

Электромиография как индикатор усталости мышц

Исследовательская работа
Направление «Естественно-научные дисциплины»

Автор:
Фукс Валентина Евгеньевна
обучающаяся 10 класса,
МБОУ ЭКЛ
города Новосибирска

Научные руководители:
Яброва Юлия Ильинична,
учитель биологии, МБОУ ЭКЛ,
город Новосибирск
Дедок Василий Александрович,
Старший научный сотрудник,
ФГБУН институт математики им. С. Л. Соболева Сибирского отделения
Российской академии наук

Новосибирская область, г. Новосибирск

2024 г

Оглавление

Введение.....	2
1. Теоретическая часть.....	4
1.1. Что такое ЭМГ и её виды.....	4
1.2. Обзор существующих исследований и результатов в области электромиографии....	5
2. Методика проведения и результаты исследований.....	7
2.1. Регистрация активности двуглавой мышцы у группы испытуемых.....	7
2.2. Обработка полученных результатов.....	9
Выводы.....	20
Список литературы.....	21
Приложение.....	23

Введение

Современные электронные устройства могут фиксировать различные электрические сигналы и их изменения в нашем теле и получать количественные и качественные показатели. Анализ этих показателей позволит оценить мышечную активность. Благодаря таким методам, как электромиография (далее ЭМГ), можно получать информацию о функционировании конкретной мышцы. Эту информацию можно использовать не только при подготовке спортсменов в области физической культуры и спорта, но и при планировании оптимальной физической нагрузки человека в повседневной жизни.

Цель проекта: Выявить закономерности в изменениях графика ЭМГ при совершении упражнений испытуемыми с разной натренированностью двуглавой мышцы плеча.

Актуальность проекта: Многие люди ведут гиподинамичный образ жизни, другие культивируют спорт. Для людей с разным образом жизни необходима физическая нагрузка для нормального функционирования своего организма. Зная, какие электрические процессы происходят в мышцах человека, можно разработать программу тренировок, чтобы можно было персонально подбирать упражнения для людей разной степени натренированности, что значительно увеличит результативность тренировок.

Гипотеза: ЭМГ можно использовать как индикатор усталости мышц.

Задачи:

1. Изучение метода поверхностной ЭМГ.
2. Проведение тестирования среди испытуемых с помощью оборудования «Бослаб».
3. Анализ полученных данных и выявление некоторых закономерностей.
4. Разработка специализированного приложения, которое будет работать как инструмент для тренировок.

Проблема: Влияние одинаковой физической нагрузки на работоспособность тренируемой мышцы у разных людей.

Предмет изучения: физиологические процессы мышц.

Объект изучения: активность бицепса.

Материалы: В данном исследовании приняли участие 18 испытуемых мужского пола в возрасте 16 лет, которые занимаются любительским видом спорта (волейбол, футбол, хоккей, силовые тренировки в тренажёрном зале). Электроды датчика ЭМГ крепились к бицепсу каждого испытуемого. Данные фиксировались при помощи специального оборудования (ПАК «ЮНИор» с модулями ЭМГ), а также профессиональным программным обеспечением «Бослаб», после чего обрабатывались в программе Excel. После получения результатов исследования была создано приложение (программа – помощник).

Методы: Мы предложили каждому испытуемому поднятие груза (гири) весом 5 кг в течении 1 минуты, после упражнения следовала 1 минута отдыха. При выполнении упражнения в течение одной минуты все участники сделали по 30 подъёмов груза с одинаковой частотой. Частота настраивалась и контролировалась по метроному.

1. Теоретическая часть

1.1. Что такое ЭМГ и её виды.

ЭМГ — это метод исследования нейромышечной активности человека и животных путем фиксации биоэлектрических потенциалов, возникающих в скелетных мышцах. Современные электромиографы – компактные компьютерные системы, помогающие проводить исследование по заданной программе. Аппаратура автоматически рассчитывает амплитуду, частоту и длительность латентных периодов, спонтанных и вызванных потенциалов мышц и нервов, позволяет проводить усреднение кривых.

На сегодняшний день различают два вида ЭМГ:

1. Локальная (игольчатая).
2. Интерференционная (поверхностная).

Локальная (игольчатая) - проводится с помощью игольчатых электродов, имеющих малую площадь соприкосновения с тканями и вследствие этого улавливающих колебания потенциала в отдельных мышечных волокнах или в группе мышечных волокон, иннервируемых одним мотонейроном. Этот метод позволяет исследовать структуру и функцию двигательных единиц.

Интерференционная (поверхностная) - проводится с помощью накожных электродов, которые отводят так называемую суммарную ЭМГ. Она отражает процесс возбуждения мышцы как целого. Стимуляционная ЭМГ регистрирует колебания потенциала, возникающие в мышце при искусственно стимуляции нерва или органов чувств. Таким образом, исследуется нервно-мышечная передача, рефлекторная деятельность двигательного аппарата, определяется скорость проведения возбуждения по нерву. Данный вид исследования дает возможность судить о состоянии и деятельности не только мышц, но и нервных центров, участвующих в осуществлении движений. Поверхностная электромиография давно вошла в рутинную практику как клиницистов, так и исследователей, предоставляя простую и доступную количественную оценку функции мышечной и периферической нервной системы. [1]

1.2 Обзор существующих исследований и результатов в области электромиографии

Параметры регистрируемого электромиографического (ЭМГ) сигнала служат объективным диагностическим показателем функционального состояния мышечных групп. Интерпретация параметров сигнала может быть источником достоверной информации. Так, например, были исследованы статьи, в которых приведены исследования суммарной ЭМГ, зарегистрированной у здоровых лиц и у пациентов с нарушением двигательной функции мышц нижних конечностей. Анализ результатов обработки суммарной электромиограммы в норме и при патологии показал эффективность данного метода для информативной качественной и количественной оценки функционального состояния нервно-мышечного аппарата.

На основании установленных закономерностей предложен амплитудно-частотный критерий для оценки функционального состояния нервно-мышечного аппарата человека: показатель отношения средней амплитуды ЭМГ-сигнала к эффективной ширине спектра. Данный критерий позволяет учесть основные параметры нестационарного биоэлектрического сигнала (амплитуду и частоту) и тем самым проводить быструю и эффективную экспресс-диагностику функционального состояния нервно-мышечной системы с использованием автоматизированных комплексов частотно-временной обработки ЭМГ-сигналов.

Традиционные методы анализа суммарной электромиограммы базируются на расчете статистических параметров (средняя арифметическая амплитуда и частота потенциалов). Предложенные методы качественной и количественной оценки суммарных ЭМГ-сигналов целесообразно использовать для прогнозирования сроков восстановления нарушенных двигательных функций; в качестве критерия при выборе средств и методов физической реабилитации; для контроля динамики нарушенных функций и объективной оценки эффективности применения лечебных мероприятий. В работе отмечалось, что традиционные методы анализа ЭМГ сигнала основаны на расчете статистических параметров и визуальной оценке по системе Ю.С. Юсевич. Визуальный анализ ЭМГ сигнала определяется опытом и профессионализмом эксперта. Поэтому разработка эффективных и достоверных аналитических методов и алгоритмов оценки ЭМГ сигнала является очень важной и перспективной задачей. Значимость формализации алгоритмов распознавания состояния мышечных тканей сложно переоценить. [2] Существуют даже попытки исследования ЭМГ сигнала методами искусственных нейронных сетей [3].

На сегодняшний день разработан беспроводной миограф Trigno, который позволяет использовать поверхностное ЭМГ для контроля состояния водителя. Беспроводные ЭМГ-датчики закрепляются на кожу и записывают данные испытуемого в специальную программу. [4]

В работе [5] описывается патент на изобретение, описывающее устройство для контроля бодрствования человека, используя данные ЭМГ и ЭЭГ.

В одной из научных работ указывается, что чрезмерное выполнение физических упражнений может сопровождаться процессами мышечного утомления. Мышечная усталость, вызванная физической активностью, может внести рассогласованность в работу двигательного координационного характера, например, влияя на остроту проприоцептивного чувства. В этой же статье указывается на то, что некоторые ученые используя поверхностную ЭМГ как индикатор усталости. Невозможность использования в частных случаях ручного динамометра или схожих инструментов оценки мышечной усталости, а также неточность субъективных ощущений больных делают ЭМГ ценным инструментом в руках реабилитолога. [1]

В работе по оценке методов целенаправленной двигательной и роботизированной тренировки целью являлось исследование уровня мышечной активности и утомляемости у пациентов, перенесших инсульт при сравнении воздействия моторных тренировок разного типа. Помимо субъективных ощущений, в качестве инструментальной оценки использовалась ЭМГ. [6]

На основе данных литературы, была проанализирована роль поверхностной ЭМГ. Указанные исследования только подтверждают высокий уровень интереса к изучению ЭМГ сигнала и разработке алгоритмических инструментов как диагностики заболеваний, так и контроля за состоянием мышечной ткани.

Таким образом, физиологические данные человека, зафиксированные этим методом, могут представлять простую и доступную оценку функционирования мышц.

2. Методика проведения и результаты исследований

2.1 Регистрация активности двуглавой мышцы у группы испытуемых.

В данном исследовании приняли участие 18 испытуемых в возрасте 16 лет (Приложение 1), которые занимаются любительским спортом (волейбол, футбол, хоккей, силовые тренировки в тренажёрном зале).

Все участники были протестированы в дни, когда они не посещали тренировки, чтобы снизить нагрузку на мышцы и получить наиболее точные результаты. Мы предложили каждому испытуемому поднятие груза (гири) весом 5 кг в течение 1 минуты, после упражнения следовала 1 минута отдыха. При выполнении упражнений все участники сделали по 30 подъёмов груза с одинаковой частотой. Частота настраивалась и контролировалась по метроному. Зафиксировали результаты мышечной активности до и после нагрузки в программе «Бослаб» [7] (Приложение 2). В результате были получены сырые амплитуды ЭМГ (показаны на примере 2-х испытуемых). (см. Рисунок 1 и Рисунок 2)

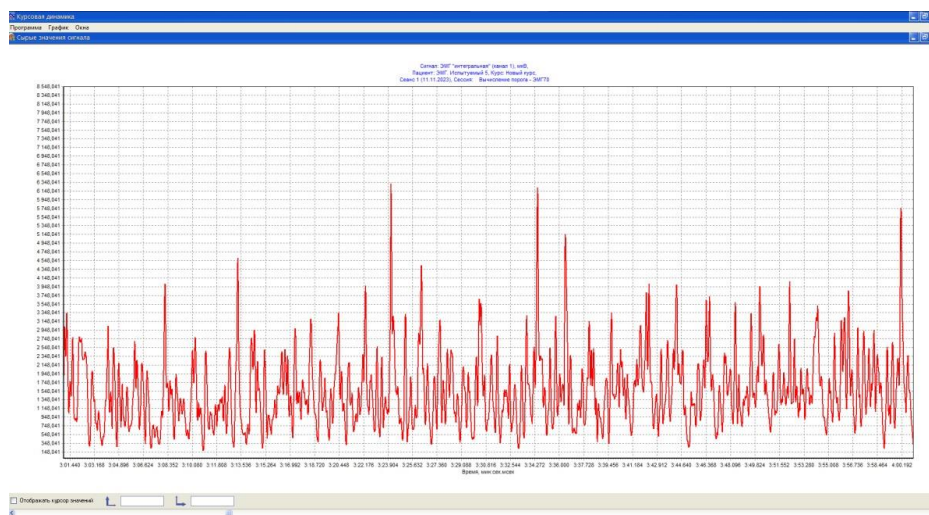


Рисунок 1 - Сырые амплитуды ЭМГ на примере испытуемого №5.

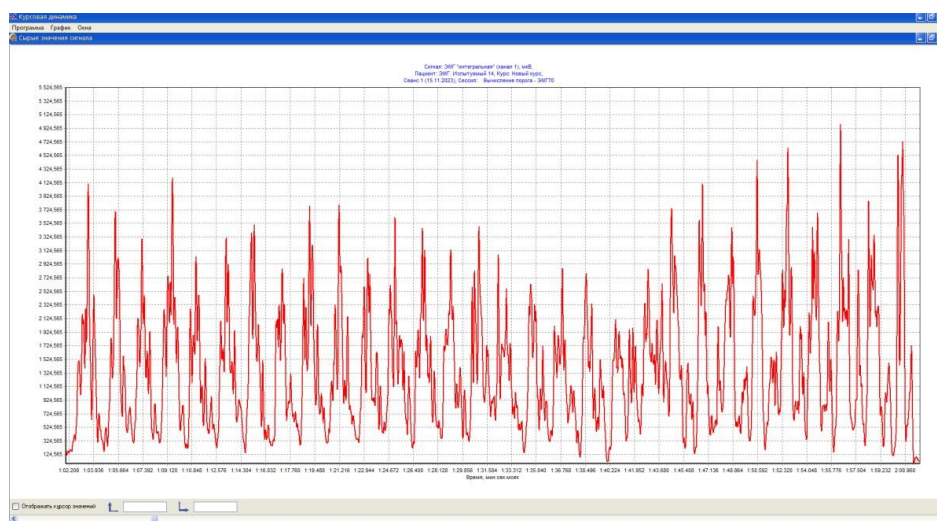
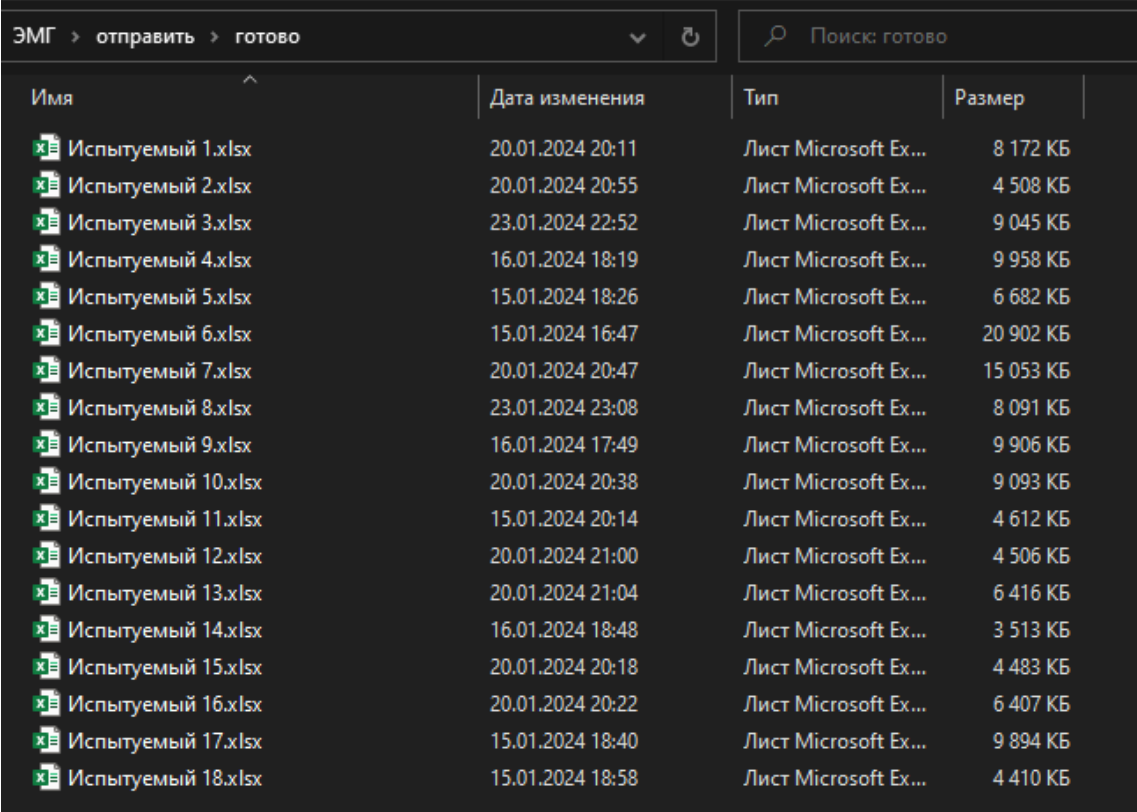


