

**СВЯЗЬ МЕЖДУ ФИЗИЧЕСКИМИ И БИОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ****Бушман Я.Р.***МОБУ «Гимназия №14», 11 класс**Руководитель: Казанцева М.Б., МОБУ «Гимназия №14», учитель математики и физики*

Электричество играет порой невидимую, но жизненно важную роль в существовании многих организмов, включая человека. Например, кость живого организма обладает пьезоэлектрическими свойствами, поэтому ее деформация сопровождается возникновением электрического поля. Вследствие этого важную роль в саморегуляции нагрузки на кость играют изменения электрического поля в костной ткани. [2] Нам показалось интересным и возникновение нервного импульса и его поступление в головной мозг, обусловленное электрическими процессами в организме, поэтому мы хотим попытаться рассмотреть данный процесс в своей работе.

Безусловно, сердце является одним из важнейших органов жизнедеятельности организма, а один из главных показателей работы сердца – давление, с которым оно нагнетает кровь в сосуды. [2] Процесс этот сложный для понимания с биологической точки зрения, то я попыталась разобраться в нем, проведя сравнение его с движением жидкостей и газов по трубам.

Кроме того, при прочтении инструкций по применению лекарственных препаратов я не раз обращала внимание на слова «фармакодинамика» и «фармакокинетика» и это навело меня на мысль, что физика с биологией тесно связана.

Цель: показать взаимосвязь физики и биологии на примере некоторых процессов в живых организмах.

Задачи:

1. Изучить процесс поступления нервного импульса в головной мозг с физической и биологической точки зрения;
2. Провести аналогию между движением жидкостей и газов по трубам и движением крови и газов по кровеносным сосудам;
3. Применение полученных знаний на практике.

**1. Живое электричество**

Какова природа сигналов, передающихся от клетки к клетке по нервным волокнам?

В настоящее время природа нервного импульса раскрыта: это удивительно тонкий электрохимический процесс, в основе которого лежит перемещение ионов через оболочку клетки. Так как живой организм на 80 % состоит из воды, то с точки зрения физики мы рассмотрим возникновение, про-

текание и поддержание в течение длительного времени электрический ток в электролитах.

**1.1. Электрический ток в жидкостях.**

Атомы, потерявшие один или несколько наружных электронов, а также молекулы, в состав которых входят такие атомы, называются положительными ионами. Атомы или молекулы, имеющие лишние электроны, называются отрицательными ионами.

**Ионы в электролитах**

Что происходит в растворах солей или кислот, в газах, когда в них движутся электрические заряды?

Дистиллированная (химически чистая) вода почти не проводит электрический ток, но стоит в ней растворить немного какой-нибудь кислоты или соли, то раствор ток проводить начнет. Как это объяснить? Как объяснить также, что в отличие от металлов электрический ток в растворах кислот и солей связан с переносом вещества?

Данные явления наблюдаются вследствие диссоциации – процесса распада молекул на положительно заряженные и отрицательно заряженные ионы. Электролит – это жидкий проводник, носителями зарядов в котором являются положительные и отрицательные ионы. Наличием ионов и объясняется электропроводность растворов электролитов.

При повышении температуры электропроводность электролитов возрастает. Это можно объяснить тем, что при высокой температуре вязкость жидкостей (Вязкость (внутреннее трение) – одно из явлений переноса, свойство текучих тел (жидкостей и газов) оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой) уменьшается и ионы приобретают большую подвижность. Итак, ток в электролитах осуществляется движением ионов (положительных – к катоду, отрицательных – к аноду). Проводники такого рода называются ионными проводниками [5].

**1.2. Распространение нервных импульсов**

В начале XX века между учеными велся спор, каким способом передается сигнал от одной нервной клетки на другую. Одни считали, что электрический заряд, пробежав

по одному нервному волокну, передается на другое по каким-то более тонким «проводам». Их оппоненты утверждали, что существуют вещества, которые переносят сигнал от одной нервной клетки к другой. В принципе, обе стороны оказались правы: *существуют химические и электрические синапсы*. Однако сторонники второй гипотезы оказались «правее» – *химические синапсы преобладают в организме человека*. [3]

Нервная ткань – совокупность связанных между собой нервных клеток (нейронов, нейроцитов) и вспомогательных элементов (нейроглии), которая регулирует деятельность всех органов и систем живых организмов. Это основной элемент нервной системы, которая делится на центральную (включает головной и спинной мозг) и периферическую (состоящую из нервных узлов, стволов, окончаний).

