

СПОРТИВНАЯ МЕДИЦИНА

СОСТОЯНИЕ РЕГИОНАЛЬНОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ У СПОРТСМЕНОВ ВЫСОКОЙ КВАЛИФИКАЦИИ

**Е.Ю. ДРАТЦЕВ, А.Д. ВИКУЛОВ,
А.А. МЕЛЬНИКОВ, В.В. АЛЕХИН,
Ярославский государственный педагогический
университет им. К.Д. Ушинского**

Аннотация

У спортсменов высокой квалификации в условиях достаточно полного восстановления методом реовазографии на участке «бедро» изучено региональное кровообращение. На фоне брадикардии выявлено снижение тонуса сосудов артериального звена, интенсивный региональный кровоток, незначительное повышение венозного тонуса и лучший венозный возврат крови к сердцу.

Abstract

The state of the blood vessels and the regional circulation has been studied by the leg rheovasographic method in skilled athletes at rest after a full recovery period. We found bradycardia and a decreased vessel tonus at arterial part of the circulation, an activation of regional blood flow, an insignificant increased venous vessel tonus and increased venous return of blood to the heart in athletes.

Ключевые слова: спортсмены, реовазография, региональное кровообращение.

Введение

Известно, что сердечно-сосудистая система является одной из наиболее реактивных систем организма в процессах срочной и долговременной адаптации к воздействию мышечных нагрузок разной интенсивности и длительности. Рассматривая аппарат кровообращения как некую замкнутую систему с рассредоточенными параметрами, целесообразно изучать механизмы оптимизации функционирования аппарата кровообращения по основным блокам этой системы – сердце, сосуды, кровь, регуляторная система.

Работоспособность спортсмена определяется целым рядом физиологических механизмов, среди которых интенсивность кровоснабжения мышц является основным лимитирующим фактором. Известно, что кровоток в мышцах при работе увеличивается в 10–20 раз по сравнению с состоянием покоя и составляет до 80% от минутного объема крови.

Изменения функций сосудов направлены на облегчение работы сердца во время физической нагрузки, а также на увеличение кровоснабжения конечностей, сильно нагруженных при специфических спортивных занятиях.

Учитывая вышесказанное, нами выполнено настоящее исследование, целью которого явилось изучение состояния регионального кровообращения у спортсменов высокой квалификации.

Методика

Обследованы 14 спортсменов циклических видов спорта (лыжный спорт, плавание) высокой квалификации (кандидаты в мастера спорта, мастера спорта России, мастера спорта России международного класса) мужского пола. Спортсмены находились в середине соревновательного периода. Восстановление с момента последнего тренировочного воздействия было достаточно полным: время восстановления с момента последнего тренировочного занятия составляло 18–20 часов. Жалоб на самочувствие никто не предъявлял. Возраст спортсменов – 18–21 год.

Контролем послужили практически здоровые лица того же пола и возраста, не занимающиеся спортом (n=18).

Для оценки регионального кровотока на участке «бедро» использован реографический комплекс «Рео-Спектр-НС 1005» (ООО «НейроСофт», г. Иваново, Россия). Про-

веденный предварительный анализ (описательной статистики, корреляционный) между показателями реовазографии на правом и левом бедрах показал, что ни по одному показателю не обнаружилось статистически значимых различий ($p > 0,05$), поэтому в статье представлены только показатели на участке правого бедра.

Статистическую обработку полученных данных провели на персональном компьютере с использованием программы «Statistica 5.5». Результаты в выборках представлены: средней арифметической ($M \pm$), стандартным отклонением ($\pm \delta$). Выполнен корреляционный анализ по Спирмену. Методом главных компонент выполнен факторный анализ.

Результаты и их обсуждение

У спортсменов отмечена брадикардия. Средняя величина ЧСС была на 16,7% меньше, чем у лиц контрольной группы ($p < 0,001$). Брадикардия в покое – постоянный и обязательный признак высокого функционального состояния сердца спортсмена. Ее следует рассматривать как проявление экономизации деятельности сердца. Уменьшение ЧСС снижает потребность миокарда в кислороде вследствие уменьшения величины его работы, а также увеличивает диастолу.

Результаты исследования регионального кровообращения представлены в таблице.

