

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова  
физический факультет  
кафедра медицинской физики  
Специальный практикум

Пульсоксиметрия: физические принципы и применение в  
медицине.

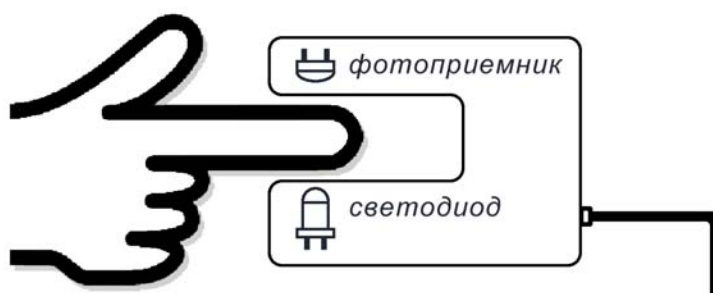
Москва, 2008

# Содержание

<b>Методика пульсовой оксиметрии</b>	<b>3</b>
<b>Библиография:</b>	<b>8</b>
<b>Приложение. Закон Бугера - Ламберта – Беера.</b>	<b>8</b>
<b>Выполнение задачи</b>	<b>9</b>
Подготовка к работе.	9
Анализ измерений.	11
Упражнение 2.	12
Упражнение 3.	13
Обработка результатов.	14

## Методика пульсовой оксиметрии

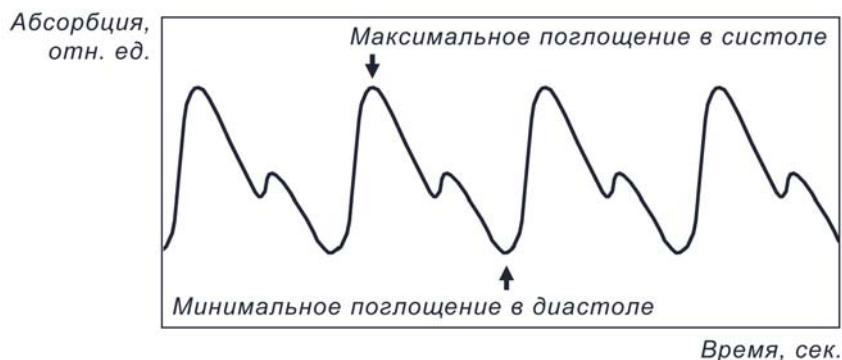
Методика пульсовой оксиметрии основана на использовании принципов фотоплетизмографии (от греч. «плетизмос» - наполнение), позволяющих выделить артериальную составляющую абсорбции света для определения оксигенации артериальной крови. Измерение этой составляющей дает возможность использовать спектрофотометрию для неинвазивного мониторинга сатурации (насыщения) артериальной крови кислородом. В соответствии с методикой фотоплетизмографии участок тканей, в котором исследуется кровоток, располагается на пути луча света между источником излучения и фотоприемником датчика (рис. 1).



**Рис. 1.** Датчик фотоплетизмограммы при исследовании кровотока в пальце руки

Согласно закону Бугера - Ламберта – Беера (см. приложение), величина абсорбции света пропорциональна толщине слоя поглощающего вещества, т.е. при исследовании кровотока определяется размером сосуда или объемом крови, проходящим через исследуемый участок тканей. Сужение и расширение сосуда под действием артериальной пульсации кровотока вызывают соответствующее изменение амплитуды сигнала, получаемого с выхода фотоприемника.

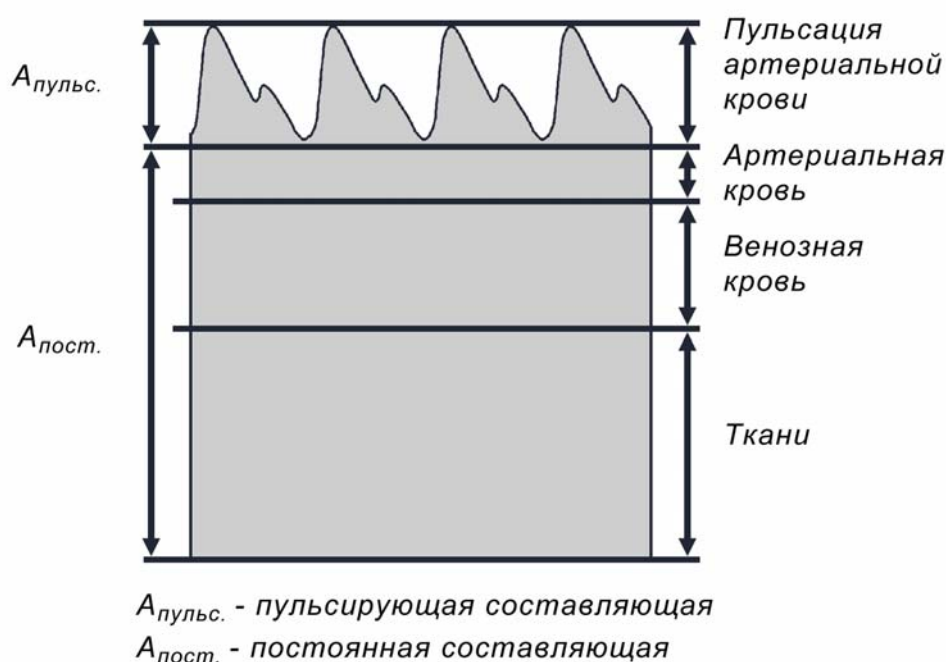
Фотоплетизмограмма (ФПГ) получаемая после усиления и обработки сигнала фотоприемника (рис. 2) характеризует состояние кровотока в месте расположения датчика. В частности, когда давление крови повышается или возникает вазодилатация (расширение) сосудов, амплитуда ФПГ возрастает, при снижении давления или вазоконстрикции (сужении) сосудов амплитуда падает.



**Рис. 2.** Пример фотоплетизмограммы

Изменения в форме ФПГ могут указывать на развитие гемодинамических нарушений на исследуемом участке сосудистого русла, поэтому ФПГ отображается на графическом дисплее монитора для использования в клинической диагностике.

Для неинвазивного определения оксигенации крови в рабочую область фотоплетизмографического датчика помещается участок тканей, содержащий артериальные сосуды (рис. 1). В этом случае сигнал с выхода датчика, пропорциональный абсорбции света, проходящего через ткани, включает две составляющие: пульсирующую компоненту, обусловленную изменением объема артериальной крови при каждом сердечном сокращении, и постоянную “базовую” составляющую, определяемую оптическими свойствами кожи, венозной и капиллярной крови и других тканей исследуемого участка (рис. 3).

