

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

Журавлёва Л.В.¹, Лопина Н.А.^{1,2}, Кузнецов И.В.², Ермоленко Т.И.³, Печенин А.В.⁴, Сергеев В.Г.⁴, Волков Д.Е.⁵, Лопин Д.А.⁵

¹Харьковский национальный медицинский университет, кафедра внутренней медицины № 3

² КУОЗ «Областная клиническая больница – центр экстренной медицинской помощи и медицины катастроф»

³Харьковский национальный медицинский университет, кафедра фармакологии

⁴ Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»

⁵ ГУ «Институт общей и неотложной хирургии им. В.Т. Зайцева НАМН Украины»

Резюме.

Цель исследования – разработать методику измерения скорости распространения пульсовой волны (СРПВ) с помощью реографа «РеоКом» и провести сравнительную оценку результатов измерения СРПВ по данным реографии и УЗДП.

Материалы и методы. В условиях кардиологического отделения КУОЗ «Областная клиническая больница – Центр экстренной медицинской помощи и медицины катастроф» г.Харькова было обследовано 52 пациента с ишемической болезнью сердца (32 мужчин, 20 женщин), средний возраст которых составил 59.6 ± 9.11 лет. Контрольную группу составило 20 практически здоровых добровольцев соответствующего пола и возраста. Измерения каротидно-фemorальной СРПВ (кфСРПВ) проводили на реографе «РеоКом» ХАИ Медика, а также проводилась доплерографическая оценка кфСРПВ на аппарате Toshiba Aplio 400, Япония с ЭКГ синхронизацией. Для оценки внутриоператорской и межоператорской воспроизводимости предложенной методики применялся метод Бленда-Альтмана. Для оценки изменчивости признаков проводился расчёт коэффициента вариации. Для оценки специфичности и чувствительности диагностической модели для

оценки жёсткости сосудов применялся ROC-анализ с расчётом площади под ROC-кривой. Сопоставимость качественных показателей оценивали с помощью индекса «К» (Карра).

Результаты. В проведённом нами исследовании отмечалось наличие сильной корреляционной связи между двумя значениями кфСРПВ, измеренными двумя методами – с помощью УЗ ДП и реографа «РеоКом» ($R=0.99$, $p<0,0001$). При оценке внутриоператорской и межоператорской воспроизводимости методики измерения кфСРПВ с помощью реографа «РеоКом» значения коэффициентов вариации составили 4.28% и 5.31% соответственно, что не превышало 10% - допустимого значения для хорошо воспроизводимых показателей. Были выявлены хорошая согласованность измерений при проведении внутриоператорской и межоператорской оценки кфСРПВ с помощью реографа «РеоКом», а также согласованность измерений, проводимых с помощью реографа и УЗ ДП методики согласно диаграмм Бленда-Альтмана. Чувствительность и специфичность предложенной методики в отношении выявления повышенной жесткости сосудов составили 95.3% и 91.7% соответственно. Площадь под ROC кривой (AUC) – 0.964 ± 0.0146 (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 - УЗ ДП методикой выявлена высокая степень согласованности результатов (индекс Каппа 0.894 ± 0.0158).

Вывод. Реография с использованием четырехканального реографа «РеоКом» позволяет измерить СРПВ с высокой чувствительностью и специфичностью, приемлемой внутриоператорской и межоператорской воспроизводимостью, а также высокой согласованностью результатов измерения с данными ультразвуковой доплерографии.

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

Порівняльна оцінка вимірювання швидкості розповсюдження пульсової хвилі за допомогою реографії і ультразвукової доплерографії

Журавльова Л.В., Лопіна Н.А., Кузнецов І.В., Єрмоленко Т.І., Печенін А.В., Сергєєв В.Г., Волков Д.Є., Лопін Д.О.

Резюме.

Мета дослідження - розробити методику вимірювання швидкості розповсюдження пульсової хвилі (ШРПХ) за допомогою реографа «РеоКом» і провести порівняльну оцінку результатів вимірювання ШРПХ за даними реографії і УЗДП.

Матеріали та методи. В умовах кардіологічного відділення КЗОЗ «Обласна клінічна лікарня - Центр екстреної медичної допомоги та медицини катастроф» м.Харкова було обстежено 52 пацієнта з ішемічною хворобою серця (32 чоловіків, 20 жінок), середній вік яких склав $59,6 \pm 9.11$ років. Контрольну групу склали 20 практично здорових добровольців відповідної статі і віку. Вимірювання каротидно-феморальної ШРПХ (кфШРПХ) проводили на реографі «РеоКом» ХАІ Медика, а також проводилася доплерографічна оцінка кфШРПХ на апараті Toshiba Aplio 400, Японія з ЕКГ синхронізацією. Для оцінки внутрішньооператорської і межоператорської відтворюваності запропонованої методики застосовувався метод Бленда-Альтмана. Для оцінки мінливості ознак проводився розрахунок коефіцієнта варіації. Для оцінки специфічності і чутливості діагностичної моделі для оцінки жорсткості судин застосовувався ROC-аналіз з розрахунком площі під ROC-кривою. Порівнянність якісних показників оцінювали за допомогою індексу «К» (Карра).