Строение нервной ткани. Основная структурная единица – это нейрон. Он имеет тело – перикарион, в котором находятся ядро, органеллы и цитоплазма и несколько отростков (рис. 1). Именно отростки являются отличительной чертой клеток этой ткани и служат для переноса возбуждения. Длина их колеблется от микрометров до 1,5 м. Тела нейронов также различных размеров: от 5 мкм в мозжечке, до 120 мкм в коре головного мозга.

Строение аксона. Начинается он от тела нейрона аксонным холмиком, на всем протяжении не разветвляется и только в конце разделяется на ветки. Аксон – это длинный отросток нейрона, который выполняет передачу возбуждения от перикариона.

Строение дендрита. У основания тела клетки он имеет конусообразное расширение, а дальше разделяется на множество веточек (этим обусловлено его название, «дендрон» с древнегреческого – дерево). Дендрит – это короткий отросток и необходим для трансляции импульса к соме (телу клетки). [7]

Передача импульсов в клетках осуществляется с помощью натрий-калиевого насоса.

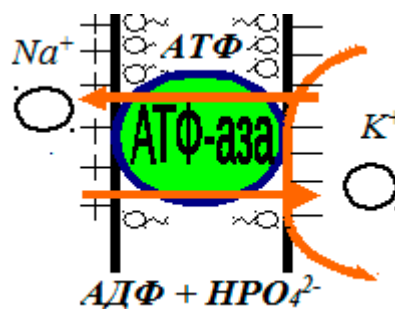


Рис. 2. Натрий-калиевый насос

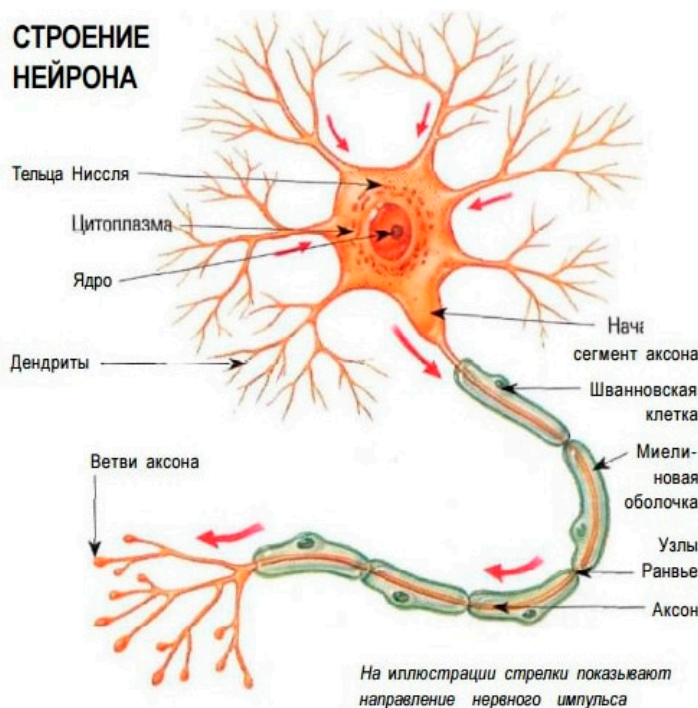


Рис. 1. Строение нейрона

Вследствие дисбаланса переносимых электрических зарядов внутренняя поверхность мембраны заряжается отрицательно, а внешняя – положительно. Ионы  $K^+$  и  $Na^+$  активируют аденозинтрифосфатазу (АТФ-аза) клеточных мембран, обеспечивающую энергией калий-натриевый насос (рис. 2). Активация других ферментов за счет ионов  $K^+$  и  $Na^+$  заключается в поддержании фермента в функционально активном состоянии. Эти ионы оказывают существенное влияние на деятельность центральной нервной системы (ЦНС). [4]

В процессе передачи нервного импульса важную роль играет нейромедиатор ацетилхолин. Ацетилхолин (рис. 3) производится в нервных клетках из холина и ацетилкофермента-А (ацетил-КоА).

