

УДК 612.176

**Н.К. Саваневский<sup>1</sup>, Г.Е. Хомич<sup>2</sup>, Е.Н. Саваневская<sup>3</sup>**<sup>1</sup>канд. биол. наук, доц. каф. анатомии, физиологии и безопасности человека  
Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина<sup>2</sup>канд. биол. наук, доц. каф. анатомии, физиологии и безопасности человека  
Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина<sup>3</sup>преподаватель каф. анатомии, физиологии и безопасности человека  
Брестского государственного университета имени А.С. Пушкинаe-mail: [medicine@brsu.brest.by](mailto:medicine@brsu.brest.by)**АРТЕРИАЛЬНОЕ ДАВЛЕНИЕ И СКОРОСТЬ РАСПРОСТРАНЕНИЯ  
ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЫ ПРИ ПОСТУРАЛЬНЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ**

*Представлены результаты сравнительного анализа измерения артериального давления по скорости распространения пульсовой волны и традиционным методом по Короткову. Обнаружено, что при постуральных воздействиях величины систолического артериального давления, измеренные по скорости распространения пульсовой волны, достоверно отличаются от значений, зафиксированных по методу Короткова.*

**Введение**

Импедансометрическое измерение артериального давления (АД) по скорости распространения пульсовой волны позволяет оценивать его в режиме с каждым ударом пульса, устраняя один из основных недостатков неинвазивного измерения АД – дискретность. Связь скорости распространения пульсовой волны (СРПВ) с уровнем давления в кровеносном сосуде была теоретически обоснована и подтверждена экспериментально [1; 2]. В свою очередь, СРПВ зависит от физических свойств стенки кровеносных сосудов, вязкости крови и других факторов.

Упругие свойства стенки сосуда обеспечиваются волокнами трех типов: эластическими, коллагеновыми и гладкомышечными. Увеличение жесткости стенок кровеносного сосуда при растяжении связано с различиями в структуре входящих в их состав волокон коллагена и эластина. При малых растяжениях сосуда большая часть волокон коллагена расслаблена и не расположена по прямой линии, и все напряжение при этом создается волокнами эластина. При увеличении объема крови в сосуде и его растяжении волокна коллагена выпрямляются, все в большей степени противодействуя вазодилатации. Поскольку волокна коллагена более жесткие, чем волокна эластина, то вся стенка становится более жесткой [3].

Анализ имеющихся публикаций [4–6] свидетельствует о сложном характере зависимости между АД и СРПВ. Однако многие авторы сходятся во мнении, что в диапазоне значений нормотонического артериального давления у здоровых испытуемых поддерживается линейный характер связи СРПВ и АД, отличаясь лишь крутизной [7; 8]. Кроме того, у 80 % испытуемых линейная зависимость АД и СРПВ сохраняется и в более высоком диапазоне значений АД. Лишь в 18,5 % случаев возникают варианты изменения зависимости, различающиеся от индивидуума к индивидууму [7].

Одним из факторов, нарушающих линейную зависимость между СРПВ и АД, вероятно, является изменение положения тела человека в пространстве, т.е. постуральные воздействия. Это подтверждают работы по изучению связи СРПВ и АД методом локального ортостаза [7; 9]. У нескольких сотен человек была изучена связь СРПВ и АД методом локального ортостаза. Получены различные типы связи. Так, при горизонтальном положении руки (на уровне сердца) регистрировались кривые при давлении, исключающем влияние ортостаза. Пассивное поднятие руки вверх уменьшало диастоличе-

ское давление на величину гидростатического давления (примерно на 20–30 мм рт. ст.). Опускание руки вниз увеличивало диастолическое давление на эту же величину. Показана нелинейность зависимости СРПВ от АД, что является препятствием для использования СРПВ в оценке АД.

В связи с вышеизложенным задачей настоящего исследования явилось сравнительное изучение изменений систолического артериального давления (САД), определяемого импедансометрическим методом по СРПВ, механическим тонометром по Короткову и электронным тонометром при пассивном переводе тела испытуемого из горизонтального в антиортостатическое положение (АОП) и в ортостатическое положение (ОП).

