

Сравнительная оценка измерения скорости распространения пульсовой волны с помощью реографии и ультразвуковой доплерографии



Л. В. Журавлёва¹, Н. А. Лопина^{1, 2}, И. В. Кузнецов²,
Т. И. Ермоленко¹, А. В. Печенин³, В. Г. Сергеев³,
Д. Е. Волков⁴, Д. А. Лопин⁴

¹ Харьковский национальный медицинский университет

² КУОЗ «Областная клиническая больница — Центр экстренной медицинской помощи и медицины катастроф», Харьков

³ Национальный аэрокосмический университет имени Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт»

⁴ ГУ «Институт общей и неотложной хирургии имени В. Т. Зайцева НАМН Украины», Харьков

Цель работы — разработать методику измерения скорости распространения пульсовой волны (СРПВ) с помощью реографа «РеоКом» и провести сравнительную оценку результатов измерения СРПВ по данным реографии и ультразвуковой доплерографии (УЗДГ).

Материалы и методы. В условиях кардиологического отделения КУОЗ «Областная клиническая больница — Центр экстренной медицинской помощи и медицины катастроф» г. Харькова обследовано 52 пациента с ишемической болезнью сердца (32 мужчины, 20 женщин), возраст которых составил в среднем ($59,6 \pm 9,1$) года. Контрольную группу составили 20 практически здоровых добровольцев соответствующего пола и возраста. СРПВ измеряли на реографе «РеоКом» («ХАИ Медика», Украина), а также проводили доплерографическую оценку СРПВ на аппарате Toshiba Aplio 400 (Япония) с ЭКГ-синхронизацией. Для оценки внутриоператорской и междуоператорской воспроизводимости предложенной методики применяли метод Бленда — Альтмана. Для оценки изменчивости признаков рассчитывали коэффициент вариации. Для оценки специфичности и чувствительности диагностической модели с целью определения жесткости сосудов применяли ROC-анализ с расчетом площади под ROC-кривой. Сопоставимость качественных показателей оценивали с помощью индекса К (каппа).

Результаты и обсуждение. Выявлена сильная корреляционная связь между двумя значениями СРПВ, измеренными двумя методами — с помощью УЗДГ и реографа «РеоКом» ($r = 0,99$; $p < 0,0001$). При оценке внутриоператорской и междуоператорской воспроизводимости методики измерения СРПВ с помощью реографа «РеоКом» коэффициент вариации составил 4,28 и 5,31 % соответственно, что не превышало 10 % допустимого значения для хорошо воспроизводимых показателей. Выявлена хорошая согласованность измерений при проведении внутриоператорской и междуоператорской оценки СРПВ с помощью реографа «РеоКом», а также согласованность измерений, проводимых с помощью реографа и УЗДГ согласно диаграммам Бленда — Альтмана. Чувствительность и специфичность предложенной методики при выявлении повышенной жесткости сосудов составили 95,3 и 91,7 % соответственно. Площадь под ROC-кривой (AUC) — $0,964 \pm 0,015$ (95 % доверительный интервал — $0,921 - 0,988$; $p < 0,0001$). При оценке степени согласованности результатов измерения СРПВ с помощью реографа «РеоКом» с выбранным стандартом для сравнения — УЗДГ выявлена высокая степень согласованности результатов (индекс К — $0,894 \pm 0,016$).

Выводы. Реография с использованием четырехканального реографа «РеоКом» позволяет измерить СРПВ с высокой чувствительностью и специфичностью, приемлемой внутриоператорской и междуоператорской воспроизводимостью, а также высокой согласованностью результатов измерения с данными УЗДГ.

Ключевые слова: скорость распространения пульсовой волны, жесткость сосудов, реография.

Статья надійшла до редакції 22 жовтня 2016 р.

Журавльова Лариса Володимирівна, д. мед. н., проф., зав. кафедри внутрішньої медицини № 3
E-mail: lzhuravlyova@mail.ru

© Л. В. Журавльова, Н. А. Лопина, І. В. Кузнецов, Т. І. Ермоленко, О. В. Печенін, В. Г. Сергєєв, Д. Є. Волков, Д. О. Лопін, 2016

В 2013 г. сердечно-сосудистые заболевания (ССЗ) стали причиной более 64 % смертей в Украине, в подавляющем большинстве обусловленных возникновением и прогрессированием ишемической болезни сердца (ИБС), в основе патогенеза которой лежит атеросклеротическое поражение сосудов [1]. Во всех возрастных группах смертность от ИБС в Украине значительно превышает западноевропейские показатели. В структуре болезней системы кровообращения ИБС обуславливает 67,6 % смертей среди взрослого населения (среди трудоспособных — 54,8 %) [1]. Основу предупреждения ССЗ составляет концепция коррекции факторов риска, направленная на выявление лиц с высоким риском развития ССЗ с целью последующего осуществления профилактических мероприятий [3, 5].

Развитие большинства заболеваний сердечно-сосудистой системы сопровождается не только функциональными изменениями артериальных сосудов, но и структурной перестройкой их стенки с ростом содержания коллагена и уменьшением количества эластических волокон, что приводит к увеличению жесткости артерии, определяющейся соотношением основных компонентов, входящих в состав ее стенки. Артериальную жесткость можно назвать интегральным показателем сердечно-сосудистого риска, который зависит от возраста и при этом объединяет воздействие всех немодифицируемых и модифицируемых факторов риска в течение жизни [25–27].