Результати. У проведеному нами дослідженні відзначалася наявність сильного кореляційного зв'язку між двома значеннями кфШРПХ, виміряної двома методами - за допомогою УЗ ДП і реографа «РеоКом» ($R = 0.99$, $p < 0.0001$). При оцінці внутрішньооператорської та межоператорської відтворюваності методики вимірювання кфШРПХ за допомогою реографа «РеоКом» значення коефіцієнтів варіації склали 4.28% і 5.31% відповідно, що

не перевищувало 10% - допустимого значення для добре відтворюваних показників. Були виявлені добра узгодженість вимірювань при проведенні внутрішньооператорської і межоператорської оцінки кфШРПХ за допомогою реографа «РеоКом», а також співставність вимірювань, проведених за допомогою реографа і УЗ методики згідно діаграм Бленда-Альтмана. Інформативність щодо наявності підвищеної жорсткості судин в нашому дослідженні встановлено для значення кфШРПХ понад 8,4 м/с, чутливість і специфічність запропонованої методики при виявленні пацієнтів з підвищеною жорсткістю судин високі і становлять 95.3% і 91.7% відповідно. Площа під ROC кривою (AUC) - 0.964 ± 0.0146 (95% довірчий інтервал: 0.921-0.988; $p < 0.0001$). При оцінці ступеня узгодженості результатів вимірювання кфШРПХ за допомогою реографа «РеоКом» до обраного стандарту порівняння - УЗ ДП методикою виявлено високий рівень узгодженості результатів (індекс Каппа 0.894 ± 0.0158).

Висновки. Реографія з використанням чотирьоканального реографа «РеоКом» дозволяє виміряти ШРПХ з високою чутливістю і специфічністю, прийнятною внутрішньооператорською і межоператорською відтворюваністю, а також високою узгодженістю результатів вимірювання з даними ультразвукової доплерографії.

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

Comparative evaluation of the measurement of carotid-femoral pulse wave velocity using rheograph "ReoCom" and Doppler ultrasound.

Zhuravlyova LV, Lopina N.A., Kuznetsov I.V., Ermolenko T.I., Pechenin A.V., Sergeev V.G., Volkov D.Ye., Lopin D.A.

Summary

The purpose of research - to develop a methodology for measuring pulse wave velocity (PWV) using rheograph "ReoCom" and to hold a comparative evaluation of the measurement PWV using rheograph and Doppler ultrasound.

Materials and methods. In the cardiology department KZOZ "Regional Clinical Hospital - Center for emergency medical care and disaster medicine" Kharkov were examined 52 patients with coronary artery disease (32 men, 20 women), mean age of 59.6 ± 9.11 years. The control group consisted of 20 healthy volunteers of corresponding gender and age. The measurements of cfPWV were carried out on the rheograph "ReoCom" HAI Medica and also cfPWV was measured by Doppler assessment on Toshiba Aplio unit 400, Japan with ECG synchronization. To assess the reproducibility used method Blend-Altman. To evaluate the variability of traits was conducted calculation the coefficient of variation. To evaluate the specificity and sensitivity of the diagnostic model to assess the vascular stiffness we used ROC-analysis and calculation of the area under the ROC-curve. Comparability of the results of the two methods for determining cfPWV assessed using the "K" index (kappa).

Results. In our research was a strong correlation between the two values of cfPWV measured in two ways - by using ultrasound and rheograph "ReoCom" ($R = 0.99$, $p < 0.0001$). In assessing reproducible method for measuring cfPWV with rheograph "ReoCom" values of variation coefficient were 4.28% and 5.31%, respectively, which did not exceed 10% - permissible values for well-reproducible performance. It was revealed good agreement of measurements during assessment cfPWV using rheograph "ReoCom", as well as measurements consistency conducted using rheograph and ultrasonic technique according to the diagrams Blend-Altman. Informative for the presence of increased vascular stiffness in our study was set for the value of cfPWV more than 8.4 m/s, the sensitivity and specificity of the proposed methods in identifying patients with increased vascular stiffness were high 95.3% and 91.7%, respectively. The area under the ROC curve (AUC) - 0.964 ± 0.0146 (95% CI: 0.921-0.988; $p < 0.0001$). When assessing the consistency of the results of measurement using the PWV rheograph "ReoCom" with selected standard ultrasound technique was revealed a high degree of consistency in the results (kappa index of 0.894 ± 0.0158).

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

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

В 2013 г. ССЗ стали причиной более 64% смертей в Украине, в подавляющем большинстве обусловленных возникновением и прогрессированием 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, которая направлена на выявление лиц высокого риска 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, 26, 27].

В настоящее время классическим показателем ригидности артериальной стенки считают скорость распространения пульсовой волны (СРПВ). Группа исследователей, наблюдавших в рамках Роттердамского исследования 2835 практически здоровых людей установила, что СРПВ является независимым

предиктором ИБС и инсультов у лиц без ССЗ [13]. По заключению исследования в западно-европейской популяции лиц среднего и пожилого возраста СРПВ – наиболее достоверный, значимый предиктор сердечно-сосудистых событий по сравнению с традиционными факторами риска. В многочисленных исследованиях было показано, что жесткость сосудистой стенки зависит от возраста, на нее влияют уровень АД, курение, масса тела, гиперхолестеринемия и другие модифицируемые и немодифицируемые факторы риска [13,16, 17, 26,27, 28, 31].

