

## **Минеральный состав костной ткани челюсти кролика после фонофореза кальцийсодержащих веществ в эксперименте**

*Белорусский государственный медицинский университет*

Представлена сравнительная оценка минерального состава костной ткани после фонофореза кальцийсодержащих веществ.

Ключевые слова: костная ткань, остеогенез, фонофорез, остеокла, фитат кальция, глюконат кальция.

Ортодонтическое лечение зубочелюстных аномалий является одним из важных вопросов современной стоматологии. Аномалии, не устраненные в детском возрасте, проявляются у взрослых в более тяжелой форме. Аномалийное положение зубов вызывает эстетические и функциональные нарушения челюстно-лицевой области, влияет на психику взрослого человека, часто является одной из причин заболевания периодонта, иногда является ограничением в выборе профессии.

По мнению ряда авторов [1,2], лечение зубочелюстных аномалий у взрослых имеет свои особенности, которые обусловлены рядом следующих факторов: 1) ортодонтическое лечение проводится в период законченного формирования лицевого скелета; 2) костная ткань в этом возрасте менее податлива и труднее перестраивается под влиянием ортодонтического лечения; 3) зубочелюстные деформации усугубляются дефектами и вторичной деформацией зубных рядов; 4) ортодонтическое лечение более продолжительное, чем у детей; 5) после ортодонтического лечения аномалий часто наступают рецидивы; 6) взрослые труднее привыкают к ортодонтическим аппаратам; 7) не все виды зубочелюстных аномалий у взрослых поддаются чисто ортодонтическому лечению.

Все эти факторы побудили изыскивать новые комплексные методы лечения зубочелюстных аномалий у взрослых.

Разработаны различные методы сокращения активного периода ортодонтического лечения. Все они направлены на повышение пластичности костной ткани и снижение ее механической прочности путем воздействия на компактную пластинку и губчатое вещество кости. С этой целью применяют различные оперативные вмешательства: остеотомию, компактоosteотомию, декортикацию и удаление зубов.

Однако нарушение целостности костной ткани, неизбежное при хирургическом вмешательстве, сопряжено с травмой, изменением метаболических и трофических процессов, может приводить к различным осложнениям в связи с инфицированием раны. Оперативное вмешательство требует высокой квалификации хирурга в условиях стационара. Сами пациенты иногда отказываются из-за страха перед операцией. Также существуют местные и общие противопоказания для проведения лечения.

С учетом вышеизложенного возникает необходимость изыскивать эффективные методы лечения, исключая оперативные вмешательства. Перспективными в этом плане являются физиотерапевтические методы воздействия на уровень минеральной насыщенности и клеточные элементы костной ткани.

Ортодонтическое лечение зубочелюстных аномалий состоит из активного и ретенционного периодов. В активном периоде ортодонтического лечения при помощи лечебных аппаратов перемещают аномалийно стоящие зубы в правильное положение, в ретенционном – закрепляют полученные результаты, причём ретенционный период более длителен, чем активный.

Нами получены хорошие результаты по сокращению сроков активного периода ортодонтического лечения за счет применения индуктотермоэлектрофореза 1%-ного раствора трилона Б на альвеолярный отросток в области подлежащих перемещению зубов [1,3]. Однако ретенционный период ортодонтического лечения у этой категории больных занимает значительно больший период времени, чем активный, что диктует необходимость поиска средств, ускоряющих восстановительные процессы в костной ткани [2].

Целью настоящего исследования явилось изучение в эксперименте минерального состава костной ткани после фонофореза кальцийсодержащих веществ при оптимизации комплексного ортодонтического лечения в ретенционном периоде.

По данным литературы [5], кальциевая соль фитиновой кислоты обладает хорошей способностью к восстановлению потери кальция тканями и положительно влияет на формирование костной ткани. Остеокеа [6] восполняет дефицит кальция, ускоряет минерализацию костной ткани. Глюконат кальция применяют при дефиците ионов кальция для восстановления костной ткани, он оказывает меньшее местное раздражающее действие [4], а метаболизм ионов кальция лучше проходит на фоне приёма витамина Д. Основываясь на полученных нами и литературных данных [4,5,6], для стимуляции восстановительных процессов мы использовали фонофорез 15%-ной мази остеокеа, фонофорез 15%-ной мази фитата кальция и фонофорез 15%-ной мази глюконата кальция на фоне приёма витамина Д в ретенционном периоде ортодонтического лечения.

