

СТАТЬЯ

УДК 621.317.351:[615.47+616.12-008.331

ПРИНЦИП ИЗМЕРЕНИЯ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ ОСЦИЛЛОМЕТРИЧЕСКИМ МЕТОДОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОДНОГО ДАТЧИКА ДАВЛЕНИЯ И ОДИНОЧНОЙ КОМПРЕССИОННОЙ МАНЖЕТЫ

¹Тарасов Ю.А., ²Лукьянов А.Д.¹АО «Алмаз», Ростов-на-Дону, e-mail: Resto47@mail.ru;²Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону,
e-mail: lex1998@rambler.ru

Аннотация. Измерение артериального давления (АД) используется как показатель качества работы сердца и способ диагностики нарушений в его работе. АД характеризует эффективность работы сердца в целом, а также, эластичные свойства сосудов, по которым движется кровь. При систематическом наблюдении АД можно выявлять признаки гипотонии и гипертонии. Гипертония, или повышенное артериальное давление, может стать фактором риска для различных сердечно-сосудистых заболеваний, таких как инсульт или инфаркт миокарда. В свою очередь гипотония, или пониженное давление, также требует внимания, поскольку она может вызывать головокружение, слабость и другие негативные последствия. В последние два десятилетия наблюдается существенный рост людей, имеющих повышенное АД, доказана связь АД со смертностью населения от болезней системы кровообращения. Проблема диагностики и контроля АД встречается в основном у людей старшего возраста, но в последнее время средний возраст пациентов с нарушениями работы сердечно-сосудистой системы, уменьшается. По оценкам экспертов, к 2025 году число людей в мире с артериальной гипертонией увеличится на 15-20%, достигнув около 1,5 млрд человек. Темп роста людей, имеющих нарушенное АД, одновременно связан с регистрацией данных при проведении диспансеризации отдельных групп взрослого населения. Поэтому, необходимо сделать технологии контроля и диагностики артериального давления проще и дешевле, для обеспечения доступности среди всего населения.

Ключевые слова: артериальное давление, гипертония, гипотония, контроль и диагностика, измерение АД, осциллометрический метод

THE PRINCIPLE OF MEASURING BLOOD PRESSURE BY THE OSCILLOMETRIC METHOD USING A SINGLE PRESSURE SENSOR AND A SINGLE COMPRESSION CUFF

¹Tarasov Yu.A., ²Lukyanov A.D.¹Almaz JSC, Rostov-on-Don, e-mail: Resto47@mail.ru;²Don state technical university, Rostov-on-Don, e-mail: lex1998@rambler.ru

Annotation. Measurement of blood pressure (BP) is used as an indicator of the quality of the heart and a way to diagnose disorders in its work. Blood pressure characterizes the efficiency of the heart as a whole, as well as the elastic properties of the vessels through which the blood moves. With systematic monitoring of blood pressure, signs of hypotension and hypertension can be detected. Hypertension, or high blood pressure, can be a risk factor for various cardiovascular diseases, such as stroke or myocardial infarction. In turn, hypotension, or low blood pressure, also requires attention, since it can cause dizziness, weakness and other negative consequences. In the last two decades, there has been a significant increase in people with elevated blood pressure, and the association of blood pressure with mortality from diseases of the circulatory system has been proven. The problem of diagnosis and control of blood pressure occurs mainly in older people, but recently the average age of patients with disorders of the cardiovascular system has been decreasing. According to experts, by 2025, the number of people in the world with arterial hypertension will increase by 15-20%, reaching about 1.5 billion people. The growth rate of people with impaired blood pressure is simultaneously associated with the registration of data during the medical examination of certain groups of the adult population. Therefore, it is necessary to make blood pressure monitoring and diagnosis technologies easier and cheaper, to ensure accessibility among the entire population.

Keywords: blood pressure, hypertension, hypotension, monitoring and diagnosis, blood pressure measurement, oscillometric method

Артериальное давление измеряется в миллиметрах ртутного столба, результат указывается как запись двух чисел САД/ДАД. Под диастолическим давлением (ДАД) понимают наименьшее значение давления в артерии во время диастолы сердца. Оно в основном определяется величиной тонуса периферических артериальных сосудов. Систолическое давление (максимальное)

определяется в период систолы, и обусловлено ударным объемом сердца и эластичностью аорты и крупных артерий [1].

