

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЗАИМОЗАВИСИМОСТЕЙ В СИСТЕМНОЙ РЕГУЛЯЦИИ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ У «НОРМОТОНИКОВ» И ГИПЕРТОНИКОВ

А.Б. Шутов¹, преподаватель

О.Е. Лобова¹, канд. геол.-минерал. наук, доцент

А.А. Мацканюк¹, канд. тех. наук, доцент

В.И. Остапук², канд. с.-х. наук, директор

¹Сочинский государственный университет

²ООО «Эко-эксперт»

(Россия, г. Сочи)

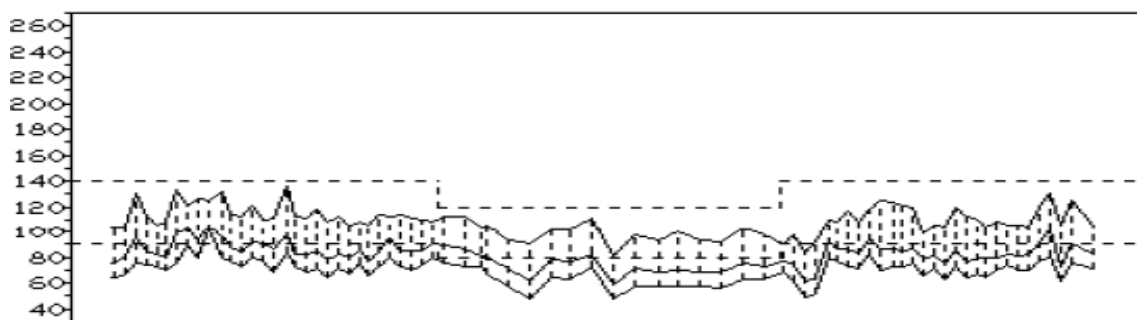
DOI:10.24412/2500-1000-2023-9-1-42-51

Аннотация. Типичные суточные профили артериального давления (АД) были исследованы методом долеговых тенденций (ДТ). Было установлено, что в системной регуляции АД между блоком сопротивления периферических сосудов (СПС) и блоком регуляции сердечного выброса (СВ) присутствует антагонизм, в результате которого выявляется доминирующий регулятор. Было выявлено, что у «нормотоников» доминирует блок СПС, а у гипертоников в регуляции АД доминирует блок СВ.

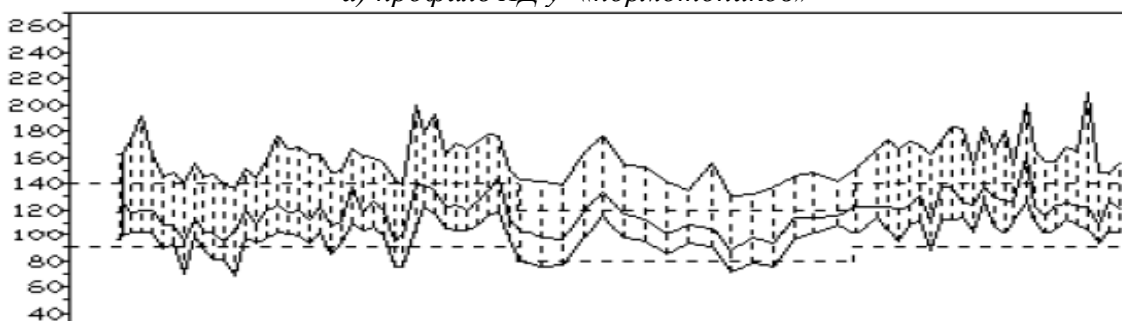
Ключевые слова: суточный профиль АД, континуум, системная регуляция, доминанты, антагонизм, метрические модели, долеговая тенденция, накопительная вариабельность.

Вариабельность в динамике артериального давления (АД) многофакторна. График суточного мониторинга АД (СМАД) по показателям систолического артериального давления (САД) и диастолического артериального давления (ДАД) показывает

несоответствие, как в тенденциях, так и в размерности профиля показателей. Причем у пациентов с мягкой формой гипертонической болезни (ГБ), в отличие от «нормотоников», эти различия выше (рис. 1).