#### Материал и методы

Эксперимент выполнен на 51 кролике породы "шиншилла" одинакового веса и возраста. Сорока восьми животным провели по 7 процедур УВЧ-индуктотермоэлектрофореза 1%-ного раствора трилона Б на область альвеолярного отростка нижней челюсти. После этого на 2 недели наложили ортодонтические аппараты, а затем перевели животных в ретенционный период. Тридцать шесть животных составили три опытных группы, двенадцать – контрольную. На трёх кроликов не оказывали никаких воздействий - интактная группа. В первой опытной группе животным проводили ультрафонофорез 15%-ной мази остеокеа, во второй - 15% -ной мази фитата кальция, в третьей- 15%-ной мази глюконата кальция на фоне приёма витамина Д внутрь. Курс лечения включал 10,15 и 20 процедур в течение 21-х,28-и и 35-и суток соответственно.

В контрольной группе изучали наступление самостоятельной реминерализации костной ткани без каких-либо воздействий.

После окончания опыта для анализа химического состава костной ткани отделяли кусочки компактной пластинки размером 5×10 мм и проводили исследование методом резерфордовского обратного рассеивания легких ионов. В настоящей работе использован ускорительный, спектральный и вычислительный комплексы оборудования фирмы США, предназначенные для проведения точных измерений состава твердого материала и концентраций составляющих его элементов.

Анализ элементного состава методом резерфордовского обратного рассеивания легких ионов

Метод резерфордовского обратного рассеивания (РОР) получил свое название по имени Э. Резерфорда, наблюдавшего в 1911 году прохождение и рассеивание альфа-частиц на тонких пленках золота и обнаружившего, что некоторая часть их рассеивается на угол  $> \pi/2$ , что в дальнейшем привело к открытию атомного ядра. С тех пор в течение длительного времени рассеивание высокоэнергетических ионов использовали только в ядерной физике. Примерно с начала 60-х годов спектрометрия резерфордовского обратного рассеивания

высокоэнергетич-ных легких ионов с успехом используется для анализа элементного состава твердых тел [7].

### Основные принципы спектрометрии РОР

В спектрометрии РОР используются пучки легких ионов  $H^+$  или  $He^+$  известной энергии (обычно 100–4000 кэВ), которые направляются на исследуемую мишень, проникая вглубь и постепенно тормозясь на электронах мишени. При этом малая часть падающих ионов испытывает столкновения с малыми прицельными параметрами с ядрами атомов мишени, в результате которых происходит значительное изменение их энергии и направления движения. Менее чем  $10^{-4}$  от падающих ионов рассеиваются на угол  $>\pi/2$  (обратное рассеяние) и могут покинуть исследуемый образец. Измеряя энергию этих частиц, рассеянных на определенный угол, можно получить информацию о природе и концентрации различных атомов, составляющих исследуемую мишень, а также об их распределении по глубине образца [7].

Важнейшими величинами при анализе являются кинематические параметры столкновения влетающих частиц с ядрами мишени, которые определяют регистрируемую энергию ионов, и сечение рассеяния или вероятность столкновения, определяющие чувствительность метода. Для обычно используемых диапазонов энергий справедливы соотношения, описывающие упругое столкновение двух твердых сфер различной массы. При этом ядро атома мишени можно считать покоящимся. Таким образом, соотношение энергий анализирующего иона после и до столкновения (кинематический фактор рассеяния или  $K$ -фактор) зависит только от соотношения масс анализирующего иона и ядра атома мишени  $X=M1/M2$  и угла рассеяния  $\theta$ . При этом угол рассеяния определяется только взаиморасположением анализирующего пучка и детектора. Обычно неизвестным является только  $M2$  и его можно легко определить. Таким образом проводится элементный анализ поверхности мишени. Для наилучшего разрешения метода по массам угол рассеяния  $\theta$  должен быть возможно большим. Обычно он выбирается близким к  $170^\circ$ .

