

Министерство образования и науки Российской Федерации  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САРАТОВСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ Н.Г.ЧЕРНЫШЕВСКОГО»

Кафедра медицинской физики

**ВЛИЯНИЕ НАГРУЗОЧНОЙ ПРОБЫ НА ЭЛАСТИЧНОСТЬ  
КРОВЕНОСНЫХ СОСУДОВ**

АВТОРЕФЕРАТ БАКАЛАВРСКОЙ РАБОТЫ

Студента 4 курса 451 группы  
направления 03.03.02 «Физика»,  
профиль подготовки «Медицинская физика»  
факультета нано- и биомедицинских технологий  
Залетова Ивана Сергеевича

Научный руководитель

Доцент кафедры медицинской физики, к.ф.-м.н  
должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_  
дата, подпись

М.Ю.Калинкин  
инициалы, фамилия

Заведующий кафедрой

Профессор кафедры медицинской физики, д.ф.-м.н  
должность, уч. степень, уч. звание

\_\_\_\_\_  
дата, подпись

А.В. Скрипаль  
инициалы, фамилия

Саратов 2017год

**Введение.** Эффективная работа сердечно - сосудистой системы обеспечивается не только сократительной способностью миокарда и транспортной функцией артерий, но и благодаря сглаживающей функции магистральных артерий. Благодаря высокой эластичности аорта способна к мгновенному поглощению ударного объема и перевод значительной части энергии сердечного сокращения на период диастолы. Это обуславливает снижение в аорте систолического артериального давления (САД) и повышение диастолического артериального давления (ДАД), уменьшая повреждающее действие пульсовой волны на сосуды мозга, сердца и почек, однако их кровоснабжение при этом улучшается. [7]

Актуальность диагностики эластичности сосудов и влияния на него нагрузочной пробы обусловлено несколькими аспектами:

Во-первых, необходимость в периодической проверке показателей эластичности сосудов ССС обусловлена терапевтическими целями, так как утрата эластичности сосудов по тем или иным причинам может сопровождаться различными характерными симптомами:

- потемнение в глазах при поворотах головы или резких приседаниях;
- периодические сильные головные боли, без видимой причины;
- головокружения, вызванные общей слабостью тела;
- бурная реакция организма на резкие перемены погоды;
- частый шум в ушах и проблемы со сном;
- сонливость, вялость и чувство усталости в ногах.

Всё это может привести к нарушениям привычного для человека распорядка жизни.

Во-вторых, проверка эластичности сосудов поможет выяснить, насколько сосуды человека способны переносить стрессовые состояния (перегрузки, эмоциональные потрясения, обильные физические нагрузки). Что позволит избежать нарушений в самочувствии рабочего состава.

В-третьих, подобная диагностика сосудов может помочь в определении предрасположенности человека к занятиям спортом, в котором предполагаются обильные физические нагрузки на сердечно - сосудистую систему.

В-четвертых, диагностика состояния эластичности сосудов ССС поможет преждевременно определить изменения в состоянии сосудистой системы, что поможет предотвратить пагубные последствия и назначить своевременную терапию.

**Цель работы:** Исследование влияния нагрузочной пробы на эластичность кровеносных сосудов.

**Основное содержание работы.** Гемодинамические показатели кровотока определяются биофизическими параметрами всей сердечно - сосудистой системы, а именно собственными характеристиками сердечной деятельности, к примеру, ударным объемом крови, структурными особенностями сосудов (их радиусом и эластичностью) и непосредственно особенностями самой крови (вязкостью).

В системе одновременно проходят неордные процессы, взаимосвязанные друг с другом: приток крови из левого желудочка сердца в аорту и кровотоки по сосудам; изменение давления крови и механических напряжений в стенках сосудов; изменение объема и формы элементов сердечно – сосудистой системы. Точно разрешить задачу поведения кровотока в такой системе весьма проблемно. Упрощая систему при моделировании, можно описать единичные аспекты гемодинамических процессов. [2] [5]

Примером упрощенной моделированной системы, применяемой для описания отдельных аспектов гемодинамики, можно считать компьютерную модель, описывающую пульсацию кровотока.

За основу моделирования принята модель Франка.