В настоящее время классическим показателем ригидности артериальной стенки считают скорость распространения пульсовой волны (СРПВ). Группа исследователей, наблюдавших в рамках Роттердамского исследования за 2835 практически здоровыми людьми, установила, что СРПВ является независимым предиктором возникновения ИБС и инсультов у лиц без ССЗ [13]. По заключению исследования, в западноевропейской популяции лиц среднего и пожилого возраста СРПВ — наиболее достоверный и значимый предиктор сердечно-сосудистых событий по сравнению с традиционными факторами риска. В многочисленных исследованиях показано, что жесткость сосудистой стенки зависит от возраста, на нее влияют уровень артериального давления (АД), курение, масса тела, гиперхолестеринемия и другие модифицируемые и немодифицируемые факторы риска [13, 16, 17, 26–28, 31].

По мнению экспертов Европейского общества кардиологов и Американской ассоциации сердца, СРПВ, измеренная методом апplanationной тонометрии с помощью таких аппаратов, как, например, SphygmoCor и Complior, является золотым стандартом определения жесткости артерий и оценки доклинического поражения магистральных сосудов, что обусловило ее использование во многих исследованиях [11, 18, 24–27, 29–31].

Однако большинство медицинских учреждений Украины вследствие ограниченности ресурсов не имеют возможности использовать для измерения СРПВ аппараты для апplanationной тонометрии в повседневной клинической практике.

В настоящее время накоплено достаточно большое количество данных по сравнению различных методик измерения СРПВ, в частности, с помощью ультразвуковой доплерографии (УЗДГ) [9, 12, 20, 21, 23]. По данным J. Calabi и соавт., согласованность результатов УЗДГ и апplanationной тонометрии высока, с приемлемой внутриоператорской и междуоператорской воспроизводимостью измерений, что позволяет использовать УЗДГ для измерения СРПВ [9].

Цель работы — разработать методику измерения скорости распространения пульсовой волны с помощью реографа «РеоКом» и провести сравнительную оценку результатов измерения скорости распространения пульсовой волны по данным реографии и ультразвуковой доплерографии.

Материалы и методы

В условиях кардиологического отделения КУОЗ «Областная клиническая больница — Центр экстренной медицинской помощи и медицины катастроф» г. Харькова обследовано 52 пациента с ИБС — стабильной стенокардией III–IV функционального класса (32 мужчины, 20 женщин), возраст которых составил в среднем ($59,6 \pm 9,1$) года, и 20 практически здоровых добровольцев соответствующего пола и возраста (контрольная группа).

СРПВ измеряли на реографе «РеоКом» («ХАИ Медика», Украина) и на аппарате Toshiba Aplio 400 (Япония) с ЭКГ-синхронизацией по общепринятой методике, одобренной Европейским обществом кардиологов, Европейским обществом по артериальной гипертензии, Европейской группой по периферической циркуляции и Американской ассоциацией сердца [16, 17, 25–27, 29].

УЗДГ в качестве методики сравнения выбрана как единственно доступная в рутинной клинической практике на основании накопленных данных по сравнению ее с классическими методиками измерения СРПВ.

Критерием повышенной жесткости сосудов считали СРПВ более 8,4 м/с [16, 17, 25–27, 29].

При проведении реографии СРПВ рассчитывали как отношение расстояния от сегмента на шее в проекции общей сонной артерии до сегмента на бедре в проекции бедренной артерии (d) к разнице во времени достижения реоволны в указанных сегментах артерий (рис. 1) [14, 15, 28–30].

Существует несколько способов измерения указанного расстояния: 1) прямое измерение расстояния от точки приложения одного датчика до точки приложения другого датчика; 2) путем вычитания