В настоящей работе использовался ускорительный, спектральный и вычислительный комплекс оборудования фирмы "High Voltage Engineering Corporation" (USA), предназначенный для проведения точных измерений состава твердого материала и концентраций составляющих его элементов, в частности кальция, фосфора и других. В качестве анализирующего пучка использовали пучок ионов  $He^+$  с энергией 1,5 МэВ. В исследованиях применяли кремниевый поверхностно-барьерный детектор, имеющий энергетическое разрешение  $\approx 12$  эВ, а общее разрешение спектроскопического анализирующего тракта было не хуже  $\approx 15$  кэВ.

Чувствительность метода определяется минимально возможным количеством (или концентрацией) примеси, которую можно обнаружить с ошибкой не более 100%. Наивысшая чувствительность в методе РОР достигается при анализе тяжелых примесей в более легкой подложке. Так, при анализе содержания Са и Р чувствительность метода была лучше  $10^{19}$  см<sup>3</sup> или по концентрации около 0,1 ат. %. Анализ легких примесей в тяжелых подложках затрудняется наложением парциальных спектров от более тяжелых элементов, и в случае анализа С и О концентрационная чувствительность метода составляла около 1–3 ат. %.

### Методическая схема эксперимента РОР

Блок-схема экспериментальной установки для анализа материалов методом РОР представлена на рис.1.

понный пучок, формируемый в источнике ионов (9), ускоряется до необходимой энергии в ускорителе (2), проходит через электростатические корректоры направления (3) и магнитный масс-сепаратор (4).

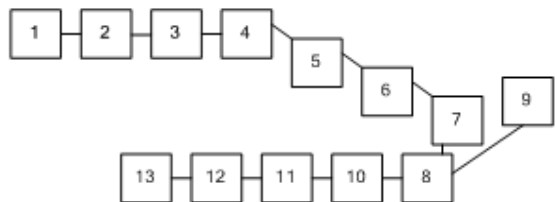


Рисунок 1.- Блок-схема экспериментальной установки для анализа материалов методом ROP(пояснения см. в тексте).

Масс-сепаратор служит для того, чтобы очистить пучок от возможных загрязнений, а также для задания энергии анализирующего пучка. Далее пучок проходит через щелевой прибор (5), предназначенный для стабилизации заданной энергии, квадрупольные линзы (6) и коллиматор (7), формирующие пучок с малой угловой расходимостью, и попадает в исследовательскую камеру (8), где расположен держатель образцов. Ток ионного пучка, натекающий на мишень, измеряется интегратором тока (9). Обратнорассеянные ионы регистрируются поверхностно-барьерным детектором (10). Возникающий при этом импульс тока, амплитуда которого определяется энергией иона, усиливается предусилителем (11) и спектроскопическим усилителем (12) и поступает на вход многоканального анализатора (13), где анализируется по амплитуде и затем в соответствующий канал памяти анализатора прибавляется единица. Таким образом, спектр ROPпредставляет собой энергетический спектр обратнорассеянных от исследуемой мишени в малый и строго определенный телесный угол легких ионов с заданной начальной энергией (рис.2).

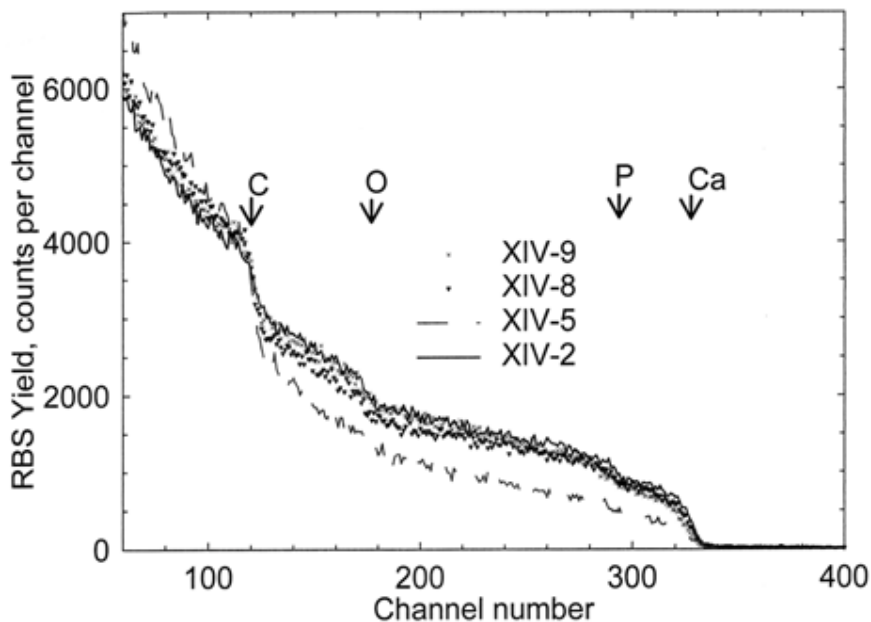


Рисунок 2. Спектры ROP.

