

МЕДИЦИНСКИ УНИВЕРСИТЕТ - СОФИЯ  
ФАКУЛТЕТ ПО ДЕНТАЛНА МЕДИЦИНА  
КАТЕДРА ОРТОДОНТИЯ  
Ръководител катедра: Доц. д-р Владимир Петрунов, дм

**Д-р Мирела Валериева Георгиева**

**ФИЗИКО-ХИМИЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА  
НА  
МУЛТИМОДУЛНИТЕ ОРТОДОНТСКИ ДЪГИ**

**АВТОРЕФЕРАТ**

на дисертационен труд за присъждане на образователна и  
научна степен „Доктор“

**ДОКТОРСКА ПРОГРАМА**

Протетична дентална медицина

**НАУЧНИ РЪКОВОДИТЕЛИ:**

**Проф. д-р Лаура Андреева – Гургуриева, ДМ, ДН**  
**Доц. д-р инж. Ангелина Стоянова – Иванова**

**РЕЦЕНЗЕНТИ:**

Доц. Мирослава Динкова ДМ., ДН  
Проф. ДТН Донка Георгиева Ангелова

София, 2022 г.

Дисертационният труд съдържа 180 страници и 132 страници приложения. Онагледен е с 87 фигури и 9 таблици. Библиографията включва 91 източника – 2 на кирилица и 89 на латиница.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 06.06.2022 г. от 13:30 ч. в Първа аудитория на Факултета по Дентална Медицина, Медицински Университет – София, бул. „Георги Софийски“ 1, съгласно чл.76 и 77 от Правилника за условията и реда за придобиване на научни степени и придобиване на академични длъжности в Медицински Университет – София и въз основа на Заповед РК36567/06.04.2022 г. на Ректора на Медицински Университет – София, пред научно жури в състав:

**Председател:**

**Доц. д-р Мирослава Милети Динкова, ДМ, ДН** – вътрешен член и председател на журито и рецензент.

**Членове:**

**Проф. д-р Божидар Иванов Йорданов, ДМ.** – вътрешен член за МУ–София.

**Проф. ДТН Донка Георгиева Ангелова** – външен член, рецензент.

**Проф. д-р Даниела Георгиева Ковачева** – външен член.

**Доц. д-р Надя Любомирова Петрова** – външен член.

**Резервни членове:**

**Доц. д-р Тодор Цонков Узунов, ДМ** – вътрешен член.

**Доц. ДФН Йордан Георгиев Маринов** – външен член.

*Материалите по защитата са на разположение в Катедрата по Ортодонтия, Факултет по Дентална Медицина, Медицински Университет – София и са публикувани в интернет страницата на Медицински Университет – София.*

***Изказвам дълбока благодарност на:***

**Проф. д-р Лаура Андреева-Гургуриева, ДМ, ДН** – научен ръководител, *МУ – София, ФДМ, Катедра Ортодонтия.*

**Доц. д-р инж. Ангелина Стоянова-Иванова** – научен ръководител, *Институт по физика на твърдото тяло „Акад. Георги Наджаков“, БАН.*

**Д-р Валери Петров, ДМ** – главен административен асистент, *МУ – София, ФДМ, Катедра Ортодонтия.*

**Георги Петков** – PhD математик, статистическа обработка на данни, PI – Center for Biomedical Advanced Modelling and Implementation at ReconNS.

**Доц. Валентин Михайлов** – провеждане на елементарен анализ чрез LIBS на изследваните ортодонтични дъги, *Институт по физика на твърдото тяло „Акад. Георги Наджаков“, БАН.*

**Доц. д-р инж. Валентин Диков** механични изследвания върху ортодонтичните дъги в ЛЕИДМ.

**Проф. Валдек Микли** (Senior Scientist, DSc Valdek Mikli), Институт по материалознание и околна среда, *Талинския технологичен университет – Естония.*

***Финансиращи проекти:***

1. Конкурс „Млад изследовател – 2019“, договор № Д-139/23.04.2019
2. Допълнително докторантско финансиране – ПМС № 90/26.05.2000 г., с допълнение ПМС № 105/02.05.2019
3. Допълнително докторантско финансиране – ПМС № 90/26.05.2000 г., с допълнение ПМС № 103/21.05.2020
4. Инфраструктурен проект на Медицински Университет – София по Договор N 1 – И / 2009 г.
5. Споразумение за научно сътрудничество между БАН и Естонската академия на науките (Институт по материалознание и околна среда, Талинския технологичен университет – Естония), проекти ЕБР – 2018–2021 г.; 2022–2023 г.



## Съдържание<sup>1</sup>

ВЪВЕДЕНИЕ	7
ЦЕЛ И ЗАДАЧИ	9
МАТЕРИАЛ	11
МЕТОДИ	13
РЕЗУЛТАТИ	17
ОБСЪЖДАНЕ	59
ЗАКЛЮЧЕНИЯ	64
ИЗВОДИ	68
ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД	70

СПИСЪК НА НАУЧНИ ПУБЛИКАЦИИ И СЪОБЩЕНИЯ  
ВЪВ ВРЪЗКА С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

---

<sup>1</sup> *Номерата на фигурите, таблиците и графиките не съответстват на номерата в дисертационния труд*

### *Използвани съкращения и пояснения*

**Ni -Ti** – Никел-титан

**Cu-Ni-Ti** – Мед-никел-титан **SS** –

Стомана (Stainless steel) **β – Ti** – Бета

титан (Титан-молибден)

**BA** – Ортодонтска дъга Bio-active® на фирма GC

**TR** – Ортодонтска дъга Tritanium® на фирма American orthodontics (AO)

**DSC** – Диференциална сканираща калориметрия (Differential scanning calorimetry)

**EDX (EDS)** – Енергийно-дисперсионна рентгенова спектроскопия (Energy-dispersive X-ray spectroscopy)

**SEM** – Сканираща електронна микроскопия (Scanning electron microscopy)

**XRD** – Рентгеноструктурен анализ (X-Ray diffraction method)

**LIBS** – Лазерно-индуцирана пробивна спектроскопия (Laser-induced breakdown spectroscopy)

**Ca-P** – Калций – Фосфор

**NC** – Съдържание на никел (nickel content)

**A<sub>s</sub>** – Началната температура, при която мартензитът започва да се превръща в аустенит (Austenite start)

**A<sub>f</sub>** – Температурата, при която завършва трансформацията на аустенита (Austenite finish)

**M<sub>s</sub>** – Началната температура на мартензитната трансформация (Martensite start)

**M<sub>f</sub>** – Крайната температура на пълната трансформация в мартензит (Martensite finish)

**PHTT** – Температура на фазов преход (Phase Transition Temperature)

**TTR** – Обхват на температурата на прехода (Transition temperature range )

**GT** – Фундаментална истина (ground truth)

**MP** – Механични свойства (mechanical properties)

# ВЪВЕДЕНИЕ

В съвременния свят все повече пациенти от различна възраст и пол търсят ортодонтска помощ. Необходимостта от красива усмивка се превръща в основна цел и мотивация за ортодонтско лечение.

Ортодонтските дъги са неизменна част от фиксираната техника. Включвайки ортодонтската дъга в слота на брекета, се генерират сили, наречени активиращи, а при деактивация на дъгата се осъществява движението на зъбите и процеса на костно ремоделиране.

Мултимодулни ортодонтски дъги, многосилови ортодонтски дъги, дъги с диференцирано освобождаване на сила или дъги с променлива сила в различните участъци, са синонимни термини, използвани за означаване на нов тип дъги. В тях е заложено да се освобождават биомеханични оптимални сили в отделните участъци от зъбната дъга. Тези дъги притежават три района с различна якост на опън – прогресивно увеличаваща се отпред-назад по цялата дължина на ортодонтската дъга. Основна цел на лечението с многосилови ортодонтски дъги е да се намали интензитета на използваните сили за зъби с малка площ на кореновата повърхност, като особено чувствителни са долните централни резци, но и да се осигурят достатъчни сили за преместването на моларите. Мултимодулните ортодонтски дъги покриват изискванията към съвременната тенденцията за биосъвместимост с човешкия организъм като предимството им е намаляване риска от коренова резорбция.

Многосиловите (мултимодулни) ортодонтски дъги позволяват нивелиране, коригиране на ротации и изява на ранен торк

посредством употреба на една дъга за по-дълъг период. По този начин се осигурява продължителност на действието на дъгата и постигане на желания резултат, въпреки по-редките срещи с пациента.

Всичко това ни мотивира да започнем изследвания на тези дъги, като за по-голяма достоверност на данните, в настоящия дисертационен труд са предпочетени *in-vivo* изследванията, даващи реална представа за промените в дъгата. В нашето проучване за първи път в България ще бъдат изследвани мултимодулни (Tritanium® на фирма American orthodontics, Bioactive® на фирма GC) ортодонтски дъги използвани по време на ортодонтското лечение.

## ЦЕЛ И ЗАДАЧИ

Целта на настоящия дисертационен труд е да се изследват и сравнят физико-химичните характеристики (химичен състав, структура, морфология, термични фазови преходи и механични свойства) на неизползвани и използвани в *in-vivo* среда на два вида мултимодулни ортодонтски дъги Tritanium® и Bio-active®.

За изпълнение на така формулираната цел е необходимо да се анализират и решат следните задачи:

1. Да се изследват промените в химичния състав, структурата и морфологията на двата вида мултимодулни ортодонтски дъги преди и след лечение
  - 1.1. Ортодонтска дъга Tritanium® (TR) на фирма American Orthodontics (AO)
  - 1.2. Ортодонтска дъга Bio-active® (BA) на фирма GC.
2. Да се установят и изследват нивата на сила в преден, среден и заден сегмент при два типа неизползвани мултимодулни ортодонтски дъги.
  - 2.1. Ортодонтска дъга Tritanium® (TR) на фирма American Orthodontics (AO)
  - 2.2. Ортодонтска дъга Bio-active® (BA) на фирма GC
3. Да се изследва влиянието на клиничната употреба върху механичните свойства на двата типа мултимодулни ортодонтски дъги след престой в устната кухина (до 8 седмици и над 8 седмици).

4. Да се изследва температурата на фазов преход в преден, среден и заден сегмент на изследваните мултимодулни ортодонтски дъги чрез метода на DSC.

**Решаването на задачи 2, 3 и 4 използва статистически методи за потвърждаване или отхвърляне на нулева хипотеза.**

**Приетите нулеви хипотези са следните:**

**По задача 2:**

*Изследваните дъги притежават свойството да освобождават равни по големина сили в трите изследвани участъка.*

**По задача 3:**

*Механичните свойства на изследваните дъги не се променят след клинична употреба.*

**По задача 4:**

1.  *$A_f$  температурата на изследваните дъги е еднаква в отделните сегменти.,*

2.  *$A_f$  температурата на изследваните дъги не се променя с времето на употреба.*

## МАТЕРИАЛ

По време на специализираното си обучение в катедра Ортодонтия, ФДМ, МУ – София, докторантът е лекувал 70 новопостъпили пациенти, на всеки от които са поставени фиксирани апарати (брекети), избрани според плана на лечение.

От общия брой, лекувани пациенти от докторанта са избрани **39 пациенти за лечение с многосилови дъги и самолигиращи брекети**. Този избор е подходящо съобразен със степента на струпване по индекс на Little.

Критерии за избор са:

1. Вид съзъбие – постоянно съзъбие.
2. Вид терапия – безекстракционна терапия.
3. Според степента на струпване на зъбите:
  - минимално струпване – (1-3 мм общо отклонение на контактните точки) – 12 пациента (30,77%);
  - умерено струпване (4-6 мм общо отклонение на контактните точки) – 26 пациента (66,67%).

Пациентите лекувани с Bio-active® са 18, а с Tritanium® – **21**.

От изследваните дъги бяха сформирани следните групи според **времето на използване**:

- I група – G<sub>0</sub> – неизползвани дъги;
- II група – G<sub>1</sub> – използвани дъги до 8 седмици престой в устната кухина;
- III група – G<sub>2</sub> – използвани дъги над 8 седмици престой в устата.

Всяка дъга имаше следните **сегменти**:

- Фронтален **FRONTAL**
- Премоларен **PREMOLAR**

- Моларен **MOLAR**

### **1.3. Материал по задача 1**

Посочените образци са **физико-химично охарактеризирани**.

### **1.4. Материал по задача 2, 3 и 4**

За изследване **на опън** и термични фазови преходи по метода на DSC са предадени общо 36 сегменти от вида Bio-active® и 36 сегменти от Tritanium® разпределени по следния начин:

- нова неизползвана дъга – 2 бр.
- използвана дъга до 8 седмици – 5 бр.
- използвана дъга над 8 седмици – 5 бр.

След сегментирането на дъгите за изследване са предадени следните образци:

- изследвана проба от фронтален участък – 12 бр.
- изследвана проба от областта на премоларите – 12 бр.
- изследвана проба от моларния участък – 12 бр.

## МЕТОДИ

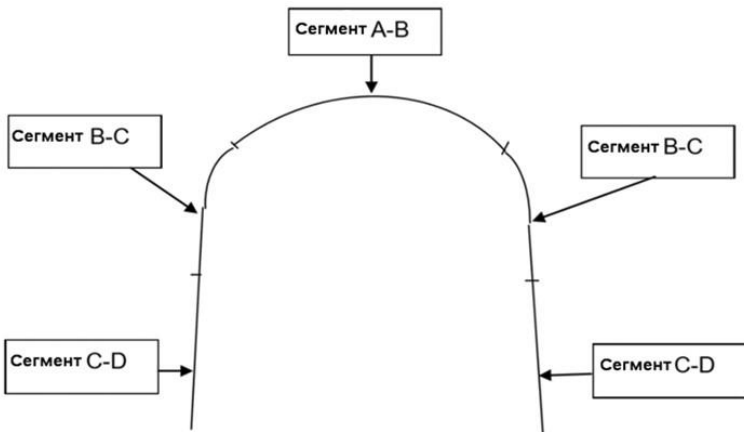
### 1. Подготовка на образците

#### 1.1. Сегментиране.

Подготвихме образците по следния начин, описан на фиг. 1

- Фронтален сегмент А-В – 15 мм от двете страни на центъра;
- Сегменти В-С – в областта на премоларите;
- Сегменти С-Д – в областта на моларите.

**От 1 дъга се оформят 6 сегмента.**



*Фиг. 1. Схема на местата за анализ А-В – фронтален сегмент, В-С премоларен, С-Д – моларен*

**2. За изпълнение на поставените задачи са използвани следните методи:**

#### **Задача 1:**

- Рентгенофазов анализ (XRD)

- Сканираща електронна микроскопия (SEM),
- Енергийно-дисперсионна рентгенова спектроскопия (EDX).
- Лазерно-индуцирана пробивна спектроскопия (Laser-induced breakdown spectroscopy (LIBS)).