Рисунок 2 - Сырые амплитуды ЭМГ на примере испытуемого №14

Полученные графики по всем 18 испытуемым понять и проанализировать проблематично, поэтому была выполнена выгрузка отчёта в виде тестового документа. Полная выгрузка выглядит следующим образом. (см. Рисунок 3)



Имя	Дата изменения	Тип	Размер
Испытуемый 1.xlsx	20.01.2024 20:11	Лист Microsoft Ex...	8 172 КБ
Испытуемый 2.xlsx	20.01.2024 20:55	Лист Microsoft Ex...	4 508 КБ
Испытуемый 3.xlsx	23.01.2024 22:52	Лист Microsoft Ex...	9 045 КБ
Испытуемый 4.xlsx	16.01.2024 18:19	Лист Microsoft Ex...	9 958 КБ
Испытуемый 5.xlsx	15.01.2024 18:26	Лист Microsoft Ex...	6 682 КБ
Испытуемый 6.xlsx	15.01.2024 16:47	Лист Microsoft Ex...	20 902 КБ
Испытуемый 7.xlsx	20.01.2024 20:47	Лист Microsoft Ex...	15 053 КБ
Испытуемый 8.xlsx	23.01.2024 23:08	Лист Microsoft Ex...	8 091 КБ
Испытуемый 9.xlsx	16.01.2024 17:49	Лист Microsoft Ex...	9 906 КБ
Испытуемый 10.xlsx	20.01.2024 20:38	Лист Microsoft Ex...	9 093 КБ
Испытуемый 11.xlsx	15.01.2024 20:14	Лист Microsoft Ex...	4 612 КБ
Испытуемый 12.xlsx	20.01.2024 21:00	Лист Microsoft Ex...	4 506 КБ
Испытуемый 13.xlsx	20.01.2024 21:04	Лист Microsoft Ex...	6 416 КБ
Испытуемый 14.xlsx	16.01.2024 18:48	Лист Microsoft Ex...	3 513 КБ
Испытуемый 15.xlsx	20.01.2024 20:18	Лист Microsoft Ex...	4 483 КБ
Испытуемый 16.xlsx	20.01.2024 20:22	Лист Microsoft Ex...	6 407 КБ
Испытуемый 17.xlsx	15.01.2024 18:40	Лист Microsoft Ex...	9 894 КБ
Испытуемый 18.xlsx	15.01.2024 18:58	Лист Microsoft Ex...	4 410 КБ

Рисунок 3 - Выгрузка отчёта по всем испытуемым в виде тестового документа.

2.2. Обработка полученных данных.

Выгруженные текстовые документы поэтапно обработали при помощи программы Excel.

1. Перенесли числовые данные на лист Excel, построили график и рассчитали «шаг» или усреднённое значение у каждого подхода, разделённое по временным промежуткам (показываем на примере испытуемого №3). (см. Рисунок 4)

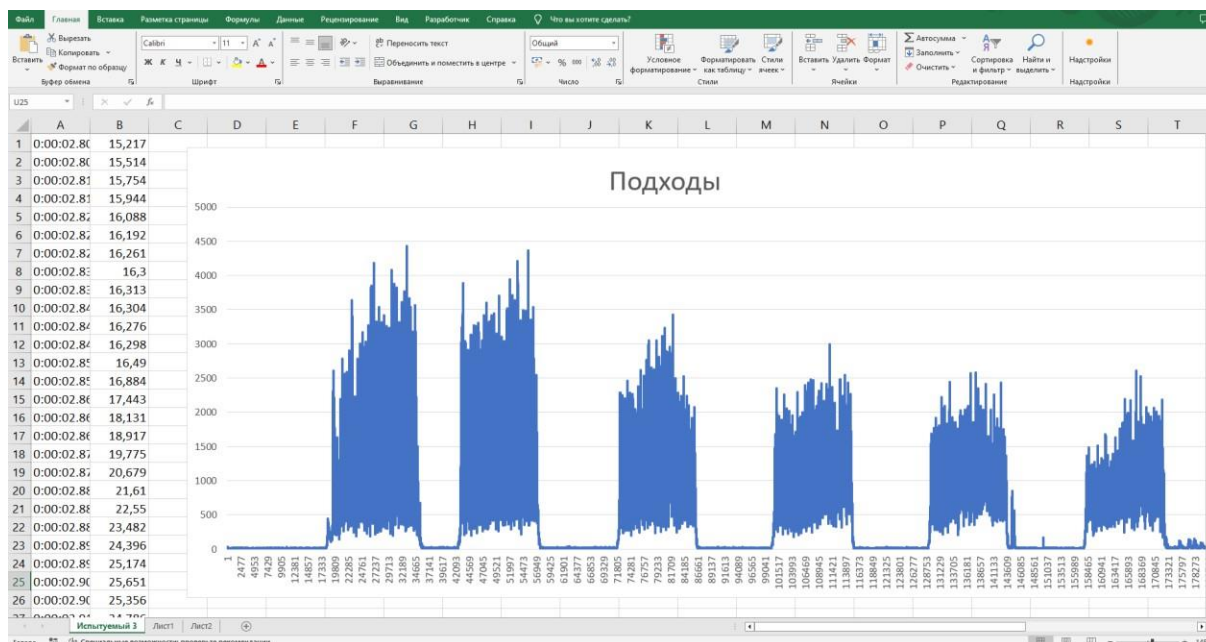


Рисунок 4 – График расчета «шага» на примере испытуемого №3

2. Далее выписали числовые значения по каждому подходу у каждого испытуемого (показываем на примере испытуемого №3). (см. Рисунок 5)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
14977	417,111	29,566	17,02	792,636	429,352	137,757												
14978	399,658	28,879	17,25	810,149	432,468	135,607												
14979	382,027	28,087	17,454	827,639	435,28	133,431												
14980	364,502	27,218	17,633	844,858	437,796	131,266												
14981	347,319	26,296	17,788	861,599	439,533	127,02												
14982	330,672	25,345	17,974	877,698	439,602	124,811												
14983	314,714	24,383	18,284	893,027	437,779	122,5												
14984	299,565	23,425	18,747	907,488	434,398	120,136												
14985	285,22	22,448	19,331	920,712	429,762	117,763												
14986	271,571	21,4	20,007	932,105	424,142	115,417												
14987	258,611	20,272	20,751	941,499	417,78	113,127												
14988	235,035	19,092	21,54	949,082	410,889	110,917												
14989	224,504	17,886	23,184	955,039	403,655	108,806												
14990	214,836	16,677	24,009	959,549	396,239	106,809												
14991	206,03	15,481	24,819	962,783	381,385	104,936												
14992	198,073	14,315	25,605	964,901	373,801	103,193												
14993	190,943	13,19	26,295	966,054	365,452	101,523												
14994	184,608	12,116	26,766	966,017	356,226	99,811												
14995	179,031	11,1	26,982	965,074	346,398	98,027												
14996	174,949	10,147	26,981	962,39	336,209	96,207												
14997	173,739	8,457	26,798	955,742	325,866	94,384												
14998	175,731	7,728	26,467	944,599	315,543	92,585												
14999	180,376	7,075	26,015	929,854	305,388	90,833												
15000	187,174	6,495	25,469	912,308	295,518	89,144												
15001	195,675	5,985	24,853	892,671	286,032	87,533												
15002	19512613,1	20444039,3	16437830,5	14407905,7	13769296,9	12862913												

Рисунок 5 – Числовые значения по каждому подходу» на примере испытуемого №3

3. Произвели подсчёт среднего значения и дисперсии у каждого испытуемого по шагам (показываем на примере испытуемого №3). (см. Рисунок 6)

Пояснение:

В ходе эксперимента было визуально замечено, что среднее значение сигнала угасает, а также, что такая тенденция была не всегда. Для данных мы воспользовались математическим понятием «дисперсия», и попробовали ее измерить. Экспериментально было доказано, что она изменяется вне зависимости от физической подготовленности человека.

	Среднее	Дисперсия
1	1300,83	228,31362
2	1362,94	326,64926
3	1095,85	242,51865
4	960,47	200,64269
5	917,93	254,65984
6	857,52	144,0494

Рисунок 6 – Подсчёт среднего значения и дисперсии на примере испытуемого №3.

4. Рассчитали среднеквадратичное отклонение (корень из дисперсии) для удобств дальнейшего использования числовых значений мкВ.
5. Построили диаграммы среднего значения и среднеквадратичного отклонения по каждому испытуемому (показываем на примере испытуемого №3). (см. Рисунок 7 и Рисунок 8)

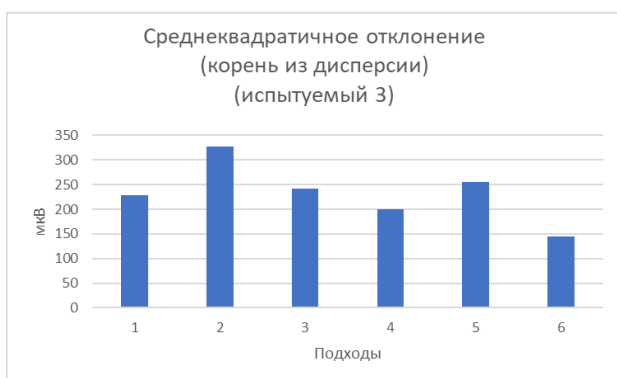


Рисунок 7 – Диаграмма среднеквадратичного отклонения (корень их дисперсии) на примере испытуемого №3.



Рисунок 8 - Диаграмма среднего значения на примере испытуемого №3.

6. После окончательной обработки всех испытуемых мы построили графики «Усреднённая интенсивность электрической активности бицепса (мкВ, по подходам). Для упрощения анализа усреднили данные по 4х секундным интервалам (на графике – шаг). Приводим результаты испытуемого №3. На данной графике наглядно можно проследить тот факт, что первый подход выше по показателям, чем шестой подход. (Остальные графики в приложении 3).(см. Рисунок 9)

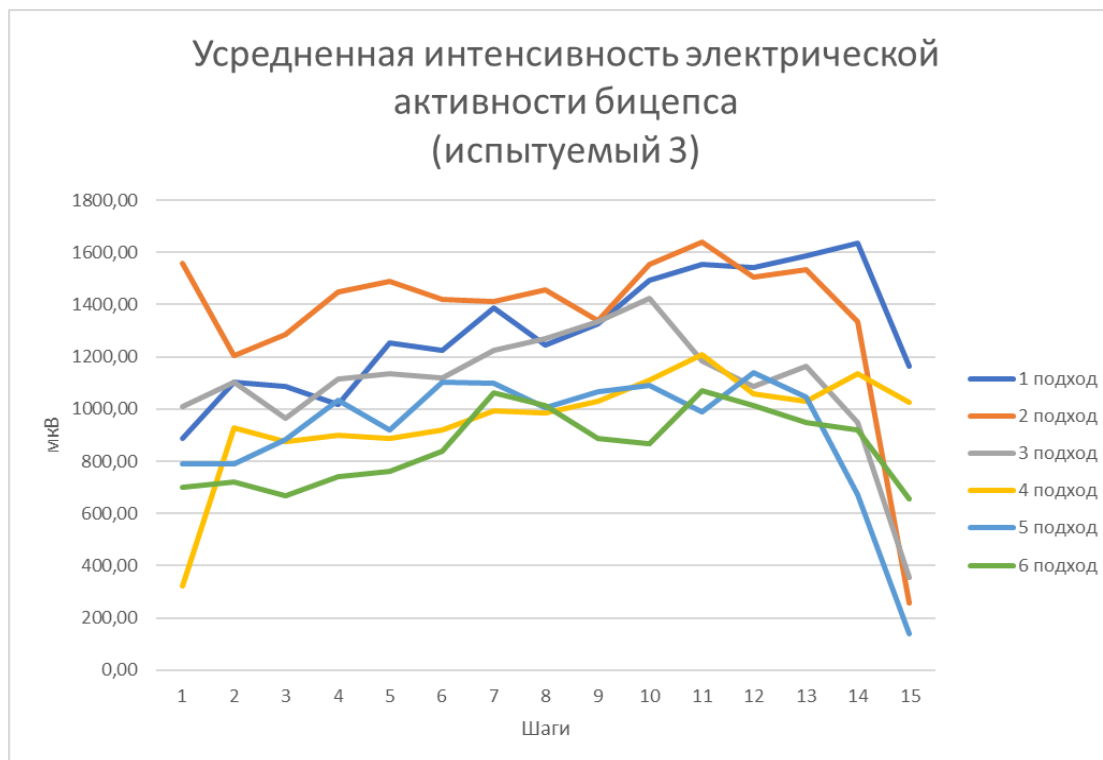


Рисунок 9 - График «Усреднённая интенсивность электрической активности бицепса (мкВ, по подходам)» на примере испытуемого №3.

7. В ходе обработки мы обнаружили, что у 67% участников эксперимента снижается или повышается уровень сигнала активности мышц, то есть изменяется среднее значение амплитуды ЭМГ по подходам. У остальных испытуемых (33%) он не изменяется. (см. Рисунок 10)

№	Среднее	Дисперсия	Подсчеты	Количество	Процент
Испытуемый 1	Повышается	Повышается			
Испытуемый 2	Неизменно	Изменяется	Понижение	8	44,44%
Испытуемый 3	Понижается	Понижается	Повышение	4	22,22%
Испытуемый 4	Повышается	Повышается	Неизменно	6	33,33%
Испытуемый 5	Понижается	Понижается	Всего	18	
Испытуемый 6	Неизменно	Изменяется			
Испытуемый 7	Повышается	Повышается			
Испытуемый 8	Неизменно	Изменяется			
Испытуемый 9	Понижается	Понижается			
Испытуемый 10	Неизменно	Изменяется			
Испытуемый 11	Понижается	Понижается			
Испытуемый 12	Понижается	Понижается			
Испытуемый 13	Повышается	Повышается			
Испытуемый 14	Повышается	Повышается			
Испытуемый 15	Понижается	Понижается			
Испытуемый 16	Понижается	Понижается			
Испытуемый 17	Неизменно	Изменяется			
Испытуемый 18	Неизменно	Изменяется			

Рисунок 10 – Изменение уровня сигнала активности мышц по всем испытуемым.