а) профиль АД у «нормотоников»



б) профиль АД пациентов с умеренной формой ГБ

Рис. 1. Типичные суточные профили АД для «нормотоников» и для пациентов с умеренной формой ГБ [9]

Основное внимание в исследованиях динамики АД при СМАД уделяется показателям тенденции и variability. В тенденциях ночных и дневных уровней рассматривается амплитуда суточного ритма, а также динамика утреннего подъема. Наиболее востребованными для анализа СМАД являются величины «нагрузки давлением», влияющие на «органы-мишени». В русскоязычной литературе эти показатели АД обозначаются как индекс

времени (ИВ), и как индекс площади (ИП) [9, с. 10].

Физиологическая значимость различных звеньев в регуляции артериального давления изучена весьма слабо. В общем плане считается, что прессорные системы обладают более сильным эффектом и большими функциональными резервами, чем депрессорные. Взаимодействия гормонов в регуляции гемодинамики также изучены мало [1, 15].

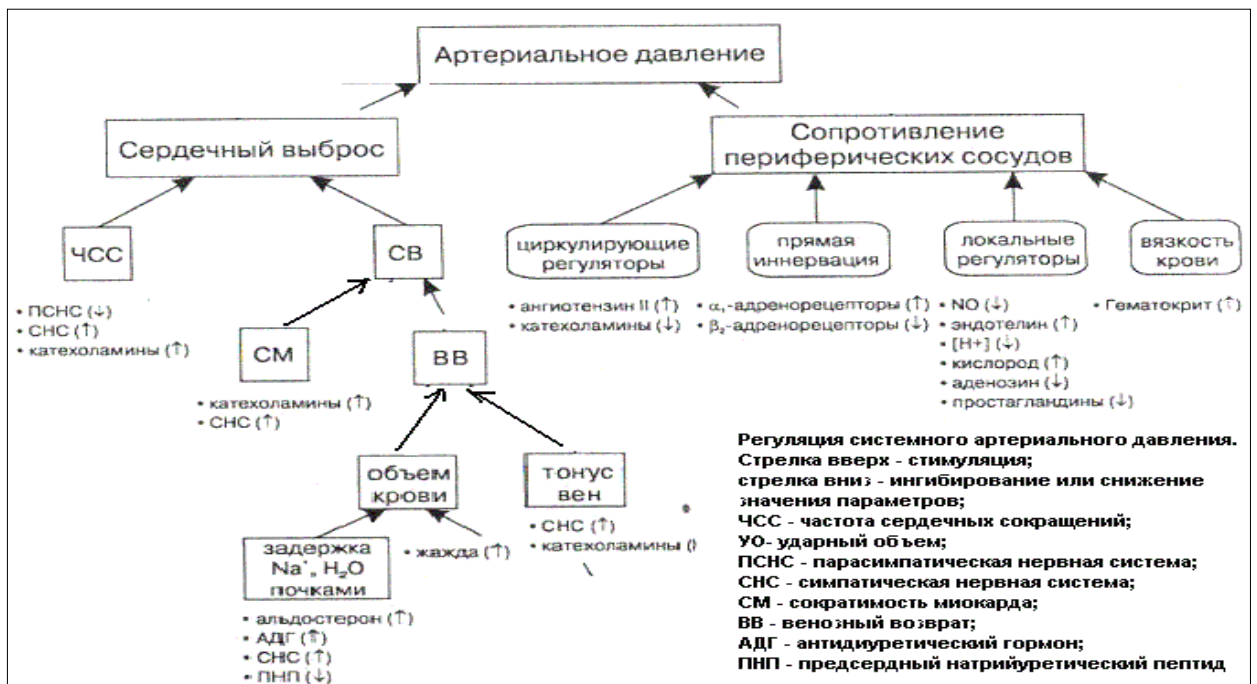


Рис. 2. Иерархическая схема регуляции артериального давления

На рисунке 2 иерархия регуляции АД представлена блоком сердечного выброса (СВ) и блоком сопротивления периферических сосудов (СПС). На блок СВ влияет частота сердечных сокращений (ЧСС) и центры регуляции сердечного выброса (СВ). Регуляция ЧСС достаточно подробно описана двухконтурной моделью Р.М. Баевского, 1976. Величина же СВ зависит от силы сократимости миокарда (СМ) и функционального состояния центров регуляции венозного возврата (ВВ).

