



С. С. СУВОРОВА, В. А. ЕПИФАНОВ

**УПРУГО-ВЯЗКИЕ СВОЙСТВА МИОКАРДА И КРУПНЫХ АРТЕРИЙ
И ИХ ДИНАМИКА ПРИ СРОЧНОЙ АДАПТАЦИИ
К ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ**

*Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры,
2001; № 3, с. 49-51*

Первые серьезные попытки применения основ сопротивления материалов в физиологии и биофизике были предприняты еще в конце XIX в. Поскольку все ткани живого организма в той или иной степени обладают способностью к упругой деформации, к ним применимы соответствующие физические законы, однако, чаще всего с определенными поправками, связанными с преодолением трудностей, вызванных особенностями биологического материала. Одной из первых попыток моделирования эластических свойств сосудистой системы была модель О. Frank (1899). В настоящее время применяется множество подходов как к описанию состояния гемодинамики, так и к оценке состояния сосудистой стенки и функциональных резервов миокарда.

Описывая насосную функцию сердца, необходимо учитывать тот факт, что на соотношение между притоком крови к нему и изгоняемым объемом в значительной мере влияет постнагрузка. Левый желудочек относится к насосам с пассивным заполнением (по классификации R. Anderson). Это означает, что кровь не всасывается в его полость и ее количество не может увеличиваться при помощи каких-либо активных энергетических затрат. Естественным регулятором объема заполнения является растяжимость стенки левого желудочка. Количество же изгоняемой крови зависит прежде всего от величины постнагрузки, зависящей прежде всего от сосудистых сопротивлений.

Применяемые в настоящее время модели чаще всего описывают только один из этих компонентов. В качестве меры постнагрузки обычно используются величины входного и характеристического импеданса, а также их составляющих, реже — величина периферического сопротивления.

Основными детерминантами этих параметров, а также показателей, характеризующих депонирующие свойства миокарда левого желудочка являются ударный объем и величины системного артериального давления и способ оценки упруго вязких свойств

миокарда и сосудов в основном определяется характером методик, применяемых для определения этих детерминирующих величин. Внедрение в практику эхокардиографических методик значительно облегчило неинвазивные методики оценки величин податливости левого желудочка и крупных артерий, а также резистивных показателей. Дальнейшее усложнение методов визуализации структур сердца позволило вычислять объем левого желудочка с более точным учетом особенностей его геометрии. Применение ядерно-магнитного резонанса позволяет, в частности, оценить размеры желудочков сердца, толщину их стенок, получить дифференцированное изображение движущейся крови и сосудистой стенки [1] или срез в любой плоскости без введения контрастных веществ или воздействия рентгеновского излучения. Показатели эластичности и импедансные величины при применении таких методик рассчитываются на основании конечных значений объема и давления. В ряде случаев используется отношение динамик объема и давления в течение сердечного цикла [7, 8]. Однако применение дорогостоящих методик крайне ограничивает возможности оценки упруго-вязких свойств миокарда и сосудов в широкой практике. Неинвазивные методы исследования делают возможным применение таких показателей, как податливость левого желудочка, податливость крупных артерий и импеданс аорты для оценки состояния гемодинамики здоровых людей и спортсменов [2].

Податливость левого желудочка является чувствительным критерием для оценки состояния сократительной способности миокарда при многих видах патологии сердечно-сосудистой системы, в том числе недостаточности кровообращения уже на стадии нарушения диастолической функции левого желудочка [5, 8]. Создание простых неинвазивных методик позволит шире использовать применяемые критерии для оценки состояния кровообращения здоровых людей и спортсменов, а также для объективизации степени воздействия физической нагрузки на тренирующегося человека.

Нами предложена новая система оценки упруго-вязких свойств миокарда и сосудов различных участков артериального русла. Состояние гемодинамики оценивается по 19 параметрам кровотока, определяемых с помощью простых неинвазивных методик — эхокардиографии и электрокардиографии. Используемые в исследовании показатели, как измеряемые, так и расчетные, были разбиты на три группы, в зависимости от описываемых ими свойств сердечно-сосудистой системы. Первая группа — показатели, характеризующие морфофункциональные свойства левого желудочка и аорты: конечно-систолический и конечно-диастолический размеры и соответствующие им объемы, диаметр аорты, ударный объем, фракция выброса, масса миокарда, величины артериального давления и длительность фаз сердечного цикла.

Вторая группа — характеристики емкостных свойств левого желудочка и артериального русла: податливость миокарда левого желудочка, податливость стенки крупных артерий и величина, обозначенная нами как «емкостной коэффициент» — отношение этих величин, характеризующее взаимодействие между депонирующими свойствами сосудов аортальной компрессионной камеры и емкостными свойствами камеры левого желудочка.

В третью группу вошли показатели, характеризующие величину сосудистого сопротивления кровотоку в различных участках сосудистого русла. Резистивность аортальной компрессионной камеры оценивалась по величине характеристического импеданса аорты (Z), состояние периферического сосудистого русла — по величине периферического сопротивления (R). Тип гемодинамики определялся по соотношению между емкостными и резистивными параметрами.

Как известно, при физической нагрузке основным лимитирующим звеном системы транспорта кислорода является сердечно-сосудистая система. Механизмы изменения насосной функции сердца в зависимости от интенсивности прилагаемых нагрузок изучены достаточно хорошо. Между тем, вклад крупных артерий и состояние периферического кровообращения являются чрезвычайно значимыми для перестройки гемодинамики [3]. Механизмы изменения постнагрузки в сочетании с изменениями свойств миокарда левого желудочка, обеспечивающие оптимальные условия для его пропульсивной деятельности, в настоящее время описаны далеко не полностью.