### Результаты и обсуждение

Данные минерального состава образцов костной ткани челюсти кролика опытных и контрольной групп представлены в таблице.

Таблица. Химический состав образцов костной ткани (атом %)

№ образца	Длительность	Кальций	Фосфор	Кислород	Углерод	Другие элементы
	ность	атом %	атом %	род-атом	атом %	

	ретен- ции			%		атом %
I-1	¼/p> 14 суток	10,9 ± 0,3	4,1 ± 0,2	34,7 ± 1,0	41,1 ± 0,9	9,2 ± 1,0
II-1		10,2 ± 0,2	4,5 ± 0,1	35,2 ± 0,7	41,3 ± 1,0	8,8 ± 0,9
III-1		10,7 ± 0,4	4,7 ± 0,3	35,6 ± 0,9	41,5 ± 1,1	7,5 ± 1,3
контроль		10,6 ± 0,2	4,5 ± 0,2	35,5 ± 0,8	41,0 ± 1,2	8,4 ± 0,7
I-2	21 сутки 10 про- цедур	13,2 ± 0,2*	7,5 ± 0,3*	31,4 ± 0,6*	39,3 ± 0,8	8,6 ± 0,3
II-2		14,3 ± 0,2*	8,6 ± 0,2*	30,4 ± 0,8*	38,7 ± 1,0	8,0 ± 0,6*
III-2		16,5 ± 0,4*	10,5 ± 0,1*	32,1 ± 1,1*	37,6 ± 0,9	3,3 ± 0,7*
контроль		12,1 ± 0,1	5,3 ± 0,2	34,5 ± 0,9	40,0 ± 1,4	8,1 ± 0,4
I-3	¼/p> 28 суток 15 про- цедур	15,9 ± 0,1*	10,1 ± 0,2*	32,2 ± 0,9	35,4 ± 1,0	6,4 ± 0,6*
II-3		17,3 ± 0,2*	10,5 ± 0,1*	31,8 ± 1,1	34,2 ± 0,8	6,2 ± 0,4*
III-3		17,9 ± 0,3*	11,1 ± 0,2*	32,8 ± 1,3	33,1 ± 1,2	5,0 ± 0,5*
контроль		14,5 ± 0,1	6,5 ± 0,4	31,5 ± 1,0	36,0 ± 1,5	11,5 ± 0,3
I-4	¼/p> 35 суток 20 про- цедур	17,3 ± 0,2	11,1 ± 0,2*	32,7 ± 0,9	34,3 ± 1,0	4,6 ± 0,1*
II-4		18,2 ± 0,1*	14,3 ± 0,3*	32,4 ± 1,0	33,6 ± 0,9	1,5 ± 0,6*
III-4		18,2 ± 0,2*	13,7 ± 0,2*	33,6 ± 0,8	32,2 ± 1,2	2,3 ± 0,4*
контроль		17,1 ± 0,1	10,1 ± 0,1	32,8 ± 1,1	33,0 ± 1,5	7,0 ± 1,0
интакт- ный	0 про- цедур	17,5 ± 0,5	11,0 ± 0,4	34,0 ± 0,9	33,0 ± 0,9	4,5 ± 1,0

Примечание: \*- статистически достоверные различия ( $p < 0,05$ ) при сравнении с группой «контроль».

Как видно из данных представленных в таблице после 14-ти дней ретенции основные показатели минерального состава костной ткани почти идентичны с контролем, но

значительно отличаются от показателей интактной костной ткани. Так по содержанию кальция они отличаются от 1,6 раза в первой группе до 1,7 раза во второй группе. Содержание фосфора в опытных образцах первой группы в 2,7 раза меньше, а в опытных образцах третьей опытной группы в 2,3 раза меньше, чем в интактной костной ткани. Также отмечается увеличение концентрации кислорода и углерода в опытных образцах в сравнении с интактной костной тканью.