Блок регуляции СПС зависит от состояния микроциркуляторного русла, включающего способность биотранспорта веществ через клеточные мембраны, состояния тонуса артериол и венул, а также влияния гуморальных регуляторов [14].

Оценка типа гемодинамики зависит так же от состояния системных механизмов регуляции, обеспечивающих изменение быстрых, медленных и сверхмедленных уровней регуляции АД. На перестройку регуляции АД могут оказывать влияние эмоций, факторы внешней среды, физические нагрузки, и внутренние биоритмы человека [2]. Однако, как показывают исследования физиологических регуляций САД и ДАД, соотношение и значимость различных звеньев, а также их взаимодействия изучены мало [13, 14].

Изменчивость показателей САД (или ДАД) в течение суток представляет гармонику (рис. 3) натуральных величин. Черты варьирования этой гармоники могут быть отражены амплитудными приростами.

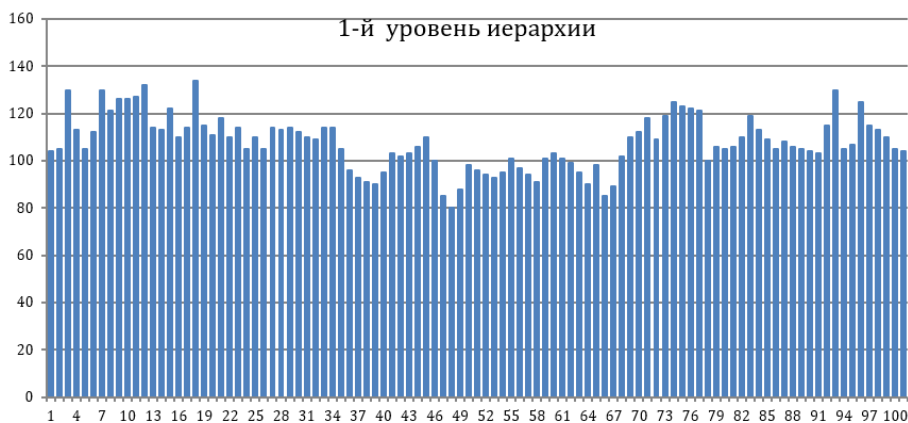


Рис. 3. Гистограмма амплитудных приростов в суточном профиле показателей САД у «нормотоников»

«значений параметров» пространства-времени (двумерная модель), а также формой связи между зависимой и независимой переменной [17], позволяющей отражать все факторы внешних влияний и факторы регуляции межсистемной морфофункциональной физиологической системы [11].

Разностный амплитудный ряд между показателями САД (рис. 3) образует двойственные числа – они являются одновременно и количественными, и порядковыми, где «количество» замкнуто на пространство, а «порядок» – на время [18]. Расстояние между точками данной метрики континуума через амплитуды перехода отражают внутрисистемные взаимодействия [3]. Образующие в результате двоич-

ные функции от двоичных переменных требуют сохранения структуры вариационного ряда на всех иерархических уровнях [16].

Определение интервала разницы между последующим и предыдущим показателем в динамике суточного профиля САД образует амплитудный показатель прироста (Рис.3), который отражает внутреннюю связь двоичных переменных между предыдущим и последующим показателями (Δ_{\pm}).

$$(\Delta_{\pm} = C_{i+1} - C_i).$$

Положительный амплитудный прирост в профиле САД (Δ_{+}) будет отражать состояние регуляции в блоке СПС (рис. 1), а отрицательный прирост (Δ_{-}) – регулирующие влияния блока СВ [21].