В 1905 году хирург Николай Сергеевич Коротков открыл звуковой (аускультативный) метод измерения артериального давления – метод Короткова. При измерении используются и анализируются звуковые эффекты, сопровождающие пульсации кро-

вотока, которые возникают в пережатой манжетой артерии. Большим преимуществом данного метода является устойчивость к нарушениям ритма сердца и движениям руки во время измерения. Среди недостатков можно отметить высокую чувствительность к шумам в помещении, проблему определения момента считывания показаний ДАД (сложность заключается в точном фиксировании момента исчезновения тонов Короткова) [1]. В настоящее время метод Короткова до сих пор является единственным официальным методом измерения АД, утвержденным Всемирной организацией здравоохранения в 1935 году.

Однако, с развитием электроники и автоматических систем, появилась возможность упростить и автоматизировать метод измерения. Осциллометрический метод предполагает регистрацию пульсации давления в манжете, возникающих при прохождении крови через сдавленный участок артерии.

Проведенные исследования в [2] на сравнение точности измерений осциллометрическим методом и методом Короткова показали высокую точность в обоих случаях, однако при оценке по критериям протокола BHS90 более точные показания оказались у метода Короткова. У 6% исследуемых пациентов измерение АД по тонам Короткова было затруднено, из-за глухих низкоамплитудных тонов [2]. Ранее было выполнено экспериментальное сравнение, а также расчет погрешностей аускультативных и осциллометрических приборов индивидуального контроля артериального давления и частоты сердечных сокращений. Рассматривались четыре вида тонометров: прибор для полного автоматического измерения АД с манжетой на запястье; механический тонометр; прибор для полного автоматического измерения АД на плече; прибор для измерения АД на плече полуавтоматический. Рассчитанные на основе экспериментальных данных значения абсолютной погрешности лежат в пределах 3-8 мм.рт.ст. [3]. Наличие подобных исследований указывает на жизнеспособность метода измерения АД осциллометрическим методом, и в этой статье речь пойдет о реализации данного принципа с применением одного датчика давления и одиночной компрессионной манжеты.

Цель исследования заключается в определении и описании принципа измерения АД, осуществляемого осциллометрическим методом.

Материалы и методы исследования

Для определения диапазона измерения артериального давления необходимо знать значения давления для отдельных катего-

рий. В классификации Всемирной организации здравоохранения приведены нормы АД у лиц, старше 18 лет, приведенные в таблице [4]. С возрастом нормальное АД у многих людей отклоняется, что свидетельствует о нарушениях в работе сердечно – сосудистой системе, при этом, как показали многочисленные исследования, даже в течение суток у человека изменяется АД. Это связано с физической активностью, психоэмоциональным состоянием, приемом пищи и другими факторами. Также, имеется «гипертония белого халата» – форма артериальной гипертензии, при которой повышение АД ≥ 140 и/или ≥ 90 мм.рт.ст. отмечается только на приеме у врача, а при измерении АД методом домашнего мониторинга АД (ДМАД) и/или суточного мониторинга АД (СМАД) показатели АД – в пределах нормальных значений [5]. При обследовании пациентов с подозрением на нарушения работы сердечно – сосудистой системы ведется мониторинг и учет изменения АД в течение суток. За период с 2010 года по 2019 год число зарегистрированных лиц с артериальной гипертензией в России увеличилось на 5,4 млн (46%), с 11,7 в 2010 до 17,1 млн в 2019 году [6].

