



## Understanding cardiac output

Jean-Louis Vincent

Department of Intensive Care, Erasme Hospital, Université libre de Bruxelles, Route de Lennik 808, 1070-B Brussels, Belgium

Corresponding author: Jean-Louis Vincent, [jlvincen@ulb.ac.be](mailto:jlvincen@ulb.ac.be)

Published: 22 August 2008 *Critical Care* 2008, **12**:174 (doi:10.1186/cc6975)

This article is online at <http://ccforum.com/content/12/4/174>

**Уважаемые коллеги. Предлагаем вашему вниманию перевод статьи Жана-Луи Винсанта «Понимание сердечного выброса» В этой небольшой статье автор, с присущим ему чувством юмора и креативностью облегчает для клинициста понимание сердечного выброса, сравнивая его с движением велосипеда. Надеюсь, что эта статья будет интересна всем.**

**В.С. Гороховский**

### ПОНИМАНИЕ СЕРДЕЧНОГО ВЫБРОСА

#### Введение.

Сердечный выброс, выраженный в литрах в минуту это то количество крови, которое сердце перекачивает в течение одной минуты. Таким образом, сердечный выброс представляет произведение ударного объема и частоты сердечных сокращений. Можно подумать, что все просто, но сам термин «сердечный выброс» может ввести в заблуждение клинициста, так как интерпретируя этот показатель он сосредотачивается только на сердце. Но сердце - это только часть большего – сердечно-сосудистой системы и количество перекачиваемой крови зависит от сердечных и внесердечных факторов.

Несмотря на то, что большинство клиницистов должны учитывать четыре составляющие сердечного выброса – ЧСС, сократимость, преднагрузка и постнагрузка – понимание приемлемости и практической значимости каждого из этих четырех компонентов укоренилось не так глубоко как хотелось. Пытаясь определить индивидуальную и комбинированную роли этих четырёх факторов в формировании сердечного выброса, и как следствие для облегчения нашего понимания того, как патологические процессы и лечебные мероприятия влияют на сердечный выброс, я использую простую

аналогию, сравнивая сердечный выброс (то есть количество крови, которое сердце перекачивает за единицу времени) со скоростью велосипеда в определенный период времени. (Рисунок)

## **Аналогия и четыре составляющие сердечного выброса**

### **Частота сердечных сокращений.**

Пожалуй, ЧСС самая простая для визуализации составляющая сердечного выброса: чем быстрее сокращается сердце, тем больше крови оно перекачивает. Используя нашу аналогию: чем быстрее велосипедист крутит педали, тем быстрее едет велосипед. Но все совсем не так просто. Продолжая аналогию, легко представить, что если велосипедист будет крутить педали слишком быстро и слишком долго, то он устанет и не сможет поддерживать определенную скорость и скорость велосипеда упадет. Оптимальная скорость: слишком быстро, но и велосипедист устанет слишком быстро, слишком медленно, велосипед не сможет преодолеть необходимое расстояние. Также, если сердце сокращается или слишком медленно, как при тяжелой брадиаритмии или слишком часто, сердечный выброс ухудшается. Острая наджелудочковая или желудочковая тахикардия может стать причиной малого выброса и даже кардиогенного шока.

### **Сократимость.**

Ясно что если велосипедист сокращает мышцы ног и давит на педали, то и велосипед едет быстрее. Это может быть приравнено к возрастанию сократимости миокарда, приводящим к увеличению сердечного выброса. Слишком низкая «педальная мощность» или ухудшение сократимости приведут к снижению сердечного выброса; однако чрезмерная нагрузка вызывает усталость, иногда приводящую к полному коллапсу, необходимости замедлить движение или даже остановиться. Тоже самое может произойти и при чрезмерной инотропной поддержке, приводящей к увеличению летальности.

## **Преднагрузка.**

Преднагрузка – это степень растяжения миокарда до его укорочения. Как было в первые продемонстрировано Отто Франком и Эрнестом Старлингом, это свойство кардиомиоцита, сила сокращения которого зависит от длины, которой он достиг при растяжении: чем больше степень растяжения (с определенным лимитом) тем больше сила сокращения. Увеличение растяжения желудочков, ведет к увеличению силы сокращения и к увеличению сердечного выброса. В нашей аналогии – преднагрузка это попутный ветер, позволяющий велосипедисту ехать быстрее без дополнительных мышечных усилий. Но есть и различия – скорость велосипеда будет увеличиваться линейно в зависимости от силы ветра, в то время как преднагрузка на миокард достигает своего предела выше которого сердечный выброс более не нарастает.

