

Физиологические основы  
и обзор областей клинического  
применения анализа  
вариабельности сердечного ритма

Н. Яблучанский

# ОПРЕДЕЛЕНИЕ

- ВСП - совокупность всех ее свойств, от переменности мгновенного периода сердечных сокращений до ее причин, обусловленных и определяемых нелинейностью симпатической, парасимпатической и гуморальной регуляции их разветвленными связями между собой, с подкорковыми и корковыми образованиями, а также реакциями на ментальный, физический и иные виды стресса.

# НАЗНАЧЕНИЕ

- мощность энергетического спектра нервно-гуморальной регуляции
- стрессовая устойчивость нервно-гуморальной регуляции
- симпато-вагальный баланс
- риск фатальных аритмий и состояний
- прогноз внезапной смерти, включая сердечную

# НЕМНОГО ИСТОРИИ

- ВСП - известное явление и новейшая технология
- Прогностическое значение известно с открытия волн Меера
- Дыхательная аритмия, вариант нормы, и метрономизированный ритм, угрожающий предвестник сердечной смерти у тяжелобольных, вошли в учебники внутренних болезней с 50-х
- Первые приложения ВСП - 1965 г. - связаны с ролью в дистрессе у плода
- Сначала внимание физиологическим механизмам (Р.М. Баевский)
- Интенсификация исследований - середина 70-х - связана с внедрением персональных компьютеров
- 1981 г. - применены методы спектрального анализа, установлена независимая от других факторов связь со смертностью от ОИМ
- Последние разработки - применение методов теории хаоса, нелинейных динамических систем и математического моделирования

# КЛИНИКА И ВСР

- ВНУТРЕННИЕ БОЛЕЗНИ
- ЭНДОКРИНОЛОГИЯ
- НЕВРОЛОГИЯ
- ПСИХИАТРИЯ
- ДЕРМАТОЛОГИЯ
- ИНФЕКЦИОННЫЕ БОЛЕЗНИ
- РЕАНИМАТОЛОГИЯ
- ХИРУРГИЯ
- МНОГО ЧЕГО ДРУГОГО

# ОСНОВАНИЯ

- стресс (всякий) проявляется адекватными изменениями сердечно-сосудистой системы (ССС), в том числе сердца
- реакции ССС на стресс обеспечиваются вегетативной нервной и гуморальной регуляцией и отражаются в ВСР
- связи вегетативной и гуморальной систем с другими регуляторными системами, включая функции коры головного мозга, объясняют не только функциональную, но и ментальную зависимость ВСР
- в сердце отображается все существо животного, человека в том числе.

# СРЕДСТВА ДЛЯ АНАЛИЗА ВСР

- Это современные компьютерные электрокардиографы, включая Холтеровские системы мониторинга ЭКГ и оборудование с возможностями передачи и обработки сигналов через модемы в компьютер пользователя
- Важнейшее требование к преобразователям непрерывного сигнала ЭКГ в цифровую форму - частота дискретизации не меньше 250 мГц.
- Лучшая система в странах СНГ, а в варианте "Lahtor" и в мире - компьютерная система "CardioLab 2000", разработанная в ХАИ при участии ФФМ ХГУ.

# ОГРАНИЧЕНИЯ НА ПРОТОКОЛ ВСР

- За 12 часов до исследования отменяются медикаменты, кофе, алкоголь, рекомендуется воздерживаться от стрессов (как физических, так и психических). Если речь не идет о 24-часовом мониторинге, измерения ВСР обычно проводятся утром в промежутке от 9 до 12 часов в помещении с комфортными условиями (температура около 22 градусов по Цельсию). Дыхание должно быть свободным, но разговаривать не рекомендуется
- Для исключения ментальных влияний некоторые специалисты рекомендуют проводить исследование в процессе демонстрации нейтрального видеофильма
- ВСР исследуется как в базальном состоянии, например, в удобных для пациента положениях лежа на спине или сидя с опиранием на спинку стула, так и в условиях физического и ментального стресса, лекарственных, вагусных и др. пробах.



# КОГДА ВСР ИССЛЕДОВАТЬ НЕЛЬЗЯ

- ВСР в смысле управления можно исследовать лишь в случаях синусового ритма и на отрезках интервалов, характеризующихся устойчивым синусовым ритмом. Эктопические ритмы, частые экстрасистолии, мерцательная аритмия - противопоказания для исследования ВСР. Будьте внимательны. Не допускайте ошибок.