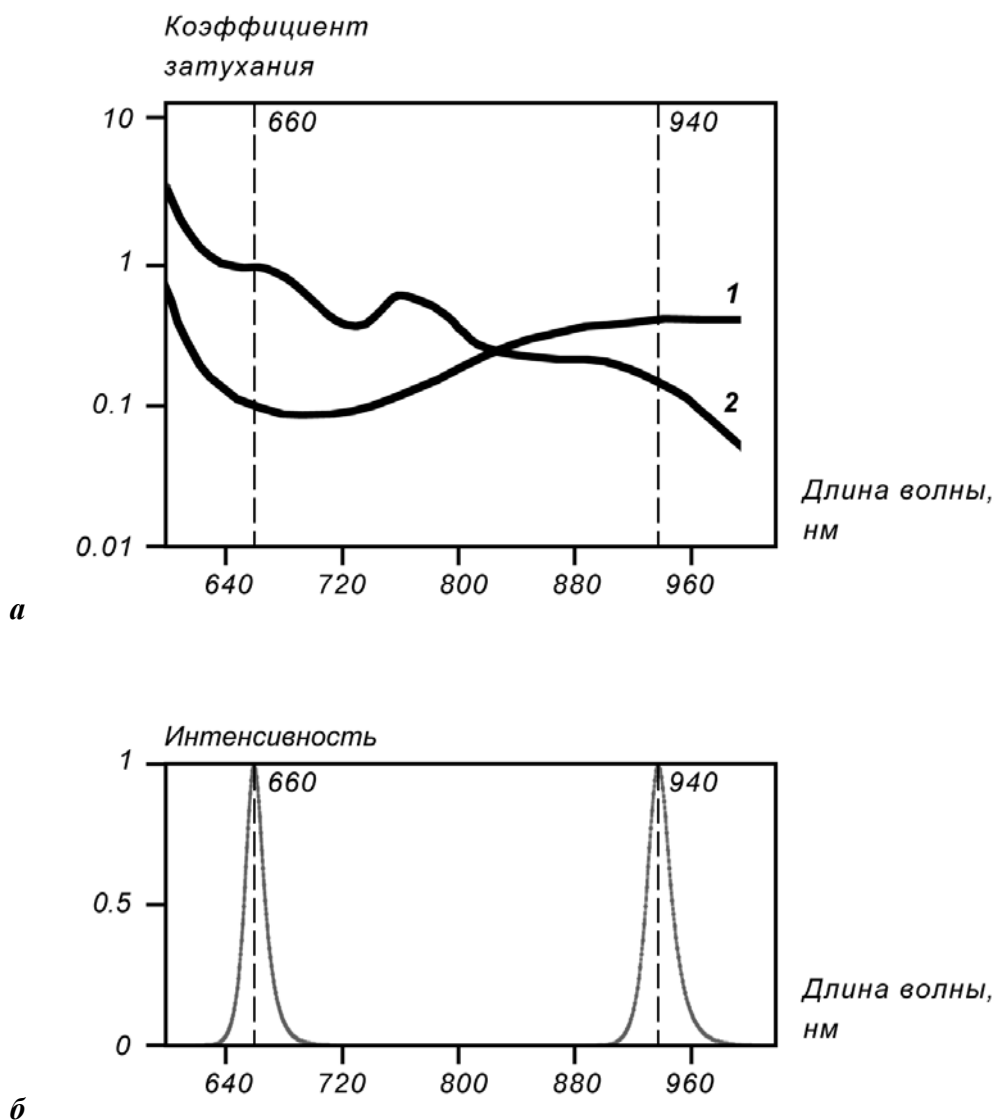


**Рис. 3.** Распределение абсорбции света в тканях

Путем анализа формы сигнала ФПГ можно выделить его фрагменты, соответствующие моментам систолического выброса. Именно в эти короткие промежутки времени на вершине систолы удастся наиболее точно определить сатурацию артериальной крови кислородом.

Для определения сатурации используется методика двухлучевой спектрофотометрии. Измерение абсорбции света производится в моменты систолического выброса, то есть в моменты максимума амплитуды сигнала датчика (рис. 2) для двух длин волн излучения. Для этой цели в датчике используются два источника излучения с различными спектральными характеристиками (рис. 4, б).

Для получения наибольшей чувствительности определения сатурации кислорода длины волн излучения источников необходимо выбирать в участках спектра с наибольшей разницей в поглощении света оксигемоглобином и гемоглобином. Этому условию удовлетворяют красная и ближняя инфракрасная области спектра излучения.



**Рис. 4.** а) Зависимость поглощения света от длины волны излучения для различных форм гемоглобина: 1 – оксигемоглобин, 2 – гемоглобин.  
 б) Спектры излучения светодиодов, работающих в красном (660 нм) и инфракрасном (940 нм) диапазонах длин волн.

При длине волны излучения 660 нм (красная область) гемоглобин поглощает примерно в 10 раз больше света, чем оксигемоглобин, а на волне 940 нм (инфракрасная область) - поглощение оксигемоглобина больше, чем гемоглобина (рис. 4, а).

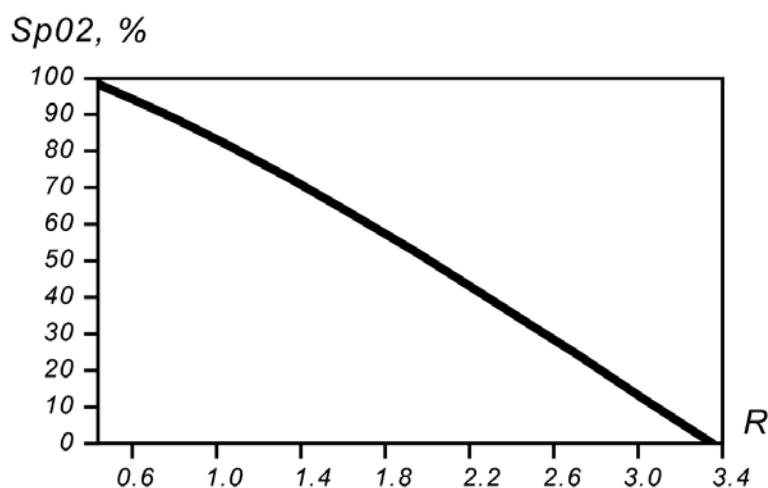
Для повышения точности определения сатурации методом пульсовой оксиметрии используется нормирование сигналов поглощения света, для чего измеряется постоянная составляющая в моменты диастолы и находится отношение амплитуд пульсирующей и постоянной составляющих:  $A_{норм.} = A_{пульс.} / A_{пост.}$ .

Эта процедура выполняется для каждой длины волны излучения. Нормированная величина поглощения не зависит от интенсивности излучения светодиодов, а определяется только оптическими свойствами живой ткани. Для получения значений сатурации рассчитывают отношение нормированных величин поглощения света для двух выбранных длин волн:  $R = A_{1\text{ норм.}} / A_{2\text{ норм.}}$ .