Рис. 4 Динамика ДАД (— *нат*) и динамика межинтервальных амплитуд (--- *ор*), в показателях долевого тренденции

Показатель долевого тренденции (ДТ) в динамике данного ряда (---OP) отражает и циркадный ритм (рис. 4), и внутрисистем-

ные регулирующие взаимодействия циклического характера по отношению к ряду НАТ. Регулирующие взаимодействия, ко-

торые мы рассматриваем, основаны исключительно на оценках внутренней динамики и применимы к любым системам [17].

Вопросы биологической кибернетики ставят важные вопросы об этапах разрешения антагонистического взаимодействия. «Как происходит становление антагонизма, или это определенные этапы развертывания диалектического противоречия на определенном уровне» [7], пока является темой научных исследований [20, 10].

Внутрисистемные антагонистические взаимодействия, возникающие в иерархических схемах между регуляторами двоичных переменных [16], характеризуются накопительными тенденциями [8], которые создают возможность выбора (селек-

ции) доминирующего регулятора в системе [17]. В результате, перестройка доминант в структурной иерархии, *возможно*, может создавать системный потенциал влияния на другие системы организма [12, 11].

Чтобы получить следующий уровень иерархии в системной регуляции из динамики ряда ОР (рис. 5) выделяются в отдельные ряды амплитуды положительных и отрицательных интервалов. Вычисленные накопительные частоты этих возрастающих (+) и убывающих (-) рядов имеют такие же тенденции параметров (рис. 5) общего ряда (ОР). Эта взаимозависимость, однако, не позволяет выявлять циклические и регулирующие тенденции между регуляторами.



Рис. 5. Гармоники взаимозависимых долевых тенденций:
— (+) — *возрастающие*; - - - (-) — *убывающие*; — *ОР инт* — *общий ряд*.

Удаление из возрастающих и убывающих амплитудных рядов тенденции гармоник (*ОР инт*) позволяет удалить присутствие циркадного ритма и оставить только антагонистические тенденции регуляторов (рис. 6 а) и б)). На данной мер-

ной модели активная (+,+...+) и пассивная (-,-...-) плоскости разделены изолинией (0,0), а линии графика, которые попадают в эти зоны будут или активными, или пассивными [17].



а) «нормотоники»



б) умеренная форма ГБ

Рис. 6. Селективный антагонизм системных регуляторов САД:

— (+) – блок регуляции сопротивления периферических сосудов (СПС);
 (-) – блок регуляции сердечного выброса (СВ)

Как мы видим из графика на рисунке б активно-возрастающая функция (+), выделенная в показателе динамики САД, относится к блоку регуляции сопротивления периферических сосудов (СПС) (см. схему рис. 2), и в динамике суточного профиля она является доминирующим показателем, по отношению к блоку регуляции сердечного выброса (СВ). Однако, в ночном пе-

риоде у «нормотоников» происходит функциональная взаимозамена: активная тенденция блока СПС (+) становится пассивной, а тенденция блока СВ (-) становится активно-убывающей и она в этом периоде доминирует, поскольку ее величины по отношению к изолинии – большие.