# СТАНДАРТНЫЕ ПРОТОКОЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВСР

- активный тилт-тест (постуральные реакции)
- пассивный тилт-тест (пробы с пассивным изменением положения тела)
- ручная динамометрия
- метрономизированное дыхание с фиксированными частотой, частотой и глубиной
- вегетативные пробы (Вальсальвы, массаж каротидного синуса, надавливание на глазные яблоки, холодные пробы с охлаждением лица, кистей рук и стоп, др.)
- медикаментозные пробы стимуляторы и блокаторы альфа- и бета-адренэргических рецепторов, блокаторы и стимуляторы М- и N-холинэргических рецепторов, блокаторы ангиотензинпревращающего фермента и др.)
- ментальные пробы (арифметические упражнения, музыка и видеофильмы, др.).

# СТРУКТУРА ЗАКЛЮЧЕНИЯ

- Мощность энергетического спектра нервно-гуморальной регуляции
- Стрессовая устойчивость энергетического спектра нервно-гуморальной регуляции
- Состояние нервно-гуморальной регуляции (развитая нервно-гуморальная регуляция, преобладание гуморальной регуляции, преобладание гуморальной и симпатической нервной регуляции, преобладание гуморальной и парасимпатической нервной регуляции, преобладание нервной регуляции с балансом вегетативных механизмов, преобладание симпатической нервной регуляции, преобладание парасимпатической нервной регуляции)
- Физиологические реакции нервно-гуморальной регуляции на стресс
- Ментальность нервно-гуморальной регуляции: адекватная реакция, ее отсутствие, обратная реакция
- Риск фатальных аритмий и состояний (низкий, умеренный, высокий, очень высокий)

# Фундамент заключения 1

- Мощность энергетического спектра в узком понимании есть мера изменчивости длительностей RR-интервалов ЭКГ. Она численно равна его дисперсии и несет наиболее общую информацию о состоянии нервно-гуморальной регуляции, не вскрывая, однако, тонкостей взаимоотношений входящих в нее элементов. Относительная изменчивость ЧСС оценивается величиной вариации RR-интервалов.

# Фундамент заключения 2

- Устойчивость вегетативной нервной системы к стрессу, т.е. меру способности реагирования нервно-гуморальной регуляции на стресс без выведения параметров жизнедеятельности организма и, особенно, - макроциркуляции, за физиологически допустимые границы, можно определить по величине параметра Кантора. Этот параметр характеризует степень стохастичности последовательности RR -интервалов, чем выше величина этого параметра, тем больше при прочих равных условиях степень стрессовой устойчивости АНС.

# Фундамент заключения 3

- Физиологические реакции нервно-гуморальной регуляции на стресс позволяют определить характер реакции регуляторных систем на внешние и внутренние возмущающие факторы и дают возможность выбора лечебных вмешательств, оказывающих необходимые влияния на ВСП, оценить эффективность и правильность выбранной тактики ведения пациента. Этот раздел протокола, как и следующий за ним, является наиболее гибким и определяется конкретными выбранными методами модуляции физического или метального стресса, вегетативными пробами, лекарственными или иными вмешательствами. Выбор конкретного вида воздействия на физиологические функции организма пациента определяется их содержанием и тактическими задачами, поставленными врачом.

# Фундамент заключения 4

- Риск фатальных аритмий и состояний оценивается по общей мощности спектра и соотношению мощностей образующих его спектральных компонент.

# Методы

- пространственно-временные и статистические методы - интервалография, скатерограмма,
- статистики распределения длин последовательностей RR-интервалов
- пространственно-спектральные методы - преобразование в ряд Фурье и авторегрессионный метод
- методы, основанные на теории хаоса
- методы, основанные на математическом моделировании нервно-гуморальной регуляции



# Спектральные компоненты ВСП

- Ultra Low Frequency (ULF) - зона сверх низких частот (0 - 0.0033 Гц),
- Very Low Frequency (VLF) - зона очень низких частот (0.0033 - 0.05 Гц),
- Low Frequency (LF) - зона низких частот (0.05 - 0.15 Гц ),
- High Frequency (HF) - зона высоких частот (0.15 - 0.5 Гц).

