



МЕДИЦИНСКИ УНИВЕРСИТЕТ
„ПРОФ. Д-Р ПАРАСКЕВ СТОЯНОВ“ – ВАРНА

ФАКУЛТЕТ ПО МЕДИЦИНА
КАТЕДРА „ФИЗИОЛОГИЯ И ПАТОФИЗИОЛОГИЯ“

Д-р Габриела Георгиева Панайотова

**ПРОУЧВАНЕ НА ТЕРАПЕВТИЧНИТЕ ВЪЗМОЖНОСТИ
НА БИОФИЙДБЕК-ТРЕНИНГА КАТО МЕТОД ЗА
РЕДУЦИРАНЕ НА СТРЕСА И ПОДОБРЯВАНЕ НА
ПСИХИЧНОТО ЗДРАВЕ НА ЧУЖДЕСТРАННИ СТУДЕНТИ
ПО МЕДИЦИНА**

АВТОРЕФЕРАТ

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

Професионално направление: 7.1. Медицина
Специалност: „Патофизиология“

Научен ръководител:

проф. д-р Маргарита Стефанова Великова, д.м.

Варна, 2026

Дисертационният труд съдържа общо 185 страници. Структуриран е в 11 глави и включва общо 40 фигури, 30 таблици и 7 приложения. Книгописът включва общо 645 литературни източника на латиница.

Дисертационният труд е обсъден, одобрен и предложен за официална защита на заседание на разширен катедрен съвет на Катедрата по Физиология и патофизиология към Факултет „Медицина“ на Медицински университет „Проф. д-р Параскев Стоянов“ - гр. Варна, България на 22.07.2026г.

Публичната защита на дисертационния труд ще се състои на 09.10.2026г. от 14:00 часа в III аудитория на Медицински университет „Проф. д-р Параскев Стоянов“ - гр. Варна, България на открито заседание на научно жури в състав:

Външни членове:

1. Доц. д-р Армине Вардани Григорян, д.м, професионално направление 7.1 Медицина, Катедра по физиология и патофизиология, МУ – Плевен, ул. Св. Климент Охридски №1, гр. Плевен; 0886319933; armine14@abv.bg
2. Проф. д-р Роман Емилов Ташев д.м, н. професионално направление 7.1 Медицина, Катедра по физиология и патофизиология, МУ – София, ул. Здраве 2, МБК, ет. 1, гр. София, 0876542700; romantashev@medfac.mu-sofia.bg
3. Проф. д-р Христина Христова Ночева-Димитрова, дм, професионално направление 7.1 Медицина, Катедра по физиология и патофизиология, МУ – София, ул. Здраве 2, МБК, ет. 1, гр. София, 898994357; hndimitrova@medfac.mu-sofia.bg

Резервен външен член:

1. Проф. д-р Стилиана Петкова Белчева, д.м, ПН7.1 Медицина, гост-преподавател при ФНОИ на СУ “Св. Климент Охридски”, ул. "Шипченски проход" 69а, София; 0888682669; sbelcheva@gmail.com

Вътрешни членове:

1. Доц. д-р Камелия Жечкова Братоева, д.м, професионално направление 7.1 Медицина, Катедра „Физиология и патофизиология“, МУ – Варна, ул. „Марин Дринов“ 55, Варна; 0888680799, kamelia.bratoeva@mu-varna.bg
2. Проф. д-р Златислав Стоянов Димитров, д.м.н, професионално направление 7.1 Медицина, „Физиология и патофизиология“, МУ – Варна, ул „Марин Дринов“ 55, Варна, 0898236275, zsd@mu-varna.bg

Резервен вътрешен член:

1. Доц. д-р Силвия Ганчева Маринова, д.м. професионално направление 7.1 Медицина, Катедра “Фармакология и клинична фармакология и терапия“, МУ – Варна, ул „Марин Дринов“ 55, Варна, 0887497689, silvia.gancheva@mu-varna.bg

Материалите по защитата са публикувани на интернет-страницата на Медицински университет „Проф. д-р Параскев Стоянов“ – гр. Варна и са на разположение в Катедра Физиология и патофизиология /УС Физиология при Медицински университет „Проф. д-р Параскев Стоянов“ – гр. Варна, България.

СЪДЪРЖАНИЕ

Използвани съкращения.....	5
I. ВЪВЕДЕНИЕ	6
II. ЦЕЛ, ЗАДАЧИ И ХИПОТЕЗИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО	9
III. МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО	11
1. Дизайн на изследването	11
2. Участници в изследването	13
3. Методология на БФ-тренинга	14
4. Методи за оценка на психологичните показатели.....	15
5. Измерване нивата на кортизол и секреторен имуноглобулин А (sIgA) в слюнка	16
6. Статистически методи за анализ.....	17
IV. РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ	18
1. Дескриптивен анализ.....	18
1.1. Пол	18
1.2. Възраст.....	18
1.3. Година на обучение	19
1.4. Тегло и ръст.....	20
1.5. Допълнителна информация	21
2. Сравнителен анализ.....	23
2.1. Демографски и поведенчески променливи	23
2.2. Лабораторни изследвания – кортизол	27
2.3. Лабораторни изследвания – IgA.....	29
3. Дисперсионни анализи.....	31
3.1. Психометрични показатели	31
3.1.1. Разлика между групите (тренировъчна vs. контролна).....	31
3.1.2. Промяна във времето (февруари → май)	36

3.1.3. Взаимодействие между време и група.....	39
3.2. Лабораторни показатели	43
3.2.1. Кортизол.....	43
3.2.2. IgA.....	45
4. Лонгитудинални анализи	46
4.1. Линеен тренд на HRV във времето	47
4.1.1. Normalized Coherence	48
4.1.2. Mean Heart Rate Range (MHRR)	50
4.1.3. Стандартно отклонение на NN интервалите (SDNN)	51
4.1.4. Root Mean Square of Successive Differences (RMSSD).....	53
4.1.5. Mean Heart Rate (MHR).....	55
4.1.6. Mean Inter-Beat Interval (IBI)	57
4.2. Нелинеен тренд (квадратичен компонент).....	59
4.2.1. Подробна интерпретация по показатели	61
4.2.2. Общи изводи за динамиката на програмата.....	62
5. Мултивариантни и факторни анализи	64
5.1. PSS	64
5.2. SAS.....	66
5.3. BAI	67
5.4. BDI	69
5.5. Други фактори	70
5.6. Принципен компонентен анализ на едноминутни HRV показатели	72
5.7. Принципен компонентен анализ на продължителните HRV показатели	75
5.8. Сравнение между краткосрочния и продължителния PCA	77
5.9. Резултати от линейния смесен модел за отделните фактори	78
6. Корелационен анализ	82

6.1. Психометрия	82
6.2. Кортизол и тревожност/стрес	85
6.3. IgA и кортизол	88
6.4. Взаимовръзки между HRV, биохимични и психометрични показатели	89
6.5. Изводи от корелационния анализ.....	91
7. Регресионен анализ	95
7.1. PSS	96
7.2. SAS.....	97
7.3. BAI	98
7.4. BDI	100
7.5. Изводи от регресионния анализ	101
V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ	103
VI. ИЗВОДИ.....	105
VII. ПРИНОСИ	108
VIII. ПРАКТИЧЕСКИ ПРЕПОРЪКИ.....	110
IX. ПУБЛИКАЦИИ И НАУЧНИ СЪОБЩЕНИЯ ВЪВ ВРЪЗКА С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД.....	111

Използвани съкращения

5-HT – серотонин

ACTH – адренокортикотропен хормон

ANCOVA – анализ на ковариацията

BAI – Beck Anxiety Inventory (Оценка на тревожността на Бек)

BDI – Beck Depression Inventory (Скала за депресия на Бек)

BNST – bed nucleus of the stria terminalis

cAMP – цикличен аденозинмонофосфат

COMT – катехол-О-метилтрансфераза

CRH – кортикотропин освобождаващ хормон

CRH-BP – CRH-свързващ протеин

CRH-R – кортикотропин-рилизинг хормон

GABA – гама-аминомаслена киселина

Ham-D – Скала за депресия на Хамилтън

HF – high frequency

HPA – хипоталамо-хипофизно-адrenalна ос

HRV – сърдечна вариабилност

LF – low frequency

PSS – Perceived Stress Scale (Скала на възприемания стрес)

PVN – паравентрикуларно ядро

SAM – симпатико-адрено-медуларна ос

SAS – Zung Self-Rating Anxiety Scale (Скала за самооценка на безпокойството)

ULF – ultra low frequency

VLF – very low frequency

БОВ – биологична обратна връзка

БФ – биофийдбек

ВНС – вегетативна нервна система

ЕЕГ – електроенцефалография

ЕКГ – електрокардиография

ПНС – парасимпатикова нервна система

ПТСР – посттравматично стресово разстройство

СЗО – Световна здравна организация

СНС – симпатикова нервна система

ФПГ – фотоплетизмография

ЦНС – централна нервна система

I. ВЪВЕДЕНИЕ

Стресът представлява комплексен, интегративен невроендокринен и автономен отговор на организма към външни или вътрешни стимули, които нарушават хомеостатичното равновесие и изискват адаптационна реакция. Отговорът включва координирана активация на централната нервна система, хипоталамо-хипофизно-адреналната ос и симпатико-адрено-медуларната система, водеща до системни метаболитни, хемодинамични и имунологични промени. При краткотрайна експозиция посочените механизми подпомагат възстановяването на функционалния баланс. При продължителна или повтаряща се стресова стимулация обаче може да се развие състояние на хронична невроендокринна дисрегулация, което се асоциира с повишен риск от тревожни и депресивни разстройства, сърдечно-съдови заболявания и имунна дисфункция.

Сред студентите по медицина и най-вече обучаващите се в чужбина разпространението на хроничния стрес е особено високо поради високите академичните очаквания, културните различия, адаптирането към нова среда, липсата на приятели и близки, както и потенциални финансови затруднения. Посочените стресови фактори могат сериозно да повлияят на психичното здраве и академичните резултати, което води до т.нар. *синдром на прегаряне (burnout)*, както и физическо и ментално изтощение.

Биологичната обратна връзка, наречена още биофийдбек (БОВ, БФ), е психосоматичен вид техника, при която хората се научават как да регулират ефективно редица физиологични процеси с цел подобряване на физическото, менталното, емоционалното и духовното здраве. Подобно на физикалната терапия, тренировката чрез БФ за автономна регулация изисква активно участие на пациента и системна практика между сесиите.

Благодарение на БОВ можем в реално време да получим информация за множество физиологични функции като сърдечен ритъм, мускулно напрежение и активност на мозъчните вълни. С

помощта на специфични техники обучаваните могат да развият способност за съзнателна модулация на посочените показатели. Чрез насърчаване на саморегулацията и релаксацията БФ може да намали стреса и да подобри психичното здраве.

Различни видове БФ, включващи електромиография (ЕМГ), електроенцефалография (ЕЕГ) и изследване на сърдечната вариабилност (HRV), са показали своята ефективност най-вече при управлението на стреса. Интегрирането на БФ в програми за управление на стреса за студенти по медицина може да предложи нефармакологичен подход за подобряване на тяхното психическо благополучие.

Терапевтичният потенциал на БОВ за намаляване на стреса сред чуждестранните студенти по медицина е недостатъчно проучен. Текущата литература се фокусира предимно върху студенти, обучаващи се в собствената си държава, или клинични популации, оставяйки празнина в разбирането на специфичните нужди и реакции на чуждестранните студенти. Те са изправени пред специфични предизвикателства, включително езикови бариери, социална изолация и разлики в образователните системи, които могат да повлияят върху техните нива на стрес и ефективността на интервенциите с БОВ.

Настоящото проучване има за цел да запълни тази празнина чрез оценка на ефикасността на обучението по БФ за намаляване на стреса и подобряване на психичното здраве сред чуждестранните студенти по медицина. Така ще могат да се оценят промените в нивата на стрес, както и в психичния профил след тренировъчна програма с БФ.

Разбирането на въздействието на БОВ върху посочената популация е от значение поради няколко причини. Първо, резултатите биха могли да подпомогнат разработването на целенасочени институционални програми за психично-здравна подкрепа в академичната среда, адаптирани към специфичните потребности на чуждестранните студенти. Второ, изследването би

предоставило по-добра представа за широката приложимост на БОВ като инструмент за управление на стреса в различни популации. И накрая, подобряването на психичното здраве и благосъстоянието на чуждестранните студенти по медицина може да подобри техните академични резултати и професионално развитие, допринасяйки за по-компетентна и устойчива работна сила в здравеопазването.

В обобщение, контролът на стреса и подобряването на психичното здраве при чуждестранните студенти по медицина е актуален научен и клиничен проблем. Съществуващите проучвания подчертават високите нива на стрес, пред които е изправена популацията, и потенциала на обучението по БФ като терапевтична програма. Изследването има за цел да запълни празнината в литературата чрез изследване на ефикасността на БФ за намаляване на стреса и подобряване на психичното здраве сред чуждестранните студенти по медицина, както и да спомогне за развитието на ефективни, финансово достъпни и лесно приспособими към ежедневието интервенции за подобряване на психичното здраве в академичната среда.

II. ЦЕЛ, ЗАДАЧИ И ХИПОТЕЗИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

Целта на настоящото изследване е да се извърши оценка на терапевтичните възможности на БФ-тренинга като метод за редуциране на стреса и подобряване на психичното здраве на чуждестранни студенти по медицина.

За реализация на поставената цел са обособени следните задачи:

- Да се изследват нивата на стрес, тревожност и депресия сред чуждестранни студенти по медицина чрез попълване на високоинформативни и утвърдени психометрични тестове за оценка на нивата на стрес (*скала за възприеман стрес, Perceived stress scale, PSS*), тревожност (*скала за самооценяване на нивата на тревожност, Zung Self-Rating Anxiety Scale, SAS, както и скала за тревожност на Бек, Beck Anxiety Inventory, BAI*), и депресия (*скала за депресията на Бек, Beck's depression inventory, BDI*);
- Да се проведе тренировъчна програма с БОВ на група студенти с високи нива на стрес, тревожност или депресия;
- Да се оцени ефекта на БФ-тренинга върху психофизиологичното състояние и стрес-реактивността на студентите (преди и след провеждане на стрес-тест) чрез измерване на:
 - сърдечна вариабилност, регистрирана чрез ФППГ сензор;
 - нива на кортизол и IgA в проби от слюнка;
- Да се изследва корелацията между психологичното състояние и психофизиологичната реактивност на организма;
- Да се изследва взаимовръзката между нивата на кортизол и IgA в слюнка при стресовата реакция, състоянията на стрес и тревожност и промените във физиологичните показатели.

Бяха дефинирани следните работни хипотези:

- БФ-тренингът намалява нивата на стрес, тревожност и депресия сред чуждестранни студенти по медицина в МУ-Варна.
- Съществува положителна корелация между психологичното състояние на студентите (напр. нива на стрес и тревожност) и психофизиологичната реактивност на организма (напр. промените в сърдечната вариабилност).
- Промените в концентрацията на кортизол и IgA в слюнката по време на стресова реакция са свързани с промените в нивата на стрес, тревожност и депресия, както и с измененията в някои физиологични показатели, като сърдечната вариабилност.

III. МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ НА ИЗСЛЕДВАНЕТО

1. Дизайн на изследването

Настоящото изследване е реализирано чрез контролирано-лонгитудинален дизайн. Използвани са две групи участници:

- тренировъчна група (включена в програмата за БФ тренинг);
- контролна група (не участва в тренировъчната програма, но също преминава през съответните психометрични и психофизиологични оценки).

Проучването проследява ефекта на БФ тренировките върху:

- нивата на възприеман стрес;
- тревожността;
- депресивната симптоматика;
- психофизиологичната реактивност;
- биохимичните маркери на стресовия отговор при чуждестранни студенти по медицина.

Разпределението в групите е извършено след първоначален скрининг на психологичното състояние чрез следните стандартизирани въпросници:

- Perceived Stress Scale (PSS) — за оценка на възприемания стрес;
- Zung Self-Rating Anxiety Scale (SAS) — за самооценка на тревожността;
- Beck Anxiety Inventory (BAI) — за оценка на симптомите на тревожност;
- Beck Depression Inventory (BDI) — за оценка на депресивната симптоматика.

Проучването обхваща период от 11 седмици, през които студентите от тренировъчната група посещават шумоизолирана лаборатория:

- 2 пъти седмично;
- с продължителност на всяка сесия 30 минути;
- при контролирани условия, ограничаващи влиянието на външни дразнители.

БФ тренингът е насочен към развиване на умения за саморегулация чрез проследяване на физиологични показатели в реално време. По време на сесиите участниците се обучават да разпознават и модулират физиологични реакции, свързани със стресовия отговор и автономната регулация.

Допълнително студентите от тренировъчната група получават инструкции за самостоятелна практика извън лабораторната среда. Те са насърчени да прилагат усвоените техники:

- рано сутрин, непосредствено след събуждане;
- късно вечер, преди лягане;
- при подготовка за изпити;
- преди очаквано стресови ситуации.

Психофизиологичната оценка включва регистрацията на показатели, отразяващи автономната регулация и реактивността към стрес, сред които:

- сърдечна вариабилност;
- дихателна честота;
- други физиологични параметри, регистрирани чрез апаратурата за биологична обратна връзка.

За оценка на биохимичния отговор към стрес са използвани проби от слюнка за определяне на:

- кортизол;
- секреторен IgA.

Пробите са взети:

- сутрин след събуждане;
- непосредствено преди стрес-теста;
- 10 минути след стрес-теста;
- 30 минути след стрес-теста.

Лабораторният стрес-тест е проведен при контролирани условия в лабораторна зала на Катедрата по физиология и патофизиология. Целта му е да предизвика стандартизирана стресова реакция, която да позволи сравнение между двете групи

по отношение на психофизиологичната и биохимичната реактивност. Получените данни са използвани за:

- оценка на ефекта на биофидбек-тренинга;
- сравнение между тренировъчната и контролната група;
- проследяване на промените във времето;
- анализ на връзките между психологичните показатели, физиологичната регулация и биомаркерите на стреса.

2. Участници в изследването

В проучването участват общо 47 чуждестранни студенти по медицина, обучаващи се в Медицински университет „Проф. д-р Параскев Стоянов“ – Варна. Разпределението по групи е следното:

- тренировъчна група — 24 участници;
- контролна група — 23 участници.

Всички включени лица са студенти в международна магистърска програма по „Медицина“, в която обучението се провежда на английски език.

1.1. Критерии за включване

В проучването са включени студенти, които отговарят на следните условия:

- записани са в международната англоезична програма по „Медицина“ в МУ–Варна;
- проявили са доброволно желание за участие;
- попълнили са предварителните въпросници за оценка на стрес, тревожност и депресивна симптоматика;
- подписали са информирано съгласие;
- предоставили са основни демографски данни;
- отговарят на критериите за разпределение в съответната група според резултатите от PSS, SAS, BAI и BDI.

1.2. Критерии за изключване

- студенти с остри заболявания към момента на стартиране на програмата или студенти с хронични заболявания;

- лица, при които здравословното състояние не позволява участие в лабораторните измервания или стрес-теста.

3. Методология на БФ-тренинга

За целите на настоящото изследване е използван Heart Rate Variability (HRV) БФ, базиран на мониторинг и контрол на сърдечната честота и ритъмна кохерентност (heart rhythm coherence). Методът цели да повиши способността на участниците за ефективна емоционална и психофизиологична саморегулация, подобрявайки тяхната сърдечна кохерентност и баланса на ВНС.

Сърдечната кохерентност се дефинира като оптималното и синхронизирано състояние на сърдечните ритми, отразяващо хармоничното взаимодействие между симпатиковия и парасимпатиковия дял на ВНС. Този вид БФ се характеризира с ясна визуална и аудио обратна връзка, която позволява на участниците директно да наблюдават ефекта от прилаганите техники върху тяхната сърдечна честота и вариабилност.

БФ-тренингът се осъществява чрез emWave® Pro Plus – стационарна система, разработена от HeartMath® Institute, предназначена за научно обосновано измерване и обучение в областта на вариабилността на сърдечната честота и физиологичната кохерентност. Системата използва оптичен ФПГ сензор, който може да се постави както на ухото (ear Sensor), така и на пръста (finger Sensor). Той измерва интервалите между сърдечните удари (RR интервали), на базата на които се изчисляват HRV показателите. Сензорите са с висока чувствителност и предават данни в реално време, позволявайки точен мониторинг на сърдечния ритъм и неговите вариации.

Софтуерът emWave Pro Plus включва два модула:

- emWave Pro, който предоставя в реално време визуализация на сърдечен ритъм, кохерентност, HRV графики, индикатори за физиологична кохерентност;
- **HRV Assessment**, чрез който могат да се извършват петминутни анализи на HRV по стандартите на Task Force of

the European Society of Cardiology and the North American Society of Pacing and Electrophysiology (1996).

4. Методи за оценка на психологичните показатели

За оценка на психологичното състояние на участниците са използвани четири стандартизирани и широко валидирани психометрични инструмента, приложени в преведена и адаптирана за англоговорящи студенти форма. Всеки от тестовете е с доказана валидност и надеждност за изследване на симптоми на стрес, тревожност и депресия в академичен и клиничен контекст.

Perceived Stress Scale (PSS) е саморефлексивна скала, измерваща субективното възприятие за стрес през последния месец (Cohen et al., 1983). **Zung Self-Rating Anxiety Scale (SAS)** измерва честотата на симптоми на тревожност, отразявайки както соматичните, така и когнитивните аспекти (Zung, 1971). **Beck Anxiety Inventory (BAI)** е специфично насочен инструмент за оценка на интензивността на тревожни симптоми, включително физиологични прояви като сърцебиене, изпотяване, напрежение и др. (Beck et al., 1988). **Beck Depression Inventory (BDI-II)** е златен стандарт за скрининг на депресивни симптоми, оценявайки когнитивни, поведенчески и афективни аспекти на депресията (Beck et al., 1961).

Всички участници преминават през горепосочените тестове в три ясно дефинирани времеви периода:

- **Първи етап** – ноември (предварителен подбор): Проведено е скрининговото анкетно проучване за идентифициране на студенти с умерени до високи нива на психологически дистрес, тревожност и депресия.
- **Втори етап** – февруари (базово измерване): Анкетирани непосредствено преди началото на БФ тренировъчната програма с цел установяване на изходно ниво.
- **Трети етап** – май (след края на програмата): Участниците са анкетирани отново в края на 11-седмичния

интервенционен период за оценка на ефективността на приложената БФ-програма.

5. Измерване нивата на кортизол и секреторен имуноглобулин А (sIgA) в слюнка

Оценката на физиологичния отговор към БФ тренировките се извърши чрез измерване на нивата на кортизол и секреторен имуноглобулин А (sIgA) в слюнката, които са признати биомаркери на стреса, имунната функция и психофизиологичната реактивност. Слюнчени проби бяха събрани в два ключови момента от изследването:

- Преди началото на тренировъчната програма (базова оценка);
- След приключването на тренировъчната програма (финална оценка).

В рамките на изследването за провокиране на остър психофизиологичен стрес е използван Маастрихтският остър стрес тест (Maastricht Acute Stress Test – MAST) – лабораторен протокол, съчетаващ студова болка, ментални задачи под напрежение, социална оценка и непредсказуемост. Тестът е валидиран от Smeets et al. (2012) и се счита за надежден метод за индуциране на силна и възпроизводима активация на НРА оста.

И в двата случая пробите се събираха в четири различни времеви точки в рамките на деня на провеждане на психологическия стрес-тест (MAST):

- Непосредствено след събуждане (в покой);
- Непосредствено преди провеждане на MAST;
- 10 минути след приключване на MAST;
- 30 минути след приключване на MAST.

Подходът позволява да се улови както базовото ниво, така и динамичния отговор на организма към острия стресов стимул. Слюнченият кортизол беше определен чрез конкурентен електрохемилюминисцентен имуноанализ (ECLIA) на автоматичен

анализатор Cobas 6000 след предварително центрофугиране на пробите. Концентрацията на sIgA беше измерена чрез имуноензимен колориметричен метод ELISA (LDN Immunoassays and Services) след центрофугиране и последователно разреждане на супернатантата до крайно разреждане 1:1000. Резултатите за sIgA бяха изчислени посредством четирипараметрична калибрационна крива.

6. Статистически методи за анализ

Анализът на събраните емпирични данни е извършен с помощта на STATA версия 18, Jamovi версия 2.4.8 и GraphPad Prism версия 5.0, които предоставят широк набор от възможности за описателна, сравнителна, многомерна и лонгитудинална статистическа обработка. Изборът на методология е съобразен с вида на данните, хипотезите и дизайна на изследването, който включва повтарящи се измервания във времето, контролна група и широк спектър от физиологични и психометрични показатели. Извършени са дескриптивен, сравнителен, дисперсионен, лонгитудинален, мултивариантен, факторен, корелационен и регресионен анализи. Избраните статистически методи позволяват цялостен и комплексен подход към анализ на данните, съчетавайки описателни, сравнителни, лонгитудинални и многомерни подходи за валидна интерпретация на терапевтичните ефекти на БФ-тренинга върху психичното и физиологичното състояние на участниците. Всички тестове са тълкувани като статистически значими при ниво на значимост $p \leq 0.05$.