### **Объект и методика исследований**

Измерение САД у девушек-студенток производилось на основании СРПВ с помощью неинвазивной биоимпедансной технологии «Кентавр» (фирма «Микролюкс», г. Челябинск) по А.А. Астахову [10], а также механическим тонометром по Короткову и электронным тонометром. Обследуемую группу составили 20 девушек в возрасте 19–22 лет без значимой хронической патологии. Электроды накладывались на спину, грудь, плечевые и бедренные отделы конечностей, на голень и большой палец правой ноги обследуемой. К крышке поворотного стола девушка фиксировалась неподвижно (пристегивалась ремнями) с целью предотвращения смещений электродов при изменении положения ее тела в пространстве. Электрическое сопротивление, или импеданс, тканей между электродами измерялось с помощью реографа Р4-02. С четырех каналов реографа сигналы поступали в монитор кровенаполнения «Кентавр-1», где с каждым ударом пульса автоматически определялось САД.

Измерения САД проводились у девушек: 1) в горизонтальном положении в течение 5 мин; 2) после перевода ее с помощью поворотного стола в антиортостатическое положение, т.е. головой вниз, под углом 30° к горизонту в течение 1,5 мин; 3) после пассивного перевода ее с помощью поворотного стола в вертикальное положение в течение 5 мин; 4) после возвращения ее в горизонтальное положение, т.е. в период восстановления, в течение 5 мин. Импедансометрически САД по СРПВ измерялось с каждым ударом пульса, а с помощью тонометров – на 3-й и 5-й минутах нахождения в горизонтальном положении, в ОП и в период восстановления, а также после 20 с (на 21–80-й секунде) нахождения в АОП. Измерение артериального давления механическим тонометром занимало в среднем 40 с, электронным тонометром – 60 с. Для статистического анализа полученных результатов был использован соответствующий пакет программы Microsoft Office Excel.

### **Результаты исследований и их обсуждение**

Было установлено, что у девушек в горизонтальном положении величина САД достоверно не различалась при разных способах измерения. Определенная импедансометрическим способом по СРПВ средняя САД равнялась  $110,8 \pm 0,67$  мм рт. ст., а измеренная тонометрами находилась в диапазоне 109,7–110,3 мм рт. ст. (таблица, серия 1).

На рисунке 1 представлены в виде графика у одной из обследуемых студенток импедансометрические изменения САД с каждым ударом пульса за 3-ю и 5-ю минуты нахождения ее в горизонтальном положении. Также на графике отмечен период, в течение которого осуществлялось одновременное измерение артериального давления тонометром, и указана измеренная тонометром величина давления. Оказалось, что среднее значение САД, определенное по СРПВ, за 3-ю минуту составило  $111,6 \pm 0,64$  мм рт. ст. Измеренное на этой же минуте электронным тонометром артериальное давление равнялось 111/76 мм рт. ст. Величина САД, найденная по СРПВ, за 5-ю минуту равнялась

111,3 ± 0,59 мм рт. ст. Артериальное давление, измеренное механическим тонометром на этой же минуте, составило 110/71 мм рт. ст. (рисунок 1).

Таблица. – Значения САД, определенные разными методами, при поструральных воздействиях

№ серии	Серия экспериментов	Измерение по СРПВ	Механический тонометр		Электронный тонометр	
			3-я минута	5-я минута	3-я минута	5-я минута
1	Горизонтальное положение	110,8 ± 0,67	109,9 ± 0,71	110,2 ± 0,62	110,3 ± 0,72	109,7 ± 0,69
2	АОП под < 30°	50,3 ± 0,93*	111,7 ± 0,9 (на 21–80-й секунде)		110,9 ± 0,84 (на 21–80-й секунде)	
3	ОП под < 90°	139,2 ± 1,19*	118,2 ± 0,79*	115,4 ± 0,97	118,7 ± 0,81*	114,5 ± 0,93
4	Восстановление в горизонтальном положении	113,2 ± 0,72	110,9 ± 0,87	110,7 ± 0,79	111,1 ± 0,87	110,9 ± 0,82

Примечание: измерение по СРПВ осуществлялось за весь период нахождения девушек в соответствующем положении, т.е. за 5 минут нахождения в горизонтальном положении, 5 минут в ОП, 5 минут в восстановительном периоде и 1,5 минут в АОП; \* – достоверные изменения по отношению к горизонтальному положению.

