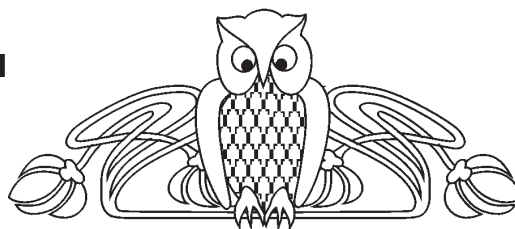




УДК 53.043:577.38

Индекс отражения пульсовой волны у юных спортсменов

Ан. В. Скрипаль, А. С. Бахметьев, Н. Б. Брилёнок, С. Ю. Добдин, А. А. Сагайдачный, Р. Т. Баатыров, А. Д. Усанов, А. С. Тихонова



Скрипаль Анатолий Владимирович, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой медицинской физики, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, skripalav@info.sgu.ru

Бахметьев Артем Сергеевич, кандидат медицинских наук, доцент кафедры лучевой диагностики и лучевой терапии имени Н. Е. Штерна, Саратовский государственный медицинский университет имени В. И. Разумовского, bakhmetev.artem@yandex.ru

Брилёнок Наиля Булатовна, кандидат философских наук, заведующий кафедрой физического воспитания и спорта, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, brilenoknb@yandex.ru

Добдин Сергей Юрьевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры физики твёрдого тела, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, dobbinsy@info.sgu.ru

Сагайдачный Андрей Александрович, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры медицинской физики, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, andsag@yandex.ru

Баатыров Рахим Таалайбекович, аспирант кафедры медицинской физики, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, rahim_baatyrov@mail.ru

Усанов Андрей Дмитриевич, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры медицинской физики, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, aka_norton@mail.ru

Тихонова Антонина Сергеевна, магистрант кафедры медицинской физики, Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н. Г. Чернышевского, pruss1525@gmail.com

Представлены результаты анализа индексов отражения пульсовой волны, измеренные по зависимостям давления в артериальном русле методом сфигмографии в области плечевой артерии. Установлено, что, по сравнению с группой нетренированных испытуемых, индексы отражения, измеренные у спортсменов, показывающих высокие спортивные результаты, после снятия плечевой манжеточной окклюзии имеют более высокие значения, чем до окклюзии. Изменение индекса отражения характеризуется немоной динамикой, проявляющейся в первоначальном росте, а затем снижении до значения, близкого к исходному. Обсуждается связь амплитуды обратной волны с функциональными свойствами глад-

комышечного слоя артериальных сосудов спортсменов и возможное влияние толщины эндотелиального гликокаликса на результаты окклюзионной пробы.

Ключевые слова: пульсовая волна, индекс отражения, окклюзионная проба, гладкомышечный слой, гликокаликс, спортивная медицина.

Поступила в редакцию: 28.02.2020 / Принята: 20.03.2020 / Опубликовано: 01.06.2020

Статья опубликована на условиях лицензии Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

DOI: <https://doi.org/10.18500/1817-3020-2020-20-2-125-133>

Введение

Индекс отражения представляет собой отношение амплитуд обратной волны в диастоле к амплитуде прямой волны в систоле, формирующимися в артериальном русле кровеносной системы. Этот параметр используется для определения артериальной гипертензии в основном у взрослых пациентов и характеризует степень развития атеросклероза [1, 2]. Согласно современным представлениям в развитии систолической артериальной гипертензии ведущую роль играет преждевременное возвращение отраженной от мест ветвления артерий и резистивных сосудов пульсовой волны [3–5].

Основными методами диагностики артериальных и периферических сосудов являются ультразвуковая доплерография [6], фотоплетизмография [2], реография [7] и сфигмография [8]. Для визуализации состояния сосудистой системы спортсменов получили развитие методы дуплексного ультразвукового сканирования артериального русла [9–11], магниторезонансной томографии [12], тепловизионной диагностики сосудистого русла [13, 14]. Однако развитие методов диагностики артериальной сосудистой системы, требующих технически сложной и дорогостоящей системы визуализации и измерения сосудистого русла, вступает в противоречие с принципами развития скрининговой диагностики.

У юных спортсменов сердечно-сосудистая система подвержена функциональным изменениям, связанным с увеличением как вазодилаторной емкости сосудов, так и увеличением



вазоконстрикции [15–17]. Для скрининг диагностики функциональных изменений сосудистой системы спортсменов может быть использован сфигмографический метод регистрации индекса отражения, который может характеризовать изменение тонуса гладкомышечной стенки сосуда при функциональной нагрузке. При этом окклюзионная проба, проводимая, например, в области плеча, создает условия кратковременной ишемии тканей конечности так же, как и физическая нагрузка, во время которой увеличивается потребность тканей в кислороде. Поэтому местную реакцию организма на окклюзионную пробу, проводимую в области конечности, в некотором смысле можно соотносить с реакцией организма на общую физическую нагрузку. Таким образом, для мониторинга процесса адаптации сердечнососудистой системы спортсменов к физической нагрузке и количественной оценки прогресса тренировок актуальным является разработка соответствующего метода функциональной диагностики.

Цель работы – установление закономерностей изменения индекса отражения пульсовой волны у юных спортсменов, имеющих высокий спортивный статус, после проведения окклюзионной пробы.

Материал и методы исследования

Регистрация и анализ формы пульсовой волны проводились с использованием программно-аппаратного комплекса (рис. 1), включающего следующие элементы: инженерная станция для регистрации аналогового сигнала NI ELVIS (National Instruments, США) 1; блок аналого-цифрового преобразователя (ADC) на основе NI USB DAQmx – устройства 2; блок для создания компрессии и регистрации давления (манжета, резиновая груша, манометр, датчик давления MPX5050GP (Freescale Semiconductor, США) 3; персональный компьютер 4; программное обеспечение для создания виртуальных приборов LabView 8.5.