Как видно из данных таблицы, у спортсменов было больше на 19% базовое сопротивление тела ($p < 0,002$). Это указывает на то, что кровенаполнение исследуемого участка у них было больше. В нашем исследовании региональный минутный пульсовый объем у спортсменов был больше почти в два раза ($p < 0,001$).

Время систолы в сравниваемых группах практически не различалось. Практически все амплитудные характери-

стики были значительно больше у спортсменов при $p < 0,001$. Максимальная амплитуда дифференциальной реограммы при этом оказалась больше почти в три раза ($p < 0,001$). Реографический индекс и максимальная амплитуда артериальной компоненты реограммы – важнейшие показатели региональной гемодинамики, единодушно признаваемые всеми специалистами, занимающимися анализом реовазографии. Реографический индекс у спортсменов составлял $0,813 \pm 0,084$ у.е., у лиц контрольной группы – всего $0,279 \pm 0,063$ у.е. ($p < 0,001$). Эти показатели, а также многие другие (амплитудно-частотный показатель, относительный объемный пульс, реографический показатель, относительный реографический показатель) характеризуют более интенсивный артериальный кровоток в исследуемом сегменте у спортсменов.

При незначительных различиях в тоне крупных артерий, артерий среднего и мелкого калибра у спортсменов преобладал тонус мелких артерий. Об этом можно судить по выявленному соотношению времени быстрого кровенаполнения ко времени медленного кровенаполнения (см. таблицу). В целом у спортсменов высокой квалификации интегральный тонус сосудов артериального русла был меньше: модуль упругости был меньше на 22,6% ($p < 0,003$). Меньший угол вершины реограммы у спортсменов в целом также указывал на некоторое снижение тонуса сосудов артериального звена.

В микрососудах характер движения крови определяется в основном вязкими эффектами, а не инерционными. Известно, что у спортсменов, особенно циклических видов спорта, в покое снижена вязкость цельной крови [2]. При этом отмечается увеличение просвета и длины микрососудов обменного звена, а также числа функционирующих капилляров [1]. Благодаря этому эритроцит быстрее находится в обменном звене, что способствует лучшей отдаче кислорода близлежащим тканям.

Показатели реовазографии у спортсменов высокой квалификации на участке «бедро», $M \pm \delta$

Показатели	Спортсмены n=14	Контроль n=18	p*
1. ЧСС, уд./мин	54,93 $\pm$ 5,12	65,94 $\pm$ 9,49	<0,001 (t-)
2. Базовое сопротивление тела, Ом	166,64 $\pm$ 21,35	139,94 $\pm$ 21,80	<0,002 (t-)
3. Скорость распространения пульсовой волны, с	0,258 $\pm$ 0,021	0,245 $\pm$ 0,047	<0,005 (F-)
4. Время быстрого кровенаполнения, с	0,068 $\pm$ 0,011	0,072 $\pm$ 0,029	<0,001 (F-)
5. Время медленного кровенаполнения, с	0,122 $\pm$ 0,016	0,132 $\pm$ 0,034	<0,007 (F-)
6. Время восходящей части реоволны, с	0,189 $\pm$ 0,023	0,206 $\pm$ 0,035	<0,13 (t-)
7. Реографический индекс, у.е.	0,813 $\pm$ 0,084	0,279 $\pm$ 0,063	<0,001 (t-)
8. Дикротический индекс, %	23,21 $\pm$ 10,67	26,33 $\pm$ 15,61	>0,05 (t-)
9. Диастолический индекс, %	46,14 $\pm$ 6,78	53,56 $\pm$ 15,93	<0,003 (F-)
10. Соотношение времен быстрого и медленного кровенаполнения	0,604 $\pm$ 0,125	0,693 $\pm$ 0,508	<0,001 (F-)
11. Индекс Симонсона, %	28,21 $\pm$ 10,96	39,61 $\pm$ 14,18	<0,02 (t-)
12. Амплитуда реограммы на уровне систолического максимума, Ом	0,032 $\pm$ 0,004	0,011 $\pm$ 0,003	<0,001 (t-)
13. Амплитуда артериальной компоненты, Ом	0,081 $\pm$ 0,009	0,028 $\pm$ 0,006	<0,001 (t-)

Окончание табл.