Величина R эмпирически связана со значениями сатурации калибровочной зависимостью, полученной в процессе градуировки прибора (рис. 5). Отношение R

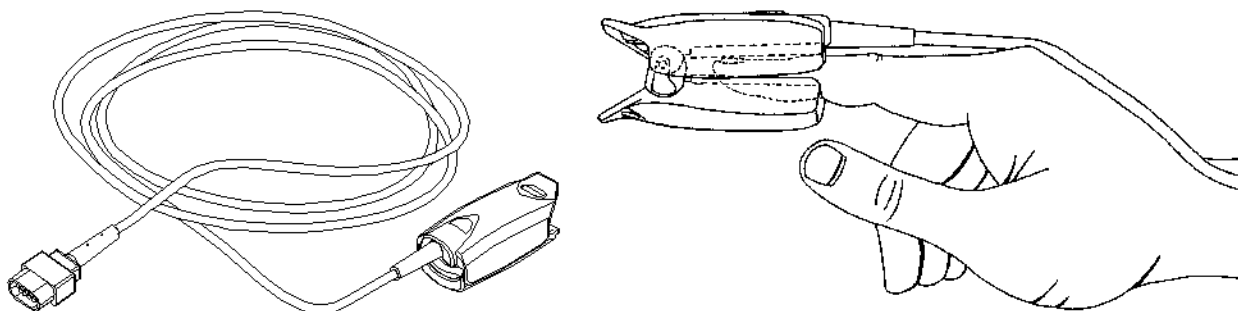
изменяется от 0,4 для 100% сатурации до 3,4 при 0% сатурации. Отношение, равное 1, соответствует сатурации 85%. Ход кривой определяется теоретической зависимостью, основанной на соотношениях для поглощения света. Однако для точного определения сатурации необходимо уточнение калибровочной зависимости по экспериментальным данным, полученным, например, с помощью кюветного оксиметра.

Следует отметить, что величина отношения  $R$  не зависит от оптических характеристик кожи, подлежащих тканей, а определяется оптическими свойствами артериального выброса крови, что определяет высокую точность измерения сатурации в пульсоксиметрии.



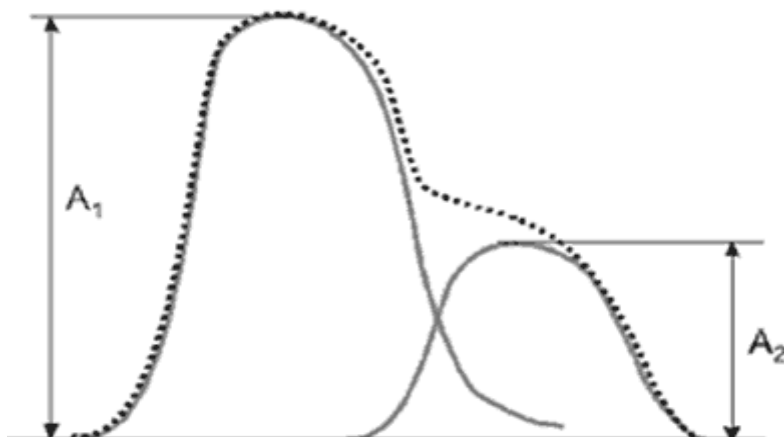
**Рис. 5.** Калибровочная кривая пульсоксиметра

Конструктивно датчик выполняется таким образом, что при его расположении на поверхности тела человека на фотоприемник поступает свет излучателей, ослабленный участком тканей, содержащим артериальный сосуд (рис. 6). Датчик укрепляется на кончике пальца руки или ноги, мочке уха пациентов, у детей датчик часто закрепляется на стопе в области большого пальца или на ладони. Достоинствами таких приборов является их мобильность и возможность проведения экспресс-анализов.



**Рис. 6.** Внешний вид датчика фотоплетизмограммы

Пульсовая волна состоит из двух компонентов.



**Рис 7. Схематическое изображение пульсовой волны. A1 соответствует анакротическому периоду, A2 – диакротическому.**

Первый пик пульсовой волны, соответствующий анакротическому периоду пульсовой волны (A1), образуется в период систолы. Амплитудное значение анакротической фазы носит также название амплитуды пульсовой волны и соответствует ударному объему крови при сердечной выбросе, предоставляя таким образом косвенные сведения о степени инотропного эффекта.

Второй пик пульсовой волны, соответствующий диакротическому периоду пульсовой волны (A2), образуется за счет отражения объема крови от аорты и крупных магистральных сосудов и частично соответствует диастолическому периоду сердечного цикла. Диакротическая фаза предоставляет информацию о тоне сосудов.

Вершина пульсовой волны соответствует наибольшему объему крови, а ее противолежащая часть - наименьшему объему крови в исследуемом участке ткани. Характер пульсовой волны зависит от эластичности сосудистой стенки, частоты пульса, объема исследуемого участка ткани, ширины просвета сосудов. Считается, что частота и продолжительность пульсовой волны зависит от особенностей работы сердца, а величина и форма ее пиков – от состояния сосудистой стенки.

Исследуемые параметры фотоплетизмограммы группируются по двум признакам:

1. По вертикальной оси изучаются амплитудные характеристики пульсовой волны, соответствующие анакротическому и диакротическому периоду. Несмотря на то, что эти параметры являются относительными, их изучение в динамике предоставляет ценную информацию о силе сосудистой реакции. В этой группе признаков изучаются амплитуда анакротической и диакротической волны, индекс диакротической волны. Последний показатель имеет абсолютное значение и имеет собственные нормативные показатели.
2. По горизонтальной оси изучаются временные характеристики пульсовой волны, предоставляющие информацию о длительности сердечного цикла, соотношении и длительности систолы и диастолы. Эти параметры имеют абсолютные значения и могут сравниваться с существующими нормативными показателями. В этой группе параметров изучаются длительность анакротической фазы пульсовой

волны, длительность дикротической фазы пульсовой волны, длительность фазы изгнания, длительность пульсовой волны, индекс восходящей волны, время наполнения, продолжительность систолической фазы сердечного цикла, продолжительность диастолической фазы сердечного цикла, время отражения пульсовой волны, частота сердечных сокращений.