Максимальная реализация насосной функции сердца является ключевым звеном физиологической реакции организма на физическую нагрузку. Мы применили предложенную нами емкостно-резистивную модель для оценки физиологических реакций, возникающих при выполнении мышечной работы на различных ступенях нагрузки — 600 и 1300 кгм/мин. Приток крови в артериальную систему зависит от динамики двух основных детерминант — ударного объема и частоты сердечных сокращений [4]. При изучении воздействия механической работы различной интенсивности прирост ударного объема был более значительным на первой ступени нагрузки — 55,3 %, в то время как на второй, по мощности вдвое большей, — всего 44,3 %. Прогрессивное увеличение минутного объема обеспечивалось увеличением частоты сердечных сокращений и соответствующей перестройкой фазовой структуры сердечного цикла.

Динамика упруго-вязких свойств миокарда и крупных артерий в значительной мере зависит от мощности физической нагрузки. Так, на первой ступени (600 кгм/мин.), то есть при нагрузке небольшой для спортсменов высокой квалификации мощности, перестройка гемодинамики заключается в увеличении емкостных свойств камеры левого же-

лудочка (рост податливости на 43 %) в сочетании со снижением постнагрузки, преимущественно обусловленной снижением периферического сопротивления.

Абсолютная величина податливости крупных артерий на первой ступени нагрузки меняется крайне незначительно; аналогичная сосудистая реакция описана также В. Kingwell [6]. Однако, представляется важным факт ослабления тесноты взаимовлияния между депонирующими свойствами камеры левого желудочка и стенки аорты — величина «емкостного коэффициента» снижается более чем в 1,5 раза. Отсутствие адекватного прироста объема артерий аортальной компрессионной камеры в ответ на увеличение притока в нее, обусловленного увеличением растяжимости камеры левого желудочка и соответствующим ростом ударного объема может быть расценено как относительное повышение жесткости аорты, необходимое для ускорения продвижения крови по артериальному руслу. Снижение податливости сосудистых стенок — важный механизм, обеспечивающий адекватное кровенаполнение периферической кровеносной сети. Когда интенсивность мышечной работы мала, для оптимизации кровообращения достаточно ускорения доставки увеличенного притока крови к работающим мышцам, и для перестройки гемодинамики достаточно обеспечить рост минутного объема и расширение мелких артериальных сосудов.

При мышечной работе значительной (но не максимальной) интенсивности, когда дальнейший прирост ударного объема снижается и увеличение минутного объема кровообращения происходит за счет увеличения частоты сердечных сокращений, имеет место выраженное снижение податливости сосудов АКК. Оно сопровождается снижением растяжимости камеры левого желудочка и дальнейшим ослаблением взаимовлияния между депонирующими свойствами миокарда и стенок крупных артерий. Такое снижение артериальной податливости, как абсолютное, так и относительное, направлено на обеспечение максимально возможного ускорения кровотока по сосудам АКК для увеличения притока крови к расширенным периферическим сосудам работающих мышц.

В то же время снижение податливости крупных артерий приводит к увеличению резистивных свойств аорты, отражающегося в росте величины характеристического импеданса. При этом дальнейшее снижение периферического сопротивления мелких сосудов замедляется, что в совокупности приводит к росту постнагрузки.

Описанные выше механизмы участия упруго-вязких свойств миокарда и сосудов в перестройке гемодинамики адекватно мощности мышечной работы показывают, что в оптимизации кровотока при физической нагрузке взаимовлияние стенок камеры левого желудочка с депонирующими свойствами крупных артерий играет ключевую роль. Обеспечение максимально эффективного использования энергии сокращения миокарда левого

желудочка на уровне сосудов АКК в сочетании с адекватным мощности нагрузки снижением сопротивления периферических сосудов является одним из основных способов повышения производительности сердечно-сосудистой системы при мышечной работе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белоконь Н.А., Подзолков В.П. Врожденные пороки сердца. М., "Медицина", 1991, с. 45-46.
2. Епифанов В. А., Суворова С. С. Емкостные и резистивные параметры сердечно-сосудистой системы спортсменов и их динамика при систематической спортивной тренировке. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры, № 1, 2001.
3. Клинико-физиологические характеристики сердечно-сосудистой системы у спортсменов. Сборник, посвященный 25-летию кафедры спортивной медицины им. проф. В. Л. Карпмана. М., 1994, с. 92-116.
4. Пшенникова М. Г. Система кровообращения и сердце при адаптации к физическим нагрузкам. В сб.: Руководство по физиологии. Физиология адаптационных процессов. М., «Наука», 1986, с. 177-198.
5. Brinton T. J., Kailasam M.T., Wu R.A., Cervenka J.H., Chio S.S., Parmer R.J., DeMaria A.N., O'Connor D.T. Arterial compliance by cuff sphygmomanometer. Application to hypertension and early changes in subjects at genetic risk. Hypertension, 1996, 89(6): 599-603.
6. Kingwell B., Berry K., Cameron J., Jennings G., Dart A. Arterial compliance increases after moderate-intensity cycling. Am. J. Physiol., Vol. 273, №5, H2186-H2191, Nov 1997.
7. Mancia G, Giannattasio C, Grassi G. Arterial distensibility in cardiovascular diseases. Journal of Nephrology, 1998; 11(6):284-288.
8. Rajkumar C., Cameron J.D., Christophidis N., Jennings G.L., Dart A.M. Reduced systemic arterial compliance is associated with left ventricular hypertrophy and diastolic dysfunction in older people [see comments]. / Ann. Geriatr. Soc., 1997, 89(8): 803-808.