В основу модели кровеносной системы, которую предложил физиолог О. Франк, легло представление того, что во время систолы левого желудочка крупные сосуды артериальной части кровеносной системы (эластичный резервуар) запасают кровь и происходит выталкивание её в периферическую систему (артериолы, капилляры) во время диастолы.

Несмотря на то, что модель достаточно проста, она позволяет установить связь между ударным объемом крови (объем крови выбрасываемый левым желудочком за одну систолу), гидравлическим сопротивлением периферической части системы кровообращения, изменением давления в аорте и эластичностью крупных сосудов. [8]

В качестве функционального метода исследования сердечно – сосудистой системы выбрана реокардиография.

В последние десятилетия реографию широко используют для исследования центральной гемодинамики в покое и при функциональных пробах (клино-, орто-, антиортостатическом, тестах с дозированной динамической и изометрической нагрузкой).

Довольно широкое распространение получила методика “интегральной” реографии М.И. Тищенко (1971, 1973). К числу ее достоинств относятся более удобное расположение электродов на дистальных отделах конечностей, меньшее искажение записи реографической кривой при дыхании. И, наконец, этот метод позволяет оценить не только сердечный выброс, но и объем циркулирующей крови, плазмы и ряд других показателей, имеющих большое значение для ургентной медицины. [6] [9]

**Установка, применяемая для определения влияния нагрузочной пробы.** Установка представляла собой комплекс приборов, состоящих из:

- “Кардиолан” – прикроватный монитор пациента, используемый для слежения за основными параметрами жизнедеятельности организма;
- Комплекс реокардиографической серии “Рео – Спектр”, предназначенный для съема, отображения и регистрации реосигнала;
- Компьютер, с установленным на него программным обеспечением, позволяющим получать и обрабатывать данные, полученные с комплекса “Рео - Спектр”.

Перед началом проведения обследования испытуемый принимал положение сидя. На участки кожи перед наложением реокардиографических электродов наносился тонкий слой специального электродного геля. После чего проводилось исследование в соответствии с выбранным методом.

В качестве реографического метода использовался метод Тищенко. К числу ее достоинств относятся удобное расположение электродов на дистальных отделах конечностей, меньшее искажение записи реографической кривой при дыхании. И, наконец, этот метод позволяет оценить не только сердечный выброс, но и объем циркулирующей крови, плазмы и ряд других показателей, имеющих большое значение для ургентной медицины.

**Расчетные формулы.** В процессе критического анализа литературы, посвященной исследованию гемодинамических параметров и в частности эластичности сосудов ССС, нами была обнаружена формула, позволяющая вычислить параметр эластичности из параметров УОК и ПД. Данные параметры могут быть получены с помощью комплекса реографической серии “Рео – Спектр”, предназначенный для съема, отображения и регистрации реосигнала (УОК) и устройства “Кардиолан” – прикроватного

монитора пациента, используемого для слежения за основными параметрами жизнедеятельности организма (ПД).

Формула для вычисления эластичности:

$$C = \frac{UOK}{ПД} \quad (1)$$

UOK вычислялся по формуле Тищенко, полученной из справочных материалов к комплексу “Реоспектр”:

$$UOK = K \times \frac{\left(\frac{A_{арт}}{0.1}\right) \times P^2 \times T_{кардио}}{Z_{базовое} \times T_{кат}} \quad (2)$$

где K – эмпирический коэффициент, равный 0,275 для мужчин и 0,245 для женщин;

$A_{арт}$  – Амплитуда основной реоволны (ом);

P – рост испытуемого (см);

$T_{кардио}$  - длительность кардиоцикла (с);

$Z_{базовое}$  - базисное сопротивление (ом);

$T_{кат}$  - длительность катакроты (с).

Уравнение вычисления параметра ПД

$$ПД = САД - ДАД \quad (3)$$

где САД – систолическое артериальное давление;

ДАД – диастолическое артериальное давление.