IV. РЕЗУЛТАТИ И ОБСЪЖДАНЕ

1. Дескриптивен анализ

Участниците, които са част от програмата, са разделени в две групи – тренировъчна и контролна, като са анализирани различни демографски променливи. Данните са представени чрез описателна статистика (средна стойност, медиана, стандартно отклонение, минимум и максимум) и честотен анализ (абсолютна и относителна честота).

1.1. Пол

От общия брой на участниците (N=47), 14,9% са мъже, а 85,1% са жени (табл.1).

Пол	Група	Брой	% от всички	Кумулативен %
Мъж	Тренировъчна	3	6.4 %	6.4 %
	Контролна	4	8.5 %	14.9 %
Жена	Тренировъчна	21	44.7 %	59.6 %
	Контролна	19	40.4 %	100.0 %

Таблица 1. Разпределение на участниците по пол и група

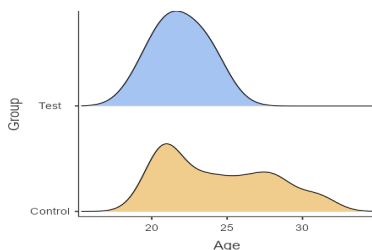
Анализът на пола сред участниците разкрива ясно изразено неравномерно разпределение. Превесът на женския пол е типичен за много медицински специалности и следва да се вземе под внимание при тълкуването на резултатите, особено предвид известните полови разлики в стресовата реактивност и психофизиологичните показатели (Verma et al., 2011; Kristoffersson et al., 2018).

1.2. Възраст

Възрастовият профил на участниците отразява типична за изследваната студентска популация млада възраст с известна вариабилност между двете групи (табл.2).

	Група	N	Mean	Median	SD	Minimum	Maximum
Възраст	Тренировъчна	24	21.88	22.00	1.676	19	25
	Контролна	23	24.35	24	3.588	20	31

Таблица 2. Възрастова характеристика на участниците по групи



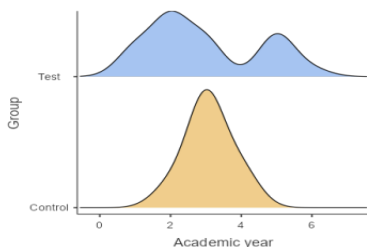
Фигура 1. Графично представяне на възрастовата структура в двете изследвани групи

Разпределението на данните е практически симетрично ($\text{skewness} = 0.033$), а куртозата е леко плоска ($\text{kurtosis} = -0.86$), което предполага нормално разпределение и позволява използването на параметрични статистически тестове в по-нататъшния анализ (фиг.1).

1.3. Година на обучение

Година на обучение	Група	Брой	% от всички
1	Тренировъчна	4	8.5 %
	Контролна	0	0.0 %
2	Тренировъчна	8	17.0 %
	Контролна	3	6.4 %
3	Тренировъчна	5	10.6 %
	Контролна	15	31.9 %
4	Тренировъчна	0	0.0 %
	Контролна	5	10.6 %
5	Тренировъчна	6	12.8 %
	Контролна	0	0.0 %
6	Тренировъчна	1	2.1 %
	Контролна	0	0.0 %

Таблица 3. Разпределение на участниците по година на обучение и група



Фигура 2. Разпределение на участниците по година на обучение в тренировъчната и контролната група

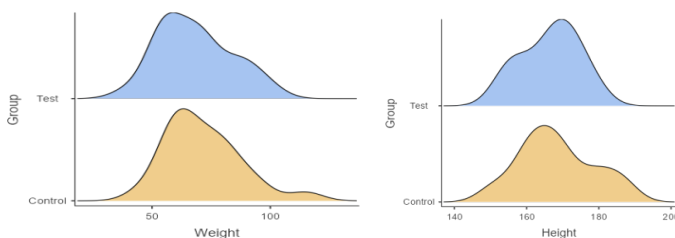
Относно академичната година на обучение се наблюдава хетерогенност сред участниците (табл.3). Най-голям дял представляват

студенти от трети курс (42.5%), следвани от втори курс (23.4%) и пети курс (12.8%). Представеността на първокурсници, четвъртокурсници и шестокурсници е значително по-малка (фиг.2). По-голямото представителство на студентите от трети курс е от значение за интерпретацията на резултатите, тъй като този период съвпада с прехода от предклиничния към клиничния етап на медицинското обучение. Адаптацията към клиничните дисциплини, контакта с пациенти и новите практически и професионални изисквания може да представлява допълнителен източник на академично и психоемоционално натоварване. Данните показват концентрация на участници от средните етапи на обучението, когато академичното натоварване и стрес често достигат пик, което е от съществено значение за контекста на изследването (Al-khlaiwi et al., 2023).

1.4. Тегло и ръст

	Група	N	Mean	Median	SD	Minimum	Maximum
Тегло	Тренировъчна	24	68.13	66.50	15.434	40	100
	Контролна	23	71.52	68	15.863	45	115
Ръст	Тренировъчна	24	166.50	167.50	7.902	152	180
	Контролна	23	168.35	168	10.342	150	188

Таблица 4. Антропометрична характеристика на участниците в двете групи



Фигура 3. Сравнителен анализ на антропометричните показатели между тренировъчната и контролната група

Средното тегло както в тренировъчната, така и в контролната групи е в рамките на здравословните норми, но с известна вариабилност (табл.4). И при ръста, и при телесното тегло не се откриват съществени разлики между групите (фиг.3). Това създава добра основа за съпоставимост при физиологичните измервания като сърдечна вариабилност и нива на кортизол (Pulopulos et al., 2018).

1.5. Допълнителна информация

	Опция	Брой (N=47)	Пропорция	p-value
Религия	Религиозен	31	0.660	0.040*
	Атеист	16	0.340	0.040*
Етническа принадлежност	Европейска	14	0.298	0.008*
	Азиатска	18	0.383	0.144
	Друга	15	0.319	0.019*
Тютюнопушене	<1 кутия/ден	6	0.128	<.001*
	Една/ > кутии/ ден	1	0.021	<.001*
	Не	40	0.851	<.001*
Алкохолна консумация	Лека	18	0.383	0.144
	Умерена	1	0.021	<.001*
	Липсва	28	0.596	0.243
Финансово положение	Добро	14	0.298	0.008*
	Задоволително	29	0.617	0.144
	Лошо	4	0.085	<.001*
Семейна подкрепа	Финансова	8	0.170	<.001*
	Финансова и емоционална	37	0.787	<.001*
	Никаква	2	0.043	<.001*
Наличие на хронични заболявания	Да	11	0.234	<.001*
	Не	36	0.766	<.001*
Психични състояния	В семейството	14	0.298	0.008*
	Втора линия	5	0.106	<.001*
	Не	28	0.596	0.243
Прием на лекарства/добавки	Да	20	0.426	0.382
	Не	27	0.574	0.382
Брой часове учене/ден	<2 часа	11	0.234	<.001*
	2 - 4 часа	25	0.532	0.771
	4 - 6 часа	11	0.234	<.001*
Брой часове сън/ден	4 - 6 часа	10	0.213	<.001*
	6 - 8 часа	31	0.660	0.040*
	> 8 часа	6	0.128	<.001*
Тежки натоварвания (пъти в седмицата)	1	23	0.489	1.000
	2	6	0.128	<.001*
	3	12	0.255	0.001*
	4	3	0.064	<.001*
	5	3	0.064	<.001*
Средни натоварвания (пъти в седмицата)	1	7	0.149	<.001*
	2	11	0.234	<.001*
	3	12	0.255	0.001*
	4	10	0.213	<.001*
	5	4	0.085	<.001*
	7	3	0.064	<.001*
Леки натоварвания (пъти в седмицата)	1	10	0.213	<.001*
	2	4	0.085	<.001*
	3	10	0.213	<.001*
	4	9	0.191	<.001*
	5	5	0.106	<.001*
	6	3	0.064	<.001*
	7	6	0.128	<.001*

Таблица 5. Описателна характеристика на извадката по допълнителни демографски и поведенчески променливи

За оценка на разпределението на основни социално-демографски и поведенчески характеристики в извадката е приложен едновариантен биноминален тест за двукатегорийните променливи, с нулева хипотеза за равновероятно разпределение между двете категории ($H_0: p=0.5$). За променливите с повече от две категории интерпретацията следва да се основава на тестове за многокатегорийно разпределение. Получените резултати разкриват редица статистически значими отклонения, които очертават важни аспекти от профила на изследваните участници (табл.5).

По отношение на допълнителните социално-демографски характеристики се очертава извадка с относително ясно изразена религиозна идентичност и етнокултурно разнообразие. Тези особености предполагат хетерогенна социална среда, която следва да се има предвид при интерпретацията на психометричните и физиологичните показатели, тъй като културните и ценностните фактори могат да влияят върху възприемането на стреса и адаптационните ресурси.

Поведенческият профил на участниците насочва към сравнително благоприятен здравословен стил на живот. Тютюнопушенето и редовната алкохолна употреба не се открояват като доминиращи поведенчески модели в извадката, което създава по-добра основа за тълкуване на физиологичните измервания, без изразено влияние на някои често срещани поведенчески смущаващи фактори. В този контекст изследваната популация може да се разглежда като относително здравословна по отношение на ежедневните навици.

Социално-икономическият и семеен контекст също очертават по-скоро стабилен профил. При участниците се наблюдава преобладаване на удовлетворително до добро материално положение, както и ясно изразено наличие на семейна подкрепа. Това е важно обстоятелство, тъй като наличието на подкрепяща семейна среда може да изпълнява буферираща функция спрямо стреса и да влияе върху индивидуалната способност за справяне (Hostinar and Gunnar, 2015; An et al., 2024).

Здравният статус допълнително подкрепя представата за сравнително ниска соматична и психиатрична обремененост. Същевременно наличието на психични състояния в семейната анамнеза при част от участниците предполага, че при отделни лица може да съществува повишена уязвимост към стресови въздействия, което е релевантно при обсъждането на индивидуалните различия в отговора към програмата (van Sprang et al.,2020).

Анализът на ежедневиения режим показва относително структуриран учебен и възстановителен модел, при който преобладават умерено интензивно учене и сън с продължителност, близка до препоръчителната за тази възрастова група. Това създава предпоставки за по-адекватно възстановяване и по-стабилно функциониране на ВНС.

Данните за физическата активност сочат доминиране на умерени форми на натоварване за сметка на по-интензивните режими. Подобен модел е характерен за млади хора с висока академична ангажираност и може да се разглежда като потенциално благоприятен фактор по отношение на стресовата регулация и общото психофизиологично състояние (Childs and de Wit, 2014).

В обобщение, демографският профил на участниците в изследването разкрива предимно женска, академично активна, млада популация, с относително хомогенни антропометрични характеристики. Този профил е типичен за високо мотивирани студенти по медицина и следва да се интерпретира в контекста на повишен академичен натиск и необходимост от устойчивост към стрес.

2. Сравнителен анализ

2.1. Демографски и поведенчески променливи

Извършен е сравнителен анализ между участниците от тренировъчната и контролната група по отношение на основни демографски и поведенчески характеристики. Целта е да се провери дали двете групи се различават статистически значимо по някои от ключовите фактори, които биха могли да окажат влияние върху физиологичните и психологичните резултати.

С помощта на χ^2 тест за независимост е изследвана връзката между принадлежността към група (тренировъчна или контролна) и следните номинални променливи: пол, религиозна принадлежност, етническа принадлежност, тютюнопушене, консумация на алкохол, наличие на психични или хронични заболявания, родителска подкрепа и прием на медикаменти/добавки. Статистическа значимост е отчетена при $p < 0.05$ (табл.6).

№	Променлива	χ^2 -стойност	p-стойност
1.	Пол	0.22	0.638
2.	Религия	0.51	0.471
3.	Етническа принадлежност	5.82	0.060
4.	Тютюнопушене	2.05	0.359
5.	Консумация на алкохол	1.12	0.571
6.	Психични разстройства	1.47	0.481
7.	Хронични заболявания	2.70	0.101
8.	Прием на медикаменти / добавки	0.22	0.638
9.	Родителска подкрепа	5.16	0.076
10.	Часове учене на ден	0.20	0.905
11.	Часове сън на ден	0.68	0.712

Таблица 6. Chi-Square анализ на демографски и поведенчески променливи

Получените резултати показват, че нито една от изследваните променливи не достига прага за статистическа значимост, което предполага хомогенност на групите по отношение на посочените номинални променливи. Липсата на статистически значими разлики между групите по изследваните демографски и поведенчески характеристики е особено важна за валидността на изследването. Това предполага, че наблюдаваните ефекти от програмата с БФ в следствие могат по-уверено да бъдат отнесени към самата тренировъчна програма, а не към предварително съществуващи различия между участниците. С други думи, резултатите от последващите анализи за физиологични и психологически показатели няма да бъдат повлияни от системни разлики в базовите характеристики на двете групи.

Преди извършването на сравнителен анализ между двете групи по отношение на количествените променливи е проведен тест на Shapiro-Wilk с цел оценка на нормалността на разпределенията (табл.7).

	Група	Възраст	Тегло	Ръст	Година на обучение
N	Тренировъчна	24	24	24	24
	Контролна	23	23	23	23
Skewness	Тренировъчна	0.0330	0.419	-0.258	0.513
	Контролна	0.465	0.927	0.291	-0.0133
Kurtosis	Тренировъчна	-0.856	-0.536	-0.886	-1.08
	Контролна	-1.08	1.19	-0.536	0.161
Shapiro-Wilk W	Тренировъчна	0.951	0.957	0.962	0.862
	Контролна	0.895	0.947	0.965	0.761
Shapiro-Wilk p	Тренировъчна	0.284	0.381	0.479	0.004*
	Контролна	0.020*	0.257	0.568	<.001*

Таблица 7. Резултати от теста на Shapiro–Wilk за количествените променливи в двете изследвани групи

Резултатите показват, че променливите възраст, телесно тегло и ръст не се отклоняват съществено от нормално разпределение нито при тренировъчната група ($p=0.284$, 0.381 и 0.479 , съответно), нито при контролната група ($p=0.020$, 0.257 и 0.568 , съответно). Въпреки че стойността на p за възраст в контролната група ($p=0.020$) предполага известно отклонение от нормалността, останалите параметри са в допустимите граници. Приемаме, че разпределението е приблизително нормално, особено предвид симетрията ($\text{skewness} < \pm 1$) и плоскостта на кривата ($\text{kurtosis} < \pm 1$) при повечето променливи.

За разлика от тях, променливата „година на обучение“ показва значимо отклонение от нормално разпределение и в двете групи – $p=0.004$ (тренировъчна) и $p<0.001$ (контролна). Ето защо е използван непараметричен тест (*Mann-Whitney U*) при сравнение между групите по този показател.

Въз основа на тези резултати за следващия етап от анализа е приложен t -тест за независими извадки за количествените

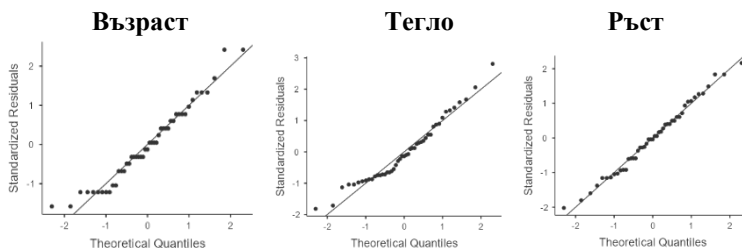
променливи с приблизително нормално разпределение (възраст, тегло и ръст), докато за „година на обучение“ е използван U-тест на Ман-Уитни (табл.8).

Променлива	Статистически тест	Стойност	df / U	p-стойност	Ефект (Cohen's d / Rbc)
Възраст	Student's t	-3.048	45	0.004*	-0.889
Тегло	Student's t	-0.744	45	0.461	-0.217
Ръст	Student's t	-0.690	45	0.494	-0.201
Година на обучение	Mann-Whitney U	226	–	0.264	0.183

Таблица 8. Сравнение на основните демографски и антропометрични показатели между тренировъчната и контролната група

Резултатите от t-теста за независими извадки показват, че между двете групи съществува статистически значима разлика по отношение на възрастта – участниците в тренировъчната група са средно по-млади от тези в контролната група ($p=0.004$). Размерът на ефекта, изчислен чрез коефициента на Коен (Cohen's $d = -0.889$), показва голям ефект, което означава, че разликата е не само статистически значима, но и практически съществена. Това е важно да се вземе предвид при интерпретацията на последващите резултати, тъй като възрастта може да действа като модерираща променлива при редица психофизиологични и поведенчески показатели (K. Li et al., 2025).

При останалите количествени променливи – **телесно тегло** ($p=0.461$) и **ръст** ($p=0.494$) не са установени статистически значими разлики между групите. Размерите на ефектите са слаби, което подкрепя заключението за относителна хомогенност между групите и по тези характеристики (фиг.4).



Фигура 4. Графична проверка за нормалност на възрастта, теглото и ръста

По отношение на променливата „година на обучение“ резултатите от U-теста на Ман-Уитни ($p = 0.264$) също не показват значима разлика между двете групи. Макар и леко по-ниска средна стойност в тренировъчната група ($M = 2.96$) спрямо контролната ($M = 3.09$) разликата не достига статистическа значимост, а коефициентът на корелация на ранговете (Rank biserial correlation = 0.183) сочи към слаб ефект.

Двете групи са сравними по отношение на телесните характеристики и годината на обучение, но възрастовата разлика между тях изисква внимание и евентуално включване на възрастта като ковариант в допълнителни модели на анализ.

2.2. Лабораторни изследвания – кортизол

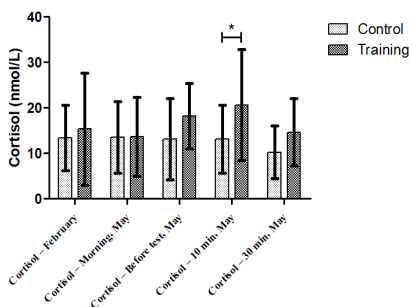
Оценката на физиологичния стресов отговор бе извършена чрез измерване на слюнчен кортизол в различни времеви периоди – сутрин, непосредствено след събуждане; преди провеждането на MAST, 10 минути и 30 минути след остър стрес тест, през февруари (преди тренировъчната програма) и през май (след края на тренировъчната програма). Сравнението между тренировъчната и контролната група позволява да се проследи както базовото хормонално ниво, така и степента на хиперактивация на НРА оста в отговор на провокиран стрес (табл.9).

Показател	Група	Средна стойност	Мин.	Макс.	Shapiro-Wilk (p)
Cortisol – февруари	Контролна	13.4	2.30	30.9	0.615
	Тренировъчна	15.3	1.87	59.9	< 0.001*
Cortisol сутрин – май	Контролна	13.5	3.97	35.9	0.036*
	Тренировъчна	13.6	1.65	38.6	0.076
Cortisol преди тест – май	Контролна	13.1	3.16	34.6	0.020*
	Тренировъчна	18.2	6.12	33.3	0.862
Cortisol 10 мин – май	Контролна	13.1	3.38	33.7	0.049*
	Тренировъчна	20.6	3.68	53.2	0.139
Cortisol 30 мин – май	Контролна	10.2	2.99	22.5	0.053
	Тренировъчна	14.6	1.50	30.9	0.761

Таблица 9. Описателни статистики и тест за нормалност на кортизоловите показатели по групи

Установени са по-високи средни стойности на кортизола във всички времеви периоди в тренировъчната група в сравнение с контролната. Най-голяма разлика между двете групи се наблюдава 10 минути след провеждането на стресовия тест, когато средната стойност е 20.6 ng/mL в тренировъчната група срещу 13.1 ng/mL в контролната група.

В сутрешните измервания през месец май стойностите на кортизола в двете групи са сходни. Преди провеждането на теста стойностите са по-високи в тренировъчната група, а 30 минути след теста се наблюдава понижение на нивата и в двете групи (фиг.5).



Фигура 5. Сравнение на средните стойности на кортизола между контролната и тренировъчната група в различните времеви точки на измерване

Получените резултати са в частично съответствие с наличната литература. MAST е утвърден като надежден модел за индуциране на остър физиологичен стрес, а при повторното му приложение е описано запазване на кортизоловата реактивност без съществени признаци на хабитуация или сенситизация (Quaedflieg et al., 2017; Shilton et al., 2017). В същото време проучванията с БФ по-често съобщават понижение на слюнчения кортизол или липса на значими разлики спрямо контролните условия (Brinkmann et al., 2020; Kotozaki et al., 2014). Това предполага, че в настоящата извадка програмата вероятно е повлияла по-скоро характера на стресовата реакция, отколкото абсолютните нива на кортизола. Тази интерпретация се извършва в контекста на индивидуални различия в реактивността и потенциална проява на очаквания ефект в по-дългосрочен план.

2.3. Лабораторни изследвания – IgA

Оценката на имунната реактивност е извършена чрез измерване на нивата на слюнчен имуноглобулин А (IgA) в същите времеви периоди - сутрин, непосредствено след събуждане; преди провеждането на MAST, 10 минути и 30 минути след MAST, през февруари (преди тренировъчната програма) и през май (след края на тренировъчната програма). Сравнението между двете групи цели да оцени както базовите нива на мукозен имунитет, така и динамиката на IgA в отговор на остър психофизиологичен стрес в условия на продължително БФ въздействие (табл.10).

Показател	Група	Средна стойност	Мин.	Макс.	Shapiro-Wilk (p)
IgA - февруари	Контролна	163.7	38.3000	588	<.001*
	Тренировъчна	172.1	5.0300	1048	<.001*
IgA – сутрин, май	Контролна	103.2	14.8400	382	<.001*
	Тренировъчна	130.3	0.0200	557	<.001*
IgA - преди тест, май	Контролна	62.2	0.7300	305	<.001*
	Тренировъчна	46.9	0.0200	166	0.001*
IgA - 10 мин. след тест, май	Контролна	50.6	12.5700	217	<.001*
	Тренировъчна	44.0	0.0200	153	0.023*
IgA – 30 мин. след тест, май	Контролна	43.9	14.6800	107	0.013*
	Тренировъчна	47.7	0.0200	154	<.001*

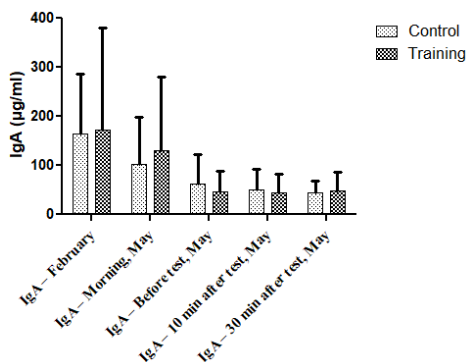
Таблица 10. Описателни статистики и тест за нормалност на IgA по групи

Резултатите от анализа показват, че нивата на слюнчения имуноглобулин А (IgA) варират значително между двете групи, като контролната група демонстрира по-високи стойности в почти всички времеви периоди с изключение на сутрешните и 30-минутните измервания през май, където тренировъчната група показва леко повишение. Най-високите стойности на IgA се наблюдават през февруари преди началото на програмата, което вероятно отразява липсата на провокиран стрес и/или текуща имунна активация, независимо от групата (163.7 µg/mL при контролната срещу 172.1 µg/mL при тренировъчната група).

След края на БФ програмата (през май) се отчита тенденция към намаляване на IgA в сутрешните измервания и преди стрес теста и

в двете групи, като нивата са по-ниски при тренировъчната група (напр. 46.9 $\mu\text{g/mL}$ спрямо 62.2 $\mu\text{g/mL}$ преди теста). Това би могло да отразява намалена имунна активност или адаптационен ефект след тренировъчния период (Scheffer and Latini, 2020). След провеждането на MAST нивата на IgA спадат и в двете групи, което е очакван отговор на остра стресова провокация, доказан и в редица други проучвания (Maes et al., 1997; Laurent et al., 2015; Paribello et al., 2024). Все пак 30 минути след теста се наблюдава лека възходяща тенденция в тренировъчната група (47.7 $\mu\text{g/mL}$ спрямо 43.9 $\mu\text{g/mL}$), което може да се интерпретира като по-бързо възстановяване на имунната функция след стрес при участниците, преминали през БФ програмата (фиг.6).

Фигура 6. Сравнение на средните стойности на кортизола между контролната и тренировъчната група в различните времеви точки на измерване



Въпреки отсъствието на статистическа значимост се наблюдават определени тенденции. Например, преди провеждането на MAST през месец май средното ниво на IgA е по-високо в контролната група (62.2 $\mu\text{g/mL}$) спрямо тренировъчната (46.9 $\mu\text{g/mL}$), а ефектът, измерен чрез Cohen's d (0.297), макар и малък към умерен, предполага потенциално биологично значение. Подобна разлика се отчита и 10 минути след теста, като отново контролната група има по-високи стойности (50.6 срещу 44.0 $\mu\text{g/mL}$).

Интерес представлява и посоката на промените след теста. Докато при кортизола се отчита остър пик, последван от

възстановяване, при IgA липсва ясно изразена динамика, което може да отразява по-бавната му имунологична реактивност спрямо острите стресори. Това съвпада с някои предишни проучвания, показващи, че IgA се влияе по-силно от хроничния стрес и нивата му варират по-дългосрочно, а не толкова рязко, както при кортизола (Takatsuji et al., 2008; Fan et al., 2009a).

