

УДК 616:617.58(075.8)

## МЕТОД И АППАРАТУРА КАРДИОСИНХРОНИЗИРОВАННОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОЙ АНТЕГРАДНОЙ ПНЕВМОКОМПРЕССИИ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ

А.М. Сударев<sup>1,2,3</sup>, Е.В. Коротич<sup>1,2,3</sup>, П.С. Кантор<sup>1,2,3</sup>, О.И. Усс<sup>1</sup>, О.Ю. Атьков<sup>4</sup>, А.М. Зудин<sup>4</sup>, М.А. Орлова<sup>4</sup>

1. ООО «КОНСТЭЛ», Россия, 107076, г. Москва, ул. Стрмынка, 19, корп. 2 (495)6245166 [alexeysudarev@gmail.com](mailto:alexeysudarev@gmail.com), 2. Московский государственный университет приборостроения и информатики (МГУПИ) Россия, 107076, г. Москва, ул. Стрмынка, 20, 3. ИРЭ им. В.А.Котельникова РАН, 125009, г. Москва, ул. Моховая, д. 11, корп. 7, 4. Департамент здравоохранения ОАО «РЖД», 107174, г. Москва, Нов. Басманная, 2

**Ключевые слова:** Кардиосинхронизированная пневмокомпрессия, облитерирующие заболевания нижних конечностей

### 1. Введение

Целью работы является разработка эффективного метода терапии хронических облитерирующих заболеваний артерий сосудов нижних конечностей (ХОЗАНК). ХОЗАНК встречаются у 2–3% населения, составляя более 20% среди сердечнососудистых заболеваний. Широко применяемые хирургические и медикаментозные методы не всегда эффективны [1]. Не удивительно сохраняющийся интерес к разработке немедикаментозных методов.

В последнее десятилетие для улучшения коронарного кровотока широко применяется метод усиленной наружной контрпульсации (УНКП) [2]. В этом методе воздействие создается компрессией нижних конечностей с помощью пневматических манжет. Манжеты голеней, бедер и ягодиц последовательно надуваются, создавая ретроградную волну давления крови в артериях, синхронизированную с кардиоциклом так, что ретроградная волна доходит до устья аорты в диастолу, увеличивая коронарный кровоток. Одновременное опорожнение (сдув) всех манжет происходит перед началом систолы, что приводит к уменьшению механической работы сердца. Исследования показали, что гемодинамическое воздействие УНКП производит в организме целую цепочку благоприятных физиологических изменений. Увеличение перфузионного давления, скорости кровотока и напряжения сдвига в коронарных артериях приводит к выбросу вазодилататоров и высвобождению факторов ангиогенеза.

Накопленный опыт в создании аппаратуры и применении УНКП [3] позволил предложить новый метод воздействия для лечения ХОЗАНК - кардиосинхронизированную последовательную антеградную пневмокомпрессию

(КПАПК) [4]. Он разработан для получения в конечностях гемодинамических эффектов, аналогичных тем, которые создает УНКП в коронарных сосудах.

## 2. Материалы и методы

В методе КПАПК с помощью кардиосинхронизированного импульсного компрессионного воздействия создается усиленная антеградная периферическая волна давления крови. Для этого компрессия осуществляется последовательно в проксимальной и затем с задержкой в дистальной зоне. Волна давления способствует усилению скорости кровотока в дистальных областях, увеличению гидростатического давления и напряжения сдвига в сосудах в участках ниже зон воздействия, увеличению перфузии тканей. Уровень давления в импульсах компрессии в КПАПК превышает систолическое артериальное давление для полного пережатия подлежащих артерий.

Синхронизация с кардиоритмом эффективно решает одновременно две задачи: усиления кровотока в конечностях и усиления кровотока в миокарде с одновременным уменьшением механической работы сердца. Для этого, аналогично УНКП, сброс давления в манжетах производится перед систолой, что снижает механическую работу сердца.