По мнению экспертов Европейского общества кардиологов и, Американской ассоциации сердца [25,26,27] СРПВ, измеренная методом аппланационной тонометрии, является «золотым стандартом» определения жёсткости артерий и оценки доклинического поражения магистральных сосудов, что обусловило ее использование во многих исследованиях [18,20]. [11,18,24,29,30,31], в частности, на аппарате SphygmoCor и Complior. Однако, большинство медицинских учреждений Украины вследствие ограниченности ресурсов не имеют возможности использовать для измерения СРПВ аппараты для аппланационной тонометрии (например SphygmoCor и Complior) в повседневной клинической практике.

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

Целью нашего исследования стала разработка методики измерения СРПВ с помощью четырехканального реографа «РеоКом» и сравнительная оценка результатов измерения СРПВ по данным реографии и УЗДП.

Материалы и методы

В условиях кардиологического отделения КУОЗ «Областная клиническая больница – Центр экстренной медицинской помощи и медицины катастроф» г.Харькова было обследовано 52 пациента с ишемической болезнью сердца - стабильной стенокардией III-IV ф.кл. (32 мужчин, 20 женщин), средний возраст которых составил $59,6 \pm 9,11$ лет, и 20 практически здоровых добровольцев соответствующего пола и возраста (контрольная групп).

Измерения СРПВ проводили на реографе «РеоКом» производства ХАИ Медика и на аппарате Toshiba Arlio 400, Япония с ЭКГ синхронизацией по общепринятой методике, одобренной Европейским обществом кардиологов, Европейским обществом по артериальной гипертензии, Еврпейской группой по периферической циркуляции, Американской ассоциацией сердца [16,17,25,26,27,29].

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

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 и L) к разнице во времени достижения реоволны в указанных сегментах артерий (Рис.1., Рис.2.) [14,15,28,29,30].

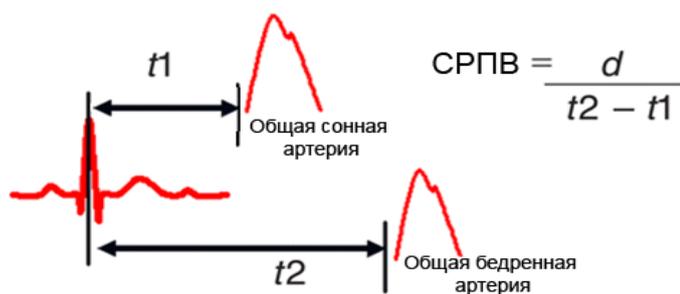


Рис.1. Методика расчёта СРПВ.

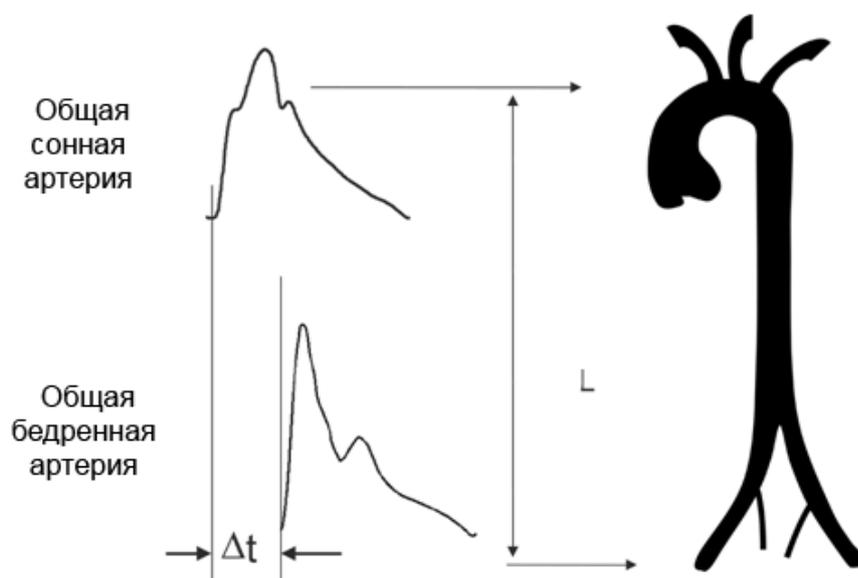


Рис.2. Интервалы и дистанции для расчёта СРПВ.

Существует несколько способов измерения указанного расстояния: 1) прямое измерение расстояния от точки приложения одного датчика до точки приложения другого датчика; 2) путем вычитания 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 дистанции прохождения пульсовой волны, т.к. даже небольшая погрешность может влиять на величину показателя [22,23,24,28]. В настоящее время при расчетах СРПВ рекомендуют использовать 80% от прямого расстояния между датчиками [25, 27].

В нашем исследовании СРПВ мы определяли с помощью четырехканального реографа «РеоКом» по разработанной нами схеме наложения электродов, которая предполагает использование одного выносного блока реографа – RVG1 или RVG2 и трёх ленточных электродов. В ходе исследования нами использовался 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. 3).

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 (зелёный) первого канала выносного блока RVG1 подключали к верхней ленте второго ленточного электрода, установленного в верхней части бедра. Другой потенциальный вывод U2 (зелёный) 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 (Рис. 3).