### Задача 2 и задача 3:

#### **Механично изпитване на ортодонтските дъги с триточков тест на огъване.**

А. Всички изследвания върху механичните свойства на дъгите са извършени първо при **температура до 26° C**, а след това са повторени при **температура 36.6° C**. Температурата се регулира с помощта на термостат.

Б. Изследвани са два **ТИПА** дъги: Bio-active (**BA**) и Tritanium (**TR**)

В. Изследваните представители от всеки **тип** дъги са разпределени в три групи според клиничната употреба.

Г. Измерванията на механичните свойства на дъгите, за всяка дъга са извършени/ повторени за трите участъка от дъгата, оформени след сегментирането.

Д. За всеки участък са измерени силите в [N] на натоварване **LOAD** за отместване/провисване на дъгата съответно с 0.5; 1.0; 1.5; 2.0 [mm]. След това са измерени силите на разтоварване **UNLOAD** след отместване/провисване на дъгата съответно на 0.5; 1.0; 1.5; 2.0 [mm].

Е. Натоварването се провежда върху късата страна – 0.016 инча на ортодонтските дъги с размери 0.016 x 0.022 инча и се отчитат силите в хоризонтална посока.

Ж. Интересуващите ни резултати са за измервания при разтоварване **UNLOAD**, тъй като в процеса на деактивиране на дъгата се осъществява зъбното преместване.

3. Мерните единици използвани в триточковия тест на огъване са в N (нютон) или 1 **нютон (N) = 100 cN**, които са приблизително равни на **101.97 грама сила (gf)**

#### **Задача 4:**

##### **➤ Диференциална сканираща калориметрия (DSC).**

А. Системата се нагрива до  $+ 80^{\circ} \text{C}$  и охлажда до  $- 80^{\circ} \text{C}$  със скорост от 10 градуса в минута.

Б. Изследваните представители от всеки *тип* дъги са разделени в три **ГРУПИ** по продължителност на клинична употреба и сегменти от ортодонтската дъга

##### **➤ Статистически анализ**

- Вариационен анализ
- Дисперсионен анализ
- Непараметрични тестове на: „*Kruskal-Wallis*“, *MannWhitney*“, “*Student*”, “*Fisher*”
- Корекция на *Bonferroni* за множествено сравнение

##### **➤ Статистическа методика за решаване на задача 2:**

А. За всеки тип дъга, се установява **фундаменталната истина ‘ground truth’ – (GT)** за механичните свойства (mechanical properties) (**MP**) зададени/търсени от производителя.

Б. Анализът за (**GT**) за двата типа дъги се извършва само върху **G0** за всеки от трите участъка поотделно и формира база за сравнение.

В. Следват три типа сравнения:

- Сравнение на освободените сили между двете дъги в отделните участъци.
- Сравнение на освободените сили между трите участъка.

➤ **Статистическа методика за решаване на задача 3:**

На базата на установената **фундаменталната истина ‘ground truth’** – (*GT*) от задача 2, се отчита влиянието на клиничната употреба върху механичните свойства на двата типа дъги. Следват два типа сравнения:

- Сравнение на освободените сили между двете дъги в отделните участъци за двата периода на клинична употреба.
- Сравнение на освободените сили между трите участъка и техните промени в периодите  $G_0$ ,  $G_1$ ,  $G_2$ .

➤ **Статистическа методика за решаване на задача 4:**

А. Първата част на анализа показва промяната в *PHTT* ( $A_f$ ) в следствие на продължителността на използване.

- Разгледани са отношенията между *PHTT* стойностите в различните участъци на дъгата.
- За контролна група са определени стойностите на ( $A_f$ ) в различните участъци на неизползвани дъги (*Ground truth*), т.е. се проследява промяната на началния замисъл на производителя с увеличаване на времето на използване на дъгата.

Б. Втората част на анализа проследява промяната на *PHTT* във времето отделно за всеки участък.

# РЕЗУЛТАТИ

## РЕЗУЛТАТИ ПО ПЪРВА ЗАДАЧА

*Да се изследва химичния състав, структурата и морфологията на двата вида мултимодулни ортодонтички дъги преди и след лечение:*

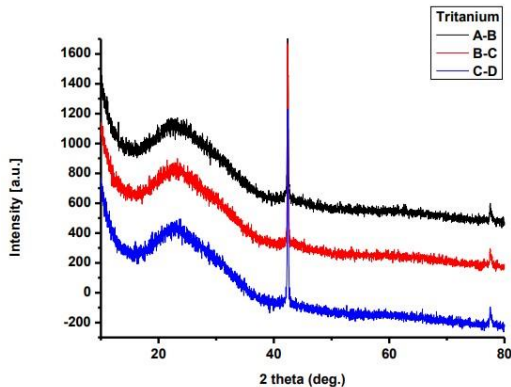
1. 1. Ортодонтички дъги Tritanium® (TR) на фирма American Orthodontics (AO)

1.2. Ортодонтички дъги Bio-active® (BA) на фирма GC

### 1.1. Ортодонтички дъги Tritanium (TR)

#### XRD

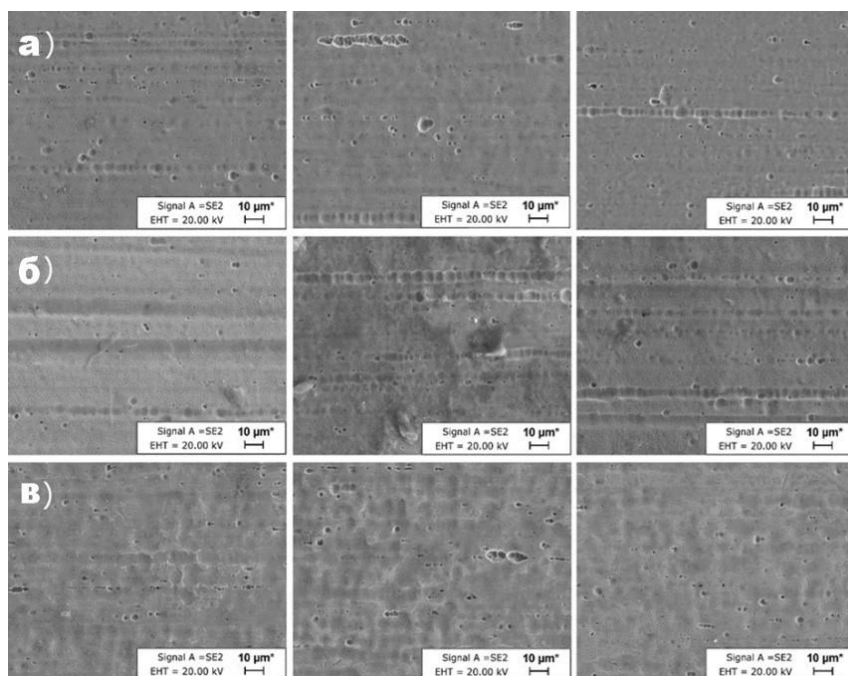
На **фиг. 2** е показан рентгено-структурният анализ проведен при стайна температура в трите участъка от неизползвана TR. Наблюдава се аустенитна тип структура на всички изследвани образци.



**Фиг. 2.** XRD образец на неизползвана TR дъга

## SEM

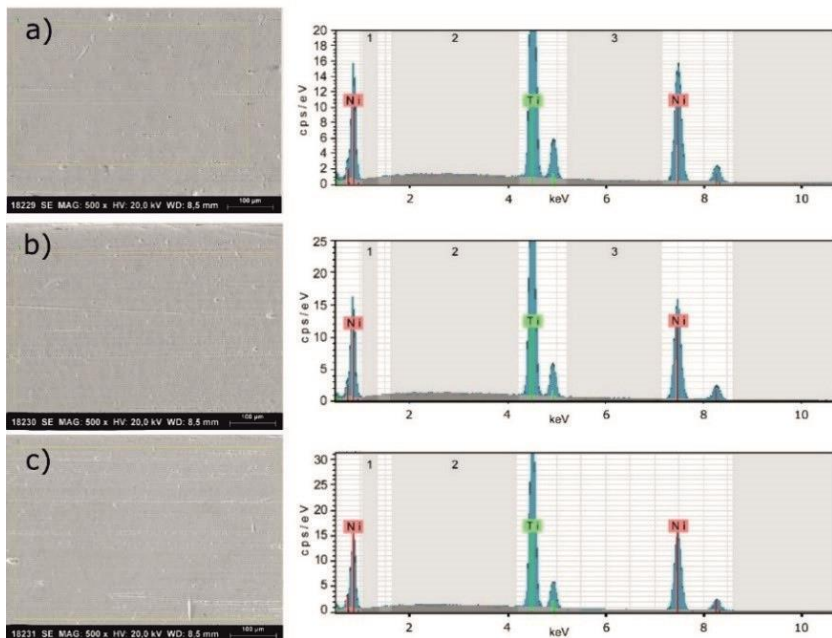
На **фиг. 3** са показани SEM снимки на нови, използвани до 8 и над 8 седмици ортодонтски дъги. След анализ на микрографиите се отчита, че неизползваните TR дъги имат финозърнеста структура. След клинична употреба до 8 и над 8 седмици повърхностната структура се променя, като се наблюдава рекристализиране и появата на по-големи зърна, като този процес повлиява и на повърхностната структура на дъгите като тя става по-едрозърнеста. Някои зърна при дъги над 8 седмици могат да достигнат размери до 10  $\mu\text{m}$ .



**Фиг. 3.** SEM снимки от повърхността на Tritanium дъги както следва: а) неизползвана; б) използвана до 8 седм. в) използвана над 8 седм. От ляво – надясно: фронтален, премоларен и моларен сегмент (увеличение  $\times 2000$ )

## EDX

В трите зони на еластичност (фронтален, премоларен, моларен сегмент) се откриват химичните елементи Ni, Ti. ( фиг. 4)

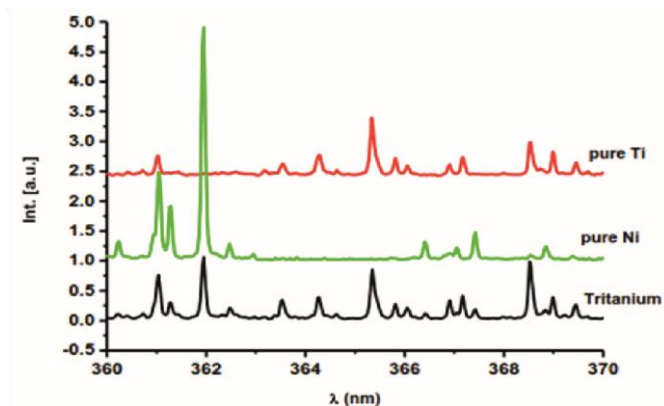


**Фиг. 4.** Спектър на елементите, установени от EDX метод и SEM снимки от мястото на проведеното изследване за съответните сегменти а) фронтален; б) премоларен; в) моларен при неизползвани дъги

## LIBS

За качествено определяне наличието на Ti и Ni в изследваните неизползвани дъги, чрез LIBS първоначално се регистрира спектъра на мишени, изработени от чисти Ti и Ni. След това измерените спектри на дъгите се сравняват със спектрите на чистите елементи. Наличието или отсъствието на избрани аналитични линии в спектъра на измерената дъга показва наличието или отсъствието на

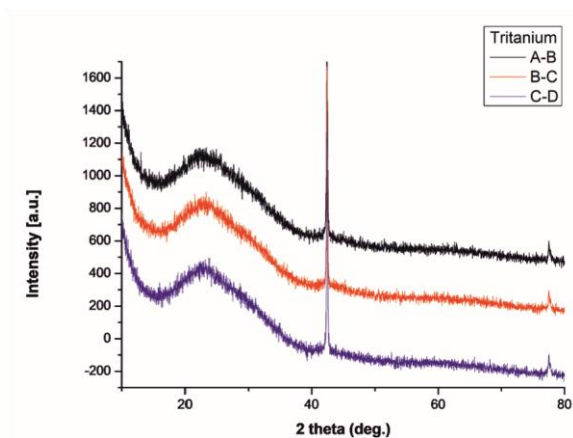
дадения елемент в пробата. На **фиг. 5** са представени регистрираните спектри на пробите в диапазона 360 – 370 nm на дължината на вълната, където се намират аналитичните линии на **Ti** и **Ni**.



**Фиг. 5.** Спектограма от изследване на дъга Tritanium чрез LIBS

## XRD

На **фиг. 6** са показани рентгеновите спектри от XRD анализ проведен при стайна температура върху клинично използвани многосилови ортодонтски дъги – TR в трите зони на еластичност (фронтален, премоларен, моларен сегмент). Наблюдава се аустенитна тип структура. Изследването показва, че дори и след клинична употреба кристалната решетка се запазва.

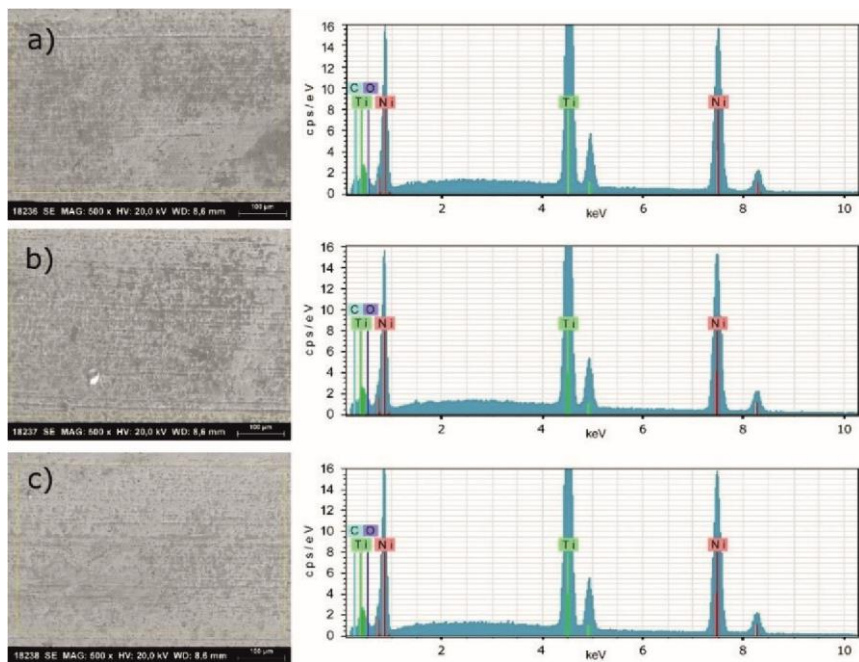


**Фиг. 6.** Рентгенографски спектри на клинично използвани Tritanium дъги в трите сегмента

## EDX

На **фиг. 7** са показани спектрите на откритите химични елементи при на TR след **клинична употреба до 8 седмици**. Изследването е проведено в трите области с различна еластичност по дължината на дъгите.

