

ПАТОЛОГИЧЕСКАЯ ФИЗИОЛОГИЯ / PATHOLOGICAL PHYSIOLOGY

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.54>

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЯВЛЕНИЯ ГИСТЕРЕЗИСА В ВЫЯВЛЕНИИ ГЕНДЕРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ РЕГУЛЯЦИИ АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ У СТУДЕНТОВ ПРИ КОГНИТИВНОЙ НАГРУЗКЕ

Научная статья

Арчибасова Е.А.^{1,*}, Куликов В.Ю.², Воевода М.И.³

¹ORCID : 0000-0001-8482-3319;

^{1,2}Новосибирский государственный медицинский университет, Новосибирск, Российская Федерация

³Федеральный исследовательский центр фундаментальной и трансляционной медицины, Новосибирск, Российская Федерация

* Корреспондирующий автор (helen280776[at]rambler.ru)

Аннотация

Явление гистерезиса в оценке колебательных процессов сила-частота сердечных сокращений позволяет выявить особенности межсистемных отношений регуляции работы сердца. Цель нашего исследования – выявление гендерных особенностей динамики регуляции артериального давления (АД) в условиях когнитивной нагрузки у студентов с применением явления гистерезиса. Обследовано 35 человек (18 – юноши, 17 – девушки), все участники – студенты второго курса медицинского университета, средний возраст 19±0,07 лет. У обследуемых определялось пульсовое давление и частота сердечных сокращений (ЧСС) в условиях гиперцикла – исходное состояние – когнитивная нагрузка (тест Амтхауэра) – восстановление после нагрузки. По результатам исследования установлено, что реакция АД и ЧСС в условиях проведения когнитивной нагрузки, характеризуется нелинейными закономерностями с характерными точками фазовых переходов. С использованием явления гистерезиса выявлены гендерные варианты реакции АД и ЧСС в условиях выхода из когнитивной нагрузки, которые у юношей, в отличие от девушек, проявляются в смене симпатических на парасимпатические влияния.

Ключевые слова: когнитивная нагрузка, явление гистерезиса, пульсовое давление, артериальное давление, частота сердечных сокращений, студенты.

THE USE OF HYSTERESIS PHENOMENON IN REVEALING GENDER SPECIFICS OF BLOOD PRESSURE REGULATION IN STUDENTS UNDER COGNITIVE LOAD

Research article

Archibasova E.A.^{1,*}, Kulikov V.Y.², Voevoda M.I.³

¹ORCID : 0000-0001-8482-3319;

^{1,2}Novosibirsk State Medical University, Novosibirsk, Russian Federation

³Federal Research Center for Fundamental and Translational Medicine, Novosibirsk, Russian Federation

* Corresponding author (helen280776[at]rambler.ru)

Abstract

The phenomenon of hysteresis in evaluation of oscillatory processes of force-frequency of heart contractions allows to reveal specifics of inter-system relations of heart work regulation. The aim of our study was to reveal gender features of blood pressure (BP) regulation dynamics under cognitive load in students using hysteresis phenomenon. 35 people (18 male, 17 female) were studied, all participants were second-year medical university students, average age – 19±0.07 years. Pulse pressure and heart rate (HR) under hypercycle conditions – initial state – cognitive load (Amthauer test) – recovery after load were determined in the subjects. According to the results of the study, it was found that the response of BP and HR under conditions of cognitive load, is characterized by nonlinear patterns with characteristic points of phase transitions. Using the phenomenon of hysteresis we revealed gender variants of BP and HR response under cognitive load, which in young men, in contrast to girls, are manifested by the change of sympathetic to parasympathetic influences.

Keywords: cognitive load, hysteresis occurrence, pulse pressure, blood pressure, heart rate, students.

