

DOI: 10.55090/19964552_2023_6_44_53

К ВОПРОСУ О ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЕ ПРИ ИЗУЧЕНИИ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ

Ельцов Анатолий Викторович

доктор педагогических наук, профессор, профессор кафедры математики, физики и медицинской информатики Рязанский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова

ФГБОУ ВО Рязанский государственный медицинский университет им. академика И. П. Павлова Минздрава России Рязань Высоковольтная 9

 eltsov17@rambler.ru

Гревцова Екатерина Алексеевна,

доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности

ФГБОУ ВО «Рязанский государственный университет имени С. А. Есенина»

 e.grevtova@365.rsu.edu.ru

АННОТАЦИЯ

В данной статье представлена методика изучения физических основ артериального давления. Рассмотрен метод Короткова в сравнении с методом Рива-Роччи и прямым инвазивным методом измерения артериального давления. Описан способ определения давления на основе выслушивания тонов Короткова. Раскрыт механизм образования и распространения пульсовой волны в кровеносной сосудистой системе. Проиллюстрирован способ определения скорости пульсовой волны с помощью кимографа. На основе пульсовой волны выявлена основа погрешности метода Рива-Роччи. Объяснено появление тонов Короткова, связанных с увеличением скорости пульсовой волны в месте резкого расслабления пережатого манжетой сосуда. Проанализирован график пульсовой волны и формула для нахождения ее скорости. Отмечены преимущества данной методики для формирования профессиональных компетенций обучаемых.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *артериальное давление, тоны Короткова, пульсовая волна, скорость волны, кровоток, отражение волн, эластичность сосудов.*

ON THE QUESTION OF THE PULSE WAVE WHEN STUDYING BLOOD PRESSURE

Yeltsov A. V.,

Ph.D. (Education) Professor, Chair of Mathematics, Physics and Medical Information Technology,

Ryazan State Medical University named after Academician Ivan Pavlov. 9 Ulitsa Vysokovolt'naya, Ryazan, Russian Federation

Grevtsova E. A.,

Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department of Health and Life Safety

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Ryazan State University named after S. A. Yesenin»

ABSTRACT

This article presents a method for studying the physical basis of blood pressure. The Korotkoff method is considered in comparison with the Riva-Rocci method and the direct invasive method of measuring blood pressure. A method for determining pressure based on listening to Korotkoff sounds is described. The mechanism of formation and propagation of a pulse wave in the blood vascular system is revealed. A method for determining pulse wave speed using a kymograph is illustrated. Based on the pulse wave, the basis of the error of the Riva-Rocci method was identified. The appearance of Korotkoff sounds, associated with an increase in the speed of the pulse wave at the site of sharp relaxation of the vessel pinched by the cuff, is explained. The graph of the pulse wave and the formula for finding its speed are analyzed. The advantages of this methodology for the formation of professional competencies of students are noted.

KEYWORDS: *blood pressure, Korotkoff sounds, pulse wave, wave speed, blood flow, wave reflection, vascular elasticity.*

Впервые студенты медицинского университета знакомятся с изучением артериального давления на первом курсе обучения, на занятиях по физике. Данная тема рассматривается в разделе гидродинамика, при изучении движения идеальных и реальных жидкостей и их силовом взаимодействии с окружающими телами. Артериальное давление определяется давлением крови на стенки сосудов, оно зависит от объема крови выталкиваемого сердцем во время сокращения и сопротивлением кровеносных сосудов,

по которым распространяется кровь для питания органов кислородом и другими полезными веществами. Знание физических основ артериального давления позволит будущему специалисту в области здравоохранения безошибочно диагностировать различные сердечно-сосудистые заболевания и предотвращать риски их осложнений. Тема эта сложная, требует интеграции знаний из различных разделов науки, но в тоже время интересная, раскрывает взаимосвязь физики и медицины, имеет большое прикладное и познавательное значение.

В существующей учебной литературе по физике рекомендованной для медицинских вузов данная тема не раскрыта на должном уровне, поэтому мы обратились к этому направлению исследования. Одним из важных факторов, влияющих на эффективность учебного процесса, на повышение результативности образовательной деятельности на всех этапах приобретения профессионального знания является мотивация студентов к обучению.

Учитывая важность данного учебного материала в будущей профессиональной деятельности выпускника медицинского вуза, считаем необходимым обратить внимание на некоторые исторические факты, обусловившие признание и использование аускультативного метода измерения артериального давления во всем мире как наиболее достоверного. Необходимо отметить, что во всей зарубежной научной литературе он называется методом Короткова. В настоящее время метод Короткова является единственным официальным методом неинвазивного измерения артериального давления, утверждённым Всемирной организацией здравоохранения в 1935 году [1].