Нормы артериального давления по классификации ВОЗ у лиц старше 18 лет

Категория АД	САД	ДАД
Оптимальное	<120	<80
Нормальное	120-129	80-84
Высокое нормальное	130-139	85-89
Артериальная гипертензия 1-й степени	140-159	90-99
Артериальная гипертензия 2-й степени	160-179	100-109
Артериальная гипертензия 3-й степени	≥ 180	≥ 110

В общем случае считается, что при САД меньше 100 и ДАД меньше 60 мм.рт.ст., наступает состояние гипотонии, при котором у пациента наблюдается усталость, сонливость, слабость. Диапазон значений САД для каждой категории значительно шире, чем значений ДАД, поэтому для обеспечения точности измерений необходимо учитывать именно малый диапазон ДАД, чтобы исключить неверное определение категории.

Суть осциллометрического метода измерения артериального давления заключается в регистрации и анализе пульсаций давления в манжете, сжимающей артерию, в периоды компрессии и декомпрессии воз-

духа в этой манжете. Для обеспечения получения данных об изменениях давления применяют датчик с соответствующими динамическими характеристиками. На рисунке 1 приведено осциллометрическое определение артериального давления. При плавном уменьшении давления в манжете необходимо регистрировать амплитуду колебаний давления в ней. Далее определяется среднее

динамическое давление АД_{ср.дин}, которое будет соответствовать тому давлению в манжете, при котором амплитуда (размах) колебаний будет иметь максимальную величину (среднее давление по Марлею). По резкому изменению амплитуд пульсаций в манжете можно определить моменты, когда давление в ней станет меньше диастолического и больше систолического [1, с. 8].