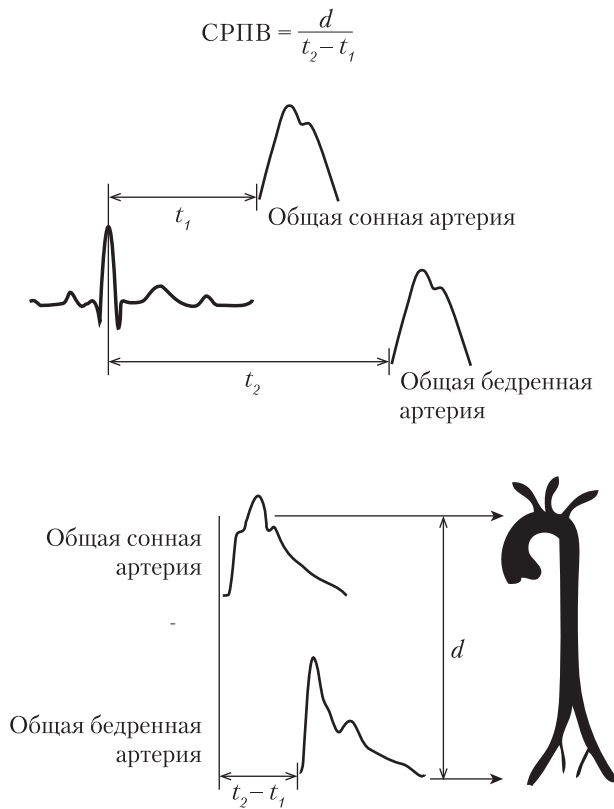


Рис. 1. Методика расчета СРПВ, интервалы и дистанции для расчета СРПВ

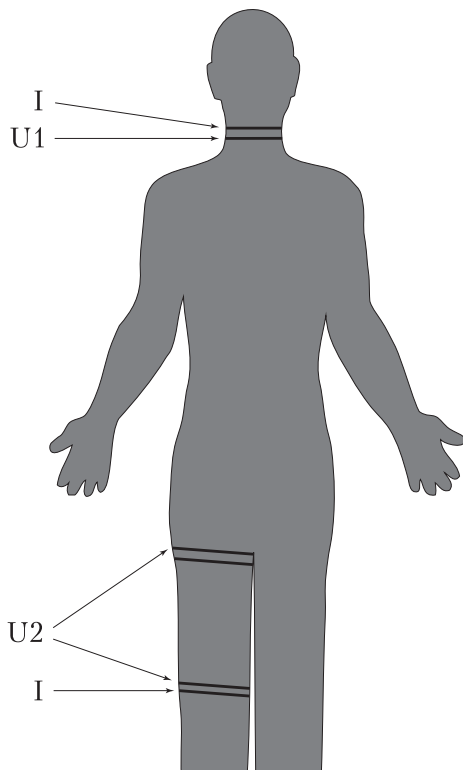


Рис. 2. Схема наложения ленточных электродов и подключения токовых и потенциальных выводов выносного блока для измерения СРПВ с помощью реографа «РеоКом»

из общей величины расстояния от точки приложения датчика к сонной артерии до яремной ямки; 3) из расстояния между яремной ямкой и точкой приложения датчика над проекцией бедренной артерии вычитают расстояние от яремной ямки до точки приложения датчика к проекции сонной артерии. По мнению экспертов, основные недостатки измерения СРПВ связаны с разными подходами к измерению дистанции прохождения пульсовой волны, так как даже небольшая погрешность может влиять на величину показателя [22–24, 28]. В настоящее время при расчетах СРПВ рекомендуют использовать 80 % от прямого расстояния между датчиками (80 % от d), так как реоволны одновременно распространяются в двух направлениях во время систолы левого желудочка: и к каротидному бассейну, и к феморальному [25, 27].

В нашем исследовании мы определяли СРПВ с помощью четырехканального реографа «РеоКом» по разработанной нами схеме наложения электродов, которая предполагает использование одного выносного блока реографа — RVG1 или RVG2 и трех ленточных электродов. В ходе исследования мы использовали выносной блок реографа RVG1. Первый ленточный электрод устанавливали до бифуркации общей сонной артерии на шее, второй — в верхней части правого бедра, третий — в нижней трети правого бедра (рис. 2).

Токовый вывод I (белый) выносного блока RVG1 подключали к верхней ленте, а потенциальный вывод U1 (красный) первого канала выносного блока RVG1 — к нижней ленте первого ленточного электрода, установленного на шее. Потенциальный вывод U2 (зеленый) первого канала выносного блока RVG1 подключали к верхней ленте второго ленточного электрода, установленного в верхней части бедра. Другой потенциальный вывод U2 (зеленый) первого канала выносного блока RVG1 подключали к верхней ленте третьего ленточного электрода, установленного в нижней трети правого бедра. Второй токовый вывод I (белый) выносного блока RVG1 подключали к нижней ленте третьего ленточного электрода, установленного в нижней трети правого бедра (см. рис. 2).

Данные при расчете СРПВd с помощью реографа «РеоКом» анализировали с учетом высокочастотных составляющих реоволн для более точной оценки их начала в одном сердечном цикле с целью наиболее точного определения временных интервалов задержки реоволны в том или ином сегменте артериального русла.

Данные, полученные с помощью предложенной нами методики, сравнивали с результатами определения СРПВ с помощью УЗДГ [6].

Для расчета СРПВ с помощью УЗДГ как на общей сонной, так и на общей бедренной артерии из 10–15 зарегистрированных синхронно с ЭКГ доплеровских спектров для анализа отбирали не

менее 8–10 качественно зарегистрированных, в которых измеряли время от зубца Q на ЭКГ до начала сигнала в каротидном (t_1) и в бедренном бассейне (t_2). Вычисляли медианы измерянного времени $Me(t_1)$ и $Me(t_2)$ и время распространения пульсовой волны $\Delta t = Me(t_2) - Me(t_1)$. Зная расстояние прохождения пульсовой волны — каротидно-бедренный сегмент d, от которого рассчитывали 80 % с учетом данных экспертных консенсусов, и время распространения пульсовой волны, вычисляли СРПВ как $d/\Delta t$.

Статистическую обработку результатов исследования осуществляли с помощью пакета программ Statistica 10.0 и Excel 2010. Нормальность распределения проверяли с помощью критерия Вилкоксона, Колмогорова — Смирнова и Шапиро — Уилка. В случае нормального распределения использовали методы параметрической статистики, при ненормальном распределении — методы непараметрической статистики [2].

Для оценки специфичности и чувствительности диагностической модели с целью выявления жесткости сосудов применяли ROC-анализ с расчетом площади под ROC-кривой. При анализе диагностической ценности используемых методов определяли следующие показатели:

$$\text{Чувствительность} = \frac{\text{ИП}}{\text{ИП} + \text{ЛО}} \cdot 100\%,$$
$$\text{Специфичность} = \frac{\text{ИО}}{\text{ИО} + \text{ЛП}} \cdot 100\%,$$

где ИП — истинноположительные результаты, ЛП — ложноположительные результаты, ИО — истинноотрицательные результаты, ЛО — ложноотрицательные результаты.

Чувствительность и специфичность метода определяли путем построения и анализа характеристических кривых (ROC-анализ). Как интегральный показатель прогностической ценности маркера в диагностике рассчитывали площадь под ROC-кривой (AUC — Area Under Curv). Общая точность метода представлена в виде площади под ROC-кривой. Модель считали адекватной при площади под кривой более 0,5 при значении $p < 0,05$. Значения AUC 0,5–0,6 оценивали как низкую прогностическую значимость, 0,6–0,7 — как среднюю прогностическую значимость, 0,7–0,8 — как хорошую прогностическую значимость, более 0,8 — как высокую прогностическую значимость метода диагностики.