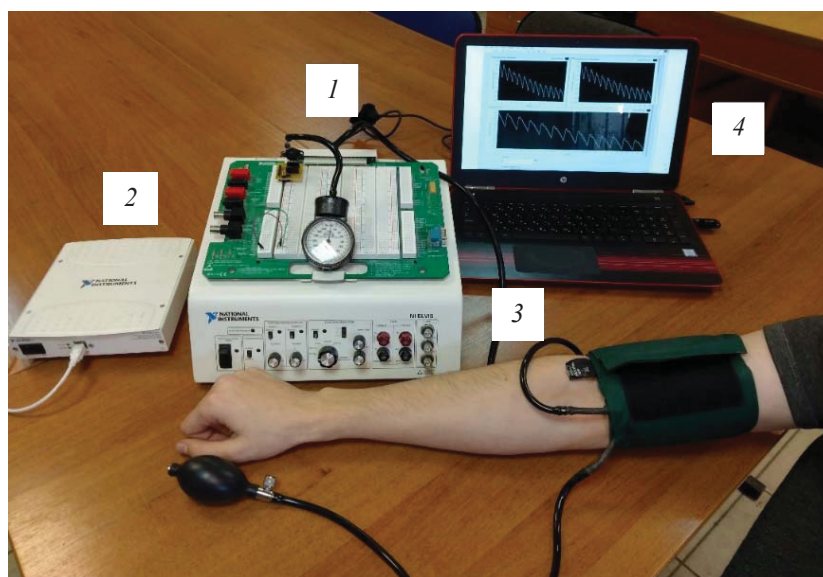


Рис. 1. Программно-аппаратный комплекс для регистрации пульсовой волны и расчёта индекса отражения до и после окклюзионного теста

Fig. 1. Hardware- software complex for registration of the pulse wave and calculation of the reflection index before and after occlusion test

Регистрация пульсовой волны осуществлялась методом сфигмографии следующим образом. Испытуемый располагался в положении сидя; манжету фиксировали в области плеча, нагнетали давление в ней до диастолического и регистрировали форму пульсовой волны до окклюзионного теста. Затем в манжете нагнетали давление на 30–40 мм рт. ст. выше систолического с целью создания полной артериовенозной

окклюзии на 3 мин. Непосредственно сразу после снятия окклюзии и сброса давления в манжете до диастолического проводили регистрацию формы пульсовой волны в течение 30 с. Полученные данные сохранялись в памяти компьютера.

На рис. 2 показаны этапы обработки оцифрованного сигнала и расчёта индекса отражения до и после окклюзионного теста в программе LabView 8.5.

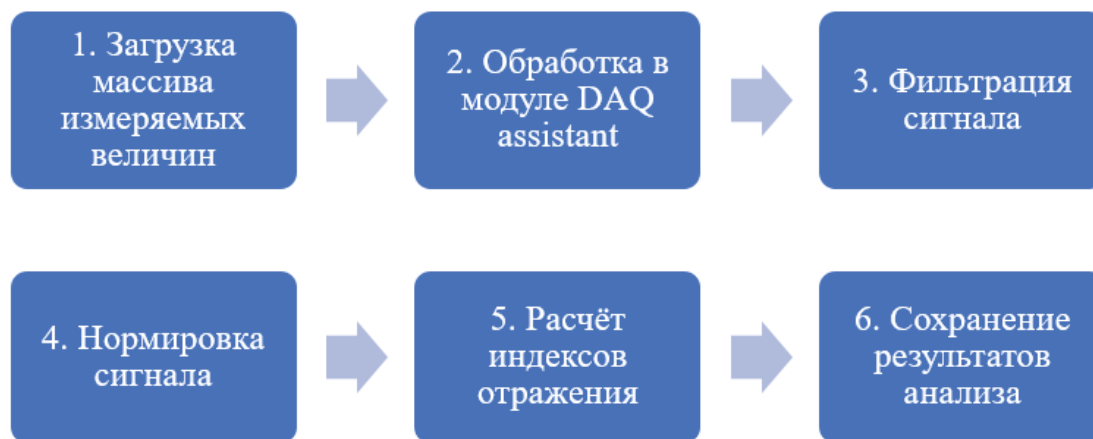


Рис. 2. Блок-схема обработки оцифрованного сигнала и расчёта индекса отражения
 Fig. 2. Block diagram for processing a digitized signal and calculating the reflection index

На этапе 1 происходит загрузка массива измеряемых величин в программу для предварительной обработки. Этап 2 включает использование модуля DAQ assistant с частотой дискретизаций 1 кГц, который преобразует напряжение от пневмодатчика MPX5050GP (мВ) в давление (мм рт.ст.) по калибровочным зависимостям. Преобразованный сигнал фильтруется от шумов (этап 3) и нормируется по минимальному и максимальному значению на каждом кардиоинтервале пульсовой волны в диапазоне значений от 0 до 1 (этап 4). Расчёт индекса отражения пульсовой волны проводится на этапе 5 для каждого кардиоинтервала пульсовой волны и сохраняется в отдельный файл для каждого испытуемого (этап 6).

Индекс отражения (RI) определялся методом контурного анализа периферической пульсовой волны через отношение амплитуды обратной волны P_{\min} к амплитуде прямой волны P_{\max} [1, 2], используя выражение

$$RI = \frac{P_{\min}}{P_{\max}}.$$

Для обследования были выбраны две группы 16-летних пациентов: группа из 15 спортсменов, занимающихся греблей на байдарках и каноэ, имеющих высокие спортивные разряды, и контрольная группа, включающая 15 обследуемых без выявленных сердечно-сосудистых патологий. Перед началом диагностической процедуры каждому испытуемому измеряли артериальное давление на автоматическом тонометре и антропометрические показатели (рост, массу тела). Обследование проводилось после двухчасового отдыха спортсменов.