Введение

При когнитивной нагрузке активируются различные отделы мозга, что может проявляться особенностями регуляции системы кровообращения. Регуляторные механизмы можно условно объединить в понятие единой функциональной системы вегетативного управления. При этом данная система является детерминированно-хаотичной [1]. В ряде исследований [2], [3], было показано, что когнитивные процессы жестко связаны с динамикой вегетативной регуляции работы сердца посредством общей нейрофизиологической основы. Сердечный выброс и периферическое сопротивление сосудов определяют один из важнейших показателей гемодинамики – артериальное давление (АД). При проведении когнитивной нагрузки регуляторный контур АД представляет собой структуру переходных процессов имеющих нелинейный характер [4]. Выполнение нагрузочного теста и восстановление после него можно представить в виде замкнутого гиперцикла, дающего возможность оценки траектории возврата регуляторных систем к начальной точке [5]. В оценке такого гиперцикла, как было показано нами ранее [6], целесообразно использование явления гистерезиса. В регуляции АД мы считаем наиболее важным механизм восстановления после нагрузки, т.к. в этот период осуществляется смена одной регуляторной программы на другую. В нашем исследовании явление гистерезиса в оценке колебательных процессов сила-частота сердечных сокращений в условиях цикла – состояния покоя-

когнитивная нагрузка-восстановление после нагрузки – позволяет выявить особенности межсистемных отношений регуляции работы сердца в группах юношей и девушек. Таким образом, понимание гендерных особенностей регуляции АД в условиях когнитивной нагрузки у студентов, с использованием явления гистерезиса, определили цели и задачи настоящего исследования.

Цель исследования: выявить гендерные особенности динамики регуляции артериального давления в условиях когнитивной нагрузки у студентов с применением явления гистерезиса.

Задачи исследования:

1. Оценить перспективы применения явления гистерезиса для оценки вегетативного баланса в условиях когнитивной нагрузки.

2. С использованием явления гистерезиса выявить варианты реагирования сердечно-сосудистой системы у студентов в условиях когнитивной нагрузки.

3. Провести анализ гендерных вариантов изменения основных показателей сердечно-сосудистой системы (АД, частоты сердечных сокращений (ЧСС)) на различных этапах когнитивной нагрузки.

Методы и принципы исследования

В исследовании приняли участие 35 человек из них – 18 юношей, средний возраст $19,4 \pm 0,1$ лет, 17 девушек, средний возраст $19,0 \pm 0,05$ лет, все участники студенты второго курса, педиатрического факультета медицинского университета г. Новосибирска. Исследование проводилось весной. В качестве нагрузки применялся тест Амтхауэра (устное решение арифметических задач) [7]. В ходе исследования регистрировалось АД, после чего определялось, пульсовое давление (ПД) в мм.рт.ст. Измерялась частота ЧСС – уд/мин. Осуществлялось 4 замера – ПД, ЧСС -1 – до проведения исследования, ПД, ЧСС -2 – во время исследования, ПД, ЧСС -3 – сразу после проведения исследования, ПД, ЧСС -4 – через 5 минут после проведения исследования [8]. Полученные результаты обрабатывались с использованием пакета прикладных программ: Excel-7.0, Advanced Grapher и Statistika-7.0. Для обработки полученных данных использовались непараметрические методы анализа для зависимых и независимых переменных. Различия считались достоверными при $p < 0,05$. При M – показатель средних величин, m – ошибка средней величины. Корреляционный анализ проводился по методу Спирмена. Различия считались достоверными при $p < 0,05$.

Основные результаты

На первом этапе нашего исследования мы оценили показатели ПД, и ЧСС в общей группе обследуемых, в группах юношей и девушек в 4-х измерениях (табл.1,2), и проследили динамику зависимости этих показателей относительно друг друга с применением явления гистерезиса (рис. 1,2). Юноши и девушки одного возраста $19 \pm 0,07$ лет, в группе девушек фаза менструального цикла не учитывалась.

