

УДК 61. 616-71

**ВОЗМОЖНОСТИ И ПЕРСПЕКТИВЫ СПОСОБОВ И ПРИБОРОВ  
ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ УРОВНЯ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ****Родина О.П., Моисеева И.Я., Геращенко С.И., Геращенко М.С.,  
Водопьянова О.А., Митрошин А.Н.***ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет», Пенза, e-mail: mpo@list.ru*

В обзоре литературы обозначена значимость и распространенность артериальной гипертензии и роль контроля за уровнем артериального давления в профилактике сердечно-сосудистых осложнений. Авторами рассмотрены основные способы измерения артериального давления, приборы, используемые с данной целью, а также преимущества и недостатки наиболее часто применяемых моделей. На основе существующих данных аргументирована необходимость модернизации имеющихся аппаратов. Подчеркнута важность разработки новых сверхточных приборов отечественного производства. Авторы рассмотрели перспективы усовершенствования существующих в настоящее время тонометров. В качестве перспективной разработки рассмотрено использование гидроманжетного тонометра, который позволяет существенно повысить точность измерения артериального давления неинвазивным способом. Преимуществом гидроманжетного тонометра перед тонометром с пневмоманжетой является увеличение уровня пульсовых колебаний и амплитуды осцилляций.

**Ключевые слова:** артериальная гипертензия, артериальное давление, тонометры, гидроманжетный тонометр**PROSPECTS AND CAPABILITIES OF METHODS AND DEVICES FOR ARTERIAL  
PRESSURE LEVEL MEASURING****Rodina O.P., Moiseeva I.YA., Geraschenko S.I., Geraschenko M.S.,  
Vodopyanova O.A., Mitroshin A.N.***FSGFE «Penza State University», Penza, e-mail: mpo@list.ru*

The importance and prevalence of an arterial hypertension and a role of control over level of arterial pressure in preventive maintenance of cardiovascular complications is designated in the literature review. Authors considered the basic ways of arterial pressure measurement, the devices applied with the given purpose, and also advantages and lacks of most often applied models. The necessity of modernisation of available devices is reasoned on the basis of the available data. The importance of developing of new ultraprecise tonometer domestic production devices is underlined. Authors have considered prospects of the improvement of existing tonometers. The hydrocuff tonometer is considered as a promising technology. The hydrocuff tonometer can significantly improve the accuracy noninvasive way to measure blood pressure. Advantage hydrocuff tonometer as compared with tonometer with pneumatic cuff is refinement the level of the signal pulse oscillation and the oscillation amplitude.

**Keywords:** arterial hypertension, arterial pressure, tonometers, hydrocuff tonometer

По данным литературы, около 30–45% общей популяции страдает артериальной гипертензией (АГ) без каких-либо системных тенденций к изменению уровня артериального давления (АД) за последние десять лет [15]. Повышенное АД является важнейшим фактором риска основных сердечно-сосудистых заболеваний – инфаркта миокарда и мозгового инсульта [10], которые можно использовать в качестве суррогатных показателей распространенности АГ [19]. По статистическим данным Всемирной Организации здравоохранения (ВОЗ) в странах Запада отмечается тенденция к снижению смертности от инсультов, в отличие от стран Восточной Европы, где смертность от инсульта растет [15; 18].

Исследования, выполненные в нескольких странах, неизменно показывают, что заметная часть больных АГ не знают о своем заболевании и уровень осведомленности об АГ и контроле АД растет очень медленно или вовсе не растет [15]. Одна из причин низкого уровня контроля АД – низкая приверженность больных лечению, повышение

которой возможно за счет упрощения терапии и самостоятельного измерения АД [15].

Домашнее измерение АД можно производить одномоментно или в виде домашнего мониторинга, так называемая ДМАД. Одномоментное, особенно офисное измерение, не всегда точно отражает величину АД, не дает представления о его суточной динамике, что затрудняет как диагностику АГ, так и оценку эффективности подобранной терапии [9]. Для повышения достоверности результата, расширения спектра исследуемых показателей в практике широко применяются СМАД и ДМАД.

Согласно Рекомендациям по лечению артериальной гипертензии ESH/ESC 2013 показаниями к ДМАД и СМАД являются: подозрение на гипертензию «белого халата» и ее выявление; маскированная гипертензия; значительные колебания офисного АД в ходе одного или разных посещений врача; вегетативная, ортостатическая, постпрандиальная, лекарственная гипотония; гипотония во время дневного сна; повышение офисного АД или подозрение на преэклампсию у бе-

ременных; выявление истинной и ложной резистентной АГ; выраженные расхождения между офисным и домашним АД; подозрение на ночную АГ или отсутствие ночного снижения АД; оценка вариабельности АД; оценка «диппинга».