Ниските стойности на ефекта (Cohen's $d=0,016$ и Rank biserial correlation= 0.101) допълнително потвърждават, че програмата не е довела до съществени промени в имунния отговор, измерен чрез IgA. Възможно е обаче да се наблюдават по-отчетливи резултати при по-продължителен период на проследяване или при различен тип интервенции, както е описано в други проучвания (Díaz-Silveira et al., 2020; MacLaughlin et al., 2011; Morgan et al., 2014).

3. Дисперсионни анализи

За оценка на промените в изследваните показатели и за сравнение между тренировъчната и контролната група е приложен дисперсионен анализ (ANOVA). Този подход е избран, тъй като позволява едновременно да се изследват ефектите на времето, груповата принадлежност и взаимодействието между тях, което е особено важно при тренировъчни проучвания с повторни измервания (Muhammad, 2023). По този начин могат да се установят не само общите различия между групите и между отделните моменти на измерване, но и дали наблюдаваните промени във времето са специфично свързани с приложената тренировъчна програма.

Същият аналитичен подход е използван както за психометричните, така и за лабораторните показатели с цел постигане на единна и сравнима статистическа оценка на ефекта от програмата.

3.1. Психометрични показатели

3.1.1. Разлика между групите (тренировъчна vs. контролна)

В изследването са оценени нивата на възприет стрес (PSS), тревожност (SAS и BAI) и депресивна симптоматика (BDI) сред

участниците от тестовата и контролната група в две времеви точки: преди началото на програмата (февруари) и след нейното приключване (май) (табл. 11).

Показател	Време	Група	N	Mean	SD	Shapiro-Wilk p
PSS	Февруари	Контролна	23	13.70	7.34	0.061
		Тренировъчна	24	24.38	4.62	0.049*
	Май	Контролна	23	15.43	8.56	0.535
		Тренировъчна	24	15.83	5.33	0.713
SAS	Февруари	Контролна	23	31.48	8.56	0.007*
		Тренировъчна	24	47.83	9.81	0.750
	Май	Контролна	23	32.48	9.88	0.003*
		Тренировъчна	24	34.33	8.62	0.009*
BAI	Февруари	Контролна	23	10.00	10.86	< .001*
		Тренировъчна	24	27.17	9.65	0.090
	Май	Контролна	23	10.91	11.11	< .001*
		Тренировъчна	24	13.38	9.31	0.005*
BDI	Февруари	Контролна	23	6.04	7.22	< .001*
		Тренировъчна	24	23.75	8.92	0.066
	Май	Контролна	23	8.09	9.16	< .001*
		Тренировъчна	24	11.75	8.67	0.018*

Таблица 11. Разпределение и нормалност на PSS, SAS, BAI и BDI в контролната и тренировъчната група

За целите на анализа е приложен t-тест за независими извадки, а при съмнение за нарушение на предпоставката за хомогенност на дисперсиите – и U-тест на Mann–Whitney, като към всеки анализ е изчислен и съответният ефект (Cohen’s d и Rank biserial correlation).

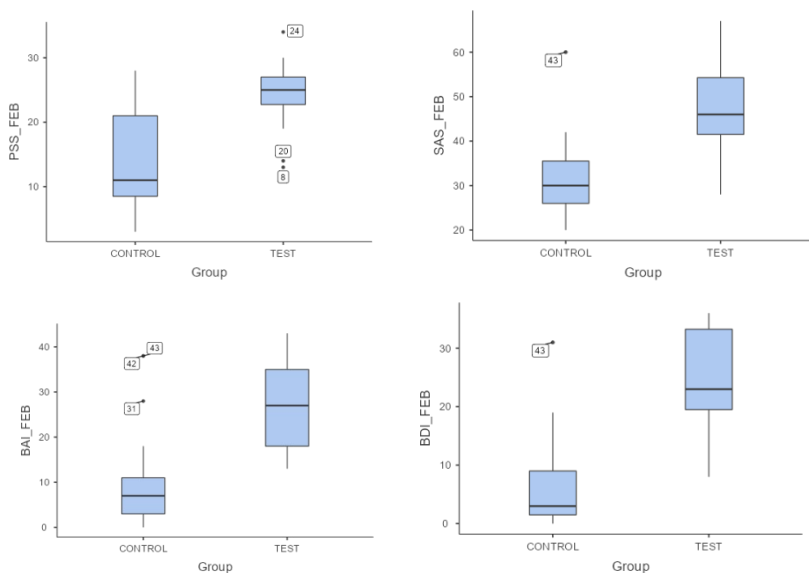
Резултатите от месец февруари показват ясно изразени различия между двете групи по всички изследвани психометрични

показатели. Тренировъчната група, която впоследствие преминава през програмата за БФ обучение, демонстрира значително по-високи нива на възприет стрес, тревожност и депресия в сравнение с контролната (табл.12).

Скала	Време	t(df)	p (t-тест)	Cohen's d	p (U-тест)	Rank bis. corr.
PSS	Февруари	-5.993 (45)	< 0.001*	-1.75	< 0.001*	0.7844
	Май	-0.192 (45)	0.848	-0.056	0.717	0.0634
SAS	Февруари	-6.079 (45)	< 0.001*	-1.77	< 0.001*	0.8207
	Май	-0.687 (45)	0.496	-0.200	0.322	0.1703
BAI	Февруари	-5.734 (45)	< 0.001*	-1.67	< 0.001*	0.7880
	Май	-0.825 (45)	0.414	-0.240	0.114	0.2699
BDI	Февруари	-7.462 (45)	< 0.001*	-2.18	< 0.001*	0.8768
	Май	-1.408 (45)	0.166	-0.410	0.051	0.3333

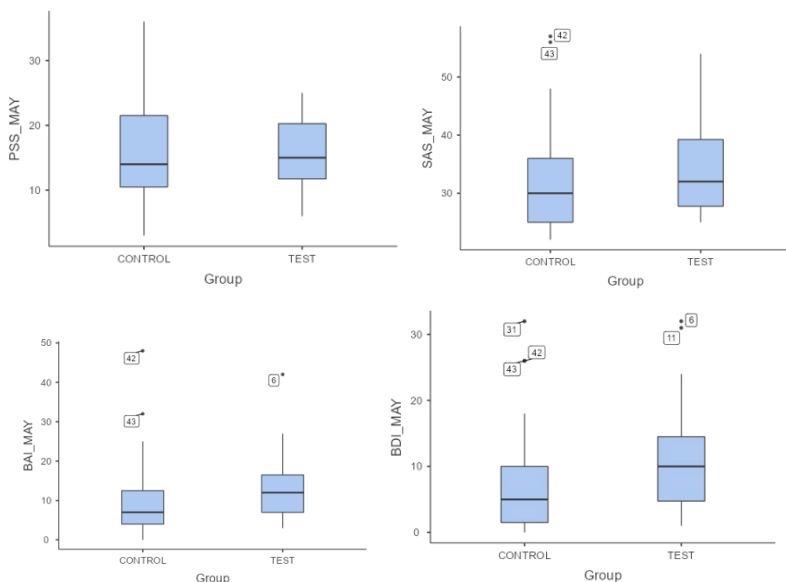
Таблица 12. Сравнение на психометричните показатели между тренировъчна и контролна група (t-тест и U-тест)

По скалата за възприет стрес (PSS) се наблюдава силно значима разлика ($t(45) = -5.993$, $p < 0.001$), съпътствана от много висок ефект ($\text{Cohen's } d = -1.75$), което свидетелства за по-високо ниво на субективно преживяван стрес в тренировъчната група (фиг.7). Подобни резултати се регистрират и по двете тревожностни скали: SAS ($t(45) = -6.079$, $p < 0.001$, $d = -1.77$) и BAI ($t(45) = -5.734$, $p < 0.001$, $d = -1.67$). Най-изразена е разликата по показателя депресия, оценен чрез скалата BDI, където тренировъчната група постига значително по-високи стойности ($t(45) = -7.462$, $p < 0.001$) и много голям ефект ($\text{Cohen's } d = -2.18$). Тези резултати подкрепят хипотезата, че участниците в тренировъчната група са стартирали програмата с по-изразен стрес.



Фигура 7. Boxplot представяне на разпределението на изходните стойности по психометричните скали PSS, SAS, BAI и BDI през февруари в контролната и тренировъчната група с визуализация на медианата, междуквартилния размах, общия диапазон и отклоняващите се стойности

Три месеца по-късно, през месец май, психометричният профил на двете групи показва съществена промяна (фиг.8). Разликите, наблюдавани в началото на изследването, значително намаляват и в повечето случаи губят статистическа значимост. По скалата за възприет стрес (PSS) двете групи вече не се различават съществено ($t(45) = -0.192$, $p=0.848$), като ефектът е пренебрежимо малък (Cohen's $d = -0.056$). Сходна тенденция се отчита и по останалите скали: SAS ($p=0.496$), BAI ($p=0.414$) и BDI ($p=0.166$), като всички те се характеризират с ниски стойности на ефекта. Въпреки че по скалата BDI се запазва тенденция за по-високи стойности в тренировъчната група, разликата не достига ниво на статистическа значимост.



Фигура 8. *Boxplot представяне на разпределението на стойностите по психометричните скали PSS, SAS, BAI и BDI през май в контролната и тренировъчната груп, с визуализация на медианата, междуквартилния размах, общия диапазон и отклоняващите се стойности*

Наблюдаваната динамика в резултатите подкрепя ефективността на програмата, приложена в тренировъчната група. Изразеният психологически дистрес, характерен за участниците преди началото на програмата, е редуциран до нива, съпоставими с тези на контролната група. Тази нормализация на психометричните показатели може да бъде интерпретирана като индиректно доказателство за положителния ефект от БФ обучението върху субективното възприемане на стрес, тревожност и депресия. Изглежда, че програмата допринася за стабилизиране на емоционалното състояние и подобряване на психичното благополучие в изследваната популация, което подкрепя резултатите и от други проучвания (Ratanasiripong et al., 2012; Goessl et al., 2017; Pizzoli et al., 2021).

3.1.2. Промяна във времето (февруари → май)

3.1.2.1. PSS

За да се оцени ефектът от БФ програмата върху възприемания стрес сред участниците от **тренировъчната група**, е извършен сравнителен анализ на резултатите от скалата PSS (табл.13). Средната стойност на PSS през февруари е 24.4, което свидетелства за умерено към високо ниво на възприеман стрес в началото на изследването. След приключване на програмата през май средната стойност значимо намалява до 15.8, което е индикация за съществено по-ниски нива на възприеман стрес.

Резултатите от двоичния t-тест за зависими извадки показват статистически значима разлика между двете измервания ($t(23) = 6.62$, $p < 0.001$). Стойността на Cohen's $d = 1.35$ показва много голям ефект, което означава, че програмата има силен и практически значим ефект върху намаляването на субективния стрес сред участниците в тренировъчната група.

3.1.2.2. SAS

Оценката на нивата на тревожност сред участниците от тренировъчната група е извършена чрез скалата SAS (табл.13). През февруари средната стойност на SAS е 47.8, което предполага умерено до високо ниво на тревожност в началния етап на изследването. През май средната стойност значимо намалява до 34.3, което показва съществено редуциране на тревожността след програмата.

Статистическият анализ чрез двоичния t-тест за зависими извадки разкрива високо значима разлика между двете измервания ($t(23) = 9.13$, $p < 0.001$), като резултатите се потвърждават и от Wilcoxon теста ($W = 299$, $p < 0.001$) – подходящ за ненормално разпределение, наблюдавано в данните от май (Shapiro-Wilk $p = 0.009$). Резултатите доказват статистически, че БФ тренировките са ефективни при намаляване на тревожността в тренировъчната група.

3.1.2.3. BAI

С цел да се проследи динамиката в преживяваната тревожност преди и след програмата участниците от тренировъчната група попълват и въпросника BAI (табл.13). Средната стойност на BAI през

февруари е 27.2, което съответства на умерена до висока тревожност. През май се наблюдава значим спад до 13.4, което свидетелства за преминаването към лека или отсъстваща тревожност при повечето участници. Съществената разлика в средните стойности се потвърждава от двоичния t-тест за зависими извадки ($t(23) = 8.07$, $p < .001$), както и Wilcoxon теста ($W = 300$, $p < .001$).

Същественият спад в тревожността при участниците от тренировъчната група след програмата демонстрира висока ефективност на прилагания БФ протокол при справяне със симптомите на тревожност.

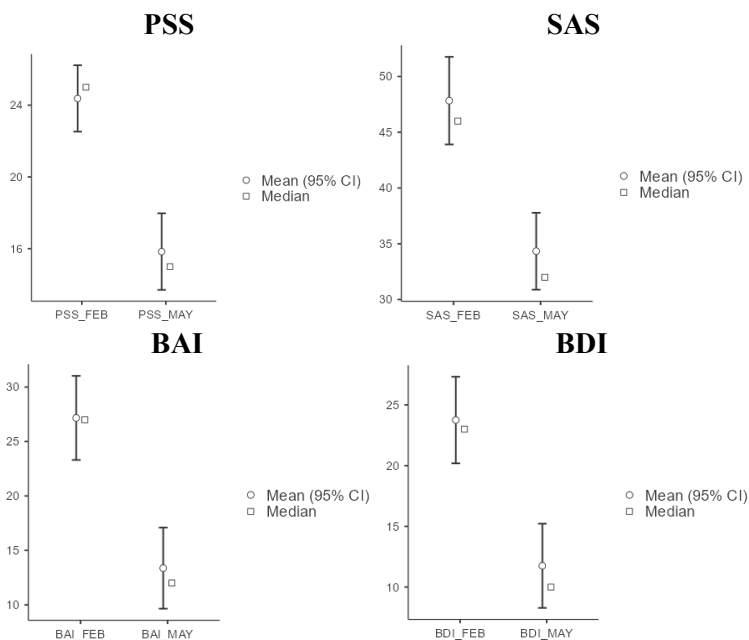
3.1.2.4. BDI

С цел да се оцени ефектът от програмата върху симптомите на депресия, участниците от тренировъчната група попълват BDI (табл.13). Средната стойност на BDI през февруари е 23.8, което е индикативно за умерена депресия. През май тя спада до 11.8, съответстваща по скалата на лека или гранична депресия, като при част от участниците се наблюдава и почти пълно отсъствие на симптоми (минимална стойност = 1). Статистическата обработка потвърждава значима разлика както при t-теста за зависими извадки ($t(23) = 6.28$, $p < .001$), така и при непараметричния Wilcoxon тест ($W=297$, $p < .001$).

Резултатите ясно демонстрират, че БФ програмата е изключително ефективна в редуциране на депресивните преживявания при участниците от тренировъчната група, като промените са не само статистически значими, но и клинично значими според силата на ефекта.

Показател	Време на измерване	Средна стойност	SD	t (df)	p	Wilcoxon W	Cohen's d	Rank bis. corr.
PSS	февруари	24.4	4.62	6.62 (23)	< 0.001	275	1.35	0.989
	май	15.8	5.33					
SAS	февруари	47.8	9.81	9.13 (23)	< 0.001	299	1.86	0.990
	май	34.3	8.62					
BAI	февруари	27.2	9.65	8.07 (23)	< 0.001	300	1.65	1.000
	май	13.4	9.31					
BDI	февруари	23.8	8.92	6.28 (23)	< 0.001	297	1.28	0.980
	май	11.8	8.67					

Таблица 13. Динамика на PSS, SAS, BAI и BDI в тренировъчната група



Фигура 9. Промени в средните стойности и медианите на психометричните показатели в тренировъчната (БФ) група между февруари и май

Резултатите от проведените сравнителни анализи във времето (февруари – май) показват ясно изразено и статистически значимо подобрене във всички изследвани психометрични показатели сред участниците в тренировъчната група (фиг.9). Намалението в нивата на възприет стрес, тревожност и депресия е не само статистически значимо ($p < .001$ за всички показатели), но и съпътствано от изключително високи стойности на ефекта (Cohen's d вариращ от 1.28 до 1.86), което свидетелства за много голяма практическа значимост на установените разлики. Резултатите са в пълна подкрепа на вече публикувани данни от независими проучвания относно ефекта на БФ тренировките върху психичното състояние на студенти (Ratanasiripong et al., 2012; van der Zwan et al., 2015; Goessl et al., 2017).

Анализът показва, че в рамките на тренировъчната програма участниците са постигнали значимо психоемоционално подобрене, изразено в редуциране на възприемания стрес, тревожността и депресивната симптоматика — ефект, наблюдаван и в други страни след провеждането на сходни проучвания (Ratanasiripong et al., 2012; van der Zwan et al., 2015; Munafò et al., 2016; Ravada et al., 2023; Saito et al., 2024).

В контекста на изследването, данните убедително подкрепят ефективността на БФ програмата като инструмент за справяне с хроничен стрес и неговите психопатологични прояви при високостресови популации, каквито са чуждестранните студенти по медицина. Получените резултати не само потвърждават хипотезата за благоприятното въздействие на БФ-тренинга, но и подчертават неговия потенциал като устойчива и клинично значима програма, приложима в образователна и здравна среда (Goessl et al., 2017; Castro Ribeiro et al., 2023).

3.1.3. Взаимодействие между време и група

За да се оцени дали програмата е имала ефект върху изследваните показатели в тренировъчната група в сравнение с контролната, е проведен анализ на взаимодействието между време и група чрез Repeated Measures ANOVA с два фактора: време (Февруари → Май) и група (контролна срещу тренировъчна).

3.1.3.1. PSS

Двуфакторният ANOVA анализ установи статистически значимо взаимодействие между факторите „време“ и „група“ по отношение на възприетия стрес ($F(1,45)=23.8$, $p<.001$, $\eta^2=0.136$), което показва, че промяната във времето е различна в тренировъчната и контролната група и подкрепя ефективността на приложената програма. Установен е ефект на факторите „време“ ($F(1,45)=10.4$, $p=.002$, $\eta^2=0.064$) и „група“ ($F(1,45)=11.7$, $p=.001$, $\eta^2=0.154$), което свидетелства както за обща промяна в нивата на стрес между февруари и май, така и за различие между двете групи като цяло. Post hoc анализът показва, че в началото на изследването

тренировъчната група е със значимо по-високи нива на възприет стрес спрямо контролната ($p < .001$), докато в края на интервенционния период тази разлика вече не се установява ($p = 0.997$). Допълнително, значимо понижение на нивата на стрес се наблюдава единствено в тренировъчната група ($p < .001$), докато при контролната група не се отчита съществена промяна ($p = 0.657$). Въпреки значимия тест на Левийн при първото измерване ($p = .002$), резултатите следва да се разглеждат като достатъчно устойчиви предвид близкия брой участници в двете групи.

Този модел на редукция на стреса е в съзвучие с публикувани данни, според които БФ и HRV БФ тренировъчните програми водят до значимо намаляване на стреса и тревожността, включително в студентски популации и в контролирани образователни среди (Ratanasiripong et al., 2012; Goessl et al., 2017; Ravada et al., 2023).

3.1.3.2. SAS

ANOVA анализът установи статистически значимо взаимодействие между време и група по отношение на нивата на тревожност (SAS), $F(1,45) = 58.5$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.105$, което показва, че промяната между февруари и май е различна в тренировъчната и контролната група и подкрепя ефективността на приложената програма. Установен е също значим основен ефект на времето, $F(1,45) = 43.5$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.078$, както и значим основен ефект на групата, $F(1,45) = 13.0$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.165$, което свидетелства както за обща промяна в тревожността във времето, така и за различие между двете групи като цяло. Проверка на предпоставките не установи нарушения на хомогенността на дисперсиите нито при първото (Levene's $p = .283$), нито при второто измерване (Levene's $p = .788$), което подкрепя надеждността на анализа. Post hoc сравненията показват, че в началото на изследването тренировъчната група има значимо по-високи нива на тревожност спрямо контролната ($p < .001$), докато в края на интервенционния период тази разлика вече не се установява ($p = .902$). Допълнително, значимо понижение на тревожността се наблюдава само в

тренировъчната група ($p < .001$), докато при контролната група не се отчита статистически значима промяна ($p = .881$).

Тези резултати подкрепят вече публикувани данни, показващи, че HRV-БФ тренировъчните програми могат да редуцират тревожността и свързания психоемоционален стрес, включително при юноши и студенти (Gholami Tahsini et al., 2017; Lehrer et al., 2020; Wang et al., 2024).

3.1.3.3. BAI

Сходно на публикуваните данни в систематичния обзор на Alneyadi et al. за БФ-базирани програми при тревожност, с мета-аналитичните данни на Lehrer et al. за благоприятния ефект на HRV-БФ върху психичното здраве, както и с рандомизирани проучвания при студенти, отчитащи редукция на тревожността, изследването също установява убедителен ефект по отношение на симптомите на тревожност, съобщени чрез BAI (Gholami Tahsini et al., 2017; Lehrer et al., 2020; Alneyadi et al., 2021; Wang et al., 2024). ANOVA анализът показва статистически значимо взаимодействие между време и група, $F(1,45)=49.6$, $p < .001$, $\eta^2=0.091$, което свидетелства, че промяната между февруари и май протича по различен начин в тренировъчната и контролната група. Наред с това се установяват още ефект на времето, $F(1,45)=38.1$, $p < .001$, както и ефект на групата, $F(1,45)=12.3$, $p = .001$, което показва, че нивата на тревожност се променят значително във времето и същевременно се различават между двете групи като цяло. Тестът на Levene не установява нарушения в хомогенността на дисперсиите при нито едно от измерванията ($p > .60$), което подкрепя надеждността на анализа. Post hoc сравненията показват, че в началото на изследването тренировъчната група има значимо по-високи нива на тревожност спрямо контролната ($p < .001$), докато в края на програмата тази разлика вече не се установява ($p = .842$). Същевременно значим спад във времето се наблюдава единствено в тренировъчната група ($p < .001$), докато при контролната група не е отчетена статистически значима промяна ($p = .928$).

Резултатите показват, че приложената БФ програма е довела до съществено намаляване на симптомите на тревожност в рамките на тримесечния период, което е в съответствие с публикуваните данни при студентски популации (Goessl et al., 2017).

3.1.3.4. BDI

В подкрепа на мета-аналитичните данни за благоприятния ефект на HRV-БФ върху депресивните симптоми, както и на резултатите от публикувани проучвания при студенти и възрастни, изследването установява отчетлив ефект на БФ тренировъчната програма. ANOVA анализът показва статистически значимо взаимодействие между време и група, $F(1,45)=37.4$, $p<.001$, $\eta^2=0.106$, което подчертава, че промяната в стойностите на BDI между февруари и май протича по различен начин в тренировъчната и контролната групи и подкрепя ефективността на приложената интервенция. Установен е и значим ефект на времето, $F(1,45)=18.8$, $p<.001$, $\eta^2=0.053$, което свидетелства за обща промяна в нивата на депресия между двете измервания, както и значим ефект на групата, $F(1,45)=23.4$, $p<.001$, $\eta^2=0.244$, показващ наличие на общи различия между двете групи независимо от времето. Проверка на предпоставките не установява нарушения в хомогенността на дисперсиите ($p>0.05$), което подкрепя надеждността на анализа. Post hoc сравненията показват, че в началото на програмата тренировъчната група има значимо по-високи BDI резултати спрямо контролната (разлика = -17.71 , $p<.001$), докато в края на тренировъчния период тази разлика вече не е статистически значима ($p=0.501$). Същевременно значимо понижение във времето се наблюдава само в тренировъчната група (разлика= 12.00 , $p<.001$), докато при контролната група не се установява статистически значима промяна ($p=0.602$).

Данните показват, че БФ-програмата е довела до съществено редуциране на депресивните симптоми в рамките на тримесечния период. ANOVA анализите за всеки от психометричните инструменти (PSS, SAS, BAI и BDI) разкриват консистентен модел

на значими взаимодействия между времето (преди и след програмата) и групата (тренировъчна срещу контролна). При всички скали се установява статистически значимо взаимодействие „време $\times$ група“, което свидетелства, че ефектът от програмата се проявява различно в двете групи. Конкретно, при тренировъчната група се наблюдава значимо понижение в нивата на възприет стрес, тревожност и депресивна симптоматика между февруари и май, докато при контролната група не се отчитат съществени промени.

Освен това, във всички случаи се наблюдават и ефекти на времето и на групата, което подсилва заключенията за ефективността на прилаганата програма върху психичното благополучие на участниците в тренировъчната група. Размерът на ефекта (η^2) във всички случаи е в границите на малък до среден, което е типично за поведенческите програми с подобен характер (Goyal et al., 2014; Heber et al., 2017; Dawson et al., 2020; Amanvermez et al., 2022).

3.2. Лабораторни показатели

3.2.1. Кортизол

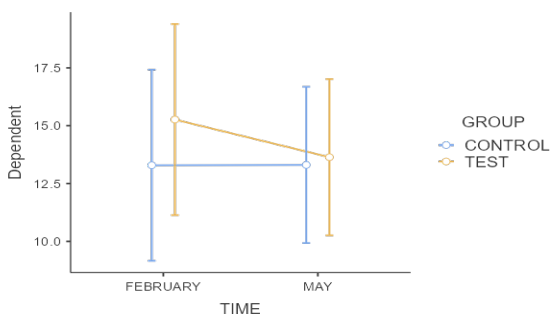
Проведен е ANOVA анализ с цел да се анализират промените в нивата на слюнчен кортизол между две времеви точки (февруари и май) при участници от тренировъчната и контролна група.