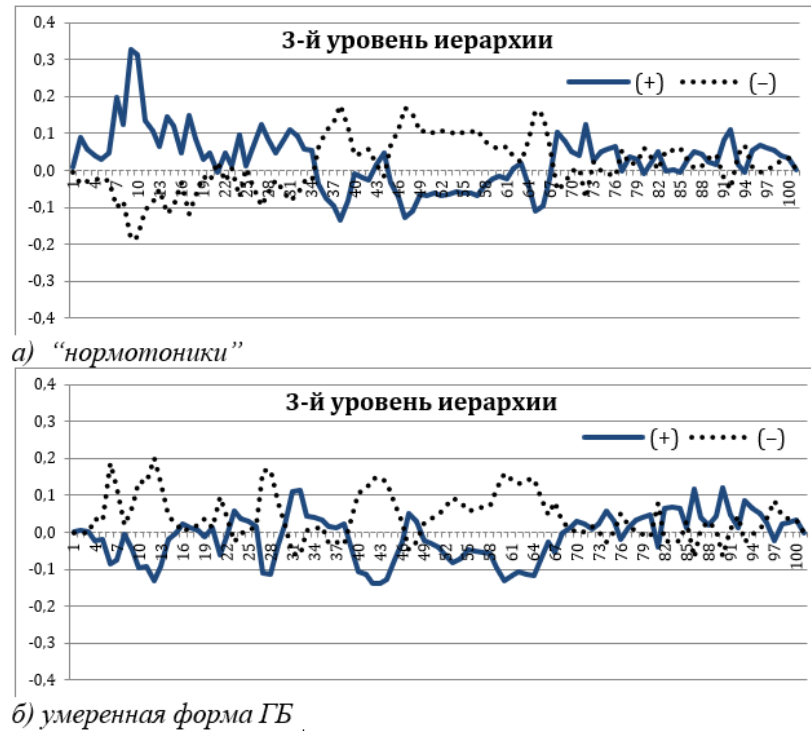


Рис. 7. Селективный антагонизм системных регуляторов АД:
 — (+) – блок регуляции сопротивления периферических сосудов (СПС);
 (–) – блок регуляции сердечного выброса (СВ).

У пациентов с умеренной формой ГБ (рис. 7, б)), как мы видим, выбор доминирующего регулятора (в отличие от «нормотоников») принадлежит блоку регуляции СВ, которое, видимо, зависит от ухудшения состояния периферических сосудов, что предполагает повышенную долю регуляции блока СВ. Величины различий в регуляциях САД и АД будут рассмотрены в обсуждениях (табл. 1).

Методы исследования. Методом долевых тенденций проводились исследования свойств вариабельности артериального давления [21]. Для исследования были взяты типичные суточные профили АД «нормотоников» и пациентов с умеренной

формой ГБ [9]. Иерархия тенденций в этой динамике была выявлена применением холистического подхода [12]. Выделенные тенденции вариативного ряда (гармоники) представляют 1-й и 2-й иерархические уровни. Дальнейшее выделение возрастающих и убывающих амплитуд из гармоники позволяет получить 3-й иерархический уровень. Где весь процесс разложения динамической вариабельности на иерархические уровни и определения в них показателей долевых тенденций (ДТ) представлены схемой.

Схема последовательных вычислений в программе *Excel* [6]:

$$\Delta_{\pm} = C_{i+1} - C_i. \quad \text{Выделение амплитуд} \quad (1)$$

$$B_i = (p_i + p_{i+1}) + \pi / \text{Arc cos } \angle \alpha. \quad \text{Доля прироста} \quad (2)$$

$$B_y = B_i - h_{st}. \quad \text{Выбор стандарта} \quad (3)$$

$$ДУУ_{ij} = B_y + B_{y+1}. \quad \text{Доля условного участия} \quad (4)$$

$$ДУА_{ij} = ДУУ_{ij} / n - 1 \quad \text{Доля условной активности} \quad (5)$$

$$KE-1,2 = ДУУ * ДУА. \quad \text{Кумулятивная емкость гармоник} \quad (6)$$

$$РДС = 1 / [\sqrt{\sum (ДУУ_i - ДУУ_j)^2 / n - 1}]. \quad \text{Резерв динам. сопряжения} \quad (7)$$

$$B_x = \sqrt{(B_{\pm} - OP_{инт})^2}. \quad \text{Выбор тенденции гармоники} \quad (8)$$

$$НВ_x = B_x + B_{x+1}. \quad \text{Накопительная вариабельность} \quad (9)$$

$$KE-3 = ДУУ_{B_x} * ДУА_{B_x} \quad \text{Кумулятивная емкость 3-го уровня } (\pm) \quad (10)$$

$$ДСА = [(HB_i + HB_j)/HB_j] - [(HB_i + HB_j)/HB_i]. \quad \text{Диапазон} \quad (11)$$

$$P = \lim m/n. \quad \text{Вероятность исхода} \quad (12)$$

Четырехмерная измерительная модель (рис. 8) позволяет выделить доминантные антагонистические взаимозависимости активных (P^+) и пассивных (P^-) накопитель-

ных форм между возрастающими и убывающими тенденциями, которые образуются при их переходе из одной зоны в другую.