По результатам СМАД можно рассчитать ряд дополнительных индексов. К ним относятся: вариабельность АД, утренний пик АД, нагрузка давлением и амбулаторный индекс жесткости артерий. Однако их дополнительное прогностическое значение пока неясно, поэтому к ним нужно относиться, как к экспериментальным, и не применять в клинической практике [15]. По данным литературы, диагностика АГ и контроль уровня АД у беременных с помощью СМАД ассоциируется с меньшим числом осложнений течения беременности, родов и неблагоприятных перинатальных исходов [1].

По способу измерения различают инвазивные и неинвазивные методы регистрации АД. Инвазивное определение применяется в стационарных условиях путем введения в артерию пациента зонда с датчиком давления. Только данный метод дает правдивые результаты у пациентов с низким сердечным выбросом, у находящихся в критическом состоянии, когда любой непрямой метод измерения артериального давления дает ложные результаты с отклонениями до 30-60 мм.рт.ст. Поэтому использование манжетных (компрессионных) способов измерения АД у данных пациентов нежелательно [3].

Инвазивный метод является, с одной стороны, наиболее объективным, с другой, и наиболее сложным с технической точки зрения. Кроме технической сложности измерения у метода есть и некоторые другие недостатки: во-первых, он требует постоянного наблюдения из-за опасности осложнений [9], во-вторых, введение катетера в сосуд меняет картину течения крови, и манометр измеряет давление в потоке, возмущенном введенным катетером, т.е. в показании закладывается погрешность, превышающая по некоторым данным 50% [4].

Неинвазивные методы измерения АД получили наибольшее распространение в медицинской практике. В последнее время рынок приборов для измерения различных гемодинамических параметров, в том числе АД, растет. К традиционно применяющимся с этой целью тонометрам (ртутным, аускультативным, осциллометрическим) добавляются устройства, использующие фотоплетизмографический принцип регистрации пульсовой волны [2; 5], а также другие варианты манжет, например гидроманжета [6; 13].

Все тонометры можно разделить на две группы: механические и электронные (циф-

ровые). Механические приборы бывают ртутными и anerоидными. В настоящее время во многих странах Европы измерять АД ртутным сфигмоманометром не разрешается [15].

Анероидными (мембранными) тонометрами определение АД производится по методу, предложенному в 1905 г. Н.С. Коротковым. Именно он в настоящее время признан ВОЗ как референтный метод неинвазивного определения АД. Согласно приказу Минздрава РФ (2003), измерение АД с помощью других методов (в первую очередь осциллометрического) и автоматических приборов в 5–15% случаев дает значения АД, устойчиво и существенно отличающиеся от величин по методу Короткова [14].

Важными преимуществами метода является более высокая устойчивость к нарушениям ритма сердца и движениям руки во время измерения. Недостатками – высокая чувствительность к шумам в помещении, помехам, возникающим при трении манжеты об одежду, а также необходимость точного расположения микрофона над артерией. Точность регистрации АД существенно снижается при низкой интенсивности тонов, наличии «аускультативного провала» или «бесконечного тона», снижении слуха у пациентов. Погрешность измерения АД этим методом складывается из погрешности самого метода, манометра и точности определения момента считывания показателей (методическая погрешность), составляя 7–14 мм. рт. ст. [9].

В 80% электронных автоматических и полуавтоматических тонометров применяется осциллометрическая методика. Ее преимуществами перед аускультативной являются большая устойчивость к шумовому воздействию, перемещению манжеты по руке, возможность измерения через тонкую одежду, а также при наличии выраженного «аускультативного провала» и слабых тонах Короткова. В современных приборах имеется возможность регистрации уровня АД в фазе компрессии, когда отсутствуют местные нарушения кровообращения, появляющиеся в период стравливания воздуха. Осциллометрический метод в меньшей степени, чем аускультативный, зависит от эластичности стенки сосудов, что снижает частоту выявления псевдорезистентной гипертензии у больных с выраженным атеросклеротическим поражением артерий [9].

Все вышеперечисленные приборы должны быть валидизированы по стандартным протоколам, а их точность и погрешность измерения следует периодически проверять путем калибровки в технической лаборатории [15]. Что касается погрешности измерения давления для различных моделей измерителей, то она варьирует в диапазоне

от + 1 до + 3–4 мм рт. ст. и обычно приводится в эксплуатационной документации. Однако ее не следует путать с погрешностью измерения АД человека. В данном случае речь идет о том, с какой точностью манометр (мембранный или электрический) определяет давление воздуха внутри манжеты. Помимо этого существует и «методическая погрешность», о которой говорилось ранее.