Совершенно другие результаты обнаружались при регистрации систолического давления во время нахождения студенток в АОП. Величины САД, измеренные механическим и электронным тонометром, практически не различались между собой и достоверно не отличались по сравнению с таковыми в горизонтальном положении. В то же время САД, определенное импедансометрическим способом по СРПВ, было значительно (в 2,2 раза) ниже, чем измеренное тонометром (таблица, серия 2).

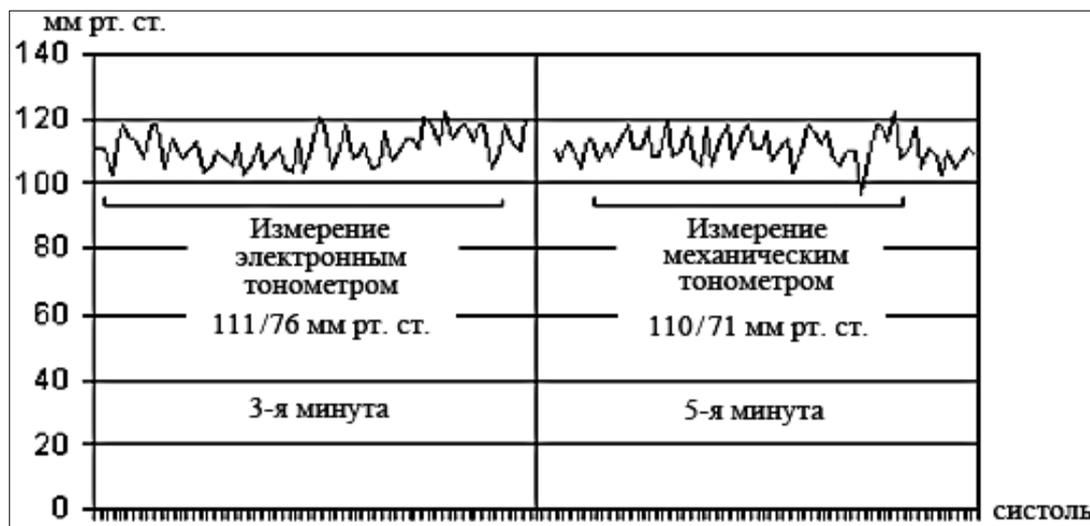
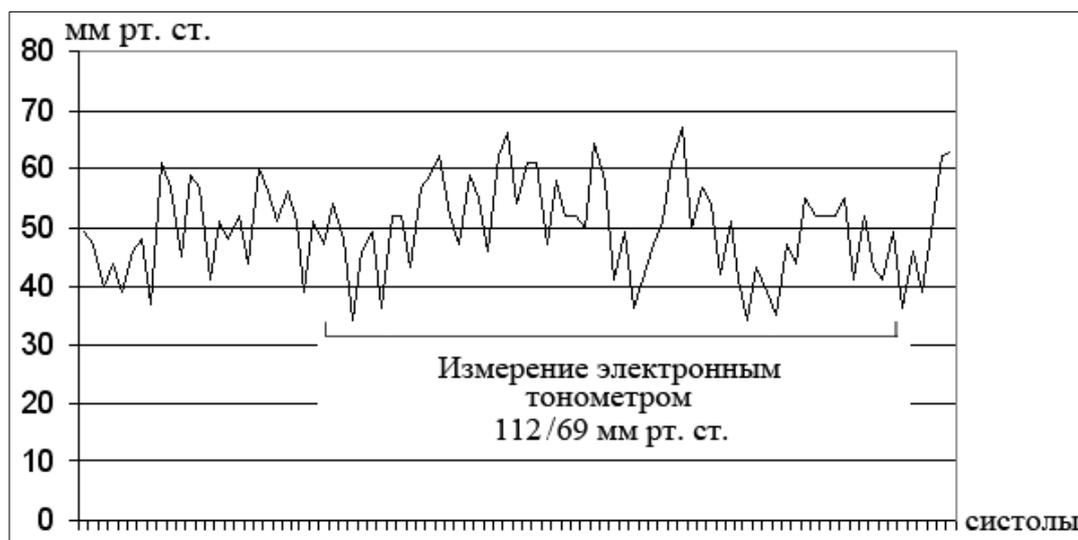


