

Особенности периферической гемодинамики спортсменов при адаптации к нагрузкам различной направленности

Кудря О.Н.¹, Кирьянова М.А.¹, Капилевич Л.В.²

Characteristics of peripheral hemodynamics athletes with loads of adaptation to a different direction

Kudrya O.N., Kiriyanova M.A., Kapilevich L.V.

¹ Сибирский государственный университет физической культуры и спорта, г. Омск

² Сибирский государственный медицинский университет, г. Томск

© Кудря О.Н., Кирьянова М.А., Капилевич Л.В.

Методом реовазографии выявлены особенности периферического отдела кровообращения у спортсменов с разной направленностью тренировочного процесса. Изменения на уровне периферического звена сердечно-сосудистой системы у спортсменов, тренирующих быстроту и выносливость, направлены на создание условий для максимального извлечения кислорода из крови в ткани, что проявляется в снижении тонуса артериальных сосудов и сосудов на уровне обменного звена.

Ключевые слова: реовазография, периферическая гемодинамика, метаболизм, спортсмены.

Peculiarities of the peripheral circulation of the first athletes from different directions of the training process by rheovasography. Changes at the peripheral level of the cardiovascular system in athletes, coaching speed and endurance, designed to create conditions enabling environment for maximum extraction of oxygen from the blood into the tissues, which manifests itself in reducing zhenii-tone of blood vessels and reducing the vascular tone at the exchange level.

Key words: rheovasography, peripheral hemodynamics, metabolism, athletes.

УДК 612.13.017.2:612.176:796.071

Введение

При адаптации к специфической мышечной деятельности происходит формирование функциональной системы, основным звеном которой является кровообращение. Результаты исследования центральной гемодинамики представлены в научно-методической литературе [1, 5]. Вместе с тем периферический отдел является заключительным звеном в деятельности сердечно-сосудистой системы, снабжая мышцы кислородом и питательными веществами, необходимыми для наработки энергии при выполнении физических нагрузок. Исследования периферической гемодинамики у спортсменов немногочисленны и противоречивы. Большая часть работ посвящена особенностям адаптации регионарного кровообращения у представителей циклических видов спорта [4, 6].

Можно предположить, что физиологические механизмы, лежащие в основе адаптации сосудистой

системы у спортсменов, будут зависеть от направленности тренировочного процесса.

Цель исследования — изучить особенности периферической гемодинамики у спортсменов с различной направленностью тренировочного процесса.

Материал и методы

Исследование проводилось на базе ФГБОУ «Омское государственное училище олимпийского резерва». В исследовании приняли участие 45 высококвалифицированных спортсменов (кандидаты в мастера спорта, мастера спорта) мужского пола, средний возраст ($21,5 \pm 0,5$) года, стаж занятий спортом 5—10 лет. Все обследованные были разделены на три группы в зависимости от направленности тренировочного процесса согласно классификации А.Г. Дембо и соавт. (1966). В первую группу («сила») вошли 13 спортсменов, тренирующихся на развитие силы (тяжелая атлетика, пауэрлифтинг). Вторую группу («быстрота») составили 15

спортсменов, тренирующихся на развитие скорости (легкая атлетика (спринт), шорт-трек). Третью группу («выносливость») сформировали 17 спортсменов, тренирующихся на развитие выносливости (велоспорт, лыжи, марафонский бег).

Исследование показателей центральной гемодинамики проводили методом эходоплеркардиографии в М-режиме с помощью ультразвукового диагностического комплекса LOGIC 5 General Electric (США). Определяли морфометрические показатели сердца: конечно-диастолический размер (КДР), конечно-систолический размер, размеры межжелудочковой перегородки (МЖП), задней стенки левого желудочка (ЗСЛЖ). Рассчитывали гемодинамические показатели: конечно-диастолический объем (КДО), конечно-систолический объем (КСО), массу миокарда левого желудочка (ММЛЖ), ударный объем (УО).