Письменное информированное согласие было получено от всех участников, а также обследуемые были ознакомлены с процедурой проведения исследования и проинформированы о его безопасности или возможных негативных последствиях. Исследование одобрено этическим комитетом Саратовского государственного медицинского университета имени В. И. Разумовского.

Результаты исследования

Результаты измерений формы пульсовой волны для 16-летнего спортсмена, имеющего звание кандидата в мастера спорта по гребле на байдарках и каноэ, при диастолическом давлении в манжете 70 мм рт.ст. приведены на рис. 3: a – до окклюзионного теста, b – после окклюзионного теста. Точками на рисунке обозначены значения амплитуд давления, используемых для расчета индекса отражения, P_{\min} – амплитуда обратной волны, P_{\max} – амплитуда прямой волны.

Как следует из результатов анализа, у этого спортсмена после трехминутного окклюзионного теста индекс отражения имеет более высокие значения, чем до теста, и характеризуется немонотонной динамикой, проявляющейся в первоначальном росте, а затем снижении к близкому к исходному значению. На рис. 4 приведена усредненная по 15 спортсменам динамика изменения индекса отражения до (2) и после (4) окклюзионного теста. На зависимостях показан разброс значений, вычисленный по среднему квадратическому отклонению.

Как видно из рис. 4, через несколько секунд после снятия окклюзии наблюдается макси-

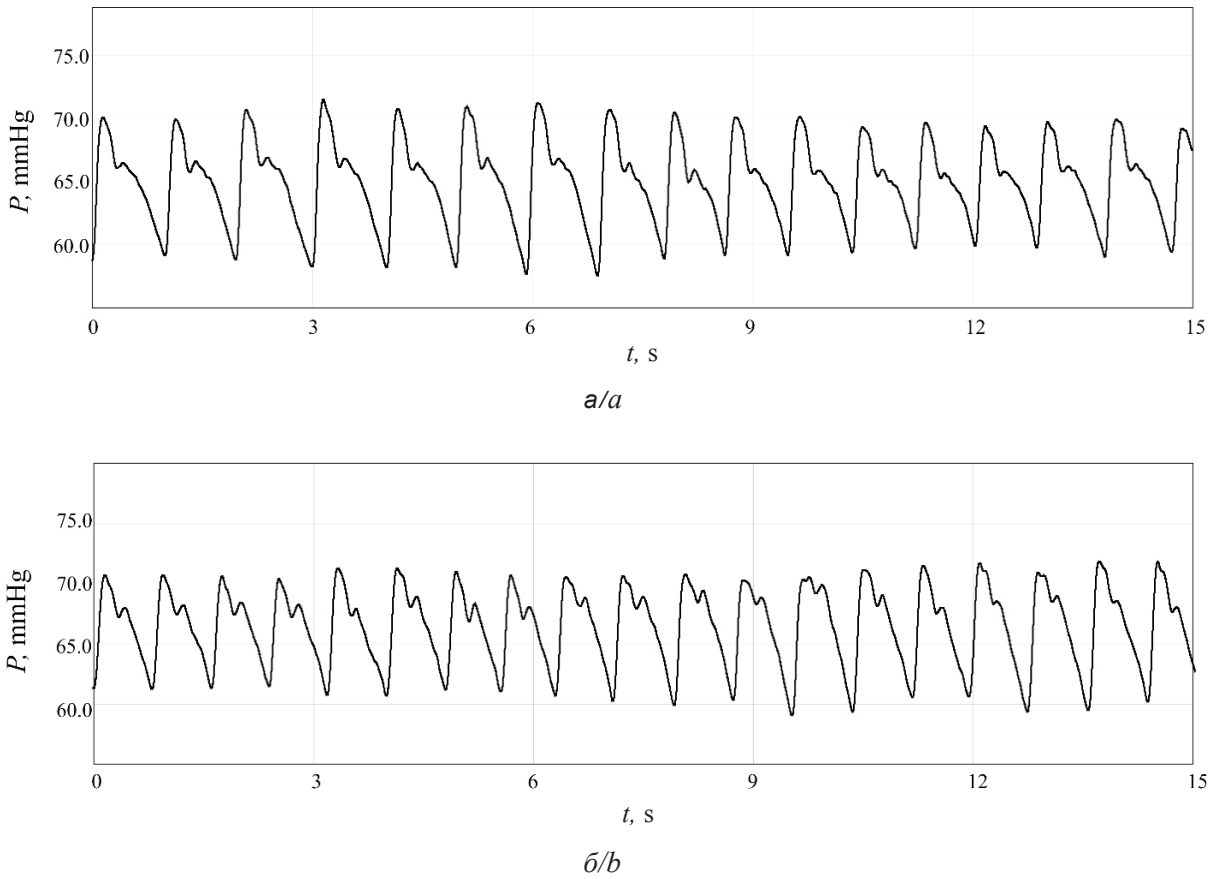


Рис. 3. Пульсовая волна 16-летнего спортсмена: *a* – до окклюзионного теста, *б* – после окклюзионного теста
Fig. 3. Pulse wave of a 16-year-old athlete: *a* – before the occlusion test, *b* – after the occlusion test