## Библиография:

1. Е.И. Дерябин, Е.Е. Двинянинова, Н.В. Ваганова, В.Ю. Осипов, А.П. Терещенко, А.Г. Дерябина Применение фотоплетизмографии для исследования локального кровотока челюстно-лицевой области Лазерная медицина 3(2) 1999г.
2. В.С. Мошкевич Фотоплетизмография М. Медицина 1970г.
3. Н.Р. Палеев, И.М. Каевицер Атлас гемодинамических исследований в клинике внутренних болезней М, Медицина 1975г.
4. Диагностика функции сосудистого эндотелия у больных с сердечно-сосудистыми заболеваниями: метод. указания Самарский государственный аэрокосмический университет; Лебедев П.А., Калакутский Л.И., Власова С.П., Горлов А.П. Самара, 2004г.,18с.

## Приложение. Закон Бугера - Ламберта – Беера.

Закон связывает интенсивность света падающего ( $I_{nad}$ ) и проходящего ( $I_{np}$ ) сквозь исследуемую пробу:  $I_{np} = I_{nad} \exp(-A)$ , где  $A = \chi_{\lambda} C d$  - величина абсорбции (поглощения).

Здесь  $\chi_{\lambda}$  - коэффициент молярной экстинкции, постоянный для каждого вещества и длины волны падающего света. Зависимость коэффициента экстинкции от длины волны падающего света  $\lambda$  образует спектр поглощения вещества.

$C$  - концентрация поглощающего свет вещества,  
 $d$  - толщина слоя поглощающего вещества.



# Выполнение задачи

## Подготовка к работе.

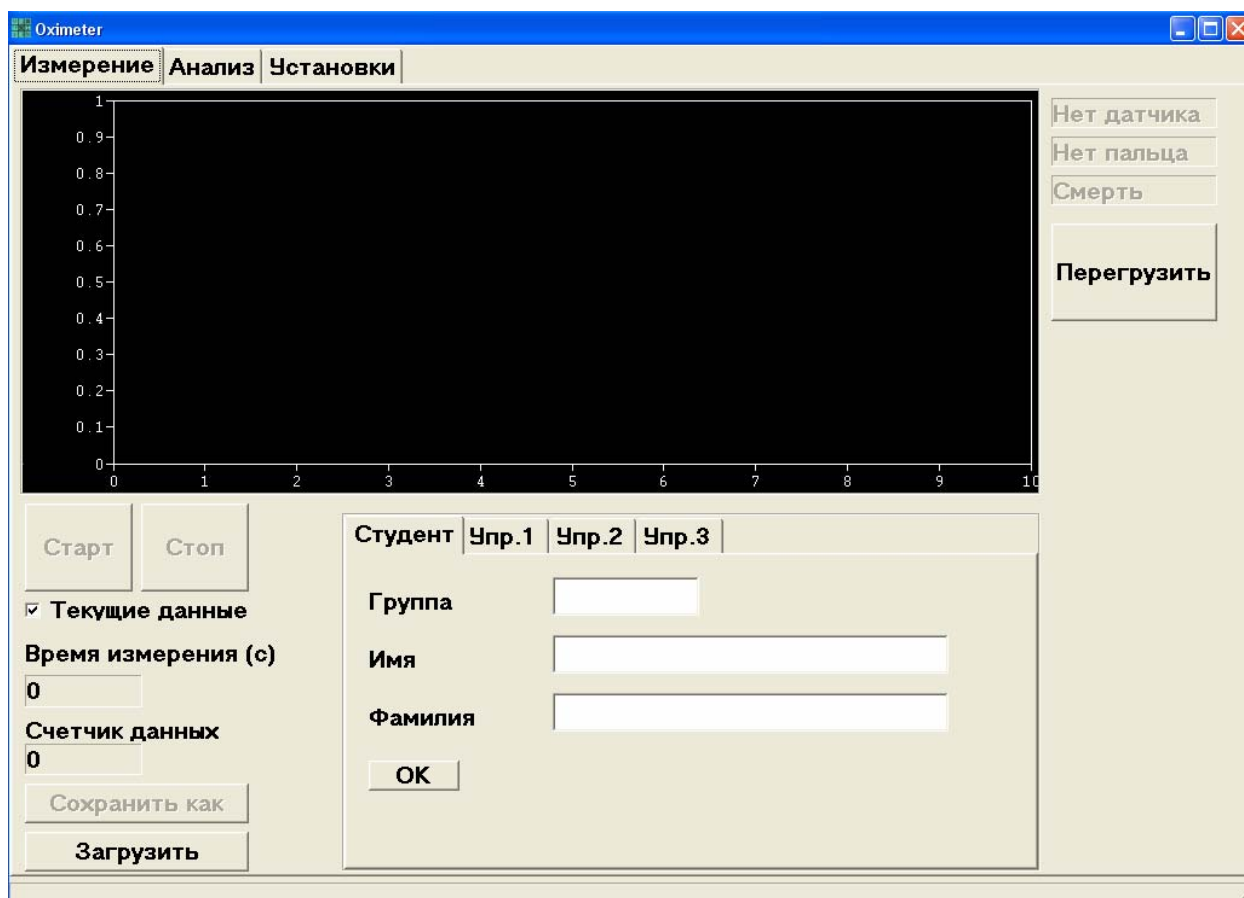


Рис.1 Регистрация.

Задача выполняется с помощью прибора «Пульс-оксиметр», разработанного на кафедре медицинской физики на основе модуля «Микролюкс OEM-OXI». Управление прибором, сбор и обработка данных производятся с помощью персонального компьютера через СОМ-порт. Настройка прибора производится заранее квалифицированным персоналом.

Перед началом работы студент должен ввести номер учебной группы, имя и фамилию и нажать кнопку **ОК**. Программа перейдет к упражнению 1.

Все упражнения делаются не менее трех раз.