Таблица 1 - Значения пульсового давления и частоты сердечных сокращений в четырех точках измерений в общей группе обследуемых

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.54.1>

Параметр	ПД-1, мм.рт.ст	ПД-2, мм.рт.ст	ПД-3, мм.рт.ст	ПД-4, мм.рт.ст	ЧСС-1, уд/мин	ЧСС-2, уд/мин	ЧСС-3, уд/мин	ЧСС-4, уд/мин
Общая группа	$40,2 \pm 1,8$	$40,0 \pm 2,2$	$42,0 \pm 2,2$	$39,7 \pm 1,5$	$77,2 \pm 1,6$	$90,4 \pm 2,4$ *	$87,3 \pm 2,0$ *	$78,1 \pm 1,8$

Примечание: $M \pm m$; ПД – пульсовое давление; ЧСС – частота сердечных сокращений; 1,2,3,4 – замер исследования; * - достоверное отличие

Как видно из представленных данных в таблице 1 в общей группе обследуемых достоверных отличий показателей ПД в 4-х измерениях не выявлено. ПД – это числовое различие между систолическим и диастолическим давлением. ПД при прочих равных условиях пропорционально количеству крови, выбрасываемой сердцем при каждой систоле. Динамика ПД – оценка инотропного эффекта работы сердца. Значения ЧСС достоверно ($p < 0,05$) увеличиваются в точках исследования - 2 – проведение нагрузки, и 3 – сразу после нагрузки, относительно исходного уровня ЧСС-1, также показатели ЧСС-2, ЧСС-3 достоверно выше уровня ЧСС-4 – восстановление после нагрузки. Эти изменения свидетельствует о значительном влиянии симпатического отдела вегетативной нервной системы (ВНС), которое проявляется хронотропным эффектом работы сердца.

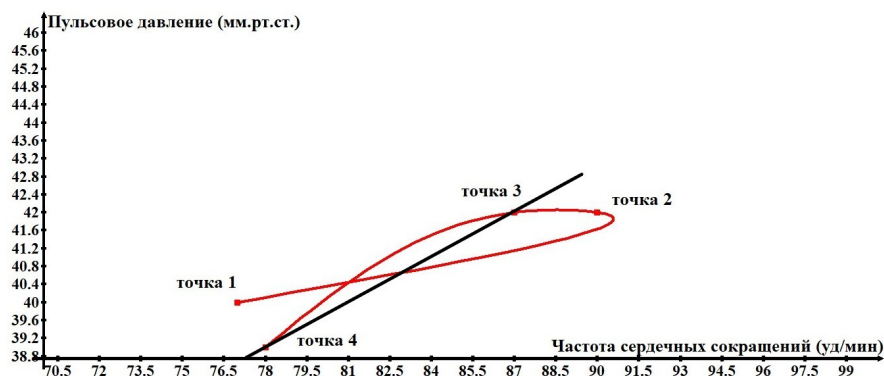


Рисунок 1 - Динамика ПД и ЧСС в четырех точках исследования в общей группе обследуемых
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.54.2>

Для построения петли гистерезиса учитывали одновременно показатели ЧСС и ПД в четырех точках исследования в системе координат x и y . В точке 2 – пик нагрузки, максимально увеличивается ЧСС (хронотропный эффект), в точке 3 сразу после нагрузки, ЧСС уменьшается, при максимальном показателе ПД (инотропный эффект). В нашем исследовании наибольшее внимание мы уделили механизмам регуляции работы сердечнососудистой системы (ССС) в период восстановления после нагрузки (фрагмент петли гистерезиса, выделенный черной прямой, соединяющей точки 3 и 4). В точке 4 – 5 мин. после, проведенной нагрузки уровень ПД и ЧСС – возвращаются практически к исходным значениям. Восстановление этих показателей происходит прямо пропорционально относительно друг друга. Траектория петли гистерезиса в общей группе обследуемых отражает процесс восстановления механизмов регуляции работы сердца после выполненной нагрузки.