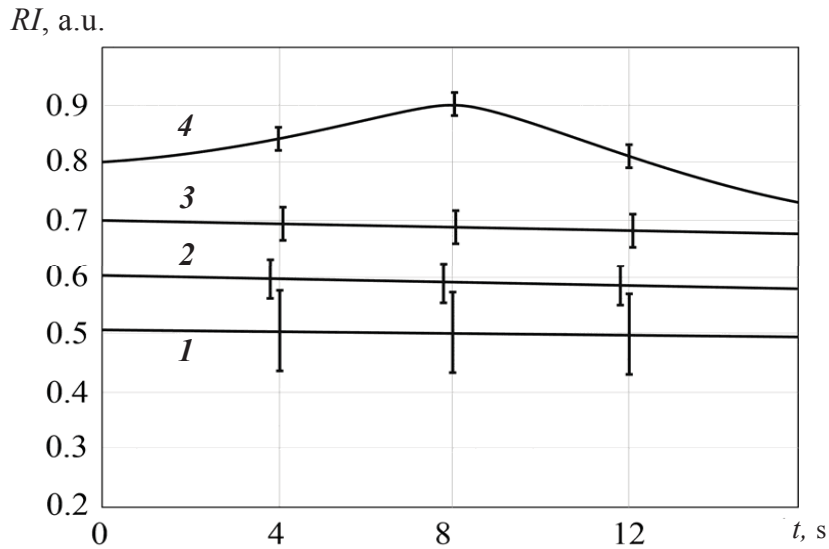


Рис. 4. Зависимости изменения индекса отражения от времени до 1, 2 и после 3, 4 окклюзионного теста: 1, 3 – для не спортивной группы обследуемых без выявленных сердечно-сосудистых патологий, 2, 4 – для группы юных спортсменов
Fig. 4. Dependences of changes in the reflection index before 1, 2 and after 3, 4 occlusion test: 1, 3 – for a non- sports group of subjects without detected cardiovascular pathologies, 2, 4 – for a group of young athletes



мум индекса отражения с последующей тенденцией к его возвращению к исходному значению. При этом уменьшается разброс значений, вычисленный по среднему квадратическому отклонению.

Следует заметить, что повышенное исходное значение индекса отражения в группе спортсменов может быть вызвано повышенным уровнем стресса испытуемых. Для выбранной группы спортсменов, ведущих активный тренировочный

процесс, двухчасовой отдых после тренировки может быть недостаточным для полного восстановления.

Результаты измерений формы пульсовой волны для 16-летнего обследуемого, не страдающего сердечно-сосудистой патологией, входящего в контрольную группу, при диастолическом давлении в манжете 65 мм рт.ст. приведены на рис. 5: *a* – до окклюзионного теста, *b* – после окклюзионного теста.

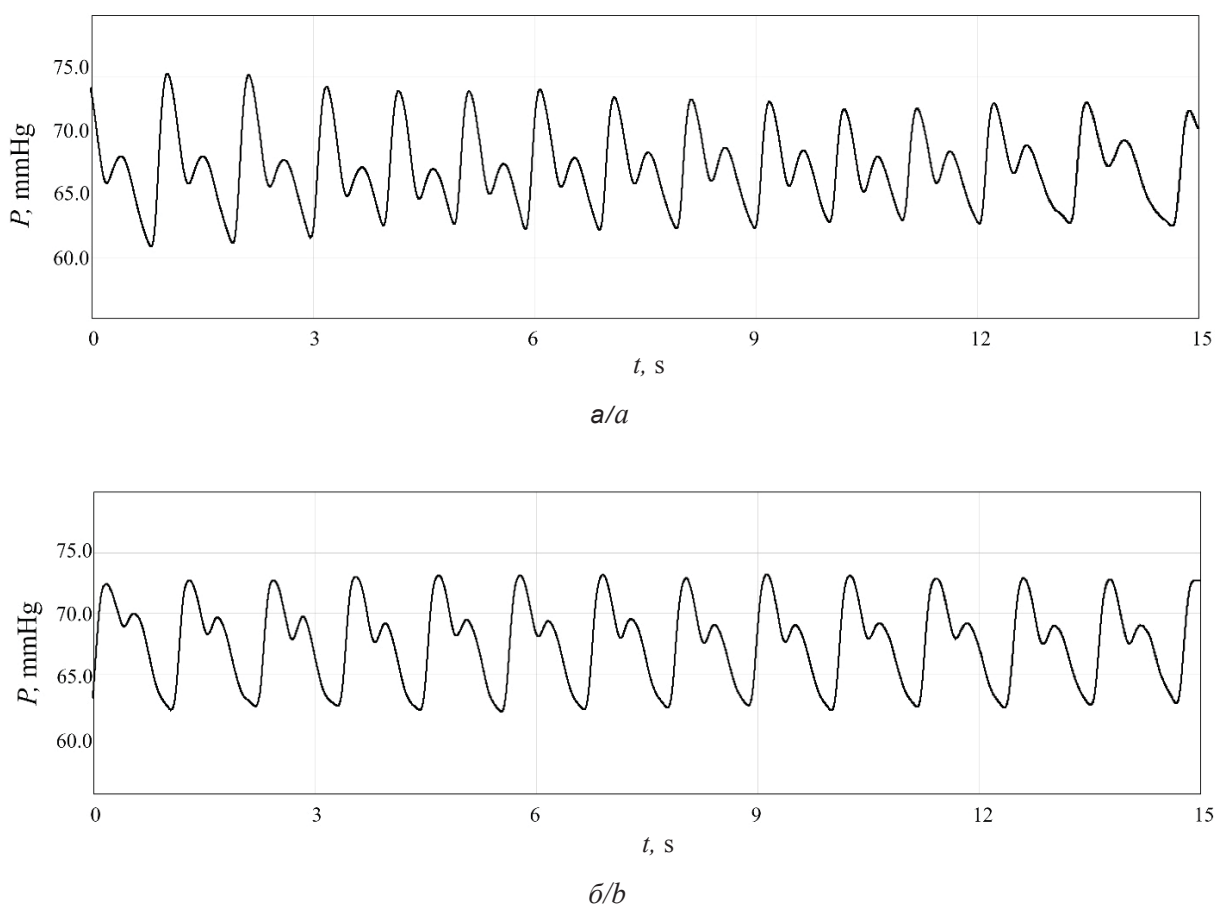


Рис. 5. Пульсовая волна 16-летнего обследуемого, не страдающего сердечно-сосудистой патологией: *a* – до окклюзионного теста, *b* – после окклюзионного теста

Fig. 5. Pulse wave of a 16-year-old subject who does not suffer from cardiovascular disease: *a* – before the occlusion test, *b* – after the occlusion test

Как следует из результатов анализа, у обследуемого из не спортивной группы обследуемых без выявленных сердечно-сосудистых патологий сразу после трехминутного окклюзионного теста индекс отражения имеет повышенное значение и медленно уменьшается без проявления немонотонной динамики. При этом динамика возврата индекса отражения в исходное значение растягивалась до 60 с.