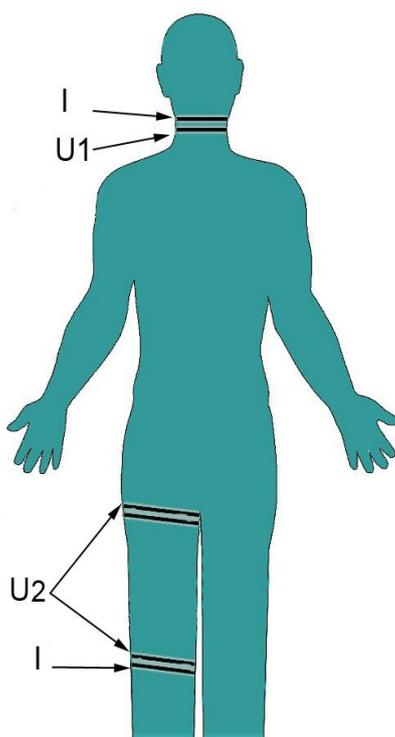


Рис.3. Схема наложения ленточных электродов и подключения токовых и потенциальных выводов выносного блока для измерения СРПВ с помощью «РеоКом».

Анализ данных при расчёте СРПВ с помощью реографа «РеоКом» проводился с учётом 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 УЗДП [6].

Для расчета СРПВ с помощью УЗДП как на общей сонной, так и на общей бедренной артерии, из 10-15 зарегистрированных синхронно с ЭКГ доплеровских спектров для анализа отбирались не менее 8-10 качественно зарегистрированных, в которых измеряли время от зубца Q ЭКГ до начала сигнала в каротидном (t1) и в бедренном бассейне (t2). Вычислялись медианы измеренного времени Me(t1) и Me(t2) и время распространения пульсовой волны $\Delta t = \text{Me}(t2) - \text{Me}(t1)$. Зная расстояние прохождения пульсовой волны - каротидно-бедренный сегмент – d или L, от которого рассчитывалось 80% с учётом данных экспертных консенсусов, и время распространения пульсовой волны вычисляли СРПВ, (1).

$$\text{СРПВ} = L / \Delta t \quad (1)$$

Статистическую обработку результатов исследования осуществляли с помощью пакета программ Statistica ver. 10.0 for Windows и Exel 2010. Проверка нормальности распределения проводилась с помощью критерия Вилкоксона, Колмогорова-Смирнова, Шапиро-Уилкса. В случае нормального распределения использовались методы параметрической статистики, при ненормальном распределении оценивались методы непараметрической статистики [2].

Для оценки специфичности и чувствительности диагностической модели для оценки жёсткости сосудов применялся ROC-анализ с расчётом площади под ROC-кривой. При анализе диагностической ценности используемых методов определялись следующие показатели:

$$\text{Чувствительность} = \{ \text{ИП} / (\text{ИП} + \text{ЛО}) \} \times 100$$

$$\text{Специфичность} = \{ \text{ИО} / (\text{ИО} + \text{ЛП}) \} \times 100$$

где ИП - истинно положительные результаты

ЛП – ложно положительные результаты

ИО – истинно отрицательные результаты

ЛО – ложно отрицательные результаты

Определение чувствительности и специфичности метода выполнялось путем построения и анализа характеристических кривых «ROC анализ». Как интегральный показатель прогностической ценности маркера в диагностике рассчитывалась площадь под рок-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 оценивались как низкая прогностическая значимость метода диагностики, 0,6-0,7 - средняя прогностическая значимость метода диагностики, 0,7-0,8 - хорошая прогностическая значимость метода диагностики, более 0,8 – как высокая прогностическая значимость метода диагностики.

Сопоставимость качественных показателей результатов двух методов определения СРПВ оценивали с помощью индекса «К» (Kappa). Согласование считали отличным в случае величины $K \geq 0,75$, хорошим - в случае $K \geq 0,41$ но $< 0,75$, плохим - в случае $K < 0,41$ с 95% доверительным интервалом (ДИ). [10].

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

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

В качестве референтных значений СРПВ использовали нормы, полученные в популяционном исследовании P. Boutouyrie (2010) и соавт. для

европейской популяции, учитывающие возраст и уровень артериального давления, по данным аппланационной тонометрии с использованием прибора SphygmoCor (Таблица 1.) [8].

Таблица 1. Нормальные значения СРПВ в зависимости от возраста по данным Boutouyrie P. и соавт.

Возраст, лет	СРПВ, м/с (медиана, 10-90 процентиля)
Меньше 30 лет	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)
Более 70 лет	10,6 (8,0-14,6)

Результаты

В проведённом нами исследовании отмечалось наличие сильной корреляционной связи между величинами СРПВ, полученными с помощью УЗ ДП и реографа «РеоКом» ($R=0.99$, $p<0,0001$) (Рис.4).