**Оценка показаний, полученных при проведении обследования.**

**Испытуемый №1. (возраст 27 г., тренированность: умеренные тренировки, пол: муж)**

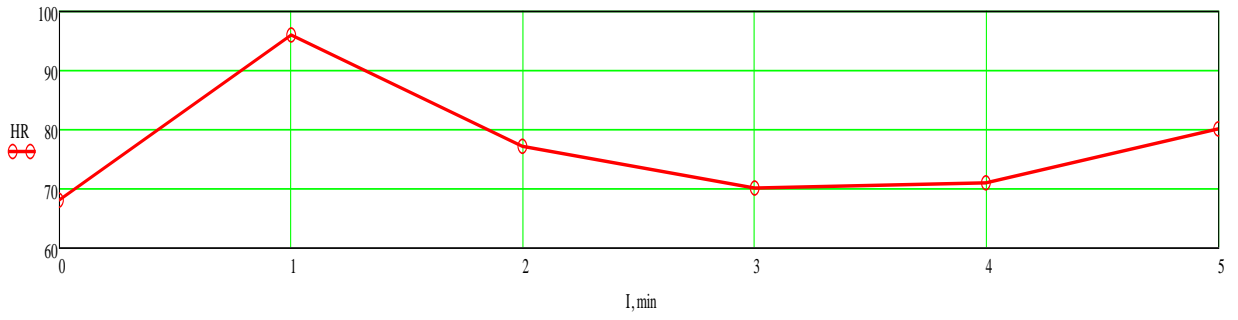


Рисунок 1. График зависимости ЧСС (ось ординат(уд/мин)) от времени(ось абсцисс(мин)).

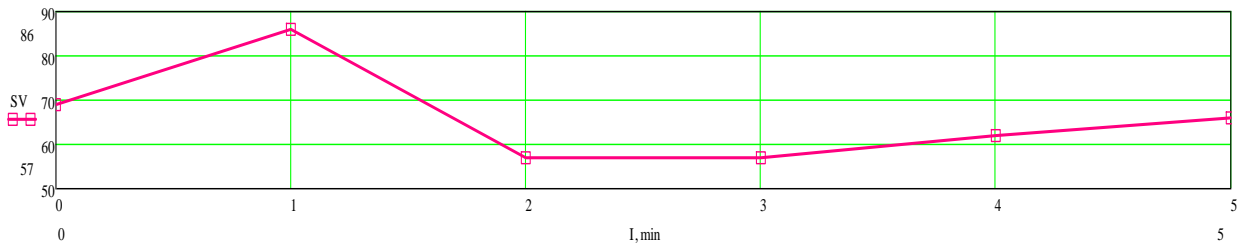


Рисунок 2. График зависимости УОК(ось ординат(мл)) от времени(ось абсцисс(мин)).

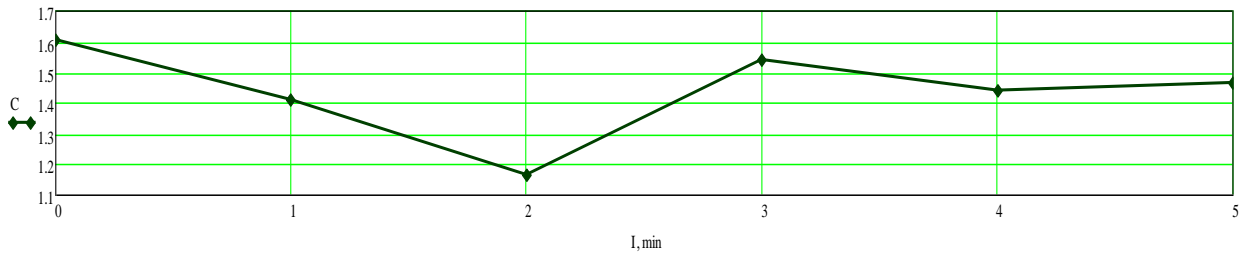


Рисунок 3. График зависимости показателя эластичности(ось ординат) от времени(ось абсцисс(мин)).

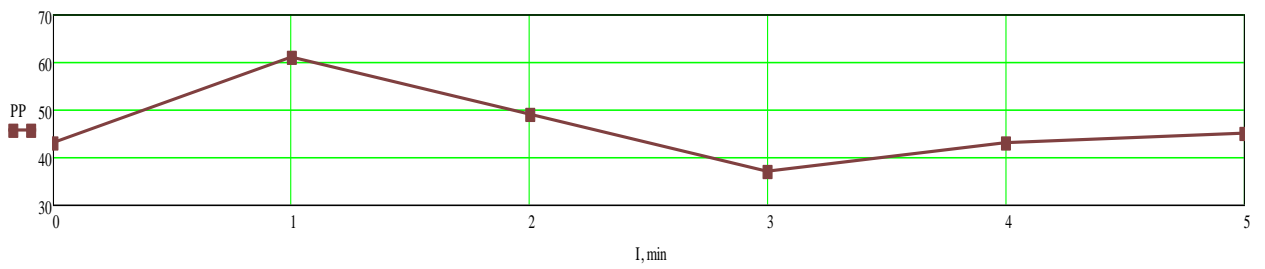


Рисунок 4. График показателя ПД(ось ординат(мм рт.ст.) от времени(ось абсцисс(мин)).