Не се установи статистически значим ефект на времето, което означава липса на значима промяна в нивата на кортизол при всички участници в периода февруари-май ($p=.662$). Ефектът на фактора „група“ също не е значим, което предполага, че няма съществена разлика между тренировъчната и контролната група като цяло ($p=.550$).

Не се установи и статистически значимо взаимодействие между време и група ($p=0.656$), което показва, че промяната във фактора „време“ не се различава при двете групи и съответно не може да се заключи, че програмата е имала ефект върху нивата на кортизол. Резултатите от теста на Левийн демонстрират липса на значими разлики във вариациите между групите през февруари ($p=0.192$) и май

($p=0.696$), което потвърждава хомогенността на дисперсиите и съответно прави анализа надежден.

Post hoc анализът не установи значими разлики между групите във всяка времева точка, както и в динамиката на промяна във времето вътре в групите. Всички p -стойности са над 0.80, което допълнително подкрепя заключението за липса на статистически значими ефекти (фиг.10).



Фигура 10. Взаимодействие между време и група по отношение на кортизол

Получените данни дават основание да бъде направено заключението, че макар програмата да е ефективна по отношение на психометричните показатели, тя не е довела до статистически значима промяна в нивата на слюнчения кортизол в края на изследвания период. Резултатите са в съответствие с данни, според които БФ и сродни програми подобряват субективния стрес и психичното благополучие, без да водят до отчетливи междугрупови различия в кортизола (Hunter et al., 2019; Brinkmann et al., 2020; Pratap et al., 2020).

Същевременно други проучвания съобщават за значимо понижение на кортизола в слюнка след БФ или други релаксационни програми, което показва, че ефектът върху НРА-оста не е еднозначен (MacLaughlin et al., 2011b; Kotozaki et al., 2014a; Makaracı et al., 2023; Špiljak et al., 2024). Вероятно съобщаваните различия между изследванията се обуславят от продължителността на тренировъчната програма, от нейния вид,

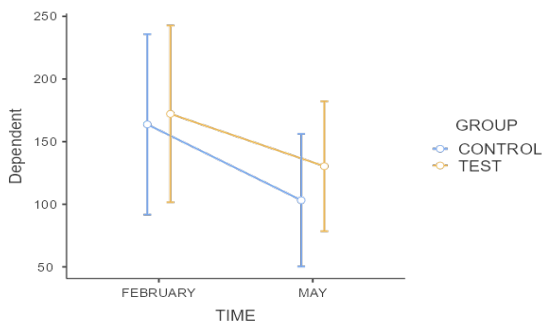
характеристиките на популацията, контекста на стреса и начина на измерване на кортизола. В този контекст данните от проучването следва да се разглеждат предпазливо, тъй като по-скоро показват, че при изследователския дизайн не се установява статистически надеждна промяна в кортизоловия отговор, отколкото че интервенцията е лишена от психофизиологичен ефект.

3.2.2. IgA

Проведен е и ANOVA анализ с цел да се анализират промените в нивата на слюнчен IgA между два времеви периода (февруари и май) при участници от тренировъчната и контролна група.

Наблюдава се значим ефект на фактора „време“ ($p=.041$), което показва, че има статистически значима промяна в нивата на IgA във времето при всички участници. Това предполага наличие на обща тенденция за промяна на нивото на IgA между февруари и май, установена и при други студентски популации (Otsuki et al., 2004; Lester et al., 2010).

Липсата на статистически значимо взаимодействие между времето и групата ($p=.702$), означава, че двете групи не са показали различна динамика във времето. Резултатите от междугруповото сравнение също не показва значими разлики по отношение на нивата на IgA, което подсказва, че няма общо систематично различие между двете групи, независимо от времето на измерване (фиг.11).



Фигура 11. Взаимодействие между време и група по отношение на IgA

Анализът на сравнителните тестове също подкрепя този извод. Нито едно от множествените сравнения между различни времеви периоди и групи не достига статистическа значимост (всички p -стойности > 0.3), което потвърждава липсата на взаимодействие между времето и групата и отсъствието на специфичен ефект на програмата върху нивата на IgA.

Въпреки установената промяна в нивата на IgA във времето, липсата на значимо взаимодействие между време и група не позволява тази динамика да бъде интерпретирана като специфичен ефект на проведената БФ програма. Подобен модел е описан и в други интервенционни проучвания, при които се наблюдават промени в психологичните показатели или обща времева динамика, без да се установява специфичен междугрупов ефект върху мукозния IgA (Berger & O'Brien, 1998; Díaz-Silveira et al., 2020; MacLaughlin et al., 2011). Това предполага, че регистрираните изменения в IgA по-скоро отразяват въздействието на неспецифични фактори, свързани с академичния контекст, времето на измерване и естествената вариабилност на маркера, отколкото директен ефект на проведената БФ тренировъчна програма (Jemmott et al., 1983; Seizer et al., 2024).

4. Лонгитудинални анализи

Лонгитудиналните анализи представляват подход за статистическа оценка на данни, събрани от едни и същи участници в два или повече последователни времеви момента. Тяхното основно предимство е, че позволяват да се проследи динамиката на изследваните показатели във времето и да се установи дали настъпват значими промени в рамките на изследваните групи (Caruana et al., 2015).

Използването на лонгитудинални анализи дава възможност да се оцени не само наличието на промени в психометричните, физиологичните и лабораторните показатели, но и дали тези промени са свързани с ефекта на приложената тренировъчна програма, с влиянието на времето или с взаимодействието между

двата фактора, като така можем да постигнем по-задълбочено и методологично обосновано изясняване на ефектите от БФ-програмата върху изследваните параметри.

4.1. Линеен тренд на HRV във времето

Сърдечната вариабилност (HRV) е чувствителен маркер за ВНС, който отразява баланса между симпатиковата и парасимпатиковата активност. Параметри като SDNN, RMSSD, Mean Heart Rate (MHR), Mean Heart Rate Range (MHRR), Normalized Coherence и Mean Inter-Beat Interval (IBI) предоставят ценна информация за физиологичния отговор към стрес и ефективността на интервенции като HRV БФ (Lehrer and Gevirtz, 2014).

Анализът цели да проследи промяната в тези показатели във времето и да определи дали броят на проведените сесии има статистически значим ефект върху тях.

За изследване на трендовете във времето беше използван линеен смесен модел (Linear Mixed Model, LMM) в среда Jamovi (модул GAMLj). Използваният подход позволява моделиране на зависимостта между измерванията при един и същи участник и контролира влиянието на индивидуалните различия (табл.14).

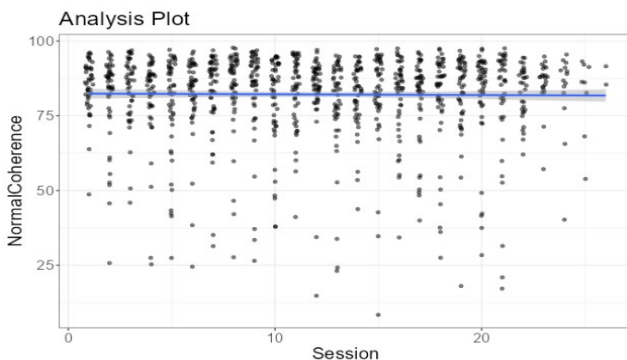
Показател	Наклон (b)	SE	95% CI	p	R ² Marginal	R ² Conditional	ICC
Normalized Coherence	0.0095	0.075	[-0.137; 0.156]	0.900	0.000019	0.359	0.350
MHRR	0.213	0.171	[-0.121; 0.546]	0.225	0.00188	0.450	0.441
Mean Heart Rate	0.157	0.147	[-0.131; 0.445]	0.287	0.0009	0.189	0.182
SDNN	0.0095	0.075	[-0.137; 0.156]	0.900	0.000019	0.359	0.350
RMSSD	0.666	0.564	[-0.451; 1.780]	0.255	0.00271	0.34958	0.326
Mean IBI	0.666	0.564	[-0.451; 1.780]	0.255	0.00271	0.34958	0.326

Таблица 14. Резултати от линейните смесени модели за динамиката на HRV показателите във времето

4.1.1. Normalized Coherence

Кохерентност в контекста на сърдечната вариабилност означава степен на съгласуваност, синхронизация и ритмична подреденост на колебанията в сърдечния ритъм, като по-високата кохерентност отразява по-стабилен и регулярен сърдечен ритъмен модел (McCraty & Shaffer, 2015).

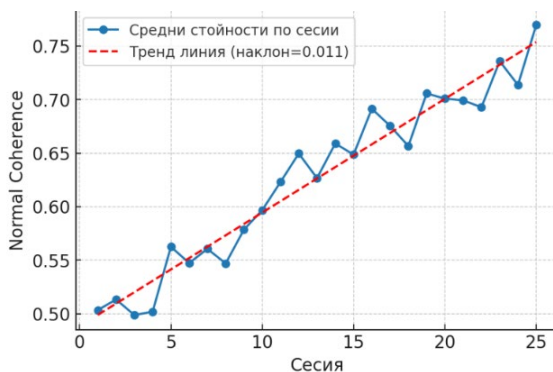
Normalized coherence представлява показател от честотния домейн, който отразява относителния дял на мощността около най-изразения пик в кохерентния диапазон спрямо общата спектрална мощност. Анализът на Normalized Coherence не установява статистически значим ефект на фактора „сесия“ ($F(1, 21.3)=0.0161$, $p=0.900$), което означава, че при зададеното ниво на статистическа значимост и данни не може с висока увереност да се приеме, че настъпилата промяна е различна от случайна вариация (табл.14 & фиг.12). Подобни са данните и от други проучвания, проведени през последните 5 години (Timofejeva et al., 2021; Savulescu-Fiedler et al., 2025; Olarza et al., 2026).



Фигура 12. Динамика на Normalized Coherence по сесии с регресионна линия на тенденцията

Въпреки това графичното изследване на данните разкрива отчетлива положителна тенденция в средните стойности на Normalized Coherence през времето (фиг.13). Както се вижда на фигурата, наклонът на трендовата линия е положителен (0.011), а

точките, представляващи средните стойности за всяка сесия, очертават плавно и почти линейно нарастване от приблизително 0.50 в началото на периода до около 0.76 в края. Това показва, че при участниците се наблюдава постепенно подобрене в Normalized Coherence, въпреки че не достига статистическа значимост.



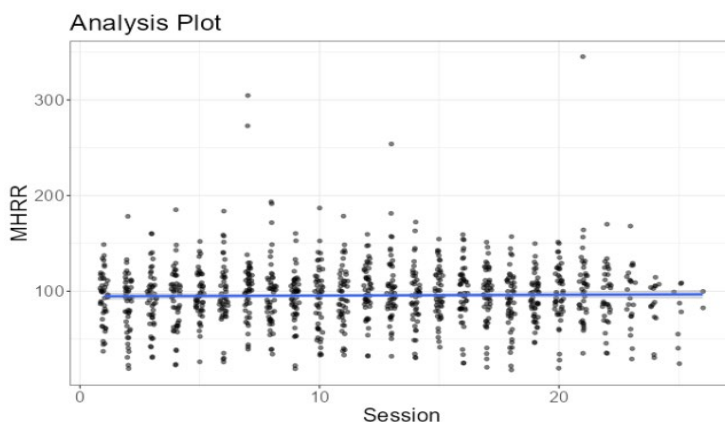
Фигура 13. Тренд на средните стойности на Normalized Coherence в хода на последователните сесии

Несъответствието между визуалния тренд и резултатите от статистическия тест може да бъде обяснено с няколко фактора: (1) относително малък брой участници и сесии в сравнение с вариабилността в данните; (2) индивидуални разлики в отговора на програмата, които увеличават дисперсията; (3) възможни нелинейни ефекти, които линейният модел не отчита.

В практическо отношение обаче визуалната тенденция има значение, тъй като показва устойчив модел на подобрене, който може да стане статистически значим при по-голяма извадка или по-дълъг период на проследяване. Комбинираното използване на статистически тестове и графичен анализ е особено важно при интерпретацията на данните в психофизиологичните изследвания, където част от наблюдаваните промени могат да бъдат практически или клинично значими, без непременно да достигат статистическа значимост.

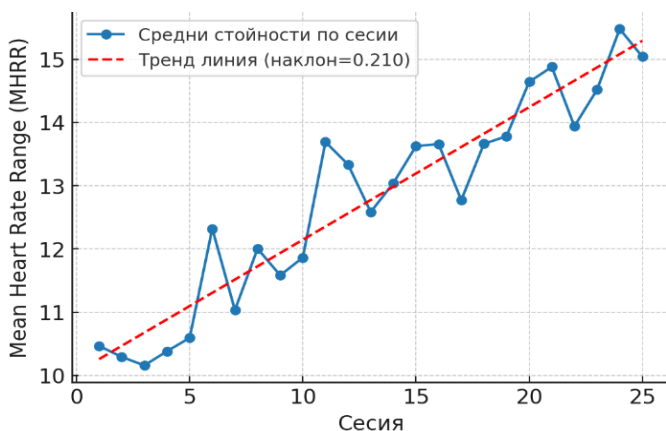
4.1.2. Mean Heart Rate Range (MHRR)

Mean Heart Rate Range (MHRR) представлява показател от времеви домейн на вариабилността на сърдечната честота, изразен в удари в минута, който се изчислява като средната разлика между максималната и минималната сърдечна честота във всеки дихателен цикъл. С други думи, той отразява амплитудата на ускоряване и забавяне на сърдечния ритъм по време на дишането (Shaffer & Ginsberg, 2017). Анализът на MHRR чрез линеен смесен модел показва, че ефектът на фактора „сесия“ не е статистически значим ($F(1, 20.3)=1.56, p=0.225$) (табл.14 & фиг.14).



Фигура 14. Динамика на MHRR по сесии с регресионна линия на тенденцията

Въпреки това визуалното представяне на данните разкрива ясно изразен положителен тренд във времето (фиг.15). Наклонът на линията на регресия е положителен, а средните стойности на MHRR постепенно нарастват от началните сесии към края на проследяването. Тази траектория подсказва, че участниците може би са развили по-широк диапазон на сърдечната честота в отговор на програмата, което е в съответствие с физиологичната хипотеза за подобряване на вариабилността и адаптивността на сърдечно-съдовата система при продължителна HRV биологична обратна връзка. Подобни резултати се наблюдават и при други изследвания, касаещи БОВ (Dolgilevica et al., 2025; Firth et al., 2022; Six Dijkstra et al., 2023).



Фигура 15. Тренд на средните стойности на MHRR в хода на последователните сесии

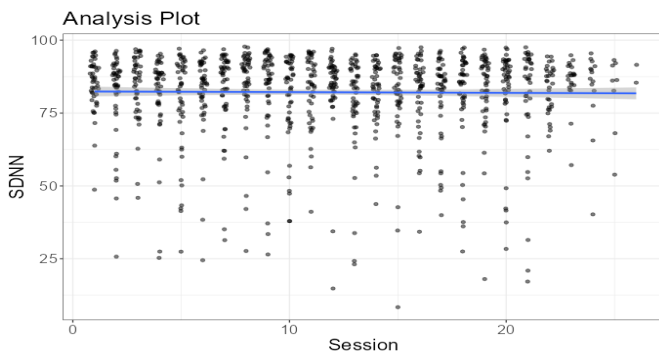
Разминаването между визуалния положителен тренд и липсата на статистическа значимост може да бъде обяснено с няколко фактора: (1) размерът на извадката, който е относително малък за този тип анализ; (2) висока индивидуална вариабилност в MHRR, отразена и в сравнително широките доверителни интервали; (3) възможно наличие на нелинейни ефекти, които линеен модел не може да улови.

Практическата интерпретация на резултатите предполага, че демонстрираната от MHRR положителна тенденция в посока на физиологично подобрение, може да придобие статистическа значимост при по-голяма извадка или по-дълъг период на проследяване. Това е от значение за клиничната приложимост, тъй като по-големият диапазон на сърдечната честота е показател за по-добра автономна регулация и адаптивен капацитет на организма.

4.1.3. Стандартно отклонение на NN интервалите (SDNN)

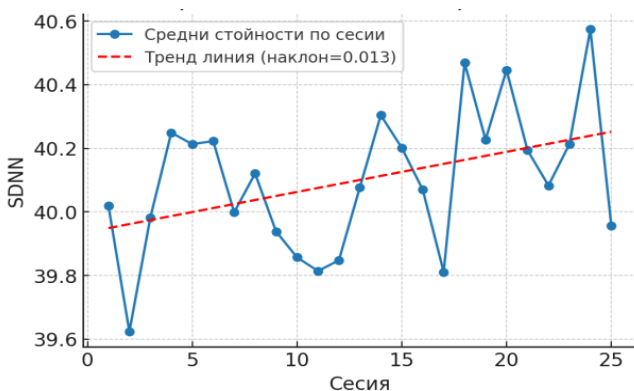
SDNN е един от основните времеви показатели на HRV и отразява общата автономна регулация на сърдечния ритъм (Shaffer & Ginsberg, 2017). Анализът на този показател чрез линеен смесен модел е проведен, за да се оцени дали в хода на сесиите настъпва промяна в общата HRV при участниците (табл.14). В изследването не се установи статистически значим ефект на фактора „сесия“

върху стойностите на този показател ($F(1, 21.3)=0.0161$, $p=0.900$) (фиг.16).



Фигура 16. Динамика на SDNN по сесии с регресионна линия на тенденцията

Въпреки това графичното представяне на данните разкрива слабо положителна тенденция на промяна в SDNN във времето, макар и с минимален наклон (фиг.17). Средните стойности по сесии остават относително стабилни, без рязко изразени колебания, което говори за поддържане на сходно ниво на общата вариабилност на сърдечната честота по време на програмата. Подобен ефект се наблюдава и в редица други проучвания (Brinkmann et al., 2020; Firth et al., 2022; Meeuwssen et al., 2021).



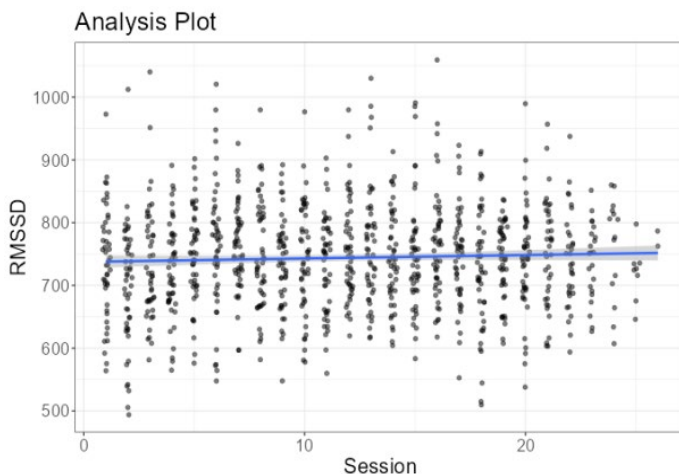
Фигура 17. Тренд на средните стойности на SDNN в хода на последователните сесии

SDNN е интегрален показател, отразяващ както симпатиковата, така и парасимпатиковата активност, и е силно повлиян от продължителността на записа и общото състояние на ВНС. Липсата на значима промяна може да се дължи на няколко фактора: (1) ефектът на тренировъчната програма върху този показател може да изисква по-дълъг период, за да се наблюдава промяна; (2) индивидуалните различия между участниците са относително големи, което увеличава стандартната грешка; (3) възможно е SDNN да е по-слабо чувствителен към краткосрочни адаптационни промени в сравнение с по-специфични HRV показатели като RMSSD.

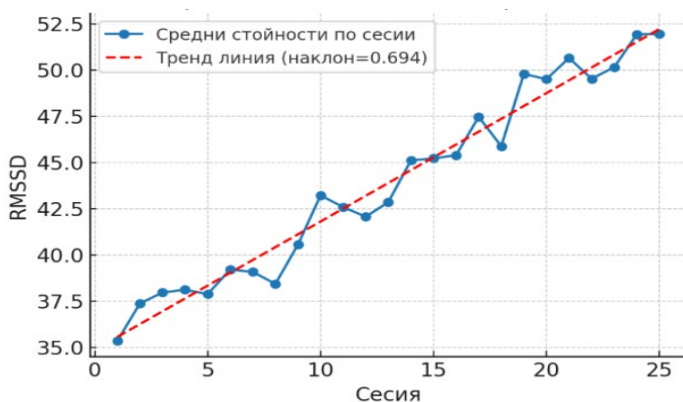
Въпреки липсата на статистическа значимост, запазването на стабилни SDNN стойности през целия период на проследяване може да се тълкува положително, тъй като не се наблюдава намаляване на вариабилността – явление, което често се асоциира с хроничен стрес и понижена автономна регулация. В този контекст стабилността на SDNN може да се разглежда като индикатор за запазване на автономния баланс по време на програмата за БОВ.

4.1.4. Root Mean Square of Successive Differences (RMSSD)

RMSSD е един от най-често използваните времеви показатели на HRV и се приема за чувствителен маркер на парасимпатиковата активност (Shaffer & Ginsberg, 2017). Анализът на този показател чрез линеен смесен модел цели да проследи дали в хода на сесиите настъпва промяна във вагусовата регулация на сърдечния ритъм при участниците (табл.14). Не се откри статистически значим ефект на фактора „сесия“ върху стойностите на този показател ($F(1, 22.6)=1.36$, $p=0.255$) (фиг.18), но графичното представяне на резултатите показва слабо изразена положителна тенденция във времето, при която средните стойности на RMSSD постепенно нарастват (фиг.19).



Фигура 18. Динамика на RMSSD по сесии с регресионна линия на тенденцията



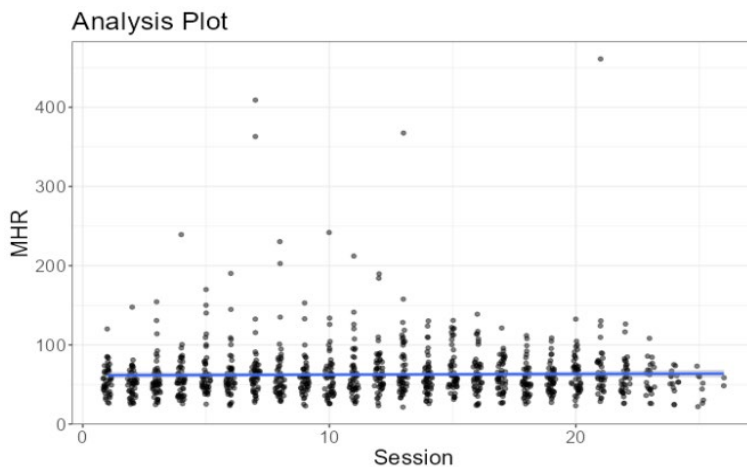
Фигура 19. Тренд на средните стойности на RMSSD в хода на последователните сесии

Предполага се, че при част от участниците е възможно да се наблюдава подобрене в парасимпатиковата активност и в способността за бърза адаптация на сърдечната честота, макар ефектът да не е достатъчно силен, за да достигне статистическа значимост в рамките на извадката.

RMSSD е чувствителен показател, отразяващ краткосрочните флукутации в сърдечния ритъм, свързани основно с вагусова регулация. Редица автори го използват като основен индикатор за възстановителни процеси и релаксационни ефекти при БФ тренировъчни програми (DeGiorgio et al., 2010; Grässler et al., 2021; Zeng et al., 2023). В този контекст наблюдаваната възходяща тенденция може да се разглежда като възможен положителен ефект от БФ върху ВНС, който би могъл да се прояви по-ясно при по-продължително проследяване или при по-голяма извадка.

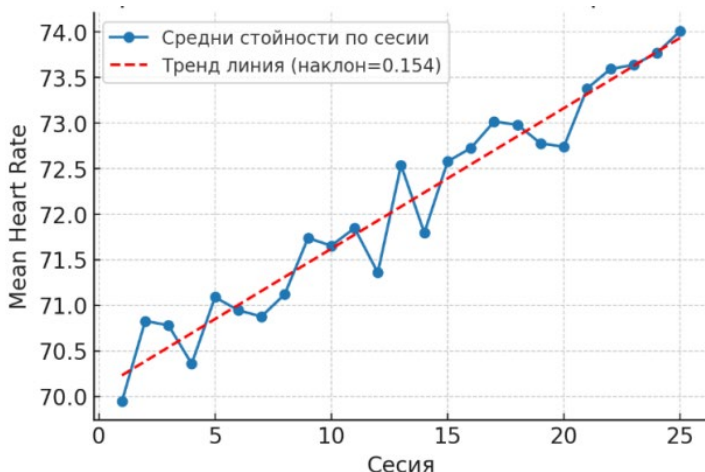
4.1.5. Mean Heart Rate (MHR)

Средната сърдечна честота (MHR) е базов физиологичен показател, който отразява общото ниво на сърдечна активация и може индиректно да отразява промените в автономната регулация по време на тренировъчната програма (Shaffer & Ginsberg, 2017). С цел да се проследи дали в хода на последователните сесии настъпва системна промяна в този показател, е приложен линеен смесен модел (табл.14). Анализът не установи статистически значим ефект на фактора „сесия“ върху MHR ($F(1, 21.1)=1.17$, $p=0.287$) (фиг.20).