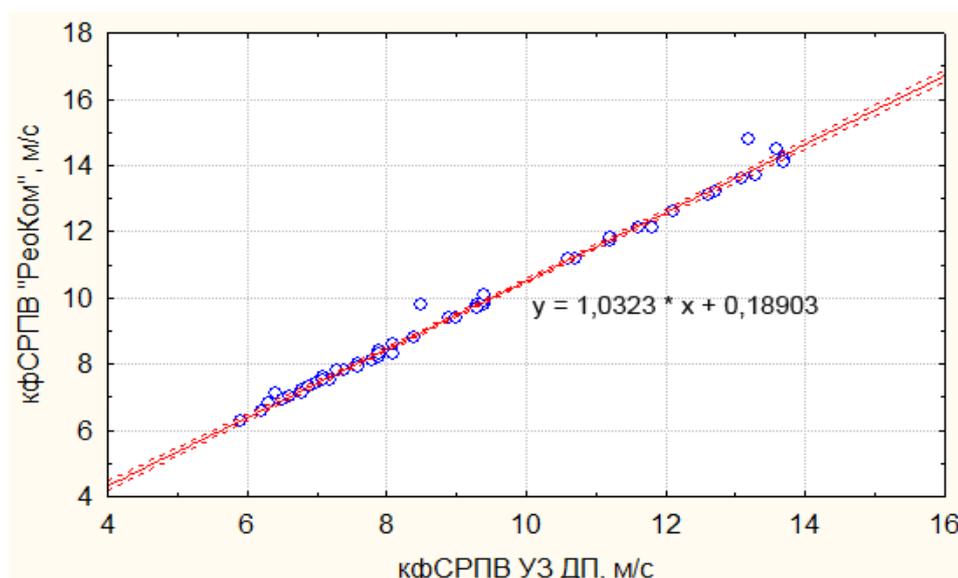


Рис.4. Сопоставление СРПВ, измеренной с помощью УЗ ДП методики и реографа «РеоКом»

Высокое значение коэффициента корреляции говорит о сильной линейной связи, однако для оценки согласованности методик этого недостаточно. С целью выявления согласованности результатов значений СРПВ, измеренных реографом «РеоКом» и УЗ ДП проводилась оценка сопоставимости методик по методу Бленда-Альтмана у 52 пациентов (Рис.5.).

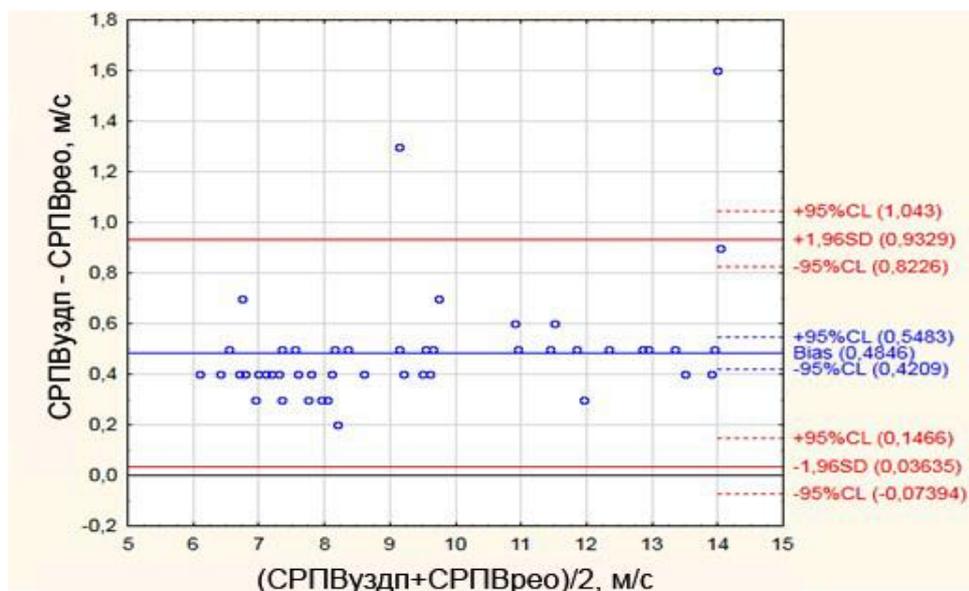


Рис.5. Диаграмма Бленда-Альтмана СРПВ, измеренная с помощью реографа «РеоКом», в сравнении с СРПВ, измеренной с помощью УЗ ДП методики.

Согласно диаграмме Бленда-Альтмана при измерении кфСРПВ с помощью реографа «РеоКом» и УЗ ДП значения разницы показателей при парных измерениях попадают в интервал $\pm 1,96$ SD 95%, а кроме того разница показателей имеет нормальное распределение и статистически недостоверно отличается от 0. Таким образом, измерения, полученные обоими способами, хорошо согласуются друг с другом (Рис.5.).

Также с целью выявления согласованности результатов расчета СРПВ, измеренной «РеоКом» были оценены внутриоператорская и межоператорская воспроизводимость по методу Бленда-Альтмана. Кроме того мы определяли коэффициент вариации у 30 пациентов при парных измерениях как одним оператором, так и двумя операторами. Кроме того, проводилось 30 парных измерений СРПВ с интервалом в 15 минут одним исследователем. Для

проведения теста межоператорской воспроизводимости было выполнено также по 30 парных измерений СРПВ двумя независимыми исследователями. Для исключения возможной ошибки попарные измерения с разницей в 15 минут проводились при одинаковых значениях артериального давления.

Согласно диаграмме Блэнда-Альтмана при измерении кфСРПВ с помощью реографа «РеоКом» при проведении измерений одним оператором значения разницы показателей при парных измерениях попадают в интервал $\pm 1,96 SD$ 95%, а кроме того разница показателей имеет нормальное распределение и статистически недостоверно отличается от 0. Таким образом, измерения, полученные при внутриоператорской оценке СРПВ с помощью реографа «РеоКом» хорошо согласуются друг с другом (Рис.6.).