## Упражнение 1.

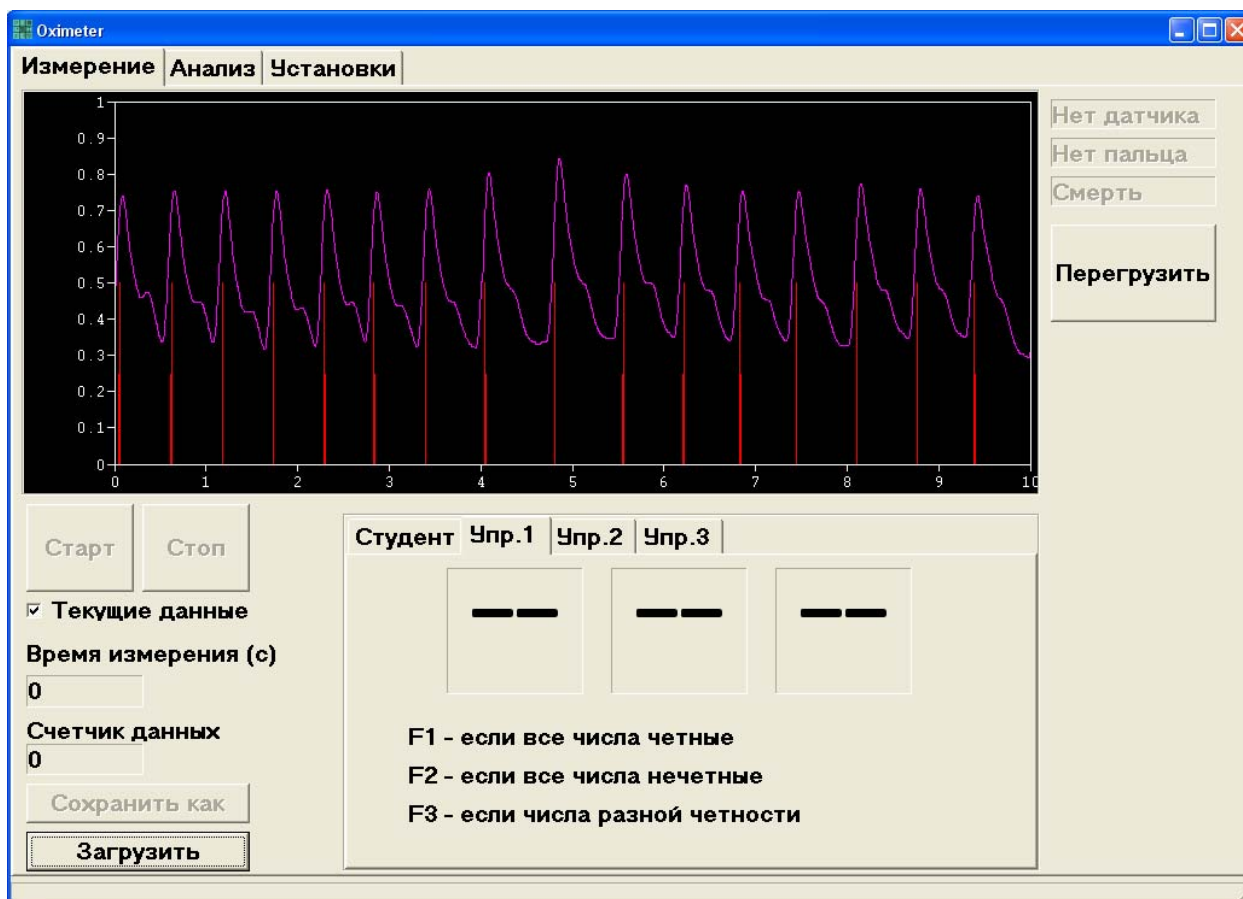


Рис. 2. Упражнение 1.

Данное упражнение фиксирует изменение насыщенности крови кислородом при умственной нагрузке.

Закрепите измерительный модуль на указательном или среднем пальце. На экране появится бегущий график плетизмограммы (пурпурный) и индикация пульса (красные линии).

После стабилизации измерений (индикация пульса происходит через равные интервалы) нажмите кнопку **Старт**.

Вам будут предъявлены три случайных двузначных числа. Если все числа четные, нажмите кнопку F1, если все нечетные - F2, иначе нажмите F3. Если ответ верный, числа изменятся, в противном случае попытайтесь дать правильный ответ еще раз.

После окончания измерения (примерно после 20-21 с), программа перейдет к окну анализа измерений.

Проделайте измерения 3 раза.

## Анализ измерений.

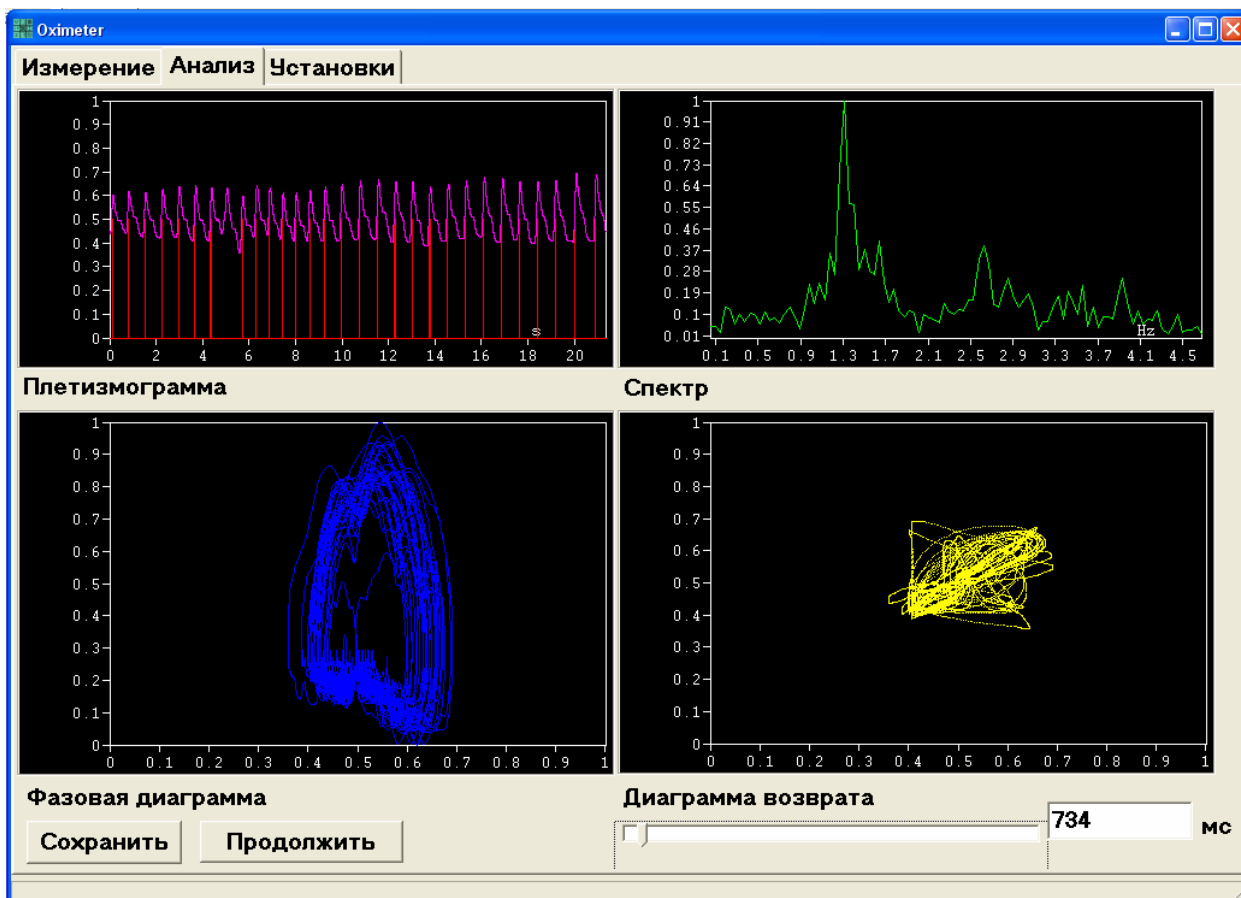


Рис.3. Анализ измерений.