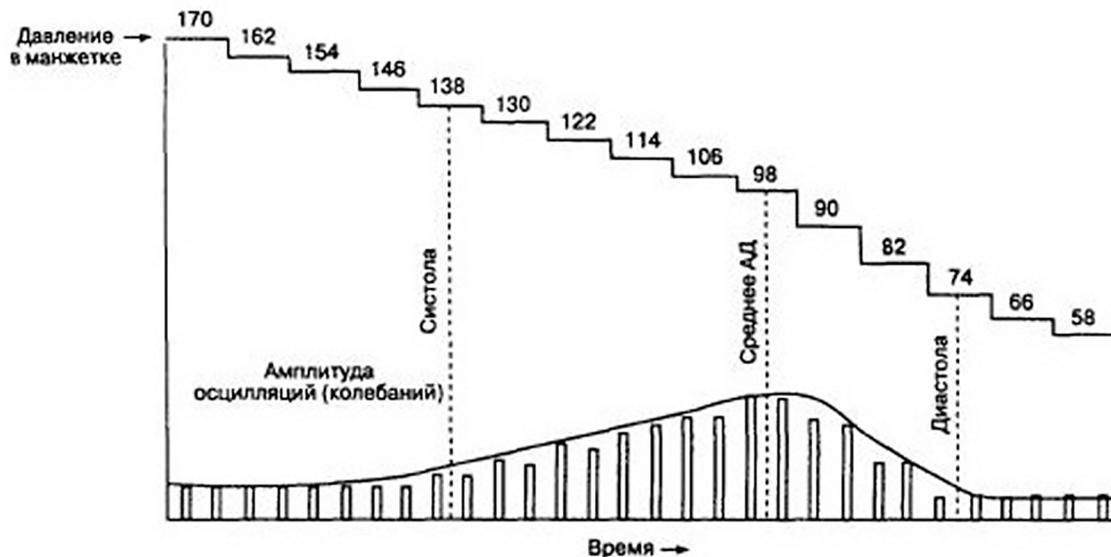


Рис. 1. Осциллометрическое определение артериального давления

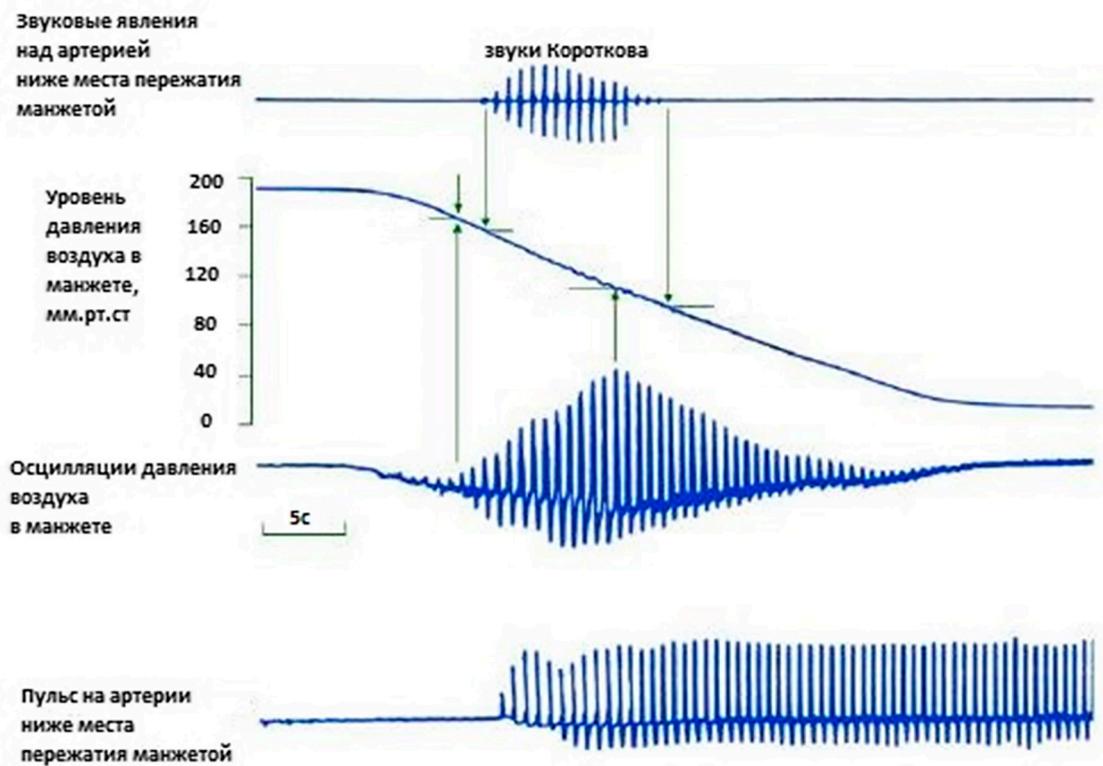


Рис. 2. Осциллограммы импульсов с датчика давления и микрофона (датчика Короткова)

При этом важно правильно определить скорость стравливания воздуха из манжеты, т.к. при медленном стравливании процесс измерения увеличивается во времени и начнет доставлять дискомфорт пациенту. Слишком быстрое стравливание не позволит провести корректные измерения.

В соответствии с технологией метода, сначала строится огибающая импульсов, после определяется максимум огибающей A_{max} , затем находятся характерные точки A_1 и A_2 , которые соответствуют фазам начала A_2 и конца A_1 звуковых явлений при регистрации АД по методу Короткова (рисунок 2).

Экспериментально установлено, что амплитуда «колокола» в точке A_1 , равная $1/2 A_{max}$, соответствует уровню диастолического давления, а амплитуда «колокола» в точке A_2 равная $2/3 A_{max}$, определяет уровень систолического давления.

Так, для определения АД строится график зависимости амплитуд «осциллометрического пульса» от давления в манжете, который именуется «колоколом», или осциллометрической кривой (рисунок 3). По оси абсцисс откладывается давление в манжете (слева направо от большего к меньшему), по оси ординат – соответствующие значе-

ния амплитуд пульсаций. Форма графика, несмотря на отличие от пациента к пациенту, и даже, у одного пациента в течение небольшого отрезка времени, является довольно точным индикатором уровней АД. При условии проведения корректных измерений, «колокол» имеет единственный, ярко выраженный максимум. Среднее гемодинамическое давление определяется как такое давление, при котором зарегистрирована максимальная амплитуда (A_{max}) осциллометрического пульса (положения максимума «колокола»). Далее, на основе полученного значения среднего гемодинамического АД, с использованием специальных алгоритмов анализа, вычисляется САД по левой части графика, и ДАД по правой его части. Графически процесс определения изображен на рисунке 3 [1, с. 9-10].