8. При этом, у этих испытуемых среднее значение практически неизменно, однако среднеквадратичное отклонение (дисперсия) по подходам изменяется, что может свидетельствовать об усталости мышц. То есть, усталость может быть связана или с уменьшением сигнала, или изменением дисперсии, если сигнал не уменьшается. Приводим график одного из испытуемого, у которого это наблюдается. На данном графике наглядно видно, что все подходы колеблются примерно в одном значении. (см. Рисунок 11)

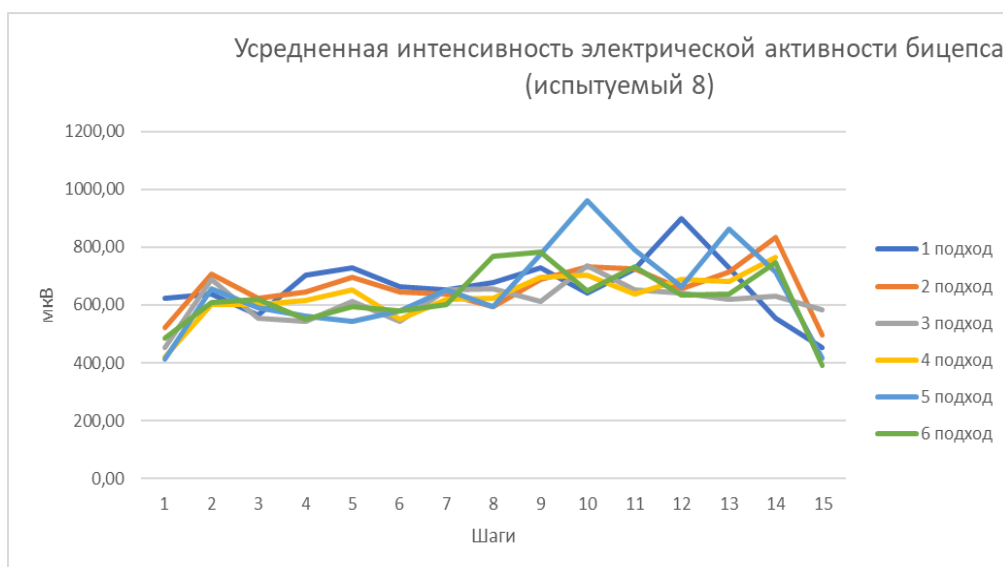


Рисунок 11 - График «Усреднённая интенсивность электрической активности бицепса (мкВ, по подходам)» на примере испытуемого №8.

9. По полученным данным была составлена таблица Excel, где на разных листах программы размещались испытуемые с разным поведением усредненной интенсивности электрической активности бицепса. (см. Рисунок 12, Рисунок 13 и Рисунок 14)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
1		Испытуемый 4	Испытуемый 15	Испытуемый 16	Испытуемый 12	Испытуемый 5	Испытуемый 3	Испытуемый 11	Испытуемый 9		
2 p1		933,74	1898,14	500,63	328,18	953,02	887,75	962,60	1739,22		
3		1414,92	1719,22	1997,79	204,41	2127,72	1102,62	1935,14	2495,83		
4		1500,23	1665,02	2379,86	648,29	1478,66	1085,47	2092,92	3223,61		
5		1741,42	1587,37	2912,09	2411,15	1548,02	1018,05	2190,06	3004,99		
6		929,90	1532,41	3072,74	1403,15	1307,89	1252,85	1943,02	2774,70		
7		1175,02	1543,71	3017,05	1292,27	1474,69	1225,41	1928,92	2376,80		
8		1222,77	1637,48	3458,21	1169,89	2001,22	1388,35	1637,81	1976,86		
9		1365,50	1583,23	2007,39	951,09	1610,21	1246,17	1463,00	1750,88		
10		1773,26	1577,82	2859,40	914,72	1842,10	1326,05	1366,25	1325,30		
11		1619,28	1487,32	3718,40	895,51	1856,89	1495,07	1253,78	1314,47		
12		1577,63	1681,17	3513,74	1009,57	1702,77	1555,44	1575,89	1036,56		
13		1579,40	1712,62	3427,38	876,12	1882,55	1541,30	1638,66	1141,29		
14		1471,47	158,55	3437,41	1047,04	1912,33	1587,53	1361,61	1239,14		
15		1842,18		2897,38	925,77	1548,98	1636,74	1629,88	1484,88		
16		1367,95			436,81	1825,94	1163,62	947,92	974,35		
17											
18 p2		1026,77	1298,61	1111,28	498,76	981,09	1557,01	401,66	855,38		
19		1207,93	1292,98	2622,98	644,65	1316,72	1206,11	1537,37	800,95		
20		1421,89	1451,43	2067,00	725,49	1233,48	1285,50	1307,68	877,06		
21		1247,78	1508,03	2209,17	831,49	1314,76	1450,24	1429,09	917,97		
22		1386,92	1695,53	2487,51	769,65	1434,62	1487,06	1595,79	1456,95		
23		1465,00	1801,35	2294,57	828,33	1475,31	1421,36	1410,46	888,47		
24		1399,88	1729,51	2445,94	825,90	1622,52	1412,68	1479,44	1042,77		

Рисунок 12 – Таблица данных испытуемых, у которых уменьшается среднее значение

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1		Испытуемый 1	Испытуемый 7	Испытуемый 13	Испытуемый 14													
2 p1		956,21	731,79	314,89	553,78													
3		938,45	901,12	495,89	1320,56													
4		865,79	912,82	425,60	1358,42													
5		1084,72	1078,84	452,83	1276,55													
6		1028,06	1063,75	468,45	1263,51													
7		1254,71	1096,36	675,91	1241,34													
8		1143,40	1216,49	637,94	1343,91													
9		1237,85	1180,45	668,50	1449,69													
10		1302,13	1216,85	505,91	1192,44													
11		1409,08	1110,40	561,40	1100,42													
12		1399,72	1214,00	620,99	1570,07													
13		1568,72	1292,71	567,97	1351,93													
14		1535,30	1293,86	531,54	1563,12													
15		1528,04	1328,91	670,75	1599,25													
16		1374,87	1264,48	420,99	1412,23													
17																		
18 p2		448,98	811,43	523,33	720,22													
19		1159,85	1136,61	527,83	1149,18													
20		1117,77	1175,24	478,37	1336,57													
21		1164,77	1220,37	516,25	1363,76													
22		1300,40	1211,24	685,20	1273,34													
23		1305,65	1158,50	568,93	1386,18													
24		1158,58	1265,49	599,77	1611,58													
25		1288,24	1307,50	558,74	1557,48													
26		1329,95	1325,10	712,38	1550,28													
27		1236,29	1428,24	641,94	1492,16													
28		1386,17	1277,76	738,76	1459,38													
29		1343,37	1361,96	775,50	1781,26													
30		1475,58	1426,04	767,17	1857,67													

Рисунок 13 – Таблица данных испытуемых, у которых повышается среднее значение

Подход	Испытуемый 6	Испытуемый 10	Испытуемый 17	Испытуемый 18	Испытуемый 2	Испытуемый 8
1	947,31	814,24	441,88	1364,56	377,71	622,22
2	1047,47	921,48	1163,82	1529,70	163,08	639,55
3	1026,52	746,71	1112,72	1431,47	787,67	566,81
4	776,26	853,49	1121,05	1641,16	1131,49	702,95
5	785,20	978,95	1328,13	1533,99	1450,97	729,97
6	811,34	1045,96	1412,88	2009,66	1201,24	664,40
7	824,00	765,49	1382,10	1572,83	1169,89	651,56
8	945,86	758,70	1515,70	2047,67	933,88	676,50
9	762,40	792,79	1180,12	1918,20	922,70	728,64
10	953,99	788,08	1269,00	1904,46	942,95	641,80
11	1012,98	724,23	1457,29	1929,23	978,75	726,92
12	1086,24	742,93	1512,60	2119,71	900,75	900,71
13	1159,93	860,86	1406,50	2107,00	1035,77	727,39
14	1004,03	788,25			948,44	554,04
15	1068,43	690,45			236,67	452,78
16						
17						
18	520,79	506,63	293,24	1583,07	420,35	522,25
19	801,43	908,54	1423,99	1859,42	598,54	707,45
20	1032,57	978,81	1270,50	2126,47	733,33	624,16
21	1043,44	892,94	1107,71	1717,56	800,96	644,87
22	1047,72	969,71	1393,31	1768,66	815,55	695,03
23	1081,48	890,07	1247,20	1768,23	797,39	645,96
24	1064,76	836,96	1069,38	1897,55	817,48	637,11
25	1179,81	793,37	1403,10	1545,54	1082,00	594,84
26	1150,70	1958,69	1370,60	1951,70	912,43	689,98
27	1242,10	1056,65	1540,84	1679,48	1199,79	731,33
28	1207,20	1028,66	1340,43	1974,18	1115,91	725,38
29	1455,84	1030,88	125,83	1633,41	1050,35	655,96
30	1205,44	947,55	77,50	1965,42	1151,80	714,19

Рисунок 14 – Таблица данных испытуемых, у которых не изменилось среднее значение

По всем испытуемым каждой группы («уменьшающиеся», «повышающиеся», «неизменные»), выводилось среднее значение и дисперсия по каждому подходу.

(см. Рисунок 15, Рисунок 16 и Рисунок 17)

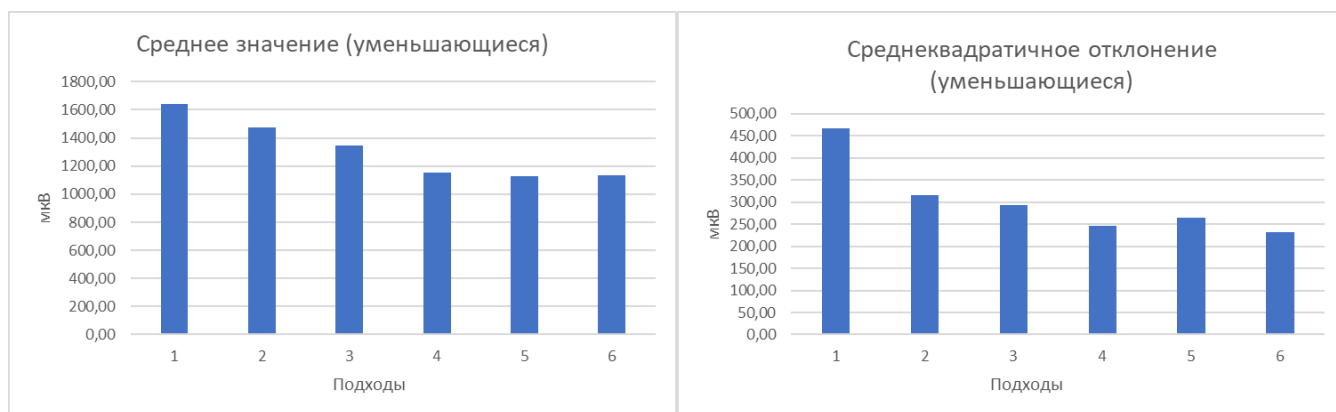


Рисунок 15 - Диаграммы среднего значения и среднеквадратичного отклонения (дисперсии) группы «Уменьшающиеся»

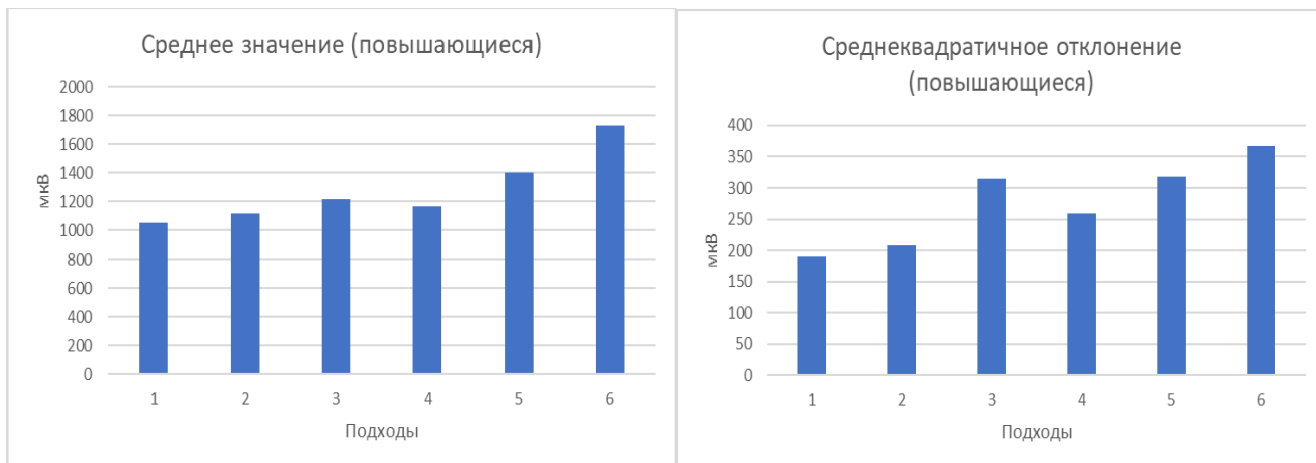


Рисунок 16 - Диаграммы среднего значения и среднеквадратичного отклонения (дисперсии) группы «Повышающиеся»

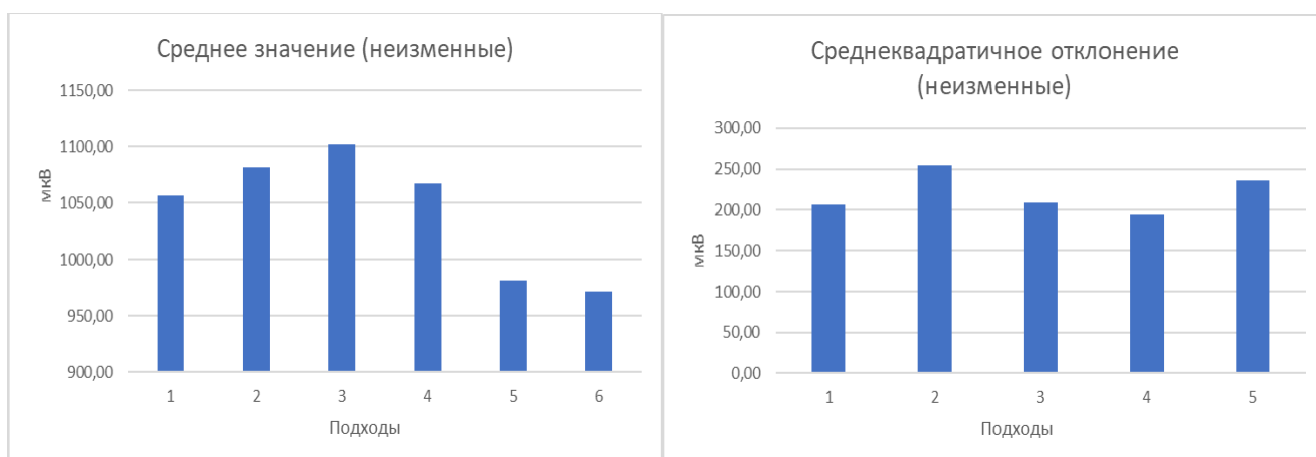


Рисунок 17 - Диаграммы среднего значения и среднеквадратичного отклонения (дисперсии) группы «Неизменные»