На рис. 4 приведена зависимость изменения индекса отражения от времени до (1) и после (3) окклюзионного теста для не спортивной группы обследуемых без выявленных сердечно-сосудистых патологий. Видно, что после снятия окклюзии наблюдается небольшое увеличение усредненного по 15 пациентам значения индекса отражения с последующей тенденцией к его возвращению к исходному значению. При этом



также уменьшается разброс значений, вычисленный по среднему квадратическому отклонению.

Статистическую обработку результатов проводили с помощью программы Statistica 13.0. Данные на рис. 4 представлены в виде зависимости среднего значения показателя в выборке от времени и разброса значений, вычисленного по среднему квадратическому отклонению в выборке. Существенность различий средних величин оценивали по критерию Стьюдента. Критический уровень значимости p при проверке статистических гипотез принимался равным 0.05.

Полученные результаты свидетельствуют, что измерение индекса отражения без окклюзии не дает достоверных отличий признаков функционального изменения артериальных сосудов, в то время как проведение трехминутного окклюзионного теста позволяет получить существенные отличия в значениях индекса отражения при значении критического уровня значимости $p < 0.05$.

Обсуждение

Проведенные измерения показали, что индексы отражения у юных спортсменов, измеренные сразу после окклюзионной пробы, имеют более высокие значения, чем до теста, и характеризуется немонотонной динамикой, проявляющейся в первоначальном росте, а затем снижении к близкому к исходному значению. У неспортивной группы обследуемых без выявленных сердечно-сосудистых патологий сразу после трехминутного окклюзионного теста индекс отражения имеет повышенное значение и медленно уменьшается без проявления немонотонной динамики. При этом время возврата индекса отражения в исходное значение увеличивалось до 60 с.

Обнаруженные закономерности трудно объяснить с точки зрения отражения объема крови, проходящего по аорте и крупным магистральным артериям от бифуркаций сосудов.

Известно, что отличительной особенностью организма спортсменов является постепенное ремоделирование стенки артериальных сосудов, происходящее под воздействием повышенных физических нагрузок. Процесс ремоделирования сопровождается, в том числе, изменением функциональных свойств гладкомышечной стенки сосудов. Степень влияния функционального состояния гладкомышечной стенки на тонус сосуда постепенно увеличивается на пути движения крови от левого желудочка через аорту, крупные, мелкие артерии и артериолы.

Организм спортсменов, по сравнению с организмом нетренированных людей, во время физической нагрузки должен обеспечивать в значительной степени большую пропускную способность артериальных сосудов для обеспечения адекватного объемного кровотока через работающие скелетные мышцы, а также более быструю адаптацию сосудистой системы к увеличению нагрузки. Этим может объясняться увеличение индекса отражения у спортсменов при резком увеличении скорости кровотока после снятия окклюзии (см. рис. 4) с постепенным снижением индекса, свидетельствующем об адаптации тонуса сосудов к уровню нагрузки.

Кроме этого, как было установлено [18, 19], у спортсменов чувствительность гладкомышечного слоя сосудов к основному вазодилататору – оксиду азота – повышена. При этом, по данным [20], постоянные физические нагрузки могут включать как структурную перестройку сосудов (ангиогенез, ремоделирование), так и функциональную адаптацию, включающую фенотипическое изменение гладкомышечного слоя сосудов и эндотелиальных клеток.

Также следует учитывать возможное воздействие регулярных физических нагрузок на формирование слоя гликокаликса, который, по современным представлениям, играет определяющую роль в обеспечении механочувствительности эндотелия [21, 22], а именно: движущийся поток крови создает напряжение сдвига, воздействующее на стенку сосуда, при этом слой эндотелиального гликокаликса опосредует это воздействие на эндотелий и является своеобразным детектором величины напряжения сдвига. При повреждении слоя гликокаликса возникает снижение дилататорного ответа сосуда на повышение скорости кровотока [23]. Физические тренировки, напротив, оказывают положительное воздействие на увеличение дилататорного ответа плечевой артерии после снятия окклюзии, как было показано на группе нормальных испытуемых [24]. Таким образом, у обследованной нами группы спортсменов более выраженная динамика тонуса сосудов и индекса отражения после снятия окклюзии, на наш взгляд, может объясняться как увеличением толщины слоя гликокаликса вследствие регулярных физических тренировок, так и увеличенной скоростью кровотока у спортсменов до и после окклюзии по сравнению с группой нетренированных испытуемых. Проверка данных предположений может являться темой отдельного исследования.



Заключение

Сфигмографическое исследование реакции плечевой артерии спортсменов на окклюзионную пробу показало наличие немонотонной динамики индекса отражения пульсовой волны. Параметры кривой изменения индекса отражения могут использоваться как для характеристики текущего уровня адаптации артериальной системы спортсменов к физической нагрузке, так и для мониторинга изменения функциональных свойств сосудов в процессе серии тренировок. Установленные закономерности изменения индекса отражения трудно объяснить при использовании представлений о дополнительной волне сфигмограммы как волне, отраженной от бифуркаций дистально расположенных артерий. Поэтому вопрос о природе и механизмах формирования отраженной волны в артериальной сосудистой системе остается открытым.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 19-32-90072).