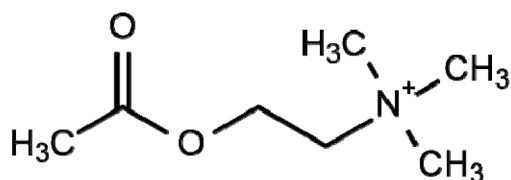


Рис. 3. Структура молекулы ацетилхолина

Рецепторы ацетилхолина делятся на две группы – мускариновые и никотиновые. Стимуляция мускариновых рецепторов приводит к изменению метаболизма в клетке через систему G-белков\* (метаботропные рецепторы), а воздействие на никотиновые – к изменению мембранного потенциала (ионотропные рецепторы). Это происходит благодаря тому, что никотиновые рецепторы связаны с натриевыми каналами на поверхности клеток. [3]

## 2. Движение жидкостей

Какие же силы определяют движение жидкости?

### 2.1. Движение жидкостей и газов по трубам

Рассмотрим движение жидкостей и газов по трубам.

Жидкость в трубе или при обтекании твердых тел при течении с малыми скоростями течет слоями, скользящими друг по другу. Такое течение называется ламинарным.

При увеличении скорости течения характер течения меняется. Слои непрерывно перемешиваются, возникают области вихревого, вращательного движения. Такое течение называется вихревым или турбулентным.

#### Стационарный поток

Поток, в котором скорость жидкости или газа в данной точке пространства не меняется, называется стационарным. Жидкость в стационарном потоке течет по неизменным линиям, называемым «линиями тока». При больших скоростях течения поток уже не является вполне стационарным из-за образования вихрей, но вдали от твердых тел и стенок трубы в ряде случаев мы можем этим пренебречь. Рассмотрим теперь стационарный поток жидкости (или газа) в трубе. Можно ввести понятие «расхода жидкости». Это, по определению, объем жидкости, протекающей мимо какой-либо точки трубы в единицу времени. Обозначим площадь поперечного сечения трубы  $S$ , скорость течения жидкости  $v$  (рис. 4). За одну секунду мимо отмеченной на трубе точки протекает объем жидкости, имеющий форму цилиндра с основанием  $S$  и с высотой  $v$ . Объем этого цилиндра, т. е. расход жидкости,  $Q = S v$  (единица измерения –  $m^3/c$ ). Если жидкость несжимаема, то объем вытекающей в трубу жидкости равен объему вытекающей, поэтому величина расхода ( $S$  – величина постоянная вдоль трубы, даже если труба имеет переменный диаметр  $D$ ). В более узких местах скорость течения возрастает по формуле

$$v = \frac{Q}{S} \left( s = \frac{\pi D^2}{4} \right).$$

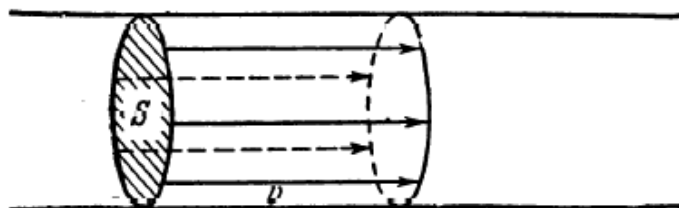


Рис. 4. В стационарном потоке расход жидкости  $Q = Sv$

Подчеркнем, что разная скорость в разных точках трубы не противоречит тому, что течение стационарно – лишь бы скорость не менялась во времени в данной точке трубы.

*Связь между давлением и скоростью в стационарном потоке*

Обратимся теперь к распределению давления в разных точках жидкости при стационарном течении жидкости по трубе переменного сечения (рис. 5).

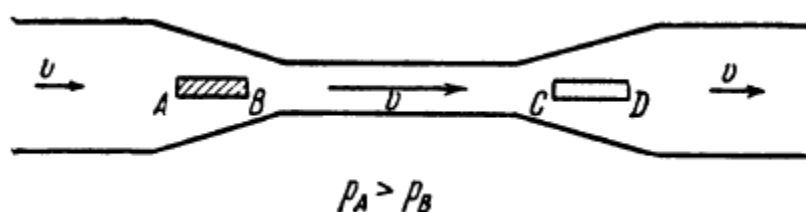


Рис. 5. Зависимость давления от скорости в стационарном потоке

Рассмотрим движение некоторого объема жидкости в трубе переменного сечения. В сужающейся части трубы выделенный объем движется ускоренно, в расширяющейся части – замедленно. По второму закону Ньютона тело массы  $m$  испытывает ускорение  $a$ , если на него действует сила:

$$F = m a.$$

В нашем случае  $m$  есть масса выделенного объема жидкости,  $a$  – ускорение. Сила  $F$  есть разность сил давления, действующих на заднюю (по ходу движения) поверхность выделенного объема и на переднюю поверхность:

$$F = p_A S - p_B S,$$

где  $S$  – величина задней и передней поверхности выделенного объема. На рисунке выделен объем около оси трубы в виде цилиндра или призмы. Конечно, такая форма выделенного объема сохраняется в трубе переменного сечения очень малое время, но для нашего рассуждения это не существенно.  $p_A$  и  $p_B$  – давление в точках  $A$  и  $B$ . Очевидно, в сужающейся части трубы ускорение и сила направлены вперед и давление в точке  $A$  больше давления в точке  $B$ . Аналогично для расширяющейся части трубы давление больше в точке  $D$ , чем в точке  $C$ . Мы можем сказать, что при проталкивании

жидкости через узкую часть трубы в широкой части трубы возникает повышение давления, связанное с инерцией жидкости.

Связь давления и скорости, объясненная нами с помощью второго закона Ньютона, конечно, находится в согласии с законом сохранения энергии [5].

Движение жидкостей и газов по трубам также объясняется законом Бернулли:

$$\frac{\rho v^2}{2} + \rho g h + p = \text{const};$$

здесь  $\rho$  – плотность жидкости;  $v$  – скорость потока;  $h$  – высота, на которой находится рассматриваемый элемент жидкости;  $p$  – давление в точке пространства, где расположен центр массы рассматриваемого элемента жидкости;  $g$  – ускорение свободного падения.

Аналогия с уменьшением давления в суженной части трубы струи жидкости или газа прослеживается в движении крови по сосудам.

*Движение крови в кровеносных сосудах*

Гемодинамика – один из разделов биомеханики, изучающий законы движения крови по кровеносным сосудам. Задача гемодинамики – установить взаимосвязь между основными гемодинамическими показателями, а также их зависимость от физических параметров крови и кровеносных сосудов.

К основным гемодинамическим показателям относятся давление и скорость кровотока.

Скорость кровотока через сосуды сейчас определяют чаще всего с помощью двух методов: электромагнитного метода и метода разведения индикатора.

Режимы течения крови, как и жидкости, разделяют на ламинарное и турбулентное.

Рассмотрим подробнее движение крови в кровеносной системе организма (рис. 6).

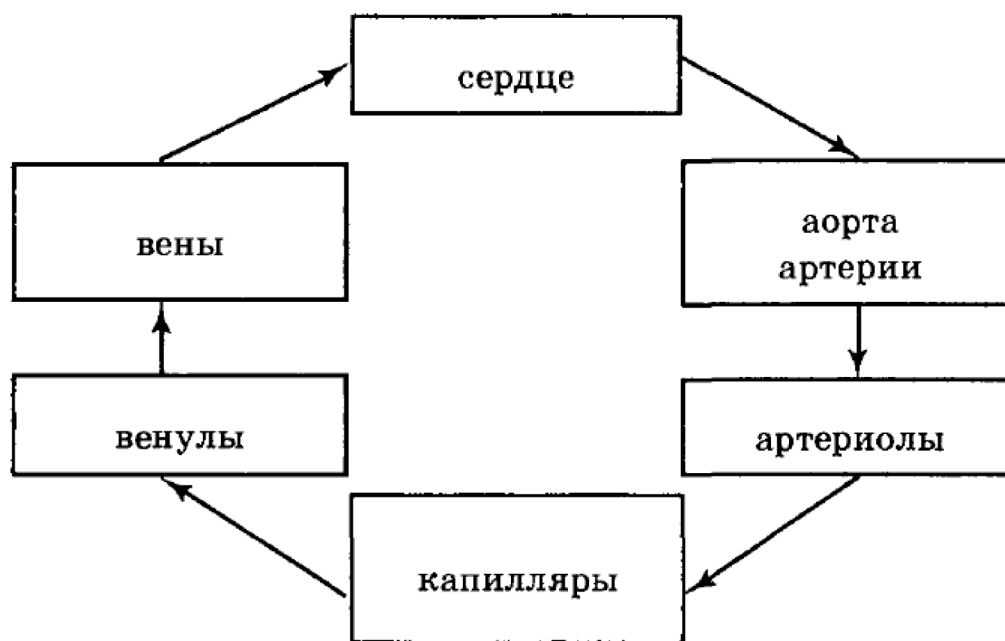


Рис. 6. Схематичное изображение кровеносно-сосудистой системы

*Модель Франка*

Для удобства рассмотрения выделим две фазы кровотока в системе «левый желудочек сердца – крупные сосуды – мелкие сосуды» (рис. 7):

1-я фаза – фаза притока крови в аорту из сердца с момента открытия аортального клапана до его закрытия (рис. 7). Во время поступления крови из сердца стенки крупных сосудов растягиваются благодаря их

эластичности, часть крови резервируется в крупных сосудах, а часть проходит в мелкие сосуды (рис. 7).