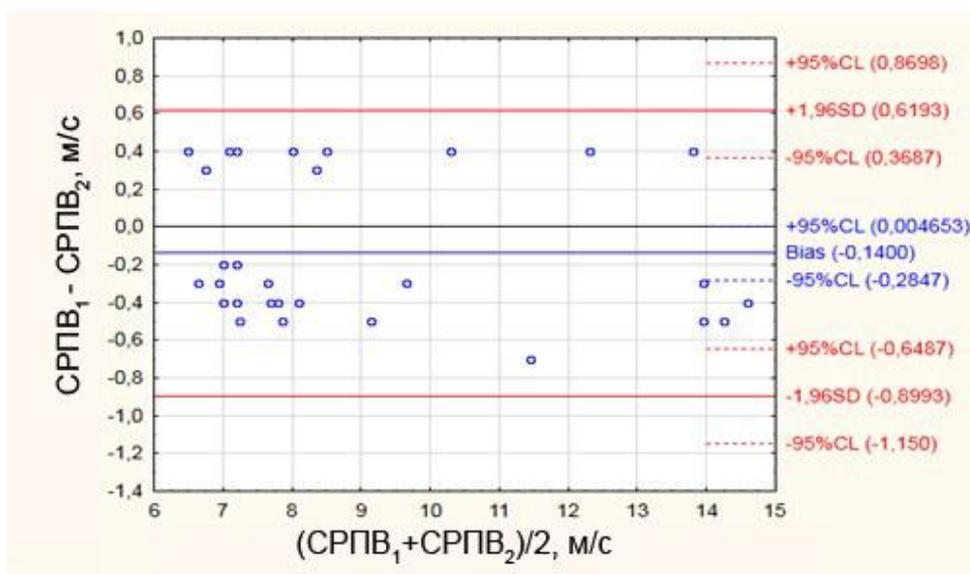


Рис.6. Диаграмма Блэнда-Альтмана (график Тюки разность-среднее) СРПВ, измеренная с помощью реографа «РеоКом» при проведении парных измерений внутриоператорской воспроизводимости методики.

Согласно диаграмме Блэнда-Альтмана при измерении кфСРПВ с помощью реографа «РеоКом» при проведении измерений двумя операторами значения разницы показателей при парных измерениях попадают в интервал $\pm 1,96 SD$ 95%, а кроме того разница показателей имеет нормальное распределение и статистически недостоверно отличается от 0. Таким образом, измерения, полученные при межоператорской оценке СРПВ с помощью реографа «РеоКом» хорошо согласуются друг с другом (Рис.7).

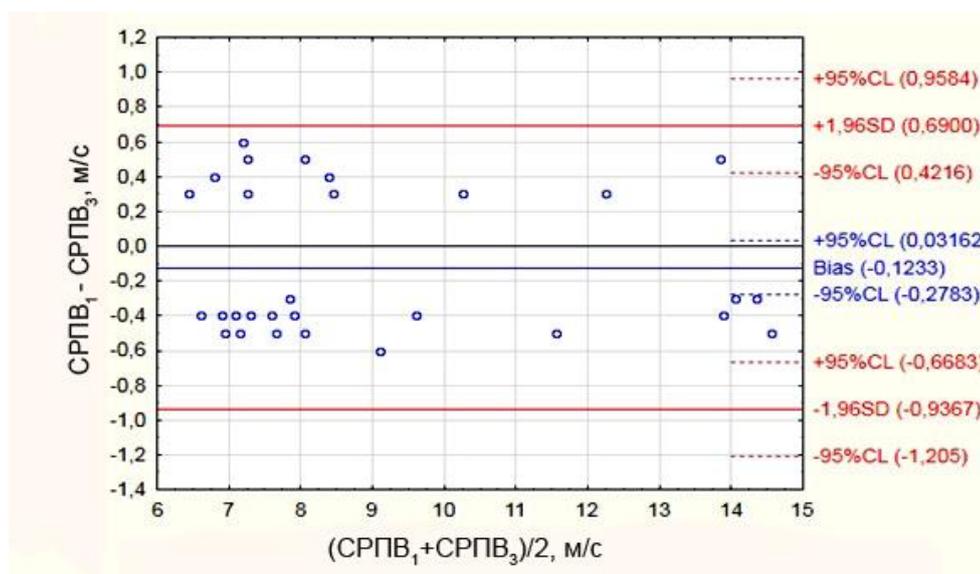


Рис.7. Диаграмма Блэнда-Альтмана (график Тюки разность-среднее) СРПВ, измеренная с помощью реографа «РеоКом» при проведении парных измерений межоператорской воспроизводимости методики.

Коэффициент вариации при внутриоператорской оценке СРПВ составил 4,28 %, при межоператорской оценке - 5,31%, что допустимо в рамках хорошо воспроизводимых медико-биологических измерений и свидетельствует об однородности полученных данных [4] (Табл.2.).

Таблица.2. Внутриоператорская и межоператорская воспроизводимость оценки каротидно-фemorальной скорости распространения пульсовой волны с использованием реографа «РеоКом».

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

Для оценки диагностической ценности определения СРПВ методом тетраполярной реографии с помощью «РеоКом» были определены его чувствительность, специфичность в отношении диагностики повышенной жесткости стенок артерий. Для этого у 52 обследованных, в числе которых 20

лиц контрольной группы была определена СРПВ с помощью реографа «РеоКом» и в качестве стандарта УЗ ДП методом.

Чувствительность и специфичность методики измерения СРПВ с помощью четырехканального реографа «РеоКом» для выявления повышенной сосудистой жесткости составили 95,3% и 91,7% соответственно (Рис. 8).