Далее было найдено максимальное значение по всем подходам у каждого испытуемого. Для того, чтобы оценивать данные разных участников в одном масштабе была проведена нормировка данных. У каждого испытуемого разное значение амплитуды ЭМГ, поэтому нормировка позволила обрабатывать эти данные в едином масштабе. Отнормированные данные были усреднены для выявления общей тенденции при выполнении упражнений. (см. Рисунок 18, Рисунок 19 и Рисунок 20)

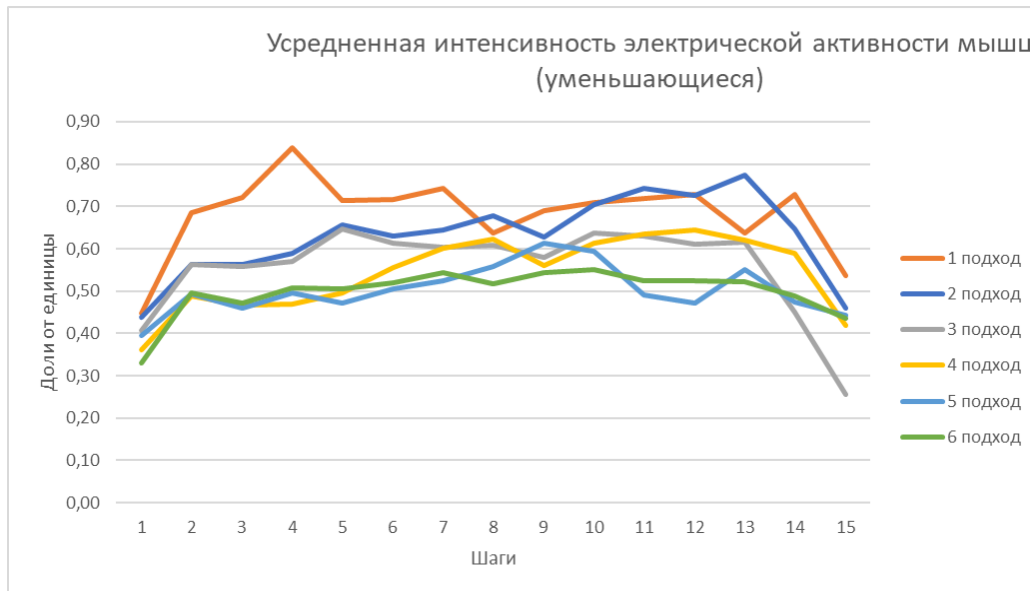


Рисунок 18 - График «Усреднённая интенсивность электрической активности бицепса» у испытуемых группы «Уменьшающиеся»

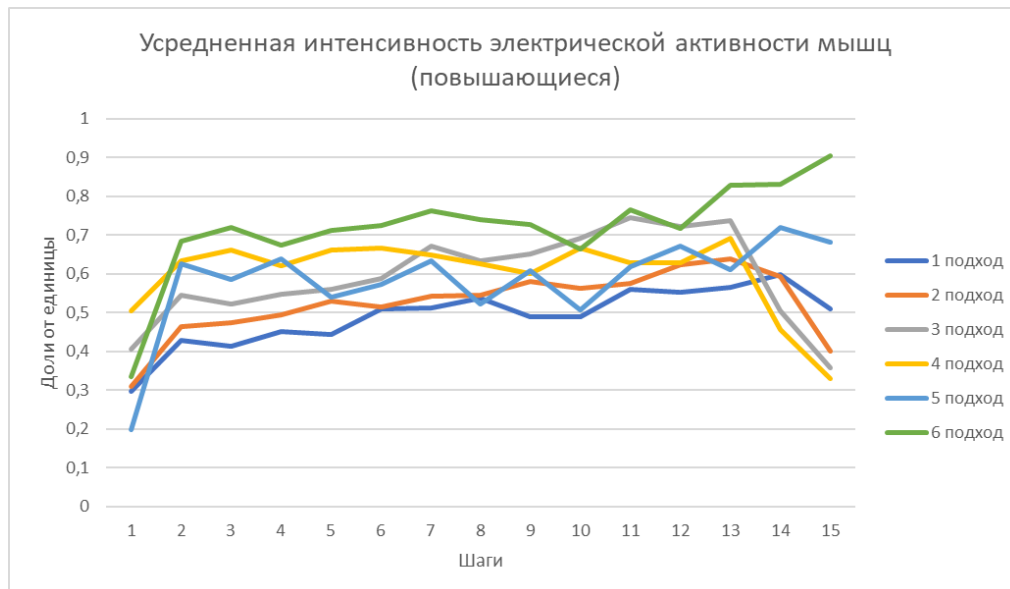


Рисунок 19 - График «Усреднённая интенсивность электрической активности бицепса» у испытуемых группы «Повышающиеся»

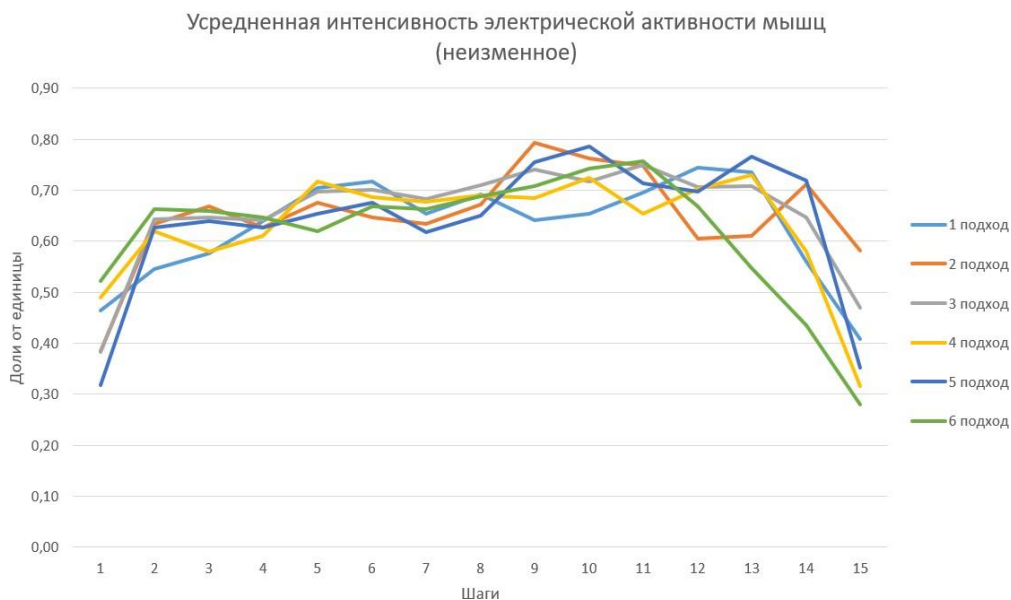
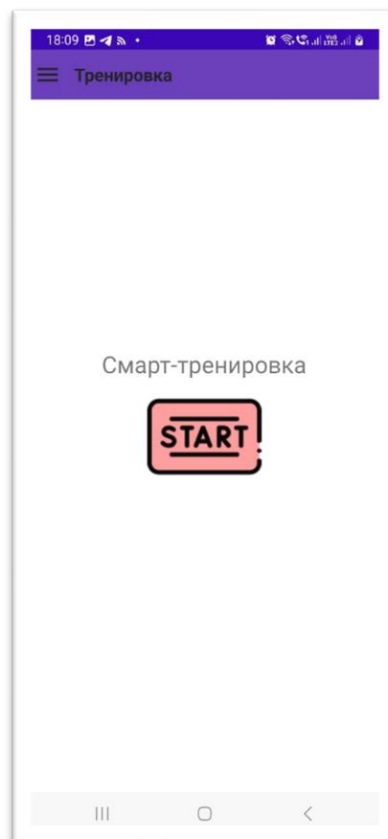
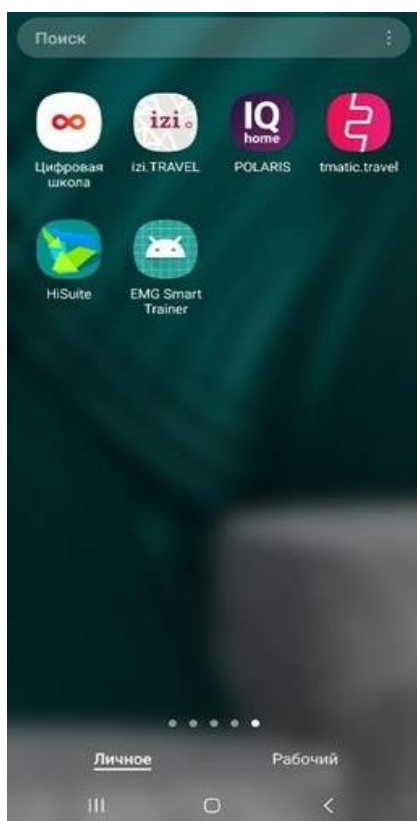


Рисунок 20 - График «Усреднённая интенсивность электрической активности бицепса» у испытуемых группы «Неизменные»

10. Создание приложения (программы – помощника) для планирования оптимальной физической нагрузки человека. Данные наблюдения были реализованы в виде приложения для Android-телефона EMG Smart Trainer, похожее на популярные приложения для бегунов (например, Samsung Health). (см. Рисунок 21)



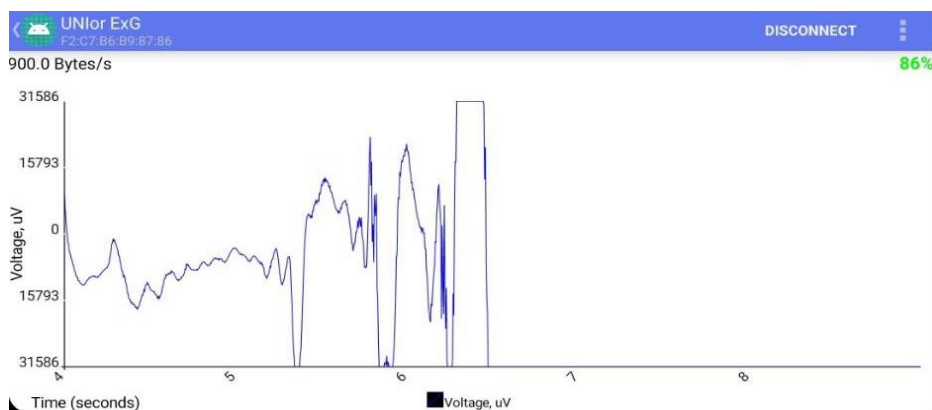


Рисунок 21 – Внешний вид и старт разработанного приложения для Android-телефона.

Данное приложение позволяет подключиться к ЭМГ-датчику из состава комплекта БОСЛаб и получить сигнал ЭМГ. Алгоритм действий тренирующегося человека и краткое описание программы приведены ниже:

- Данная программа считывает и сравнивает между собой полученные значения с датчика ЭМГ в течение подходов, ориентируясь на вычисленное максимальное отклонение среднего значения сигнала и процент изменения дисперсии выстраивает оптимальную программу тренировок для тренирующегося человека. Подбор оптимального веса для упражнений и частота их выполнения на протяжении минуты определяется совместно с тренером, регулирующим процесс тренировки. Так же определяется желаемое количество подходов, фиксируемое и анализируемое программой-помощником.
- Далее спортсмен связывает приложение и ЭМГ-датчик по протоколу Bluetooth, подключает к себе электроды (наглядная инструкция подключения электродов представлена в приложении) на тренируемую мышцу и нажимает кнопку «Начать упражнение».
- Первый сеанс проводится в тестовом режиме. Приложение получает данные с ЭМГ-электрода и анализирует, когда начался и окончился каждый из подходов, фиксируя и сравнивая среднее значение и процент изменения дисперсии с первым подходом.
- В случае, если после 5 подходов программа не видит значительных отклонений от среднего значения или изначально полученной в первом подходе дисперсии, рекомендуется повысить нагрузку путем увеличения веса поднимаемого груза. Если же программа замечает чрезмерное отклонение от среднего значения или изначально полученной в первом подходе дисперсии после 3 или 4 подхода, рекомендуется понизить нагрузку путем уменьшения веса поднимаемого груза.
- Сеанс оканчивается по желанию тренирующегося или по предупреждению приложения-помощника о достижении нужного отклонения среднего значения сигнала или процента изменения дисперсии.

Принцип работы программы:

1. С помощью ЭМГ- электрода программа-помощник получает сигнал от мышц тренирующегося (за 1 минуту программа считывает и анализирует 250 значений получаемого сигнала), каждое значение вносится в память программы как некая переменная S_i .
2. В программе заложено некоторое значение переменной α ($\alpha = \text{const}$), которое отвечает за минимально принимаемое значение S_i в период активной работы.
 - a. Если $S_i > \alpha$ на протяжении 5 секунд, то программа считает, что подход начался.
⇒ Следовательно, программа считает среднее значение и дисперсию в данный момент времени.
 - b. Если $S_i < \alpha$ на протяжении 5 секунд и подход начинался, то программа считает, что подход окончился.
3. После завершения подхода программа просчитывает и сравнивает среднее значение и дисперсию со средним значением и дисперсией первого подхода этого сеанса.
4. Данная программа зациклена, выполняется вплоть до момента окончания сеанса и просчитывает значения показания датчика в реальном времени для подведения итогов об оптимальной нагрузке.

Необходимо учитывать, что данная программа на начальном этапе своей разработке. Выше представлен разработанный «модуль 1», выступающий в качестве некоторого "советника", который подсказывает по физической нагрузке. В это же время, он может и ошибаться. Для более детального подбора оптимальной физической нагрузки в программу будут заложены физиологические параметры: пол, возраст, вес, которые также существенно может влиять на эффективность тренировки.

Такое приложение в будущем может быть полезно для спортсменов при тренировках или для людей, начинающих заниматься спортом. Оно позволит дозировать нагрузку и наблюдать, за тем, чтобы тренирующийся человек нагружал конкретную мышцу, что сделает тренировку более эффективной. Предполагается, что данное приложение будет позиционироваться как инструмент для исследований, поэтому планируется привлечь в команду разработчиков привлечь дополнительных специалистов в области спорта и физиологии, которые смогут сформулировать дополнительные потребности.

Выводы

Подводя итог исследованию, можно сделать следующие выводы:

1. Используя данные ЭМГ можно сделать выводы о том, что любая физическая нагрузка может привести к утомлению мышцы (в нашем исследовании - бицепс).
2. Физическая нагрузка одинакового объема у группы испытуемых разной натренированности существенно влияет на электрическую активность двуглавой мышцы плеча.
3. В ходе обработки были выявлены следующие статистические закономерности: у 67% участников эксперимента снижается или повышается уровень сигнала активности мышц, то есть изменяется среднее значение амплитуды ЭМГ по подходам. У оставшихся 33% не изменяется, но при этом изменяется дисперсия, что свидетельствует об усталости мышц.
4. Созданный «модуль 1» приложения (программы – помощника) может выступать в качестве некоторого "советника", который подсказывает подбор оптимальной физической нагрузке.