Список литературы

1. Иванов С. В., Рябиков А. Н., Малютин С. К. Жесткость сосудистой стенки и отражение пульсовой волны в связи с артериальной гипертензией // Сиб. науч. мед. журн. 2008. № 3. С. 9–12.
2. Калакутский Л. И., Федотов А. А. Диагностика дисфункции сосудистого эндотелия методом контурного анализа пульсовой волны // Изв. ЮФУ. Техн. науки. 2009. Т. 98, № 9. С. 93–98.
3. Сторожаков Г. И., Верещагина Г. С., Червякова Ю. Б., Федотова Н. М. Оценка эластических свойств артериальной стенки у больных артериальной гипертензией молодого возраста // Артериальная гипертензия. 2005. Т. 11, № 1. С. 17–20. DOI: 10.18705/1607-419X-2005-11-1-17-20
4. Ревенко С. В. Гармонические перспективы реографии // Нервно-мышечные болезни. 2012. № 4. С. 8–19. DOI: 10.17650/2222-8721-2012-0-4-8-18
5. Погодина М. В., Милягина И. В. Объемная сфигмография – один из значимых методов определения артериальной жесткости у больных терапевтического профиля // Вестн. Смол. гос. мед. академии. 2017. Т. 16, № 2. С. 101–106.
6. Кузьменко Е. А., Кривенко Л. Е., Шишкин В. П. Роль цветового дуплексного сканирования в выявлении субклинического атеросклероза брахиоцефальных артерий у больных гипертонической болезнью // Здоровье. Медицинская экология. Наука. 2012. Т. 47–48, № 1–2. С. 198–201.
7. Вихерт Т. А., Арзамасов К. М. Современные направления ультразвукового метода исследования артерий и периферического кровообращения // Вестн. С.-Петерб. ун-та. Сер. 11. 2013. Вып. 1. С. 161–166.
8. Кривошеева Н. В. Применение ультразвукового исследования в клинической практике при обследовании артериального русла нижней конечности у пациентов пожилого и старческого возраста с сахарным диабетом типа 2 // Клиническая геронтология. 2017. Т. 23, № 3–4. С. 32–39.
9. Кремнева Е. И., Коновалов Р. Н., Кротенкова М. В. Функциональная магнитно-резонансная томография // Анналы клинической и экспериментальной неврологии. 2011. Т. 5, № 1. С. 30–34.
10. Ключикин И. В., Фатыхов Р. И. Современные методы диагностики при синдроме диабетической стопы // Казан. мед. журн. 2012. Т. 93, № 2. С. 298–301.
11. Усанов Д. А., Скрипаль Ан. В., Протопопов А. А., Сагайдачный А. А., Рытик А. П., Мирошниченко Е. В. Оценка функционального состояния кровеносных сосудов по анализу температурной реакции на окклюзионную пробу // Саратов. науч.-мед. журн. 2009. Т. 5, № 4. С. 554–558.
12. Cioni G., Berni A., Gensini G. F., Abbate R., Boddi M. Impaired Femoral Vascular Compliance and Endothelial Dysfunction in 30 Healthy Male Soccer Players : Competitive Sports and Local Detrimental Effects // Sports Health. 2015. Vol. 7, iss. 4. P. 335–340. DOI: 10.1177/1941738115577931
13. Green D. J., Spence A., Rowley N., Thijssen D. H., Naylor L. H. Why isn't flow-mediated dilation enhanced in athletes? // Med. Sci. Sport. Exerc. 2013. Vol. 45, iss. 1. P. 75–82.
14. Кудря О. Н., Кирьянова М. А., Капилевич Л. В. Особенности периферической гемодинамики спортсменов при адаптации к нагрузкам различной направленности // Бюл. сиб. медицины. 2012. Т. 11, № 3. С. 48–52.
15. Бойцов С. А. Что нового дает нам информация о жесткости стенки артерий и об отраженной пульсовой волне? // Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. 2009. Т. 95, № 5. С. 516–531.
16. Фролов А. В., Сидоренко Г. И., Воробьев А. П., Мельникова О. П., Гуль Л. М. Прямая и отраженная пульсовые волны: методы исследования // Кардиология в Беларуси. 2009. № 5 (6). С. 99–108.
17. Федотов А. А. Помехоустойчивость методик контурного анализа пульсовой волны // Измерительная техника. 2019. Т. 62, № 3. С. 64–67. DOI: 10.32446/0368-1025it.2019-3-64-67
18. Walther G., Nottin S., Karpoff L., Pérez-Martin A., Dauzat M., Obert P. Flow-mediated dilation and exercise-induced hyperaemia in highly trained athletes : comparison of the upper and lower limb vasculature // Acta Physiologica. 2008. Vol. 193, iss. 2. P. 139–150. DOI: 10.1111/j.1748-1716.2008.01834.x
19. Green D. J., Spence A., Rowley N., Thijssen D. H., Naylor L. H. Vascular adaptation in athletes: is there an 'athlete's artery'? // Experimental Physiology. 2012. Vol. 97,



- iss. 3. P. 295–304. DOI: 10.1113/expphysiol.2011.058826
20. Padilla J., Simmons G. H., Bender S. B., Arce-Esquivel A. A., Whyte J. J., Laughlin M. H. Vascular effects of exercise : endothelial adaptations beyond active muscle beds // *Physiology (Bethesda)*. 2011. Vol. 26, № 3. P. 132–145. DOI: 10.1152/physiol.00052.2010
21. Weinbaum S., Zhang X., Han Y., Vink H., Cowin S. C. Mechanotransduction and flow across the endothelial glycocalyx // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2003. Vol. 100, № 13. P. 7988–7995. DOI: 10.1073/pnas.1332808100
22. Мелькумянц А. М. О роли эндотелиального гликокаликса в механогенной регуляции сопротивления артериальных сосудов // *Успехи физиологических наук*. 2012. Т. 43, № 4. С. 45–58.
23. Гончар И. В., Балашов С. А., Валиев И. А., Антонова О. А., Мелькумянц А. М. Роль эндотелиального гликокаликса в механогенной регуляции тонуса артериальных сосудов // *Тр. Моск. физ.-техн. ин-та*. 2017. Т. 9, № 1 (33). С. 101–108.
24. Мелькумянц А. М., Балахонова Т. В., Погорелова О. А., Трипотень М. И. Влияние кратковременных физических упражнений на гемодинамический аспект функции эндотелия плечевой артерии человека // *Кардиологический вестн.* 2019. Т. 14, № 3. С. 44–48. DOI: 10.36396/MS.2019.14.03.007