Состояние периферической гемодинамики у спортсменов с разной направленностью тренировочного процесса изучали методом реовазографии (РВГ) на реографическом комплексе «Рео-Спектр-3», г. Иваново). Реовазограмма записывалась одновременно с двух симметричных смежных сегментов конечностей — «голень — стопа» в исходном положении лежа (фоновая запись) с синхронной регистрацией ЭКГ во втором стандартном отведении. Для спортсменов в качестве наиболее информативных показателей регионарной гемодинамики, связанных с ростом спортивного мастерства, рекомендуется использовать данные о периферическом кровообращении голени [6]. Поэтому при исследовании у спортсменов с разной направленностью тренировочного процесса анализировали значения периферического кровообращения данного сегмента тела. Обследование проводили в утренние часы, после отдыха (ночного сна).

Статистическую обработку результатов исследования выполняли с использованием пакета статистических

программ Statistica 6.0 for Windows. Проверку на нормальность распределения проводили с использованием критерия Колмогорова—Смирнова. Для оценки достоверности различий несвязанных выборок использовали *t*-критерий Стьюдента (для параметров с нормальным распределением) и *U*-критерий Манна—Уитни (для параметров, которые не подчиняются закону нормального распределения).

Результаты и обсуждение

Результаты проведенного исследования выявили однонаправленные изменения морфофункциональных показателей сердца у спортсменов второй и третьей групп (табл. 1).

Нагрузки динамического характера ведут к нарастанию массы сердца, что сопровождается увеличением функциональных объемов камер и растяжимостью сердечной мышцы, увеличением толщины межжелудочковой перегородки и задней стенки левого желудочка. Умеренная гипертрофия миокарда у спортсменов второй и третьей групп ведет к увеличению УО и снижению ЧСС в состоянии покоя. Все выявленные изменения обеспечивают экономизацию функции сердца в покое у представителей этих групп, у них отмечено снижение артериального давления в покое (артериальная гипотензия). Следует отметить, что снижение артериального давления усиливается по мере увеличения объема динамических нагрузок в тренировочном процессе (группа «выносливость»). Вместе с тем у спортсменов с силовой направленностью тренировочного процесса признаки экономизации функции выражены слабо, прослеживается тенденция к сдвигу систолического и диастолического артериального давления к верхним границам нормы (табл. 1).

Таблица 1
Морфофункциональные и гемодинамические показатели сердечно-сосудистой системы у спортсменов с разной направленностью тренировочного процесса ($M \pm m$)

Показатель	1-я группа («сила»)	2-я группа («быстрота»)	3-я группа («выносливость»)	Различия
МЖП, см	0,92 ± 0,03	1,00 ± 0,02	0,96 ± 0,02	1/2
ЗСЛЖ, см	0,88 ± 0,01	0,94 ± 0,02	0,93 ± 0,02	1/2, 1/3
КДО, мл	105,88 ± 2,83	122,19 ± 3,22	124,02 ± 3,26	1/2, 1/3
КСО, мл	35,38 ± 2,07	41,38 ± 1,41	42,47 ± 2,92	1/2, 1/3
УО, мл	70,48 ± 1,61	80,81 ± 2,29	81,55 ± 3,08	1/2, 1/3

ММЛЖ, г	146,48 ± 4,71	179,45 ± 6,19	175,73 ± 6,24	1/2, 1/3
ЧСС, уд./мин	73,40 ± 2,23	58,80 ± 1,95	59,82 ± 2,46	1/2, 1/3
САД, мм рт. ст.	120,26 ± 2,48	115,95 ± 1,12	111,59 ± 2,17	1/3
ДАД, мм рт. ст.	76,05 ± 1,07	74,05 ± 0,97	70,91 ± 1,30	1/3

Примечание. Здесь и в табл. 2—4 1/2, 1/3, 2/3 — различия между группами статистически значимы при $p < 0,05$.