Считаем, что гипотеза была подтверждена экспериментально.

Список литературы

1. А. М. Котов-Смоленский , А. Е. Хижникова А. С. Клочков , Н. А. Супонева , М. А. Пирадов. Поверхностная ЭМГ: применимость в биомеханическом анализе движений и возможности для практической реабилитации / Интернет-журнал «Физиология человека». 2021, № 2/ [Электронный ресурс]

<https://sciencejournals.ru/view-article/?j=chelfiz&y=2021&v=47&n=2&a=ChelFiz2102004Kotov>

Дата обращения: 09.10. 2023

2. М.М. Меженная , А.Н. Осипов , И.А. Ильясевич , Н.С. Давыдова , М.В. Давыдов , В.А. Кульчицкий. Метод частотно-временного анализа суммарной электромиографии в оценке функционального состояния нервно-мышечного аппарат человека. Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск / Интернет-журнал «Проблемы физики, математики и техники», № 1 (10), 2012.

<https://core.ac.uk/download/pdf/75998691.pdf>

Дата обращения: 14.02.2024

3. Cheron G. A Dynamic Neural Network Identification of electromyography and trajectory relationship during complex movements/G. Cheron, J-P. Draye, M. Bourgeois / IEEE Trans Biomed Eng. - 1996. - V. 43(5). - pp. 552-558.

https://cheron.be/doc/Cheron_et_al_1996_DRNN_EMG_arm_trajectory.pdf

Дата обращения: 13.02.2024

4. Разработка компании **ADINSTRUMENTS** «Устройство регистрации физиологических параметров, необходимых при анализе движений»/ [Электронный ресурс].

<https://www.adinstruments.com/products/trigno-wireless-foundation-system>

Дата обращения: 13.02.2024

5. Статут В.А, Иващенко А.А. Устройство для контроля бодрствования человека. / Российский индекс научного цитирования Science Index / Научная электронная библиотека Elibrary.ru / [Электронный ресурс]

<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44112955>

Дата обращения: 12.02.2024

6. Shahar N., Schwartz I., Portnoy S. Differences in muscle activity and fatigue of the upper limb between Task-Specific training and robot assisted training among individuals post stroke // J. Biomech. 2019. V. 89. P. 28

<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30982537/>

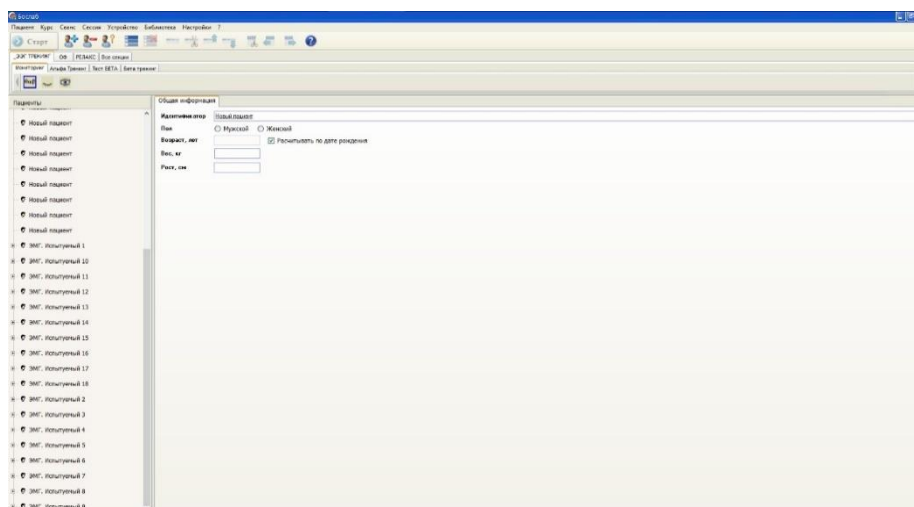
Дата обращения: 10.02.2024

7. Руководство по использованию миографического тренинга в программе «Бослаб»//
Методика [Электронный ресурс]

https://boslab.ru/methods/boslabMethods/mio_boslab.php

Дата обращения: 16.09.2023

Приложение 1



Программа «БОСлаб» и список испытуемых

Приложение 2

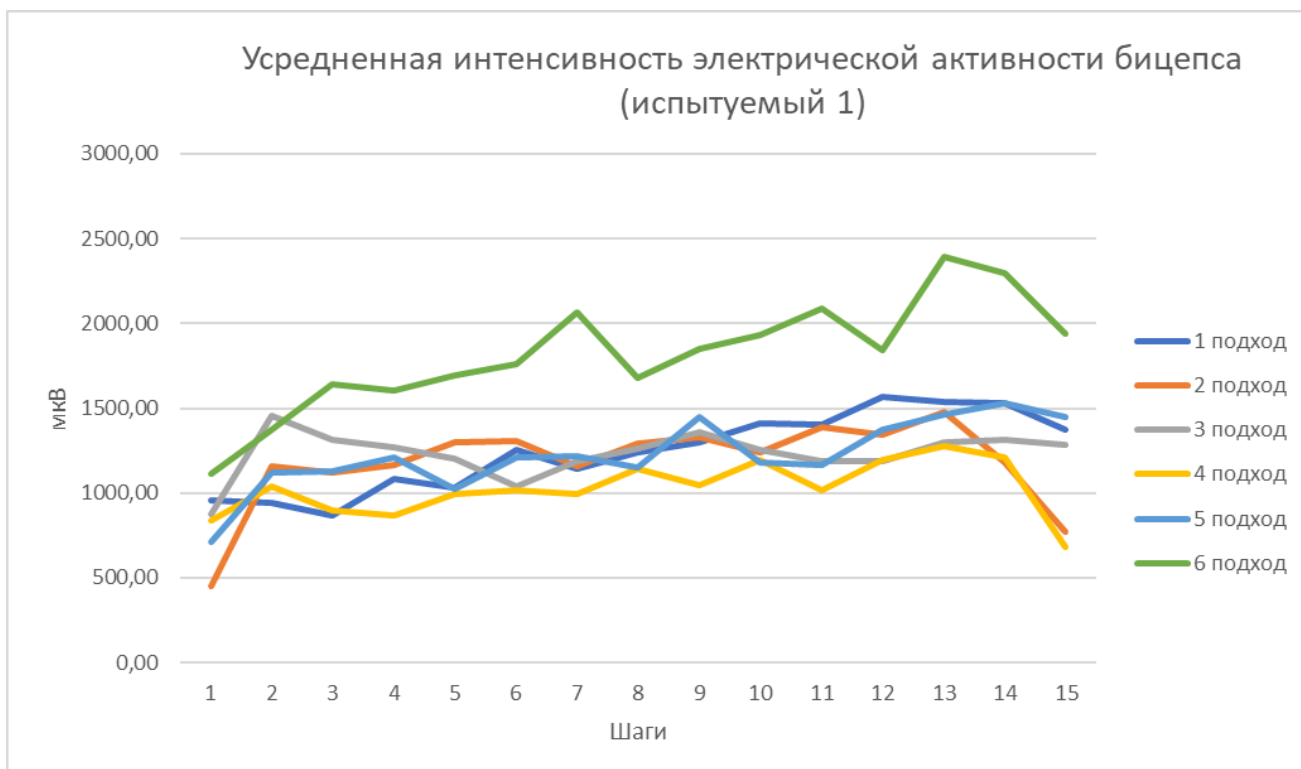
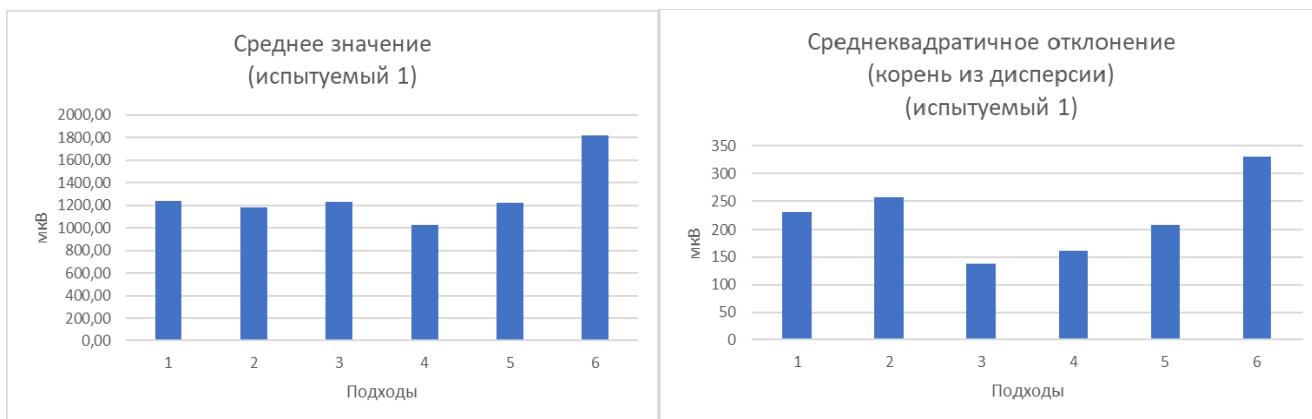
Программа «БОСлаб»

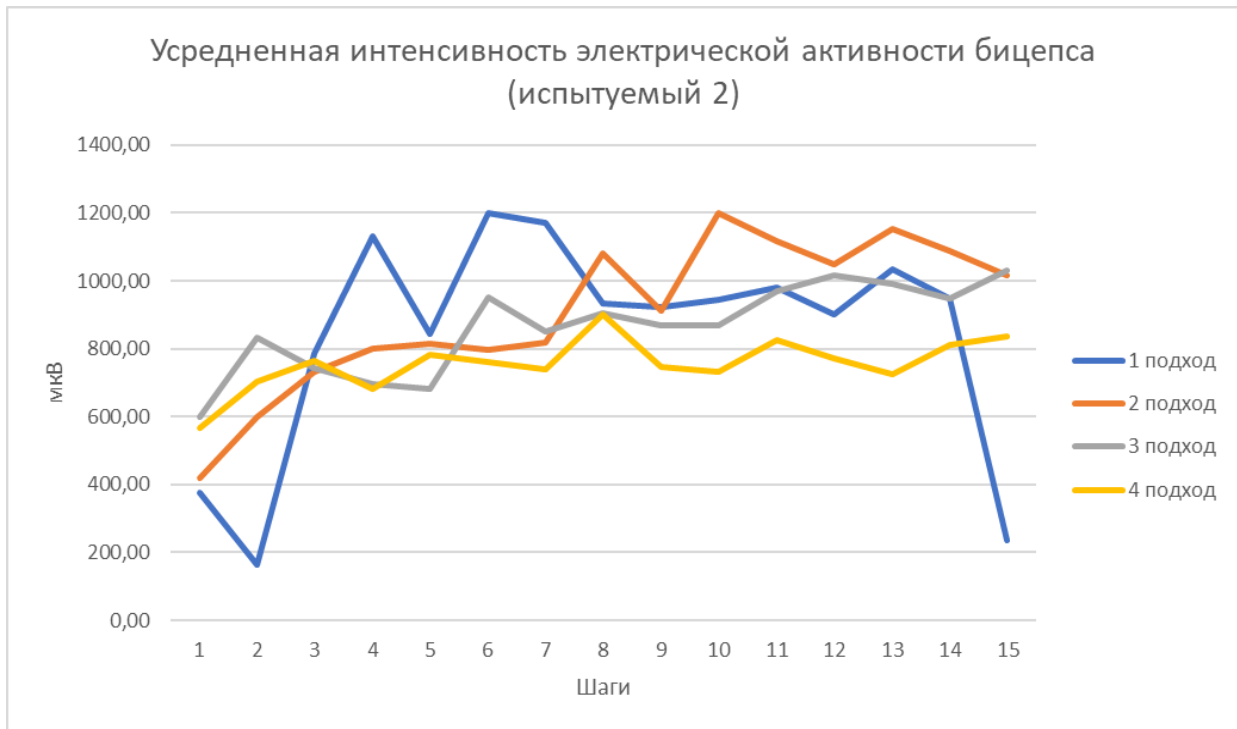
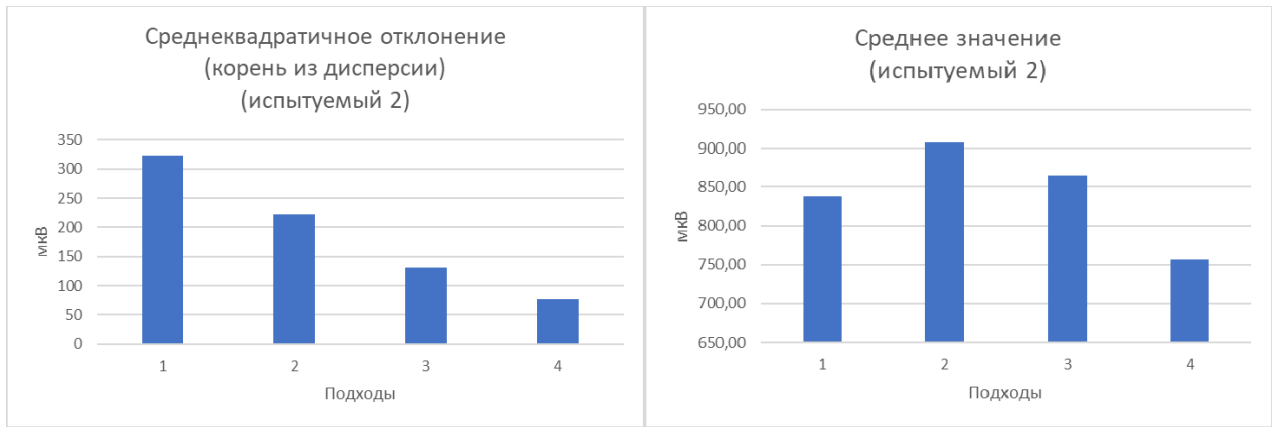
Проведение эксперимента с одним из
испытуемых