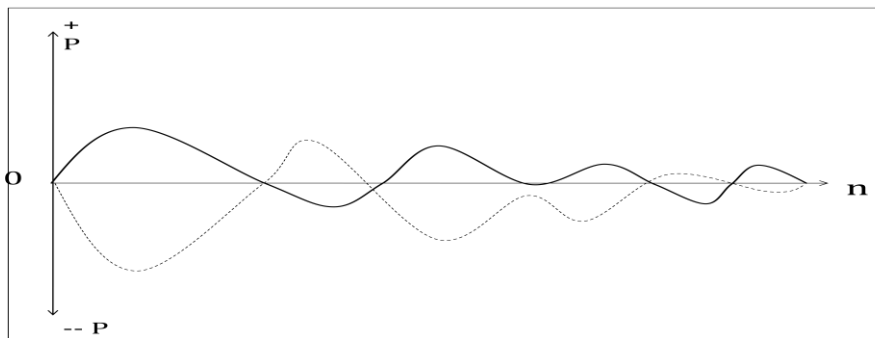


Рис. 8. Четырехмерная пространственно-временная модель

На данной мерной модели активная (+, +...+) и пассивная (-, -...-) плоскости разделены изолинией (0,0), а линии графиков, которые попадают в эти зоны будут или активными, или пассивными [17]. Информационная и энергетическая связь накопления в иерархии динамики временных рядов живой и неживой природы име-

ет свое отражение во взаимозависимых активных и пассивных накопительных формах [8].

Для анализа этих структурных форм предлагается многомерная измерительная модель (табл. 1) двухкомпонентной зависимости между тенденцией формы и тенденцией итогового накопления [21].

Таблица 1. Определение форм антагонистических взаимодействий

Накопительная вариабельность	Тенденция формы		Итог накопления	
	активная	пассивная	возрастающий	убывающий
Активно-возрастающая	+		+	
Пассивно-возрастающая		-	+	
Активно-убывающая	+			-
Пассивно-убывающая		-		-

Результаты исследований и их об-суждение. Временной динамический ряд показателей АД был разложен на иерархические уровни рядов, состоящих из амплитудных вариаций. Каждая амплитуда иерархического уровня отражает внутреннюю связь между пространством и временем (пространственно-временной континуум). В отличие от вариационной дисперсии, отражающей варьирование единиц численно ограниченной совокупности, а пространственно-временной континуум объясняет постепенный переход от одного состояния к другому. Данное метрическое

пространство в данной работе измеряется показателями метода долевого тренда.

Виды амплитуд и различные уровни иерархии предполагают использование многомерных моделей. Так, для оценки гистограммы суточного профиля показателей САД используется двумерная модель (Рис. 3). Для выявления антагонистических взаимодействий используется 4-мерная модель (рис. 4-7). Двухкомпонентная зависимость между тенденцией формы и тенденцией итогового накопления определяется многомерной таблицей 1.

Состояние регуляции АД «нормотоников» следует рассматривать как норму.

Профили САД и ДАД у «нормотоников» имеют корреляционную зависимость. Однако, как мы видим в рисунке 1, у гипертоников профили САД и ДАД имеют различия в разнонаправленности, которые указывают на нарушение системной регуляции. Блоки СПС и СВ в регуляции синхронизированы и отражены в динамике САД и ДАД. А нарушения в иерархической структуре регуляции одного из блоков могут быть измерены путем анализа динамической конфигурации профилей.

Из таблицы 2 мы видим значительные различия в показателях ДТ между «нормотониками» и гипертониками. В показателе КЕ-3 у гипертоников

регуляция тонуса сосудов снижена (СПС+ 0,001 и -0,02), а регуляция сердечного выброса (СВ – -0,12 и 0,183) повышена. У «нормотоников» в регуляции и САД и ДАД селективно доминирует активно-возрастающая регуляция СПС+ (нв+ 1,81; 1,95, $P_{нв+}$ 0,55; 0,51), а у гипертоников эта регуляция – пассивно-возрастающая (нв+ 2,05; 2,06, $P_{нв+}$ 0,49; 0,49). Для «нормотоников» и гипертоников все доминирующие показатели выделены серым цветом. Общая вариабельность ряда «нормотоников» повышена ($\Sigma_{нв}$ - 12,99; 12,35), что говорит о больших адаптивных возможностях в регуляции и САД и ДАД.