Фигура 20. Динамика на MHR по сесии с регресионна линия на тенденцията

Графичното представяне на резултатите показва леко възходяща тенденция в средните стойности на MHR по сесии, но наклонът на линията на тренда е сравнително малък, а колебанията между отделните сесии остават в тесен диапазон (фиг.21). Това говори за относителна липса на промяна в средната сърдечна честота по време на целия период на БФ тренировъчна програма.



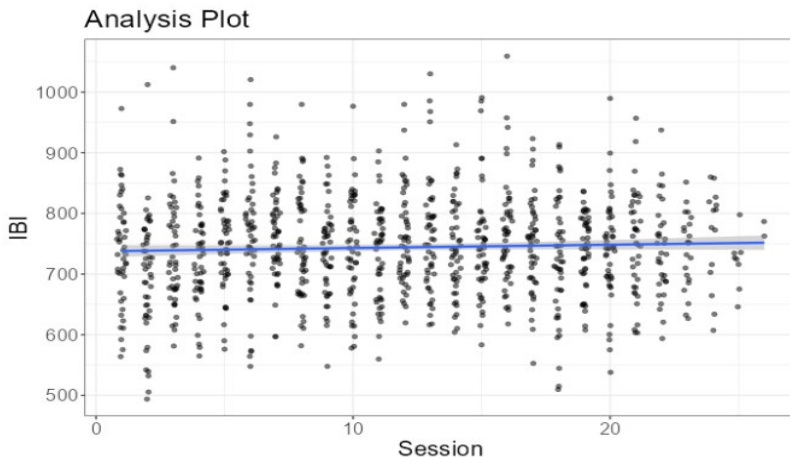
Фигура 21. Тренд на средните стойности на MHR в хода на последователните сесии

Стабилността на MHR може да се интерпретира като запазване на кардиоваскуларната хомеостаза, при която не настъпват резки или трайни промени в основното ниво на сърдечната честота. Наблюдаваната възходяща тенденция би могла да се свърже с постепенно нарастваща ангажираност в тренировките, повишен тонус или адаптационни реакции, но тези ефекти остават недостатъчно изразени, за да достигнат статистическа значимост. Подобен модел е описан и в други изследвания на HRV БФ. Например Nashiro и негови сътрудници съобщават, че в рамките на 5-седмична рандомизирана интервенция средната сърдечна честота по време на тренировките остава сходна между условията, въпреки отчетливи различия в сърдечните осцилации и някои HRV показатели. Това подкрепя идеята, че БФ може да повлиява

регулаторните механизми, без да води до изразени промени в базовото ниво на сърдечната честота (Nashiro et al., 2022). В същата посока Lehrer отбелязва в систематичен обзор и мета-анализ върху HRV БФ, че подобренето в дихателната синусова аритмия и барорефлексната регулация не е задължително съпроводено от съществена промяна в средната сърдечна честота, което е съвместимо с интерпретацията за запазена кардиоваскуларна стабилност (Lehrer et al., 2020).

4.1.6. Mean Inter-Beat Interval (IBI)

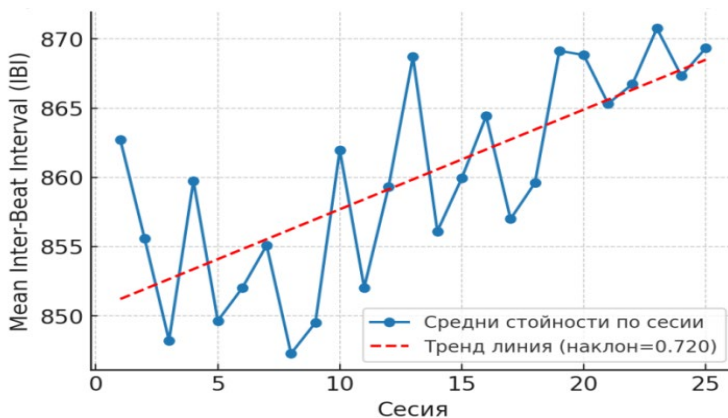
IBI е времеви показател, който отразява средната продължителност между последователните сърдечни удари и е обратно свързан със сърдечната честота (Shaffer & Ginsberg, 2017). За оценка на евентуални промени в този показател в хода на интервенцията е приложен линеен смесен модел, който не установява статистически значим ефект на фактора „сесия“ ($F(1, 22.6)=1.36$, $p=0.255$) (табл. 14 и фиг.22).



Фигура 22. Динамика на IBI по сесии с регресионна линия на тенденцията

Графичното представяне на резултатите показва слаба възходяща тенденция, при която средните стойности на IBI

постепенно се увеличават в хода на сесиите (фиг.23). Този модел на промяна предполага леко удължаване на времето между сърдечните удари, което може да се интерпретира като признак за повишен парасимпатиков тонус и по-ефективна сърдечна функция при някои участници.



Фигура 23. Тренд на средните стойности на IBI в хода на последователните сесии

По-високите стойности на IBI са свързани с по-ниска средна сърдечна честота и често се разглеждат като индикатор за по-добра автономна регулация и кардиоваскуларна адаптация (McCraty & Shaffer, 2015). Въпреки това установената тенденция в изследването е твърде слаба и статистически незначима, което ограничава възможността за категорични заключения.

В контекста на научната литература тези резултати са съпоставими с други проучвания, при които краткосрочни HRV БФ тренировъчни програми не водят до статистически значими групови промени в основните HRV показатели, но се наблюдават тенденции към стабилизиране или подобрене при подгрупи участници и при по-ангажирани с програмата индивиди (Firth et al., 2022; Hirtten et al., 2024; Meeuwsen et al., 2021). Това подкрепя хипотезата, че по-интензивни или по-продължителни протоколи,

както и по-добър контрол върху придържането към тренировките биха могли да разкрият по-ясно изразени положителни ефекти.

От практическа гледна точка относителната стабилност на HRV параметрите при извадка с висок риск от стрес може да се разглежда като потенциално благоприятен резултат, доколкото хроничният психосоциален стрес обичайно се свързва с редукция на HRV и с белези на автономна дисрегулация (Kim et al., 2018; de Vries et al., 2022; Benítez-Agudelo et al., 2025). Съответно запазването или лекото им повишаване, макар и статистически незначимо, може да има практическа стойност.

4.2. Нелинеен тренд (квадратичен компонент)

За да се оцени ефектът от 11-седмичната БФ-програма върху физиологичните показатели на участниците, са приложени линейни смесени модели с добавен квадратичен компонент (Session и Session²). Този подход позволява да се изследва не само наличието на линеен тренд (постепенно увеличение или намаляване на показателите във времето), но и нелинейни промени, свързани с потенциално „плато“ или промяна в посоката на динамиката по време на тренировките.

Анализът е извършен за ключови времеви и честотни показатели на вариабилността на сърдечната честота, включително Normalized Coherence, SDNN, MHRR, Mean HR, RMSSD и Mean IBI (табл.15).

Показател	Линеен ефект (b, SE, p)	Квадратичен ефект (b, SE, p)	F(df, df), p – линеен	F(df, df), p – квадрат.	R ² marginal	R ² conditional	Обобщение на тренда	Ориентиран върх/дъно*
Normalized Coherence	-0.298 (0.224), p=0.184	+0.0129 (0.0089), p=0.145	F(1,608)=1.77, p=0.184	F(1,1001)=2.12, p=0.145	0.00141	0.36059	Няма убедим линеен/квадратичен ефект	≈ сесия 12 (несиг.)
SDNN	-0.298 (0.224), p=0.184	+0.0129 (0.0089), p=0.145	F(1,608)=1.77, p=0.184	F(1,1001)=2.12, p=0.145	0.00141	0.36059	Без значими промени	≈ сесия 12 (несиг.)
MHRR	+0.992 (0.473), p=0.036*	-0.0321 (0.0186), p=0.078	F(1,547)=4.40, p=0.036*	F(1,1009)=3.12, p=0.078	0.00340	0.45110	Значим линеен ръст, с индикация за „плато“	върх ≈ сесия 15–16
Mean HR	+1.707 (0.572), p=0.003*	-0.0647 (0.0230), p=0.005*	F(1,1046)=8.90, p=0.003*	F(1,1032)=7.88, p=0.005*	0.00688	0.19370	Значим ръст, последван от забавяне/спад	върх ≈ сесия 13
RMSDD	+4.288 (1.374), p=0.002*	-0.153 (0.053), p=0.004*	F(1,464)=9.75, p=0.002*	F(1,1033)=8.36, p=0.004*	0.00773	0.35453	Значимо нарастване, достигане плато	върх ≈ сесия 14
Mean IBI	+4.288 (1.374), p=0.002*	-0.153 (0.053), p=0.004*	F(1,464)=9.75, p=0.002*	F(1,1033)=8.36, p=0.004*	0.00773	0.35453	Значимо удължаване, достигане плато	върх ≈ сесия 14

Таблица 15. Линеен и квадратичен времев ефекти в динамиката на HRV показатели

4.2.1. Подробна интерпретация по показатели

При **Normalized Coherence** не се установява ясно изразена и статистически потвърдена промяна в хода на програмата. Визуално може да се забележи тенденция към леко подобрене на кохерентността при част от участниците, но тази промяна не е достатъчно последователна на групово ниво. Това означава, че броят на проведените сесии сам по себе си не води до устойчиво повишаване на сърдечната кохерентност. По-вероятно е стойностите на този показател да се влияят в по-голяма степен от индивидуалните особености на автономната регулация, началното ниво на кохерентност и различията в начина, по който участниците усвояват дихателните и саморегулаторните техники. Следователно, при използваната извадка **Normalized Coherence** остава относително стабилен показател, без убедителни данни за кумулативен ефект на тренировъчните сесии върху него.

SDNN показва почти идентичен модел: липса на значими линейни и квадратични ефекти и нисък маргинален R^2 , при съществен $ICC \approx 0.35$. Като основен индикатор **SDNN** често е по-инертен и по-чувствителен към продължителността и условията на запис. В контекста на изследването може да се отбележи, че тримесечният период най-вероятно не е достатъчен, за да се предизвикат отчетливи групови промени в общата вариабилност.

За **MHRR** в модела с квадратичен компонент се установява статистически значим положителен линеен ефект във времето и тенденция за отрицателен квадратичен компонент ($p=0.078$). Това означава, че диапазонът на сърдечната честота се разширява с напредване на сесиите, но темпът на разширяване постепенно се забавя и около 15–16-та сесия се достига „плато“. Практически този модел може да се интерпретира като ранно нарастване на показателя с последващо изравняване на промяната в по-късните сесии.

MHR следва класически нелинеен, konkaven надолу профил: тя нараства в ранните сесии (значим линеен ефект), но отрицателният квадратичен компонент показва забавяне и последващо леко понижаване, с изчислен връх около 13-та сесия. Такъв двуфазов

отговор е типичен при адаптация: първоначално активиране/тониране, последвано от стабилизиране на кардиоваскуларния отговор при усвояване на техниките за дишане и регулация.

При **RMSSD** се наблюдават статистически значим положителен линеен ефект и значим отрицателен квадратичен компонент. Това очертава модел на начално нарастване на стойностите, последвано от забавяне на промяната и тенденция към стабилизиране около 14-ата сесия. В интерпретативен план този резултат отразява по-изразена ранна адаптация към тренировките и последващо установяване на относително стабилно ниво.

Mean IBI повтаря модела на **RMSSD**: значим линеен ръст и значим отрицателен квадратичен ефект, което означава, че интервалът между сърдечните удари се удължава в началото (индиректно – редукция на средната сърдечна честота) и се стабилизира към 14-та сесия. Направената интерпретация подкрепя тезата за засилен парасимпатиков тонус и по-оптимизирана кардиореспираторна динамика след усвояване на тренировъчните техники.

4.2.2. Общи изводи за динамиката на програмата

Когато разгледаме показателите заедно, се очертава кохерентна двуфазова траектория на адаптацията: в първите 14-16 сесии се наблюдава отчетливо подобрение в индикаторите, свързани с вагусов контрол и сърдечна адаптивност (**RMSSD**, **IBI**, **MHRR** – положителни трендове; **Mean HR** – временно повишение с последваща нормализация), а след това процесът се стабилизира (значими отрицателни квадратични компоненти при **Mean HR**, **RMSSD** и **IBI**; тенденция при **MHRR**). Липсата на значими промени при **SDNN** и **Normalized Coherence** подсказва, че общата вариабилност и кохерентност не показват кумулативен ефект в рамките на тренировъчния период. Стабилността им при високостресова групова извадка може да се тълкува положително – липсва прогресивно влошаване.

Вариационните компоненти показват съществени междуиндивидуални различия (**ICC** 0.19–0.45), особено изразени

при MHRR, RMSSD и IBI. Резултатите ясно показват, че участниците се отличават както по своя изходен автономен профил, така и по степента, в която сърдечно-съдовата им регулация се адаптира в хода на тренировъчната програма. Ето защо индивидуалните особености на автономната регулация следва да бъдат отчитани при планирането и интерпретацията на ефектите от БФ програмата.

Кохерентната двуфазова траектория на адаптацията подкрепя съвременните концептуални модели за адаптация на сърдечната вариабилност. Систематичният обзор на Wareing et al. предлага поетапен модел, според който в ранната фаза на тренировъчната програма дихателните упражнения първоначално усилват осцилационната координация между физиологичните системи и водят до общо нарастване на индекси като SDNN, докато на по-късен етап ефектът преминава към по-устойчива регулация и стабилизиране на отговора (Wareing et al., 2024). Наблюдаваният в изследването модел – ранно подобрене в показатели, свързани с вагусов контрол и сърдечна адаптивност, последвано от стабилизация – е физиологично правдоподобен и съответства на описаната в литературата логика на поетапна автономна адаптация.

Същевременно публикуваните интервенционни проучвания най-често разчитат на сравнения между първоначалните и крайните HRV стойности или на ограничен брой времеви измервания, което затруднява улавянето на по-финия вътрешен ход на промяната. Ratajczak et al. подчертават, че изследванията върху HRV БФ често са ограничени от методологични трудности, включително недостатъчна оценка на тренировъчната вярност, и показват, че сравняването само на данни преди, след 10 сесии и след 20 сесии разкрива зависимостта «доза-ефект» на тренировъчната програма (Ratajczak et al., 2021). Систематичният анализ на Balaji и сътрудници, основан на приблизително 1.8 милиона HRV БФ сесии, демонстрира, че показатели като IBI, SDNN и RMSSD варират системно в зависимост от нивото на кохерентност по време на тренировките. Резултатите подкрепят идеята, че сесийната динамика съдържа важна физиологична

информация, която не може да бъде сведена само до сравнения между началните и крайните стойности (Balaji et al., 2025).

На този фон проведеното проучване разглежда адаптацията не само като разлика между два момента, а като процес в хода на последователни сесии, моделиран чрез линейни смесени модели за няколко HRV показателя. Според достъпната литература подобна комбинация от многосесиен анализ, фокус върху времевата траектория, включване както на класически HRV показатели (SDNN, RMSSD, IBI), така и на показатели за сърдечна честота и кохерентност, и приложение при група чуждестранни студенти по медицина с високи нива на стрес се среща изключително рядко. Именно в това направление изследването предлага своя основен принос: ефектът на тренировъчната програма се оценява чрез проследяване на начина, по който автономната адаптация се развива, достига по-изразена физиологична изява и впоследствие се стабилизира в хода на последователните БФ сесии.

5. Мултивариантни и факторни анализи

Мултивариантните и факторните анализи представляват статистически подходи, чрез които се изследват взаимовръзките между множество променливи едновременно (Nazra and Gogtay, 2017). Използвани са с цел установяване на евентуално групиране на отделните психометрични, физиологични и поведенчески показатели в общи фактори и открояване на тези, които имат най-съществен принос за обяснение на наблюдаваните различия и промени.

5.1. PSS

Анализът на ковариация (ANCOVA) цели да се оцени ефектът на тренировъчната програма върху възприемания стрес (PSS). В модела като независими фактори са въведени принадлежността към съответната група (тренировъчна срещу контролна) и полът, а като ковариати – възрастта и стойности на PSS, отчетени през февруари.

Общият модел обяснява 17.7% от вариацията в стойностите на PSS през май (табл.16). Значим предиктор за тези крайни стойности е изходната стойност на PSS, отчетена през февруари, което показва, че началното ниво на възприеман стрес оказва съществено влияние върху резултатите след програмата. Ефектът на принадлежността на групата е гранично значим, като средните стойности показват по-ниски резултати в тренировъчната група ($M = 13.26$, 95% CI = 9.99–16.53) в сравнение с контролната ($M = 18.12$, 95% CI = 14.76–21.48). Полът и възрастта не показват значимо влияние.

Ефект	F(1,42)	p	partial η^2	95% CI (η^2)
Група	3.36	0.074	0.074	0.000 – 0.250
Пол	0.30	0.586	0.007	0.000 – 0.123
Възраст	0.17	0.683	0.004	0.000 – 0.109
PSS - Февруари	7.61	0.009*	0.153	0.011 – 0.342
Модел (общ)	F(4,42) = 2.26, p = 0.079, R ² = 0.177			

Таблица 16. ANCOVA анализ на факторите, свързани с възприетия стрес през май

За да се провери дали ефектът на тренировъчната програма зависи от изходните нива на стрес, е добавено взаимодействието група $\times$ PSS – февруари (табл.17). Новият модел обяснява 19.1% от вариацията, като отново единствен значим предиктор остава стойността на PSS от февруари.

Ефект	F(1,41)	p	partial η^2	95% CI (η^2)
Група	0.05	0.823	0.001	0.000 – 0.085
PSS - февруари	4.97	0.031*	0.109	0.000 – 0.294
Група $\times$ PSS - Февруари (интеракция)	0.70	0.407	0.016	0.000 – 0.154
Модел (общ)	F(5,41) = 1.94, p = 0.109, R ² = 0.191			

Таблица 17. ANCOVA анализ на факторите, свързани с възприетия стрес през май, с включено взаимодействие между групата и изходните стойности на PSS

Резултатите за възприемания стрес (PSS) показват, че най-силният фактор, който определя нивата на стрес в края на изследването, е изходното ниво, измерено през февруари. Колкото по-високи са началните стойности, толкова по-високи остават и крайните резултати. Полът и възрастта нямат съществено влияние.

Що се отнася до ефекта на БФ програмата, резултатите сочат умерено въздействие, като средните стойности на възприетия стрес са по-ниски в тренировъчната група в сравнение с контролната. Възприеманият стрес се оказва относително стабилен във времето, като програмата показва обещаващ, но несигурен ефект върху неговото намаляване. Такъв ефект се наблюдава и в други проучвания, показващи подобна положителна тенденция (Hernandez et al., 2019; van der Zwan et al., 2019; Lehrer et al., 2020; Benítez-Agudelo et al., 2025).

5.2. SAS

ANCOVA е проведен с цел да се оцени ефектът на БФ програмата върху тревожността, измерена със скалата SAS. В модела като независими фактори са въведени принадлежността към съответната група и полът, а като ковариати – възрастта и стойността на SAS през февруари.

Общият модел обяснява 57.7% от вариацията в стойностите на SAS през май (табл.18). Най-силният предиктор е изходното ниво на тревожност, което свидетелства за висока стабилност на показателя във времето. Ефектът на принадлежността на групата е статистически значим и с голям размер, докато полът и възрастта не демонстрират подобен ефект.

Средните стойности показват, че тренировъчната група ($M=28.03$, 95% CI = 24.89–31.18) има значително по-ниски нива на тревожност в края на програмата в сравнение с контролната група ($M=39.05$, 95% CI = 35.81–42.29). Това е доказателство, че БФ програмата оказва съществено положително въздействие върху намаляването на тревожността при участниците.

Ефект	F(1,42)	p	partial η^2	95% CI (η^2)
Група	18.20	<0.001*	0.303	0.089–0.483
Пол	0.09	0.764	0.002	0.000–0.095
Възраст	0.56	0.456	0.013	0.000–0.143
SAS - февруари	54.46	<0.001*	0.565	0.348–0.689
Модел (общ)	F(4,42) = 14.33, p < .001*, R ² = 0.577			

Таблица 18. ANCOVA анализ на факторите, свързани с нивата на тревожност през май, оценени чрез SAS

Резултатите от анализа на данните от SAS показват, че тревожността е относително стабилна във времето, като стойностите, отчетени непосредствено преди началото на тренировъчната програма, са най-силният предиктор за крайните резултати. Подобна устойчивост на тревожността е описана и в редица лонгитудинални изследвания, включително при студенти по медицина. Данните подкрепят разбирането, че началната оценка на психично състояние е ключов определящ фактор за по-късните нива на тревожност (Carmel and Bernstein, 1989; Stanislawski et al., 2023).

Същевременно БФ-програмата оказва ясно изразен ефект, като участниците имат по-ниски нива на тревожност през май в сравнение с контролната група. Този резултат потвърждава мета-аналитични данни, показващи, че HRV БФ води до значимо намаляване на тревожността и стреса, както и рандомизирани проучвания при студентски популации, при които БФ тренировките също редуцират тревожността в сравнение с контролни групи (Ratanasiripong et al., 2012; Lee et al., 2015; Goessl et al., 2017).

5.3. BAI

ANCOVA е проведен с цел да се оцени ефектът на БФ програмата върху тревожността, измерена чрез BAI. В модела като независими фактори са въведени принадлежността към групата (тренировъчна срещу контролна), както и полът, а като ковариати

– възрастта и стойности на ВАІ, отчетени непосредствено преди изследването.

Общият модел обяснява 58.3% от вариацията в стойностите на ВАІ през май (табл.19). Двата най-силни предиктора са принадлежността към групата и стойностите на тревожността непосредствено преди началото на програмата. Ефектът на принадлежността към групата е статистически значим, което показва значението на тренировъчната програма за постигането на крайните резултати. Стойностите на ВАІ през февруари също се оказват изключително силен предиктор, докато полът и възрастта не показват съществено влияние. Средните стойности демонстрират ясно разграничение между двете групи: тренировъчната група има значително по-ниски нива на тревожност ($M = 7.01$, 95% CI = 3.64–10.38) в сравнение с контролната ($M = 17.56$, 95% CI = 14.09–21.02).

Ефект	F(1,42)	p	partial η^2	95% CI (η^2)
Група	14.98	<0.001*	0.263	0.063–0.448
Пол	0.46	0.499	0.010	0.000–0.136
Възраст	0.00	0.954	0.000	0.000–0.026
ВАІ - февруари	55.86	<0.001*	0.571	0.355–0.693
Модел (общ)	F(4,42) = 14.69, p < .001, R ² = 0.583			

Таблица 19. ANCOVA анализ на факторите, свързани с нивата на тревожност през май, оценени чрез ВАІ

Резултатите от анализа на ВАІ показват, че БФ-програмата има ясно изразен и статистически значим ефект върху тревожността. Участниците демонстрират значително по-ниски нива на тревожност в сравнение с контролната група. Размерът на ефекта е голям, което свидетелства за висока ефективност на БФ тренировките по отношение на редуциране на симптомите на тревожност. Резултатите подкрепят мета-аналитичните данни, според които HRV БФ е свързан със значимо и често клинично релевантно намаляване на симптомите на тревожност (Goessl et al., 2017). Сходни ефекти са описани и в други проучвания при

студентски популации, където БФ тренировките водят до по-изразено понижение на тревожността спрямо контролни условия, включително при студенти по сестрински грижи, студенти по медицина, както и студенти с високи нива на стрес в период на повишено академично натоварване (Ratanasiripong et al., 2012; Gholami Tahsini et al., 2017; Ravada et al., 2023). Данните подкрепят извода, че БФ тренировките могат да бъдат ефективен подход за редуциране на тревожността в млади и високостресови академични групи хора.

5.4. BDI

ANCOVA е проведен с цел да се оцени ефектът на БФ програмата върху симптомите на депресия, измерени с помощта на BDI. В модела като независими фактори са въведени принадлежността към съответната група (тренировъчна или контролна), както и полът, а като ковариати – възрастта и стойностите на BDI, отчетени през февруари.

Общият модел обяснява 40.1% от вариацията в стойностите на BDI през май (табл.20). Двата най-силни предиктора са принадлежността към групата и стойностите на BDI преди началото на тренировъчната програма. И тук полът и възрастта не показват значим принос. Средните стойности ясно показват, че тренировъчната група има значително по-ниски стойности на BDI ($M = 5.93$, 95% CI = 2.05–9.81) в сравнение с контролната група ($M = 14.16$, 95% CI = 10.16–18.15).