Рисунок 1. – Артериальное давление на 3-й и 5-й минутах нахождения девушки в горизонтальном положении



**Рисунок 2. – Артериальное давление во время нахождения девушки в антиортостатическом положении вниз головой под  $< 30^\circ$  к горизонту**

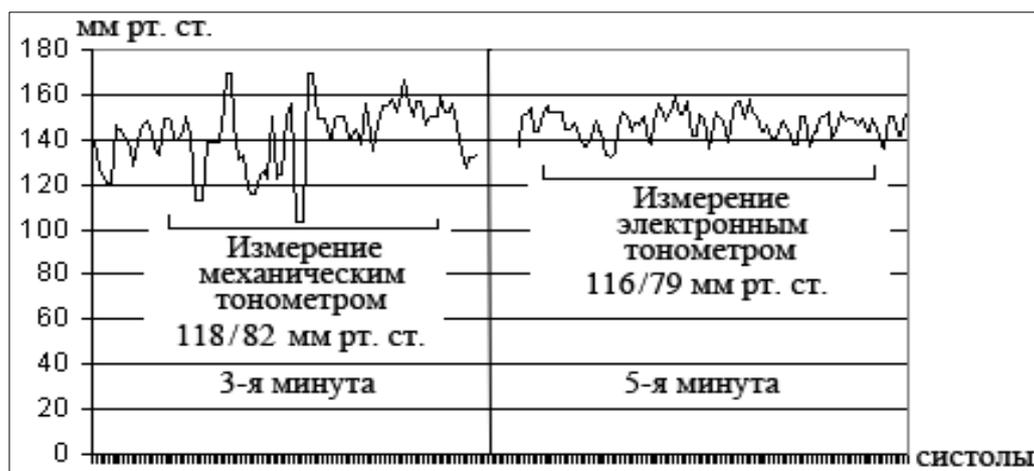
Запись у одной из девушек САД на основании СРПВ и период, во время которого оно определялось тонометром, представлены на рисунке 2. Было установлено, что среднее значение САД, рассчитанное монитором «Кентавр» на основании СРПВ, равнялось у студентки за время нахождения ее в АОП  $49,8 \pm 0,99$  мм рт. ст. Артериальное давление, измеренное электронным тонометром после 20 с нахождения девушки в антиортостазе, составило 112/69 мм рт. ст. При повторном после 5-минутного восстановления в горизонтальном положении пассивном переводе испытуемой в АОП среднее значение САД, определенное по СРПВ, оказалось равным  $53,3 \pm 0,86$  мм рт. ст., а измеренное механическим тонометром – 110/72 мм рт. ст.

После 10-минутного восстановления в горизонтальном положении девушек пассивно переводили с помощью поворотного стола в вертикальное положение. Нахождение девушек в ОП под  $< 90^\circ$  вызывало повышение АД, значения которого, рассчитанные импедансометрическим методом по СРПВ, достоверно отличались от измеренных электронным и механическим тонометрами (таблица, серия 3). Так, рассчитанное по СРПВ среднее САД при нахождении девушек в ортостазе возрастало на 24,7%. Измеренное же механическим и электронным тонометром САД было выше на 3-й минуте ОП, чем в горизонтальном положении соответственно на 7,5 и 7,6%. На 5-й минуте нахождения девушек в ОП значения АД, определенные с помощью механического и электронного тонометров, достоверно не отличались от фоновых показателей, которые регистрировались в горизонтальном положении до постуральных воздействий.