Таблица 2 - Значения пульсового давления и частоты сердечных сокращений в четырех точках измерений в группах обследуемых юношей и девушек

DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.54.3>

Параметр	Юноши	Девушки	Достоверность
ПД-1, мм.рт.ст	44,4±2,3	35,8±2,4	p=0,01
ПД-2, мм.рт.ст	44,4±2,5	39,4±3,6	-
ПД-3, мм.рт.ст	46,6±2,8*	37,0±3,2	p=0,03
ПД-4, мм.рт.ст	40,5±2,4*	38,8±1,8	-
ЧСС-1, уд/мин	77,0±2,2	77,4±2,4	-
ЧСС-2, уд/мин	86,0±3,1*	94,2±3,4*	-
ЧСС-3, уд/мин	84,5±2,6*	89,8±3,0*	-
ЧСС-4, уд/мин	77,0±2,1*	79,1±3,0*	-

Примечание: $M \pm t$; ПД – пульсовое давление, ЧСС – частота сердечных сокращений; 1,2,3,4 – замер исследования; * - достоверное отличие в группах юношей и девушек (по вертикали)

Как видно из представленных данных в таблице 2 в группе юношей выявлено достоверное отличие показателя ПД, в точке-3, этот показатель максимально высок и достоверно выше ($p < 0,05$) уровня ПД в точке-4 – восстановление после нагрузки. В группе девушек достоверных отличий показателей ПД в 4-х измерениях не выявлено. В ходе исследования изменение ЧСС в группах девушек и юношей не отличается. ЧСС-2 и ЧСС-3 достоверно ($p < 0,05$) выше исходного уровня (ЧСС-1). Также показатели ЧСС-2, ЧСС-3 достоверно выше уровня ЧСС-4 – восстановление после нагрузки. При оценке значений ПД и ЧСС между группами юношей и девушек выявлены достоверные отличия показателя ПД-1 и ПД-3. Исходный уровень ПД у юношей выше, этот показатель увеличивается во время нагрузки и достигает максимума сразу же после ее завершения.

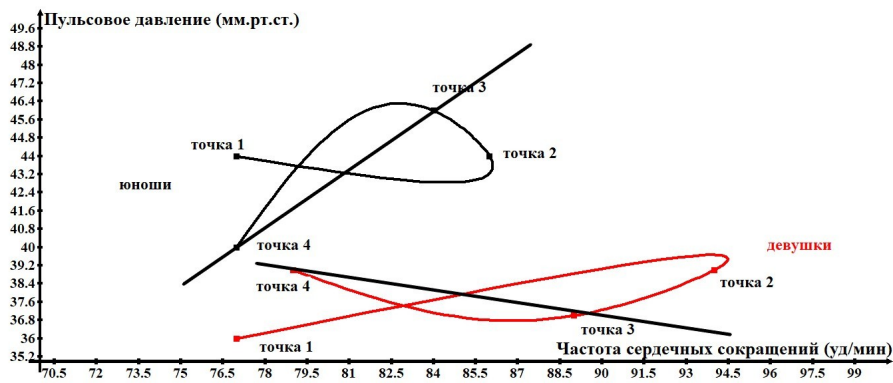


Рисунок 2 - Динамика ПД и ЧСС в четырех точках исследования в группах юношей и девушек
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.129.54.4>

При анализе динамики показателей ПД и ЧСС с применением явления гистерезиса в группе юношей выявлено максимальное увеличение ЧСС в точке 2, в точке 3 ЧСС начинает снижаться, при максимальном росте уровня ПД, за счет преобладания симпатического отдела ВНС, но при этом меняется вектор механизма регуляции – хронотропное влияние меняется на инотропное. В период восстановления после нагрузки (фрагмент петли гистерезиса, выделенный черной прямой, соединяющей точки 3 и 4), наблюдается смена регуляторных механизмов, точка-3 – точка «перегиба» отражает фазовый переход к доминирующему влиянию парасимпатического отдела ВНС в регуляции работы сердца. В точке 4 – ЧСС возвращается к исходному уровню, а уровень ПД – снижается. В группе девушек максимальное значение ЧСС и ПД наблюдается в точке-2 – ведущее значение симпатического отдела ВНС, проявляющееся хронотропным эффектом. В точке-3 эти показатели синхронно снижаются, при этом уровень ПД приближается к исходному значению, в период восстановления после нагрузки, в точке 4 – ЧСС возвращается к исходному уровню, а уровень ПД – увеличивается. Ведущая роль симпатического отдела ВНС сохраняется.