Иногда выделяют отдельно тахоосциллометрический метод, который основан на тех же принципах, что и осциллометрический, но отличается тем, что регистрируют не пульсовые колебания объема сосуда, подвергающегося компрессии и декомпрессии, а скорость изменения этого объема. При интерпретации кривой рассматривают не амплитуды колебаний, а «западание» в нижнем участке тахоосциллограммы (рисунок 4).

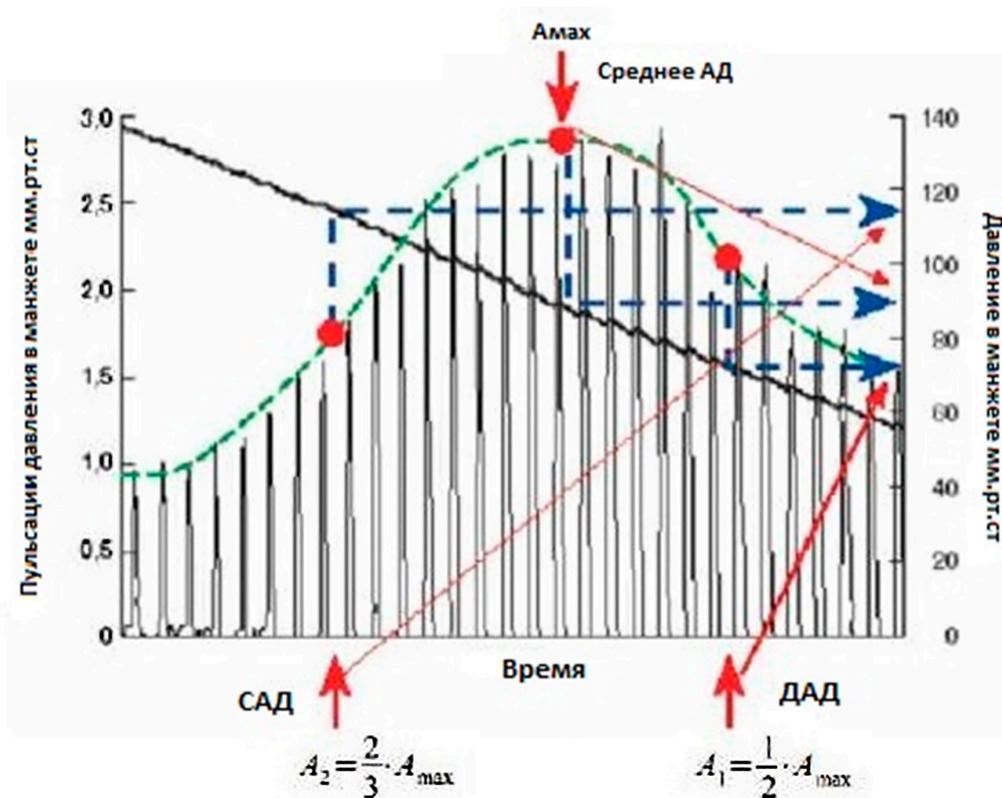


Рис. 3. Определение по осциллограмме импульсов среднего гемодинамического АД, систолического АД (A_2) и диастолического АД (A_1)