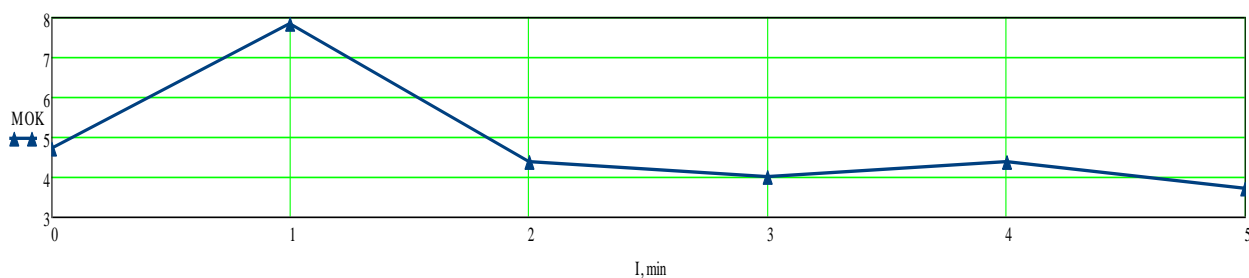


Рисунок 5. График показателя МОК(ось ординат(мл/мин)) от времени(ось абсцисс(мин)).

Данные полученные в результате обследования испытуемого №1 были занесены в таблицу 1, для последующей оценки.

Таблица 1. Показатели гемодинамики испытуемого №1

	Состояние покоя	Начало периода восстановления	Изменение
АД (мм рт.ст.)	115/78	141/80	18%/2%
ЧСС (уд/мин)	75	96	30%
УОК (мл)	69	85	23%
МОК (л/мин)	4	7,8	95%
ПД (мм рт.ст.)	40	62	55%
Эластичность(мл/мм рт.ст.)	1,35	1,18	-12%

У испытуемого, умеренно тренированного человека, после проведения нагрузочной пробы наблюдалось резкое возрастание параметров ЧСС, УО, МОК и ПД. Параметр эластичности показал отрицательную динамику и понизился на 12 процентов. Данные, полученные в результате исследования



(изменение УО=+55%) , можно характеризовать как, адекватную норме реакцию организма на нагрузочную пробу.

**Испытуемый №2. (возраст 22 г., тренированность:- спортивные тренировки, пол: муж)**

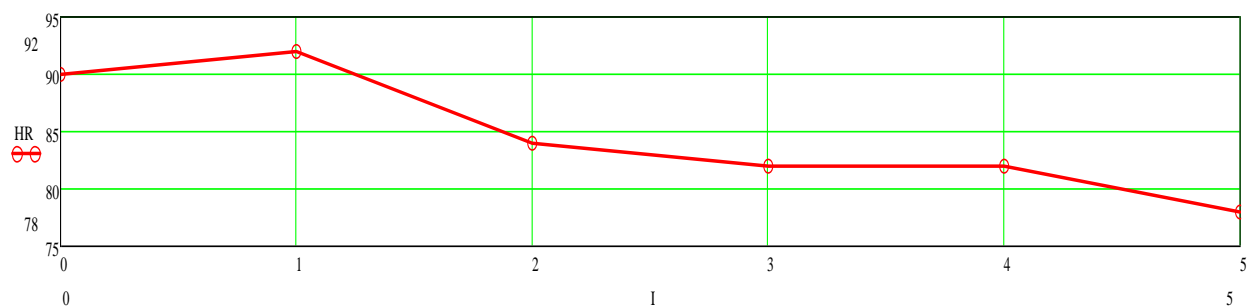


Рисунок 6. График зависимости ЧСС(ось ординат(уд/мин)) от времени(ось абсцисс(мин)).