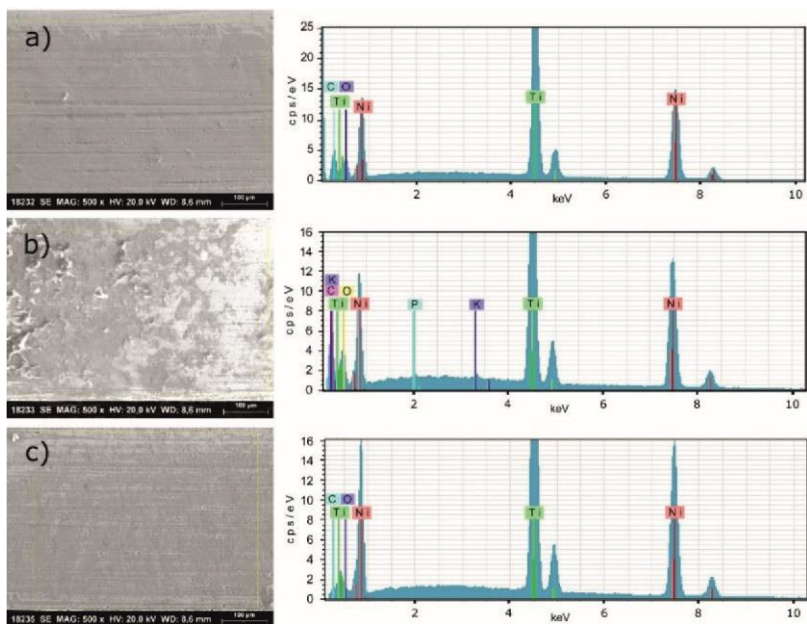
От проведеното изследване се установи присъствието освен на основните Ti и Ni химични елементи, но и на още два допълнителни елемента въглерод C и кислород O, които не присъстват в състава на фабричните, неизползвани дъги и предполагаме, че са в резултат на подготовката на образеца за анализ.



**Фиг. 7.** Спектър на елементите, установени от EDX метод за съответните сегменти на TR а) фронтален; б) премоларен; в) моларен при клинично използвани дъги **до 8 седмици**

На **фиг. 8** са показани спектрите на откритите химични елементи при EDX изследване на TR след **клинична употреба над 8 седмици** в трите сегмента от ортодонтските дъги.

В групата на клинично употребяваните над 8 седмици TR отново се отчита присъствието на различни от никел и титан химични елементи като: въглерод (C), кислород (O) и следи от калий (K) и фосфор (P).



**Фиг. 8.** Спектър на елементите, установени от EDX метод за съответните сегменти на TR а) фронтален; б) премоларен; в) моларен при клинично използвани дъги над 8 седмици

## Обобщена таблица на получените стойности след EDX анализ

На **табл. 1** са представени осреднените стойности за процентното съдържание на химичните елементи – никел (Ni) и титан (Ti) в TR, разпределени по време на употреба и сегменти.

**Таблица 1.** Процентно съдържание на Ni и Ti в различните участъци от изследваните дъги и при различни периоди на клинична употреба

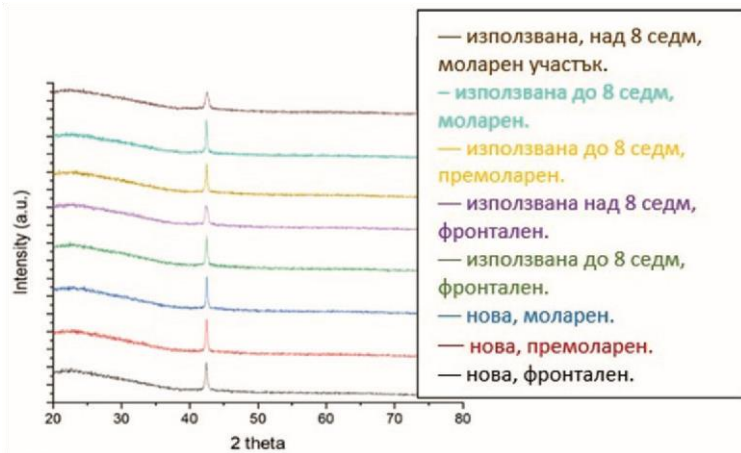
Елементи [wt.%]	Tritanium (AO)									Грешка [%]
	Неизползвана			Използвана до 8 седм.			Използвана над 8 седм.			
	Фронтален	Премоларен	Моларен	Фронтален	Премоларен	Моларен	Фронтален	Премоларен	Моларен	
Ni	54.40	54.72	54.40	54.68	53.03	54.29	54.13	54.42	54.09	+/- 0.8
Ti	45.60	45.28	45.60	45.32	46.97	45.71	45.87	45.58	45.91	+/- 0.8

Резултатите показват, че не се отчитат статистически значими разлики в концентрацията на Ni и Ti в трите сегмента на нови, използвани до 8 и над 8 седмици TR ортодонтски дъги.

## 1.2. Ортодонтски дъги Bio-active (BA)

### **XRD**

Рентгенно-структурният анализ (**XRD**) е проведен при стайна температура върху Bio-active многосилови ортодонтски дъги в трите сегмента на неизползвани, използвани до 8 и над 8 седмици, показва отново кубична структура с параметри  $a = b = c = 3.1323$ ,  $\beta = 90^\circ$ , характерна за аустенитна фаза (**фиг. 9**).

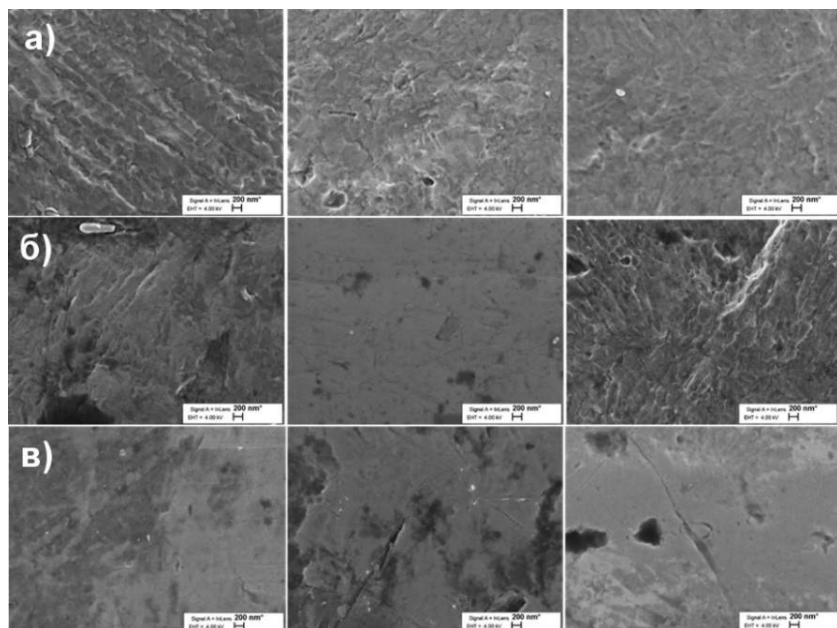


**Фиг. 9.** Рентгенографски спектри на Bio-active дъги в трите сегмента през трите периода на употреба

### **SEM**

На **фиг. 10** са показани представителни SEM микрографии от повърхността на BA дъги. На снимките от повърхността на нови BA

се виждат дребни зърна без специфична форма като размерът им е около 500 nm. С помощта на софтуера ImageJ е изчислена средна стойност и стандартното отклонение за тяхната площ – 0,276  $\mu\text{m}^2$  и 0,145  $\mu\text{m}^2$ .

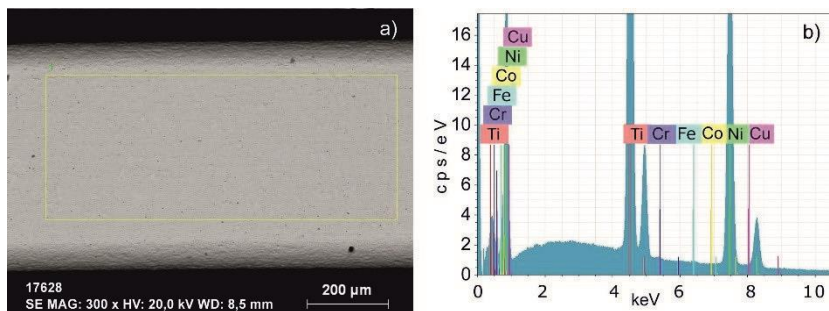


**Фиг. 10.** SEM снимки от повърхността на ВА дъги както следва : а) неизползвана; б) използвана до 8 седм; в) използвана над 8 седм. От ляво – надясно: фронтален, премоларен и моларен сегмент (увеличение 50,000 пъти)

При продължителна употреба, се наблюдава, че повърхността в трите области става по-гладка, но се появяват ясно разграничени драскотини. В резултат на наблюденията се установява, че повърхността в трите области на многосиловата дъга ВА се променя с употребата им.

## EDX

От Енергийно-дисперсионното изследване (фиг.11) е установено наличието както на основните елементи Ti, Ni, така и на допълнителни елементи като желязо (Fe) и хром (Cr) и в трите сегмента на ВА дъгите след клинична употреба в продължение на до 8 и над 8 седмици.



*Фиг. 11. EDX - спектрите на присъстващите елементи, както и Fe, Cr, заедно със SEM микрография от мястото на изследване*

Елементният състав в трите зони на еластичност на неизползвани, използвани до 8 седм. и над 8 седм. е представен на табл. 2.

Таблица 2. Осреднени стойности на % съдържание на химичните елементи в ВА дъги

Елемент [wt.%]	Неизползвани			Използвани до 8 седм			Използвани над 8 седм		
	Фронтален	Премоларен	Моларен	Фронтален	Премоларен	Моларен	Фронтален	Премоларен	Моларен
<b>Ni</b>	54.7	53.5	52.5	53.2	54.9	53.5	53.3	53.6	53.3
<b>Ti</b>	44.8	46.6	47.0	46.5	44.5	46.2	46.4	45.9	46.4
<b>Fe</b>	0.5	–	0.3	–	0.4	–	–	0.3	–
<b>Cr</b>	–	–	0.3	0.3	0.1	0.3	0.3	0.3	0.3

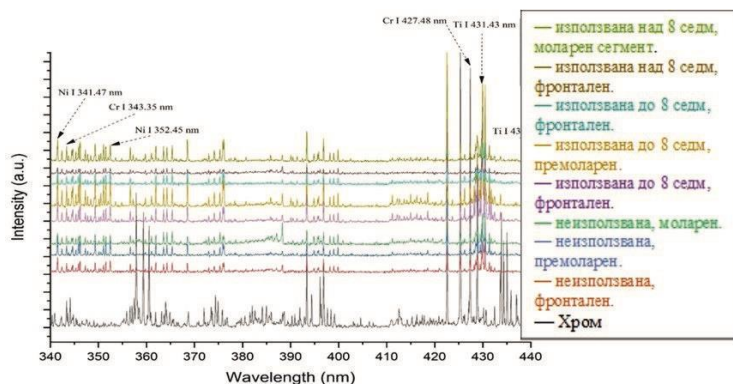
Няма статистически значима разлика в тегловния процент на Ni и Ti в трите сегмента на изследваните ВА дъги. Количествата Ni и Ti са приблизително 55 тегл.% и 45 тегл.%, съответно. Получените стойности за химичния състав на ВА се доближават до тези при TR, съответно 54 тегл.% и 46 тегл.%.

Регистрирани са следи от Fe и Cr при ВА в различните области с диференцирано освобождаване на сила, което е основна разлика между двата вида изследвани дъги.

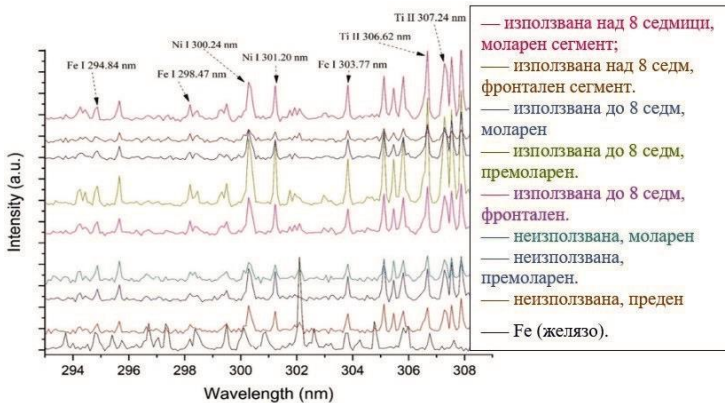
### LIBS метод

Качественият анализ на елементния състав на изследваните дъги е направен чрез LIBS анализ, при стайна температура, във въздушна атмосфера. LIBS спектрите на дъгите Bio-active потвърждават наличие на Ni и Ti. Представените LIBS спектри (фиг. 12, 13) показват присъствието и на Fe в диапазона на дължината на вълната 290–310 nm. Наличието на Cr е установено чрез избран диапазон на дължина на вълната 340–440 nm. Линиите, избрани като аналитични спектри за експеримента са Fe I 294.84 nm, Fe I 298.47

nm и Fe I 303.77 nm и Cr I 343.35 nm и Cr I 427.48 nm. Регистрираните спектри бяха сравнени със спектрите на чистите елементи, налични в базата данни (NIST).



**Фиг.12.** Спектри на елемента **Хром (Cr)** при различните сегменти от ортодонтските дъги при нови, неизползвани дъги, употребени до 8 седмици и над 8 седмици



**Фиг. 13.** Спектри на елемента **Желязо (Fe)** при различните сегменти от ортодонтските дъги при неизползвани дъги, употребени до 8 седмици и над 8 седмици

## РЕЗУЛТАТИ ПО ВТОРА ЗАДАЧА

*Да се установят и изследват нивата на сила в фронтален, премоларен и моларен сегмент при два типа неизползвани многосилови ортодонтички дъги – Bio-active® (BA), GC и Tritanium® (TR), АО.*

За решаването на поставена задача е използван три-точков тест на огъване, проведен в лаборатория във Факултет по Дентална медицина, МУ – София.