Показатели	Спортсмены n=14	Контроль n=18	p*
14. Амплитуда венозной составляющей, Ом	0,053±0,008	0,019±0,006	<0,001 (t-)
15. Амплитуда реограммы на уровне инцизуры, Ом	0,019±0,009	0,008±0,006	<0,001 (t-)
16. Амплитуда реограммы на уровне дикротического зубца, Ом	0,036±0,006	0,015±0,007	<0,001 (t-)
17. Амплитуда реограммы на середине катакроты, Ом	0,024±0,009	0,011±0,007	<0,001 (t-)
18. Максимальная амплитуда дифференциальной реограммы, Ом/с	0,771±0,127	0,273±0,061	<0,001 (t-)
19. Время систолы, с	0,281±0,023	0,291±0,045	<0,02 (F-)
20. Время диастолы, с	0,824±0,107	0,639±0,135	<0,001 (t-)
21. Длительность катакроты, с	0,916±0,110	0,727±0,129	<0,001 (t-)
22. Амплитудно-частотный показатель, у.е.	0,741±0,123	0,304±0,079	<0,001 (t-)
23. Относительный объемный пульс, промилле	0,451±0,093	0,221±0,060	<0,001 (t-)
24. Региональный минутный пульсовый объем крови, мл/мин/см ³	4,649±1,180	2,408±0,724	<0,001 (t-)
25. Модифицированный диастолический индекс, %	23,05±11,81	27,44±17,51	>0,05 (t-)
26. Отношение амплитуд артериальной и венозной компонент, %	65,79±6,10	66,17±10,92	<0,03 (F-)
27. Модуль упругости, %	17,29±2,89	22,33±3,85	<0,003 (t-)
28. Индекс быстрого наполнения, %	40,29±3,87	41,00±8,02	<0,01 (F-)
29. Соотношение «приток – отток», у.е.	0,212±0,043	0,297±0,068	<0,001 (t-)
30. Угол вершины, град.	157,50±3,35	172,33±1,88	<0,001 (t-)
31. Показатель замедления кровотока, с	0,107±0,015	0,104±0,013	>0,05 (t-)
32. Коэффициент венозного оттока, %	82,71±2,89	77,67±3,85	<0,001 (t-)
33. Венозное отношение, %	7,30±6,95	16,04±15,46	<0,005 (F-)
34. Реографический показатель, %	0,495±0,081	0,204±0,056	<0,001 (t-)
35. Относительный реографический показатель, у.е.	27,21±5,71	13,22±3,60	<0,001 (t-)
36. Показатель α , у.е.	0,397±0,090	1,083±0,317	<0,001 (t-)
37. Показатель β , у.е.	1,924±0,429	3,961±1,399	<0,001 (t-)
38. Относительный показатель β , у.е.	104,28±22,12	259,89±103,34	<0,001 (t-)

* t – по критерию Стьюдента; F– по критерию Фишера.

Тонус венозных сосудов у спортсменов, главным образом, на уровне посткапилляров оказался меньшим по сравнению с лицами контрольной группы. Об этом можно судить по выявленным различиям в величинах диастолического индекса: его величина была меньше на 13,9% ($p<0,003$ по критерию Фишера). Не выявлено существенных различий в организации венозного оттока. Соотношение венозной и артериальной компонент в группах было практически одинаковым. Время венозного оттока (длительность катакроты) в группе спортсменов было больше на 26% ($p<0,001$). Известно, что у спортсменов под влиянием постоянных физических нагрузок происходит дилатация сосудов микроциркуляторного русла. Морфофункциональные преобразования микроциркуляторного русла хорошо коррелируют с изменениями показателей системной гемодинамики. У спортсменов в покое отмечалось повышение общего венозного тонуса. На это указывают зарегистрированные величины соотношения «приток – отток»: показатель отношения времени восходящей

части реоволны к времени катакроты был меньше на 28,6% ($p<0,001$). На лучший венозный отток у спортсменов указывают: индекс Симонсона (отношение амплитуд катакроты к артериальной составляющей; его значение на 28,8% у спортсменов было меньше, чем в контрольной группе ($p<0,02$), меньшие величины показателя β и относительного показателя β ($p<0,001$).