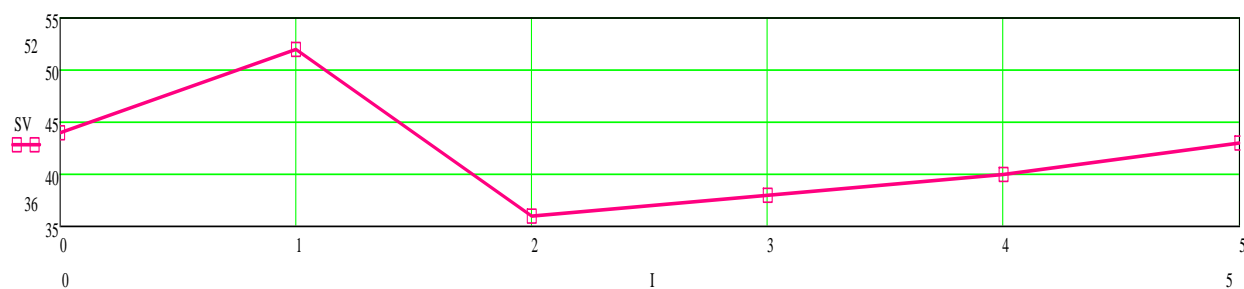


Рисунок 7. График зависимости УОК(ось ординат(мл)) от времени(ось абсцисс(мин)).

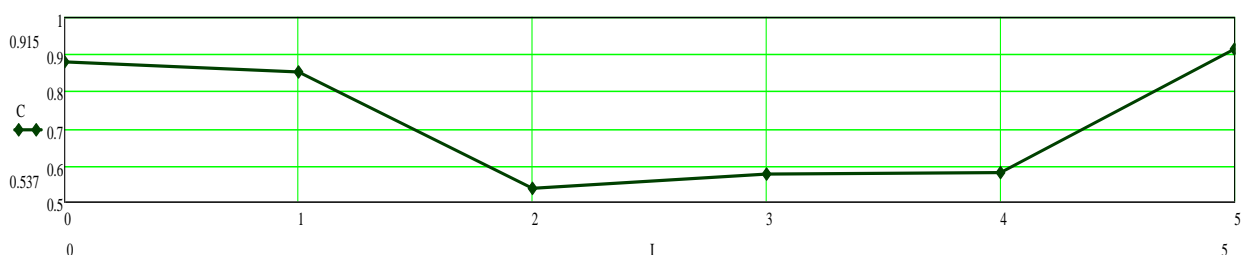


Рисунок 8. График зависимости показателя эластичности(ось ординат) от времени(ось абсцисс(мин)).

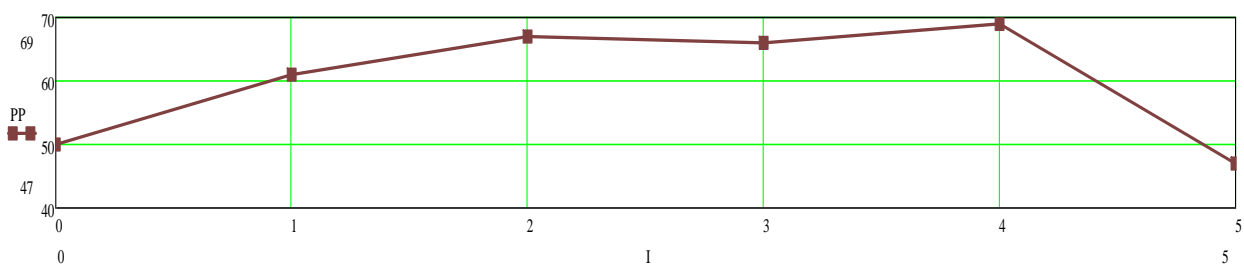


Рисунок 9. График показателя ПД(ось ординат(мм рт.ст.)) от времени(ось абсцисс(мин)).