Ефект	F(1,42)	p	partial η^2	95% CI (η^2)
Група	6.34	0.016*	0.131	0.004–0.319
Пол	2.28	0.139	0.051	0.000–0.216
Възраст	1.02	0.318	0.023	0.000–0.167
BDI - Февруари	21.72	<0.001*	0.341	0.119–0.515
Модел (общ)	F(4,42) = 7.02, p < .001, R ² = 0.401			

Таблица 20. ANCOVA анализ на факторите, свързани с нивата на депресия през май, оценени чрез BDI

Резултатите за BDI подкрепят мета-аналитични данни, според които HRV БФ е свързан със статистически значимо намаляване на депресивните симптоми (Fernández-Alvarez et al., 2021; Pizzoli et al., 2021). Същото важи и за редица проучвания при студентски популации, в които БФ води до редукция на депресията наред с подобрене в стреса и тревожността (Karavidas et al., 2007; Ratanasiripong et al., 2015; M. Li et al., 2025). В по-широк контекст наблюдаваната прогностична роля на изходните стойности на BDI съответства на публикувани данни, показващи, че тежестта на изходната симптоматика е силен предиктор за последващите промени в симптомите на депресия, докато демографските фактори не винаги имат самостоятелен и устойчив принос за това (Meyers et al., 2019; Wu and Liu, 2023; M. Li et al., 2025).

5.5. Други фактори

В анализа са включени допълнителни ковариати, отразяващи здравния статус (хронични заболявания, психиатрични разстройства, прием на медикаменти/добавки), социални и поведенчески характеристики (тютюнопушене, употреба на алкохол, финансов статус, родителска подкрепа), както и житейски навици (часове учене и сън) (табл.21).

Скала	Хронични заболявания	Психични състояния	Прием на медикаменти	Тютюнопушене	Алкохолна консумация	Финансов статус	Родителска подкрепа	Учене	Сън
PSS	F=0.51, p=0.479	F=0.01, p=0.955	F=0.34, p=0.557	F=0.11, p=0.741	F=0.20, p=0.836	F=0.42, p=0.907	F=0.49, p=0.494	F=0.67, p=0.420	F=0.00, p=0.971
SAS	F=1.54, p=0.226	F=0.03, p=0.869	F=0.02, p=0.885	F=0.08, p=0.786	F=0.07, p=0.932	F=0.06, p=0.805	F=0.34, p=0.571	F=0.01, p=0.905	F=0.04, p=0.849
BAI	F=0.07, p=0.719	F=0.42, p=0.639	F=0.82, p=0.416	F=0.22, p=0.650	F=0.69, p=0.781	F=0.42, p=0.843	F=0.36, p=0.463	F=0.12, p=0.884	F=0.17, p=0.682
BDI	F=0.16, p=0.695	F=0.61, p=0.551	F=0.00, p=0.964	F=0.90, p=0.764	F=0.20, p=0.979	F=0.60, p=0.878	F=0.01, p=0.897	F=0.26, p=0.616	F=0.65, p=0.425

Таблица 21. Влияние на социални, здравни и поведенчески фактори върху психометричните показатели

При четирите психометрични скали посочените фактори не показват статистически значим ефект. Данните са в частична

подкрепа на проучвания, при които някои от поведенческите и социалните ковариати губят независимия си ефект след многофакторна корекция. Например Ebrahim и сътрудници не установяват връзка на тютюнопушенето и употребата на алкохол със стреса и тревожността при медицински студенти (Ebrahim et al., 2024). Jeong и сътрудници показват, че след многовариантна регресия лошото качество на съня, нерегулярното хранене и самооцененото здраве вече не достигат статистическа значимост, въпреки по-неблагоприятните едновариантни асоциации (Jeong et al., 2010). В този смисъл резултатите от изследването подкрепят тезата, че при едновременното включване на множество свързани ковариати част от тях може да не проявят самостоятелен принос към вариацията в стреса, тревожността и депресията.

Според литературни данни финансовият стрес, лошият сън, предшестващите психични затруднения и ниската социална/семейна подкрепа често се свързват с по-висок психологичен дистрес при студентите, а при студентите по медицина са описани и значими ефекти на пола, ниската социална подкрепа, липсата на академична подкрепа, както и лошото качество на съня (Roy et al., 2025). В големи студентски и медицински извадки са докладвани и конкретни значими ефекти в същата посока. Shao и сътрудници съобщават, че голямата финансова тежест, лошото качество на съня, неблагоприятното семейно функциониране и ниската социална подкрепа са значимо свързани с развитието и влошаването на депресията и тревожността (Shao et al., 2020). Екипът на Ebrahim открива, че хроничните заболявания, по-младата възраст и животът далеч от семейството предсказват по-висок стрес (Ebrahim et al., 2024). Fawzy и сътрудници установяват значима връзка на женския пол с по-високи нива на депресия, тревожност и стрес (Fawzy & Named, 2017). Следователно липсата на статистически значим ефект в анализа не изключва потенциалното значение на тези фактори, а показва, че в рамките на изследваната извадка и използвания многовариантен модел те не се открояват като самостоятелни предиктори на крайните психометрични показатели.

Важно е да се подчертае, че добавянето на тези фактори не променя основните изводи – програмата запазва значим и стабилен ефект върху тревожността (SAS и BAI), докато възприеманият стрес и депресията се влияят основно от изходните стойности преди началото на тренировъчната програма. Това дава основание да се приеме, че ефектът на БФ програмата върху тревожните симптоми се запазва независимо от здравните, социалните и поведенческите характеристики на участниците.

5.6. Принципен компонентен анализ на едноминутни HRV показатели

С цел да се обобщи информацията от показателите за HRV и да се установи дали между тях съществуват общи групи от взаимосвързани показатели е проведен принципен компонентен анализ (PCA) с Varimax ротация върху шест HRV показателя: MHRR, MHR, SDNN, RMSSD, Normalized Coherence и Mean Inter-Beat Interval.

Преди провеждането на PCA е проверено дали данните са подходящи за такъв тип статистическа обработка. Тестът на Bartlett показва статистически значим резултат, $\chi^2(15)=8432$, $p<.001$, което означава, че между изследваните HRV показатели съществуват достатъчно връзки. Показателят Kaiser–Meyer–Olkin (КМО) е 0.575, което е доказателство за приемлива, макар и умерена, пригодност на данните за PCA анализ. Най-ниска стойност е отчетена при Normalized Coherence (MSA = 0.433), докато при останалите показатели стойностите варират между 0.468 и 0.625.

Извлечени са три основни компонента, които обясняват основната част от вариацията в HRV показателите (табл.22). Първият компонент обединява MHRR, Mean Inter-Beat Interval и Mean HR в обратна посока, поради което може да се интерпретира като компонент, отразяващ общата сърдечна динамика и хронотропната регулация. По-високите стойности са свързани с по-дълги интервали между сърдечните удари, по-голям диапазон на сърдечната честота и относително по-ниска средна сърдечна честота. Вторият компонент включва основно SDNN и RMSSD и

отразява краткосрочната вариабилност на сърдечния ритъм, свързана предимно с парасимпатиковата модулация. Третият компонент е доминиран от Normalized Coherence, което показва, че кохерентността се отделя като самостоятелно психофизиологично измерение, различно от класическите времеви HRV показатели.

Показател	Компонент 1	Компонент 2	Компонент 3	Uniqueness
MHRR	0.894	–	–	0.047
Mean Inter-Beat Interval	0.977	–	–	0.012
MHR	–0.981	–	–	0.017
SDNN	0.453	0.877	–	0.020
RMSSD	0.349	0.836	–0.328	0.071
Normalized Coherence	–	–	0.970	0.028

Забележка: Компонентни зареждания под $|0.30|$ не са представени с цел по-ясна визуализация на основните връзки между показателите.

Таблица 22. Резултати от принципния компонентен анализ на краткосрочните HRV показатели

Резултатите от PCA показват ясно разграничаване на HRV показателите в три основни направления. Първият компонент, свързан с MHRR и Mean Inter-Beat Interval, отразява времевите аспекти на вариабилността на сърдечната честота. Това е в съответствие с предишни изследвания, според които HRV се основава на вариациите в RR интервалите, а времевите показатели, извлечени от тях, отразяват общата динамика и регулация на сърдечния ритъм (de Almeida et al., 2022; Kleiger et al., 2005; Maki et al., 2024; Shaffer & Ginsberg, 2017; Shaffer & Meehan, 2020).

Вторият компонент, доминиран от SDNN и RMSSD и отрицателно свързан с MHR, може да се интерпретира като вагусово-свързано или парасимпатиково-доминирано измерение на HRV. Подобна интерпретация подкрепя вече публикувани данни, според които RMSSD е основен времеви показател за краткосрочната вагусово-медирана вариабилност, докато SDNN отразява общата вариабилност на сърдечния ритъм и при кратки

записи също улавя съществен компонент на автономната, включително парасимпатикова, регулация (Besson et al., 2025; Laborde et al., 2017; Shaffer & Ginsberg, 2017). Отрицателната връзка с MHR допълнително подкрепя тази интерпретация, тъй като по-високата HRV, особено в покой, обичайно се свързва с по-ниска сърдечна честота и по-изразен вагусов контрол (Shaffer & Ginsberg, 2017; Shaffer & Meehan, 2020).

Най-интересен резултат се наблюдава при третия компонент, който отразява показателя Normalized Coherence. Изолирането на кохерентността като самостоятелен латентен фактор подсказва, че този показател улавя аспект на автономната регулация, който не се припокрива напълно с класическите времеви или вагусово-свързани HRV индекси. Това съответства на концепцията за „физиологична кохерентност“, която в литературата често се разглежда като относително самостоятелен модел на повишена синхронизация между сърдечния ритъм, дишането и други физиологични ритми. Посочените ефекти са свързани с по-оптимален HRV профил, по-добра саморегулация и по-стабилни емоционални състояния (McCraty and Zayas, 2014; Pham et al., 2021). Допълнителна подкрепа за тази интерпретация дават мащабни данни от HRV БФ сесии, според които състоянието на кохерентност е свързано с по-организиран модел на сърдечния ритъм, по-добра спектрална подреденост на HRV и различия в емоционалното състояние на участниците. Това подкрепя разбирането, че кохерентността е самостоятелно психофизиологично измерение, отразяващо степента на синхронизация между сърдечната дейност, дишането и автономната регулация (Balaji et al., 2025).

Изолирането на кохерентността като отделен фактор има важно значение за интерпретацията на ефектите от БФ интервенциите. То подсказва, че тренировките оказват влияние върху традиционните параметри на HRV, но заедно с това формират и специфично състояние на кохерентност, което може да бъде разглеждано като независим индикатор за ефективността на програмата. В този смисъл, резултатите подкрепят идеята за включване на

кохерентността като отделна променлива при анализа на психофизиологичните ефекти на БФ програмите.

5.7. Принципен компонентен анализ на продължителните HRV показатели

С цел да се обобщи информацията от по-голям брой продължителни HRV показатели и да се установи дали между тях съществуват общи групи от взаимосвързани променливи, е проведен PCA с Varimax ротация върху следните показатели: VLF, LF, HF, Total Power, Normalized Coherence, Intervals, Duration, MHRR, MHR, SDNN и RMSSD. Предварителна проверка показва, че данните са подходящи за такъв тип анализ. Тестът на Bartlett е статистически значим, $\chi^2(55)=26\ 196$, $p<.001$, което означава, че между изследваните показатели съществуват достатъчно връзки.

Извлечени са три основни компонента, които обясняват 86.3% от общата вариация в данните. **Първият компонент**, който е свързан с 33.9% от дисперсията, включва високи факторни зареждания на VLF, LF, HF, RMSSD, продължителността на записите (Duration) и MHRR. Този фактор може да бъде интерпретиран като отражение на спектралната и времевата вариабилност на сърдечния ритъм, тъй като обединява честотните домейни и класически времеви показатели.

Вторият компонент обяснява 30.7% от дисперсията и се характеризира с високи зареждания на SDNN, Normalized Coherence и Total Power. Той може да бъде интерпретиран като показател за парасимпатиковата модулация и автономния баланс, тъй като включва едновременно времеви (SDNN), интегративни (Total Power) и кохерентностни индекси.

Третият компонент обяснява 21.8% от дисперсията и е доминиран от показателите Intervals и MHR, като SDNN също има отрицателен принос. Този фактор може да се разглежда като индикатор за кардиоваскуларната динамика, отразяващ базовата сърдечна честота и интервалните колебания.

Факторният анализ на продължителните HRV показатели показва ясно разграничаване на трите основни измерения:

спектрална и времева вариабилност, парасимпатикова модулация и автономен баланс, както и кардиоваскуларна динамика (табл.23). Кумулативно те обясняват над 86% от дисперсията, което е изключително висока стойност за психофизиологични данни и демонстрира стабилна и интерпретируема латентна структура (Shaffer & Ginsberg, 2017; Shaffer & Meehan, 2020).

Показател	Компонент 1	Компонент 2	Компонент 3	Uniqueness
VLF	0.847	–	–	0.264
LF	0.845	–	–	0.116
HF	0.863	–	–	0.223
Total Power	0.638	0.681	–	0.053
Normalized Coherence	–0.393	0.773	–	0.214
Intervals	–	–	0.974	0.007
Duration	0.794	–	–	0.365
MHRR	0.922	–	–	0.074
MHR	–	–	0.985	0.006
SDNN	0.493	0.750	–0.396	0.037
RMSSD	0.815	0.356	–	0.133

Забележка: Компонентни зареждания под $|0.30|$ не са представени с цел по-ясна визуализация на основните връзки между показателите.

Таблица 23. Резултати от принципния компонентен анализ на продължителните HRV показатели

Получената трифакторна структура подкрепя публикувани данни, според които HRV показателите се групират в няколко отделни, но взаимно допълващи се автономни измерения, а не образуват един общ и еднороден модел. Подобно на настоящите резултати, Lucini и неговите сътрудници описват няколко латентни автономни домейна с много висок дял на обяснената вариация, което подкрепя идеята, че подобен тип редукция на данните е физиологично смислена (Lucini et al., 2018). Фактът, че между трите компонента в анализа не се установяват корелации, показва, че всеки от тях отразява различна страна на автономната регулация.

Именно затова факторните оценки могат да се използват като обобщени показатели в последващи статистически модели, подобно на интегративните автономни индекси, предложени и в други изследвания, включително ANSI на Sala и сътрудници (Sala et al., 2017).

5.8. Сравнение между краткосрочния и продължителния PCA

Резултатите от двата проведени PCA – върху краткосрочните и върху продължителните HRV показатели – показват висока степен на консистентност по отношение на структурата на данните. И в двата случая са извлечени по три компонента, които обясняват значителен дял от вариацията и които могат да бъдат интерпретирани като отделни и физиологично смислени модели.

При краткосрочния анализ се открояват три фактора, отразяващи времевата вариабилност, парасимпатиковата модулация и кохерентността. Продължителният анализ допълва тази структура чрез включването на честотните домейни и тоталната мощност, като отново са извлечени три фактора: спектрална и времева вариабилност, парасимпатикова модулация и автономен баланс, както и кардиоваскуларна динамика.

Сходството между двете факторни структури потвърждава, че HRV показателите се групират стабилно в няколко основни латентни измерения, независимо дали се анализират краткосрочни или продължителни записи. Това увеличава надеждността на извлечените индекси и подкрепя тяхното използване в последващи статистически модели (Shaffer and Meehan, 2020).

В същото време различията между двата анализа – като изолирането на кохерентността като самостоятелен фактор при краткосрочните записи и интегрирането ѝ в парасимпатиковия фактор при продължителните – подчертават специфичната чувствителност на различните HRV метрики към времевата продължителност на записа и контекста на измерването (табл.24).

Анализ	Фактор 1	Фактор 2	Фактор 3
Краткосрочен HRV	Времева вариабилност (<i>MHR, Mean IBI</i>)	Парасимпатикова модулация (<i>SDNN, RMSSD, MHR</i>)	Кохерентност (<i>Normalized Coherence</i>)
Продължителен HRV	Спектрална и времева вариабилност (<i>VLF, LF, HF, RMSSD, Duration, MHRR</i>)	Парасимпатикова модулация и автономен баланс (<i>SDNN, Normalized Coherence, Total Power</i>)	Кардиоваскуларна динамика (<i>Intervals, MHR</i>)

Таблица 24. Сравнителна интерпретация на факторната структура при краткосрочен и продължителен HRV анализ

Получената трифакторна структура подкрепя други подобни модели на HRV, които показват, че времевите, спектралните и интегративните автономни показатели се групират в относително независими домейни, а не в единен общ фактор (Tarvainen et al., 2014; Lucini et al., 2018; Lawrence et al., 2023; Solaro et al., 2023). До момента обаче не е провеждано изследване, в което да е осъществено паралелното извеждане и съпоставяне на подобна структура при краткосрочни и продължителни HRV показатели в рамките на многосесийна биофийдбек програма при високостресова група.

5.9. Резултати от линейния смесен модел за отделните фактори

За да се изследва ефектът на програмата върху първия фактор (времева вариабилност), е проведен линеен смесен модел с фиксирани ефекти на време (начало-край на програмата), сесия и тяхното взаимодействие (време $\times$ сесия), както и случаен ефект на избрания участник.

Анализът показва статистически значим ефект на времето ($F(1,988)=35.19$, $p<.001$), което демонстрира, че стойностите на първия фактор се променят съществено в хода на програмата. Освен това е установен и значим ефект на сесията ($F(25, 989)=2.41$, $p<.001$), което показва, че динамиката на фактора се различава между отделните тренировъчни сесии. Взаимодействието време $\times$ сесия обаче не показва статистическа значимост ($F=0.36$,

$p=.999$). Това означава, че промяната от началото до края на тренировъчната програма е сходна в рамките на всяка една сесия, без да се наблюдават специфични различия между тях.

Анализът на компонентите на дисперсията показва, че приблизително 32.5% от вариацията се дължи на индивидуални различия между участниците ($ICC=0.325$), а останалата част се обяснява с вътрешноиндивидуални колебания. Това потвърждава необходимостта от използването на смесен модел, тъй като значителна част от вариацията е свързана със субект-специфични различия.

Резултатите се доближават до публикувани данни, според които HRV БФ може да повлиява благоприятно времевите HRV показатели, но ефектът невинаги се проявява като ясно изразена промяна между началото и края във всяка отделна сесия. В тази посока са данните на Chaitanya и сътрудници, които съобщават за подобрение на HRV след няколкоседмична контролирана дихателна програма (Chaitanya et al., 2023). Такива са и наблюденията на Ratajczak - ефектът от HRV БФ се натрупва постепенно в хода на тренировките (Ratajczak et al., 2021). На този фон изследването заема междинна позиция: установява се стабилен ефект върху фактора, обобщаващ времевата вариабилност на сърдечната честота, както и влияние на самите сесии, но без доказателства за специфичен ефект във всяка отделна тренировка. Това предполага, че в нашата извадка адаптацията протича по-скоро като постепенно натрупване и стабилизиране на автономната регулация, отколкото като отчетлива сесийно-специфична реакция.

За втория фактор (парасимпатикова модулация) е проведен линеен смесен модел с фиксирани ефекти на време (начало-край на програмата), сесия и тяхното взаимодействие (време $\times$ сесия), както и случаен ефект на избрания участник.

Анализът разкрива статистически значим главен ефект на времето ($F(1,988)=10.94$, $p<.001$), което показва, че парасимпатиковата модулация се е променила съществено след края на програмата. За разлика от първия фактор, ефектът на сесията тук не е значим ($F=0.96$, $p=.517$), което предполага, че

отделните тренировъчни сесии сами по себе си не обясняват значителна вариация във факторните оценки. Взаимодействието време×сесия също не достига статистическа значимост ($F=0.66$, $p=.895$), което означава, че промяната от началото до края на тренировъчната програма се наблюдава като стабилен ефект, независим от конкретната сесия.

Моделът отчита, че приблизително 44.5% от вариацията във втория фактор се дължи на индивидуални различия между участниците ($ICC=0.445$), което е по-висок дял в сравнение с първия фактор. Това показва, че парасимпатиковата модулация е по-силно повлияна от субект-специфични характеристики и индивидуалната реактивност на автономната нервна система.

Резултатите подкрепят няколко проучвания, в които HRV БФ е свързан с подобрение в показатели, отразяващи вагусов контрол и автономен баланс, но без това подобрение да се проявява като ясно различим ефект на всяка отделна тренировъчна сесия (Deschodt-Arsac et al., 2018; Lin et al., 2019). Подобна насока е описана и в други изследвания, които съобщават благоприятни промени в автономните маркери и парасимпатиковата регулация след HRV БФ, включително при групи от млади хора (Lehrer and Gevirtz, 2014; Simon et al., 2025). В този смисъл данните доказват разбирането, че БФ може да подпомага вагусовия контрол по устойчив и кумулативен начин, а не непременно чрез отчетлива, специфична промяна, настъпваща веднага след края на отделната сесия.

За третия фактор (кохерентност/кардиоваскуларна динамика) също е проведен линеен смесен модел с фиксирани ефекти на време (начало-край на програмата), сесия и тяхното взаимодействие (време×сесия), както и случаен ефект на избрания участник.

Анализът не открива статистически значим ефект на времето ($F(1,988)=1.80$, $p=0.180$), което означава, че промените между началото и края на програмата не са достатъчно добре изразени. Ефектът при отделната сесия също не е значим ($F=0.90$, $p=0.602$). Взаимодействието време×сесия също не достига значимост ($F=0.67$, $p=0.887$), което

показва, че динамиката на промяната от началото до края на тренировъчната програма също не варира между отделните сесии.

Компонентният анализ на вариацията показва, че около 33.7% от общата дисперсия се дължи на индивидуални различия между участниците ($ICC=0.337$), а останалата част е резултат от вътрешноиндивидуални вариации. Това показва, че факторът е умерено повлиян от субект-специфични характеристики, но липсата на значими ефекти на времето и сесията предполага, че тези вариации са по-скоро стабилни във времето.

Резултатите подкрепят проучвания, в които кохерентните показатели не демонстрират отчетлива краткосрочна промяна, въпреки наличие на положителни ефекти в други автономни или психологични измерения (Nashiro et al., 2023; Wareing et al., 2024). В същото време те се различават от други изследвания, при които използването на специално насочени протоколи за сърдечна кохерентност водят до подобрене в кардиореспираторната координация (Climov et al., 2014). В този смисъл данните подкрепят разбирането, че компонентът, свързан с кохерентността и кардиоваскуларната динамика, вероятно отразява по-устойчив аспект на психофизиологичната регулация, който е по-слабо чувствителен към краткосрочни промени и може да изисква по-целенасочена или по-продължителна интервенция.

Анализът на трите фактора от PCA показва различна динамика на ефектите (табл.25). При първия фактор (*времева вариабилност*) се установява значим ефект на времето и на сесията, което потвърждава положителното въздействие на програмата върху този аспект на HRV. Вторият фактор (*парасимпатикова модулация*) също показва статистически значима промяна във времето, но без влияние на отделните сесии, което предполага по-устойчив ефект. При третия фактор (*кохерентност/кардиоваскуларна динамика*) не се откриват значими промени, което подсказва, че той отразява по-стабилни физиологични механизми.

Фактор	Време	Сесия	Време × Сесия	ICC	Интерпретация
Фактор 1 Времева вариабилност	F(1,988) = 35.19, $p < .001^*$	F(25,989) = 2.41, $p < .001^*$	F(25,988) = 0.36, $p = .999$	0.325	Значимо увеличение, стабилно във всички сесии
Фактор 2 Парасимпатикова модулация	F(1,988) = 10.94, $p < .001^*$	F(25,988) = 0.96, $p = .517$	F(25,988) = 0.66, $p = .895$	0.445	Значимо повишаване на парасимпатиковата активност
Фактор 3 Кохерентност/ динамика	F(1,988) = 1.80, $p = .180$	F(25,989) = 0.90, $p = .602$	F(25,988) = 0.67, $p = .887$	0.337	Липса на статистически значими промени

Таблица 25. *Линеен смесен модел за динамиката на извлечените HRV компоненти в хода на тренировъчната програма*

6. Корелационен анализ

Корелационният анализ представлява статистически метод за оценка на посоката и силата на връзката между две или повече променливи (Mukaka, 2012). Приложен е, за да се установи дали психометричните, физиологичните и лабораторните показатели се изменят съгласувано и между тях съществуват значими взаимовръзки, свързани с ефекта от БФ програмата.

6.1. Психометрия

Изследвани са взаимовръзките между промените в четирите психометрични скали: Δ PSS, Δ SAS, Δ BAI, Δ BDI при участниците от тренировъчната група. Таблица 26 представя описателните статистики на промените (Δ), изчислени като разликата в стойностите между края и началото на програмата. Показани са броят валидни наблюдения (N), средната стойност, медианата, стандартното отклонение (SD) и наблюдаваният диапазон на промените, представен чрез минималната и максималната стойност. Поради начина на изчисление на промените, отрицателните стойности означават понижени в съответната скала (т.е. *подобрене*), а положителните – повишение (т.е. *влошаване*).