В отличие от традиционной ритмической пневмокомпрессии при КПАПК для эффективного создания волны давления в артериальном и капиллярном отделах принципиально важна высокая скорость нарастания давления в импульсах компрессии. При длительном времени нарастания рост давления вне зоны сдавливания шунтируется существующими коллатералями и не достигает максимальных значений. Для максимального усиления волны, распространяющейся в антеградном направлении момент начала обжатия конечности должен быть близок к моменту прохождения естественной пульсовой волны через зону обжатия. В этом случае суперпозиция двух этих волн максимальна. Задержка импульса в дистальной манжете относительно проксимальной должна быть порядка времени распространения пульсовой волны между манжетами.

Оптимальное время начала импульса в проксимальной манжете оценивается следующим образом:  $t_{\text{prox}} = t_{\text{sys}} + t_{\text{prop1}}$ , где  $t_{\text{sys}}$  – момент в промежутке от начала анакроты до систолического максимума давления в районе устья аорты, а  $t_{\text{prop1}}$  – время распространения пульсовой волны от устья аорты до места наложения проксимальной манжеты. В среднем  $t_{\text{sys}}$  отстоит от R-пика ЭКГ на время порядка  $0.15 \div 0.2$  с. При этом  $t_{\text{prop1}} = L_1/v$ , где  $v$  – скорость пульсовой волны в крупных артериях ( $4 \div 7$  м/сек), а  $L_1$  – расстояние от устья аорты до

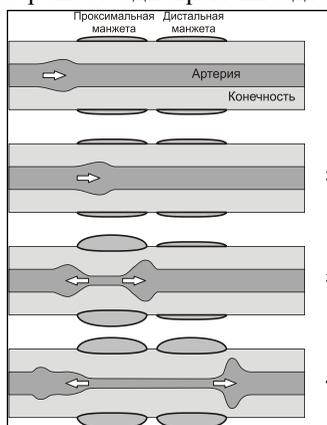


Рис. 1 Схема воздействия

места наложения проксимальной манжеты. Это дает для  $t_{prop1}$  (задержка начала компрессии в манжете бедра относительно R-пика ЭКГ) величину порядка 0.2 – 0.3 с. Задержка между импульсами давления в проксимальной и дистальной манжетах составляет  $t_{prop2} = L_2/v$ , где  $L_2$  - расстояние между манжетами, что для  $t_{prop2}$  дает значение порядка 0.03÷0.06 с.

При обжати проксимальной манжетой образуется и ретроградная волна давления, распространяющаяся в сторону аорты. Для усиления коронарного кровотока (как в УНКП) необходимо, чтобы она достигала устья аорты во время диастолы. Таким образом,  $t_{prox} \geq t_{dias} - t_{prop1}$ , где  $t_{dias}$  - начало диастолы, (порядка 0.3 с), что дает для  $t_{prox}$  ограничение – не менее 0.15÷0.25 с.

Метод реализован на базе комплекса УНКП «КАРДИОПУЛЬСАР» (КОНСТЭЛ, Россия) [3]. Для синхронизации импульсов давления использован сигнал ЭКГ. Для мониторинга изменений кровотока дистальных отделов использован датчик ФПГ, размещенный на пальце ноги. Проведено экспериментальное исследование воздействия нового метода пневмокомпрессии (КПАПК) на систему кровообращения с тем, чтобы оценить открывающиеся перспективы лечения больных ХОЗАНК.

### 3. Результаты и их обсуждение

В ходе исследований было отмечено, что во время воздействия происходит увеличение пульсовой волны. Характерное увеличение амплитуды ФПГ по сравнению с исходным уровнем составляет от 2 до 4 раз.

Форма и амплитуда ФПГ в дистальных отделах конечности (рис. 2, 3) может служить сигналом обратной связи для более точной подстройки временной диаграммы воздействия, т.к. время возникновения и степень фактического сдавливания тканей конечностей манжетами зависит от неконтролируемых факторов: задержки в измерительном и воздействующем тракте, конструкции и степени начальной затяжки манжет, скорости распространения пульсовой волны и др.