На втором этапе исследования проводился корреляционный анализ показателей ПД и ЧСС в общей группе обследуемых, в группах юношей и девушек в 4-х измерениях. Юноши и девушки одного возраста $19 \pm 0,07$ лет, в группе девушек фаза менструального цикла не учитывалась.

В общей группе обследуемых выявлена достоверная ($p < 0,05$) отрицательная корреляционная зависимость между показателями ЧСС-2 и ПД-4 (-0,38), и ЧСС-3 и ПД-4 (-0,40). В группе девушек, так же как в общей группе выявлена достоверная отрицательная корреляционная зависимость между показателями ЧСС-2 и ПД-4 (-0,39), и ЧСС-3 и ПД-4 (-0,48). Отрицательные корреляции в общей группе и группе девушек между исследуемыми параметрами выявленные на этапе восстановления после нагрузки отражают нелинейность механизмов регуляции работы сердца. Активность симпатического отдела ВНС, проявляется хронотропным эффектом на сердце. В группе юношей достоверной корреляционной зависимости между исследуемыми показателями не выявлено.

Обсуждение

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в общей группе обследуемых в условиях цикла – состояния покоя – когнитивная нагрузка – восстановление после нагрузки выявлено однонаправленное изменение показателей – ПД и ЧСС, эти показатели максимальны при проведении нагрузки и сразу же по ее окончании, при этом достоверно увеличивается только показатель ЧСС. Также выявлена достоверная отрицательная корреляция между показателями ПД и ЧСС в процессе восстановления после нагрузки. Таким образом, в общей группе обследуемых регуляция АД во время нагрузки и при восстановлении после нее обеспечивается симпатическим отделом ВНС, который в большей степени проявляется положительным хронотропным влиянием на сердце.

Большой интерес вызывает динамика регуляции АД в группах юношей и девушек в условиях когнитивной нагрузки. Исходный уровень ПД в группе юношей достоверно выше этого показателя в группе девушек. По мнению исследователей [9], пульсовое давление отражает состояние ССС, в частности величину ударного объема, и является важным диагностическим критерием многих патологических нарушений. ПД в артериальной системе непосредственно формируется за счёт работы левого желудочка и пульсовых колебаний гидростатического давления крови [10]. В нашем исследовании, рассматривая динамику ПД, мы оцениваем инотропный эффект работы сердца. В точках 2 и 3 цикла исследования в группе юношей наблюдается пик активности симпатического отдела ВНС, при этом в точке 2 – хронотропный эффект, в точке 3 – инотропный эффект. По нашему мнению, на пике когнитивной нагрузки симпатическое влияние более выражено на клетки синоатриального узла (SA-узел), что проявляется снижением мембранного потенциала покоя этих клеток и укорочением фазы медленной спонтанной диастолической деполяризации. При завершении нагрузки симпатическое влияние более активно на типичные кардиомиоциты, что в большей степени связано с активацией медленных кальциевых каналов. При анализе петли гистерезиса точка 3 является точкой «перегиба», т.е. в период восстановления после нагрузки меняется регуляторный контур: активность симпатического отдела подавляется ваготропным влиянием (ЧСС возвращается к исходному уровню, ПД ниже исходного). Время наступления фазового перехода отражает смену межсистемных регуляторных влияний, проявляющихся своей нелинейностью [11]. Траектория петли гистерезиса в группе юношей не отражает процесса восстановления механизмов регуляции АД после выполненной нагрузки.