В данном окне представлены 4 графика: плетизмограмма с пульсовыми отсчетами, временной спектр плетизмограммы, фазовая диаграмма (первая производная от данных) и диаграмма возврата (смещенные данные от несмещенных). В данной задаче достаточно проверить, что исходные данные достоверны, т.е. нет продолжительных пропусков пульса.

Нажмите кнопку **Сохранить** для записи данных в файл. Файл находится в папке «Номер группы» во вложенной папке «Фамилия\_Имя». Имя файла состоит из номера упражнения (Ex1, Ex2, Ex3) и даты и времени измерения.

Нажмите **Продолжить** для продолжения измерений.

## Упражнение 2.

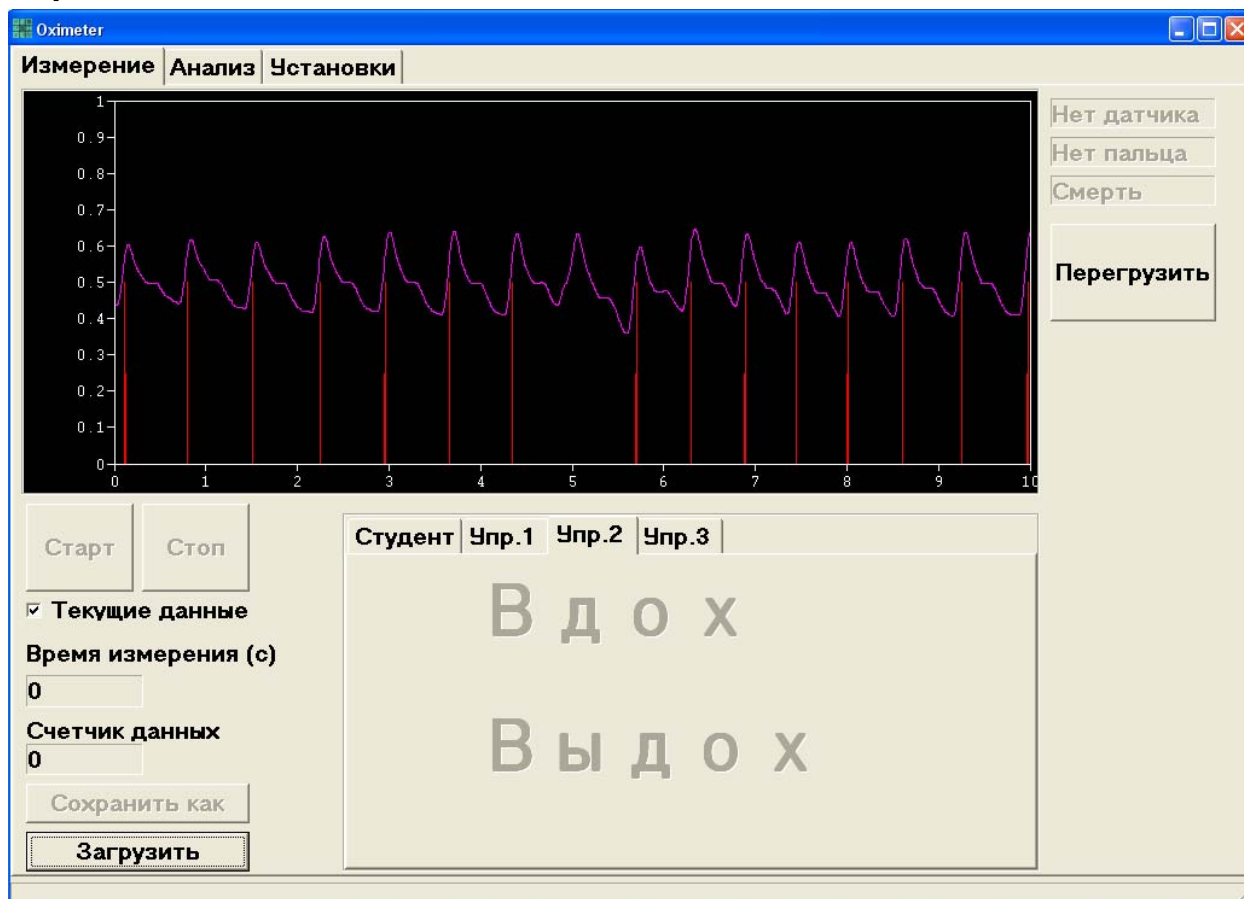


Рис. 4. Упражнение 2.

Данное упражнение фиксирует изменение насыщенности крови кислородом при интенсивном дыхании.

Закрепите измерительный модуль на указательном или среднем пальце. На экране появится бегущий график плетизмограммы (пурпурный) и индикация пульса (красные линии).

После стабилизации измерений (индикация пульса происходит через равные интервалы) нажмите кнопку **Старт**.

Дышите в такт загорающимся надписям **Вдох** и **Выдох**.

**ВНИМАНИЕ! Если почувствуете головокружение, немедленно прекратите упражнение и восстановите естественный ритм дыхания.**

После окончания измерения (примерно после 20-21 с), программа перейдет к окну анализа измерений.

Проделайте измерения 3 раза.