Сейчас трудно представить, что Николай Сергеевич Коротков, с отличием закончивший медицинский факультет Московского университета в 1898 году, спустя 6 лет не найдя нужной работы был вынужден отправиться трудиться в военно-полевой госпиталь города Харбина во времена Русско-японской войны. Именно там, спасая конечности тяжело раненных, он постоянно пользовался ртутным манометром для измерения артериального давления бойцов. Изобретенный в 1896 году аппарат Рива-Роччи, состоявший из манжеты, ртутного манометра и груши, к этому времени серийно изготовлялся в России и повсеместно использовался как прибор для определения артериального давления неинвазивным методом. Во время измерения давления рука больного пережималась манжетой Рива-Роччи для приостановления кровотока, в которую грушей накачивался воздух. При медленном выпуске воздуха и понижении давления в манжете,

на артерии расположенной у ее нижнего края по течению крови, врач рукой прощупывал пульс, при появлении которого отмечалось верхнее систолическое давление в момент выброса крови сердцем. Перед началом следующего сокращения сердца давление в манометре падало и фиксировалось нижнее диастолическое давление. При использовании аппарата Рива-Роччи многие врачи отмечали возникающую погрешность в диапазоне 10-12 мм. Hg при измерении верхнего систолического давления по сравнению с прямым инвазивным методом измерения давления, когда игла с мембраной, соединенная с манометром, помещалась внутрь артерии. Русская медицинская школа учила врачей все выслушивать и выстукивать, это и послужило тому, что Н. С. Коротков при измерении давления, не только прижимал палец к артерии для фиксации пульса, но и выслушивал данное место имеющимся стетоскопом. На основе своих наблюдений, им в декабре 1905 года, после возвращения с войны была опубликована в «Известиях» Санкт-Петербурга небольшая статья, в которой говорилось, что «При падении ртути до известной величины, появляются первые короткие тоны, появление которых указывает на прохождение части пульсовой волны под рукавом. Следовательно, цифры манометра, при которых появляются первые тоны, соответствуют максимальному давлению (рис.1). При даль-

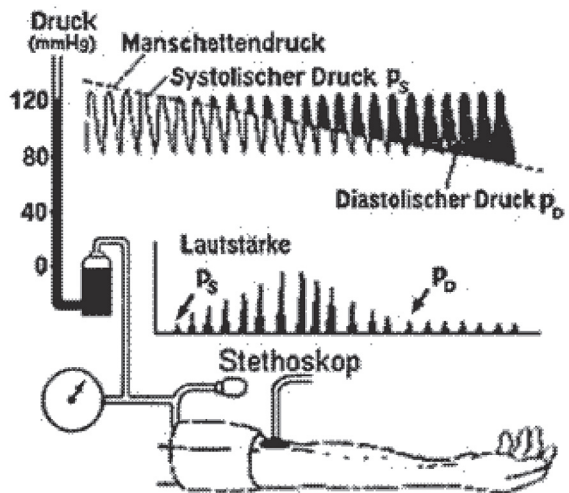


Рис. 1. Рисунок Н. С. Короткова поясняющий принцип измерения артериального давления с надписями на немецком языке

нейшем падении ртути слышатся систолические компрессионные шумы, которые снова переходят в тоны. Наконец, все тоны исчезают. Время исчезновения звуков указывает на свободную проходимость пульсовой волны. Другими словами, в момент исчезновения звуков минимальное кровяное давление в артерии превысило давление в рукаве. Следовательно, цифры давления в этот момент соответствуют минимальному кровяному давлению» [2]. Первые звуковые тоны определялись на 10-12 мм.Нг раньше чем появляющийся в артерии пульс и очень хорошо соотносились с результатами прямого инвазивного метода измерения давления. Появление этих звуков Николай Сергеевич объяснял очень просто, при проскальзывании пульсовой волны сосуд разлипается и дает короткий хлюпающий тон.

Следующая задача объяснить студентам, что собой представляет эта пульсовая волна и что мы слышим при измерении давления? Сделать это строго научным образом на первом курсе медицинского вуза не представляется возможным из-за недостаточности имеющихся у обучаемых знаний, но сформировать необходимые представления и понятия для дальнейшего изучения специализированных дисциплин необходимо.