1. Графики сила/деформация на **ВА**, получени от триточков тест на огъване при температура **36.6° С** температура до **26° С** за едни и същи **сегменти** в периодите на употреба **G<sub>0</sub>** (фиг. 14)

От проведените изследвания върху неизползвани Bio-active дъги са получените резултати, представени са на **фигура 14** и отразяват зависимостта на натоварване/деформация, от което следва:

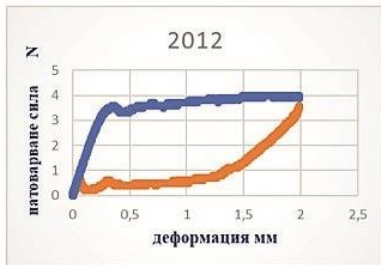
- Разлики във формата на платата на изследваните сегменти – задният сегмент притежава по-добри супер-еластични свойства, което вероятно се дължи на това, че за него е заложена по-ниска  $A_f$  температура ( $26.17^0$  С - температура, при която сплавта е в изцяло аустенитна фаза), съответно при изследване, проведено при  $36.6^0$  С по-рано се проявява супереластичността.
- Разлики в освободените сили при различните сегменти – повишаващи отпред – назад.
- По време на активация, стрес-индуциран мартензит се образува при 0.5 мм. деформация (отклонение), което води

до запазване, а не до рязко и голямо повишаване на активиращите сили при увеличаване на деформацията.

- Дъгите не освобождават сили във фазата на деактивация при изследвания проведени в температурен диапазон до 26<sup>0</sup> С, при наличие на деформация по-малка от 1.5мм. При повишаване на температурата настъпват промени, което говори, че изследваните дъги са термочувствителни и притежават свойството памет на формата, което е термичен феномен.

Синя линия – активиране на дъгата

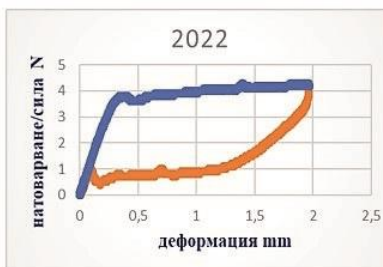
Оранжева линия – деактивиране на дъгата



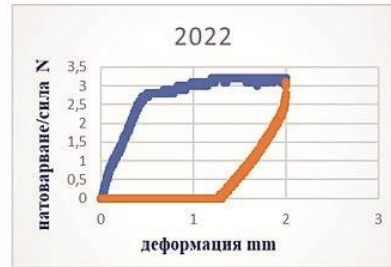
Фиг. 28 ВА; ( $t = 36.6$ ),  $G_0$ , фронтален сегмент



Фиг. 29 ВА; ( $t \approx 26$ ),  $G_0$ , фронтален сегмент



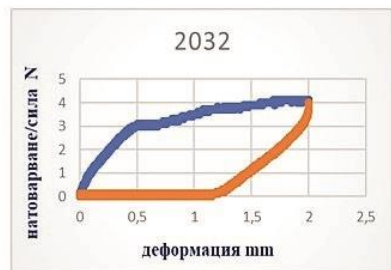
Фиг. 30 ВА; ( $t = 36.6$ ),  $G_0$ , премоларен сегмент



Фиг. 31 ВА; ( $t \approx 26$ ),  $G_0$ , премоларен сегмент



Фиг. 32 ВА; ( $t = 36.6$ ),  $G_0$ , моларен сегмент



Фиг. 33 ВА; ( $t = 26$ ),  $G_0$ , моларен сегмент

**Фиг. 14.** Графики сила/деформация на ВА, проведени съответно при  $36.6^{\circ}C$  и  $26^{\circ}C$  за едни и същи сегменти в периодите на употреба  $G_0$

- Във всички проби, натоварването/силата се увеличава с повишаване на температурата на околната среда, т.е при  $36.6^{\circ}C$  се наблюдават по-големи сили от тези при температура под  $26^{\circ}C$ . Това ни дава повод за размисъл, че

дъгите не са подходящи при пациенти с устно дишане и леко струпване, поради това, че дъгата няма да премине в аустенитна фаза във фронталния участък.

- От друга страна, силата с увеличаване на  $A_f$  намалява, т.е фронталния сегмент и премоларния сегмент показват по-високи  $A_f$  температури, респективно  $31.45^{\circ}\text{C}$  и  $28.21^{\circ}\text{C}$  и освобождават по-слаби сили в сравнение с моларния сегмент.
- Всички изследвани сегменти при температура на околната среда от  $36.6^{\circ}\text{C}$  и деформация до 2 мм. в процеса на разтоварване се връщат на нула, което означава, че не проявяват пластична деформация.

2. Графики натоварване/деформация на **TR**, получени при триточков тест на огъване при температура  **$36.6^{\circ}\text{C}$**  и температура до  **$26^{\circ}\text{C}$**  за едни и същи **сегменти** в периодите на употреба  **$G_0$**  (фиг. 15)

От проведените изследвания върху неизползвани ортодонтски дъги Tritanium и получените резултати, показани на фигурите 15, отразяващи зависимостите натоварване/деформация може да се направят следните обобщения.

- Двата типа многосилови дъги (Bio-active и Tritanium) имат сходни механични свойства.
- Дъгите не освобождават сили във фазата на деактивация при изследвания, проведени в температурен диапазон до  $26^{\circ}\text{C}$ , при наличие на деформация по-малка от 1.5 мм При повишаване на температурата настъпват промени, което говори, че изследваните дъги са термочувствителни и

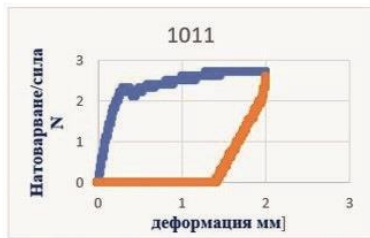
притежават своето „памет на формата“, което е термичен феномен.

Синя линия – активиране на дъгата

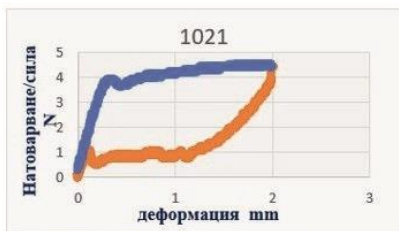
Оранжева линия – деактивиране на дъгата



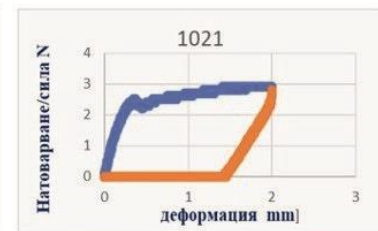
Фиг. 34 TR; (t = 36.6), G<sub>0</sub> фронтален сегмент



Фиг. 35 TR; (t ≈ 26), G<sub>0</sub> фронтален сегмент



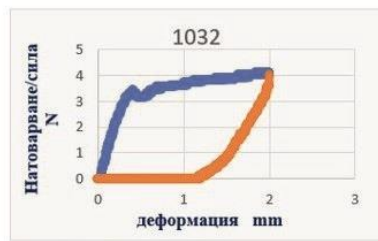
Фиг. 36 TR; (t = 36.6), G<sub>0</sub> премоларен сегмент



Фиг. 37 TR; (t ≈ 26), G<sub>0</sub> премоларен сегмент



Фиг. 38 TR; (t = 36.6), G<sub>0</sub> моларен сегмент



Фиг. 39 TR; (t ≈ 26), G<sub>0</sub> моларен сегмент

**Фиг.15.** Графики сила/деформация на TR, проведени съответно при 36.6° C и 26° C за едни и същи сегменти в периодите на употреба G<sub>0</sub>.

Табл 3 и 4 съдържат обобщени стойности на данните, получени от триточков тест на огъване на **Bio-active**.

Табл 3. Обобщена таблица на средните стойности на силите при зададено провисване в различни участъци на ВА и различна продължителност на клинична употреба до 26° С

	Код	Деформация [mm]				
		0.5	1.0	1.5	2.0	
Фронтален сегмент	L 201	2.5	2.7	2.8	2.9	Сила
	U 201	0.0	0.0	0.6	2.9	
	L 211	2.8	3.0	3.2	3.3	
	U 211	0.0	0.0	0.7	3.3	
	L 221	2.3	2.6	2.8	2.9	
	U 221	0.0	0.0	0.4	2.9	
Премолярен сегмент	L 202	2.8	3.0	3.1	3.2	
	U 202	0.0	0.0	0.6	3.2	
	L 212	3.0	3.2	3.4	3.4	
	U 212	0.0	0.0	0.9	3.4	
	L 222	2.8	3.0	3.1	3.2	
	U 222	0.0	0.0	0.8	3.2	
Молярен сегмент	L 203	3.0	3.5	3.9	4.1	
	U 203	0.0	0.0	1.1	4.1	
	L 213	3.1	3.5	3.8	4.1	
	U 213	0.0	0.0	1.0	4.1	
	L 223	2.7	3.1	3.4	3.6	
	U 223	0.0	0.0	0.7	3.6	

Табл 4. Обобщена таблица на средните стойности на силите при зададено провисване в различни участъци на ВА и различна продължителност на клинична употреба при 36° С

	Код	Активиране - деформация [mm]				Деактивиране - деформация				
		0.5	1.0	1.5	2.0	0.5	1.0	1.5	2.0	
Фронтален сегмент	201	3.3	3.6	3.9	3.9	0.3	0.5	1.3	3.9	Сила
	211	3.5	3.8	4.0	4.0	0.7	0.9	1.5	4.0	
	221	3.6	4.1	4.3	4.2	0.8	1.0	1.7	4.2	
Премолярен сегмент	202	3.6	3.9	4.1	4.1	0.6	0.8	1.6	4.1	
	212	3.8	4.2	4.3	4.3	1.1	1.2	1.9	4.3	
	222	3.9	4.2	4.4	4.4	1.1	1.3	1.9	4.4	
Молярен сегмент	203	3.8	4.4	4.8	5.0	1.1	1.3	1.9	5.0	
	213	4.0	4.5	4.8	5.0	1.3	1.5	2.1	5.0	
	223	4.2	4.6	5.1	5.2	1.4	1.6	2.1	5.2	

*Данните от статистическия анализ могат да се обобщят за изследваните дъги*

***Bio-active:***

1. Отчетено **диференцирано освобождаване на сили**. Силите са прогресивно увеличаващи се в посока отпред назад при 2 мм отклонение:
  - **Фронтален сегмент** освобождава сили под 4 N между 3.8 N и 4 N около **387 gf – 407 gf**.
  - За **премоларния сегмент** отчетените сили са над 4 N – между 4 N и 4.2 N или **407 gf. – 428 gf**.
  - За **моларния сегмент** стойностите на освободени сили са 5 N или **509 gf**.
2. Освободените сили са в правопрпорционална зависимост с деформацията на дъгата, т.е. при голяма деформация, се освобождават по-големи сили като това правило важи за трите сегмента.
3. В деактивиращата фаза при деформация от 1 мм и 0.5 мм не се откриват статистически значими разлики в освободените сили, както и между 1.5 мм и 1 мм.
4. Резултатите, получени във фазата на активиране на дъгата са логично по-високи от фазата на деактивиране.
5. Освободените сили са по-големи при по-високи температури.

***Tritanium:***

На табл 5 и 6 са представени обобщени стойности на данните, получени от триточков тест на огъване на **Tritanium**.

*Табл 5. Обобщена таблица на средните стойности на силите при зададено провисване в различни участъци на TR и различна продължителност на клинична употреба до 26° C*

	Код	Деформация [mm]				
		0.5	1.0	1.5	2.0	
Фронтален сегмент	L 101	2.3	2.6	2.7	2.7	Сила
	U 101	0.0	0.0	0.4	2.7	
	L 111	2.4	2.6	2.7	2.7	
	U 111	0.0	0.0	0.2	2.7	
	L 121	2.3	2.6	2.7	2.7	
	U 121	0.0	0.0	0.3	2.7	
Премоларен сегмент	L 102	2.3	2.6	2.8	2.8	
	U 102	0.0	0.0	0.3	2.8	
	L 112	2.7	3.1	3.3	3.4	
	U 112	0.0	0.0	0.5	3.4	
	L 122	2.6	2.9	3.1	3.1	
	U 122	0.0	0.0	0.5	3.1	
Моларен сегмент	L 103	3.3	3.8	4.1	4.2	
	U 103	0.0	0.1	1.1	4.2	
	L 113	3.2	3.6	3.8	4.0	
	U 113	0.0	0.0	0.8	4.0	
	L 123	3.1	3.6	3.9	4.1	
	U 123	0.0	0.0	1.0	4.1	

*Табл 6. Обобщена таблица на средните стойности на силите при зададено провисване в различни участъци на TR и различна продължителност на клинична употреба при 36° C*

	Код	Активиране - деформация [ mm ]				Деактивиране - деформация				
		0.5	1.0	1.5	2.0	0.5	1.0	1.5	2.0	
Фронтален сегмент	101	3.5	3.9	4.0	4.0	0.7	0.8	1.5	4.0	Сила
	111	3.7	4.1	4.2	4.1	0.8	0.8	1.6	4.1	
	121	3.6	4.0	4.0	3.9	0.5	0.7	1.5	3.9	
Премолярен сегмент	102	3.8	4.2	4.4	4.5	0.8	0.9	1.6	4.5	
	112	4.1	4.6	4.8	4.8	1.1	1.3	1.9	4.8	
	122	3.6	4.1	4.3	4.3	0.7	0.9	1.6	4.3	
Моларен сегмент	103	4.4	5.0	5.3	5.6	1.6	1.7	2.5	5.6	
	113	4.5	5.0	5.2	5.3	1.5	1.6	2.3	5.3	
	123	4.3	4.9	5.4	5.4	1.4	1.4	2.1	5.4	

От проведените изследвания върху неизползвана дъга TR могат да се направят следните обобщения:

1. Триточковият тест на огъване проведен върху неизползвана Tritanium дъга и последващ статистически анализ на получените данни показва отново **различни по големина сили в различните сегменти** по цялата дължина на ортодонтската дъга при **2 мм отклонение**.
  - **Фронтален сегмент 4 N – 407 gf.**
  - **Премолярен сегмент 4.5 N – 458 gf.**
  - **Моларен сегмент между 5 N и 6 N – 509 gf. – 611 gf.**
2. Съпоставяйки сегментите (фронтален, премолоарен и моларен) на Tritanium спрямо **Bio-active** се вижда, че **Tritanium** освобождава малко по-високи сили.
3. При моларния участък не се отчита такъв стъпаловиден спад на силите в деактивиращата фаза. Не се отчитат статистически значими разлики между 1.5 мм отклонение и 0.5 мм, което означава, че моларния сегмент освобождава постоянни сили.