# Происхождение спектральных компонент ВСР

- зона ULF не связана с проявлениями быстрой регуляции и ее происхождение до сих пор неизвестно
- зона VLF связана с терморегуляцией и гуморальными системами, такими, как ренин-ангиотензиновая
- зона LF связана с симпато-парасимпатическим балансом
- зона HF определяется и парасимпатической регуляцией, на нее существенным образом влияет
- дыхательный центр; подчиненность дыхательного центра корковым функциям опосредует
- прямые центральные влияния на сердечный спектр.

# ВСП и регуляторные системы и процессы 1

- Наиболее сильное влияние на ВСП оказывает АНС домен нейрогуморальной регуляции. Он управляет функциями иннервируемых органов и регулирует метаболические пути в организме. Именно с этой системой связаны кратковременные составляющие ВСП.
- Роль гуморального звена регуляции и его (медленные) воздействия на ВСП пока изучена недостаточно.

# ВСП и регуляторные системы и процессы 2

- Органы регуляции имеют иерархическую организацию с многосторонними нелинейными внутри- и межуровневыми прямыми и обратными связями, вплоть до связей с ЦНС. Нелинейность функционирования и обратные связи являются одной из главных причин изменчивости сердечного ритма.
- Вторая причина - фрактальная организация передачи импульсов деполяризации от источника сердечного ритма до сократительного миокарда.

# Структурная организация АНС

- Самый высокий уровень - высшие вегетативные центры - в коре больших полушарий, осуществляет функцию вегетосоматической и вегетомотивационной интеграции. АНС имеет представительство своих функций в моторной, премоторной и орбитальной зонах коры
- Следующий уровень - гипоталамус, связан как с корой и нижележащими структурами АНС - вегетативными центрами ствола головного и спинного мозга. Этот уровень контролирует безусловно- и условнорефлекторную регуляцию жизненно важных функций: дыхание, кровообращение, метаболические пути, и т.п.
- Вегетативные центры ствола мозга - мезэнцефалический и бульбарный. Бульбарный в числе других дает блуждающие нервы (ПНС). Вегетативные центры спинного мозга - тораколюмбальный и сакральный. Сердце иннервируется блуждающим нервом из бульбарного и симпатическими нервами из тораколюмбального вегетативного центра
- Парасимпатическая иннервация по распространенности уступает симпатической. Часть органов имеет двойную иннервацию, другая - лишь симпатическую. СНС входит в состав симпато-адреналовой системы, которая дополнительно включает в себя мозговой слой надпочечников и другие скопления хромоаффинных клеток.

# ВСР эффекты автономной нервной регуляции

- Стимуляция СНС в проекции на ССС приводит к увеличению силы и ЧСС, скорости проведения возбуждения по проводящей системе и сократительному миокарду, к повышению АД, вызывает вазодилатацию .сосудов сердца и вазоконстрикцию - других органов
- Стимуляция ПСНС проявляется обратными эффектами
- Сосуды подвержены симпатической иннервации. ПСНС прямого действия не оказывает, но многоуровневые структурные связи обеспечивают косвенное влияние ПСНС на АД и сосудистый тонус

# Замечание 1 к синусовому узлу

- Центральное синусового узла место в отношениях АНС - биомеханика сердца дает основания предостережений исследования ВСП и клинических приложений ее результатов. То, что он узел находится под прямым контролем АНС и своим регуляторным влиянием на сердце через проводящую систему отражает воздействия АНС, позволяет говорить об обусловленности ВСП именно состоянием АНС. Проблема, однако, состоит в том, что надлежащие интерфейсные функции в системе "АНС - сердце" выполняются синусным узлом при отсутствии его патологии. ССУ, который возникает при разной этиологии склеротических процессах в сердце, может расстроить однозначность отмеченных взаимоотношений и поставить под сомнение соответствие ВСП регуляторным процессам.

## Замечание 2 к синусовому узлу

- Всегда, когда заболевание ассоциируется со склеротическими изменениями сердца и есть хотя бы малейшие признаки ССУ, ВСР необходимо дополнять электрофизиологическими исследованиями. Если ССУ установлен, к оценке ВСР необходимо относиться сдержанно и ее исследования должны проводиться на кардиоинтервалах, где функция синусного узла явно не нарушена.