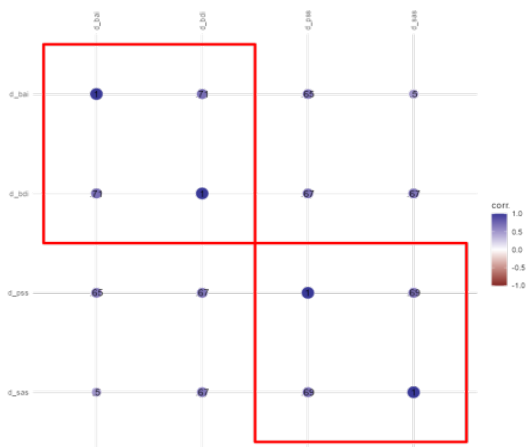
	Δ PSS	Δ SAS	Δ BAI	Δ BDI
N	24	24	24	24
Средна стойност	-8.54	-13.5	-13.8	-12.0
Медиана	-7.50	-13.5	-12.0	-9.50
SD	6.32	7.25	8.38	9.36
Минимум	-19	-28	-30	-31
Максимум	2	1	-1	3

Таблица 26. Динамика на психометричните показатели между началото и края на програмата

Както се вижда от посочените резултати, средните Δ за всички скали са отрицателни, което показва намаляване на възприемания стрес, тревожността и депресията в тренировъчната група. Медианите са близки до средните, което подсказва липса на съществена асиметрия. Стандартните отклонения (≈ 6 – 9 точки) отразяват умерена междуиндивидуална вариабилност в размера на промяната, а отчетените минимални и максимални стойности показват, че при отделни участници са налице както много големи подобрения (напр. до -31 – -33 точки), така и леки влошавания (до $+1$ – $+3$ точки).

Фигура 24 представя връзките между промените в четирите психометрични скали – възприет стрес (Δ PSS), тревожност по SAS (Δ SAS), тревожност по BAI (Δ BAI) и депресия (Δ BDI) – при участниците от тренировъчната група. Синият цвят обозначава положителна връзка, а по-наситеният цвят и по-големият размер на маркерите отразяват по-силна корелация. Числата в клетките показват стойностите на корелационния коефициент r . Цветната карта показва, че всички промени са в една и съща посока: когато при даден участник се наблюдава по-изразено намаляване или увеличаване в една скала, обикновено сходна промяна се отчита и в останалите. Най-силни са връзките между промените във възприетия стрес и тревожността, както и между тревожността и депресията, което говори за тясна свързаност между различните измерения на психичното състояние на участниците. Стойностите на корелациите са положителни и с умерена до висока сила ($r \approx$

0.50–0.71), което подкрепя разбирането, че подобрението или влошаването в една психометрична област обикновено се съпровожда от съответна промяна и в останалите.



Фигура 24. Корелации между промените в нивата на възприет стрес, тревожност и депресия (Δ PSS, Δ SAS, Δ BAI и Δ BDI)

Най-тясна е връзката между промените в стреса и останалите показатели, както и между тревожността и симптомите на депресия (табл.27). Това подсказва, че програмата не влияе върху отделни, изолирани симптоми, а по-скоро върху общо ядро.

Двойка показатели	r	p
Δ PSS – Δ SAS	0.688	<0.001**
Δ PSS – Δ BAI	0.652	<0.001**
Δ PSS – Δ BDI	0.670	<0.001**
Δ SAS – Δ BAI	0.505	0.012*
Δ SAS – Δ BDI	0.666	<0.001**
Δ BAI – Δ BDI	0.706	<0.001**

Таблица 27. Корелационни зависимости между промените в психометричните показатели

Моделът подкрепя публикуваните данни при студентски и медицински популации. Обзорни изследвания показват, че стресът, тревожността и депресията при студентите обикновено не се развиват самостоятелно, а се преплитат в обща вътрешна симптомна конфигурация (Agyarong-Opoku et al., 2023). При студенти по медицина това припокриване е особено изразено, тъй като трите състояния споделят сходни академични, социални и личностни рискови фактори (Mofatteh, 2020). В по-широк план съвременната психопатологична литература също разглежда тревожността и депресията като тясно свързани прояви на общ вътрешен домейн, към който възприеманият стрес често се прибавя като поддържащ или усилващ механизъм (Weisz et al., 2023).

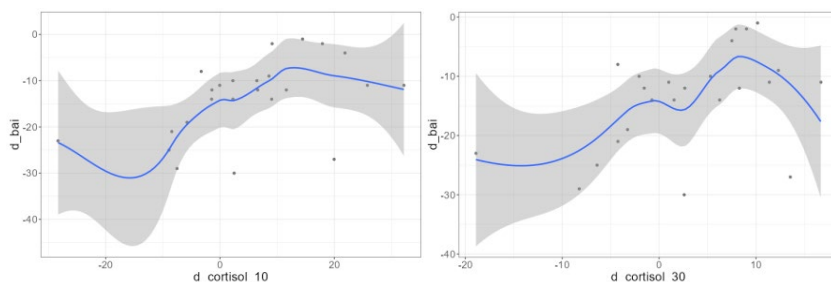
На този фон нашите резултати подкрепят вече публикувани данни, но наред с това добавят и нещо важно към разбирането за БФ. Много от наличните проучвания при студенти по медицина са насочени главно към разпространението на тревожност, депресия и стрес или към техните рискови фактори в отделни моменти от обучението. По-рядко се анализира дали промените в няколко различни психометрични инструмента протичат синхронно в рамките на конкретна тренировъчна програма.

Изследването ясно демонстрира, че редуцията на стреса, тревожността и депресията не е разпокъсан, частичен процес, а координирана промяна с видим и доказан ефект. Резултатите водят към заключението, че при чуждестранни студенти по медицина PSS, SAS, BAI и BDI улавят една и съща посока на промяна в хода на БФ програмата. Това дава основание психометричните резултати да се тълкуват не просто като сбор от отделни скали, а като сравнително единна картина на промяна и подобряване на състоянието на участниците.

6.2. Кортизол и тревожност/стрес

Връзките между динамиката на кортизола и субективните промени в тревожността и стреса показват консистентен и физиологично обясним модел. По-голямото покачване на кортизола след MAST (измерено на 10-та и 30-та минута) е

свързано с по-малко намаляване (или по-голямо нарастване) на тревожността, оценена с BAI. Промяната в измерените нива на кортизол в 10-та минута след стрес-теста показват умерена положителна корелация с промяната в стойностите на BAI. Сходен ефект се наблюдава и при промяната в измерените нива на кортизол в 30-та минута (фиг.25).



Фигура 25. Връзка между промяната в измерените нива на кортизол в 10-та и 30-та минута и промяната в стойностите на BAI

Резултатите показват, че приблизително 22–26% от вариацията в промяната на тревожността се споделя с вариацията в кортизолната секреция, което представлява среден по големина ефект.

За PSS се наблюдава сходна зависимост, но с по-умерена сила. По-голямото покачване на кортизола 10 минути след MAST е свързано с по-слабо намаляване на възприетия стрес. Това означава, че участниците с по-изразена кортизолова реактивност непосредствено след стресора обикновено демонстрират и по-малко благоприятна промяна във възприетия стрес. При кортизола, измерен 30 минути след теста, връзката с промените в PSS е в същата посока, въпреки липсата на статистическа значимост ($p=.090$). Това подсказва, че ако съществува връзка между кортизоловата реактивност и промените във възприетия стрес, тя е по-ясно изразена в по-ранния постстресов прозорец.

Като цяло може да се каже, че връзката между кортизоловата реактивност и възприетия стрес е по-слаба, отколкото тази с тревожността, но следва същата физиологично обяснима посока:

по-високият остър хормонален отговор е свързан с по-ограничено намаляване на субективния стрес. В контекста на множествените сравнения този ефект остава по-скоро граничен, което налага предпазлива интерпретация и подкрепя извода, че кортизоловата динамика е по-тясно свързана с тревожността, отколкото с възприетия стрес.

Моделът подкрепя публикуваните данни за остър психосоциален стрес. MAST и сродни лабораторни стресови тестове надеждно повишават както слюнчения кортизол, така и субективните показатели за тревожност и стрес, като кортизоловият пик обичайно се развива в ранния постстресов прозорец (Shilton et al., 2017). В изследване с MAST при здрави млади индивиди Qi и сътрудници също установяват връзка между нивата на кортизол и субективната тревожност само в ранната стресовата фаза, а не като равномерно силна асоциация във всички периоди след стрес теста (Qi et al., 2016). Това е доста близко до анализиранияте данни, при които връзката е най-ясно изразена по отношение на тревожността, особено при кортизола 10 минути след стрес теста, докато при PSS ефектът е по-слаб и по-неустойчив.

Подобна разлика между тревожност и възприет стрес е физиологично оправдана. Тревожността, особено в остро настъпил момент, е по-тясно свързана с непосредствената НРА-реактивност, докато PSS отразява по-обща когнитивна оценка на натоварването и често е по-слабо обвързан с краткотрайната кортизолова динамика (Bozovic et al., 2017). Данни при студентски популации също показват, че кортизол може да корелира със SAS и PSS, но тази връзка не е напълно еднородна между различните контексти и времеви прозорци (AlSarhan et al., 2024; Glenk et al., 2019).

Получените резултати могат да се позиционират като междинни, но добре съвместими с публикуваните данни - кортизоловата реактивност показва по-ясна връзка с тревожността, отколкото с възприетия стрес, а най-информативен се оказва ранният постстресов прозорец. Това подкрепя разбирането, че при тренировъчни и лабораторни модели на стрес динамичният кортизолов отговор е по-чувствителен към остри емоционални промени, особено тревожност, отколкото към по-широките и по-устойчиви когнитивни оценки на стреса.

6.3. IgA и кортизол

За да се прецени дали промените в мукозния имунитет съпровождат стресовата реакция, е изследвана връзката между промяната в слюнчения IgA и кортизоловата реактивност след MAST. Резултатите показват умерена отрицателна връзка между промяната в IgA и ранния кортизолов отговор, измерен на 10-та минута ($r = -0.436$, $p = .033$). С други думи, колкото по-изразено е покачването на кортизола след стресовата провокация, толкова по-слабо е нарастването на IgA или толкова по-изразено е неговото намаляване. При кортизола на 30-та минута връзката остава в същата посока, но отслабва и не достига статистическа значимост ($r = -0.386$, $p = .062$).

Този модел съответства на концепцията за връзка между НРА-оста и мукозния имунен отговор (Nunez et al., 2025). Най-близък паралел дава проучването на Fan и сътрудници, в което след остър стрес слюнченият кортизол и sIgA първоначално се повишават, но последващият спад на sIgA в следващите 20 минути е значимо свързан с нарастването на кортизола ($r = 0.569$, $p < 0.001$) (Fan et al., 2009). В по-широк план мета-анализът на Seizer и сътрудници показва, че при остър стрес sIgA обичайно достига максимум около 10-та минута и се връща към изходните стойности приблизително до 30-та минута (Seizer et al., 2024). Това добре обяснява защо в изследването връзката е по-ясна именно в ранния постстресов прозорец, а не 30 минути по-късно.

Сравнението със студентски популации също показва, че връзката между кортизола и IgA не е еднопосочна, а зависи силно от контекста и времето на измерване. При студентки по сестрински грижи Takatsuji и сътрудници установяват остро повишение на IgA непосредствено след изпит, без значима промяна в кортизола (Takatsuji et al., 2008). При студенти Murphy и сътрудници намират по-високи нива на кортизол по време на изпитен период, но статистически незначимо увеличение на sIgA (Murphy et al., 2010). От друга страна обаче, Afrisham и сътрудници съобщават, че sIgA намалява при изпитен стрес (Afrisham et al., 2016). На този фон резултатите от проучването не показват универсално повишение

или понижение на IgA, а по-скоро демонстрират, че по-силната ранна кортизолова реактивност е свързана с по-неблагоприятна промяна в мукозния имунен отговор.

Получените данни подкрепят разбирането, че за връзката между стреса и мукозния имунитет по-информативен е динамичният, ранен кортизолов отговор, отколкото по-късният прозорец или единичната стойност сама по себе си. Това поставя резултатите близо до изследванията, които разглеждат IgA като чувствителен, но контекст-зависим маркер на стрес — особено в ситуации, в които времето на пробовземане определя дали ще се улови краткотрайна активация, последващо възстановяване или относително потискане на мукозния имунитет (Fan et al., 2009; Murphy et al., 2010; Seizer et al., 2024).

6.4. Взаимовръзки между HRV, биохимични и психометрични показатели

Анализът на връзките между промените в HRV, кортизола, IgA и психометричните показатели очертава две основни групи находки. От една страна се наблюдават зависимости, които са физиологично очаквани: нарастването на HRV, особено при показатели, свързани с вагусовата регулация и общата автономна адаптивност, се съпровожда от по-благоприятен кортизолов профил. От друга страна се открояват и две асоциации, чиято посока не съответства напълно на най-често описваните в литературата зависимости и поради това изискват по-предпазлива интерпретация (Kim et al., 2018; Gullett et al., 2023).

В групата на очакваните зависимости най-ясно се открояват отрицателните връзки между $\Delta RMSSD$, $\Delta SDNN$ и ΔLF , от една страна, и $\Delta Cortisol_{\text{преди стрес-теста}}$, от друга. Това означава, че участниците, при които вариабилността на сърдечната честота се подобрява, обикновено показват и по-благоприятна кортизолова динамика. Подобен модел е физиологично логичен, тъй като по-високата HRV се разглежда като белег на по-добра автономна адаптивност, докато по-ниската HRV е типична за състояния на хроничен или натрупващ се стрес (McCraty & Shaffer, 2015; Shaffer

& Ginsberg, 2017). Съвременните обзори и мета-анализи последователно свързват психологичния стрес с редукия на HRV, особено на вагусово-медираните показатели (Kim et al., 2018). Лонгитудинални изследвания в академична среда показват, че при нарастване на стреса HRV намалява, докато оценките на тревожността и депресивните симптоми се повишават (Benítez-Agudelo et al., 2025). При студенти по медицина също е описано съчетание между стрес, промени в HRV и кортизол в хода на учебната година (Upadhayay et al., 2014).

Тази част от резултатите подкрепя разбирането, че по-благоприятната автономна регулация е свързана с по-ниска или по-стабилна хормонална стресова активация (Nunez et al., 2025). Най-убедителен в това отношение е LF, но сходната посока при RMSSD и SDNN подсказва, че наблюдаваният модел не е случаен, а отразява обща физиологична тенденция (McCabe et al., 1985; Pagani et al., 1986).

По-различна е картината при $\Delta HF - \Delta SAS$ и при $\Delta Coherence - \Delta IgA_{10}$ минути след стрес теста. Положителната връзка между HF и тревожността по SAS не съответства на най-често описваните резултати, тъй като литературата обикновено свързва тревожността и негативния афект с понижена, а не с повишена вагусово-медирана HRV. Това е показано както в обзорни психофизиологични доклади, така и в по-нови изследвания върху тревожни разстройства (Gullett et al., 2023; Laborde et al., 2017; Tomasi et al., 2024). Поради това тази находка следва да се разглежда предпазливо, т.к. вероятно отразява особености на конкретната извадка или влияние на отделни наблюдения.

По сходен начин трябва да се интерпретира и отрицателната връзка между $\Delta Coherence$ и ΔIgA_{10} минути след стрес теста. От теоретична гледна точка кохерентността по-често се свързва с по-ефективна автономна регулация и по-благоприятно психофизиологично състояние, а sIgA е чувствителен маркер на мукозния имунен отговор, който при положителни емоционални състояния и при определени интервенции може да се повишава

(McCraty et al., 1998; Pham et al., 2021). Поради това наблюдаваната тук отрицателна асоциация не следва най-интуитивния модел и по-скоро показва, че връзката между кохерентността и мукозния имунитет е по-сложна и силно зависи от момента на измерване. Съвременните обзори за sIgA подчертават именно тази зависимост: при остри състояния sIgA често се мобилизира краткотрайно, докато при хронични може да бъде потиснат (Castro-Quintas et al., 2023).

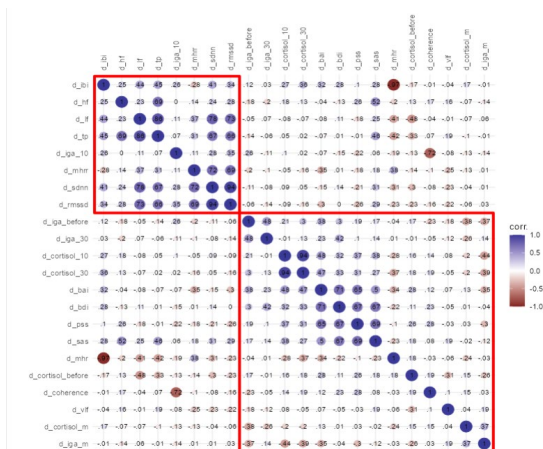
Резултатите са в съответствие с литературните данни, свързани с връзката между HRV и кортизоловата регулация, според които по-благоприятният автономен профил се асоциира с по-стабилен хормонален отговор към стрес. Връзките между HRV, тревожността и IgA обаче са по-нееднозначни и следва да се интерпретират предпазливо, тъй като вероятно се влияят от индивидуалната реактивност, момента на измерване, характеристиките на стресора и особеностите на извадката.

Приносът на проведеното изследване се състои в интегрираното разглеждане на автономните, хормоналните, имунологичните и психометричните показатели при високостресова популация от чуждестранни студенти по медицина. Установените зависимости следват физиологично очакван модел, докато други очертават по-сложни и контекст-зависими взаимодействия, които могат да бъдат основа за бъдещи изследвания върху психофизиологичната адаптация към стрес.

6.5. Изводи от корелационния анализ

Корелационният анализ очертава последователен и физиологично смислен модел на взаимовръзки между психометричните, биохимичните и HRV показателите. По-долу представените корелационни карти показват една и съща обща структура, но от малко различен ъгъл. Първата карта отразява колко тясно се изменят показателите по абсолютна стойност (фиг.26), а втората проверява дали същата посока на зависимост се запазва и когато анализът е по-устойчив на единични крайни

стойности и на отклонения от нормално разпределение (фиг.27). Сходството между двете карти показва, че основните наблюдавани връзки са устойчиви и не се дължат на случайни колебания в данните.



Фигура 26. Обобщена корелационна карта на Pearson относно промените (Δ) в психометрични, биохимични и HRV показатели

На фигурата по-големите и по-наситени сини маркери показват положителни връзки, а червените — отрицателни връзки. Така визуално се открояват групи от показатели, които се изменят в сходна посока, както и двойки показатели, между които е налице обратна зависимост.

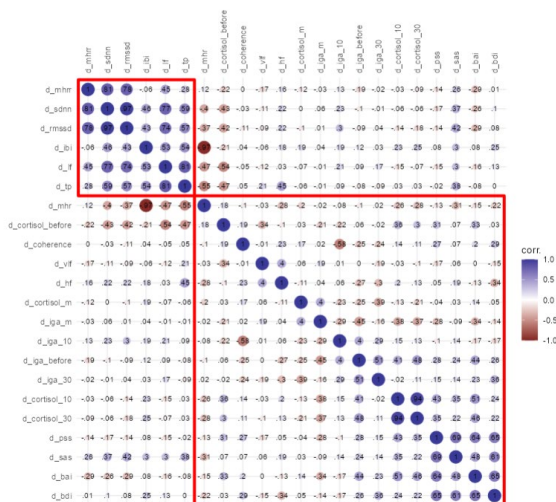
Най-ясно изразени са **психометричните показатели**, при който промените във възприетия стрес, тревожността и депресията са силно и последователно свързани помежду си. Това означава, че когато при даден участник се наблюдава подобрене в една от скалите, обикновено се наблюдава сходна положителна промяна и в останалите. Така четирите психометрични инструмента очертават обща посока на редукция на възприетия стрес.

Втората важна линия на резултатите засяга кортизоловия отговор. По-голямото покачване на кортизола след стресовата провокация е свързано с по-слабо намаляване на тревожността, а в по-умерена степен и на възприетия стрес. Освен това двата кортизолови индекса — на 10-

та и 30-та минута — са много тясно свързани помежду си, което показва, че отразяват един и същ основен реактивен компонент на НРА-оста. Резултатите са в съответствие с концепцията, че именно динамичният хормонален отговор към стреса, а не само базисното ниво на кортизола, е информативен за субективните промени в тревожността и стреса.

Трета група находки се отнася до връзката между кортизола и мукозния имунитет. Промяната в IgA е обратно свързана с ранния кортизолов отговор, което означава, че по-изразеното покачване на кортизола се съпровожда от по-слабо нарастване или по-изразено намаляване на IgA. Може да се интерпретира в подкрепа на физиологично очакваното напрежение между стресовата ос и мукозния имунен отговор.

По отношение на HRV показателите, общата посока на зависимостите също е предимно физиологично очаквана. По-високата вариабилност на сърдечната честота, особено при показатели, свързани с парасимпатиковата регулация и общата автономна адаптивност, е асоциирана с по-благоприятен кортизолов профил. Това подсказва, че по-добрата автономна регулация върви в синхрон с по-благоприятна хормонална реактивност. В същото време част от връзките — особено тези между HF и тревожността, както и между кохерентността и IgA — не следват напълно най-често очакваната физиологична посока и затова трябва да се тълкуват по-предпазливо.



Фигура 27. Обобщена корелационна карта на *Spearman* относно промените (Δ) в психометрични, биохимични и HRV показатели

Картата на *Spearman* показва основните зависимости, наблюдавани при *Pearson* анализа (фиг.27). Запазват се ясно очертаните връзки между психометричните показатели, силната асоциация между кортизоловите измервания на 10-та и 30-та минута, както и връзката между по-изразения кортизолов отговор към стреса и по-неблагоприятната промяна в тревожността. Отрицателните асоциации между част от HRV показателите и кортизола също се запазват, което насочва към връзка между по-добрата автономна регулация и по-благоприятната хормонална стресова динамика. Сходството между двата корелационни подхода показва, че основните зависимости не се определят единствено от единични крайни стойности или от отклонения от нормалното разпределение, а отразяват сравнително устойчив модел в изследваната извадка.

Корелационният анализ показва, че намаляването на субективния психичен стрес е съпроводено от по-благоприятни биологични промени, най-вече по линията НРА-ос – тревожност/стрес и кортизол – IgA. HRV показателите в голяма степен подкрепят тази картина, макар не всички връзки да са еднакво силни или

еднозначни. Така резултатите сочат, че ефектът от програмата не се изчерпва само със субективното подобрене, а се вписва в по-широк психофизиологичен модел на адаптация.

7. Регресионен анализ

Регресионният анализ е използван за оценка на прогностичната стойност на един или повече фактори спрямо определен краен резултат (Zapf et al., 2024). В проучването е приложен с цел да се установи дали изходните физиологични показатели – кортизол, секреторен IgA и HRV параметри – могат да предскажат степента на последващо подобрене по скалите за стрес, тревожност и депресивни симптоми (табл.28).

Психометричен показател	Биомаркерен модел	R ²	Adjusted R ²	Основни находки
PSS	Кортизол	0.126	-0.058	Не се установяват значими предиктори
	sIgA	0.071	-0.124	Не се установяват значими предиктори
	HRV	0.618	0.325	MHR ($p = 0.003$) и IBI ($p = 0.005$) са значими предиктори; SDNN показва тенденция към значимост ($p = 0.057$)
SAS	Кортизол	0.118	-0.068	Не се установяват значими предиктори
	sIgA	0.085	-0.108	Не се установяват значими предиктори
	HRV	0.496	0.108	MHR е значим предиктор ($p = 0.040$); IBI ($p = 0.063$), SDNN ($p = 0.099$) и Normalized coherence ($p = 0.093$) показват тенденция към значимост
BAI	Кортизол	0.104	-0.085	Не се установяват значими предиктори
	sIgA	0.122	-0.063	Не се установяват значими предиктори
	HRV	0.499	0.114	MHR е значим предиктор ($p = 0.044$); IBI е на границата на значимост ($p = 0.051$)
BDI	Кортизол	0.072	-0.124	Не се установяват значими предиктори
	sIgA	0.034	-0.169	Не се установяват значими предиктори
	HRV	0.366	-0.121	Не се установяват значими предиктори; HRV моделът показва по-висока, но недостатъчна прогностична стойност

Таблица 28. Обобщение на регресионните модели за предсказване на подобренето по PSS, SAS, BAI и BDI

7.1. PSS

Най-добра прогностична стойност за подобрението по PSS показва HRV моделът, при който изходната средна сърдечна честота и IBI са значими предиктори, а SDNN показва тенденция към значимост. За разлика от това, моделите с кортизол и sIgA имат ниска обяснителна сила и са без статистическа значимост. Това показва, че при възприетия стрес сърдечната вариабилност е по-информативна от лабораторните показатели.

Този резултат подкрепя литературни данни, според които HRV и HRV БФ са особено релевантни при субективно преживявания стрес. Мета-анализът на Goessl и сътрудници показва значим ефект на HRV БФ върху стреса и тревожността, а обзорът на Kim и сътрудници подкрепя HRV като обективен психофизиологичен индикатор на стресовото натоварване (Goessl et al., 2017; Kim et al., 2018). При студентски популации Tripska и сътрудници също намират връзки между възприетия стрес и физиологични показатели на стреса и общото здраве, което е доста близко до получените резултати и показва, че именно HRV профилът, а не изолираните хуморални маркери, носи най-голяма прогностична информация (Tripska et al., 2022).

По отношение на кортизола резултатите по-скоро потвърждават проучванията, подчертаващи хетерогенността на връзката между възприетия стрес и слюнчения кортизол. Има съобщения, че лица с по-високо субективно ниво на стрес могат да демонстрират по-високи кортизолови стойности в определени контексти, например при работен или академичен стрес, а при студенти сутрешният кортизол понякога показва известна предиктивна стойност за по-високо академично натоварване (van Eck et al., 1996; Murphy et al., 2010; Nijakowski et al., 2022; Sanogo et al., 2024; Špiljak et al., 2024). Същевременно систематични обзори показват, че връзките между PSS-стойностите и кортизоловите индекси остават непоследователни, особено когато се анализират различни кортизолови параметри като сутрешни стойности, дневни промени или общ дневен кортизол (Chida and Steptoe, 2009; Adam et al., 2017; Stalder et al., 2017). Това

прави липсата на стабилен кортизолов предиктор в изследването напълно обяснима.