В заключение от поставената задача и хипотеза:

*Отхвърляме хипотезата, че изследваните дъги притежават свойството да освобождават равни по големина сили в трите изследвани участъка.*

*Приемаме алтернативата, че притежават свойството да освобождават различни по големина сили в трите изследвани участъка.*

## РЕЗУЛТАТИ ПО ТРЕТА ЗАДАЧА

*Да се изследва влиянието на клиничната употреба върху механичните свойства на два типа мултимодулни ортодонтични дъги след престой в устната кухина (до 8 седмици и над 8 седмици).*

Решаването на задачата ще ни даде отговор какви са оптималните срокове на престой в устната кухина на изследваните ортодонтични дъги.

На базата на предишната задача ще отчетем влиянието на клиничната употреба върху механичните им свойства.

На представената по-долу **фиг.16** са показани резултатите на представителна извадка от всички изследвани проби за използваната дъга до **8 седмици ВА**, проведени съответно при 36.6° С и 26° С.

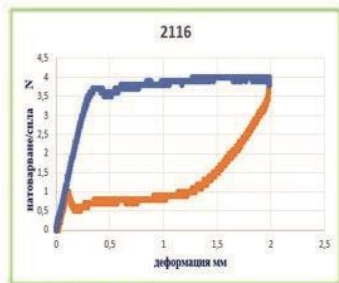
1. Графики сила/деформация на ВА, получени от триточков тест на огъване, проведени съответно при 36.6° С и 26° С за едни и същи сегменти в периодите на употреба  $G_1$  и  $G_2$

От проведените изследвания върху ортодонтски дъги ВА след клинична употреба до **8 седмици (период G1)**, показващи зависимостите натоварване/деформация могат да се направят следните обобщения:

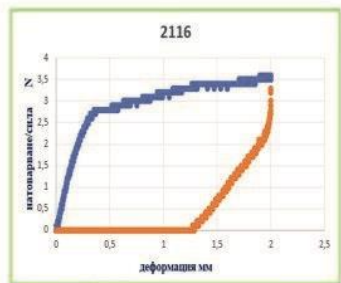
- Тенденцията за диференцирано освобождаване на сили по дължината на дъгата ВА се запазва като силите отново се увеличават в посока отпред назад.
- Запазва се тенденцията в разликите във формата на „платата“ на изследваните сегменти.
- Запазват се свойствата „памет на формата“ и супереластичност след клинична употреба.
- Запазват се разликите в свойствата при различните температури на околната среда.
- Не се наблюдава пластична деформация след клинична употреба.
- При температура от 26<sup>0</sup> С и деформация по-малка от 1 мм се наблюдава пластична деформация на дъгата.

Синя линия – активиране на дъгата

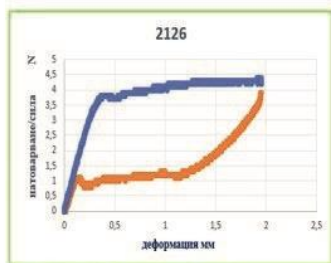
Оранжева линия – деактивиране на дъгата



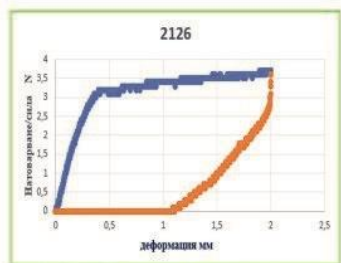
BA; (t = 36.6), G<sub>1</sub> фронтален сегмент



BA; (t = 26), G<sub>1</sub> фронтален сегмент



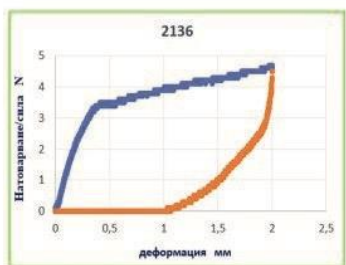
BA; (t = 36.6), G<sub>1</sub> премоларен сегмент



BA; (t = 26), G<sub>1</sub> премоларен сегмент



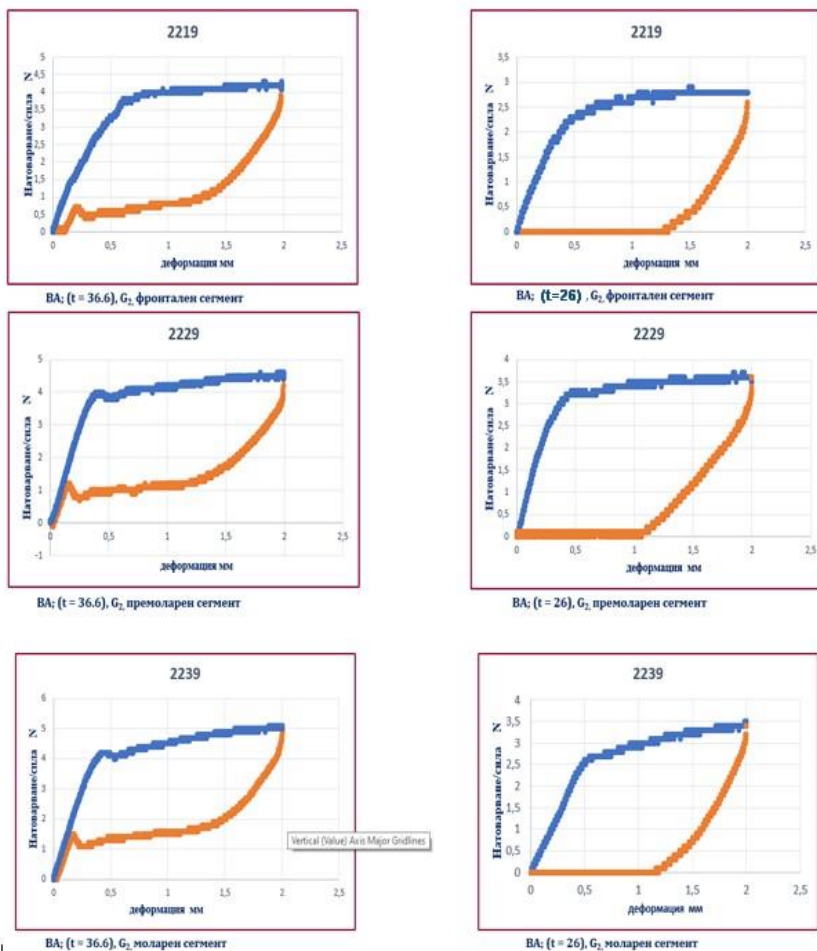
BA; (t = 36.6), G<sub>1</sub> моларен сегмент



BA; (t = 26), G<sub>1</sub> моларен сегмент

Фиг. 16. Графики сила/деформация на ВА, проведени съответно при 36.6° C и 26° C за едни и същи сегменти в периодите на употреба G<sub>1</sub>

На **фиг. 17** са показани резултатите на представителна извадка от всички изследвани проби за използваната дъга **над 8 седмици ВА**, проведени съответно при  $36.6^{\circ}\text{C}$  и  $26^{\circ}\text{C}$ .



**Фиг. 17.** Графики натоварване/деформация на **ВА**, проведени съответно при  $36.6^{\circ}\text{C}$  и  $26^{\circ}\text{C}$  за едни и същи сегменти в периодите на употреба **G<sub>2</sub>**

От получените резултати на зависимостите натоварване/деформация за ортодонтска дъга **ВА** след клинична употреба **над 8 седмици (период G<sub>2</sub>)** се установи, че:

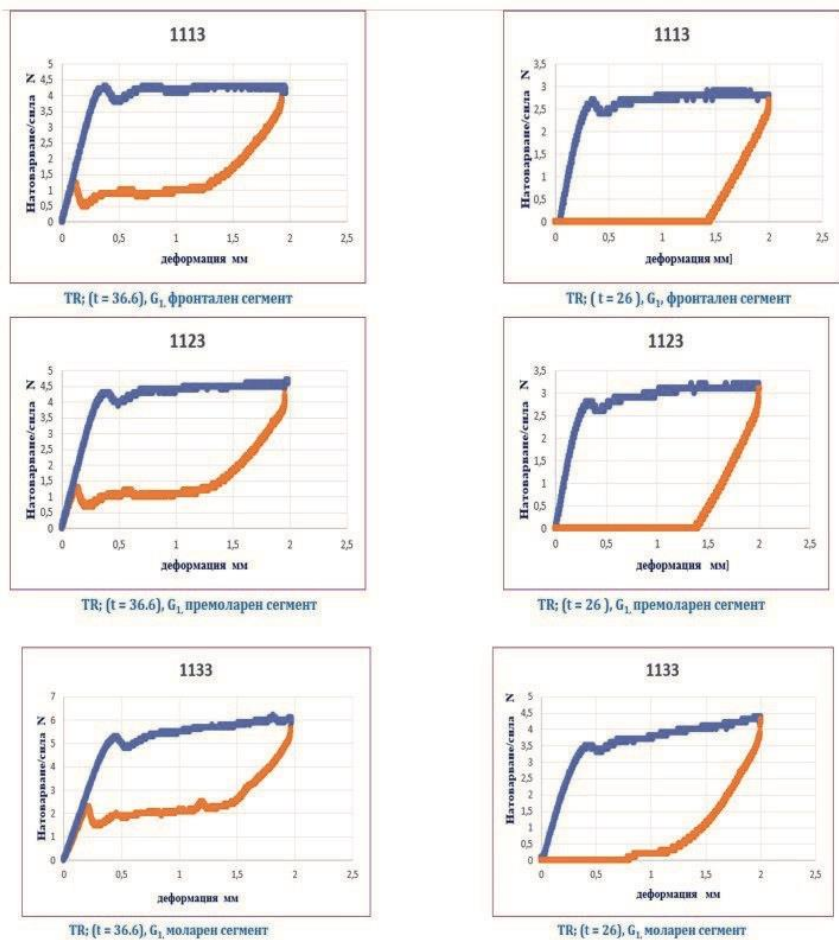
- Не се наблюдават промени в основните тенденции.
- Свойствата на дъгите не се променят след по-продължителна клинична употреба.
- В два от фронталните сегменти на дъги с номера (2217); (2219), използвани съответно за 25 и 11 седмици, се наблюдава пластична деформация, тъй като графиката на деактивацията не завършва в точка „0“ ○ Запазват се разликите в свойствата при различните температури на околната среда.
- Запазва се тенденцията в разликите във формата на „платата“ на изследваните сегменти.
- За достоверност на резултатите са проведени и статистически изследвания.

2. Графики натоварване/деформация на **TR**, получени от триточков тест на огъване, проведени съответно при **36.6° C** и **до 26° C** за едни и същи **сегменти** в периодите на употреба **G<sub>1</sub>** и **G<sub>2</sub>**

На представената по-долу **фиг. 18** са показани резултатите на представителна извадка от всички изследвани проби за използваната дъга **до 8 седмици TR**, проведени съответно при 36.6° C и 26° C.

От проведените изследвания върху клинично използвани ортодонтски дъги Titanium до 8 седмици са получени резултати, които са показани на фигура 18. Те отразяват зависимостите

натоварване/ деформация, от което могат да се направят следните обобщения:



Фиг.18. Графики сила/деформация на TR, проведени съответно при  $36.6^{\circ}$  C и  $26^{\circ}$  C за едни и същи сегменти в периодите на употреба  $G_1$

- Тенденцията за диференцирано освобождаване на сили по дължината на дъгата TR се запазва като отново силите се увеличават в посока отпред-назад.

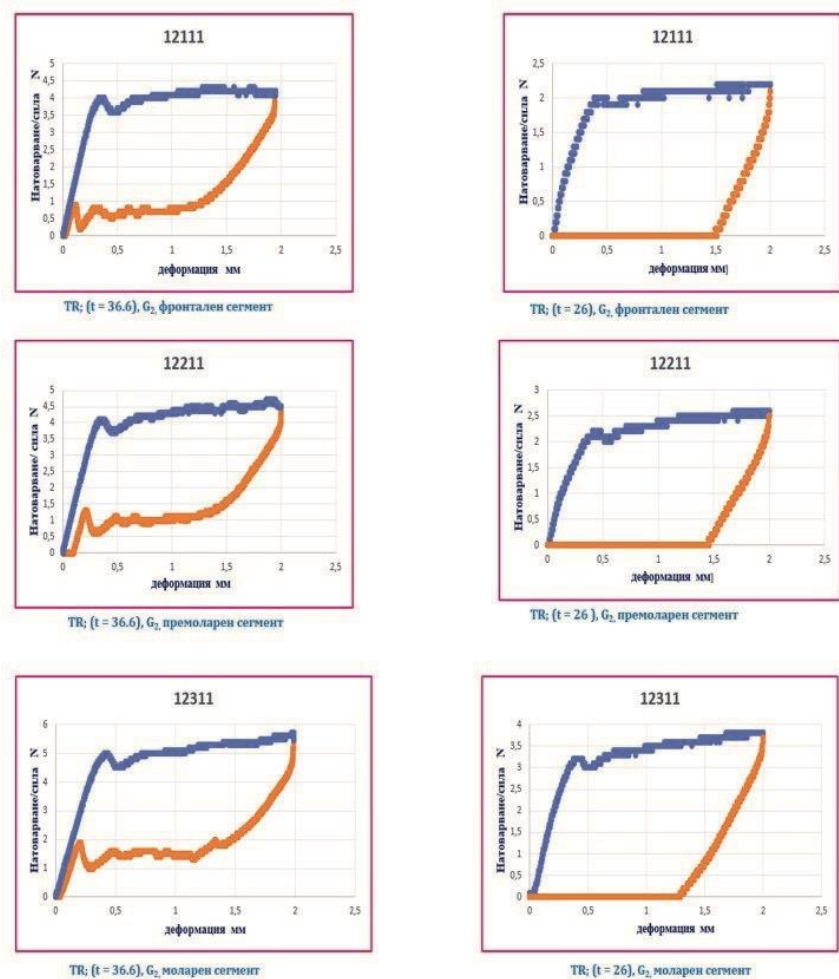
- Запазва се тенденцията в разликите във формата на „платата“ на изследваните сегменти.
- Запазва се разликите в свойствата при различните температури на околната среда.
- Запазват се свойствата „памет на формата“ и супереластичност след клинична употреба.
- Не се наблюдава пластична деформация след клинична употреба.
- При температура от 26<sup>0</sup> С и деформация по-малка от 1мм се наблюдава пластична деформация на дъгата.

Резултатите от представителна извадка от всички изследвани проби за използваната дъга Tritanium **над 8 седмици** са показани на **фиг. 19**. Изследванията са проведени съответно при 36.6<sup>0</sup> С и 26<sup>0</sup> С.