## **Преднагрузка**

Преднагрузка сильно зависит от наполнения желудочков. Однако это не следует путать с величиной венозного возврата. В нашей аналогии венозный возврат подобен скорости движущегося велосипеда. Количество крови, возвращающейся в сердце в определённый период должно быть равно количеству крови, накачанному сердцем в тот же период, так как в сердце нет места для хранения крови. Таким образом венозный возврат равен сердечному выбросу, в то время как преднагрузка это только компонент сердечного выброса.

Постнагрузка – это сила, против которой должны действовать желудочки выталкивая кровь; она зависит от артериального давления и сосудистого тонуса. Во время езды по широкой и гладкой дороге, в отличие от узкой и неровной дороги, скорость возрастает в зависимости от приложенных усилий. Уставший велосипедист особенно чувствителен к этим аспектам.

Точно также, снижая постнагрузку, можно увеличить и сердечный выброс, особенно в условиях нарушенной сократимости миокарда.

## **Некоторые клинические аспекты.**

### **Миокардиальная депрессия при сепсисе.**

Сепсис обычно ассоциируется с нормальным сердечным выбросом, хотя многие исследования продемонстрировали что депрессия миокарда может развиваться уже на ранних стадиях сепсиса, тогда почему же сердечный выброс не снижается? Патофизиология сепсиса включает в себя выброс цитокинов ряд из которых нарушает процесс хранения кальция в кардиомиоците, что ведет к нарушению сократимости миокарда. Тахикардия в сочетании со сниженным сосудистым тонусом, то есть сниженной постнагрузкой позволяет поддерживать или даже увеличивать сердечный выброс. Кроме того, при сепсисе наблюдается гиперкинетическое состояние, предшествующее инфузионной терапии. Эта ситуация напоминает велосипедиста который слишком устал, чтобы давить на педали, но в состоянии держать скорость из того, что катится по наклонной.

### **Вредные последствия инотропной терапии.**

Велосипедист-марафонец должен знать, что длительные напряженные упражнения повышают тканевую потребность в кислороде и у ухудшение мышечной сократимости и плохой производительности. Положительные инотропные препараты, различными механизмами повышающие сократимость сердца, были предложены для увеличения сократимости миокарда и повышения сердечного выброса. И действительно, в краткосрочной острой фазе сердечной недостаточности эти препараты могут быть полезны для увеличения сердечного выброса. Но рассматривая вопрос в свете нашей аналогии легко представить, что чрезмерная инотропная стимуляция приведет к повышению потребности миокарда в кислороде и в конечном итоге к ишемии миокарда. Длительная инотропная стимуляция на

самом деле увеличивает летальность при хронической сердечной недостаточности. И напротив, снижая силу сокращений, велосипедист способен крутить педали дольше; этот пример объясняет положительный эффект длительной терапии  $\beta$ -блокаторами при сердечной недостаточности.

### **Положительные эффекты вазодилататоров.**

Терапия артериальными вазодилататорами у больных с сердечной недостаточностью, ведет к значительному улучшению сердечного выброса за счет снижения постнагрузки (езда на велосипеде под гору). Интересно, что такой лечебный поход является более успешным, чем инотропная стимуляция и снижает летальность в данной популяции больных. Его явным недостатком является снижение артериального давления, ухудшающее органную перфузию.

### **Потенциально вредные эффекты вазопрессоров.**

В противоположность положительным эффектам вазодилататоров, назначение мощных вазопрессоров может снижать сердечный выброс, даже у пациентов с нормальной функцией сердца. Такой эффект наблюдается например у фенилэфрина, являющегося почти чистым  $\alpha$ -адренергическим агонистом. Вазопрессин также может снизить сердечный выброс за счет увеличения сосудистого тонуса. Этот эффект можно объяснить на примере нашей аналогии – крутой подъем или слишком неровная дорога в конечном итоге заставят большинство велосипедистов слезть со своих велосипедов и идти пешком, таким образом значительно уменьшая их скорость.