Таблица 2. Системная регуляция артериального давления в гармониках 3-го иерархического уровня

СИСТЕМНЫЕ БЛОКИ РЕГУЛЯЦИИ	показатели ДТ	«нормотоники»		Гипертоники	
		САД	ДАД	САД	ДАД
Возраст. (СПС+)	КЕ-3	0,26	0,08	0,001	-0,02
Убывающ.(СВ–)	КЕ-3	-0,01	0,02	-0,12	0,183
Возраст. (СПС +)	НВ	1,81	1,95	2,05	2,06
Убывающ.(СВ–)	НВ	2,24	2,06	1,95	1,94
Возраст.(СПС+)	$P_{нв}$	0,55	0,51	0,49	0,49
Убывающ(СВ–)	$P_{нв}$	0,45	0,49	0,51	0,51
(НВ) + (НВ)	$\Sigma_{нв}$	12,99	12,35	10,92	10,65
(НВ _б) – (НВ _м)	ДСА	0,43	0,11	0,10	0,12

Примечание: ДТ – долевая тенденция; СПС+ – сопротивление периферических сосудов; СВ– – сердечный выброс; ДТ – долевая тенденция; КЕ-3 – кумулятивная емкость; НВ – накопительная вариабельность; ДСА – диапазон системных антагонистов; (НВ_б) – большая; (НВ_м) – меньшая.

Следует отметить, что у гипертоников доминирует активно-убывающая регуляция СВ (Убывающ. (СВ–), 0,51;0,51). Так же отмечено уменьшение диапазона между системными антагонистами (ДСА 0,10) в регуляции САД.

Выводы. Образующие в результате двоичные функции от двоичных переменных требуют сохранения структуры вариационного ряда на всех иерархических уровнях. Возможное возникновение помех, связанных с нарушением временных и количественных измерений, а также с несоблюдением технических правил измерения АД. В статистических исследованиях временного ряда так же необходимо последовательное использование виртуальных чисел.

Получаемый профиль при СМАД представляет собой отпечаток способности организма адаптироваться к внешней среде. Но, вот насколько его состояние соответствует уровню здоровья, проверяется сравнением с динамикой профиля «нормотоников». Сколько может быть таких стандартов? Видимо, для каждой возрастной группы, а также возможны различия для мужчин и для женщин.

Измерение профилей СМАД, как и для любого тестового измерения, должны иметь строгие рамки временных и количественных измерений, так же должны соблюдаться все правила технических требований.