От получените резултати, показващи зависимостите натоварване/деформация на **TR** след клинична употреба **над 8 седмици (период G<sub>2</sub>)** могат да се направят следните изводи:

- Не се наблюдават промени в основните тенденции.
- Свойствата на дъгите не се променят след по-продължителна клинична употреба.
- При повечето от изследваните сегменти, независимо дали са от фронтална, премоларна или моларна област се наблюдава особен вълнообразен ход на линията по време на деактивиране на дъгата. Това може би се дължи на настъпили пластични деформации или на нестабилност на кристалната решетка на сплавта, при което тя непрекъснато променя своите фази.

- Запазват се разликите в свойствата при различните температури на околната среда.



Фиг. 19. Графики сила/деформация на TR, проведени съответно при 36.6° C и 26° C за едни и същи сегменти в периодите на употреба G<sub>2</sub>

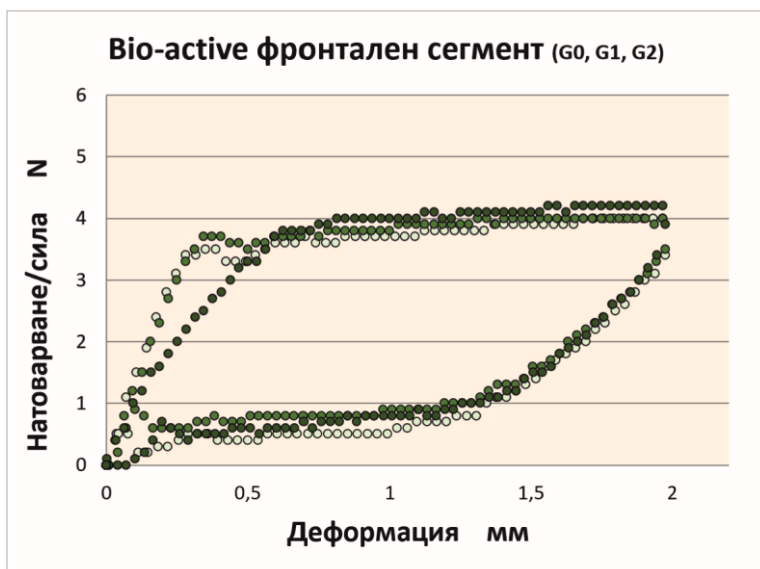
С цел по-добро онагледяване на резултатите от триточковия тест на огъване са представени комбинирани графики натоварване/

деформация в групите  $G_0$ ,  $G_1$ ,  $G_2$ , за **фронтален, премоларен и моларен сегмент** на дъгите Bio-active и Tritanium при  $36.6^{\circ}\text{C}$ .

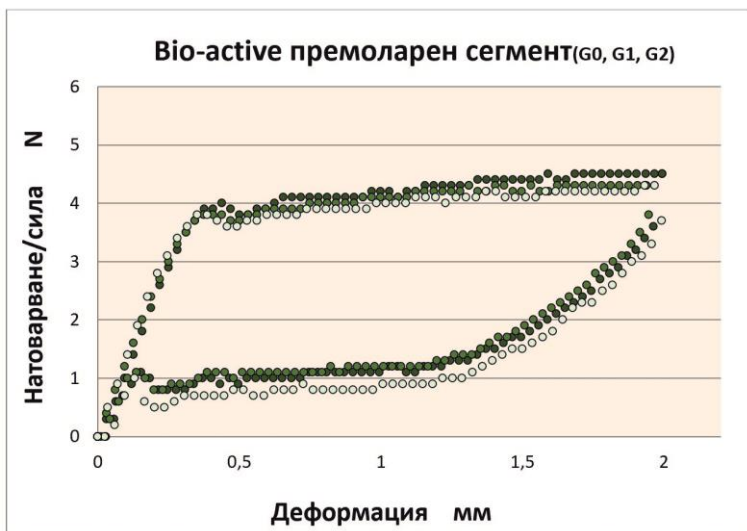
За ортодонтска дъга Bio-active ○ Резултатите за период  $G_0$ , отговарящ на **клинично неизползвани** ортодонтски дъги са изобразени чрез **бели топчета**.

○ Резултатите за период  $G_1$ , отговарящ на период на клинична употреба **под 8 седмици**, са представени чрез **светло-зелени топчета**.

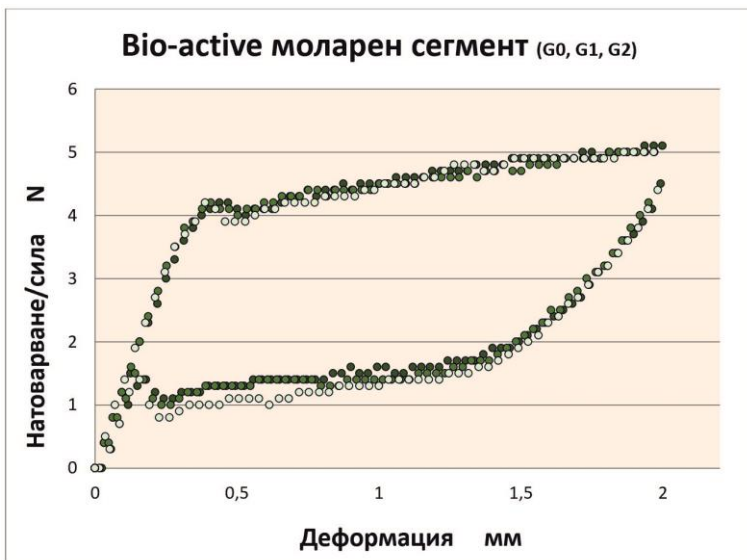
○ Резултатите за период  $G_2$ , отговарящ на период на клинична употреба **над 8 седмици**, са показани чрез **тъмно-зелени топчета**.



**Фиг. 20.** Комбинирана графика натоварване/деформация в период  $G_0$ ,  $G_1$ ,  $G_2$  за фронтален сегмент на Bio-active ортодонтска дъга при  $36.6^{\circ}\text{C}$



Фиг. 21. Комбинирана графика натоварване/деформация в период  $G_0$ ,  $G_1$ ,  $G_2$  за премоларен сегмент на Bio-active ортодонтична дъга при  $36.6^\circ C$

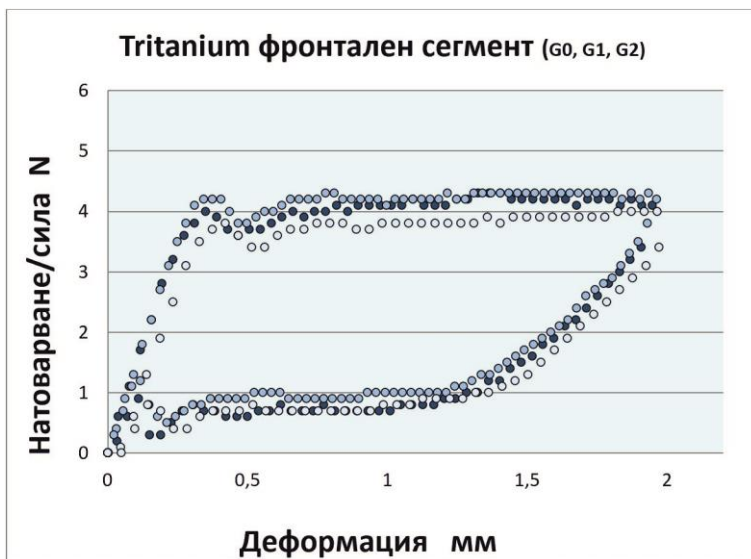


Фиг. 22. Комбинирана графика натоварване/деформация в период  $G_0$ ,  $G_1$ ,  $G_2$  за моларен сегмент на Bio-active ортодонтична дъга при  $36.6^\circ C$

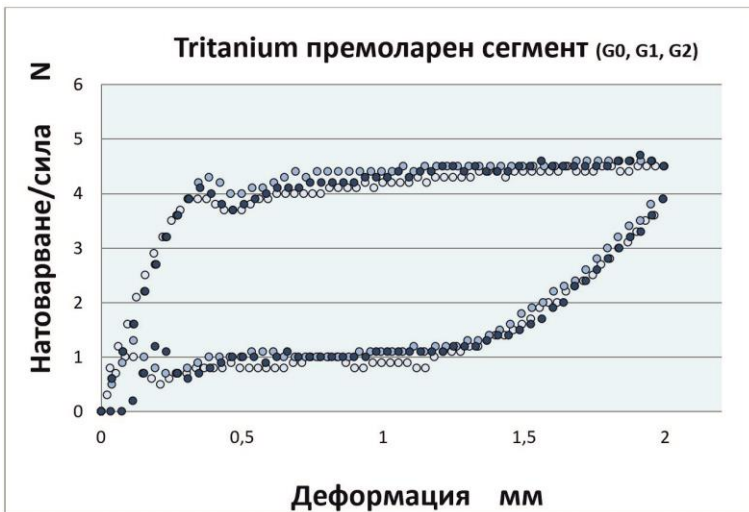
За ортодонтска дъга Tritanium ○ Резултатите за **период G<sub>0</sub>**, отговарящ на нови, **неизползвани** ортодонтски дъги са изобразени чрез **бели топчета**.

○ Резултатите за **период G<sub>1</sub>**, отговарящ на период на клинична употреба **под 8 седмици**, са представени чрез **светло сини топчета**.

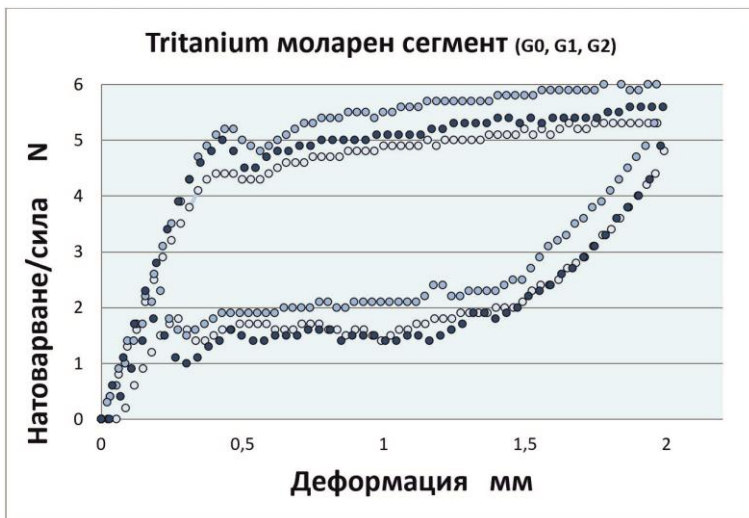
○ Резултатите за **период G<sub>2</sub>**, отговарящ на период на клинична употреба **над 8 седмици**, са показани чрез **тъмно сини топчета**.



Фиг. 23. Комбинирана графика натоварване/деформация в **период G<sub>0</sub>, G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>** за фронтален сегмент на Tritanium ортодонтска дъга при 36.6° C



Фиг. 24. Комбинирана графика натоварване/деформация в период  $G_0, G_1, G_2$  за премоларен сегмент на Tritanium ортодонтична дъга при  $36.6^\circ C$



Фиг. 25. Комбинирана графика натоварване/деформация в период  $G_0, G_1, G_2$  за моларен сегмент на Tritanium ортодонтична дъга при  $36.6^\circ C$

От комбинираните графики натоварване/деформация и представените в тях резултати за ортодонтските дъги Bio-active и Tritanium (фиг. 20-25) се установи, че **механичните свойства („памет на формата“ и супереластичност)** се запазват за дълги периоди, но **освободените сили при контролирана деформация на дъгите, се увеличават.**

### **Статистически многовариационен анализ на силите в зависимост от времето на използване**

В дисертацията са поместени фигури от 68 – 75, които показват резултатите от многовариационния анализ в пълен вид.

В автореферата е представен анализа за 1.5 мм контролирана деформация на двата вида дъги, в трите периода на използване ( $G_0$ ,  $G_1$ ,  $G_2$ ), за трите участъка фиг 26, 27.

Описаните резултати при фигурите са обобщение от целия статистически анализ.

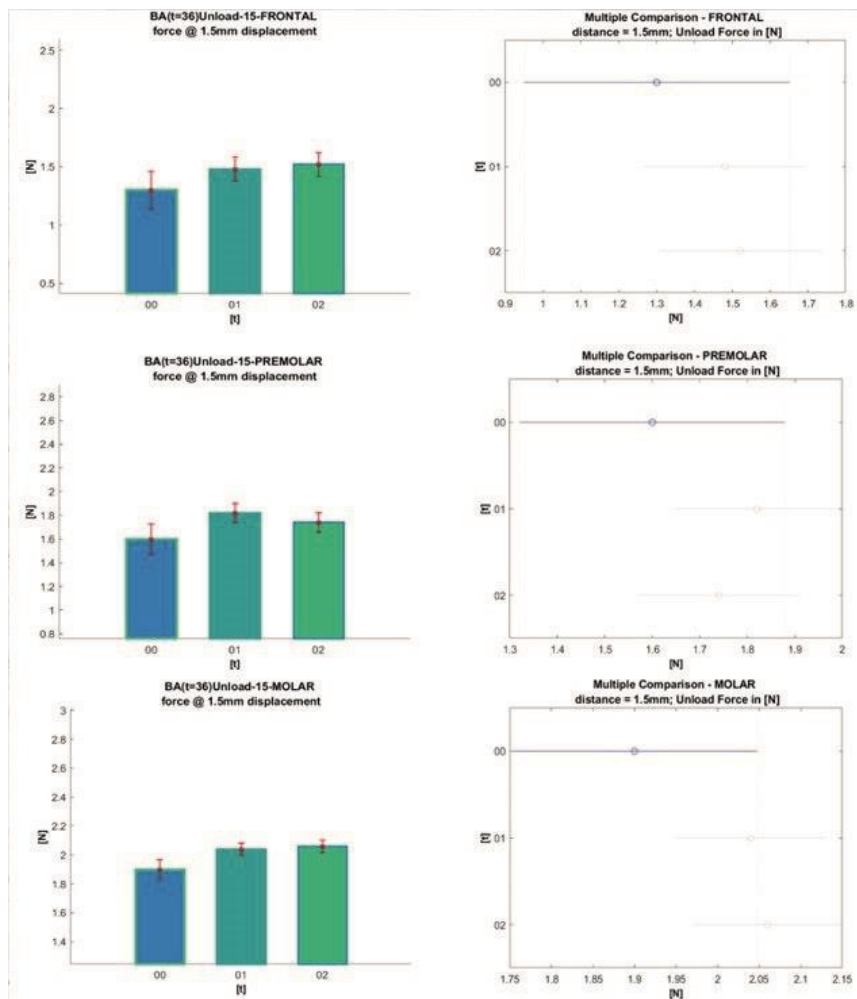
#### **1. Bio-active:**

1. Сравнявайки освободените сили в трите участъка (фронтален, премоларен и моларен) **при неизползвани ВА дъги** спрямо освободените сили в същите изследвани участъци при **използвани ВА дъги за период  $G_1$  (до 8 седмици)** не се отчитат статистически значими разлики в освободените сили.