По отношение на sIgA данните ни също подкрепят проучванията, при които маркерът е обещаващ, но силно зависим от редица условия. Изследвания при медицински сестри и други работещи в условия на висок стрес показват, че по-високото субективно натоварване може да се асоциира с по-ниски нива или по-ниска секреция на sIgA (Yang et al., 2002; Mocci and Bullitta, 2006). Други данни сочат връзки между по-висок възприет стрес, депресивна симптоматика и промени в IgA (Castro-Quintas et al., 2023; Engeland et al., 2016). Наред с това sIgA е силно повлиян от циркаден ритъм, възраст, вид на стресора и вида стрес - остър или хроничен (Chojnowska et al., 2021). Следователно, липсата на прогностична стойност на изходния sIgA в настоящите модели не противоречи на известните данни, а подкрепя разбирането за известна биологична вариабилност.

7.2. SAS

При SAS се установява същата тенденция: кортизолът и sIgA не предсказват надеждно подобрението, докато HRV има по-добра обяснителна сила ($R^2 = 0.496$; adjusted $R^2 = 0.108$), като средната сърдечна честота се откроява като значим предиктор, а IBI и SDNN показват тенденции към значимост. Това подкрепя идеята, че при тревожността автономната регулация е по-тясно свързана с индивидуалния отговор, отколкото изходните нива на кортизол и sIgA.

Предходни проучвания до голяма степен подкрепят тази интерпретация. Zafeiri и сътрудници съобщават значимо намаление на SAS след БФ терапия (Zafeiri et al., 2022). Li и сътрудници установяват при тревожни студентки паралелно понижаване на SAS и подобрение в HRV параметри като SDNN (Li et al., 2022). Екипите на Ding и Yu също демонстрират понижаване на SAS след БФ-базирани програми (Ding et al., 2012; Yu et al., 2017). Макар отделните протоколи да се различават, общата идея е сходна - тревожната симптоматика, измерена чрез SAS, е чувствителна към интервенции, които влияят върху автономната регулация.

По-широка научна справка относно тревожността още по-силно подкрепя настоящите HRV резултати. Мета-анализите на екипите на Cheng и Chalmers показват, че пациентите с тревожни разстройства имат по-ниска HRV, което съответства на концепцията за нарушен кардиовагален контрол при тревожност (Chalmers et al., 2014; Y.-C. Cheng et al., 2022). Именно затова не е изненада, че в разгледаните модели HRV има по-голяма прогностична стойност за SAS от кортизола и sIgA.

Кортизоловите данни при тревожност обаче са значително по-нееднородни. Някои изследвания при генерализирана тревожност показват по-висок базален кортизол, докато други, особено при по-продължителни или хронични тревожни разстройства, съобщават понижени сутрешни нива (Hek et al., 2013; Keefe et al., 2018; Mantella et al., 2008; Vreeburg et al., 2010). Това означава, че кортизоловата ос при тревожност може да бъде както свръхактивирана, така и частично „преадаптирана“ според продължителността и клиничния контекст на тревожността. В този смисъл липсата на стабилен кортизолов предиктор за SAS в изследването е напълно съвместима с вече публикуваните противоречиви данни.

Връзката между тревожността и sIgA също остава непоследователна. Класически проучвания намират, че по-честите епизоди на тревожност могат да се съпровождат от по-ниска секреция на sIgA, но други наблюдения не установяват ясна корелация между тревожност и слюнчен IgA след релаксационни процедури (Graham et al., 1988; Primo and Amorim, 2008). Ето защо описаните наблюдения са по-скоро очаквани, отколкото изненадващи.

7.3. BAI

И при BAI анализът е аналогичен: кортизолът и sIgA не показват надеждна прогностична стойност, докато HRV е най-информативна ($R^2 = 0.499$; adjusted $R^2 = 0.114$), като изходната средна сърдечна честота е значим предиктор, а IBI остава на границата на значимост. Това е особено логично именно за BAI, тъй като тази скала включва изразени соматични и автономни

прояви на тревожността като тахикардия, напрежение, изпотяване и усещане за „вътрешна активация“.

Предходни наблюдения, позоваващи се на BAI или близки до него тревожни конструкти, подкрепят това тълкуване. Park и сътрудници показват, че лица с по-тежка тревожност, отчетена чрез BAI, имат по-висока кортизолова концентрация и секреция, докато sIgA не се различава значимо между групите (Park et al., 2020). Liao и екипът му установяват, че BAI е свързан с по-неблагоприятен HRV профил в хода на проследяване (Liao et al., 2016). Wu и сътрудници описват връзка между симпатикова активация и едновременно по-високи нива на тревожност и депресия (Wu et al., 2022).

Мета-анализите на Cheng и Chalmers последователно показват по-ниска базова HRV при тревожни разстройства, а мета-анализът на Goessl подкрепя, че HRV БФ подобрява стресови и тревожни симптоми (Chalmers et al., 2014; Goessl et al., 2017; Y.-C. Cheng et al., 2022). Това означава, че настоящите BAI резултати подкрепят редица проучвания, според които тревожността е тясно свързана с автономната дисрегулация и затова HRV има по-голям потенциал в сравнение с кортизола и sIgA като прогностичен индикатор.

Що се отнася до кортизола и sIgA, отрицателни находки са наблюдавани и в други проучвания. При изследвани лица, оценени с BAI, кортизолът понякога показва положителни асоциации с тежестта на тревожността, но тези връзки не са достатъчно стабилни, за да служат като универсален предиктор на последващо подобрене (Keefe et al., 2018; S.-H. Park et al., 2020). При sIgA доказателствата са още по-колебливи: някои проучвания съобщават по-ниска секреция при по-висока тревожност, докато други не откриват съществени връзки (Graham et al., 1988; Primo and Amorim, 2008). Следователно полученият резултат, според който HRV е много по-значим предиктивен показател в сравнение с кортизола и sIgA при BAI, е добре аргументиран и подкрепен и от други екипи.

7.4. BDI

При BDI резултатите се различават от наблюдаваното при PSS, SAS и BAI - нито кортизолът, нито sIgA, нито HRV показват стабилна прогностична стойност за подобренето на депресивните симптоми. Макар HRV да има относително по-висока обяснителна сила лабораторните и психиметричните показатели, нито един от тях по отделно не достига статистическа значимост. Това подсказва, че при депресивната симптоматика изходният физиологичен профил е по-слаб и по-неоднозначен предиктор на краткосрочния отговор.

Мета-анализите на екипите на Pizzoli, Donnelly и Fernández-Alvarez показват, че HRV БФ и сродни програми могат да доведат до статистически значимо намаляване на депресивните симптоми (Donnelly et al., 2023; Fernández-Alvarez et al., 2023; Pizzoli et al., 2021). Наблюденията на Karavidas и екипа му също показват потенциал за полза на HRV БФ при депресия (Karavidas et al., 2007).

Що се отнася до HRV като предиктор, някои изследвания предполагат наличие на такава връзка, но тя е контекст-зависима. Huang и сътрудници съобщават дългосрочни асоциации между HRV и BDI (Huang et al., 2018). Екипът на Carney открива, че по-високата нощна сърдечна честота и по-ниската HRV предсказват по-лош терапевтичен отговор при депресивни пациенти със сърдечно заболяване, а Kircanski показва, че предиктивната стойност на HRV може да се различава според това дали депресията е с наличието и на висока тревожна компонента (Carney et al., 2016; Kircanski et al., 2019). При настоящите извадка и дизайн обаче HRV не е достатъчно стабилен самостоятелен прогностичен маркер за BDI.

Кортизоловите данни при депресия също не дават еднозначна прогностична картина. От една страна, мета-анализът на Sahu и сътрудници показва, че депресията често е асоциирана с по-високи кортизолови нива (Sahu et al., 2022). От друга страна, при прогноза на терапевтичния отговор резултатите са смесени: екипите на Fischer и Holland свързват по-високия кортизол с по-

неблагоприятен изход или по-слаб отговор на психотерапия, докато Schmalbach и сътрудници съобщават, че по-изразената кортизолова реактивност в определен контекст може да предсказва по-добро подобрене на депресивните симптоми (Holland et al., 2013; Fischer et al., 2017; Schmalbach et al., 2024). Тази хетерогенност донякъде подкрепя липсата на стабилен кортизолов предиктор в изследването.

При sIgA доказателствата са най-ограничени и най-трудни за интерпретация. Engeland наблюдава връзки между депресивни симптоми и промени в IgA, но тези асоциации не са достатъчно последователни, за да се приеме sIgA като стабилен прогностичен маркер на подобренето в депресивната симптоматика (Engeland et al., 2016). Така полученният отрицателен резултат за sIgA при BDI е по-скоро очакван.

7.5. Изводи от регресионния анализ

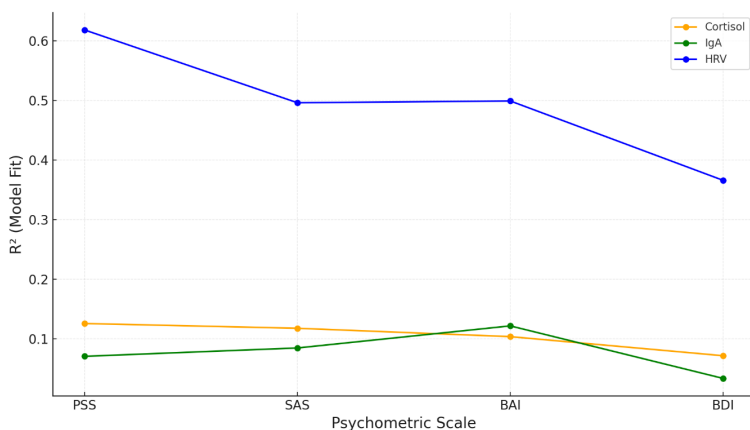
Проведените регресионни анализи върху четирите психометрични скали — PSS, SAS, BAI и BDI — показват различия в прогностичната стойност на изследваните физиологични и биохимични показатели. Кортизолът и секреторният IgA не установяват надеждна прогностична стойност по отношение на редуцията на възприетия стрес, тревожността и депресивните симптоми след програмата. Този резултат показва, че в рамките на използваната извадка двата биохимични маркера не се открояват като самостоятелни предиктори на психометричното подобрене. За разлика от тях, HRV данните демонстрират по-висока обяснителна стойност при PSS, SAS и BAI, като най-информативни се оказват показателите, свързани със средната сърдечна честота и интервала между последователните сърдечни удари. Поради това изходният автономен профил може да има по-голямо значение за индивидуалния отговор към БФ програмата, особено по отношение на стреса и тревожността.

Макар еднопредикторните модели да не достигат значимост, многовариантните анализи ясно подчертават значението на HRV профила като комплексен индикатор. Това съответства на

нарастващото разбиране в литературата, че автономната регулация на сърдечната дейност е централен механизъм, чрез който биологичната обратна връзка и релаксационните техники повлияват психичното здраве (P. M. Lehrer & Gevirtz, 2014; McCraty & Shaffer, 2015; McCraty & Zayas, 2014).

При BDI резултатите са по-различни – и трите изследвани показатели (кортизол, IgA, HRV) не показват стабилна прогностична стойност. Това наблюдение може да е свързано с различната времева динамика и по-сложната обусловеност на депресивната симптоматика в сравнение със стреса и тревожността. Получените данни насочват към възможността физиологичните маркери, и особено HRV, да бъдат по-информативни за краткосрочни психоемоционални промени, отколкото за депресивни състояния.

Фигура 28 показва, че HRV стойностите имат значително по-висока обяснителна сила ($R^2 \sim 0.50\text{--}0.62$) в сравнение с нивата на кортизол и IgA ($R^2 < 0.15$). Най-голяма предсказателна стойност HRV демонстрира при PSS, следвано от SAS и BAI, докато при BDI резултатите са по-слаби.



Фигура 28. Сравнителна предсказателна стойност на кортизол, IgA и HRV (R^2) за четирите психометрични скали (PSS, SAS, BAI и BDI)

V. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведеното проучване допринася за изясняване на възможностите на HRV-базирания биофийдбек-тренинг като нефармакологичен метод за редуциране на стреса и подобряване на психичното здраве при чуждестранни студенти по медицина. Приложеният комплексен подход, съчетаващ психометрична оценка, многосесийно проследяване на сърдечната вариабилност и изследване на слюнчени кортизол и секреторен IgA, позволи ефектът на тренировъчната програма да бъде разгледан на психологично, автономно и невроендокринно ниво.

Биофийдбек-програмата оказва най-изразен ефект по отношение на психоемоционалното състояние на участниците. След 11-седмичния тренировъчен период установихме значимо намаляване на възприемания стрес, тревожността и депресивната симптоматика.

Демонстрираните индивидуални вариации на показателите на сърдечната вариабилност насочват към необходимостта студентите с по-изразен психологически дистрес да бъдат включвани в по-продължителни или индивидуално адаптирани програми за подкрепа. Данните показват, че адаптацията към биофийдбек-тренинга протича като комплексен и нелинеен процес на автономна реорганизация и стабилизиране, който не може да бъде оценен чрез отделен HRV показател. По-информативен е цялостният анализ на HRV показателите, които посочват по-висока прогностична стойност за подобрене на общото психично състояние в сравнение с изследваните биохимични маркери.

За разлика от динамиката на HRV показателите, вероятно повлияни от изходното психоемоционално състояние, способността за саморегулация и наличието на допълнителни стресови фактори, слюнчените кортизол и IgA показаха минимални изменения в хода на тренировъчната програма. Липсата на групова динамика все пак не изключва участието им в стресовия отговор, доколкото се установиха взаимовръзки между ранната постстресова кортизолова реакция и тревожността, както и между промените в кортизола и секретория IgA.

Въз основа на получените резултати потвърдихме първата работна хипотеза, според която БФ-тренингът намалява нивата на стрес, тревожност и депресивна симптоматика. Втората и третата работна хипотеза получиха частично потвърждение, тъй като бяха установени значими, но нееднозначни и зависими от конкретния показател и момента на измерване взаимовръзки между психометричните показатели, HRV, кортизола и секреторния IgA.

Данните от нашето изследване показват, че HRV-базираният биофийдбек би могъл да стане част от системните стратегии за превенция на стреса и психичното изтощение при студенти по медицина, след като университетските здравни и психологически центрове интегрират биофийдбек-сесиите като форма на психофизиологична профилактика.

Методът е неинвазивен, предполага активно участие на обучаваните и създава възможност придобитите умения за саморегулация да бъдат прилагани извън лабораторните условия. Това е от особено значение за чуждестранните студенти по медицина, при които академичните изисквания се съчитават с културна адаптация, езикови затруднения и отдалеченост от обичайната социална подкрепа.

Необходими са бъдещи проучвания с по-големи извадки, рандомизирано разпределение, продължително проследяване и стандартизирани протоколи, които да оценят устойчивостта на ефекта и да определят кои участници биха имали най-голяма полза от подобна програма. Настоящият опит да обединим психологичните, автономните, хормоналните и имунологичните аспекти на стресовия отговор представлява стъпка напред към създаването на индивидуализирани и научно обосновани стратегии за психофизиологична саморегулация и подкрепа на психичното здраве в академичната среда.

VI. ИЗВОДИ

1. Анализът на резултатите от психометричната самооценка (PSS, SAS, BAI, BDI) показва статистически значимо намаляване във времето на показателите, съответстващи на състояние на възприет стрес, тревожност и депресия при тренировъчната група. Изразеният психологически дистрес, характерен за участниците преди началото на програмата, е редуциран до нива, съпоставими с тези на контролната група.
2. Участниците в биофийдбек-програмата с по-високи начални нива на възприет стрес, тревожност и депресивна симптоматика запазват относително по-високи стойности и в края на проследяването, като тази зависимост е най-изразена по отношение на състоянието на тревожност.
3. Изследваните лабораторни показатели (кортизол и IgA в слюнка) при тренировъчната група не демонстрират статистически значими промени.
 - При секреторния IgA се наблюдава тенденция за намаляване на нивата във времето.
 - При кортизол не се установява такава тенденция.
4. При показателите на сърдечната вариабилност (HRV) в хода на биофийдбек-тренинга липсва еднаква и устойчива промяна при всички параметри.
 - Индивидуалната динамика на HRV показателите е разнородна, което предполага различна чувствителност към биофийдбек-тренинга и различна скорост на психофизиологична адаптация.
 - Не се установява статистически значима промяна в кохерентността, MHR, SDNN и Mean IBI в хода на отделните сесии.
 - При MHR и RMSSD се установява значимо нарастване в хода на биофийдбек-сесиите, последвано от относителна

- стабилизация в по-късните етапи на тренировъчната програма.
- Оценката на автономния отговор изисква съчетана интерпретация на показателите за сърдечната честота, Mean IBI, времева вариабилност и кохерентност, вместо избор на конкретен физиологичен параметър.
5. При част от HRV показателите се установява нелинейна времева динамика в хода на биофийдбек-тренинга. Промените са по-изразени в първите 13–16 тренировъчни сесии, след което не се наблюдава статистически значима промяна.
- MHR достига максимум около 13-та сесия.
 - RMSSD и Mean IBI нарастват до платовидна фаза около 14-та сесия.
 - MHRR показва линеен ръст с индикация за стабилизация около 15–16-та сесия.
6. Установяват се статистически достоверни зависимости между HRV показатели по отношение на няколко фактора:
- Фактор, обединяващ показателите на времевата вариабилност на сърдечния ритъм (MHR, Mean IBI) и спектралните компоненти (VLF, LF, HF, RMSSD, Duration, MHRR);
 - Фактор, обединяващ показателите, които отразяват парасимпатиковата модулация и автономния баланс (SDNN, Normalized Coherence, Total Power);
 - Фактор, обединяващ кохерентността и кардиоваскуларната динамика при продължителния HRV анализ (MHR).
7. В хода на биофийдбек-програмата се установява взаимосвързано изменение на психоемоционалните показатели, кортизоловата реактивност и мукозния имунен отговор.
- Промените във възприетия стрес, тревожността и депресивната симптоматика са взаимосвързани, което

отразява паралелното им изменение в хода на проследяването.

- Ранният постстресов кортизолов отговор, измерен на 10-та минута, показва статистически значима връзка с тревожността, докато връзката с възприетия стрес е по-слаба и с гранична статистическа значимост.
 - Налице е обратна зависимост в промените на измерените на 10-та минута маркери на стреса: колкото по-голямо е повишението на кортизола, толкова по-малка е промяната в секреторния IgA.
8. Установена е различна прогностична стойност на физиологичните показатели за оценка на пост-тренировъчните промени във възприетия стрес, тревожността и депресивната симптоматика.
- MHR и Mean IBi са най-значимите HRV-предиктори за промяната във възприетия стрес и тревожността в хода на биофийдбек-тренинга.
 - Кортизолът и секреторният IgA не показват надеждна прогностична стойност за степента на намаляване на възприетия стрес, тревожността и депресивната симптоматика.
 - Не се установяват стабилни физиологични предиктори при депресивната симптоматика.
9. Разнородността на връзките между психометричните резултати, HRV показателите и лабораторните маркери (кортизол и IgA в слюнка) показва, че един отделен физиологичен показател не може да опише цялостно психофизиологичния отговор към стреса и биофийдбек тренировъчната програма.

VII. ПРИНОСИ

Приноси с оригинален характер:

1. За първи път е проведено контролирано лонгитудинално изследване върху ефекта на HRV-базиран биофийдбек-тренинг при чуждестранни студенти по медицина, съчетаващо психологически, автономни и биохимични показатели на стресовия отговор.
2. Разработен е модел за психофизиологично проследяване на индивидуалния отговор към биофийдбек-тренинг, при който данните от психометричните измервания се анализират съвместно с показатели на сърдечната вариабилност, слюнчени кортизол и IgA.
3. Разработен е структуриран HRV-базиран протокол за биофийдбек-тренинг (11-седмична програма провеждана в реално време (контролирано дишане, фокусиране на вниманието, визуална обратна връзка).
4. Извършено е сравнително моделиране на прогностичната стойност на HRV, слюнчения кортизол и секреторния IgA по отношение на промените във психофизиологичното състояние, което разкрива по-високата информативност на показателите на изходния HRV профил относно подобрение на възприетия стрес и тревожността.
5. Приложен е многосесиен подход за оценка на автономната регулация в хода на биофийдбек-програмата, позволяващ проследяване на HRV като индивидуална динамика в рамките на последователни тренировъчни сесии.
6. Създадена е методологична основа за бъдещи мултидисциплинарни проучвания върху стреса и саморегулацията, обединяваща психометрична оценка, HRV анализ, изследване на хормонални и имунологични показатели.
7. Създадени са предпоставки за разработване на дигитални формати за дистанционно проследяване и подпомагане на саморегулацията чрез HRV-базирани биофийдбек технологии, насочени към мониторинг и превенция на академичния стрес.

Приноси с потвърдителен характер:

1. Резултатите подкрепят данните за благоприятно въздействие на HRV-биофийдбек тренировъчна програма върху възприетия стрес, тревожността и депресивната симптоматика при млади хора и студентски популации.
2. Разширено е разбирането за информативността на различни физиологични показатели при проследяване на ефекта от БФ-тренинга. Установената по-изразена динамика на психометричните показатели съответства на данните, че психоемоционалното подобрене след биофийдбек се проявява по-бързо и значимо в сравнение с промените в автономните и биохимичните маркери.
3. Приложеният комплексен подход подчертава значението на комбинираната оценка чрез психометрични инструменти, HRV показатели и биохимични маркери, тъй като всеки от тях отразява различен аспект на психофизиологичната реакция към стрес и интервенция.
4. Липсата на специфичен ефект на биофийдбек-програмата върху слюнчените кортизол и IgA е в съответствие с данните за високата индивидуална и контекстуална вариабилност на тези маркери, което ограничава използването им като самостоятелни показатели за краткосрочно психоемоционално подобрене.

VIII. ПРАКТИЧЕСКИ ПРЕПОРЪКИ

1. Въвеждане на скрининг за стрес и психоемоционално състояние.

Препоръчва се периодично оценяване на нивата на психофизиологично натоварване сред студентите чрез стандартизирани въпросници и HRV измервания с цел ранно идентифициране на рискови групи и насочване към подходящи интервенции.

2. Обучение на преподаватели и университетски психолози в прилагането на биофийдбек.

Препоръчва се провеждане на специализирани курсове и семинари за академичния и консултантски персонал, които да изградят компетентности за работа с биофийдбек системи и интерпретация на HRV резултатите. Това ще гарантира устойчивост и качествено прилагане на метода в дългосрочен план.

3. Използване на биофийдбек за превенция на „burnout“ сред студенти и медицински персонал.

Предвид доказаните ефекти върху автономната регулация и емоционалната устойчивост, биофийдбек-тренингът може да бъде приложен и като средство за предотвратяване на професионално прегаряне при здравни специалисти и университетски преподаватели.

IX. ПУБЛИКАЦИИ И НАУЧНИ СЪОБЩЕНИЯ ВЪВ ВРЪЗКА С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Публикации в рецензирани научни списания:

- **Panayotova G**, Pavlova S, Ivanova M, Doncheva D, Velikova M. Evaluation of academic stress among international students. J of IMAB. 2021;27(Suppl 1):94-96.
- **Panayotova G**, Nikolova S, Ivanova M, Doncheva D, Velikova M. Factors associated with increased risk of depression in international medical students. J of IMAB. 2022;28(Suppl 1):135-138.
- **Panayotova G**, Hachmeriyan A, Brüggemann K, Scholz S. Current aspects of the effect of biofeedback training on food intake and development of diabetes mellitus: a mini review. Scripta Scientifica Medica. 2023;55(4):30-34. doi:10.14748/ssm.v55i2.9845.

Научни съобщения:

- **Panayotova G.**, Velikova M, Stoyanov Z. Assessing the effectiveness of long-term biofeedback training in a patient with severe depression and moderate persistent bronchial asthma: a case report. Acta Physiologica. 2024;240(Suppl 731):83. Presented at: XXIII Meeting of the Federation of European Physiological Societies and XLI Meeting of the Spanish Society for Physiological Sciences; 2024 Sep 4-6; Granada, Spain.
- **Panayotova G**, Stoyanov Z, Velikova M. Secretory IgA response to acute stress before and after 12-week biofeedback training in highly stressed individuals. Acta Physiologica. 2025;241(Suppl 735):C17-10. doi:10.1111/apha.70104.
- **Panayotova G**, Stoyanov Z, Velikova M. Effectiveness of biofeedback training on anxiety in international medical students. International Journal of Psychophysiology. 2025;213(SupplS):112688. doi:10.1016/j.ijpsycho.2025.112688.
- **Panayotova G**, Stoyanov Z, Velikova M. Effects of heart rate variability biofeedback training on stress biomarkers and allergy symptoms: a case report. International Journal of Psychophysiology. 2025;213(Suppl S):112689. doi:10.1016/j.ijpsycho.2025.112689.