# ВСП У ЗДОРОВЫХ

- С возрастом уменьшаются ВСП и ее реакции на пробы, но отношение LF/HF не изменяется
- Половых различий нет, статистически у женщин ВСП выше
- С ростом веса тела уменьшается активность ПНС
- Физиологическое падение веса тела способствует повышению общей мощности энергетического спектра сердечного ритма
- Суточные колебания ВСП: максимальные значения HF во время сна, LF и LF/HF - днем
- У физически развитых отмечаются уменьшение ВСП и мощности LF в положении лежа. В положении стоя и при физических упражнениях различий не отмечается
- Ритмичное дыхание приводит к росту SD за счет HF. Резонансными в системе сердце-легкие являются ЧД, кратные 5-6 дыханиям в минуту

# Всякие вредные привычки

- Уже через 3 мин. после первой сигареты ВСР падает, мощность LF заметно возрастает и мощность HF - падает. Эти изменения более существенны в положении стоя. При длительном курении они стойко закрепляются. Кокаин увеличивает ЧСС и уменьшает вагусный тонус. Прием алкоголя сопровождается уменьшением ВСР с ростом VLF и HF и уменьшением LF. Наиболее резкие изменения претерпевает мощность LF через 20-30 мин после приема алкоголя. Рост ЧСС под влиянием алкоголя объясняется снижением парасимпатической активности.

# Артериальная гипертензия

- Характеризуется повышением мощности LF. Различия средних длин интервалов RR во время сна и бодрствования уменьшаются. Парасимпатическая активность изменяется без характерных здоровым циркадных колебаний, отмечается ее падение на протяжении 21 часа из 24-х. Мощность низкочастотной области уменьшается только ночью, с утра повышается. Разные лекарственные средства по разному действуют на ВСР у больных. Если блокатор кальциевых каналов нифедипин у пожилых с понижением АД повышает симпатическую активность, эффекты ингибитора АПФ эналаприла имеют только гипотензивное действие. Последнее свидетельствует о необходимости тестирования гипотензивных препаратов на ВСР перед назначением в лечебных целях.

# Ортостатическая артериальная гипотензия

- Есть результат атеросклероза с преимущественным поражением мозговых сосудов. В генезе большое значение принадлежит нарушениям ВСР. Если у здоровых в ортостатических пробах рост ЧСС сопровождается повышением мощности LF и падением - HF без изменения АД, при ортостатической артериальной гипотензии с ростом ЧСС АД падает. Спектральные характеристики ВСР ведут себя по разному: при гипотензии с предысторией мощность LF падает, без предыстории - либо не изменяется, либо ведет себя как у здоровых. Изменения мощности LF коррелируют с изменениями концентрации катехоламинов крови. Восстановлению реакций АД на изменения положения тела с повышением симпато-вагального баланса при ортостатической артериальной гипотензии способствует лечение мидадрином (гутроном, регултоном).

# ИБС и ОИМ

- Возникающий при ИБС и ОИМ дисбаланс между симпатическим и парасимпатическим отделами АНС приводит к снижению электрической ритмичности функционирования миокарда. При этом процесс распространения фронта волны деполяризации, вызывающей сокращение миокарда, становится неустойчивым. Симпатические влияния провоцируют возникновение опасных желудочковых аритмий, вагусные - играют защитную роль. Изменения автономного нервного контроля нарастают от стабильных к нестабильным формам ИБС и наиболее яркими оказываются при ОИМ.

# ВСР, ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫЕ ТАХИАРИТМИИ И ВНЕЗАПНАЯ СМЕРТЬ

- Точные механизмы ВС до конца не поняты. Нарушения симпатопарасимпатического баланса увеличивают уязвимость миокарда к злокачественным тахикардиям, наиболее часто, - желудочковым аритмиям (ЖА), приводящим к смерти. Увеличение симпатического тонуса предрасполагает к более низкому порогу возникновения ФЖ. Вегетативная активность увеличивает порог ФЖ. Частота ВС возрастает в ранние утренние часы, но бета-адреноблокаторы путем понижения симпатической активности уменьшают ее.
- Наиболее чувствительным предиктором ВС является сочетание низкого SD(<20мс) и поздних потенциалов желудочков. Их комбинация у больного с имеющимся патологоанатомическим субстратом для аритмий может вызвать жизнеопасные ЖА. Началу приступа ЖТ предшествует возрастание общей мощности спектра, преимущественно за счет LF, без соответствующего повышения HF, что можно объяснить изменением автономного тонуса в сторону симпатической активации.