2. **При използвани ВА дъги за период  $G_1$**  спрямо освободените сили в същите изследвани участъци при **използвани ВА дъги за период  $G_2$  (над 8 седмици)** не показва статистически значима разлика.

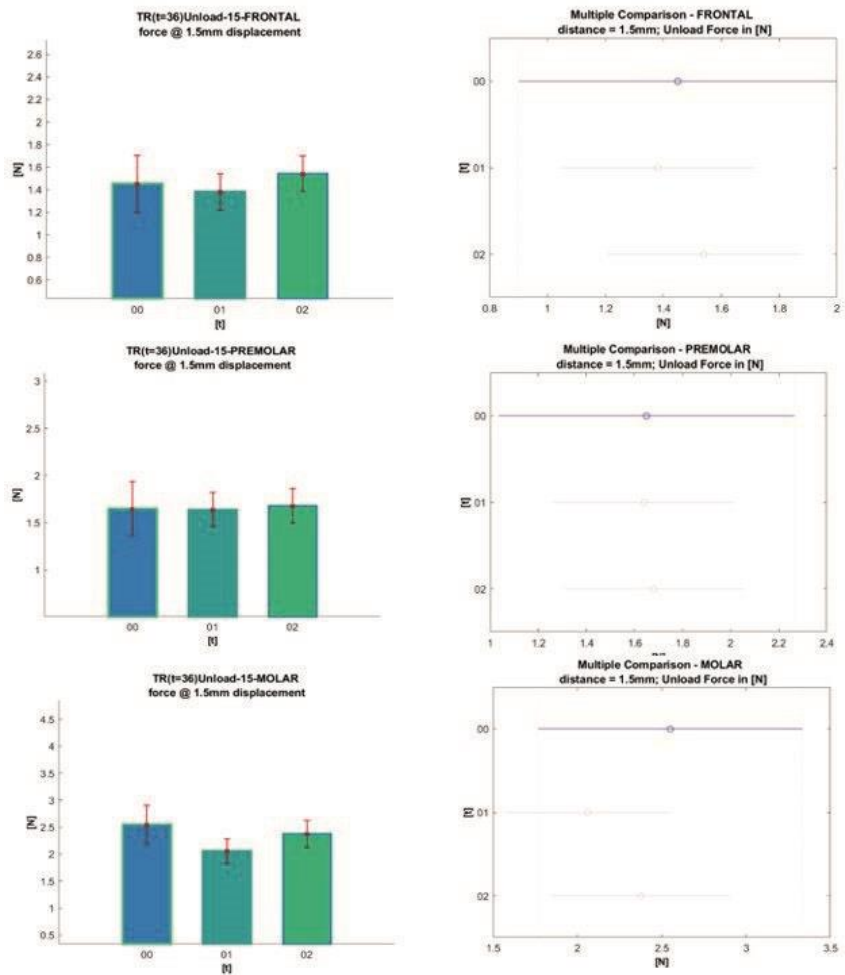
3. Не се отчитат статистически значими разлики между освободените сили в трите участъка (фронтален, премоларен и

моларен) при използвани ВА дъги спрямо освободените сили в същите изследвани участъци при използвани ВА дъги за период G<sub>2</sub> (над 8 седмици).



Фиг. 26. Многовариационен анализ за *Bio-active* дъга по време на използване (t), фронтален, премоларен и моларен сегмент и деформация 1.5 мм

## 2. Tritanium:



*Фиг. 27. Многовариационен анализ за Tritanium дъга по време на използване (t), фронтален, пре моларен и моларен сегмент и деформация 1.5 мм*

1. Проведените статистически анализи върху **TR** в **трите участъка** (фронтален, премоларен и моларен), за периодите на клинична употреба (**G<sub>0</sub>, G<sub>1</sub>, G<sub>2</sub>**) и деформация на дъгата при **0.5 мм, 1.0 мм, 1.5 мм, 2.0 мм** не показват статистически значими разлики.

*Потвърждаваме нулевата хипотеза, че механичните свойства на изследваните дъги не се променят след клинична употреба.*

## РЕЗУЛТАТИ ПО ЧЕТВЪРТА ЗАДАЧА

*Да се изследва температурата на фазов преход в фронтален, премоларен и моларен сегмент на многосилови ортодонтички дъги чрез метода на DSC.*

Таблицы 7 и 8 показват  $A_f$  стойностите за двата вида дъги от проведено DSC изследване. След това тези резултати са използвани за статистическа обработка.

*Таблица 7. Стойности на  $A_f$  за Bio-active през  $G_0, G_1, G_2$*

<b>Bio-active DSC - анализ</b>								
<b>Неизползвана дъга</b>			<b>Използвана до 8 седмици</b>			<b>Използвана над 8 седм.</b>		
<b>2 бр</b>			<b>5 бр</b>			<b>5 бр</b>		
Af фронтален сегмент	Af премоларен сегмент	Af моларен сегмент	Af фронтален сегмент	Af премоларен сегмент	Af моларен сегмент	Af фронтален сегмент	Af премоларен сегмент	Af моларен сегмент
31.448 C	28.209 C	26.173 C	30.390 C	28.105 C	27.363 C	30.233 C	28.794 C	27.451 C
31.448 C	28.209 C	26.686 C	30.321 C	28.481 C	27.422 C	26.899 C	27.477 C	26.457 C
			29.989 C	28.842 C	27.693 C	30.359 C	30.282 C	27.699 C
			29.992 C	26.391 C	26.496 C	29.278 C	29.153 C	26.373 C
			30.063 C	29.379 C	26.700 C	30.185 C	29.494 C	25.952 C

Таблица 8. Стойности на  $A_f$  за Tritanium през  $G_0$ ,  $G_1$ ,  $G_2$

Tritanium DSC - анализ								
Неизползвана дъга 2 бр.			Използвана до 8 седмици 5 бр.			Използвана над 8 седм. 5 бр.		
Af фронтален сегмент	Af премоларен сегмент	Af моларен сегмент	Af фронтален сегмент	Af премоларен сегмент	Af моларен сегмент	Af фронтален сегмент	Af премоларен сегмент	Af моларен сегмент
23.647 C	21.855 C	19.019 C	23.351 C	20.447 C	15.870 C	30.361 C	28.265 C, 26.879 C	22.150 C, 22.255 C
25.027 C	22.532C	18.422 C	22.453 C	21.395 C	16.761 C	25.092 C	23.843 C	16.689 C
			25.174 C	25.668 C, 24.901 C	17.453 C	24.631 C	23.975 C	17.676 C
			25.503 C	25.594 C, 24.529 C	22.501 C, 22.154 C	38.448 C 38.061 C	37.358 C	22.794 C
			25.110 C	22.331 C	18.034 C	23.954 C	24.985 C	16.850 C

След проведен статистически анализ могат да се обобщят твърденията за период  $G_0$  за изследваните дъги.

### Bio-active

1. Фронталният, премоларният и моларният сегменти притежават различни аустенит-финиширащи температури ( $A_f$ )
2. Температурата  $A_f$  намалява равномерно и линейно по участъци, като фронталния участък има най-висока температура на фазов преход, в премоларния сегмент е по-ниска от фронталния, а най-ниска е в моларния.
3. Разликите са статистически значими.
4. От задача 2 се установи, че фронталният участък освобождава най-слаби сили, а моларният сегмент – най-високи.

5. Най-високата температура на  $A_f$  във фронталния сегмент, която се приближава до температурата на устната кухина е свързана с по-голямата еластичност на дъгата и по-слабите сили в съответния сегмент.

### **Tritanium**

1. Фронталният, премоларният и моларният сегменти притежават различни  $A_f$  температури
2. Не се отчитат статистически значими разлики с премоларния сегмент, но с моларния сегмент има статистическа разлика –  $A_f \approx 19^\circ\text{C}$ .
3. Стойностите на температурата  $A_f$  в трите сегмента са по-ниски при Tritanium в сравнение с тези на Bio-active дъгите.
4. Температурите  $A_f$  на трите участъка са заложили близо до стаината температура. Това означава, че в устната кухина няма да се осъществи температурен преход.

**След проведен статистически анализ могат да се обобщят твърденията за период  $G_1$  за изследваните дъги.**

### **Bio-active**

1. Тенденцията за различни температури на фазов преход в трите сегмента се запазва.
2. Отново фронталният участък е с най-висока  $A_f$  температура, а моларният с най-ниска.
3. Разликите са статистически значими.
4. Съществено е да се отбележи, че всички температури са занижени с около 2 градуса от предходната група.

## **Tritanium**

1. До 8 седмици употреба наблюдаваме същото съотношение между участъците, както при неизползваните дъги.
2. Разликите между  $A_f$  температурите на фронталния и моларния участъци са статистически значими, но не се откриват статистически значими разлики между фронталния и премоларния участък.
3. Наблюдава се леко понижение в температурите на преход  $A_f$ .

**След проведен статистически анализ могат да се обобщят твърденията за период  $G_2$  за изследваните дъги.**

## **Bio-active**

1. При клинична употреба над 8 седмици се наблюдава подобно съотношение между участъците.
2. Разликите в  $A_f$  между моларния и фронталния сегменти, както и между моларния и премоларния сегменти са статистически значими.
3. Температурите отново са занижени с около 2 градуса спрямо предната група ( $G_1$ ).

## **Tritanium**

1. При употреба над 8 седмици се наблюдава подобно съотношение между участъците.
2. Разликите в  $A_f$  между моларния и фронталния сегменти, както и между моларния и премоларния сегменти са статистически значими.
3. Температурите се повишават спрямо предната група ( $G_1$ ).

### Обобщени резултати от задача 4 за Bio-active

1. Температурата  $A_f$  във фронталния, премоларния и моларния участъци остават почти непроменени по време на използване на дъгата.
2. Не се отчитат статистически значими разлики при  $A_f$  в различните участъци на ВА между периодите на употреба.

### Обобщени резултати от задача 4 за Tritanium

1. Температурите  $A_f$  в трите участъци при **Tritanium** дъгите остава почти непроменена по време на използване на дъгата.
2. Няма статистически значими разлики между периодите на използване,  $G_0$ ,  $G_1$ ,  $G_2$ .

1. Отхвърляме нулевата хипотеза, че  $A_f$  температурата на изследваните дъги е еднаква в отделните сегменти.

Приемаме алтернативата, че  $A_f$  температурата на изследваните дъги е различна в отделните сегменти

2. Потвърждаваме нулевата хипотеза, че  $A_f$  не се променя с времето на употреба.

## ОБСЪЖДАНЕ

### ОБСЪЖДАНЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ПО ПЪРВА ИЗСЛЕДОВАТЕЛСКА ЗАДАЧА

Направеният рентгеноструктурен анализ на дъги Tritanium® и Bio-active® (нови, използвани до 8 и над 8 седмици) показва, че в трите термоактивни региона се наблюдава запазване на аустенитната структура по време на лечението.

Проведеният LIBS анализ върху неизползвана Tritanium дъга е отчетел съдържание само на елементите Ni и Ti. Качественият и количественият елементен анализ показва, че не се наблюдават значителни промени в съотношението на Ni:Ti (1:1).

LIBS спектрите на дъгите Bio-active потвърждават наличие на Ni и Ti и показват присъствието на следи от Fe и Cr. Количествата на Ni и Ti са съответно приблизително 55 тегл.% и 45 тегл.% и не се променят с клиничната употреба.

След проведените от нас изследвания, чрез SEM анализа, направен на повърхността на нови многосилови ортодонтски дъги от групата на Tritanium установихме, че те имат финозърнеста структура. Bio-active дъгите от своя страна притежават по-грапава повърхност от Titanium. При продължителна употреба на Bio-active дъгите се наблюдава заглаждане на повърхността им, като се появяват и ясно разграничими пукнатини.

## ОБСЪЖДАНЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ПО ВТОРА ИЗСЛЕДОВАТЕЛСКА ЗАДАЧА

Едно от клиничните предимства на супереластичните Ni-Ti дъги с диференцирано освобождаване на сили, е относително малка сила за резците в първата фаза на лечение с фиксирани апарати. Съответно възможността да се използва правоъгълна супереластична дъга с ниското ниво на сила в нивелиращия етап може да доведе до по-кратко време на лечение.

Като информация дадена от производителите на Bio-active GC, TOMY® Inc. силите освободени в съответните участъци са 100 gf. за фронтален, 200 gf. за премоларен и 300 gf. за моларен. За Tritanium - American Orthodontics, няма информация от производителите за силите, които се освобождават.

В нашето изследване получихме по-високи сили при 2 мм деформация на дъгата в хоризонталната равнина, но в последствие силите спадат при 1.5 мм натоварване. Въпреки това те все още остават високи, сравнени със считаните за биологично поносими нива на силата, необходима за преместване на зъбите.

От проведените от нас изследвания се установи, че температурата на околната среда оказва влияние върху големината на освободените сили. Ние съобразихме този факт и затова проведохме нашето изследване освен при 26° C, и при температура 36.6° C. По-слаби сили се отчитат при по-ниски температури, тъй като дъгата е в мартензитна фаза.

## **ОБСЪЖДАНЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ПО ТРЕТА ИЗСЛЕДОВАТЕЛСКА ЗАДАЧА**

От проведените изследвания (триточков тест на огъване) се установи, че при ортодонтски дъги от вид Bio-active, между период  $G_0$  и  $G_1$  има повишение в стойностите на освободените сили във фазата на деактивиране на дъгата, но между период  $G_1$  и  $G_2$  тези стойности се запазват постоянни. От статистическа гледна точка обаче, няма статистически значими разлики между трите периода на клинична употреба.

Вторият вид дъга Tritanium показва друг тип тенденция: първоначално повишаване в освободените сили в периодите  $G_0$  и  $G_1$  в деактивиращата фаза и последващ спад в силите при период  $G_2$ . Тези резултати обаче не показват статистически значими разлики.

В периода до 8 седмици клинична употреба не се забелязват признаци на пластична деформация в изследваните сегменти и на двата вида ортодонтски дъги. Над 8 седмичния период по някои сегменти се забелязва пластична деформация.

## **ОБСЪЖДАНЕ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ПО ЧЕТВЪРТА ИЗСЛЕДОВАТЕЛСКА ЗАДАЧА**

Уникалните свойства на Ni-Ti ортодонтски дъги се дължат именно на температурата, при която се осъществява прехода между двете фази –  $A_f$ .