Таким образом, перестройка аппарата кровообращения при долговременной адаптации к нагрузкам

различной направленности происходит на уровне как центрального, так и периферического звена сердечно-сосудистой системы.

Использование метода реовазографии позволило выявить особенности периферического кровообращения у спортсменов с разной направленностью тренировочного процесса (табл. 2). Реографическая кривая обладает большой информативностью в плане различных аспектов регионарного кровообращения исследуемого органа. Форма и амплитудные характеристики реограммы зависят главным образом от состояния проходимости и тонуса сосудистого русла, пропульсионной способности сердца и позволяют оценить проходимость крупных (магистральных) артерий, объемное пульсовое кровенаполнение исследуемого органа, тонус и эластичность артерий разного калибра, состояние венозного оттока.

Все показатели, используемые при анализе реограмм, могут быть объединены в несколько групп. Для оценки артериального кровотока использовали следующие показатели: максимальную амплитуду основной волны (Аарт), реографический индекс (РИ), амплитудно-частотный показатель (АЧП), относительный объемный пульс (Рг), реографический показатель (РП), относительный реографический показатель (ОРП), регионарный минутный пульсовый объем (РМПО).

Показатели Рг, РП, ОРП, РМПО имеют весьма близкую физиологическую интерпретацию и косвенно отражают пульсовый объем крови в данном сегменте. В результате исследований выявлено значительное снижение в состоянии покоя объема крови в исследуемом сегменте (голень) у спортсменов, в тренировочном процессе которых преобладают нагрузки динами-

ческого характера (вторая и третья группы). При увеличении объема динамических нагрузок (третья группа) снижаются показатели, отражающие регионарный пульсовый объем (табл. 2). Следует отметить, что значения Рг, РП, ОРП, РМПО у спортсменов групп «быстрота» и «выносливость» выходят за пределы нижней границы нормативных показателей для здоровых нетренированных людей. По мнению авторов, это следует рассматривать как признаки экономизации работы аппарата кровообращения на уровне артериальной сосудистой системы в состоянии относительного покоя.

В условиях экономизации функционирования сердечно-сосудистой системы меньший регионарный минутный пульсовый объем у спортсменов второй и третьей групп обеспечивался более интенсивным артериальным притоком, о чем свидетельствует увеличение таких показателей, как РИ, Аарт, АЧП (табл. 2). Вероятно, более интенсивный артериальный приток у спортсменов второй и третьей групп связан с высокой растяжимостью артериальных сосудов и снижением тонуса сосудистой стенки. Эти предположения согласуются с результатами исследований ряда авторов, которые выявили более высокую растяжимость и больший диаметр артерий у спортсменов, занимающихся видами спорта с преимущественным проявлением выносливости [7, 9].

Снижение интенсивности кровотока в состоянии покоя у спортсменов, тренирующихся преимущественно быстроту и выносливость, связано, вероятно, с повышенной способностью мышц использовать кислород.

Таблица 2

Показатели реовазографии на участке «голень», характеризующие интенсивность артериального кровотока ($M \pm m$)