Даже норадреналин, который имеет некоторые  $\beta$ -адренергические эффекты, при отсутствии снижения сосудистого тонуса может вызывать снижение сердечного выброса. Велосипедист все сильнее жмет на педали, но дорога идет в гору и скорость велосипеда падает. Большие дозы норадреналина использовались как экспериментальная модель сердечной недостаточности.

### **Эффекты инодилаторов.**

Некоторые препараты: ингибиторы фосфодиэстеразы (милринон, эноксимон) и левосимендан оказывают инотропный эффект дополнительно к вазодилатации. Это аналогично тому, что велосипедист все сильнее жмет на педали, но вершина холма позади и он уже катится вниз; большее усилие вызывает усталость, но уклон дороги вниз поддерживает скорость. Поэтому данные препараты повышают потребность миокарда в кислороде в меньшей степени, чем другие инотропы.

### **Эффекты инфузионной терапии.**

Преимущество инфузионной терапии в увеличении ударного объема и сердечного выброса за счет реализации механизма Франка-Старлинга. Хотя и увеличение конечно-диастолического объема и вызывает повышение потребности миокарда в кислороде, инфузионная терапия вызывает меньше неблагоприятных последствий в сравнении с инотропной терапией. Инфузионная терапия, подобна попутному ветру для велосипедиста

### **Влияние на сердечный выброс блокаторов кальциевых каналов.**

Учитывая эссенциальную роль кальция в сокращении миокарда, от блокаторов кальциевых каналов ожидали снижение сократимости миокарда. Это наблюдается в изолированном миокарде, но не в организме в целом, где одновременное снижение сосудистого тонуса (особенно при использовании дигидропирединовых производных), позволяет поддерживать и даже повышать сердечный выброс. Велосипедист устал, но он едет по более гладкой дороге и наклон не такой крутой.

### **Заключение.**

Интерпретация сердечного выброса не так проста, как это может показаться на первый взгляд. Однако сравнение сердечного выброса и его четырёх составляющих с движением велосипедиста поможет нам понять

патологические изменения при критическом состоянии и лучше оценивать влияние различных воздействий на сердечный выброс.

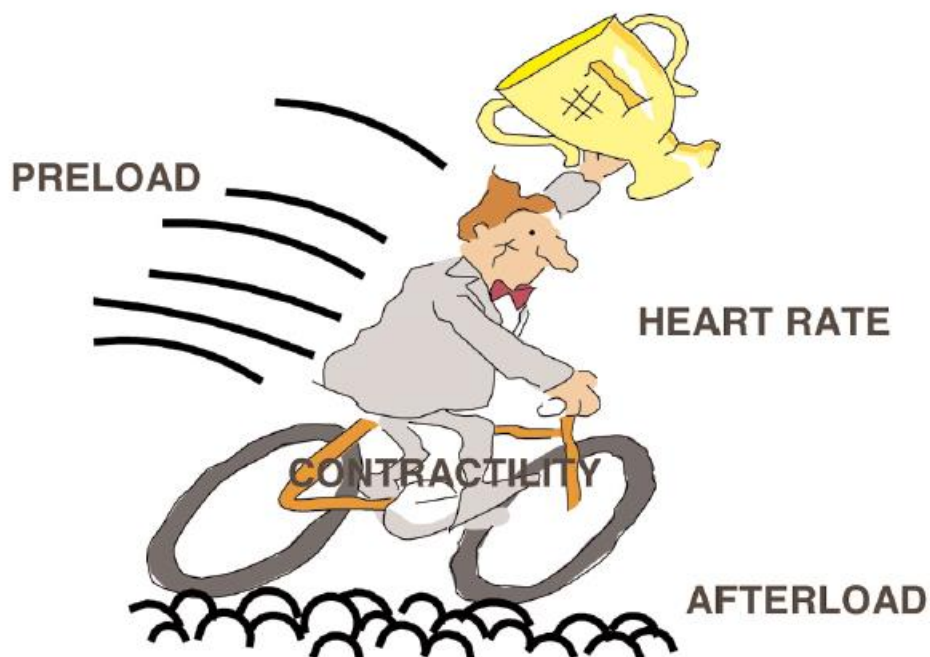


Рисунок 1. Четыре составляющие сердечного выброса