Венозный возврат, по мнению Б.И. Ткаченко, является «исходным пунктом системного кровообращения». К.П. Иванов пишет, что «наиболее “слабым” звеном в системе циркуляции и микроциркуляции являются вены различных органов и тканей [3]. Это объясняется тем, что уже в норме давление крови в них резко снижено, а кровоток замедлен. Такие условия ведут к падению скорости сдвига в цельной крови и плазме и к уменьшению напряжения сдвига, что создает особые условия кровотока в данном участке сосудистого русла, которые благоприятствуют агрегации эритроцитов, адгезии лейкоцитов, задержке и разрушению кровяных пластинок». Результа-

том гиперагрегабельности эритроцитов может быть повышение общего органного сопротивления сосудов [4]. По мнению некоторых авторов [5, 6], повышение агрегации эритроцитов способствует формированию бесклеточного пристеночного слоя низкой вязкости с понижением пристеночной скорости сдвига, в результате выброс вазоактивных дилататорных веществ (например, оксида азота) снижается, а сосудистое сопротивление может увеличиваться. Группа авторов для выяснения причин высокого роста венозного сопротивления при сниженной скорости кровотока показала, что основной вклад в создание повышенного венозного сопротивления вносят текущие свойства крови, но не снижение диаметра венул [7]. Может быть, поэтому столь невелики могут быть изменения показателей реовазографии, характеризующих венозный кровоток, и господствует мнение, что реовазография дает

возможность получить представление о пульсовом кровенаполнении и состоянии преимущественно артериального и в меньшей степени венозного тонуса нижних и верхних конечностей [8]. Вместе с тем даже сравнительно небольшие величины изменений венозного возврата крови к сердцу (в пределах 3–7% исходного кровотока в полых венах) имеют существенное значение для изменений сердечного выброса и системного артериального давления [3].

Показано [1, 2], что вязкость крови у спортсменов циклических видов спорта, мастеров спорта в покое при низких скоростях сдвига (характерных для кровотока в сосудах венозного отдела) снижена по сравнению с лицами, не занимающимися спортом, на 42%. Без сомнения, более высокая текучесть крови в условиях больших диастолы и катакраты обеспечивала оптимальный венозный возврат.

Выводы

Таким образом, у спортсменов высокой квалификации в условиях экономизации деятельности сердечно-сосудистой системы эффективно работали механизмы регионального кровообращения. К их числу следует отнести: снижение тонуса артериальных сосудов и интенсивный

артериальный кровоток, обеспечивающие больший региональный минутный пульсовый объем, повышение венозного тонуса и лучший венозный возврат, связанный с артериальным притоком.

Литература

1. Викулов А.Д. Кровообращение у спортсменов-пловцов. – Ярославль: Изд-во ЯГПУ, 2000. – 115 с.
2. Викулов А.Д., Мельников А.А., Осетров И.А. Реологические свойства крови у спортсменов // Физиология человека. – Т. 27. – 2001. – № 5. – С. 124–132.
3. Иванов К.П. Происхождение, проблемы и «философия» микроциркуляции // Микроциркуляция и гемореология: Науч. тр. II Межд. конф. – Ярославль, 1999. – С. 71.
4. Vicaud E., Hou X., Decupere L., Taccoen A., Duvelletroy M. Red blood cell aggregation and microcirculation in rat cremaster muscle // Int. J. Microcirc. Clin. Exper. – 1994. – V. 14. – P. 14.
5. Vicaud E. Opposite effects of red blood cell aggregation on resistance to blood flow // J. Cardiovasc. Surg. – 1995. – V. 36. – P. 361.
6. Baskurt O.K., Bor-Kucukkatay M., Yalcin O. The effect of red blood cell aggregation on blood flow resistance // Biorheology. – 1999. – V. 36. – P. 447.
7. Baskurt O.K. Hemorheology and vascular control mechanisms // 12th ECCH. Sofia. – June 22–26. – 2003. – P. 15.
8. Bishop J.J., Nance P., Popel A.S., Intaglietta M., Johnson P.C. Diameter changes in skeletal muscle venules during arterial pressure reduction // Am. J. Physiol. Heart. Circ. Physiol. – 2000. – V. 279. – H47–H57.