Образец для цитирования:

Скрипаль Ан. В., Бахметьев А. С., Брилёнок Н. Б., Добдин С. Ю., Сагайдачный А. А., Баатыров Р. Т., Усанов А. Д., Тихонова А. С. Индекс отражения пульсовой волны у юных спортсменов // *Изв. Сарат. ун-та. Нов. сер. Сер. Физика*. 2020. Т. 20, вып. 2. С. 125–133. DOI: <https://doi.org/10.18500/1817-3020-2020-20-2-125-133>

Reflection Index of the Pulse Wave for Young Athletes

An. V. Skripal, A. S. Bakhmetyev, N. B. Brilenok, S. Yu. Dobdin, A. A. Sagaidachnyi, R. T. Baatyrov, A. D. Usanov, A. S. Tikhonova

Anatoly V. Skripal, <https://orcid.org/0000-0002-9080-0057>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, skripalav@info.sgu.ru

Artem S. Bakhmetyev, <https://orcid.org/0000-0003-3814-5515>, Saratov State Medical University named after V. I. Razumovsky, bakhmetev.artem@yandex.ru

Nailya B. Brilenok, <https://orcid.org/0000-0001-6510-823X>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, brilenoknb@yandex.ru

Sergey Yu. Dobdin, <https://orcid.org/0000-0002-0801-4664>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, dobdinsy@info.sgu.ru

Andrey A. Sagaidachnyi, <https://orcid.org/0000-0002-5296-1968>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, andsag@yandex.ru

Rahim T. Baatyrov, <https://orcid.org/0000-0001-6747-7119>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, rahim_baatyrov@mail.ru

Andrey D. Usanov, <https://orcid.org/0000-0002-4004-875X>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, aka_norton@mail.ru

Antonina S. Tikhonova, <https://orcid.org/0000-0002-2628-4780>, Saratov State University, 83 Astrakhanskaya St., Saratov 410012, Russia, pruss1525@gmail.com

Background and Objectives: The cardiovascular system of young athletes is subject to functional changes associated with an increase in both vasodilator capacity of blood vessels and an increase in vaso-

constriction. Diagnostics of functional changes in the vascular system of athletes can be carried out by the sphygmographic method when measuring the reflection index, which characterizes the change in the tone of the smooth muscle wall of the vessel during an occlusive test. **Materials and Methods:** Two groups of 16-year-old patients were selected for the examination: a group of 10 athletes engaged in kayaking and Canoeing, and a control group including 10 non-athletic control subjects without identified cardiovascular pathologies. Registration of reflection indices was performed by sphygmography in the brachial artery area before and after the occlusion test. **Results:** Compared with a group of non-athletic subjects, the reflection indices measured in athletes with high sportive results after removal of the shoulder cuff occlusion have higher values than before the occlusion. The change in the reflection index is characterized by non-monotonic dynamics, consisting of an initial increase, and then a decrease to a value close to the original one. **Conclusion:** The more pronounced dynamics of vascular tone and reflection index after removal of occlusion can be explained both by an increase in the thickness of the glycocalyx layer, due to regular physical training, and by an increased blood flow rate in athletes before and after occlusion compared to the group of untrained subjects.

Keywords: pulse wave, reflection index, occlusal test, smooth muscle layer, glycocalyx, sports medicine.

Received: 28.02.2020 / Accepted: 20.03.2020 / Published: 01.06.2020

This is an open access article distributed under the terms of Creative Commons Attribution License (CC-BY 4.0)

Acknowledgements: This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (project No. 19-32-90072).

References

1. Ivanov S. V., Ryabikov A. N., Maljutina S. K. Arterial stiffness and pulse wave reflection in association with arterial hypertension. *The Siberian Scientific Medical Journal*, 2008, no. 3, pp. 9–12 (in Russian).