Сопоставимости качественных показателей результатов двух методов определения СРПВ оценивали с помощью индекса К (каппа). Согласование считали отличным в случае $K \geq 0,75$, хорошим — в случае $0,41 \leq K < 0,75$, плохим — в случае $K < 0,41$ [10].

Для оценки сопоставимости количественных показателей методики применяли метод Бленда — Альтмана [2, 4, 7].

Т а б л и ц а 1
Нормальные значения СРПВ в зависимости от возраста (по данным Р. Boutouyrie и соавт.)

Возраст, годы	СРПВ, м/с (медиана (10–90-й процентиля))
Меньше 30	6,1 (5,3–7,1)
30–39	6,4 (5,2–8,0)
40–49	6,9 (5,9–8,6)
50–59	8,1 (6,3–10,0)
60–69	9,7 (7,9–13,1)
Больше 70	10,6 (8,0–14,6)

Также для оценки изменчивости (вариабельности) значений измеряемой СРПВ рассчитывали коэффициент вариации, равный процентному отношению стандартного отклонения к средней арифметической величине. Слабое варьирование признака принято констатировать, если коэффициент вариации составляет менее 10 %, среднее — 10–20 %, сильное — при коэффициенте вариации более 20 % [4].

В качестве референтных значений СРПВ использовали нормы, полученные в популяционном исследовании Р. Boutouyrie и соавт. (2010) для европейской популяции, учитывающие возраст и уровень АД по данным аппланационной тонометрии с использованием прибора SphygmoCor (табл. 1) [8].

Результаты

Отмечено наличие сильной корреляционной связи между СРПВ, полученной с помощью УЗДГ и реографа «РеоКом» ($r = 0,99$; $p < 0,0001$) (рис. 3).

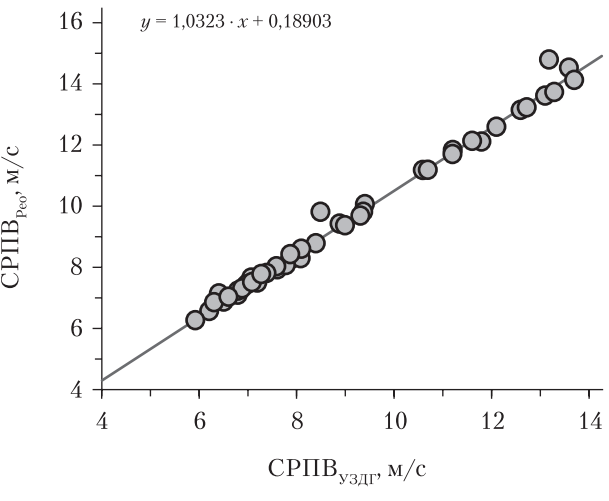


Рис. 3. Сопоставление СРПВ, измеренной с помощью УЗДГ (СРПВ_{УЗДГ}) и реографа «РеоКом» (СРПВ_{Рео})

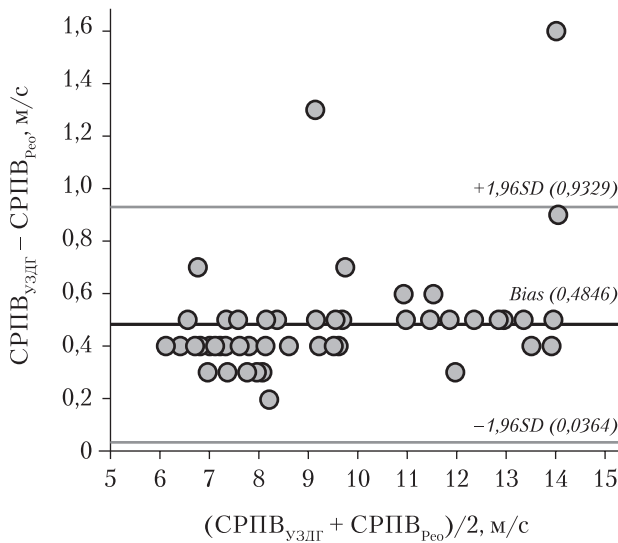


Рис. 4. Диаграмма Бленда — Альтмана. СРПВ, измеренная с помощью реографа «РеоКом», в сравнении с СРПВ, измеренной с помощью УЗДГ

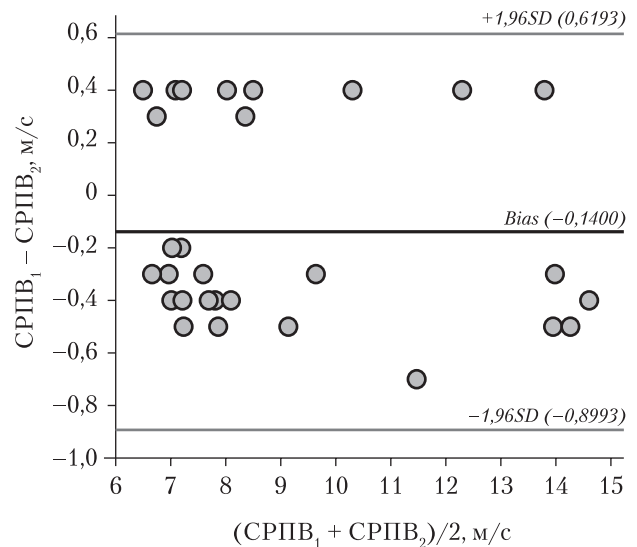


Рис. 5. Внутриоператорская воспроизводимость измерений СРПВ с помощью реографа «РеоКом» (СРПВ₁ — первое измерение, СРПВ₂ — второе)