2-я фаза – фаза изгнания крови из крупных сосудов в мелкие после закрытия аортального клапана (рис. 7). Во время этой фазы стенки крупных сосудов за счет упругости возвращаются в исходное положение, проталкивая кровь в микрососуды. В это время в левый желудочек поступает кровь из левого предсердия (рис. 7).

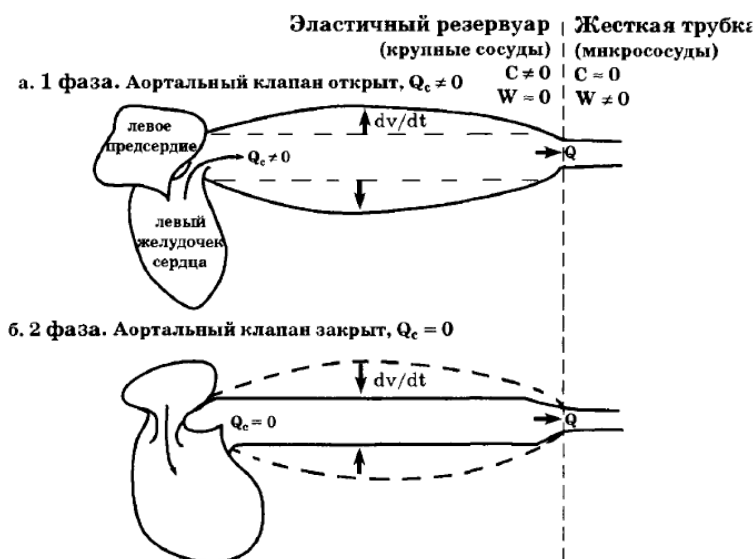


Рис. 7. Схема модели Франка



В модели Франка сделаны следующие допущения.

1. Все крупные сосуды объединены в один резервуар с эластичными стенками, объем которого пропорционален давлению. Они (а, следовательно, и резервуар) обладают высокой эластичностью; гидравлическим сопротивлением резервуара пренебрегают.

2. Система микрососудов представлена как жесткая трубка. Гидравлическое сопротивление жесткой трубки велико; эластичностью мелких сосудов пренебрегают.

3. Эластичность и сопротивление для каждой группы сосудов постоянны во времени и в пространстве.

4. Не рассматриваются переходные процессы установления движения крови.

5. Существует «внешний механизм» закрытия и открытия аортального клапана, определяемый активной деятельностью сердца [1].

стует о том, что внутрисосудистое давление от аорты до полых вен резко снижается, а объем крови в венозном русле, наоборот, возрастает. Следовательно, артериальное русло характеризуется высоким давлением и сравнительно небольшим объемом крови, а венозное – большим объемом крови и низким давлением [6].

### 3. Практическое применение

#### Медицина

Как известно, многие люди страдают сосудистыми заболеваниями, а также, варикозным расширением вен, тромбофлебитом, тромбозом глубоких вен на ногах.

Разработано много лекарственных препаратов для лечения этих заболеваний. Я решила проанализировать аннотацию некоторых из них на фармакологические свойства, и мне кажется, что при разработке лекарственных препаратов учитывались и фи-

#### Общая характеристика движения крови по сосудам

Гидродинамические характеристики сосудистого русла большого круга кровообращения

Сосуд	Давление, мм рт. ст.	Объем, см <sup>3</sup>	Скорость кровотока, см х с-1	Сопротивление, дин. х с. х см-5
Аорта	100–120	30	50	64
Магистральные артерии	100–120	60	13	3,9 x 10 <sup>3</sup>
Ветвящиеся артерии	80–90	50	8	1,6 x 10 <sup>5</sup>
Терминальные артерии	80–90	25	6	1,2 x 10 <sup>5</sup>
Артериолы	40–60	25	0,3	2 x 10 <sup>10</sup>
Капилляры	15–25	60	0,07	3,9 x 10 <sup>11</sup>
Венулы	12–18	110	0,07	4 x 10 <sup>9</sup>
Терминальные вены	10–12	130	1,3	3,2 x 10 <sup>3</sup>
Ветвящиеся вены	5–8	270	1,5	0,5 x 10 <sup>4</sup>
Венозные коллекторы	3–5	220	3,6	250
Полые вены	1–3	100	33	26