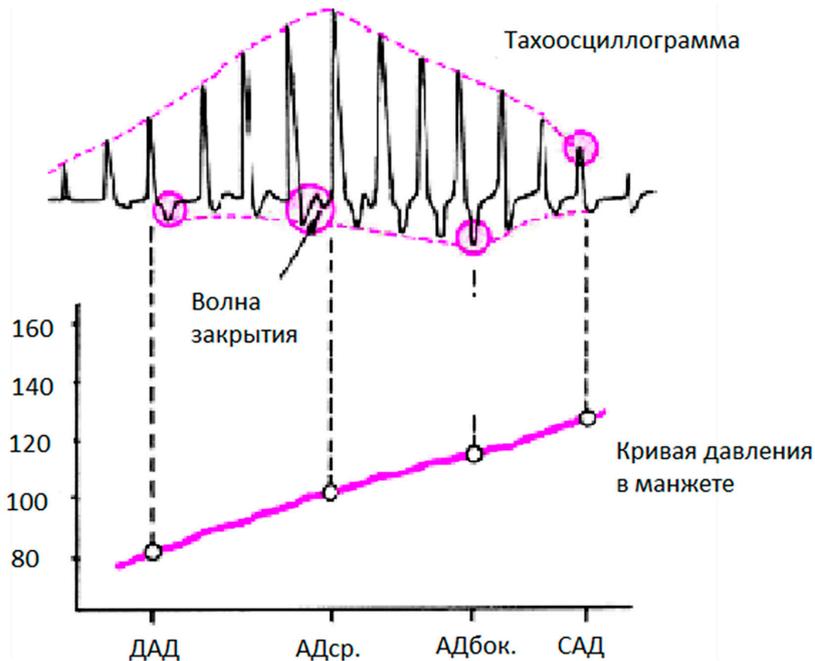


Рис. 4. Тахоосциллограмма и кривая изменения давления в манжете

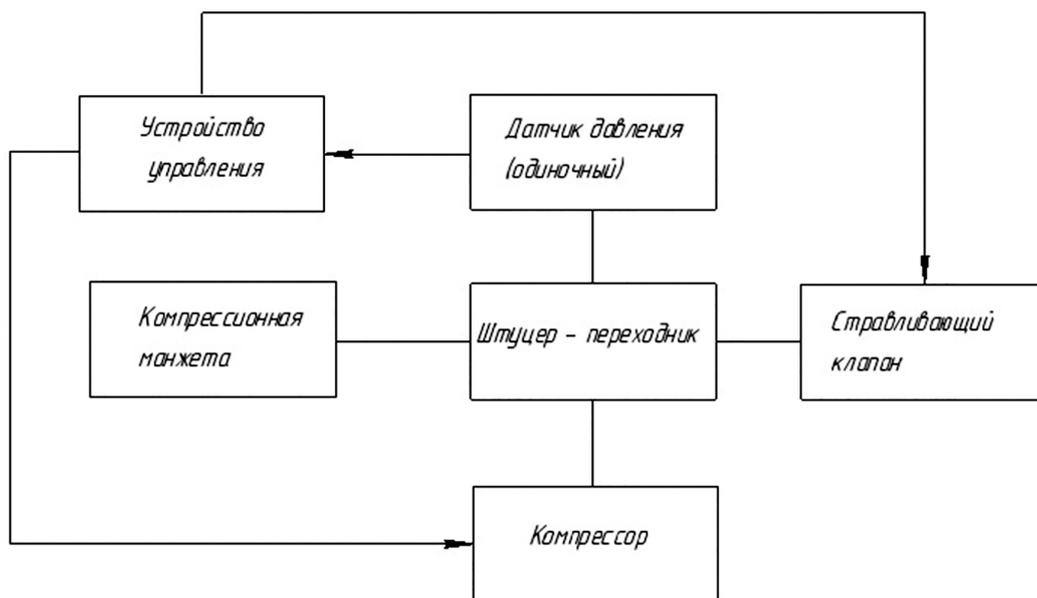


Рис. 5. Структурная схема устройства реализации принципа измерения артериального давления осциллометрическим методом с применением одного датчика давления и одиночной компрессионной манжеты

Появление «запаздания» соответствует ДАД. Утолщение перед восходящей частью – «волна закрытия» – указывает на среднее АД (АДср.дин). Боковое давление (АДбок.) определяется по уровню наибольшего «запаздания». Наконец, исчезновение пульсаций указывает на достижение САД [1, с. 12].

Результаты исследования и их обсуждение

Для реализации принципа измерения артериального давления осциллометрическим методом с применением одного датчика давления и одиночной компрессионной манжеты разработана следующая структурная схема, приведенная на рисунке 5.