Достоверно высокий показатель ПД-3 у юношей относительно ПД-3 группы девушек, позволяет предположить, что ведущим звеном регуляции АД во время когнитивной нагрузки является симпатическое влияние ВНС,

проявляющееся выраженным инотропным эффектом на сердце. В период восстановления доминирует парасимпатическое влияние – отрицательный инотропный эффект, показатель ПД-4 достоверно ниже ПД-3 (инактивация кальциевых и активация калиевых каналов – *ацетилхолинактивируемый K⁺-ток IK (ACh)*) [12].

В группе девушек, как и в группе юношей выявлены достоверное увеличение ЧСС точках 2 и 3 цикла исследования относительно ЧСС-1 – исходное состояние и ЧСС-4 – восстановление. Изменений показателя ПД – не выявлено. При анализе петли гистерезиса точка 2 является точкой «перегиба», в этой точке максимальные показатели ПД и ЧСС. В регуляции АД во время когнитивной нагрузки преобладает симпатический отдел ВНС, наблюдается хронотропный эффект. Мы полагаем, что у девушек на пике когнитивной нагрузки симпатическое влияние более выражено на клетки SA-узла, возможно связанное с активацией натриевых, кальциевых и фанни каналов – f-каналы [13]. В период от пика нагрузки к ее завершению симпатическое влияние ослабевает – показатели ЧСС и ПД снижаются. В период восстановления симпатическое влияние сохраняется – ЧСС возвращается к исходному значению при незначительном подъеме ПД. Траектория петли гистерезиса в группе девушек не отражает процесса восстановления механизмов регуляции АД после когнитивной нагрузки. В период восстановления после нагрузки у девушек выявлена отрицательная корреляционная зависимость между показателями ЧСС-2 и ПД-4, и ЧСС-3 и ПД-4, которая подтверждает ведущую роль в регуляции АД симпатического влияния ВНС, проявляющегося выраженным хронотропным эффектом на сердце.

На основании полученных данных можно говорить о том, что в гендерных группах в условиях когнитивной нагрузки в регуляции АД превалирует значение симпатического отдела ВНС, что является адаптирующим и мобилизующим механизмом в регуляции системы кровообращения. При этом у юношей адаптационный потенциал определяется за счет инотропного, а у девушек хронотропного эффектов на сердце. В период восстановления у девушек адаптирующее влияние симпатического отдела сохраняется, а юношей меняется регуляторный контур АД – преобладает парасимпатическое влияние, но вектор регуляции остается – инотропный (отрицательный) эффект на сердце.

Заключение

1. Использование явления гистерезиса позволяет выявить варианты реакции сердечно-сосудистой системы (АД и ЧСС) как в условиях проведения когнитивной нагрузки, так и при состоянии выхода (реакция восстановления).
2. Реакция артериального давления и ЧСС в условиях проведения когнитивной нагрузки характеризуется нелинейными закономерностями с характерными точками фазовых переходов.
3. С использованием явления гистерезиса выявлены гендерные варианты реакции АД и ЧСС в условиях выхода из когнитивной нагрузки, которые у юношей, в отличие от девушек, проявляются в смене симпатических на парасимпатические влияния.

Конфликт интересов

Не указан.

Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

Conflict of Interest

None declared.

Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

Список литературы / References

1. Киселев А.Р. Колебательные процессы в вегетативной регуляции сердечно-сосудистой системы / А.Р. Киселев, В.И. Гриднев // Саратовский научно-медицинский журнал. — 2011. — Т. 7. — 1. — с. 34-39.
2. Critchley H.D. Human Cingulate Cortex and Autonomic Control: Converging Neuroimaging and Clinical Evidence / H.D. Critchley, C.J. Mathias, O. Joseph, [et al.] // Brain. — 2003. — Vol. 126. — 10. — p. 2139-2152.
3. Huth G. Natural Speech Reveals the Semantic Maps that Tile Human Cerebral Cortex / G. Huth, W.A. Heer, T.L. Griffiths [et al.] // Nature. — 2016. — Vol. 532. — p. 453-458. — DOI: 10.1038/nature17637
4. Киселев А.Р. Моделирование повышенного среднего артериального давления в системе вегетативной регуляции частоты сердечных сокращений у человека / А.Р. Киселев, Ю.М. Ишбулатов, А.С. Караваев // Артериальная гипертензия 2018 на перекрестке мнений: тез. докл. 14-го Всерос. конгр. — Москва, 2018.
5. Куликов В.Ю. Применение явления гистерезиса в оценке системных взаимодействий при восстановлении основных показателей внешнего дыхания после физической нагрузки / В.Ю. Куликов, А.В. Абрамцова, Д.И. Волобуев // Медицина и образование в Сибири. — 2011. — 3.
6. Куликов В.Ю. Перспективы применения явления гистерезиса для оценки реакции восстановления в условиях проведения клиноортостатической пробы / В.Ю. Куликов, Е.А. Арчибасова // Сибирский медицинский вестник. — 2019. — 1. — с. 36-42.
7. Scult M.A. Thinking and Feeling: Individual Differences in Habitual Emotion Regulation and Stress-Related Mood Are Associated With Prefrontal Executive Control / M.A. Scult, A.R. Knodt, J.R. Swartz [et al.] // Clinical Psychological Science. — 2016. — Vol. 5. — p. 150-157.
8. Кокорин В.А. Современные аспекты измерения артериального давления / В.А. Кокорин, Н.А. Волков // Российский кардиологический журнал. — 2006. — Т. 11. — S. — с. 117-122.
9. Вахмистрова Т.К. Пульсовое давление у здоровых подростков / Т.К. Вахмистрова, О.А. Харченко, Т.Н. Балицкая [и др.] // Российский кардиологический журнал. — 2022. — Т. 27. — S6. — с. 6-7.

10. Levin R.A. Pulse Pressure: An Emerging Therapeutic Target for Dementia / R.A. Levin, M.H. Carnegie, D.S. Celermajer // *Front Neurosci.* — 2020. — Vol. 14. — p. 669. — DOI: 10.3389/fnins.2020.00669.
11. Флейшман А.Н. Вариабельность ритма сердца и медленные колебания гемодинамики / А.Н. Флейшман // *Нелинейные феномены в клинической практике.* — Новосибирск: СО РАН, 2009.
12. Бокерия О.Л. Ионные каналы и их роль в развитии нарушений ритма сердца / О.Л. Бокерия, А.А. Ахобеков // *Анналы аритмологии.* — 2014. — Т. 11. — 3. — с. 176-184.
13. Rivolta I. Cardiac and Neuronal HCN Channelopathies / I. Rivolta, A. Binda, A. Masi [et al.] // *Pflugers Arch.* — 2020. — 472(7). — p. 931-951. — DOI: 10.1007/s00424-020-02384-3.