В нашето изследване, проведено посредством DSC метода върху ортодонтски дъги с диференцирано освобождаване на сили – Bio-active и Tritanium показаха, че тези дъги притежават различни  $A_f$  температури във фронталния, премоларния и моларния сегменти. В контролната група (неизползвани дъги), най-висока  $A_f$  температура

притежава фронталния участък и при двата вида дъги, но при Bioactive е по-висока в сравнение с фронталния участък на Tritanium ( $31^{\circ}\text{C} > 24.5^{\circ}\text{C}$ ). При премоларните участъци за дъгата Bio-active се наблюдават статистически значими разлики спрямо  $A_f$  във фронтален и моларен участък –  $28^{\circ}\text{C}$  за премоларния сегмент и  $26.5^{\circ}\text{C}$  за моларния.

В дисертационния труд включихме DSC изследване върху клинично използвани до 8 седмици и над 8 седмици ортодонтски дъги Bio-active и Tritanium дъги. В групите за периода до 8 седмици ( $G_1$ ), и в трите сегмента на ортодонтските дъги Bio-active и Tritanium се наблюдава спад в  $A_f$  температурите, без обаче да има статистически значими разлики.

В периода на клинична употреба над 8 седмици ( $G_2$ ) сегментите и на двата вида дъги не следват определена тенденция и не се отчитат статистически значими разлики.

При повишаване на околната температура над  $A_f$ , аустенитната фаза става основна, но за да се постигне кристалографско равновесие, се проявява феноменът на образуване на мартензит чрез стрес. Това е основният механизъм на Ni-Ti сплави. Иначе казано, мартензитът се образува при  $T < M_s$ , но при покачване на температурата на околната среда, нивата за образуване на стрес-индуциран мартензит също се повишават.

Съществува и обратно пропорционална връзка между стрес-индуциран мартензит и сплави с ниска  $A_f$  температура. Колкото пониска е зададената  $A_f$  температура, толкова по-високи са силите, които освобождават дъгите, тъй като е невъзможен термичен преход между фазите, заради ниската  $A_f$ , за да се постигне равновесие в сплавта. В този случай е необходима по-голяма деформация на

дъгата, за да се получи стрес-индуциран мартензит. Такива условия трябва да се спазят при високи температури на околната среда и сплави с ниска  $A_f$ .

## ЗАКЛЮЧЕНИЯ

### ЗАКЛЮЧЕНИЯ ПО ПЪРВА ИЗСЛЕДОВАТЕЛСКА ЗАДАЧА

1. От Рентгеноструктурния анализ (XRD) на неизползваните и клинично използваните **Tritanium** и **Bio-active** ортодонтски дъги в трите зони на еластичност (фронтален, премоларен, моларен) на стайна температура са в **аустенитна фаза**.
2. След клинична употреба до **8 и над 8 седмици** повърхностната структура на **Tritanium** става по едрозърнеста и грапава, а на **Bio-active** – придобива повече пукнатини
3. От Енергийно-дисперсионния рентгенов спектроскопски (EDX) анализ на неизползвани и след клинична употреба **до 8 седмици**, **Tritanium** ортодонтски дъги в трите зони на еластичност (фронтален, премоларен; моларен) се установи присъствието на основните химични елементи **Ni** и **Ti** и не се наблюдава значителна промяна в процентното съдържание на елементния състав. Докато при **Bio-active** е установено наличието както на основните елементи **Ti**, **Ni**, така и на допълнителни легиращи елементи като **желязо (Fe)** и **хром (Cr)**.
4. В групата на клинично употребяваните над 8 седмици **Tritanium** ортодонтски дъги се отчита следи от калий (K) и

фосфор (P). Елементният състав в трите зони на еластичност на неизползвани, използвани до 8 седмици и над 8 седмици Bio-active ортодонтски дъги, няма статистически значима разлика в тегловния процент на Ni и Ti в трите сегмента

## **ЗАКЛЮЧЕНИЯ ПО ВТОРА ИЗСЛЕДОВАТЕЛСКА ЗАДАЧА**

1. Изследваните ортодонтски дъги Bio-active и Tritanium са **многосилови** и притежават свойството да освобождават **различни по големина сили** по дължината си, като най-слаби са във фронталния сегмент, по-силни в премоларния сегмент и най-силни в моларния сегмент.
2. Големината на силите е в **пряка зависимост от температурата на околната среда и количеството деформация (огъване) на дъгата.**
3. Нито един от изследваните сегменти и на двата типа дъги Bio-active и Tritanium не проявява пластична деформация при 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 мм деформация на дъгата.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЯ ПО ТРЕТА ИЗСЛЕДОВАТЕЛСКА ЗАДАЧА**

1. Тенденцията за диференцирано освобождаване на сили по дължината на дъгите Bio-active и Tritanium се запазва след клинична употреба до 8 и над 8 седмици като отново силите се увеличават в посока отпред назад.
2. Запазват се свойствата памет на формата и супереластичност след клинична употреба до 8 седмици и при двете дъги.

3. При двете дъги се запазват разликите в свойствата при различните температури на околната среда.
4. Не се наблюдава пластична деформация след клинична употреба до 8 седмици, но при над 8 седмици се отчита пластична деформация при някои от изследваните образци и при двата вида изследвани дъги.
5. Не се отчитат статистически значими разлики в освободените сили между трите периода на клинична употреба и при двата вида дъги, но се забелязват тенденции в промяна на освободените от дъгите сили.

## ЗАКЛЮЧЕНИЯ ПО ЧЕТВЪРТА ИЗСЛЕДОВАТЕЛСКА ЗАДАЧА

1. Изследваните неизползвани ортодонтски дъги Bio-active и Tritanium притежават различни температури на фазов преход ( $A_f$ ) в трите участъка.
2. Най-високи са ( $A_f$ ) във фронталния участък 31.5°C, следва премоларния участък с 28°C и моларен с 26.5°C за Bioactive. При дъгата Tritanium най-високи са ( $A_f$ ) във фронталния участък 24.5°C, следва премоларния участък с 22°C и моларен – 19°C.
3. **Bio-active** дъгите могат да се класифицират към групата на мартензитно-активни дъги (топлоактивиращи). Дъгите **Tritanium** спадат към групата на аустенитно-активните дъги и притежават свойството супереластичност.
4. Дъгите Tritanium, за да изразят свойствата си е необходимо да се деформират над 0.5 мм, за да се образува стрес-

индуциран мартензит и да се осъществи преход към аустенит.

5. При клинична употреба до 8 седмици и над 8 седмици в групата на **Bio-active** и **Tritanium** няма статистически значими разлики при  $A_f$  температурите на изследваните сегменти и контролната група.

## ИЗВОДИ

На база на резултатите, могат да бъдат направени следните изводи:

1. Установихме, че двата вида дъги при стайна температура са в **аустенитна фаза**. В **Bio-active** дъга са добавени легиращи елементи като **Fe** и **Cr** с цел повишаване температурата на фазов преход и повишаване механичните свойства на дъгата.
2. Установихме, че **клиничната употреба** оказва влияние върху повърхностната морфология и на двата вида ортодонтични дъги.
3. От получените резултати може да се заключи, че изследваните дъги **Bio-active GC (0.016 x 0.022)** и **Tritanium AO (0.016 x 0.022)** са подходящи за започване на нивелиращата фаза, като препоръчваме, преди поставяне на многосиловите дъги в слотовете на брекетите, да се напръскат с изстудяващ спрей.
4. При температури до 26°C на околната среда дъгите не освобождават сили във фазата на разтоварване (деактивиране), затова не се препоръчва многократна консумация на студени храни и напитки. Изследваните от нас дъги са именно термодинамични и по тази причина при пациенти с устно дишане и леко струпуване, те трябва да се заменят с друг вид дъги като аустенитно-активни и многонишкове стоманени
5. Многосиловите дъги освобождават градуирани биологично поносими сили – най-слаби сили освобождава фронталния сегмент, по-големи премоларния и най-големи моларния. Тази

особеност прави дъгите особено подходящи за **пациенти с пародонтални проблеми.**

6. Установихме, че след клинична употреба до 8 седмици и над седмици се запазват свойствата памет на формата и супереластичност, както и тенденцията за диференцирано освобождаване на сили по дължината и на двете дъги, като силите се увеличават в посока дистално.
7. Не се наблюдава пластична деформация след клинична употреба до 8 седмици и при двата типа многосилови ортодонтски дъги
8. Наблюдава се пластична деформация след престой на дъгите в устната кухина над 8 седмици, затова не се препоръчва употреба на дъгите повече от 8 седмици.
9. Установихме, че освободените сили в трите участъка (фронтален, премоларен и моларен) при ортодонтски многосилови дъги Bio-active и Tritanium се повишават с увеличаване деформацията на дъгата, т.е при 2 мм деформация се отчитат най-големи сили. От друга страна, стрес-индуциран мартензит се образува още при 0.5 мм отклонение във фазата на активация, което води до запазване на големината на освободените сили относително постоянна.
10. Установихме, че съществува обратна пропорционалност между  $A_f$  и количество освободени сили. За фронталния участък от зъбната дъга, който обикновено се характеризира с по-тежко струпване и деформацията на ортодонтската дъга е по-голяма,  $A_f$  е повишена. Това улеснява въвеждането на дъгата в брекета. Може да се каже, че няма нужда от допълнително охлаждане на дъгата.

# **ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД**

## **ПРИНОСИ С ОРИГИНАЛЕН ХАРАКТЕР**

1. За първи път у нас се прави сравнителен анализ на два вида многосилови ортодонтски дъги, които са съвременни и освобождават биологично поносими сили.
2. Обогатява се базата данни за еластичните дъги, като се изследва цялостното (структурно-морфологично и механично) поведение на мултимодулните (Tritanium® на фирма American orthodontics, Bioactive® на фирма GC) ортодонтските дъги.
3. За първи път у нас се провежда триточков тест на огъване върху два вида многосилови ортодонтски дъги.
4. За първи път се установява поведението на двата вида многосилови ортодонтски дъги след клинична употреба до 8 и над 8 седмици чрез триточков тест на огъване и DSC метод.

## **ПРИНОСИ С НАУЧНО – ПРИЛОЖЕН ХАРАКТЕР**

1. Установено е, че силите, които освобождават Bio-active и Tritanium не се променят с клиничната употреба, но над 8 седмична употреба се наблюдава пластична деформация.
2. Установено е кой от двата вида дъги е по-подходящ при устно дишащи пациенти.
3. Дъгите са подходящи при пациенти с увреден пародонт.
4. Дадени са препоръки за клинична употреба на многосиловите дъги.

## ПРЕПОРЪКИ

### За Bio-active

1. Дъгата Bio-active с размери (0.016 x 0.022 инча) е подходяща като начална дъга при отклонение до 2 мм на една или много междуконтактни зъбни точки с допълнително предварително охлаждане със спрей за по-лесно въвеждане на дъгата в слотовете на брекетите на всички отклонение зъби. При леки струпвания не е необходимо охлаждане.
2. Не се препоръчва при устно дишащи пациенти съчетани с леко струпване във фронта, поради невъзможността за температурен преход между фазите.
3. Не се препоръчва употреба на студени храни и напитки първата седмица след въвеждане на дъгите.

### За Tritanium

1. Дъгата Tritanium, с размери (0.016 x 0.022 инча) се препоръчва за начална дъга **при устно дишащи пациенти.**
2. Необходимо е предварително охлаждане на дъгите със спрей дори и при леки отклонения на контактните точки на зъбите.

**Дъгите Bio-active и Tritanium са подходящи при пациенти с пародонтални проблеми.**

**Bio-active и Tritanium осигуряват изява на ранен торк още през първата фаза на ортодонтското лечение.**

# СПИСЪК НА НАУЧНИ ПУБЛИКАЦИИ И СЪОБЩЕНИЯ ВЪВ ВРЪЗКА С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

## СТАТИИ:

1. **Георгиева М., Андреева Л., Петров В.** Характеристика на мултимодулни ортодонтички дъги. Ортодонтички преглед ; том 21; книжка 2 ; год. 2019; стр. 33 – 39, ISSN 1311-3313.
2. **Georgieva M., Stoyanova-Ivanova A., Cherneva S., Petrov V., Petrova V., Andreeva-Gurgurieva L., Mihailov V., Petkov Alexander., Mikli V.** Characterization and comparison of as received and clinically retrieved Bio-active™ orthodontic archwires. Biotechnology and Biotechnological equipment, 2021, Vol. 35., №1, 1301- 1311. [https:// doi.org/10.1080/13102818.2021.1964381](https://doi.org/10.1080/13102818.2021.1964381)
3. **Gueorguieva M., Petrov V., Andreeva L., Stoyanova- Ivanova A., Pekov G., Mikli V.** An analytical determination of the optimal usage duration for nickel- titanium orthodontic wires. Problems of Dental Medicine; 2019, Vol. 45(2), 62-68. ISSN 2367-850X

## УЧАСТИЯ В НАУЧНИ ФОРУМИ

1. **M.Gueorgieva, V.Petrov, I.Ilievska, L.Andreeva, A.StoyanovaIvanova.** Investigation of the three regions of elasticity of the orthodontic archwire TriTanium, 94<sup>th</sup> Congress of The European Orthodontic Society, Edinburgh, June 2018, SP 2738
2. **Gueorguieva M., Andreeva-Gurgurieva L., Stoyanova-Ivanova A, Petrov V, Petkov G.** Nickel release during use of nickel-titanium orthodontic wires: an analytical determination; European

Orthodontic Society; 96th Congress 10-14 June 2020 Hamburg, SP 4537.

3. **Gueorguieva M**, Andreeva-Gurgurieva L., Stoyanova-Ivanova A, Petrov V, Petkov G. Evaluation of pain perception in patients treated with multiforce orthodontic archwires. European Orthodontic Society; 96th Congress 10-14 June 2020 Hamburg, SP 4542
4. **M. Gueorguieva**, Petrov V., Andreeva L., Mihailov V., Petrova V., Stoyanova-Ivanova A., Mikli V. Investigation of the elemental composition of as received and clinically retrieved bioactive orthodontic archwires by laser-induced breakdown spectroscopy. 9<sup>th</sup> International Orthodontic Congress, Yokohama 4-6 Oct. 2020, 51025
5. **Gueorguieva, M.**, Petrov, V., Andreeva, L., Stoyanova-Ivanova, A., Petkov.G Investigation of the force release along the length of orthodontic archwires.EOS 97<sup>th</sup> Annual Virtual Conference.

## **УЧАСТИЯ В ПРОЕКТИ**

Проект „Млад изследовател 2019“ на тема Физико-химична характеристика на мултимодулни ортодонтски дъги в клинична обстановка. Изследване дискомфорта на пациента. № 8324/22.11.2018