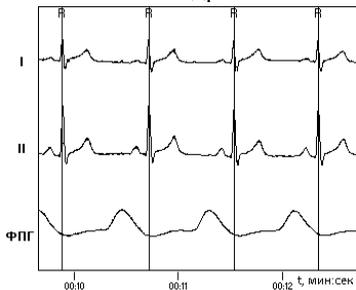


Рис. 2 Сигналы ЭКГ и ФПГ до воздействия

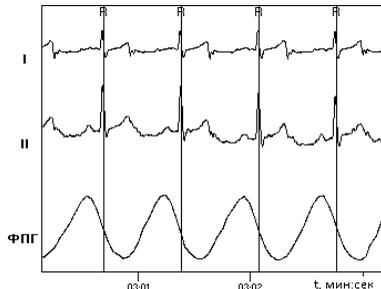


Рис. 3 Сигналы ЭКГ и ФПГ во время воздействия

Для оценки влияния параметров воздействия на гемодинамический эффект были исследованы зависимости усиления кровотока (амплитуды ФПГ) в

дистальном отделе конечности (на пальце ноги) от амплитуды импульсов компрессии. Эта зависимость, имеет S-образную форму. Усиление кровотока начинается при величинах компрессии порядка систолического давления и выходит на насыщение при 50-70 мм рт. ст. выше систолического.

Для оценки сравнительной эффективности режимов КПАПК и УНКП для усиления кровотока в дистальных отделах проведены эксперименты, в которых сравнивалось изменение амплитуды ФПГ на пальце стопы в этих режимах относительно фонового уровня. Измерялся коэффициент усиления  $K_{ус} = A_{ФПГ \text{ возд.}} / A_{ФПГ \text{ фон.}}$ , где  $A_{ФПГ \text{ возд.}}$  – амплитуда ФПГ во время воздействия, а  $A_{ФПГ \text{ фон.}}$  – амплитуда ФПГ без воздействия, на здоровых добровольцах (5 испытуемых по 2 эксперимента, проведенных в разное время)  $K_{ус}$  в режиме КПАПК оказался в  $1.8 \pm 0.3$  раза выше, чем в режиме УНКП. Эти данные свидетельствуют о более эффективном усилении кровотока в дистальных отделах конечности в режиме КПАПК по сравнению с УНКП.

Были проведены (МСЧ № 152 ФМБА России) серии процедур у добровольцев, страдающих ХОЗАНК (атеросклероз нижних конечностей, ХСН, стадия 2А и 2Б). В исследованиях принимало участие 10 больных. С каждым больным было проведено от 12 до 15 процедур. У всех пациентов наблюдался прирост толерантности к физической нагрузке. Прирост дистанции безболезной ходьбы составил от 22 до 150% уже после первых двух процедур. В дальнейшем в ЦКБ №2 им. Н.А.Семашко ОАО «РЖД» в течение двух лет проводилось клиническое исследование (с участием более 70 больных ХОЗАНК классов от 2А до 3 по Фонтейн-Покровскому), продемонстрировавшее высокую клиническую эффективность метода КПАПК. Результаты будут опубликованы.

Основным выводом исследований является то, что разработанные способ и устройства для реализации компрессионного воздействия на кровообращение конечностей с целью лечения хронических облитерирующих заболеваний артерий нижних конечностей позволяют достичь эффективного увеличения кровотока в дистальных отделах. Изучены первичные гемодинамические эффекты воздействия, зависимости усиления кровотока в дистальных отделах от характеристик пневматических импульсов.

Работа поддержана грантом РФФИ 13-07-00621.

## Список литературы

1. Бокерия Л.А., Гудкова Р.Г. Хирургия сердца и сосудов в РФ. М., НИИ ССХ им. А.Н.Бакулева. 1998; 44.
2. Conti C.R., EESP-Enhanced External Counterpulsation, Journal of the American College of Cardiology. 1999; 33: 7: 1841-1842
3. Хубутия А.Ш., Сударев А.М., Толпекин В.Е., Киласев Н.Б., Гиляревский С.Р. Отечественная система усиленной наружной контрпульсации: разработка и первый опыт клинического применения. Кардиология, -М., Изд. «Бионика», 2012, 3, стр. 91 – 94
4. Сударев А.М. Лечение облитерирующих заболеваний артерий нижних конечностей. Ангиология и сосудистая хирургия, -М., Изд. «Ангиология инфо», 2013, т.19, 1, стр. 26 – 32