# Гипертрофическая кардиомиопатия

- При гипертрофической кардиомиопатии основные изменения ВСР состоят в снижении парасимпатических влияний на сердечный спектр. Ее степень достоверно больше в группе лиц с зарегистрированными при холтеровском мониторировании желудочковыми экстрасистолиями и пароксизмами желудочковых тахикардий. Гипертрофическая кардиомиопатия характеризуется также ростом симпатической активности в ночное время.

# Сердечная недостаточность

- Нейрогуморальная активация прямо коррелирует с тяжестью гемодинамических и клинических проявлений и прогнозом при СН. В диагностике важное значение принадлежит скатерограмме. Метод позволяет выделить два варианта СН. В тех случаях, когда СН характеризуется существенными отклонениями скатерограммы, проявляющимися появлением двух абнормальных областей высокой плотности RR-интервалов со снижением вариабельности их длин, СН сопровождается высоким уровнем эпинефрина крови. В других случаях, когда на скатерограмме сохраняется высокая изменчивость длин RR-интервалов без локального сгущения, уровень эпинефрина крови оказывается нормальным. Интересно, что по другим показателям (ЧСС, ударный объем крови, функциональный класс, эктопическая активность, этиология, возраст) эти два варианта СН не отличаются друг от друга. Первый вариант СН прогностически менее благоприятен в отношении ВС, как связанный с автономными нарушениями. Снижение ВСП является предиктором высокой смертности и при тяжелой СН. Чем выше ее класс, тем меньше ВСП.



# Трансплантация сердца

- Методы, основанные на анализе ВСР, имеют большое значение в трансплантации сердца, так как позволяют заблаговременно определить начало реиннервации органа. При решении этой задачи оценка высокочастотной компоненты сердечного спектра не представляет практического интереса из-за ее модулирования дыханием. Низкочастотная составляющая, однако, отражает прямые внесердечные влияния на ритм сердца и, таким образом, определяется состоянием нервной регуляции.

# Болезни легких

- Болезни легких, сопровождающиеся бронхиальной обструкцией, характеризуются значительным снижением вариабельности и падением общей мощности спектра сердечного ритма за счет низко- и высокочастотной областей спектра. У здоровых модуляция дыхания всегда дает существенный прирост мощности сердечного спектра, тогда как у больных, когда она уже есть отражение синдрома одышки, любые попытки ее регуляции мало сказываются на изменениях мощности сердечного спектра.

# Нефрология

- При хронической почечной недостаточности имеет место уменьшение частоты и вариабельности сердечного ритма со значительным снижением мощности НФ, характеризующим падение парасимпатической активности. В этом усматривается причина частых аритмий и высокой смертности больных. При уремии падение ВСР сопровождается дополнительной драматической редукцией мощности LF, прежде всего в окрестности 0.1 Гц (волны Меера). В ближайшее после гемодиализа время улучшения ВСР в низкочастотной области спектра не наблюдается.

# Неврология 1

- При мигрени отмечаются редуцированные реакции ЧСС на физическую нагрузку без существенных изменений мощности низкочастотной области спектра, поэтому симпатическая функция нарушена. Различий в спектральных характеристиках у лиц с аурой и без нее нет. Приступ мигрени сопровождается резкой редукцией ВСП. Ее степень больше при правосторонней мигрени, которая проявляется также частыми аритмиями. Транзиторные ритмические дисфункции при мигрени связывают с центральной дисфункцией ВНС.

# Неврология 2

- Головная боль любого генеза сопровождается повышением симпатической функции с возрастанием базальной ЧСС и диастолического давления при кистевой динамометрии. При эпизодической и хронической головной боли эти изменения подобны. У лиц с хроническим вентральным гиповентиляционным синдромом в дополнение к снижению вентиляционного контроля наблюдается также дисфункция АНС.