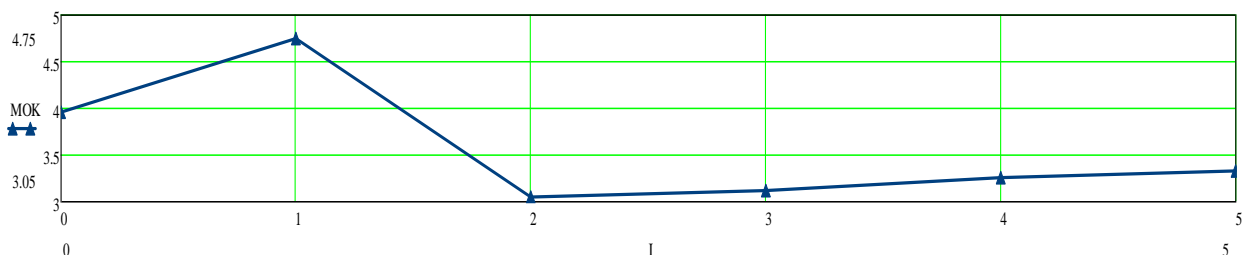


Рисунок 10. График показателя МОК(ось ординат(мл/мин)) от времени(ось абсцисс(мин)).

Данные полученные в результате обследования испытуемого №2 были занесены в таблицу 2, для последующей оценки.

Таблица 2. Показатели гемодинамики испытуемого №2

	Состояние покоя	Начало периода восстановления	Изменение
АД (мм рт.ст.)	115/65	126/65	9%/0%
ЧСС (уд/мин)	90	92	2%
УОК (мл)	44	52	20%
МОК (л/мин)	4,0	4,8	20%
ПД (мм рт.ст.)	50	67	35%
Эластичность	0,89	0,55	-61%

У испытуемого, спортсмена, после проведения нагрузочной пробы наблюдалось постепенное возрастание параметров ЧСС, УО, МОК и ПД. Параметр эластичности показал резкую отрицательную динамику и

понижился на 61 процент. Данные, полученные в результате исследования(изменение УО=+20%) , можно оценить как, неадекватную норму реакцию организма на нагрузочную пробу.

**Испытуемый №3. (возраст 44 г., тренированность:- отсутствие регулярной тренировки, пол: муж)**

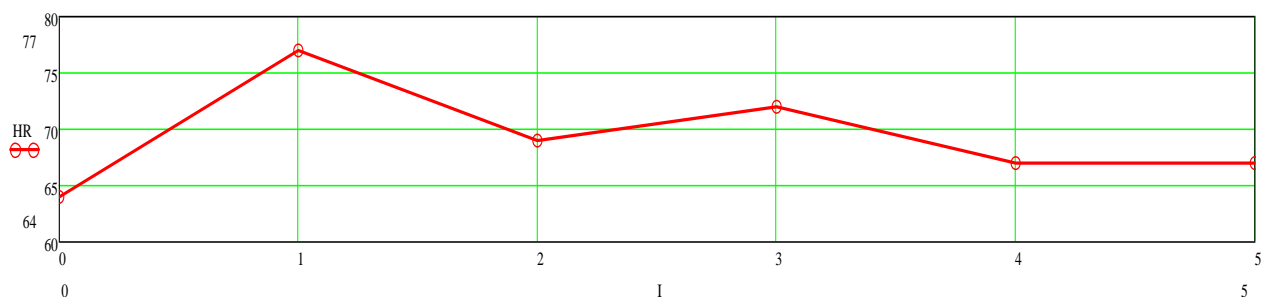


Рисунок 11. График зависимости ЧСС(ось ординат(уд/мин)) от времени(ось абсцисс(мин)).

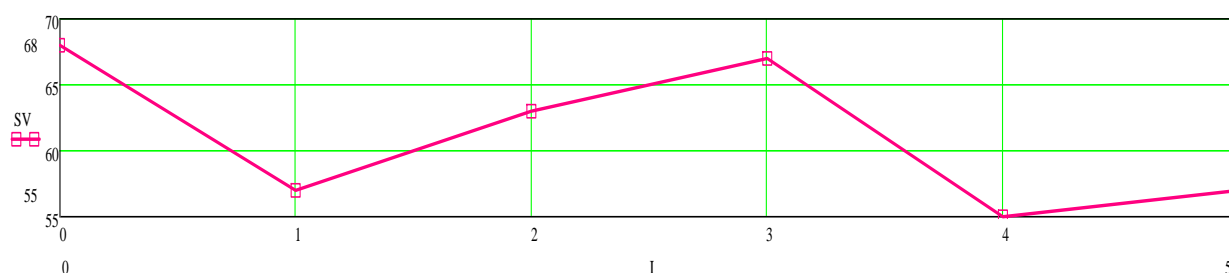


Рисунок 12. График зависимости УОК(ось ординат(мл)) от времени(ось абсцисс(мин)).