При разработке автоматизированных приборов оценка «методической погрешности» проводится двумя способами: сравнивается с результатами, полученными инвазивным (прямым) или аускультативным методами. Установлено, что автоматизированные приборы, имеющие удовлетворительную погрешность измерения АД у практически здоровых людей, с большей вероятностью ошибки определяют АД у людей, страдающих нарушениями ритма сердца и другой сердечно-сосудистой патологией. Поэтому потребителю целесообразно убедиться в достоверности показаний «автомата», перемерив свое давление с помощью метода тонов Короткова или, проще говоря, используя неавтоматизированный тонометр [7].

Для уменьшения погрешности измерения АД у «сердечников» разработаны усовершенствованные автоматические измерители, например, с системой fuzzy logic, преобразующей пульсовую волну, или с одновременным использованием аускультативного и осциллометрического методов, как это сделано в мониторе для СМАД «Кардиотехника-04-АД3», автоматическом приборе для измерения АД у больных с аритмиями Tensoval duo control («PAUL HARTMANN» Германия). Если такой прибор дает результаты по обоим методам, то при различиях в цифрах акустического и осциллометрического метода можно отдать предпочтение методу Короткова (высокая устойчивость к помехам, более высокая точность измерений). В случае глухих тонов, монитор будет с достаточной точностью определять АД осциллометрическим методом [11]. Но оценка «методической погрешности» приведенными выше способами актуальна также и для проверки этой группы аппаратов [7].

Еще одна причина искажения реальных цифр АД – анатомо-физиологические особенности пациента, затрудняющие измерение АД аускультативным или осциллометрическим способом. Например, при атипичном или глубоком расположении кровеносных сосудов, при чрезмерно развитой жировой и мышечной ткани, слабых пульсовых колебаниях показания устройств для измерения АД могут искажаться. Особенности конструкции современных тонометров обуславливают весьма низкий уровень выходного сигнала датчика пульсаций давления (максималь-

ная амплитуда осцилляций 1–3 мм рт. ст.). Источником существенной погрешности в определении АД является воздух в манжете тонометров, являющийся сжимаемой средой и плохим проводником осцилляций.

Использование жидкости в качестве проводника и усилителя осцилляций, генерируемых пульсовой волной, встречается в научной литературе уже с 19 века. Немецкий физиолог Иоганн Догиль в 1880 году использовал аппарат заполненный водой, изучая влияние музыки на кровяное давление. Руку подопытного субъекта помещали в стеклянную трубу с теплой водой, герметизированную на предплечье резиновой манжетой, колебания давления воды регистрировались самописцем [12].

Увеличение выходного сигнала датчика пульсаций давления, по которому определяются признаки наступления моментов компенсации артериального давления с помощью гидроманжеты, ведутся и в настоящее время [13]. Преимущество конструкции состоит в том, что для увеличения уровня сигнала пульсовых колебаний (и, как следствие, повышения точности измерения АД) пульсовые колебания артерии воспринимаются датчиком через полость, заполненную жидкостью. Кроме того, конструкция тонометра открывает перспективу простейшей реализации тонометрического метода измерения АД, так как данный способ восприятия пульсовых колебаний полностью снимает проблему точного позиционирования датчика пульсовых колебаний относительно положения артерии [13].

Таким образом, приверженность лечению пациентов увеличивается при применении автоматических приборов, успешно прошедших клиническую проверку точности. Однако, эталоном точности неинвазивного измерения АД, продолжает оставаться аускультативный метод измерения АД, выполняемый обученным специалистом с помощью качественной аттестованной аппаратуры [16].

Таким образом, становится понятным, что общепринятые в последние десятилетия мероприятия, направленные на борьбу с АГ, не могут быть достаточно эффективными если они будут осуществляться с ориентиром на данные существующих автоматических тонометров. Суточное мониторирование АД приносит дополнительную информацию, однако и оно не решает проблему, хотя и повышает качество диагностики. Требуются современные отечественные технологические подходы, позволяющие достоверно и качественно оценивать гемодинамику, с индивидуализацией лечения и профилактики АГ [8]. В качестве данной технологии может быть использована гидроманжетная технология



получения осцилляций, которая позволяет существенно повысить чувствительность их оценки, за счет этого повысить точность измерения артериального давления.