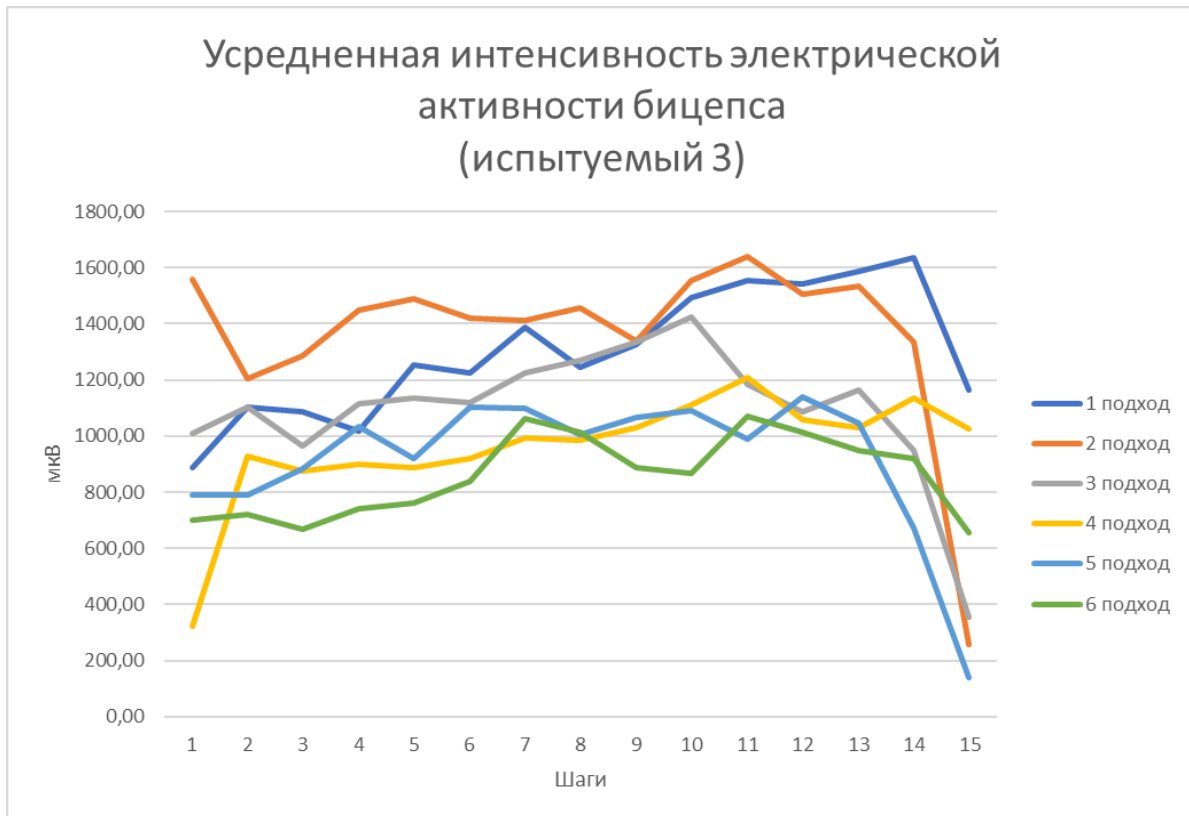
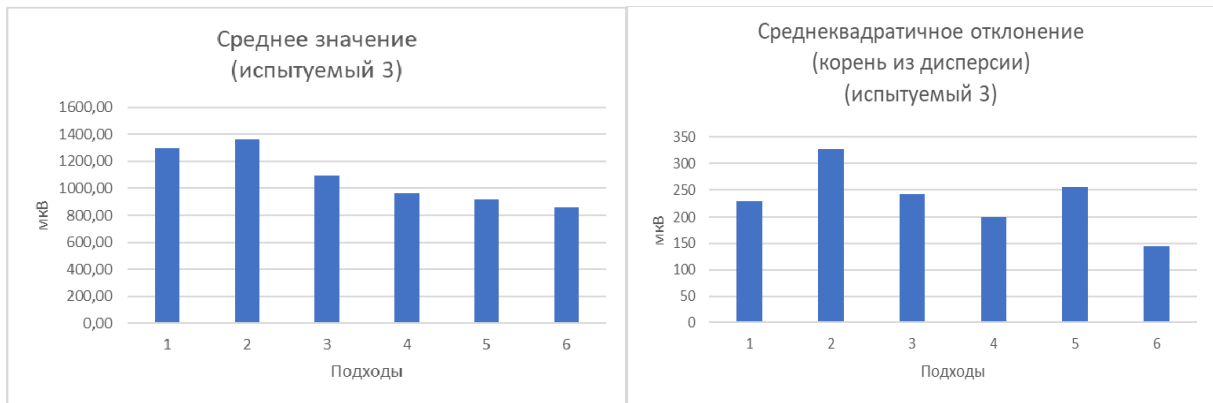
Приложение 3

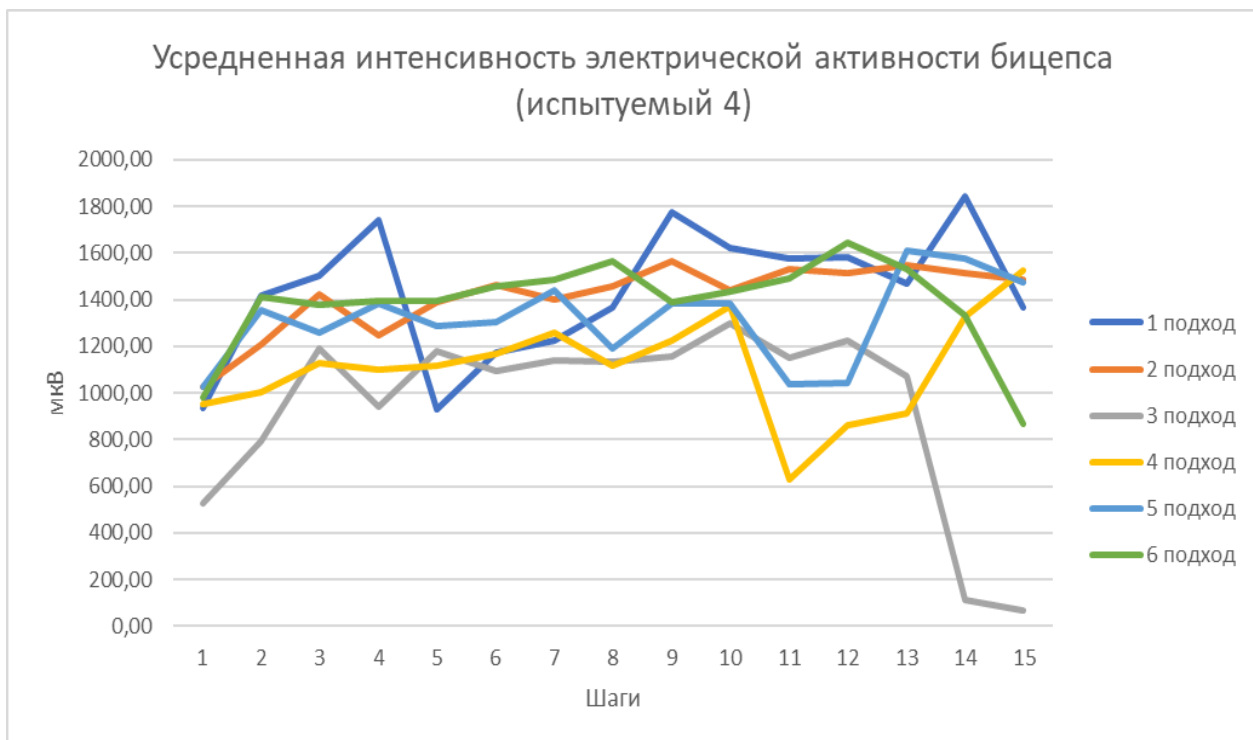
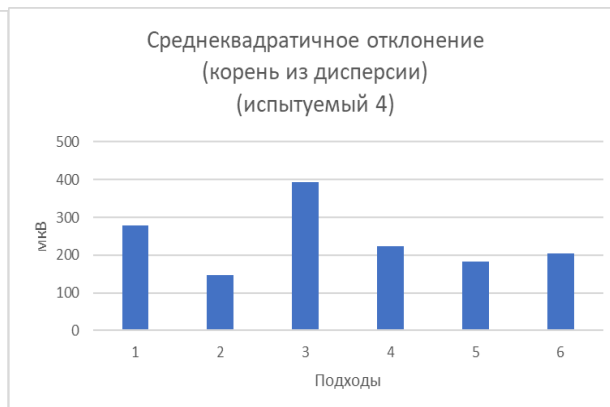
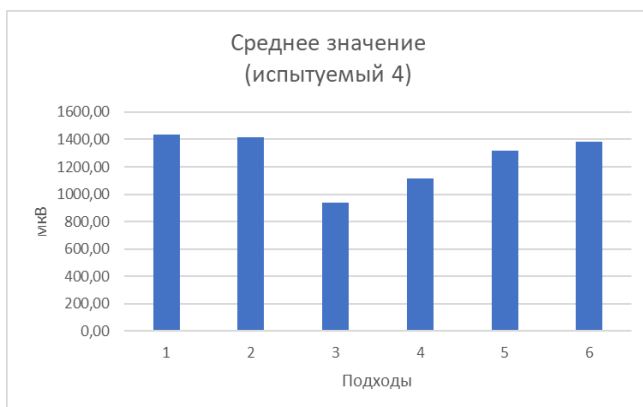
Графики «Усреднённая интенсивность электрической активности бицепса (мкВ, по подходам)»,

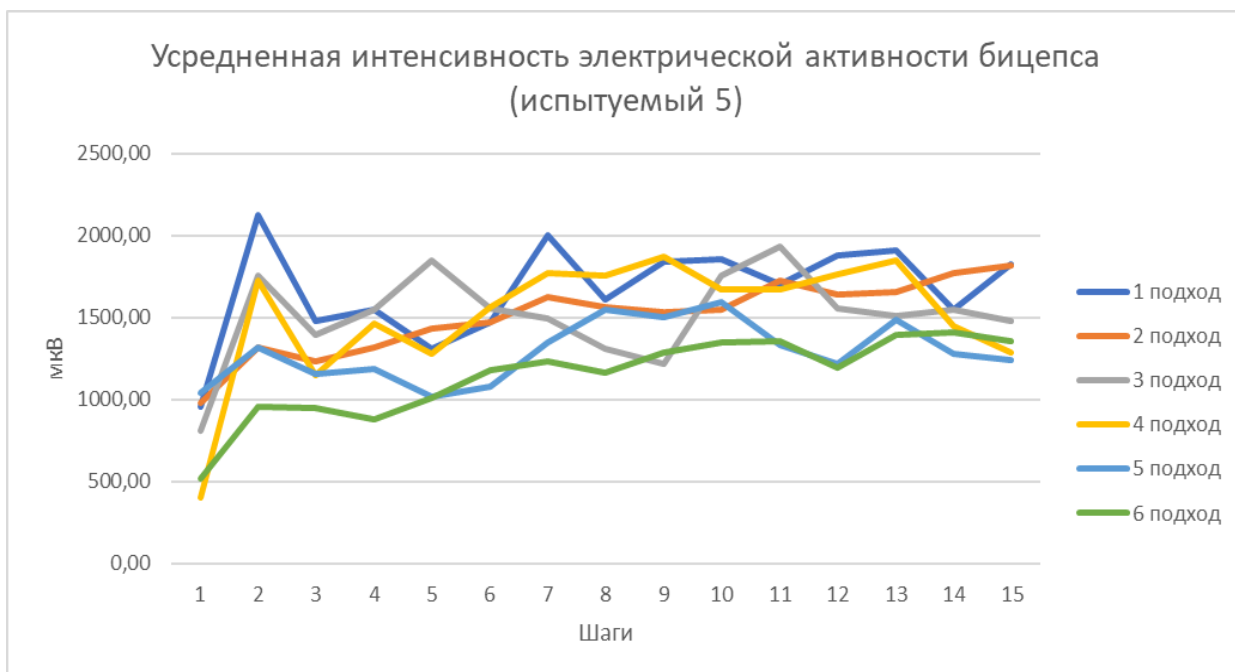
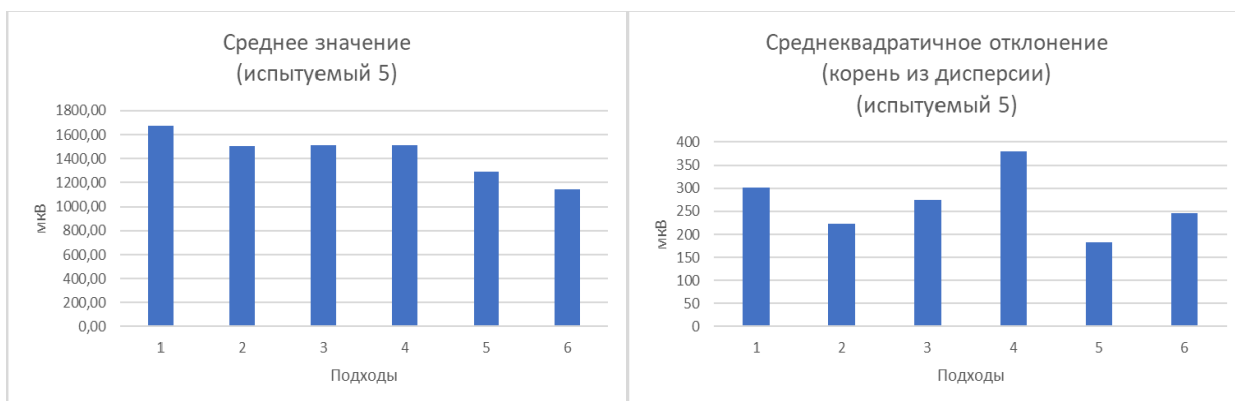
«Среднее значение (мкВ, по подходам)» и «Среднеквадратичное отклонение (корень из дисперсии, мкВ, по подходам)» остальных испытуемых (графики испытуемых №3 и №8 представлены в практической части проекта).