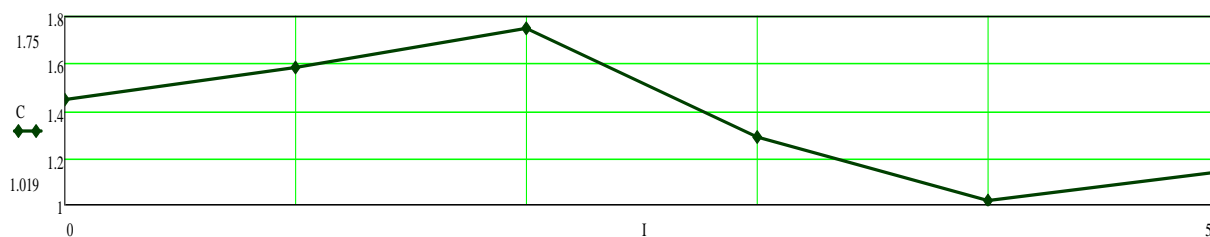


Рисунок 23. График зависимости показателя эластичности(ось ординат) от времени(ось абсцисс(мин)).

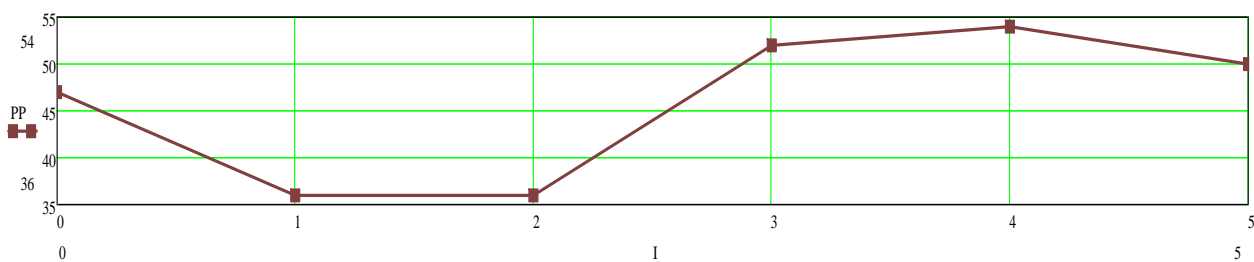


Рисунок 24. График показателя ПД(ось ординат(мм рт.ст.)) от времени(ось абсцисс(мин)).

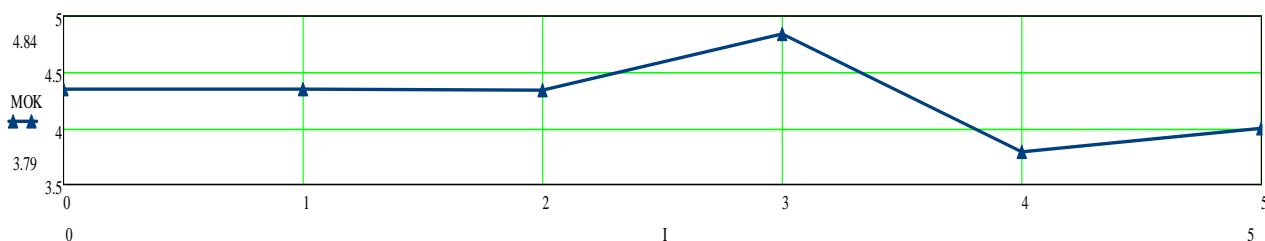


Рисунок 25. График показателя МОК(ось ординат(мл/мин)) от времени(ось абсцисс(мин)).

Данные полученные в результате обследования испытуемого №3 были занесены в таблицу 3, для последующей оценки.