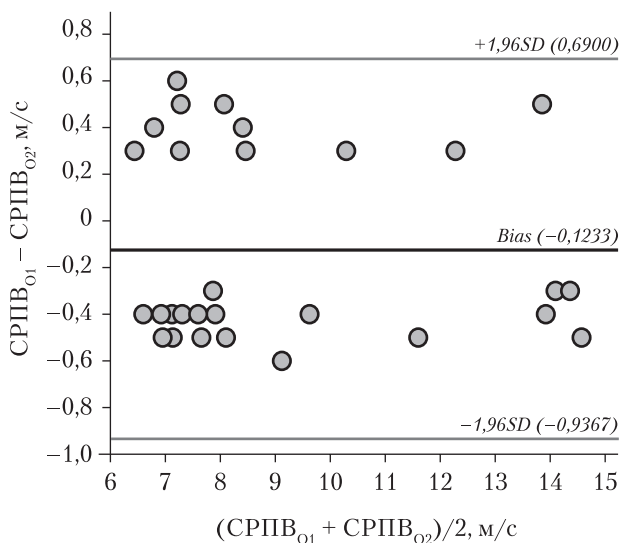


Рис. 6. Междооператорская воспроизводимость измерений СРПВ с помощью реографа «РеоКом» (СРПВ_{О1} — измерение, выполненное первым оператором, СРПВ_{О2} — вторым)

Высокий коэффициент корреляции говорит о сильной линейной связи, однако для оценки согласованности методик этого недостаточно. С целью выявления согласованности результатов измерения СРПВ реографом «РеоКом» и с помощью УЗДГ оценивали сопоставимость этих методик по методу Бленда — Альтмана: 95 % значений разницы показателей при парных измерениях попадают в интервал $\pm 1,96$ SD, таким образом, измерения, полученные с помощью обеих методик, хорошо согласуются друг с другом (рис. 4).

С целью выявления согласованности результатов расчета СРПВ, измеренной с помощью реогра-

фа «РеоКом», мы оценили внутриоператорскую и междооператорскую воспроизводимость по методу Бленда — Альтмана. Кроме того, определяли коэффициент вариации у 30 пациентов при парных измерениях как одним оператором, так и двумя операторами. Также проводили 30 парных измерений СРПВ с интервалом в 15 минут одним исследователем. Для тестирования междооператорской воспроизводимости выполнили также по 30 парных измерений СРПВ двумя независимыми исследователями. Для исключения возможной ошибки попарные измерения с разницей в 15 минут проводили при одинаковых значениях АД.

При оценке сопоставимости результатов парных измерений СРПВ с помощью реографа «РеоКом», проведенных одним оператором, а также парных измерений, выполненных двумя разными операторами, 95 % значений разницы показателей попадают в интервал $\pm 1,96$ SD, что свидетельствует об их хорошей внутриоператорской и междооператорской воспроизводимости (рис. 5, 6).

Коэффициент вариации результатов измерений СРПВ, выполненных одним оператором, составил 4,28 %, выполненных двумя разными операторами — 5,31 %, что свидетельствует о приемлемой воспроизводимости полученных данных [4] (табл. 2).

Для оценки диагностической ценности определения СРПВ методом тетраполярной реографии с помощью «РеоКом» определяли его чувствительность и специфичность для диагностики повышенной жесткости стенок артерий. Для этого у 52 обследованных и у 20 лиц контрольной группы определяли СРПВ с помощью реографа «РеоКом» по сравнению с УЗДГ.

Т а б л и ц а 2

Внутриоператорская и междуоператорская воспроизводимость результатов измерения СРПВ с помощью реографа «РеоКом»

Показатель	Внутриоператорская	Междуоператорская
Количество измерений	30	30
Среднее значение	9,12	9,04
Стандартное отклонение, м/с	0,39	0,48
Коэффициент вариации, %	4,28	5,31

Чувствительность и специфичность методики измерения СРПВ с помощью четырехканального реографа «РеоКом» для выявления повышенной сосудистой жесткости составили 95,3 и 91,7 % соответственно (рис. 7). Площадь под ROC-кривой (AUC) составила $0,964 \pm 0,015$ (95 % ДИ 0,921 – 0,988; $p < 0,0001$) (см. рис. 7).

Для оценки сопоставимости качественных показателей (наличие повышенной жесткости — да/нет) при парных измерениях СРПВ, полученных с помощью реографа «РеоКом» и методики с помощью УЗДГ, рассчитывали индекс К. Индекс К составил 0,894 ($p < 0,05$), что свидетельствует о высокой сопоставимости методик измерения СРПВ.

Предложенный способ определения СРПВ с помощью реографа «РеоКом» тесно коррелирует со значениями аналогичного показателя, измеренного при помощи УЗДГ, а существующие данные сравнения результатов измерения СРПВ с помощью УЗДГ с данными апplanationной тонометрии позволяют ожидать сопоставимости полученных данных с помощью реографа «РеоКом» со специализированными для измерения СРПВ аппаратами SphygmoCor, Complior. Однако, безусловно, предложенная методика требует дальнейшей апробации на большем количестве пациентов.

Значительным преимуществом разработанной методики определения СРПВ с помощью реографа «РеоКом» является то, что регистрация двух реоволн происходит синхронно с ЭКГ в одном сердечном цикле, что позволяет более быстро и точно рассчитать интервалы временных задержек, в отличие от методики измерения СРПВ с помощью УЗДГ, требующей расчета среднего значения по каждому артериальному сегменту. Особенно важно, что две реоволны (каротидного и феморального сегментов) для анализа строятся реографом на основании когерентно накопленного периода с построением волн на основании систематически повторяющихся колебаний, а не случайных неповторяющихся сигналов, что уменьшает возможную ошибку и погрешность измерений.