Библиографический список

1. Бойцов С.А. Изучение патогенеза гипертонической болезни продолжается // Тер.архив. – 2006. – №9. – С. 5-12.
2. Бороноев В.В. Иерархия биоритмов в организме человека // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. Медицинские науки. – 2015. – №11 (часть 1). – С. 37-40.
3. Векшенов С.А. Математика и физика пространственно-временного континуума. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.chronos.msu.ru/old/RREPORTS/osnovaniya_fiziki/vekshenov_matematika.pdf.
4. Зеркаль О.В. Семантическая информация и подходы к ее оценке. Философия науки. – 2014. – № 1. – С. 53-66.
5. Информация и отражение. Краткий философский словарь под редакцией Алексева А.П. – М.: «Проспект», 2005. – 275 с.
6. Лобова О.Е., Скалюк В., Шутов А.Б. Разработка математической модели построения двумерных таблиц и ее реализация в программном приложении «контроль физических нагрузок в процессе организации тренировочных занятий». // Тез.Докл. 3-й Междунар. Науч.-практ.конф., «Проблемы, инновационные подходы и перспективы развития индустрии туризма». – Сочи: СГУТиКД, 2005. – С. 388-389.
7. Лукичев В.А. «Антагонизм». – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://csruso.ru/nashi-universitety/filosofija/v-a-lukichev-antagonizm/>.
8. Мацканюк А.А., Шутов А.Б. Связь структурных характеристик в иерархии динамики временных рядов живой и неживой природы. // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2018. – № 12-1. – С. 149-159.
9. Рогоза А.Н., [и др.] Современные неинвазивные методы измерения артериального давления для диагностики артериальной гипертонии и оценки эффективности антигипертензивной терапии. – М.: Медика, 2007. – С. 71, (суточные профили АД по результатам СМАД).
10. Соколов Б.В., Юсупов Р.М. Неокибернетика в современной структуре системных знаний // Робототехника и техническая кибернетика. – 2014. – № 2 (3). – С. 3-10.
11. Судаков К.В. Информация в деятельности функциональных систем организма // Вестник Челябинского государственного университета. – 2009. – № 11 (149). – С. 35-46.
12. Флейшман Б.С. Основы системологии. – М.: Радио и связь, 1982. – С. 14.
13. Харченко Е.П. Артериальная гипертония: расширяющийся патогенетический континуум и терапевтические ограничения // Тер. архив. – 2015. – №1. – С. 100-104.
14. Чернух А.М., Александров П.Н., Алексеев О.В. Микроциркуляция. – М.: Медицина, 1975. – 456 с.
15. Шалыгин Л.Д. Современные представления о механизмах регуляции артериального давления // Вестник Национального медико-хирургического Центра им. Н.И. Пирогова. – 2015. – Т. 10, №2. – С. 109-115.
16. Шутов А.Б., Остапук В.И., Лобова О.Е., Полозов А.В. Исследование функций доле-вой цикличности метаболических процессов растений с помощью алгебры логики // Тез. докл. 8-й Междунар. науч.-практ. конф. «Проблемы, инновационные подходы и перспективы развития индустрии туризма». – Сочи: СГУТиКД, 2008. – С. 127-128.
17. Шутов А.Б., Попов Л.Д. Метрики континуума и селективные свойства антагонизма в сердечном ритме // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. – 2023. – № 6-2 (81). – С. 12-23. DOI:10.24412/2500-1000-2023-6-2-12-22.
18. Kolchinsky A., Wolpert D.H. Semantic information, agency, and nonequilibrium statistical physics. – [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/328394982_Semantic_information_autonomous_agency_and_non-equilibrium_statistical_physics.
19. Peixoto A.J., White W.B. Circadian blood pressure: clinical implications based on the pathophysiology of its variability // Kidney Int. – 2007. – Vol. 71, № 9. – P. 855-860.

20. Maturana H, Varela F. Autopoiesis and Cognition. – Dordrecht: D. Reidel Publishing Company, 1980. – 143 p.

21. Shutov A.B., Matskanjuk A.A. Antagonism in system regulation arterial pressure and its change after therapy nicergoline // East European Scientific Journal. – 2021. – №11 (75), part 4. – C. 58-67. – DOI: 10.31618/ESSA.2782-1994.2021.4.75.172.

DETERMINATION OF INTERDEPENDENCIES IN THE SYSTEMIC REGULATION OF BLOOD PRESSURE IN "NORMOTONICS" AND HYPERTENSIVE PATIENTS

A.B. Shutov¹, *Lecturer*

O.E. Lobova¹, *Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Associate Professor*

A.A. Matskanjuk¹, *Candidate of Technical Sciences, Associate Professor*

V.I. Ostapuk², *Candidate of Agricultural Sciences, Director*

¹**Sochi State University**

²**Eco-Expert LLC**

(Russia, Sochi)

Abstract. *Typical daily blood pressure (BP) profiles were investigated by the method of fractional trends (FT). It was found that antagonism is present in the systemic regulation of blood pressure between the peripheral vascular resistance unit (PVR) and the cardiac output regulation unit (CO), as a result of which the dominant regulator is revealed. It was revealed that in "normotonics" the ATP block dominates, and in hypertensive patients the CO block dominates in the regulation of blood pressure.*

Keywords: *daily blood pressure profile, continuum, systemic regulation, dominants, antagonism, metric models, equity trend, cumulative variability.*