Выброс сердцем крови из левого желудочка в аорту во время систолы приводит к повышению давления в прилежащей части аорты, растяжению ее эластичной стенки и расширению, где накапливается значительная часть выброшенного объема крови. Благодаря этому реверсивному механизму не происходит моментального ускорения столба крови во всем сосудистом русле. При закрытии аортального клапана обратным ходом крови, градиент давления, возникающий между этим и последующим сегментом аорты, приводит к ускоренному движению накопленного объема крови в сторону более низкого давления. В последующих сегментах аорты процессы повторяются, соответственно это расширение, накопление, изгнание и дальнейшее распространение непрерывно происходит в кровеносной системе с определенной скоростью [3]. Процесс распространения в сосудистой системе колебаний, сопровождающийся деформацией стенок сосудов, называют пульсовой волной (рис.2).

Впервые скорость пульсовой волны измерил в 1922 году лауреат нобелевской премии по физиологии и медицине А.Хилл с помощью кимографа, прибора для графической регистрации физиологических процессов (рис. 3).

Для определения скорости пульсовой волны он небольшой кусок артерии надел на медную трубку и чтобы замедлить волну, заполнил ее рту-

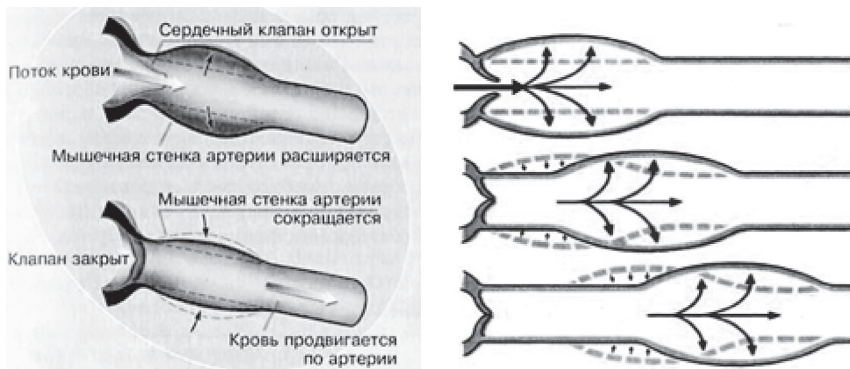


Рис. 2. Схема распространения пульсовой волны в аорте

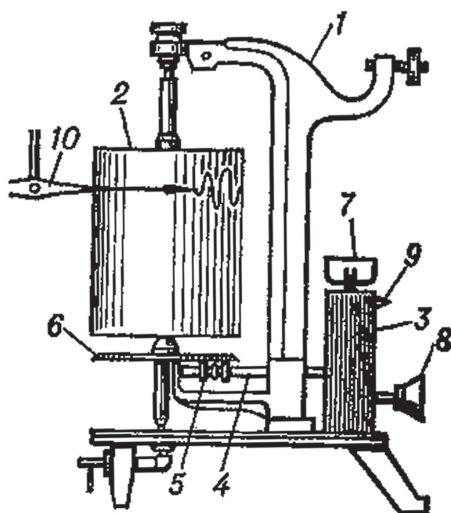


Рис. 3. Устройство Кимографа:
 1 — станина, 2 — барабан
 покрытый закопчённой бумагой,
 3 — часовой механизм, 4 — валик,
 5 — фрикционный ведущий диск,
 6 — ведомый диск, 7 — тормоз,
 8 — ключ, 9 — пусковой рычажок,
 10 — самопишущий.

тью вместо крови (плотность ртути в 13,6 раза больше плотности крови). Трубка имела прорезь затянутую тонкой резиновой мембраной к которой крепилась легкая бамбуковая стрелочка, вычерчивающая соответствующий график на закопчённой бумаге барабана кимографа (рис. 4). Проведенные им математические расчеты, в которых вместо ртути фигурировала кровь, позволили определить скорость пульсовой волны, которая оказалась значительно выше скорости кровяного потока [4].

которой в данный момент из-за нулевой разницы давлений будет мала (около 1м/с), кровь не успевает достичь нижнего края манжеты, но тоны при этом здесь уже будут слышны. Это как раз объясняет погрешность метода Рива-Роччи, при измерении пульса у нижнего края манжеты, который обнаруживался при появлении струи крови.

Звуки, тоны Короткова, появляются у дистального края манжеты (их амплитуда там максимальна) по причине резкого изменения скорости пульсовой волны на выходе, так как здесь при уменьшении внешнего, скачкообразно увеличивается внутреннее давление. На фоне резкого расслабления пережатого манжетой сосуда возникают колебания стенки артерии и окружающих тканей. Эти колебания создают гидравлические удары, которые фиксирует мембрана фонендоскопа. Когда скорости пульсовой волны под манжетой и вне ее сравниваются, что соответствует диастолическому давлению, звуки исчезают.