2. Kalakutskiy L. I., Fedotov A. A. Diagnostics of endothelial dysfunction by the method of contour analysis of pulse wave. *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences*, 2009, vol. 98, no. 9, pp. 93–98 (in Russian).
3. Storozhakov G. I., Vereshchagina G. S., Chervyakova Yu. B., Fedotova N. M. Evaluation of the elastic properties of the arterial wall in young patients with arterial hypertension. *Arterial'naya Gipertenziya* [Arterial Hypertension], 2005, vol. 11, no. 1, pp. 17–20 (in Russian). DOI: 10.18705/1607-419X-2005-11-1-17-20
4. Revenko S. V. Rheography: Harmonic perspectives. *Neuromuscular Diseases*, 2012, no. 4, pp. 8–18 (in Russian). DOI: 10.17650/2222-8721-2012-0-4-8-18
5. Pogodina M. V., Milyagina I. V. Volume sphygmography is one of the most important methods for the determination of arterial stiffness at the patients of therapeutic profile. *Vestnik of the Smolensk State Medical Academy*, 2017, vol. 16, iss. 2, pp. 101–106 (in Russian).
6. Kuzmenko E. A., Krivenko L. E., Shishkin V. P. Role color duplex scanning in detecting subclinical atherosclerosis brachiocephalic artery of patients arterial hypertension. *Health. Medical Ecology. Science*, 2012, vol. 47–48, no. 1–2, pp. 198–201 (in Russian).
7. Vikhert T. A., Arzamasov K. M. Modern trends in ultrasonic methods and peripheric arteries circulation. *Vestnik St. Petersburg. University. Ser. 11*, 2013. iss. 1, pp. 161–166 (in Russian).
8. Krivosheeva N. V. The use of ultrasound testing in clinical practice during examination of the lower limb arterial bed among elder age group patients with diabetes type 2. *Klinicheskaya gerontologiya* [Clinical Gerontology], 2017, vol. 23, no. 3–4, pp. 32–39 (in Russian).
9. Kremneva E. I., Konovalov R. N., Krotenkova M. V. Functional Magnetic Resonance Imaging. *Annaly klinicheskoy i experimental'noy neurologii* [Annals of Clinical and Experimental Neurology], 2011, vol. 5, no. 1, pp. 30–34 (in Russian).
10. Klyushkin I. V., Fatykhov R. I. Modern diagnostic methods in diabetic foot syndrome. *The Kazan Medical Journal*, 2012, vol. 93, no. 2, pp. 298–301 (in Russian).
11. Usanov D. A., Skripal An. V., Protopopov A. A., Sagaidachnyi A. A., Rytik A. P., Miroshnichenko E. V. Estimation of blood vessels functional state by means of analysis of temperature reaction on occlusive test. *Saratov Journal of Medical Scientific Research*, 2009. vol. 5, no. 4, pp. 554–558 (in Russian).
12. Cioni G., Berni A., Gensini G. F., Abbate R., Boddi M. Impaired Femoral Vascular Compliance and Endothelial Dysfunction in 30 Healthy Male Soccer Players: Competitive Sports and Local Detrimental Effects. *Sports Health*, 2015, vol. 7, iss. 4, pp. 335–340. DOI: 10.1177/1941738115577931
13. Green D. J., Spence A., Rowley N., Thijssen D. H., Naylor L. H. Why isn't flow-mediated dilation enhanced in athletes? *Med. Sci. Sport. Exerc.*, 2013, vol. 45, iss. 1, pp. 75–82. DOI: 10.1249/MSS.0b013e318269affe
14. Kudrya O. N., Kiriyanova M. A., Kapilevich L. V. Characteristics of peripheral hemodynamics athletes with loads of adaptation to a different direction. *Byulleten' sibirskoy mediciny* [Bulletin of Siberian Medicine], 2012, vol. 11, no. 3, pp. 48–52 (in Russian).
15. Boytsov S. A. What is new in information on hardness of the artery walls and on repulsed pulse? *Russian Journal of Physiology*, 2009, vol. 95, no. 5. pp. 516–531 (in Russian).
16. Frolov A. V., Sidorenko G. I., Vorob'ev A. P., Mel'nikova O. P., Gul' L. M. Direct and reflected pulse waves: research methods. *Kardiologiya v Belarusi* [Cardiology in Belarus], 2009, no. 5 (6), pp. 99–108 (in Russian).
17. Fedotov A. A. Noise Immunity of Pulse Wave Contour Analysis. *Measurement Techniques*, 2019, vol. 62, no. 3, pp. 64–67 (in Russian). DOI: 10.32446/0368-1025it.2019-3-64-67
18. Walther G., Nottin S., Karpoff L., Pérez-Martin A., Dauzat M., Obert P. Flow-mediated dilation and exercise-induced hyperaemia in highly trained athletes: comparison of the upper and lower limb vasculature. *Acta Physiologica*, 2008, vol. 193, iss. 2, pp. 139–150. DOI: 10.1111/j.1748-1716.2008.01834.x
19. Green D. J., Spence A., Rowley N., Thijssen D. H., Naylor L. H. Vascular adaptation in athletes: is there an 'athlete's artery'? *Experimental Physiology*, 2012, vol. 97, iss. 3, pp. 295–304. DOI: 10.1113/expphysiol.2011.058826
20. Padilla J., Simmons G. H., Bender S. B., Arce-Esquivel A. A., Whyte J. J., Laughlin M. H. Vascular effects of exercise: endothelial adaptations beyond active muscle beds. *Physiology (Bethesda)*, 2011, vol. 26, no. 3, pp. 132–145. DOI: 10.1152/physiol.00052.2010
21. Weinbaum S., Zhang X., Han Y., Vink H., Cowin S. C. Mechanotransduction and flow across the endothelial glycocalyx. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2003, vol. 100, no. 13, pp. 7988–7995. DOI: 10.1073/pnas.1332808100
22. Melkumyants A. M. About the role of endothelial glycocalyx in mechanogenic regulation of resistance of arterial vessels. *Uspekhi fiziologicheskikh nauk* [Advances in Physiological Sciences], 2012, vol. 43, no. 4, pp. 45–58 (in Russian).
23. Gonchar I. V., Balashov S. A., Valiev I. A., Antonova O. A., Melkumyants A. M. Role of endothelial glycocalyx in the mechanogenic regulation of arterial tone. *Trudy MFTI* [Proceedings of Moscow Institute of Physics and Technology], 2017, vol. 9, no. 1 (33), pp. 101–108 (in Russian).
24. Melkumyants A. M., Balakhonova T. V., Pogorelova O. A., Tripoten M. I. Effect of short-term physical training on hemodynamic aspects of endothelial function in human brachial artery. *Kardiologicheskii vestnik* [Cardiological Bulletin], 2019, vol. 14, no. 3, pp. 44–48 (in Russian). DOI: 10.36396/MS.2019.14.03.007

Cite this article as:

Skripal An. V., Bakhmetyev A. S., Brilenok N. B., Dobdin S. Yu., Sagaidachnyi A. A., Baatyrov R. T., Usanov A. D., Tikhonova A. S. Reflection Index of the Pulse Wave for Young Athletes. *Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Physics*, 2020, vol. 20, iss. 2, pp. 125–133 (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.18500/1817-3020-2020-20-2-125-133>