### Упражнение 3.

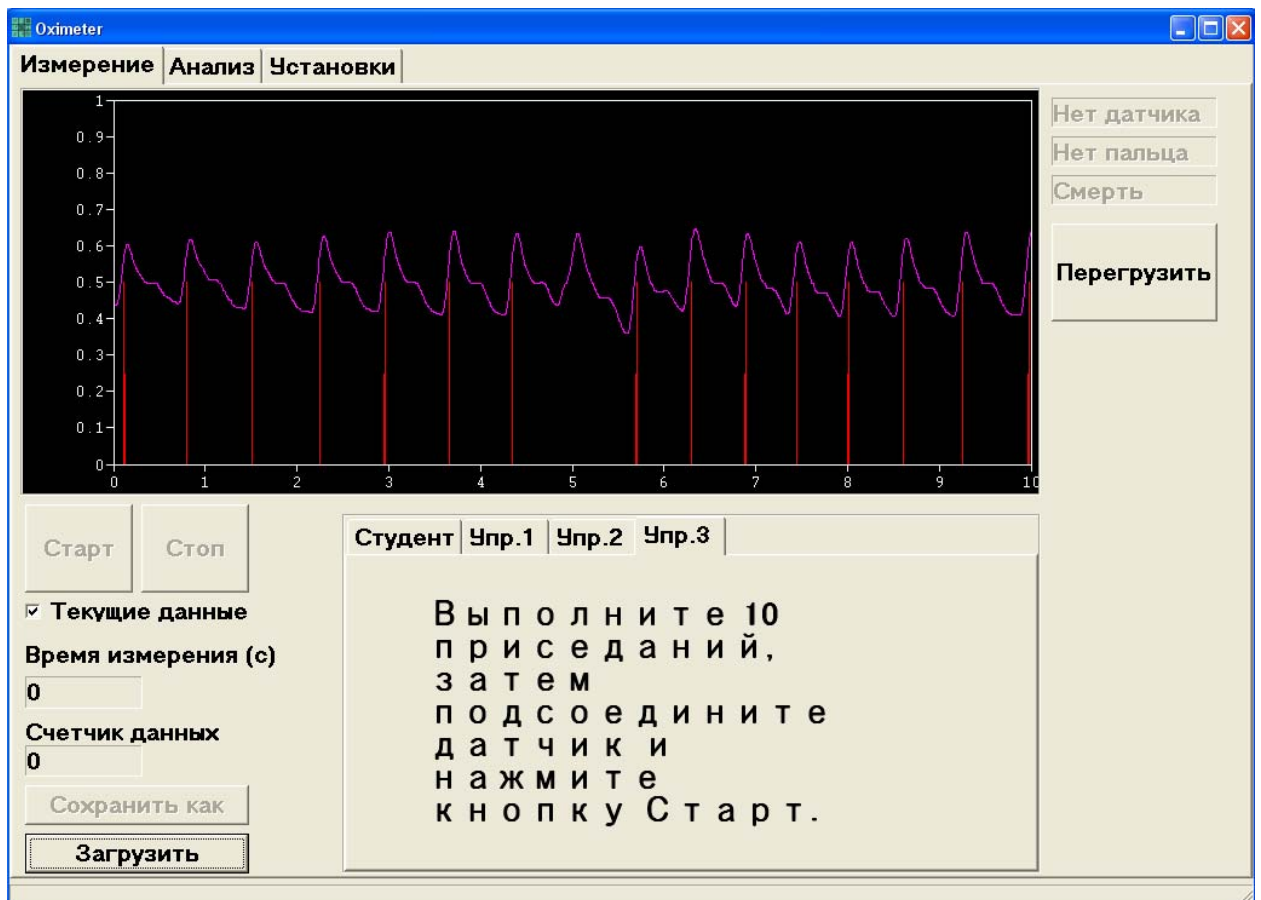


Рис. 5. Упражнение 3.

Данное упражнение фиксирует изменение насыщенности крови кислородом при интенсивной физической нагрузке.

Снимите измерительный модуль и выполните 10 приседаний.

Закрепите измерительный модуль на указательном или среднем пальце. На экране появится бегущий график плетизмограммы (пурпурный) и индикация пульса (красные линии).

После стабилизации измерений (индикация пульса происходит через равные интервалы) нажмите кнопку **Старт**.

В данном упражнении важно нажать **Старт** как можно быстрее после выполнения физической нагрузки, поэтому постарайтесь закрепить модуль и начать измерения без промедлений.

После окончания измерения (примерно после 20-21 с), программа перейдет к окну анализа измерений.

Проделайте измерения 3 раза.

## Обработка результатов.

В таблице представлено начало файл данных.

Время (с)	Пульс	Плетизмограмма
0.003	0	0.441406
0.0060062	0	0.438699
0.00901239	0	0.43763
0.0120186	0	0.437502
0.0150248	0	0.4375
0.018031	0	0.4375
0.0210372	0	0.4375
0.0240434	0	0.4375
0.0270496	0	0.4375
0.0300558	0.5	0.4375

Время измеряется в секундах, пульс принимает два значения: 0.5 – момент пульса и 0 – пауза, плетизмограмма принимает значения от 0 до 1. Обратите внимание, что в качестве десятичного разделителя используется точка.

Для отчета постройте диаграммы следующего вида:

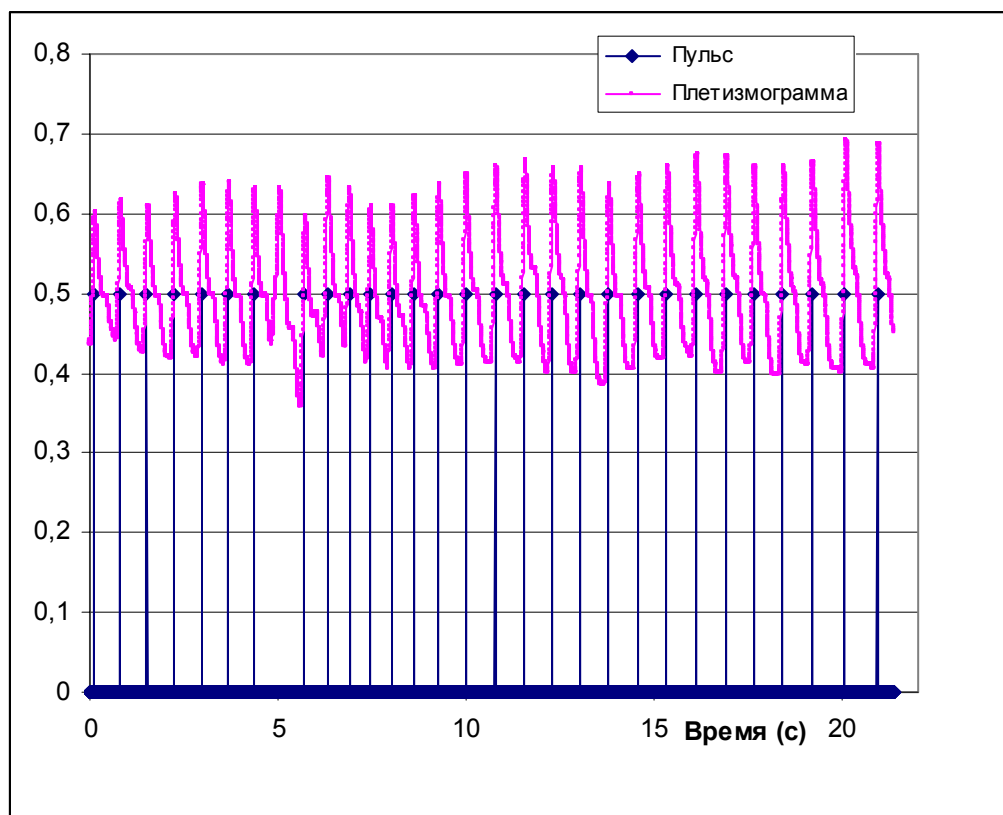


Рис.6 Диаграмма измерения.

Диаграммы измерения должны быть построены для каждого измерения.