Таблица 3. Показатели гемодинамики испытуемого №3

	Состояние покоя	Начало периода восстановления	Изменение
АД (мм рт.ст.)	128/81	121/85	-5%/4%
ЧСС (уд/мин)	64	77	20%
УОК (мл)	68	56	-20%
МОК (л/мин)	4,4	4,4	0%
ПД (мм рт.ст.)	47	36	-30%
Эластичность(мл/мм рт.ст.)	1,44	1,78	23%

У испытуемого, человека старшей возрастной категории, после проведения нагрузочной пробы наблюдалось постепенное возрастание параметров ЧСС. Параметры УО и ПД показали отрицательный рост. Показатель МОК остался без изменений. Параметр эластичности, в отличие

от предыдущих испытуемых, возрос на 23 процента. Данные, полученные в результате исследования (изменение УО=-20%) можно оценить как патологическую реакцию организма на нагрузочную пробу.

**Заключение.** В квалификационной работе приведен критический анализ литературы по компьютерному моделированию гемодинамических параметров ССС, а так же анализ научных источников по измерению эластичности сосудов с помощью реокардиографического метода.

Была теоретически рассмотрена система двух уравнений модели Франка для упругого резервуара, в которой основным параметром является эластичность, как мера емкостных свойств кровеносных сосудов. Одно из уравнений является дифференциальным уравнением, связывающим давление в артерии с объемом артериальных сосудов. Второе уравнение моделирует кровоток из сердца в аорту.

Критический обзор литературы показал, что эластичные свойства сосудов могут быть оценены из отношения ударного объема крови к пульсовому давлению, однако данный показатель широкого применения в медицинской практике не нашел.

В работе была рассмотрена гипотеза о том, что эластичность сосудов может меняться в результате физической нагрузки и оценить её можно с помощью реокардиографического метода.

В ходе практической части для определения параметров центральной гемодинамики был выбран метод Тищенко. В качестве нагрузочной пробы были выбраны приседания из положения стоя. Мониторирование артериального давления и запись реокардиограммы проводилась каждые 60 сек., в течение 10 мин., до восстановления.

Анализ данных, полученных в результате обследования трёх испытуемых, отличающихся физической подготовкой и относившихся к

разным возрастным группам (двое относились к младшей возрастной категории, один к старшей), позволил сделать определенные заключения:

У испытуемого, умеренно тренированного человека, наблюдалась адекватная норме реакция артериального давления и частоты сердечных сокращений. Динамика роста эластичности была отрицательной.

У испытуемого, спортсмена, наблюдалась неадекватная реакция артериального давления и частоты сердечных сокращений на нагрузочную пробу, что может говорить об отрицательном влиянии силовых тренировок на состояние сосудов. Динамика роста эластичности так же была отрицательной.

У испытуемого, человека старшей возрастной категории, наблюдалась аномальная реакция артериального давления и частоты сердечных сокращений на нагрузочную пробу, о чем говорит понижение артериального давления непосредственно после нагрузки. Показатель эластичности вырос, в отличие от предыдущих испытуемых.

Анализируя полученные данные, можно говорить о подтверждении гипотезы того, что физиологическая нагрузка оказывает влияние на состояние артериальных сосудов и в частности на параметр их эластичности.

Проведение исследований в данной области открывает перспективу открытия принципиально новых методик проведения регистрации параметров центральной гемодинамики.

## Список использованных источников и литературы

1. Полухина Е.В., Глазун Л.О. // Реографические методы исследования сосудистой системы. - Хабаровск, 2006. – 97 с.
2. Алипов Н.Н // Основы медицинской физиологии. Учебное пособие. – 2е изд., испр. и доп.- Москва: Практика, 2013. – 496с.
3. Уорден К. // Новые интеллектуальные материалы и конструкции. Свойства и применение. – Москва: Техносфера, 2006. – 224с.
4. Frank C. Hoppensteadt // Modeling and Simulation in Medicine and the Life Science. - Springer-Verlag New York, Inc. 2002. – 396с.
5. Антонов В.Ф., Черныш А.М. // Биофизика. - М.: Владос, 1999. - 288 с.
6. Gerard Cybulski // Ambulatory Impedance Cardiography. - Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011. – 35 с.
7. В.А. Милягин, В.Б. Комиссаров Современные методы определения жесткости сосудов // Журнал Артериальная гипертензия Россия 2010. Т.16. №2. С.135.
8. Стародубцева М.Н., Кузнецов Б.К. Математическое моделирование биологических процессов: Учебное пособие // Гомель, 2003г. – 33с.
9. ООО «Нейрософт» Рео - Спектр Методические указания // Россия, г. Иваново 2008г. – 116с.