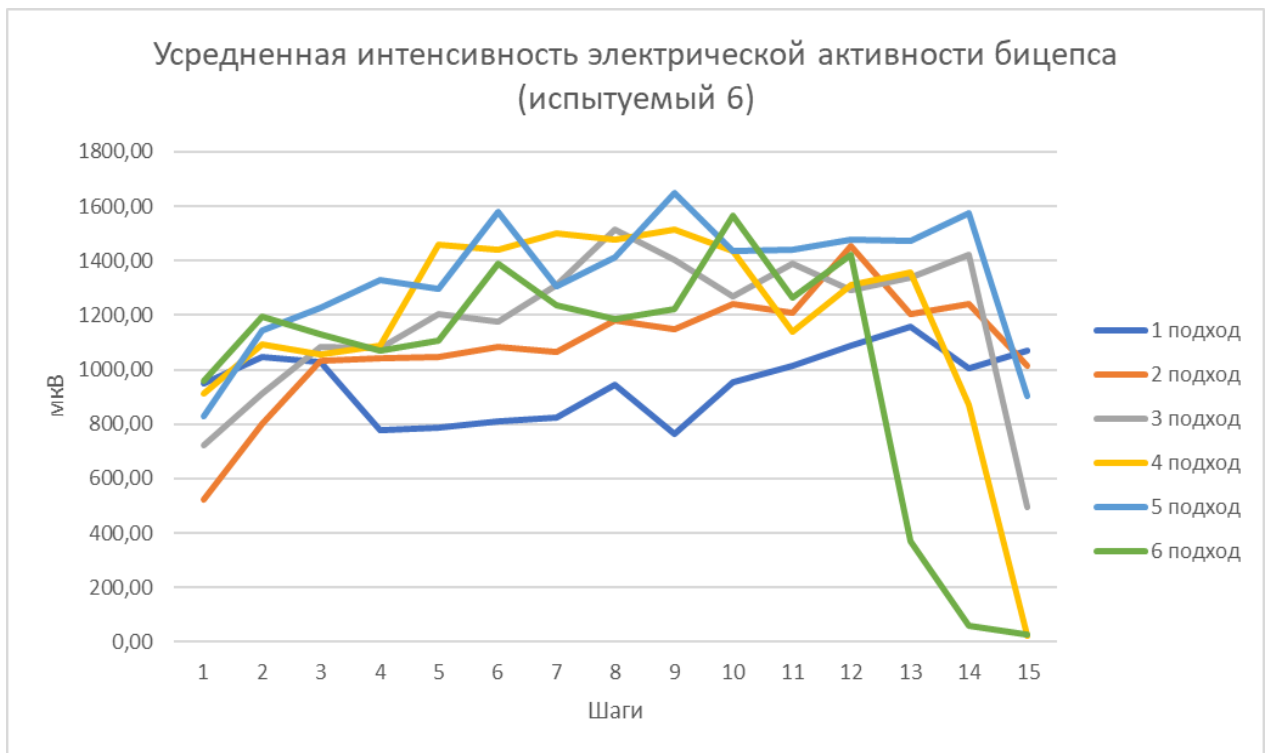
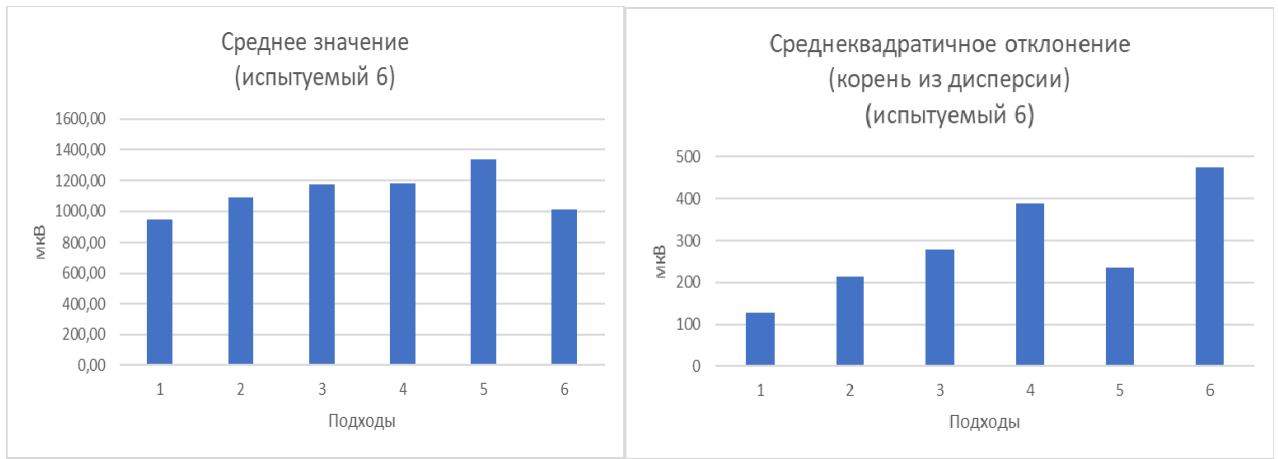


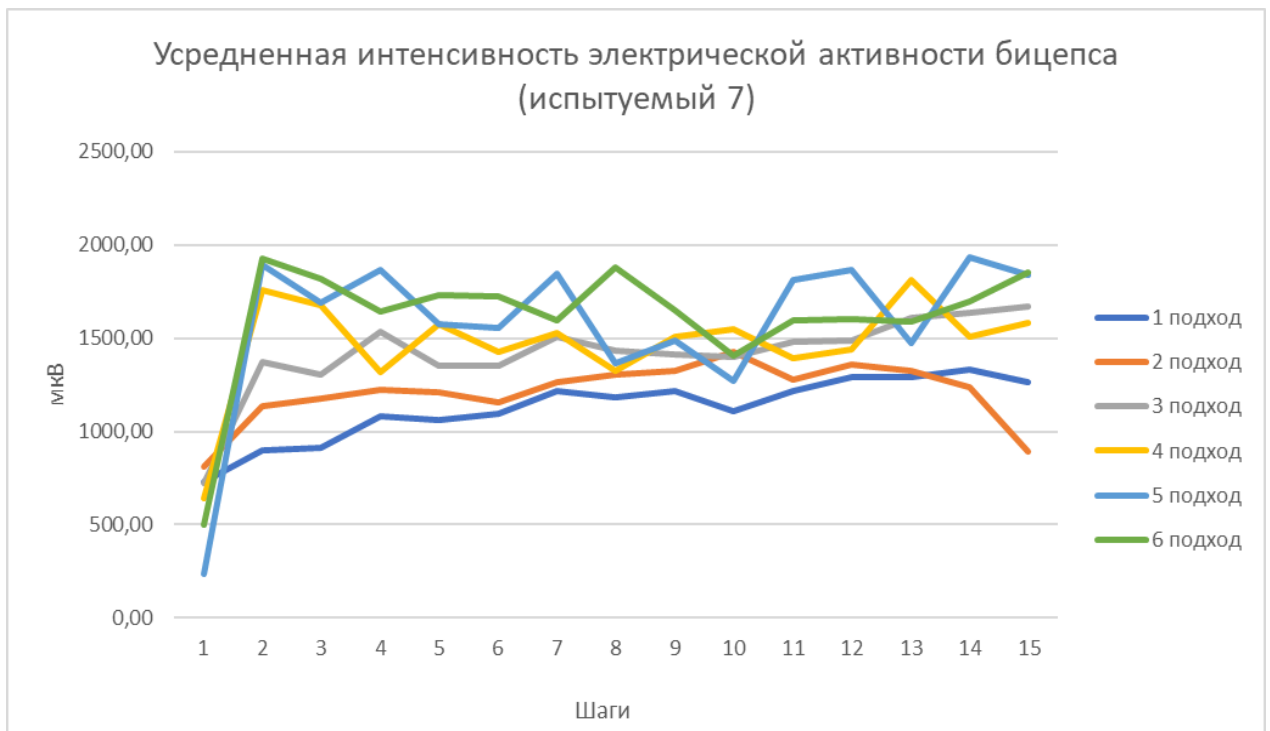
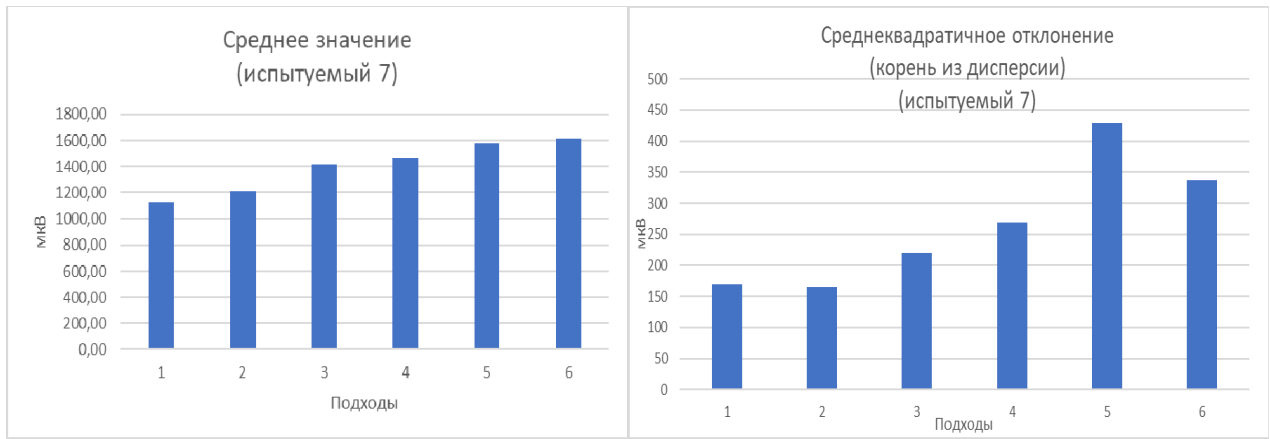


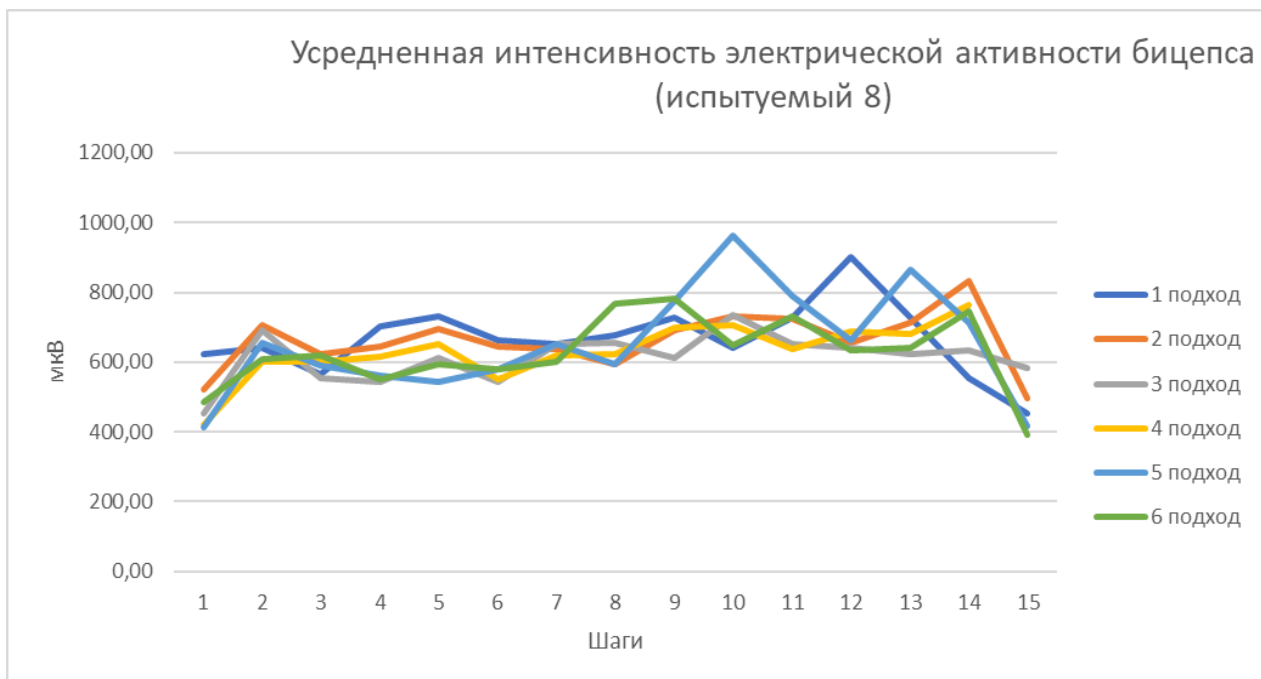
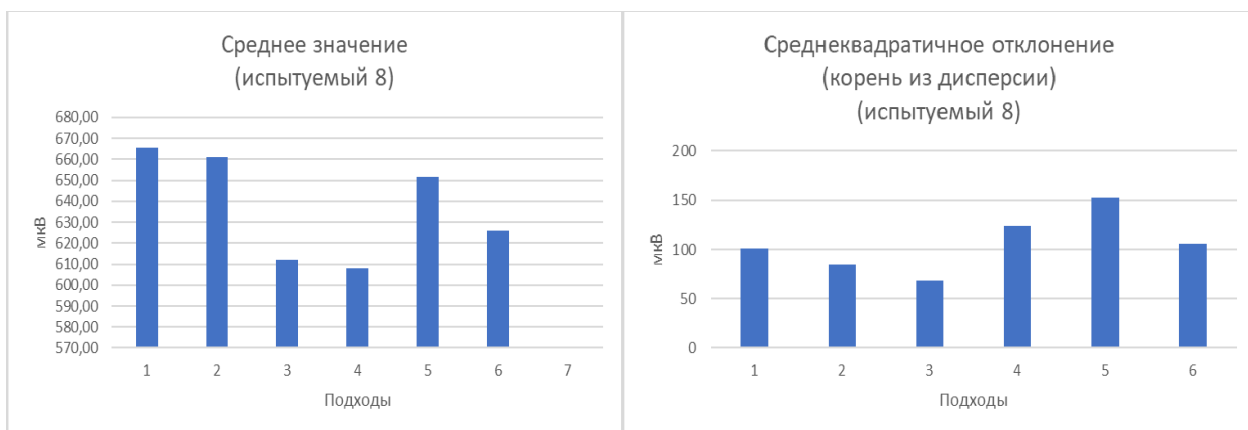