Конфликта интересов нет.

Участие авторов: концепция и дизайн исследования — Л. Ж., И. К., Т. Е., А. П., Д. В., В. С.; сбор материала — Н. Л., Д. Л.; обработка материала, статистическая обработка данных, написание текста — Н. Л.; редактирование — Л. Ж., Н. Л.

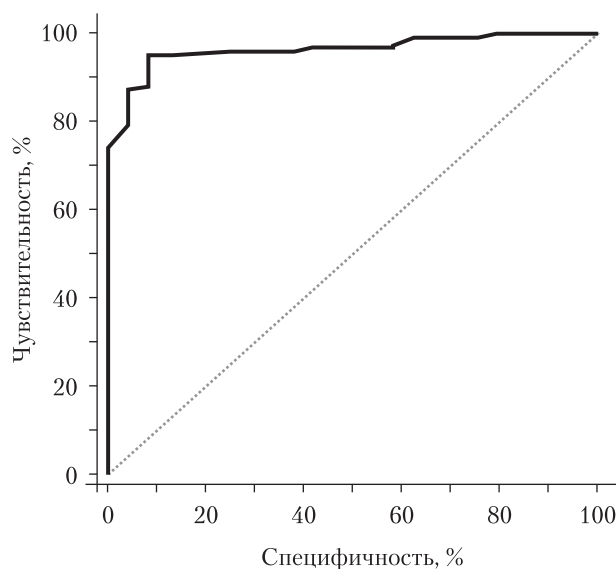


Рис. 7. Чувствительность и специфичность измерения СРПВ с помощью реографа «РеоКом» для выявления повышенной жесткости сосудов

Предложенный метод определения СРПВ доступен в повседневной клинической практике для широкого круга пациентов и может быть использован для скрининговых программ определения сердечно-сосудистого риска, а также при разработке мер первичной профилактики ССЗ в нашей стране.

Выводы

Реография с использованием четырехканального реографа «РеоКом» позволяет измерить скорость распространения пульсовой волны с высокой чувствительностью и специфичностью, приемлемой внутриоператорской и междуоператорской воспроизводимостью, а также с высокой согласованностью результатов измерения с данными ультразвуковой доплерографии.

