensic Sci Int.* 2012 Jun 10;219(1-3):29-32. doi: 10.1016/j.forsciint.2011.11.012. Epub 2011 Dec 15. PMID: 22177270.
3. Klitynska, OV, Stishkovskyy, AV, Hasiuk, NV, Avetikov DS. Statistical analysis of the impact of clusters on caries prevalence and intensity in children aged 6-7 with different somatic health statuses. *Wiadomości lekarskie.* 2020;3 (LXXIII):434-40. DOI: 10.36740/WLek202003104.
4. Mamaladze M, Jalabadze N, Chumburidze T, Svanishvili N, Vadachkoria D. X-ray spectral analysis of dental hard tissue trace elements (Electron-microscopic examination). *Georgian Med News.* 2022 Mar;(324):204-210. PMID: 35417886
5. Frank RM. Structural events in the caries process in enamel, cementum, and dentin. *J Dent Res.* 1990; Feb;69 Spec No:559-66; discussion 634-6. doi: 10.1177/00220345900690S112. PMID: 2179314.
6. Pink K, Hein S, Foschum F, Kienle A. Determination of the spectrally resolved extinction coefficient of human dental enamel using collimated transmission spectroscopy. *Dent Mater.* 2022 Oct;38(10):1661-1668. doi: 10.1016/j.dental.2022.08.013. Epub 2022 Sep 7. PMID: 36085084.
7. Bowen WH. Exposure to metal ions and susceptibility to dental caries. *J Dent Educ.* 2001 Oct;65(10):1046-53. PMID: 11699976.
8. Needleman HL, Tuncay OC, Shapiro IM. Lead levels in deciduous teeth of urban and suburban American children. *Nature.* 1972 Jan 14;235(5333):111-2. doi: 10.1038/235111a0. PMID: 4550400.
9. Rizell S, Kjellberg H, Dietz W, Norén JG, Lundgren T. Altered inorganic composition of dental enamel and dentin in primary teeth from girls with Turner syndrome. *Eur J Oral Sci.* 2010 Apr;118(2):183-90. doi: 10.1111/j.1600-0722.2010.00718.x. PMID: 20487008
10. Palmer RF. An Exploratory Investigation of Organic Chemicals Detected in Baby Teeth: Differences in Children with and without Autism. *J Xenobiot.* 2024 Mar 14;14(1):404-415. doi: 10.3390/jox14010025. PMID: 38535500; PMCID: PMC10971289.
11. Fowler SP, Gimeno Ruiz de Porras D, Swartz MD, Stigler Granados P, Heilbrun LP, Palmer RF. Daily Early-Life Exposures to Diet Soda and Aspartame Are Associated with Autism in Males: A Case-Control Study. *Nutrients.* 2023 Aug 29;15(17):3772. doi: 10.3390/nu15173772. PMID: 37686804; PMCID: PMC10490529.
12. Heilbrun LP, Palmer RF, Jaen CR, Svoboda MD, Perkins J, Miller CS. Maternal Chemical and Drug Intolerances: Potential Risk Factors for Autism and Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD). *J Am Board Fam Med.* 2015 Jul-Aug;28(4):461-70. doi: 10.3122/jabfm.2015.04.140192. PMID: 26152436.
13. Steinemann A. Fragranced consumer products: exposures and effects from emissions. *Air Qual Atmos Health.* 2016;9(8):861-866. doi: 10.1007/s11869-016-0442-z. Epub 2016 Oct 20. PMID: 27867426; PMCID: PMC5093181.
14. Guler C, Malkoc MA, Gorgen VA, Dilber E, Bulbul M. Effects of Er:YAG laser on mineral content of sound dentin in primary teeth. *ScientificWorldJournal.* 2014;2014:578342. doi: 10.1155/2014/578342. Epub 2014 Aug 14. PMID: 25202731; PMCID: PMC4150513.
15. Sabel N, Dietz W, Lundgren T. Elemental composition of normal primary tooth enamel analyzed with XRMA and SIMS. *Swedish Dental Journal.* 2009; 2(33): 75-88.
16. Fischer D, Wiechula, and C. Przybyła-Misztela. Changes of concentrations of elements in deciduous teeth with age. *Biological Trace Element Research.* 2013;3(154):427-432.
17. Youravong N, Teanpaisan R, Nor'en JG. et al. Chemical composition of enamel and dentine in primary teeth in children from Thailand exposed to lead. *The Science of the Total Environment.* 2008; 2-3(389):253-8.
18. Costa de Almeida GR, Pereira Saraiva Mda C, Barbosa F Jr, Krug FJ, Cury JA, Rosário de Sousa Mda L, Rabelo Buzalaf MA, Gerlach RF. Lead contents in the surface enamel of deciduous teeth sampled in vivo from children in uncontaminated and in lead-contaminated areas. *Environ Res.* 2007 Jul;104(3):337-45. doi: 10.1016/j.envres.2007.03.007. Epub 2007 May 21. PMID: 17512519.
19. De Oliveira VLF, Gerlach RF, Martins LC, de Souza Guerra C, Frazão P, Braga ALF, Pereira LAA. Dental enamel as biomarker for environmental contaminants in relevant industrialized estuary areas in São Paulo, Brazil. *Environ Sci Pollut Res Int.* 2017 Jun;24(16):14080-14090. doi: 10.1007/s11356-017-8878-8. Epub 2017 Apr 14. PMID: 28411314.
20. Fischer A, Kwapiński J, Wiechula D, Fischer T, Loska M. The occurrence of copper in deciduous teeth of girls and boys living in Upper Silesian Industry Region (Southern Poland). *Sci Total Environ.* 2008 Jan 25;389(2-3):315-9. doi: 10.1016/j.scitotenv.2007.08.046. Epub 2007 Nov 1. PMID: 17935757.
21. Fischer A, Wiechula D. Is there a dependence between children's body weight and the concentration of metals in deciduous teeth? *Homo.* 2016 Dec;67(6):508-514. doi: 10.1016/j.jchb.2016.09.002. Epub 2016 Sep 19. PMID: 27890316.
22. Fischer A, Wiechula D, Postek-Stefańska L, Kwapiński J. Concentrations of metals in maxilla and mandible deciduous and permanent human teeth. *Biol Trace Elem Res.* 2009 Dec;132(1-3):19-26. doi: 10.1007/s12011-009-8383-0. PMID: 19418029.
23. Arora M, Austin C. Teeth as a biomarker of past chemical exposure. *Curr Opin Pediatr.* 2013 Apr;25(2):261-7. doi: 10.1097/MOP.0b013e32835e9084. PMID: 2342970.
24. Andra SS, Austin C, Arora M. The tooth exposure in children's health research. *Curr Opin Pediatr.* 2016 Apr;28(2):221-7. doi: 10.1097/MOP.0000000000000327. PMID: 26859286; PMCID: PMC4949598.