Показатель		1-я группа («сила»)	2-я группа («быстрота»)	3-я группа («выносливость»)	Различия
Амплитуда артериальной компоненты, Ом	л	0,08 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,09 ± 0,01	1/2
	п	0,08 ± 0,01	0,09 ± 0,01	0,08 ± 0,01	1/2
Реографический индекс, усл. ед.	л	0,82 ± 0,06	0,95 ± 0,11	0,92 ± 0,07	1/2
	п	0,84 ± 0,06	0,90 ± 0,11	0,84 ± 0,06	1/2
Амплитудно-частотный показатель, усл. ед.	л	0,93 ± 0,08	0,91 ± 0,14	0,96 ± 0,07	1/2, 2/3
	п	0,95 ± 0,08	0,87 ± 0,14	0,88 ± 0,07	1/2, 2/3
Относительный объемный пульс, %	л	0,67 ± 0,05	0,45 ± 0,04	0,41 ± 0,02	1/2, 1/3, 2/3
	п	0,74 ± 0,05	0,45 ± 0,04	0,39 ± 0,02	1/2, 1/3
Реографический показатель, %	л	0,60 ± 0,04	0,48 ± 0,04	0,40 ± 0,02	1/3, 2/3
	п	0,66 ± 0,04	0,48 ± 0,05	0,38 ± 0,02	1/2, 1/3, 2/3
Относительный реографический показатель, усл. ед.	л	40,39 ± 3,24	26,88 ± 2,14	24,71 ± 1,14	1/2, 1/3, 2/3
	п	44,50 ± 3,18	26,80 ± 2,67	23,53 ± 1,15	1/2, 1/3, 2/3
Регионарный минутный пульсовый объем крови, мл/мин/см ³	л	5,94 ± 0,51	3,95 ± 0,32	3,60 ± 0,15	1/2, 1/3, 2/3
	п	6,32 ± 0,41	3,83 ± 0,34	3,43 ± 0,15	1/2, 1/3, 2/3

Примечание. Здесь и в табл. 3, 4: л — левая нога; п — правая нога.

Действительно, в ряде работ показано, что размер и объем кровотока артерий конечностей адаптированы к метаболическим потребностям соответствующей мускулатуры, что проявляется в снижении напряжения кислорода в крови, увеличении экстракции и утилизации кислорода [7, 8].

У спортсменов первой группы, в тренировочном процессе которых преобладают нагрузки статического характера, эти показатели находятся в пределах физиологических норм для здоровых нетренированных людей аналогичного возраста, признаки экономизации выражены слабо. Повышение показателей, характеризующих пульсовый объем крови в данном сегменте (голень), связано, вероятно, с большим объемом мышечной массы у представителей силовых видов спорта.

Анализ величин индекса быстрого наполнения (ИБН) выявил повышение тонуса крупных артерий у представителей группы «сила» (табл. 3). Показатели диастолического индекса (ДИК) и диастолического индекса (ДИА), отражающие периферическое сосудистое сопротивление на уровне пре- и посткапилляров, соответствовали среднестатистическим нормам для здоровых нетренированных людей. Однако у спортсменов, в тренировочном процессе которых большой объем занимают нагрузки динамического характера, отмечено статистически значимое увеличение сосудистого тонуса на уровне прекапилляров по сравнению с другими группами. Напротив, тонус венозных сосудов

на уровне посткапилляров, отток крови из артерий в вены повышен у представителей силовых видов спорта. Средняя скорость медленного наполнения, отражающая тонус средних и мелких артерий и их заполняемость кровью под влиянием ударного выброса сердца статистически значимо увеличена у спортсменов второй и третьей групп.

Показатели венозного оттока (показатель состояния венозного оттока, коэффициент венозного оттока, индекс Симонсона) в покое соответствовали среднестатистическим нормам для людей, не занимающихся спортом (табл. 4). Выявлены статистически значимые различия в функционировании возвратного кровообращения у спортсменов с разной направленностью тренировочного процесса: динамические нагрузки увеличивают растяжимость венозных сосудов и снижают их тонус, благодаря чему снижается скорость кровотока в сосудах венозного отдела при сохранении хорошего оттока крови. Одной из причин большей венозной растяжимости у спортсменов с преобладанием динамических нагрузок в тренировочном процессе является гиперволемия. Увеличенный артериальный выход сопровождается расширением капиллярных сосудов. В этих условиях возвратное кровообращение должно адаптироваться для того, чтобы выполнять роль дренажа: в венах происходит снижение гладкомышечного тонуса, а в собирающих венах происходит увеличение эластичности венозной стенки [10].