Давление и скорость кровотока в системе кровообращения уменьшаются от аорты до венул (табл. 1), а кровеносные сосуды становятся все более мелкими и многочисленными. В капиллярах скорость кровотока замедляется наиболее выражено, что благоприятствует отдаче кровью веществ тканям. Для венозного отдела характерен низкий уровень давления и более медленная по сравнению с артериальным руслом скорость кровотока.

Сопоставление величин давления, кровотока и сопротивления сосудов в различных отделах сосудистого русла свидетель-

зические закономерности движения крови по сосудам.

Например:

А) Курантил.

Одним из его действующих веществ является дипиридамол. Дипиридамол снижает адгезивность тромбоцитов, препятствует образованию тромбов в сосудах и стабилизирует кровоток в очаге ишемии. Он способствует уменьшению общего периферического сопротивления сосудов и улучшает микроциркуляцию, нормализует венозный отток, снижает частоту возникновения тромбозов глубоких вен в послеоперацион-

ном периоде. Улучшает микроциркуляцию в сетчатке глаза и почечных клубочках.

Показания к применению:

– Лечение и профилактика нарушений мозгового кровообращения по ишемическому типу.

– Профилактика артериальных и венозных тромбозов.

Б) Венарус.

Оказывает венозотонизирующее действие. Уменьшает растяжимость вен, повышает их тонус и уменьшает венозный застой; снижает проницаемость, ломкость капилляров и увеличивает их резистентность; улучшает микроциркуляцию и лимфоотток.

Показания к применению:

– судороги нижних конечностей;

– ощущение тяжести и распирания в ногах;

– боль;

– усталость в ногах.

#### *Задачи*

Я считаю, что в приведенных ниже заданиях прослеживается прямая связь физики с биологией.

1. Что больше: скорость распространения электрического сигнала по проводам морского телеграфа или скорость распространения нервного импульса по мембране аксона? Почему?

2. Объясните биофизический механизм действия яда тетродотоксина и местного анестетика тетраэтиламмония.

3. Радиус сосуда уменьшился вдвое. Во сколько раз изменится объемная скорость кровотока при неизменном перепаде давления?

4. Во сколько раз изменится скорость падения давления в начале диастолы, если гидравлическое сопротивление мелких сосудов увеличилось на 20%?

5. Во сколько раз должно увеличиться давление крови в начале крупного сосуда, чтобы при сужении его просвета на 30 % давление на выходе из сосуда и объемная скорость кровотока остались бы прежними? В отсутствие сужения падение давления в сосудах составляет 0,2 от давления в начале сосуда.

6. Оцените, какое время эритроцит находится в капилляре [1].

#### **Заключение**

При выполнении работы:

1. Мы узнали, как осуществляется процесс передачи нервного импульса и процесс движения крови по сосудам:

2. Познакомились с интересными фактами, связанными с особенностями работы некоторых систем нашего организма;

3. Мы убедились, что при разработке лекарственных препаратов учитываются законы физики.

#### **Список литературы**

1. Биофизика: учебник для студентов высших учебных заведений / В.Ф. Антонов, А. . Черныш, В.И. Пасечник и др. – М.: ВЛАДОС, 1999. – 288 с.

2. Богданов К.Ю. Физик в гостях у биолога / К.Ю. Богданов. – 2-е изд. – М.: Изд-во МЦНМО, 2015. – 240 с.

3. Лебедев В. Молекула здорового ума: [Электронный ресурс]. 2015. – URL: <https://biomolecula.ru/articles/molekula-zdravogo-uma>.

4. Натрий-калиевый насос: [Электронный ресурс]. – URL: <https://studfiles.net/preview/5813857/page:3/>.

5. Сахаров Д.И. Физика для техникумов/ Д.И. Сахаров, М.И. Блудов. – М., 1967. – 608 с.

6. Сосудистая система: [Электронный ресурс]. 2013. – URL: <https://studfiles.net/preview/462853/page:25/>.

7. Строение нервной ткани. Ее функции и свойства. – URL: <https://animals-world.ru/nervnaya-tkan/>.