На рисунке 3 представлен график импедансометрических изменений САД у одной из студенток, рассчитанный по СРПВ за 3-ю и 5-ю минуты нахождения в ортостазе, а также периоды измерения артериального давления электронным и механическим тонометрами. Оказалось, что у данной студентки среднее САД при каждом сокращении сердца, рассчитанное по СРПВ, за 3-ю минуту равнялось  $141,1 \pm 1,29$  мм рт. ст., а за 5-ю минуту –  $142,2 \pm 0,87$  мм рт. ст. Это больше, чем у нее же в горизонтальном положении соответственно на 26,4 и 28,1%.

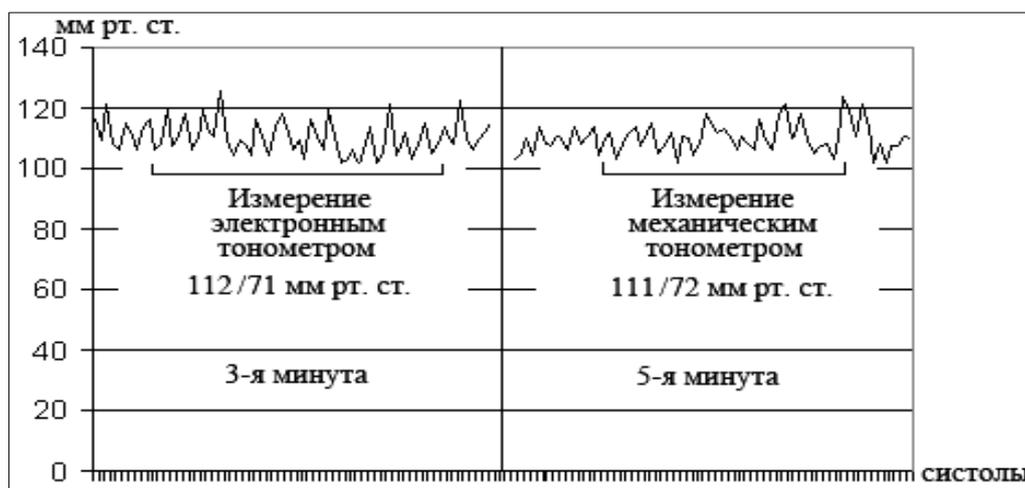
При измерении тонометром на 3-й минуте нахождения в ОП артериальное давление оказалось равным 118/82 мм рт. ст. При этом САД достоверно увеличилось по сравнению с горизонтальным положением на 6,3%. На 5-й минуте нахождения девушки в вертикальном положении измеренное тонометром кровяное давление равня-

лось 116/79 мм рт. ст. Различия между значениями САД на 5-й минуте ОП и в горизонтальном положении были недостоверными.



**Рисунок 3. – Артериальное давление во время нахождения девушки в ортостатическом положении под < 90 ° к горизонту**

После выполнения 5-минутной ортостатической пробы девушки переводились в горизонтальное положение, в котором происходило восстановление. Измеренное в этот период САД импедансометрическим методом по СРПВ, механическим и электронным тонометрами достоверно не различались между собой, как и не отличались от фонового уровня артериального давления, наблюдавшегося в горизонтальном положении до поструральных воздействий (таблица, серия 4). На рисунке 4 показана запись у одной из студенток изменений АД с каждым ударом пульса, рассчитанная по СРПВ и измеренная электронным и механическим тонометром на 3-й и 5-й минутах восстановления.



**Рисунок 4. – Артериальное давление на 3-й и 5-й минутах восстановления девушки в горизонтальном положении**

У данной студентки среднее значение САД, измеренное по СРПВ, за 3-ю минуту восстановления составило  $110,4 \pm 0,68$  мм рт. ст., а за 5-ю минуту –  $109,9 \pm 0,61$  мм рт. ст. Эти значения достоверно не отличались от величин артериального давления, измеренного на 3-й минуте восстановления электронным тонометром (112/71 мм рт. ст.) и на 5-й минуте – механическим тонометром (111/72 мм рт. ст.).