Таблица 3

Показатели реовазографии на участке «голень», характеризующие тонус и эластичность артерий ($M \pm m$)					
Показатель		1-я группа («сила»)	2-я группа («быстрота»)	3-я группа («выносливость»)	Различия
Индекс быстрого наполнения, %	л	38,00 ± 2,01	49,60 ± 1,55	49,65 ± 0,67	1/2,1/3
	п	41,01 ± 2,93	51,53 ± 1,87	49,06 ± 0,65	1/2,1/3
Отношение амплитуд артериальной и венозной компоненты, %	л	74,18 ± 2,96	81,27 ± 1,96	81,06 ± 1,35	1/2, 1/3
	п	75,45 ± 3,13	79,80 ± 2,82	81,24 ± 0,99	1/3, 2/3
Диастолический индекс, %	л	31,71 ± 6,93	30,54 ± 3,30	37,47 ± 5,38	2/3
	п	33,66 ± 5,15	32,33 ± 5,30	36,18 ± 5,81	
Диастолический индекс, %	л	49,06 ± 3,17	34,53 ± 2,85	38,29 ± 3,75	1/2,1/3
	п	40,64 ± 4,81	36,40 ± 4,77	41,06 ± 4,25	
Средняя скорость медленного наполнения, Ом/с	л	0,54 ± 0,04	0,63 ± 0,09	0,63 ± 0,04	1/2, 2/3
	п	0,54 ± 0,05	0,62 ± 0,09	0,55 ± 0,04	1/2, 2/3

Таблица 4

Показатели реовазографии на участке «голень», характеризующие кровоток в венозном русле ($M \pm m$)					
Показатель		1-я группа («сила»)	2-я группа («быстрота»)	3-я группа («выносливость»)	Различия
Показатель состояния венозного оттока, %	л	2,51 ± 0,81	3,20 ± 0,82	5,65 ± 1,22	1/2,1/3, 2/3
	п	2,059 ± 1,22	3,07 ± 1,44	5,65 ± 1,14	1/2,1/3, 2/3
Коэффициент венозного оттока, %	л	83,55 ± 1,27	85,82 ± 0,85	84,41 ± 0,51	
	п	83,55 ± 1,06	86,33 ± 0,94	84,06 ± 0,58	
Индекс Симонсона, %	л	3,82 ± 1,24	16,32 ± 3,79	25,88 ± 3,39	1/2,1/3, 2/3
	п	2,80 ± 0,86	18,17 ± 4,11	29,94 ± 3,26	1/2,1/3, 2/3

Показатель β, усл. ед.	л	1,35 ± 0,14	2,09 ± 0,16	2,12 ± 0,11	1/2,1/3
	п	1,20 ± 0,11	2,15 ± 0,17	2,22 ± 0,12	1/2,1/3

Кроме того, у спортсменов циклических видов спорта снижена вязкость цельной крови, увеличен просвет и длина микрососудов обменного звена, благодаря чему эритроцит большее время находится в обменном звене, что способствует лучшей отдаче кислорода близлежащим тканям [2, 3] и, соответственно, повышению окислительных возможностей организма.

Следует отметить, что на уровне венозного звена выявлены отличия не только у спортсменов, в тренировочном процессе которых преобладают нагрузки статического либо динамического характера, но и у спортсменов, тренирующих быстроту и выносливость. Энергообеспечение мышечной деятельности у спортсменов, тренирующих выносливость, обеспечивается в большей степени за счет процессов окислительного фосфорилирования, в связи с чем потребность мышц в кислороде у спортсменов этой группы будет максимальная. Повышенная потребность в кислороде обеспечивается за счет изменений на уровне микроциркуляторного звена, что и подтвердили результаты исследований.

Заключение

Таким образом, изменения в работе сердечно-сосудистой системы на уровне периферического звена при тренировке различных физических качеств обусловлены в первую очередь перестройкой метаболических процессов и направлены на создание благоприятных условий для максимального извлечения кислорода из крови в ткани и в конечном счете на достижение оптимального обеспечения организма энергией.