**Список литературы**

1. Бартош Л.Ф., Рунихина Н.К., Панина Е.С. Динамика диагностической тактики ведения беременных с артериальной гипертензией в реальной клинической практике эксперимента // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Медицинские науки – 2012. – № 4. – С. 65–73.
2. Baskova I.P., Pavlova I.B., Parfenov A.S. Analysis of the Effects of Medicinal Leech on Arterial Function in Elderly Volunteers by Means of Photoplethysmography with Angioscan-01 // Human Physiology, 2014, Vol. 40, no. 2, pp. 214–219.
3. Виноградов В.Л., Лавров В.А. Ожоговый шок: инвазивный мониторинг // Комбустиология. – 2000. – № 3. [Электронный ресурс]. URL: <http://combustiolog.ru/journal/ozhogovy-jshok-invazivny-j-monitoring/> (дата обращения 7.05.2014).
4. Возмущение потока при инвазивном измерении давления крови / Булавин Л.А., Кнышов Г.В., Забашта Ю.Ф., Бацак Б.В., Северилов С.В. // Российский журнал биомеханики. – 2013. – Т. 17, № 3 (61). С. 29–36.
5. Волчихин В.И., Мордашкин В.К., Гусев О.Л., Буянов А.И. Способ измерения артериального давления // Патент России № 2099002. – 1997. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2099002> (дата обращения 7.05.2014).
6. Герасченко М.С. Тонومتر Герасченко // Патент на полезную модель № 104437. – 2011. [Электронный ресурс]. URL: <http://bankpatentov.ru/node/78436> (дата обращения 7.05.2014).
7. Голиков В.А. Анатомия тонометров // Ремедиум. – 1999. – №1. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.remedium.ru/catalog/detail.php?ID=5265&phrase\\_id=162216](http://www.remedium.ru/catalog/detail.php?ID=5265&phrase_id=162216) (дата обращения 7.05.2014).
8. Еселевич С.А. Перспективы повышения качества ранней диагностики артериальной гипертензии // Еселевич С.А., Кулаков А.А., Максимов М.П., А.А. Никитин, В.Е. Рождественский, М.Е. Рождественский // Менеджмент качества в сфере здравоохранения и социального развития. – 2012. – № 4 (14). – С. 70–73.
9. Лусов В.А., Волов Н.А., Кокорин В.А. Проблемы и достижения в измерении артериального давления // РМЖ. – 2003. – № 19. [Электронный ресурс]. URL: [http://www.rmj.ru/articles\\_761.htm](http://www.rmj.ru/articles_761.htm) (дата обращения 7.05.2014).
10. Диагностика и лечение артериальной гипертензии (Рекомендации Российского медицинского общества по артериальной гипертензии и Всероссийского научного общества кардиологов) // Кардиология. – 2010. – № 3. – С. 5–26.
11. 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.
12. Манвелов Л.С. Артериальное давление измеряйте правильно // Наука и жизнь. – 2007. – №10. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nkj.ru/archive/articles/11810/> (дата обращения 7.05.2014).
13. Писарев А.П. Моделирование взаимодействия объекта и средства измерения для совершенствования тонометров и термометров: автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Пенза: Пензенский гос. ун-т, 2004. – 23 с.
14. Приказ Минздрава РФ № 4 от 24 января 2003 г. «Об организации медицинской помощи больным с артериальной гипертензией в Российской Федерации». Москва, 2003.
15. Рекомендации по лечению артериальной гипертензии. ESH/ESC 2013 // Российский кардиологический журнал. – 2014. – № 1 (105). – С. 5–92.
16. Рогоза А.Н. К вопросу о точности измерения АД автоматическими приборами // Функциональная диагностика. – 2003. – № 1. – С. 2–10.
17. Parati G., Stergiou G.S., Asmar R., Bilo G., de Leeuw P., Imai Y., et al. European Society of Hypertension practice guidelines for home blood pressure monitoring. J Hum Hypertens 2010; 24:779–785.
18. Redon J., Olsen M.H., Cooper R.S., Zurriaga O., Martinez-Beneito M.A., Laurent S., et al. Stroke mortality trends from 1990 to 2006 in 39 countries from Europe and Central Asia: implications for control of high blood pressure. Eur Heart J 2011; 32:1424–1431.
19. Wolf-Maier K., Cooper R.S., Banegas J.R., Giampaoli S., Hense H.W., Joffres M., et al. Hypertension

prevalence and blood pressure levels in 6 European countries, Canada and the United States. JAMA 2003; 289:2363–2369.