Література

- Бідчук А. С., Шкробанець І. Д., Леонісць С. І. Епідеміологічні особливості хвороб системи кровообігу в Україні й Чернівецькій області // Буковинський медичний вісник. — 2013. — Т. 17, № 3 (67). — Ч. 2. — С. 100–103.
- Москаленко В. Ф., Гульчій О. П., Голубчиков М. В. та ін. Біостатистика / За ред. В. Ф. Москаленка. — К.: Книга плюс, 2009. — 184 с.
- Стабільна ішемічна хвороба серця: адаптована клінічна настанова, заснована на доказах. — К., 2016. — 177 с.
- Трухачева Н. В. Математическая статистика в медико-биологических исследованиях применением пакета Statistica. — М.: ГЭОТАР Медиа, 2012. — 384 с.
- Уніфікований клінічний протокол первинної та вторинної (спеціалізованої) медичної допомоги: Стабільна ішемічна хвороба серця / Наказ МОЗ України від 02.03.2016 № 152. — 61 с.
- Baguet J.-P., Kingwell B. A., Dart A. L. et al. Analysis of the regional pulse wave velocity by Doppler: methodology and reproducibility // J. Human Hypertens. — 2003. — Vol. 17. — P. 407–412.
- Bland J. M., Altman D. G. Statistical method for assessing agreement between two methods of clinical measurement // Lancet. — 1986. — N 327. — P. 307–310.
- Boutouyrie P. et al. Determinants of pulse wave velocity in healthy people and in the presence of cardiovascular risk factors: 'establishing normal and reference values' // Eur. Heart J. — 2010. — Vol. 31, suppl. 19. — P. 2338–2350.
- Calabia J., Torguet P., Garcia M., Garcia I. Doppler ultrasound in the measurement of pulse wave velocity: agreement with the Complior method // Cardiovasc. Ultrasound. — 2011. — Vol. 9. — P. 13.
- Cohen J. A coefficient of agreement for nominal scales // Educ. Psychol. Meas. — 1960. — Vol. 20. — P. 37–46.
- Davies J. M., Bailey M. A., Griffin K. J., Scott D. J. Pulse wave velocity and the non-invasive methods used to assess it: Complior, Sphygmocor, Arteriograph and Vicorder // Vascular. — 2012. — Vol. 20, suppl. 6. — P. 342–349.
- Jiang B., Liu B., McNeill K. L., Chowienczyk P. J. Measurement of pulse wave velocity using pulse wave doppler ultrasound: comparison with arterial tonometry // Ultrasound in Medicine and Biology. — 2008. — Vol. 34, suppl. 3. — P. 509–512.
- Khoshdel A. R., Thakinstian A., Carney S. L., Attia J. Estimation of an age-specific reference interval for pulse wave velocity: a meta-analysis // J. Hypertens. — 2006. — Vol. 24, suppl. 7. — P. 1231–1237.
- Kilic H., Yelgec S., Salih O. An invasive but simple and accurate method for ascending aorta-femoral artery pulse wave velocity measurement // Blood Press. — 2013. — Vol. 22, suppl. 1. — P. 45–50.
- Laurent S., Cockcroft J., Van Bortel L. et al. European Network for Non-invasive Investigation of Large Arteries. Expert consensus document on arterial stiffness: methodological issues and clinical applications // Eur. Heart J. — 2006. — Vol. 27. — P. 2588–2605.
- Mancia G., De Backer G., Dominiczak A. Guidelines for the Management of Arterial Hypertension: The Task Force for the Management of Arterial Hypertension of the European Society of Hypertension (ESH) and of the European Society of Cardiology (ESC) // J. Hypertens. — 2007. — Vol. 25. — P. 1105–1187.
- Mancia G., Fagard R., Narkiewicz K. et al. ESH/ESC guidelines for the management of arterial hypertension // Eur. Heart J. — 2013. — Vol. 34. — P. 2159–2219.
- Mihalcea D. J., Florescu M., Suran B. M. et al. Comparison of pulse wave velocity assessed by three different techniques: Arteriograph, Complior, and Echo-tracking // Heart Vessels. — 2016. — Vol. 31 (4). — P. 568–577.
- Mitchell G. F., Hwang Sh.-J., Vasan R. S. Arterial stiffness and cardiovascular events: The Framingham Heart Study // Circulation. — 2010. — Vol. 121 (4). — P. 505–511.
- Rajzer M. W., Wojciechowska W., Klocek M. et al. Comparison of aortic pulse wave velocity measured by three techniques: Complior, Sphygmocor and Arteriograph // J. Hypertens. — 2008. — Vol. 26, suppl. 10. — P. 2001–2007.
- Salvi P., Magnani E., Valbusa F. Comparative study of methodologies for pulse wave velocity estimation // J. Human Hypertens. — 2008. — Vol. 22, suppl. 10. — P. 669–677.
- Shahin Y., Barakat H., Barnes R., Chetter I. The Vicorder device compared with Sphygmocor in the assessment of carotid-femoral pulse wave velocity in patients with peripheral arterial disease // Hypertens. Res. — 2013. — Vol. 36, suppl. 3. — P. 208–212.
- Stea F., Bozec E., Millasseau S. et al. Comparison of the Complior Analyse device with Sphygmocor and Complior SP for pulse wave velocity and central pressure assessment // J. Hypertens. — 2014. — Vol. 32, suppl. 4. — P. 873–880.
- Sugawara J., Hayashi K., Yokoi T. Carotid-femoral pulse wave velocity: impact of different arterial path length measurements // Artery Research. — 2010. — Vol. 4, suppl. 1. — P. 27–31.
- Townsend R. R., Wilkinson I. B., Schiffrin E. L. et al. Recommendations for Improving and standardizing vascular research on arterial stiffness: a scientific statement from the American Heart Association // Hypertension. — 2015. — Vol. 66 (3). — P. 698–722.
- Van Bortel L. et al. Expert consensus document on arterial stiffness: methodological issues and clinical applications // Eur. Heart J. — 2006. — Vol. 27, suppl. 21. — P. 2588–2605.
- Van Bortel L. M., Laurent S., Boutouyrie P. et al. Expert consensus document on the measurement of aortic stiffness in daily practice using carotid-femoral pulse wave velocity // J. Hypertens. — 2012. — Vol. 30, suppl. 3. — P. 445–448.
- Weber T., Ammer M., Rammer M. et al. Noninvasive determination of carotid-femoral pulse wave velocity depends critically on assessment of travel distance: a comparison with invasive measurement // J. Hypertens. — 2009. — Vol. 27, suppl. 8. — P. 1624–1630.
- Wilkinson I. B., McEniery C. M., Schillaci G. ARTERY Society guidelines for validation of non-invasive haemodynamic measurement devices: Part 1, arterial pulse wave velocity // Artery Research. — 2010. — Vol. 4. — P. 34–40.
- Willum-Hansen T., Staessen J. A., Torp-Pedersen C. et al. Prognostic value of aortic pulse wave velocity as index of arterial stiffness in the general population // Circulation. — 2006. — Vol. 113. — P. 664–670.
- Wohlfahrt P., Krajčoviechová A., Seidlerová J. Lower-extremity arterial stiffness vs. aortic stiffness in the general population // Hypertens. Res. — 2013. — Vol. 36, suppl. 8. — P. 718–724.

Порівняльна оцінка вимірювання швидкості поширення пульсової хвилі за допомогою реографії та ультразвукової доплерографії

Л. В. Журавльова¹, Н. А. Лопіна^{1,2}, І. В. Кузнецов², Т. І. Єрмоленко¹,
О. В. Печенін³, В. Г. Сергєєв³, Д. Є. Волков⁴, Д. О. Лопін⁴

¹ Харківський національний медичний університет

² КЗОЗ «Обласна клінічна лікарня — Центр екстреної медичної допомоги та медицини катастроф», Харків

³ Національний аерокосмічний університет імені М. Є. Жуковського «Харківський авіаційний інститут»

⁴ ДУ «Інститут загальної та невідкладної хірургії імені В. Т. Зайцева НАМН України», Харків

Мета роботи — розробити методику вимірювання швидкості поширення пульсової хвилі (ШППХ) за допомогою реографії «РеоКом» і здійснити порівняльну оцінку результатів вимірювання ШППХ за даними реографії та ультразвукової доплерографії (УЗДГ).

Матеріали і методи. В умовах кардіологічного відділення КЗОЗ «Обласна клінічна лікарня — Центр екстреної медичної допомоги та медицини катастроф» м. Харкова обстежено 52 пацієнтів з ішемічною хворобою серця (32 чоловіків, 20 жінок), вік яких становив у середньому ($59,6 \pm 9,1$) року. Контрольну групу сформували 20 практично здорових добровольців відповідної статі й віку. ШППХ вимірювали на реографі «РеоКом» («ХАІ Медика», Україна), а також здійснювали доплерографічну оцінку ШППХ на апараті Toshiba Aplio 400 (Японія) з ЕКГ-синхронізацією. Для оцінки внутрішньооператорської і міжоператорської відтворюваності запропонованої методики застосовували метод Бленда — Альтмана. Для оцінки мінливості ознак розраховували коефіцієнт варіації. Для оцінки специфічності й чутливості діагностичної моделі з метою встановлення жорсткості судин застосовували ROC-аналіз з розрахунком площі під ROC-кривою. Порівнянність якісних показників оцінювали за допомогою індексу К (каппа).