# Неврология 3

- При ишемических повреждениях мозгового ствола ВСР падает. Под влиянием атропина наблюдается ее уменьшение. Наибольшее отклонение спектра от нормы отмечается в области 0.09-0.15 Гц (73%), меньшее - в области 0.20-0.30 Гц (45%) и 0.02-0.09 Гц (32%) [5]. Падение общей спектральной мощности сердечного ритма происходит еще до появления аудиторского ответа ствола мозга, при апное мощность дыхательного компонента уменьшается.

# Неврология 4

- Мозговой инсульт на уровне полушарий приводит к редукции парасимпатического контроля за деятельностью сердца. Более существенное его снижение наблюдается при инсульте в правом полушарии.

# Неврология 5

- У больных эпилепсией с частичными припадками отмечаются периоды продолжительных высокоамплитудных колебаний сердечного ритма в состоянии бодрствования, что связывается с нарушением влияний переднего мозга на сердечно-сосудистую регуляцию. ВСР в покое, при глубоком дыхании, в положении стоя и во время пробы Вальсальвы у здоровых и страдающих болезнью Паркинсона заметно не различается. Отличия в основном связаны с возрастом, терапией, продолжительностью заболевания.



# Неврология 6

- Автономная дисфункция при болезни Паркинсона в период бодрствования выражена незначительно, влияет в основном на механизмы контроля АД и появляется на поздних стадиях заболевания. Отмечено изменение парасимпатической регуляции во сне.

# Неврология 7

- Тяжелые отклонения ВСР определяются при травмах с полным прерыванием спинного мозга, когда прерываются связи супраспинальных регуляторных центров с исполнительными структурами. Вагальные пути при этом могут быть сохранены, но общий баланс ВНС нарушается. Если травма имеет место на уровне шейного отдела позвоночника, LF компонента исчезает и сохраняется только - HF.

# ВСП и лекарственные средства

- Разные лекарственные средства по разному влияют на ВСП. Они могут повышать мощность сердечного спектра и понижать ее. Они могут вызывать серьезные изменения в структуре энергетического спектра, повышая мощность одних и понижая - других областей. Соответственно этому, они могут повысить порог устойчивости организма к неблагоприятным факторам среды и тем предупредить возможную реализацию жизнеопасных инцидентов. Но они могут и понизить этот порог, чем сделать эти инциденты неотвратимыми. Так, критически обсуждается проблема применения в целях антиаритмической терапии мембранодепрессантов, стало сдержанным отношение к блокаторам кальциевых каналов. Лекарственные средства этих групп приводят к ожидаемым от них фармакологическим эффектам, но, возможно, являются причиной роста внезапной сердечной смерти больных.
- Вывод: любое лекарственное средство перед его клиническим применением по прямому назначению должно быть исследовано и на предмет влияния на ВСП. Если ВСП улучшилась или, по крайней мере, не изменилась, то, повидимому, данное лекарственное средство может быть применено в лечении конкретного больного. В противном случае всегда следует подумать о соответствующей замене и зря не рисковать.

# Заключение 1

- ВСП - мощнейший и независимый неинвазивный метод исследования регуляторных систем в физиологических условиях и при патологических состояниях. Исследование ВСП позволяет оценить в совокупности качество нервно-гуморальной регуляции и образующих ее элементов, ее стрессовую устойчивость и физиологические реакции на стресс.
- Метод находит применение в кардиологии и во всех разделах клиники. Его использование позволяет предугадать, а следовательно, и предупредить развитие связанных с риском смерти катаклизмов в состоянии здоровья, таких, как жизнеопасные желудочковые аритмии.

# Заключение 2

- Тесная зависимость ВСП от ментальных влияний, физического стресса, дыхательных упражнений дает все основания использовать его для разработки рекомендаций по образу духовной и физической жизни, ментальным и физическим упражнениям, упражнениям с модуляцией дыхания, которые повышают эффективность регуляторных систем и обеспечивают общую устойчивость организма к экстремальным воздействиям. Во многих случаях задачи оптимизации регуляторных систем решаются этими методами, а не лекарственными воздействиями; метод ВСП позволяет продлить жизнь. Именно поэтому он становится стандартом профилактических исследований, контроля за беременными, новорожденными в первые месяцы жизни, больными, перенесшими такие серьезные заболевания, как инфаркт миокарда и мозговой инсульт.
- Метод анализа ВСП станет, несомненно, Вашим хорошим помощником, если Вы будете выполнять простые и необременительные условия.