**References**

1. Bartosh L.F., Runihina N.K., Panina E.S. Izvestiya vysshih uchebnyih zavedeniy. Povolzhskiy region. Meditsinskie nauki, 2012, no. 4, pp. 65–73.
2. Baskova I.P., Pavlova I.B., Parfenov A.S. Human Physiology, 2014, Vol. 40, no. 2, pp. 214–219.
3. Vinogradov V.L., Lavrov V.A. Kombustiologiya, 2000, no. 3, available at: <http://combustiolog.ru/journal/ozhogovy-jshok-invazivny-j-monitoring/> (accessed 7 May 2014).
4. Bulavin L.A., Knyshov G.V., Zabashta Yu.F., Batsak B.V., Severilov S.V., Rossiyskiy zhurnal biomehaniki, 2013, Vol. 17, no. 3 (61). pp. 29–36.
5. Volchihin V.I., Mordashkin V.K., Gusev O.L., Buyanov A.I. Patent Rossii no. 2099002, 1997, available at: [www.freepatent.ru/patents/2099002](http://www.freepatent.ru/patents/2099002) (accessed 7 May 2014).
6. Geraschenko M.S. Tonometr Geraschenko, Patent na poleznyuyu model no. 104437, 2011, available at: [bankpatentov.ru/node/78436](http://bankpatentov.ru/node/78436) (accessed 7 May 2014).
7. Golikov V.A. Remedium, 1999, no. 1. available at: [www.remedium.ru/catalog/detail.php?ID=5265&phrase\\_id=162216](http://www.remedium.ru/catalog/detail.php?ID=5265&phrase_id=162216) (accessed 7 May 2014).
8. Eselevich S.A., Kulakov A.A., Maksimov M.P., Nikitin A.A., Rozhdestvenskiy V.E., Rozhdestvenskiy M.E. Menedzhment kachestva v sfere zdoravoohraneniya i sotsialnogo razvitiya, 2012. no. 4 (14). pp. 70–73.
9. Lyusov V.A., Volov N.A., Kokorin V.A. RМЖ, 2003, no. 19. available at: [www.rmj.ru/articles\\_761.htm](http://www.rmj.ru/articles_761.htm) (accessed 7 May 2014).
10. Diagnostika i lechenie arterialnoy hipertenzii, Kardiologiya, 2010, no. 3, pp. 5–26.
11. Ivanov S.Yu., Livshits N.I. Vestnik aritmologii, 2005, no. 40. pp. 55–58.
12. Manvelov L.S. Nauka i zhizn, 2007, no. 10. available at: [www.nkj.ru/archive/articles/11810/](http://www.nkj.ru/archive/articles/11810/) (accessed 7 May 2014).
13. Pisarev A.P. Modelirovanie vzaimodeystviya ob'ekta i sredstva izmereniya dlya sovershenstvovaniya tonometrov i termometrov: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk. Penza: Penzenskiy gos. un-t, 2004. 23 p.
14. Prikaz Minzdrava RF no. 4 24 January 2003 g. «Ob organizatsii meditsinskoy pomoschi bolnyim s arterialnoy gipertoniey v Rossiyskoy Federatsii». Moskva, 2003.
15. Rekomendatsii po lecheniyu arterialnoy hipertonii. ESH/ESC 2013, Rossiyskiy kardiologicheskiy zhurnal. 2014, no. 1 (105). pp. 5–92.
16. Rogoza A.N. Funktsionalnaya diagnostika. 2003, no. 1. pp. 2–10.
17. Parati G., Stergiou G.S., Asmar R., Bilo G., de Leeuw P., Imai Y., et al. J Hum Hypertens 2010; 24:779–785.
18. Redon J., Olsen M.H., Cooper R.S., Zurriaga O., Martinez-Beneito M.A., Laurent S., et al. Eur Heart J 2011; 32:1424–1431.
19. Wolf-Maier K., Cooper R.S., Banegas J.R., Giampaoli S., Hense H.W., Joffres M., et al. JAMA 2003; 289:2363–2369.

**Рецензенты:**

Иванов А.И., д.т.н., профессор, начальник лаборатории биометрических и нейросетевых технологий, ОАО «Пензенский научно-исследовательский электротехнический институт», г. Пенза;

Горячев В.Я., д.т.н., доцент, заведующий кафедрой «Автоматизированные электроэнергетические системы», ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет», г. Пенза;

Сипров А.В., д.м.н., профессор кафедры фармакологии и клинической фармакологии с курсом фармацевтической технологии, ФГБОУ ВПО «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева», г. Саранск.

Работа поступила в редакцию 05.08.2014.