Явные отличия от контроля отмечены после 10 физиопроцедур на 21-е сутки ретенции. Наибольшие отличия выявлены в третьей опытной группе. Так содержание кальция в 1,4, а фосфора в 1,98 раза больше, чем в образцах контрольной группы. Наименьшее восстановление кальция в сравнении с контролем в 1,09 раза отмечено в опытных образцах первой группы. Содержание кислорода и углерода в опытных образцах этой серии меньше чем в контроле. Также в этой серии опытов отмечается приближение показателей минерального состава опытных и контрольных образцов к показателям интактной костной ткани. Наиболее ярко это выражено в третьей опытной группе (по кальцию в 1,06 раза), меньше – в первой опытной группе (по кальцию в 1,3 раза), показатели второй опытной группы занимают промежуточное положение.

В серии опытов после 28-и суток ретенции с 15-тью процедурами фитата и глюконата кальция с витамином D, показатели минерального состава приближены к таковому у интактной костной ткани, а показатели контрольных образцов уменьшены в 1,2 и 1,7 раз по кальцию и фосфору соответственно. В первой опытной группе содержание кальция и фосфора в 1,1 и 1,08 раза меньше чем в интактной костной ткани и в 1,09 и 1,6 раз выше чем в контроле. Содержание кислорода и углерода выше чем в контроле, но меньше чем в интактной костной ткани.

Показатели минеральной насыщенности костной ткани после 35-ти суток ретенции и 20-ти физиопроцедур по кальцию и фосфору во второй и третьей опытных группах выше нормы, в первой опытной группе в норме, а в контрольной группе приближены к норме.

#### **Выводы**

1. Фонофорез кальцийсодержащих лекарственных веществ увеличивает минеральную насыщенность костной ткани после деминерализации по сравнению с её восстановлением без каких-либо воздействий.

2. После 28-и суток ретенции с 15-тью процедурами фонофореза фитата и глюконата кальция с витамином D, содержание кальция и фосфора в костной ткани приближается к норме.

3. Наилучшие результаты реминерализации костной ткани отмечены после применения фонофореза глюконата кальция на фоне приёма *per os* витамина D.

#### **Литература**

1. Величко, Л. С. Результаты лечения аномалий зубочелюстной системы с применением индуктотермоэлектрофореза трилона Б / Л. С. Величко, С. В. пвашенко, п. п. Гунько // Материалы 3 съезда стоматологов Беларуси. Минск, 1997. С. 104–105.

2. Гунько, п. п. Клинико-экспериментальное обоснование применения физиотерапевтических методов в комплексном лечении зубочелюстных аномалий сформированного прикуса: автореф. дис. ... д-ра мед. наук: 14.00.21 / п. п. Гунько; Бел. гос. мед. ун-т. Минск, 2004. 42 с.

3. пвашенко, С. В. Изменения в костной ткани при применении УВЧ-индуктотермоэлектрофореза трилона Б / С. В. пвашенко // Здоровоохранение Белоруссии. 2000. № 4. С. 15–16.

4. пвашенко, С. В. Экспериментальное обоснование применения фонофореза глюконата кальция с витамином Д в ретенционном периоде ортодонтического лечения / С. В. пвашенко, В. С. Улащик, Г. А. Берлов // Современная стоматология. 2005. № 1. С. 64–66.

5. пвашенко, С. В. Восстановление костной ткани в ретенционном периоде ортодонтического лечения зубо-челюстных аномалий с помощью фонофореза фитата кальция в эксперименте / С. В. пвашенко, В. С. Улащик, Г. А. Берлов // Медицинский журнал. 2006. № 3. С. 48–50.

6. пвашенко, С. В. Применение фонофореза остеоека в ретенционном периоде ортодонтического лечения аномалий прикуса в эксперименте / С. В. пвашенко, В. С. Улащик, Г. А. Берлов // Медицинский журнал. 2006. № 3. С. 50–52.

7. Комаров, Ф. Ф. Неразрушающий анализ поверхности твердых тел ионными пучками / Ф. Ф. Комаров, М. А. Кумаков, п. С. Ташлыков. Минск, 1987. С. 256