Если бы пульсовая волна шла только в прямом направлении от сердца к периферии, то ее форма бы не изменялась, но такого никогда в артериальной системе не происходит. При разветвлении сосудов, их сужении (уменьшении поперечного сечения), изменении толщины стенок и их эластичности происходит изменение волнового сопротивления, что приводит к отражению волн. При складывании движущихся в противоположно направлении волн в кровеносном сосуде происходит увеличение амплитуды пульсирования давления и одновременно с этим уменьшение амплитуды пульсирования кровотока (рис.5). Благодаря этому средняя скорость кровотока составляет всего 15-20 см/с, это приводит к тому, что

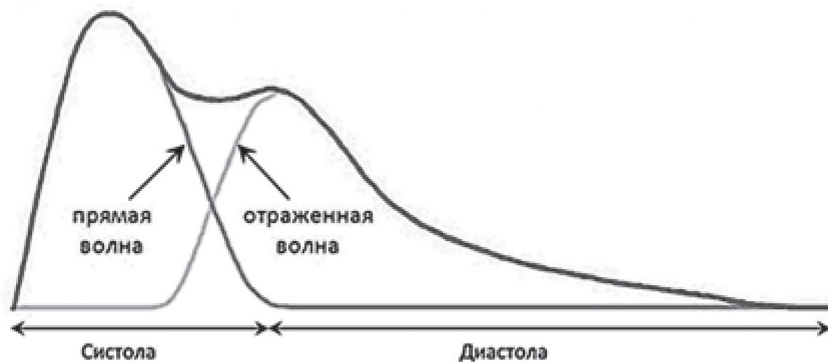


Рис 5. График пульсовой волны

в конце систолы вытолкнутая левым желудочком кровь находится на расстоянии около 20 сантиметров от аортального клапана, а пульсовая волна к этому времени успевает пройти через всю артериальную систему и вернуться к сердцу [3].

Как упоминалось выше, скорость пульсовой волны зависит от эластичности сосудов (модуль упругости E), плотности (ρ), толщины стенок (h) и их диаметра (d) и может быть рассчитана по формуле Моенса-Кортевега:

$$v = \sqrt{\frac{Eh}{\rho d}}$$

При повышении среднего артериального давления и расширении сосудов растяжимость их уменьшается, модуль упругости увеличивается, что приводит к увеличению скорости пульсовой волны.

При удалении от сердца скорость пульсовой волны возрастает, из-за уменьшения эластичности сосудов возрастает модуль упругости E , также в мышечных сосудах увеличивается толщина стенок и уменьшается диаметр. С возрастом скорость пульсовых волн в области артерий также увеличивается (в аорте примерно с 5 м/с у 20-летнего человека до 9 м/с у 70-летнего), объясняется это изменением структуры стенок, связанных с истончением эластических и уплотнением коллагеновых волокон. Сегодня при наличии современной аппаратуры по измеренным значениям скорости пульсовой волны делают выводы о тоне артерий, определяют их эластичность.

Проведенное нами тестирование старшекурсников показало, что знания, полученные на первом курсе во время занятий по физике, помогли им при дальнейшем изучении физиологии, патологической физиологии и других специализированных медицинских дисциплин.

Вывод

Изучение физических основ артериального давления оказывает эффективное влияние на формирование профессиональных компетенций будущих специалистов в области медицины, способствует повышению результативности образовательной деятельности. ■

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Иванов С. Ю., Лившиц Н. И.* Точность измерения артериального давления по тонам Короткова в сравнении с осциллометрическим методом // Вестник аритмологии: Журнал. — 2005. — № 40. — С. 55-58
2. *Коротков Н. С.* К вопросу о методах исследования кровяного давления // Известия Императорской Военно-медицинской академии. — 1905. — Т. 11. — С. 365-367
3. Физиология человека с основами патофизиологии: Т. 2 / под ред. Р. Ф. Шмидта, Ф. Ланга, М. Хекманна; пер. с нем. под ред. М. А. Каменской и др. 2-е изд., испр., электрон. М.: Лаборатория знаний, 2021. — 497 с.
4. Полит.Ру: официальный сайт. — Москва. — Обновляется в течение суток. — URL polit.ru/articles/publichnye-lektsii/zvuki-korotkova-ili-chto-slushaet-vrach-kogda-izmeryaet-arterialnoe-davlenie-krovi-2013-04-12/?ysclid=ls38obhhkn622378982: (дата обращения: 20.01.2024).-Текст: электронный. — Режим доступа: свободный.
5. *Ельцов А. В.* Интегративный подход как теоретическая основа осуществления школьного физического эксперимента. Издательство РГУ имени С. А. Есенина, Рязань, 2007. — 248 с.
6. *Ельцова Л. Ф.* Концепты пространства в медицинской терминологии. Автореф. дисс.. канд. филол. наук. Рязань, 2000. 29 с.