Список литературы на английском языке / References in English

1. Kiselev A.R. Kolebatel'nye processy v vegetativnoj reguljácii serdechno-sosudistoj sistemy [Oscillatory Processes in Autonomic Regulation of the Cardiovascular System] / A.R. Kiselev, V.I. Gridnev // *Saratovskij nauchno-medicinskij zhurnal [Saratov Scientific Medical Journal].* — 2011. — Vol. 7. — 1. — p. 34-39. [in Russian]
2. Critchley H.D. Human Cingulate Cortex and Autonomic Control: Converging Neuroimaging and Clinical Evidence / H.D. Critchley, C.J. Mathias, O. Joseph, [et al.] // *Brain.* — 2003. — Vol. 126. — 10. — p. 2139-2152.
3. Huth G. Natural Speech Reveals the Semantic Maps that Tile Human Cerebral Cortex / G. Huth, W.A. Heer, T.L. Griffiths [et al.] // *Nature.* — 2016. — Vol. 532. — p. 453-458. — DOI: 10.1038/nature17637
4. Kiselev A.R. Modelirovanie povyshennogo srednego arterial'nogo davlenija v sisteme vegetativnoj reguljácii chastoty serdechnyh sokrashhenij u cheloveka [Modelling of Elevated Mean Arterial Pressure in the System of Autonomic Regulation of Heart Rate in Man] / A.R. Kiselev, Ju.M. Ishbulatov, A.S. Karavaev // *Arterial'naja gipertonija 2018 na perekrestke mnenij: tez. dokl. 14-go Vseros. kongr. [Arterial Hypertension 2018 at the Crossroads of Opinions: Abstracts of the 14th All-Russian Congress]* — Moscow, 2018. [in Russian]
5. Kulikov V.Ju. Primenenie javlenija gisterezisa v ocenke sistemnyh vzaimodejstvij pri vosstanovlenii osnovnyh pokazatelej vneshnego dyhaniya posle fizicheskoj nagruzki [Application of Hysteresis in the Assessment of System Interactions in the Recovery of the Main Indices of External Respiration after Physical Exercise] / V.Ju. Kulikov, A.V. Abramcova, D.I. Volobuev // *Medicina i obrazovanie v Sibiri [Medicine and Education in Siberia].* — 2011. — 3. [in Russian]
6. Kulikov V.Ju. Perspektivy primenenija javlenija gisterezisa dlja ocenki reakcii vosstanovlenija v uslovijah provedenija klinoortostaticheskoj proby [Prospects of Application of the Hysteresis Phenomenon to Evaluate the Recovery Reaction in the Cleanoorthostatic Test] / V.Ju. Kulikov, E.A. Archibasova // *Sibirskij medicinskij vestnik [Siberian Medical Bulletin].* — 2019. — 1. — p. 36-42. [in Russian]
7. Scult M.A. Thinking and Feeling: Individual Differences in Habitual Emotion Regulation and Stress-Related Mood Are Associated With Prefrontal Executive Control / M.A. Scult, A.R. Knodt, J.R. Swartz [et al.] // *Clinical Psychological Science.* — 2016. — Vol. 5. — p. 150-157.
8. Kokorin V.A. Sovremennye aspekty izmerenija arterial'nogo davlenija [Modern Aspects of Blood Pressure Measurement] / V.A. Kokorin, N.A. Volkov // *Rossijskij kardiologičeskij zhurnal [Russian Cardiological Journal].* — 2006. — Vol. 11. — S. — p. 117-122. [in Russian]
9. Vahmistrova T.K. Pul'sovoe davlenie u zdorovyh podrostkov [Pulse Pressure in Healthy Adolescents] / T.K. Vahmistrova, O.A. Harchenko, T.N. Balickaja, [et al.] // *Rossijskij kardiologičeskij zhurnal [Russian Cardiological Journal].* — 2022. — Vol. 27. — S6. — p. 6-7. [in Russian]
10. Levin R.A. Pulse Pressure: An Emerging Therapeutic Target for Dementia / R.A. Levin, M.H. Carnegie, D.S. Celermajer // *Front Neurosci.* — 2020. — Vol. 14. — p. 669. — DOI: 10.3389/fnins.2020.00669.
11. Flejšman A.N. Variabel'nost' ritma serdca i medlennye kolebanija gemodinamiki [Heart Rate Variability and Slow Hemodynamic Fluctuations] / A.N. Flejšman // *Nelinejnye fenomeny v klinicheskoj praktike [Nonlinear Phenomena in Clinical Practice].* — Novosibirsk: SO RAS, 2009. [in Russian]
12. Бокерия О.Л. Ионные каналы и их роль в развитии нарушений ритма сердца [Ion Channels and Their Role in the Development of Heart Rhythm Disorders] / О.Л. Бокерия, А.А. Ахобеков // *Annaly aritmologii [Annals of Arrhythmology].* — 2014. — Vol. 11. — 3. — p. 176-184. [in Russian]
13. Rivolta I. Cardiac and Neuronal HCN Channelopathies / I. Rivolta, A. Binda, A. Masi [et al.] // *Pflugers Arch.* — 2020. — 472(7). — p. 931-951. — DOI: 10.1007/s00424-020-02384-3.