В первый момент времени устройство управления после прохождения инициализации включает компрессор, который соединен трубкой с штуцером – переходником, и к нему же подсоединена однокамерная компрессионная манжета (с одной трубкой). Воздух в манжету перед измерением быстро нагнетается до величины, превышающей САД на 20-30 мм.рт.ст. (по истечению пульса), после чего устройство управления отключает компрессор и подключает стравливающий клапан, который также подсоединен к штуцеру – переходнику. Скорость стравливания составляет 1-5 мм.рт.ст. в секунду. Поскольку измерения АД могут достигать значений 180-200 мм.рт.ст. и даже более, необходимо иметь запас создаваемого давления в пневмосистеме (достаточно до 300 мм.рт.ст.). Уровень давления в манжете непрерывно измеряется одиночным датчиком давления, информация с которого поступает в устройство управления. Датчик имеет один вывод для подключения к штуцеру – переходнику, и как следствие, к общей пневмосистеме. Максимальный уровень измеряемого давления датчика должен равным или больше, чем у компрессионной манжеты. По окончании измерения САД и ДАД стравливающий клапан открывается полностью устройством управления и спускает воздух из манжеты. Отличительной особенностью реализации такого метода измерения является то, что используется датчик с одной трубкой, измеряющий давление в пневмосистеме. Это экономит место и удешевляет изделие, по сравнению с устройством, где применяются датчики с двумя портами, или где процесс измерения происходит путем сравнения и пересчета измеренного значения давления с эталонным. Также, использование компрессионной манжеты с одной трубкой, экономит место и удешевляет изделие, и, является более удобной, по сравнению с манжетой с двухкамерной манжетой с двумя трубками. В настоящее время изготавливаются датчики давления с цифровыми и аналоговыми выходными сигналами. В свою очередь, аналоговые выходные сигналы могут быть усиленные и не усиленные.

Заключение

На сегодняшний день существует много приборов, предназначенных для измерения артериального давления, как в медицинских учреждениях, так и для домашнего использования, но проблема точности автоматических измерений до сих пор актуальна. Для повышения качества и достоверности измерений необходимы схемотехнические решения и сложные программные алгоритмы обработки данных, чтобы осциллометрический способ был реализован в полной мере. При реализации метода необходимо учитывать статистические данные пациентов разных возрастных групп, а также, обеспечить правильность измерений, даже при некорректных условиях. Достоинством метода является возможность исполнения в портативных устройствах, при использовании которых, не требуются специальные знания и нет необходимости в проведении измерений врачом.

Список литературы

1. Принципы и средства измерения артериального давления. НПО учебной техники «Туланаучприбор». Методическое руководство по выполнению лабораторной работы. Тула, 2021. 48 с.
2. Иванов С.Ю., Лившиц Н.И. Точность измерения артериального давления по тонам Короткова в сравнении с осциллометрическим методом // Вестник аритмологии. 2005. № 40. С. 55-58.
3. Волкова Н.А. Алгоритм диагностики состояния сердечно-сосудистой системы по результатам многократных измерений артериального давления и пульса // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2015. № 1 (33). С. 43-49.
4. Чазова И.Е., Чихладзе Н.М., Блинова Н.В., Белая Ж.Е., Данилов Н.М., Елфимова Е.М., Литвин А.Ю., Рожинская Л.Я., Свириденко Н.Ю., Швецов М.Ю., Азизов В.А., Григоренко Е.А., Митьковская Н.П., Мустафаев И.И., Полупанов А.Г., Сарыбаев А.Ш., Хамидуллаева Г.А. Евразийские клинические рекомендации по диагностике и лечению вторичных (симптоматических) форм артериальной гипертензии // Евразийский кардиологический журнал. 2023. № 1. С. 6-65. DOI: 10.38109/2225-1685-2023-1-6-65.
5. Артериальная гипертензия у взрослых. Клинические рекомендации. 2020. URL: https://cardioweb.ru/files/Klinicheskie_rekomendacii/klinicheskie_rekomendacii_ag_2020.pdf (дата обращения: 15.01.2024).
6. Евдаков В.А., Захарченко О.О., Терентьева Д.С. Выявление и контроль артериальной гипертензии – ключ к снижению смертности от болезней системы кровообращения // Социальные аспекты здоровья населения. 2021. № 67(5). URL: <http://vestnik.mednet.ru/content/view/1307/30/lang.ru/>. (дата обращения: 20.02.2024). DOI: 10.21045/2071-5021-2021-67-5-9.