Результати та обговорення. Виявлено сильний кореляційний зв'язок між двома значеннями ШППХ, виміряної двома методами — за допомогою УЗДГ і реографа «РеоКом» ($r = 0,99$; $p < 0,0001$). Оцінка внутрішньооператорської та міжоператорської відтворюваності методики вимірювання ШППХ за допомогою реографа «РеоКом» показала значення коефіцієнтів варіації 4,28 і 5,31 % відповідно, що не перевищувало 10 % допустимого значення для добре відтворюваних показників. Виявлено добру узгодженість вимірювань під час внутрішньооператорської і міжоператорської оцінки ШППХ за допомогою реографа «РеоКом», а також зіставність вимірювань, здійснених за допомогою реографа і УЗ-методики згідно з діаграмами Бленда — Альтмана. Інформативність щодо підвищеної жорсткості судин для значення ШППХ становить 8,4 м/с, чутливість і специфічність запропонованої методики при виявленні пацієнтів з підвищеною жорсткістю судин високі — 95,3 і 91,7 % відповідно. Площа під ROC-кривою (AUC) — $0,964 \pm 0,015$ (95 % довірчий інтервал — 0,921—0,988; $p < 0,0001$). Оцінка ступеня узгодженості результатів вимірювання ШППХ за допомогою реографа «РеоКом» з обраним стандартом порівняння — УЗДГ — показала високий рівень узгодженості результатів (індекс К $0,894 \pm 0,016$).

Висновки. Реографія з використанням чотириканального реографа «РеоКом» дає змогу виміряти ШППХ з високою чутливістю і специфічністю, прийнятною внутрішньооператорською і міжоператорською відтворюваністю, а також високою узгодженістю результатів вимірювання з даними УЗДГ.

Ключові слова: швидкість поширення пульсової хвилі, жорсткість судин, реографія.

Comparative evaluation of pulse wave velocity measurement with the use of reography and Doppler ultrasound

L. V. Zhuravlyova¹, N. A. Lopina^{1,2}, I. V. Kuznetsov², T. I. Ermolenko¹,
O. V. Pechenin³, V. G. Sergeev³, D. Ye. Volkov⁴, D. O. Lopin⁴

¹Kharkiv National Medical University

²Regional Hospital — Center for Emergency Medical Care and Disaster Medicine, Kharkiv

³M. Y. Zhukovsky National Aerospace University «Kharkiv Aviation Institute»

⁴SI «V. T. Zaytsev Institute of General and Emergency Surgery of NAMS of Ukraine», Kharkiv

The aim — of research was to develop a technique for measuring pulse wave velocity (PWV) using *ReoCom* rheograph and to hold a comparative evaluation of the PWV measurement results based on rheograph and Doppler ultrasound data.

Materials and methods. 52 patients with coronary artery disease (32 men, 20 women), mean age of 59.6 ± 9.1 years, were examined in the cardiology department of Regional Hospital — Center for Emergency Medical Care and Disaster Medicine in Kharkiv. The control group consisted of 20 healthy volunteers of corresponding gender and age. The measurements of PWV were carried out on *ReoCom* rheograph (*HAI Medica*, Ukraine). Doppler assessment of PWV was also measured on *Toshiba Aplio 400 unit* (Japan) with ECG synchronization. Blend—Altman method was used to assess the reproducibility of the technique suggested by us. The coefficient of variation was calculated to evaluate the variability of traits. To evaluate the specificity and sensitivity of the diagnostic model aimed at assessment of the vascular stiffness we used ROC-analysis and calculation of the area under the ROC-curve. Comparability of qualitative indicators was assessed by K (kappa) index.

Results and discussion. A strong correlation was revealed between the two values of PWV measured in two ways — by using Doppler ultrasound and *ReoCom* rheograph ($r = 0.99$, $p < 0.0001$). The assessment of intraoperative and interoperative reproducibility of method for measuring PWV with *ReoCom* rheograph showed the values of variation coefficient of 4.28 % and 5.31 %, respectively, which did not exceed 10 % — a permissible value for well-reproducible indices. Good agreement of measurements was revealed during intraoperative and interoperative assessment of PWV using *ReoCom* rheograph, as well as consistency of measurements conducted using rheograph and ultrasonic technique according to Blend—Altman diagrams. Informative value for the presence of increased vascular stiffness in our study was 8.4 m/s for the value of PWV, the sensitivity and specificity of the proposed technique for identifying patients with increased vascular stiffness were high — 95.3 % and 91.7 %, respectively. The area under the ROC curve (AUC) was 0.964 ± 0.015 (95 % CI — 0.921—0.988; $p < 0.0001$). Assessment of the consistency of PWV measurement results using *ReoCom* rheograph with the selected standard of comparison — ultrasound technique —revealed a high degree of consistency of the results (K index of 0.894 ± 0.016).

Conclusions. Rheography using *ReoCom* four-channel rheograph allows to measure PWV with high sensitivity and specificity, acceptable intraoperative and interoperative reproducibility, and high consistency of measurement results with Doppler ultrasound data.

Key words: pulse wave velocity, vascular stiffness, rheography.