### Заклучение

Изменение положения тела человека в пространстве приводит к гравитационному перемещению крови в кровеносном русле [11], что, по-видимому, влияет на упругость стенки кровеносных сосудов. Полученные нами результаты показывают, что при горизонтальном положении тела человека величина систолического артериального давления, измеренная по скорости распространения пульсовой волны, фактически не отличается от значений, определенных тонометром по методу Короткова. Это позволяет регистрировать САД с каждым ударом пульса импедансометрически по СРПВ в горизонтальном положении обследуемого человека. Однако при постуральных воздействиях, когда человек находится под углом к линии горизонта, линейная зависимость между СРПВ и АД нарушается. Поэтому величины САД, измеренные по СРПВ, значительно отличаются от таковых, полученных традиционными методами. Причиной этому, скорее всего, является изменение скорости распространения пульсовой волны при изменении положения тела человека в пространстве, отличающегося от горизонтального. Наши результаты согласуются с данными литературы [7; 9], свидетельствующими о нелинейности зависимости СРПВ от АД при локальном ортостазе.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Pulse transit time as an indicator arterial blood pressure / L. A. Geddes [et al.] // *Psychophysiology*. – 1981. – Vol. 18, № 1. – P. 49–54.
2. Маркман, В. Г. Анализ взаимосвязи СРПВ с изменениями артериального давления у человека при функциональных нагрузках / В. Г. Маркман, Е. Л. Королева // *Физиология человека*. – 1987. – Т. 13, № 2. – С. 28–34.
3. Каро, К. Механика кровообращения / К. Каро [и др.]. – М. : Мир, 1981. – 624 с.
4. Березина, А. М. Клиническое значение оценки вариабельности скорости распространения пульсовой волны у больных артериальной гипертензией : автореф. дис. ... канд. мед. наук / А. М. Березина ; Иван. гос. ун-т. – Иваново, 2007. – 22 с.
5. Назарова, О. А. Клиническое значение оценки эластических свойств сосудов / О. А. Назарова [и др.] // *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. – 2005. – Т. 4, № 4. – С. 230.
6. Недогода, С. В. Изменение скорости распространения пульсовой волны при артериальной гипертензии / С. В. Недогода [и др.] // *Юж.-Рос. мед. журн.* – 2002. – № 3. – С. 56–58.
7. Поморова, Ю. Г. Вариации связи скорости распространения пульсовой волны и артериального давления / Ю. Г. Поморова, А. А. Кондыков, В. Д. Киселев // *Изв. Алтайс. гос. ун-та*. – 1999. – Вып. 4. – С. 153–157.
8. Андриященко, П. Л. К выбору метода измерения артериального давления в мониторных комплексах / П. Л. Андриященко [и др.] // *Мед. техника*. – 1995. – № 4. – С. 26–29.
9. Филатова, О. В. Взаимодействие давления и потока в эндотелий-зависимой регуляции диаметра артериальных сосудов : автореф. дис. ... канд. биол. наук / О. В. Филатова ; Барнаул. гос. ун-т. – Барнаул, 1993. – 18 с.
10. Астахов, А. А. Физиологические основы биоимпедансного мониторинга гемодинамики в анестезиологии (с помощью системы «Кентавр») : в 2 т. / А. А. Астахов. – Челябинск, 1996. – Т. 1, 2.
11. Осадчий, Л. И. Положение тела и регуляция кровообращения / Л. И. Осадчий. – Л. : Наука, 1982. – 382 с.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 06.07.2017

**Savaneuski M.K., Khomich H.E., Savaneuskaya A.N. Arterial Pressure and Pulse Transit Speed by Postural Tests**

*The article deals with comparative analysis of methods of arterial pressure evaluation using pulse transit speed vs. traditional Korotkoff procedure. Conducted research shows significant difference between the value of arterial pressure evaluated by pulse transit speed and the value received utilizing Korotkoff method.*