У спортсменов, в тренировочном процессе которых преобладают нагрузки динамического характера, отмечены признаки экономизации функции сердечно-сосудистой системы в состоянии относительного покоя, которые выявлены как на уровне центрального, так и на уровне периферического звена. При долговременной адаптации к нагрузкам динамического характера происходит снижение регионарного минутного объема за счет увеличения растяжимости и снижения тонуса артериальных сосудов, снижение тонуса на уровне обменного звена, что уменьшает скорость кровотока на данном участке сосудистого русла и способствует лучшему использованию кислорода мышцами, тем самым повышая окислительные возможности организма. У спортсменов силовых видов спорта адаптационных изменений сосудистого тонуса не происходит: интенсивность кровотока повышается как на уровне артерий, так и на уровне сосудов среднего и мелкого калибра, что приводит к повышению артериального давления уже в состоянии относительного покоя.

Литература

1. Белоцерковский З.Б. Эргометрические и кардиологические критерии физической работоспособности у спортсменов. М.: Советский спорт, 2005. 112 с.
2. Викулов А.Д., Дратцев Е.Ю., Мельников А.А., АLEXIN В.В. Сосудистый тонус и регулярные физические нагрузки // Физиология человека. 2009. Т. 35, № 5. С. 127—133.
3. Дратцев Е.Ю., Викулов А.Д., Мельников А.А., АLEXIN В.В. Состояние регионального кровообращения у спортсменов высокой квалификации // Вестн. спортив. науки. 2008. № 3. С. 32—35.
4. Кирьянова М.А., Калинина И.Н., Харитонова Л.Г. Реографические показатели спортсменов циклических видов спорта // Вестн. ЮУрГУ. Сер. «Образование, здравоохранение, физическая культура». 2010. № 24. С. 125—128.
5. Меркулова Р.А., Хельбин В.Н. Производительность сердца при мышечной работе у спортсменов разного возраста. М.: Советский спорт, 2011. 103 с.
6. Попова И.Е., Германов Г.Н., Цуканова Е.Г. Особенности региональной гемодинамики у легкоатлетов-бегунов на средние дистанции // Науч.-теорет. журн. «Ученые записки». 2010. № 2 (60). С. 104—112.
7. Huonker M., Schmid A., Schmid-Trucksar A. et al. Size and blood flow of central and peripheral arteries in highly trained able-bodied and disabled athletes // J. of Applied Physiology. 2003. V. 95 (2). P. 685—691.
8. Kasikciogly E., Oflaz H., Kasikciogly H.A. et al. Endothelial flow-mediated dilation and exercise capacity in highly trained endurance athletes // The Tohoku Journal of Experimental Medicine. 2005. V. 205 (1). P. 45—51.
9. Otsuki T., Maeda S., Iemitsu M. et al. Vascular endothelium-derived factors and arterial stiffness in strength- and endurance-trained men // Am. J. Physiol. Heart. Circ. Physiol. 2007. V. 292. H786.
10. Zeppilli P., Vannicelli R., Santini C. et al. Echocardiographic size of conductance vessels in athletes and sedentary people // International Journal of Sports Medicine. 1995. V. 16(1). P. 38—44.

Поступила в редакцию 10.01.2012 г.

Утверждена к печати 05.03.2012 г.

Сведения об авторах

О.Н. Кудря — канд. биол. наук, доцент кафедры медико-биологических основ физической культуры и спорта СибГУФКС (г. Омск).

М.А. Кирьянова — аспирант кафедры медико-биологических основ физической культуры и спорта СибГУФКС (г. Омск).

Л.В. Капилевич — д-р мед. наук, профессор кафедры биофизики и функциональной диагностики СибГМУ (г. Томск).

Для корреспонденции

Кудря Ольга Николаевна, тел. 8-913-614-0927, e-mail: olga27ku@mail.ru; e-mail: kapil@yandex.ru