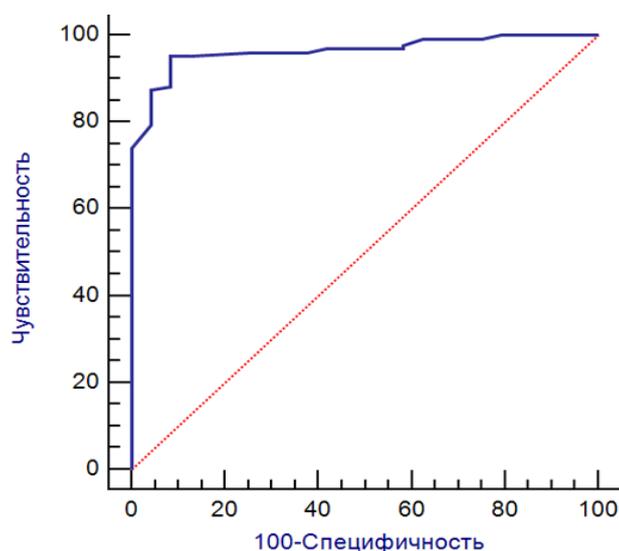


Рис.8. Чувствительность и специфичность измерения СРПВ с помощью реографа «РеоКом» в отношении выявления повышенной жесткостью сосудов.

Площадь под ROC кривой (AUC) - $0,964 \pm 0,0146$ (95% доверительный интервал: $0,921-0,988$; $p < 0,0001$) (Рис.8.).

Для оценки сопоставимости качественных показателей (наличие повышенной жесткости – да/нет) при парных измерениях, полученных с помощью реографа «РеоКом» и методики измерения СРПВ с помощью УЗ ДП рассчитывался индекс Каппа. Индекс Каппа составил $0,894 \pm 0,0158$, 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 УЗ ДП, а существующие данные сравнения результатов измерения СРПВ с помощью УЗ ДП с данными аппланационной тонометрии, позволяют ожидать сопоставимости полученных данных с помощью реографа «РеоКом» со специализированными для измерения СРПВ

аппаратами типа 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, и как следствие, СРПВ в отличии от УЗ ДП методики измерения, требующей для анализа расчёта 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.

Предложенный метод определения СРПВ доступен в повседневной клинической практике для широкого круга пациентов и может использоваться для скрининговых программ определения сердечно-сосудистого риска и разработке мер первичной профилактики сердечно-сосудистых заболеваний в нашей стране.

Вывод

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

Список литературы.

1. Бідучак А.С. Епідеміологічні особливості хвороб системи кровообігу в Україні й Чернівецькій області / А.С. Бідучак, І.Д. Шкробанець, С.І. Леонець // Буковинський медичний вісник. – Том 17. – № 3 (67). – ч. 2. – 2013. – С. 100-103.

2. Москаленко В.Ф., Гульчій О.П., Голубчиков М.В., Лєдошук БО., Лехан В.М., Огнєв В.А. Литвинова Л.О.. Максименко О.П., Тонковид О.Б./ За загальною редакцією члена-кореспондента АМН України, професора В.Ф. Москаленка / Біостатистика. – К.: Книга плюс, 2009. – 184 с.
3. Стабільна ішемічна хвороба серця: адаптована клінічна настанова, заснована на доказах. –2016. –К. – 177 с.
4. Трухачёва Н.В. Математическая статистика в медико-биологических исследованиях применением пакета Statistica. – М.: ГЭОТАР Медиа, 2012. – 384 с.
5. Уніфікований клінічний протокол первинної та вторинної (спеціалізованої) медичної допомоги: Стабільна ішемічна хвороба серця / Наказ МОЗ України від 02.03.2016 № 152. – 61 с.
6. Baguet J-P. Analysis of the regional pulse wave velocity by Doppler: methodology and reproducibility / J-P. Baguet, B.A. Kingwell, A.L. Dart et al. // Journal of Human Hypertension. –2003. –Vol.17. – P. 407 – 412.
7. Bland J.M., Altman D.G. Statistical method for assessing agreement between two methods of clinical measurement // Lancet. — 1986. — P. 327:307-10.
8. Boutouyrie P. Determinants of pulse wave velocity in healthy people and in the presence of cardiovascular risk factors: 'establishing normal and reference values' / Boutouyrie P. et al. // European Heart Journal. – 2010. – Vol.31, Suppl. 19. – P.2338 –50.
9. Calabria J. Doppler ultrasound in the measurement of pulse wave velocity: agreement with the Complior method / J. Calabria, P.Torguet, M.Garcia, I.Garcia Cardiovasc Ultrasound. –2011. – Vol.9. – P.13.
10. Cohen J. A coefficient of agreement for nominal scales //Educ. Psychol. Meas. — 1960. — Vol. 20. — P. 37–46.
11. Davies J.M. Pulse wave velocity and the non-invasive methods used to assess it: Complior, SphygmoCor, Arteriograph and Vicorder / J.M. Davies, M.A. Bailey, K.J. Griffin, D.J. Scott // Vascular. –2012. –Vol.20, Suupl.6. –P.342-9.