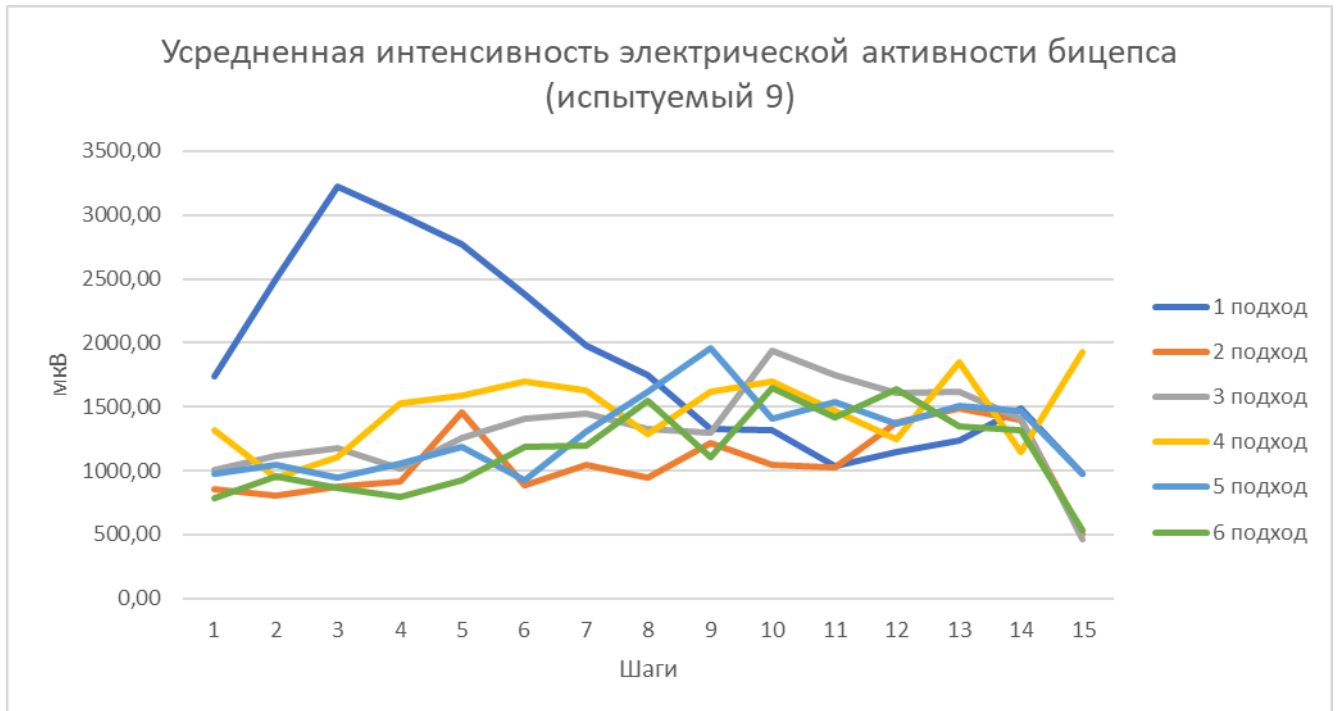
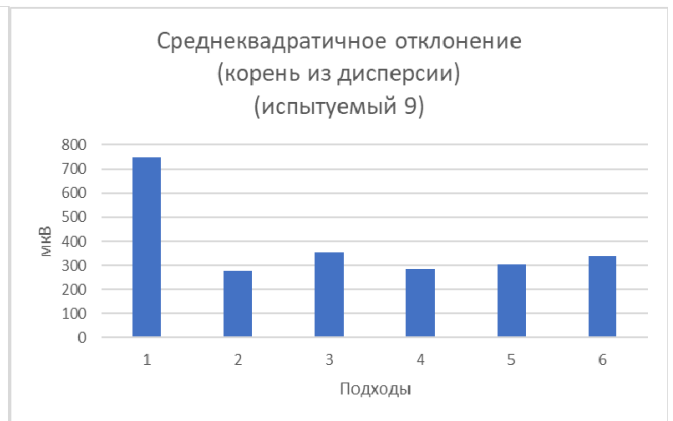
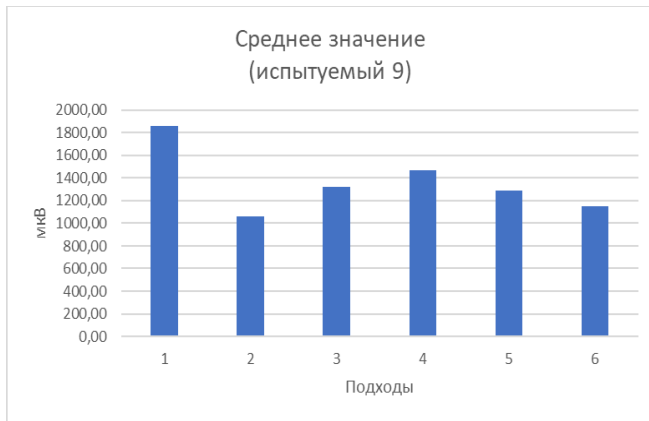


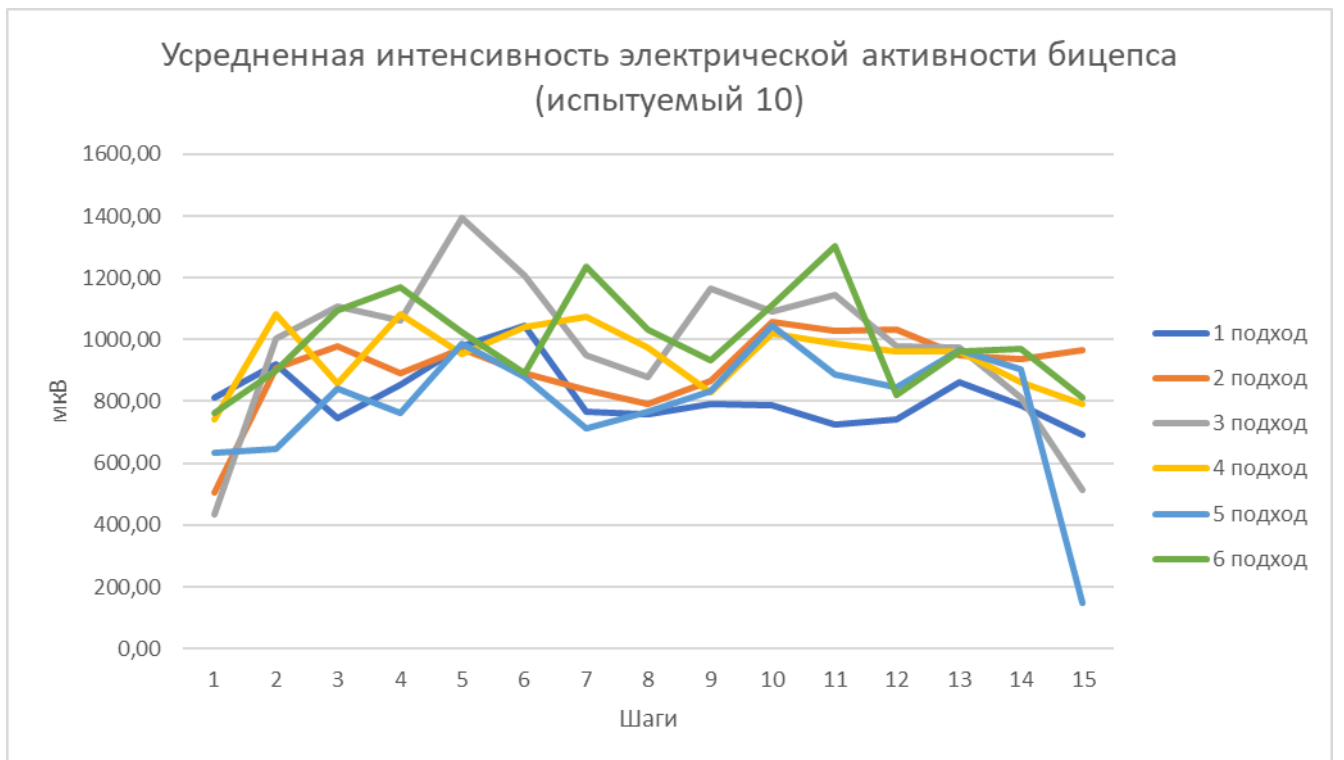
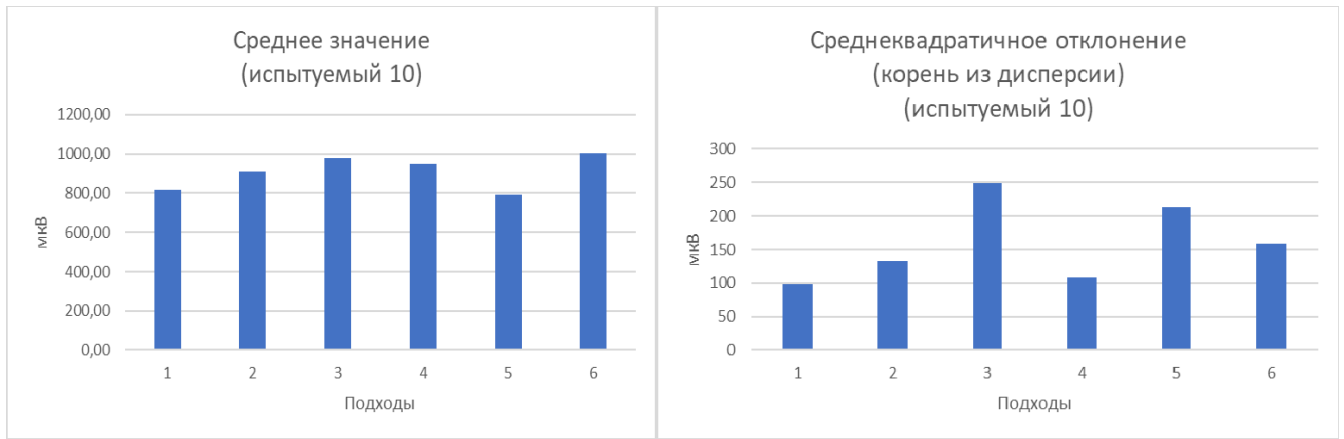


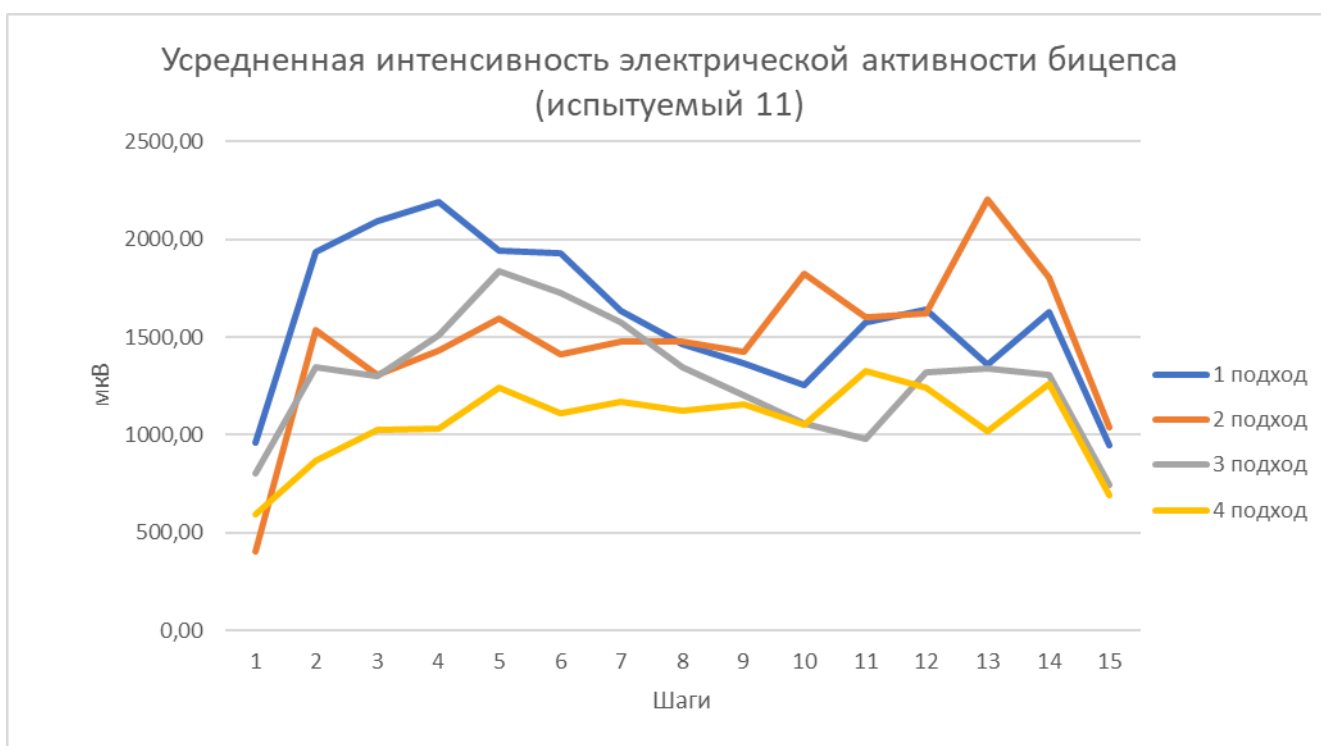
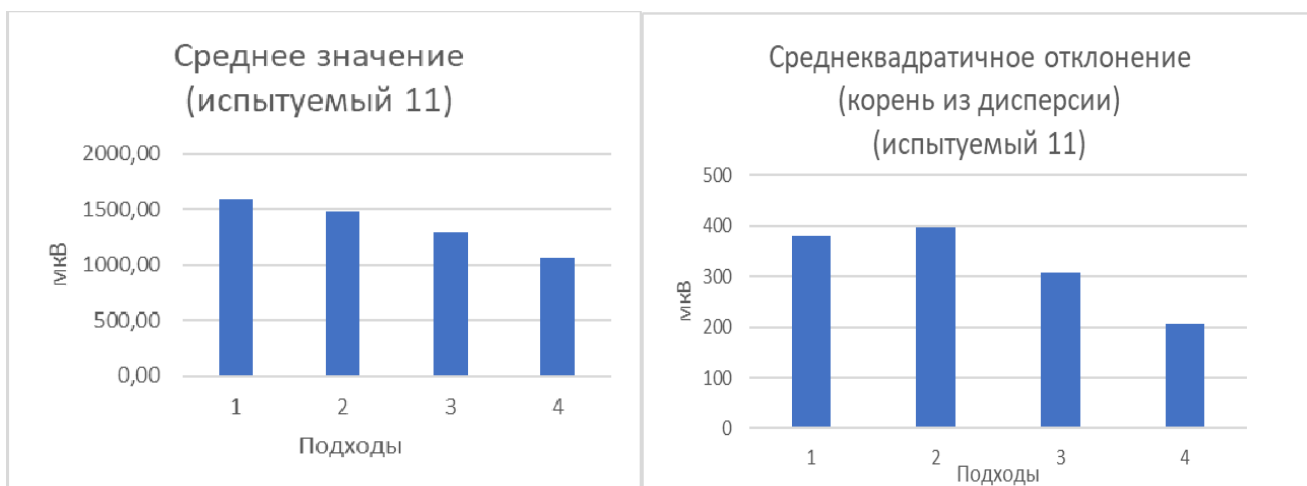


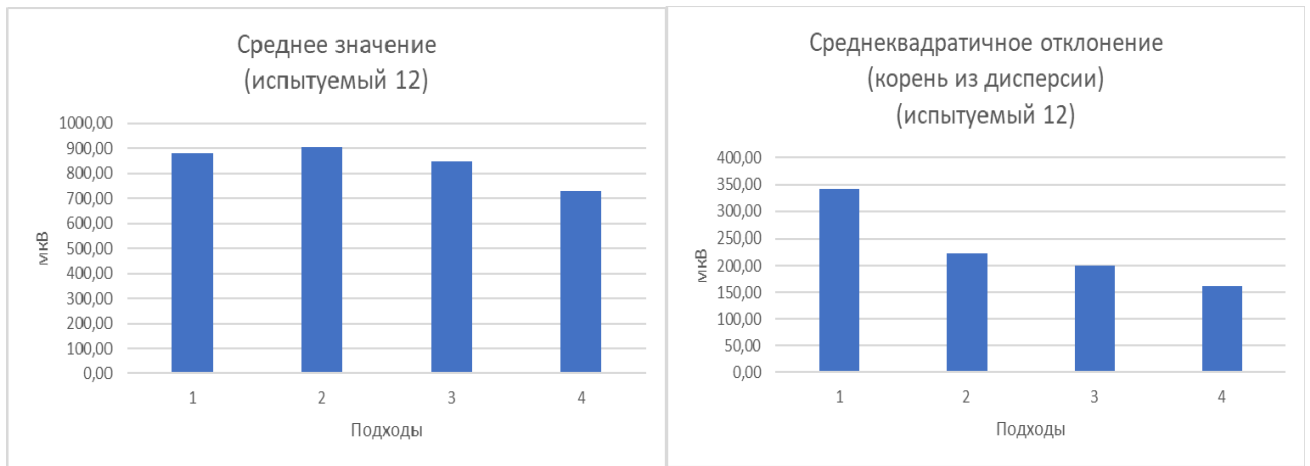












Усредненная интенсивность электрической активности бицепса (испытуемый 12)