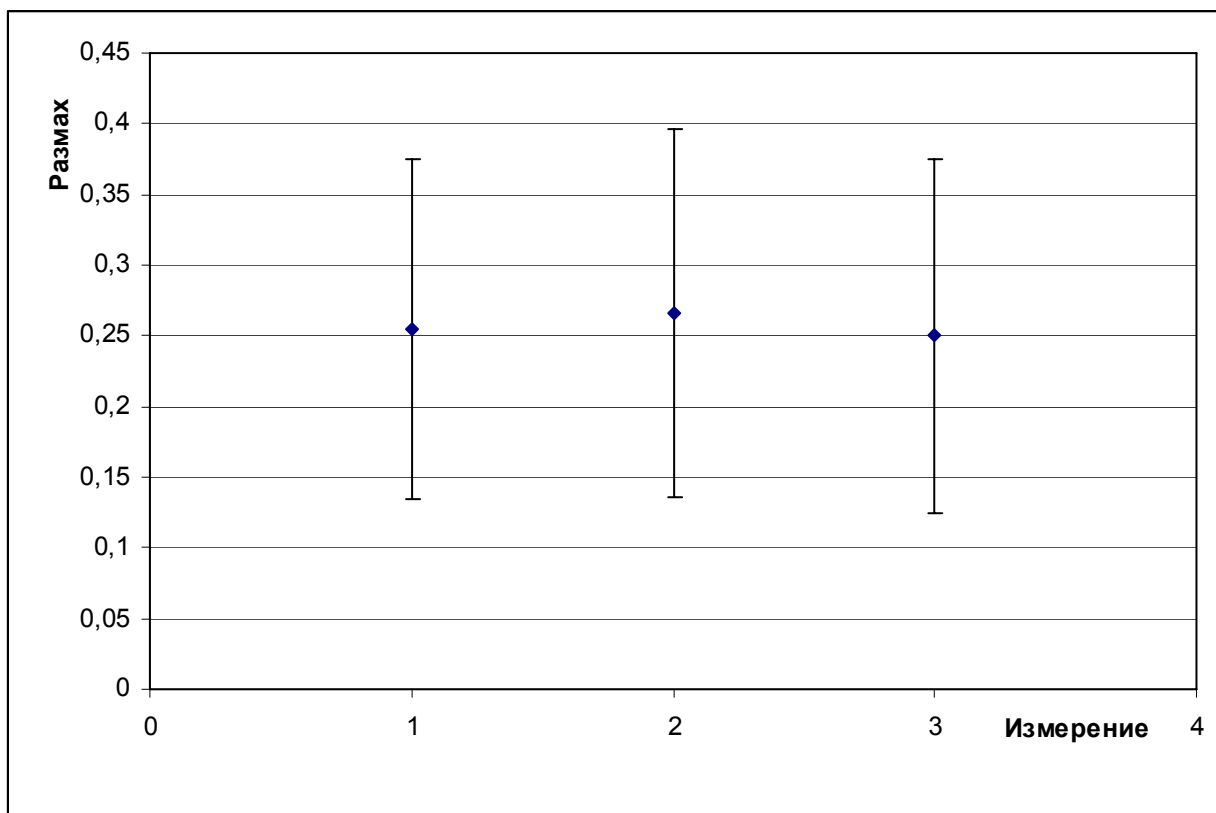


Рис.7. Размах плетизмограммы.

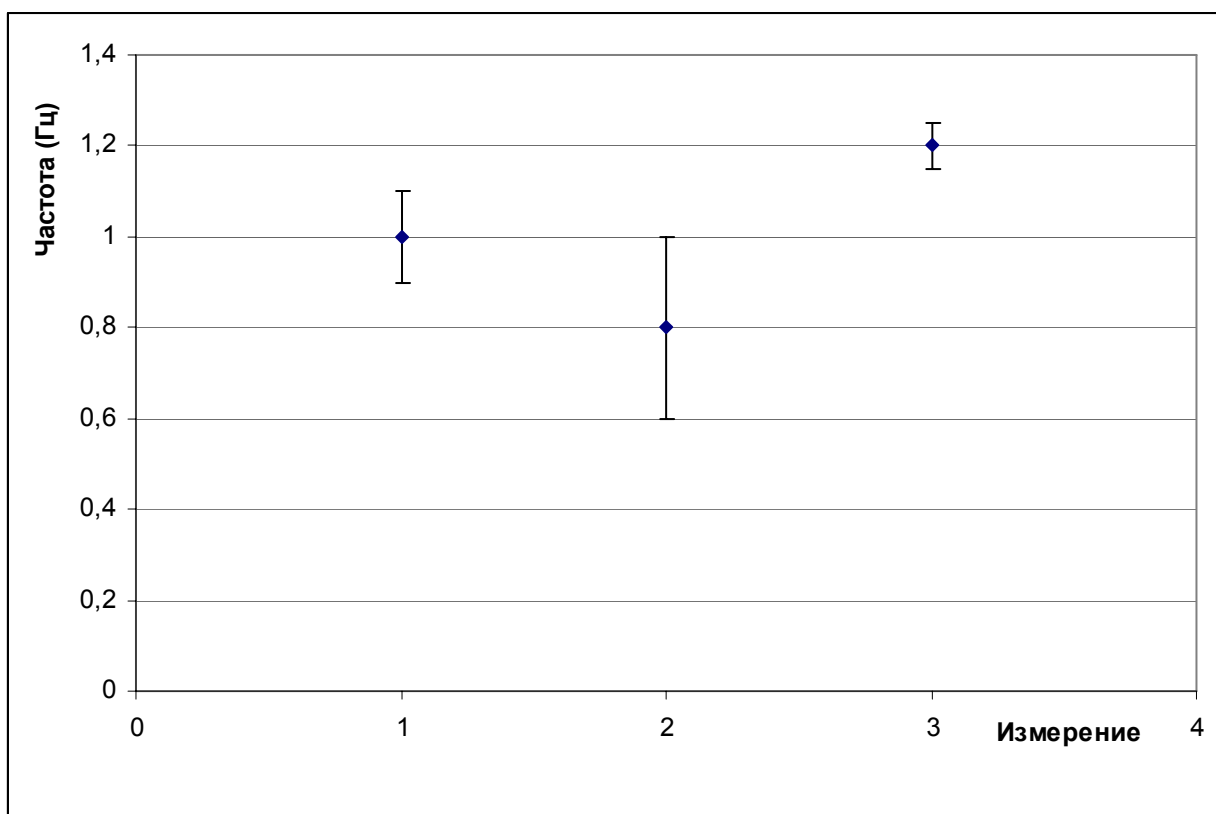


Рис. 8. Частота пульса.

Диаграммы размаха и частоты постройте для каждого упражнения.