12. Jiang B. Measurement of pulse wave velocity using pulse wave doppler ultrasound: comparison with arterial tonometry / B. Jiang, B. Liu, K.L. McNeill, P.J. Chowienczyk // *Ultrasound in Medicine and Biology*. – 2008. – Vol. 34, Suppl.3. – P. 509–512.
13. Khoshdel A.R. Estimation of an age-specific reference interval for pulse wave velocity: a meta-analysis / A.R. Khoshdel, A. Thakkinstian, S.L. Carney, J. Attia // *Journal of Hypertension*. –2006. – Vol.24, Suppl.7. –P.1231 –7.
14. Kilic H. An invasive but simple and accurate method for ascending aorta-femoral artery pulse wave velocity measurement / H. Kilic, S. Yelgec, O. Salih // *Blood Press*. – 2013. – Vol.22, Suppl.1. – P.45 – 50.
15. Laurent S. European Network for Non-invasive Investigation of Large Arteries. Expert consensus document on arterial stiffness: methodological issues and clinical applications / S. Laurent, J. Cockcroft, L.Van Bortel, et al. // *European Heart Journal*. – 2006. – Vol.27. – P. 2588 – 2605.
16. Mancia G. 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) / G. Mancia, G. De Backer, A. Dominiczak // *Journal of Hypertension*. – 2007. – Vol.25. – P.1105 – 1187.
17. Mancia G. ESH/ESC guidelines for the management of arterial hypertension / G. Mancia, R. Fagard, K. Narkiewicz, et al. // *European Heart Journal*. – 2013. – Vol. 34. – P. 2159 – 2219.
18. Mihalcea D.J. Comparison of pulse wave velocity assessed by three different techniques: Arteriograph, Complior, and Echo-tracking / D.J. Mihalcea, M.Florescu, B.M. Suran et al. // *Heart Vessels*. –2016. – Vol.31. –4. – P.568 –77.
19. Mitchell G.F. Arterial stiffness and cardiovascular events: The Framingham Heart Study / G.F. Mitchell, Sh-J. Hwang, R.S. Vasan // *Circulation*. – 2010. – Vol.121. – Vol.4. – P. 505–11.
20. Rajzer M.W. Comparison of aortic pulse wave velocity measured by three techniques: Complior, SphygmoCor and Arteriograph / M.W. Rajzer, W.

- Wojciechowska, M. Klocek, I. Palka, M. Brzozowska-Kiszka, K. Kawecka-Jaszcz // *Journal of Hypertension*. –2008. – Vol.26, Suppl.10. –P.2001 –7.
- 21.Salvi P. Comparative study of methodologies for pulse wave velocity estimation / P. Salvi, E. Magnani, F. Valbusa // *Journal of Human Hypertension*. – 2008. – Vol.22, Suppl.10. – P.669 – 677.
- 22.Shahin Y. The Vicorder device compared with SphygmoCor in the assessment of carotid-femoral pulse wave velocity in patients with peripheral arterial disease / Y. Shahin, H.Barakat, R. Barnes, I. Chetter // *Hypertension Research*. – 2013. – Vol.36, Suppl.3. – 208 – 12.
- 23.Stea F. Comparison of the Complior Analyse device with Sphygmocor and Complior SP for pulse wave velocity and central pressure assessment / F. Stea, E. Bozec, S. Millasseau, H. Khettab, P. Boutouyrie, S. Laurent // *Journal of Hypertension*. – 2014. – Vol.32, Suppl.4. –873-80.
- 24.Sugawara J. Carotid-Femoral Pulse Wave Velocity: Impact of Different Arterial Path Length Measurements / J. Sugawara, K. Hayashi, T. Yokoi // *Artery Research*. – 2010. – Vol. 4, Suppl.1. – P. 27–31.
- 25.Townsend RR, Wilkinson IB, Schiffrin EL, et al. Recommendations for Improving and Standardizing Vascular Research on Arterial Stiffness: A Scientific Statement from the American Heart Association. *Hypertension*. 2015;66(3):698-722. doi:10.1161/HYP.0000000000000033.
- 26.Van Bortel L. Expert consensus document on arterial stiffness: methodological issues and clinical applications / L. Van Bortel et al. // *European Heart Journal*. – 2006. – Vol.27, Suppl.21. –P.2588–2605.
- 27.Van Bortel L.M. Expert consensus document on the measurement of aortic stiffness in daily practice using carotid-femoral pulse wave velocity / Van Bortel L.M., Laurent S., Boutouyrie P. et al. // *Journal of Hypertension*. – 2012. – Vol.30, Suppl.3. – P. 445– 448.
- 28.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 / T. Weber, M. Ammer, M. Rammer et al.
// Journal of Hypertension. – 2009. – Vol.27, Suppl.8. – P.1624-1630.
29. Wilkinson I. B. ARTERY Society guidelines for validation of non-invasive haemodynamic measurement devices: Part 1, arterial pulse wave velocity / I.B. Wilkinson, C.M. McEniery, G. Schillaci // Artery Research. – 2010. – Vol. 4, – P.34 – 40.
30. Willum-Hansen T. Prognostic value of aortic pulse wave velocity as index of arterial stiffness in the general population / T. Willum-Hansen, J.A. Staessen, C. Torp-Pedersen et al. // Circulation. – 2006. – Vol.113. – P.664 – 70.
31. Wohlfahrt P. Lower-extremity arterial stiffness vs. aortic stiffness in the general population / P. Wohlfahrt, A. Krajčoviechová, J. Seidlerová // Hypertension Research. – 2013. – Vol.36, Suppl.8. – P.718 –724.