

УДК 612.176

С.В. Панько¹, Е.Н. Саваневская²¹*д-р мед. наук, проф., зав. каф. анатомии, физиологии и безопасности человека
Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина*²*магистрант каф. анатомии, физиологии и безопасности человека
Брестского государственного университета имени А.С. Пушкина**e-mail: sport@brsu.brest.by*

**МЕДЛЕННОВОЛНОВЫЕ КОЛЕБАНИЯ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ КРОВООБРАЩЕНИЯ У ДЕВУШЕК
С НИЗКИМ ТОНУСОМ МИКРОСОСУДОВ НИЖНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ**

В статье представлены результаты спектрального анализа вариабельности тонуса мелких и крупных кровеносных сосудов ног, частоты сердечных сокращений и систолического артериального давления у девушек с низким тонусом мелких кровеносных сосудов нижних конечностей.

Введение

Исследование на протяжении длительного временного интервала вариабельности функциональных показателей сердечно-сосудистой системы является актуальным направлением интегративной физиологии, позволяющим изучать активность различных регуляторных механизмов. Анализ динамики медлен-новолновых колебаний частоты сердечных сокращений (ЧСС), артериального давления (АД) и тонуса периферических кровеносных сосудов открывает возможности для диагностики и прогнозирования состояния человека, выявления резервных возможностей организма [1]. На основе изменчивости медленноволновых процессов гемодинамики можно делать заключения об особенностях вегетативного обеспечения (симпатического и парасимпатического) сердечно-сосудистой системы [2; 3]. Исследования затрагивают как единичные функциональные показатели сердечно-сосудистой системы, так и их комплекс в различных сочетаниях [2–6]. Индикаторами основных регуляторных механизмов кровеносной системы (парасимпатического, симпатического, барорефлекторного, нейрогуморального, метаболического, дыхательного, миогенного, эндотелиального) являются медленные колебания гемодинамики. Активность регулирующих влияний проявляется в мощности этих колебаний, которую позволяет оценить метод спектрального анализа [7–12].

По принятым с 1996 г. стандартам [13], медленноволновые колебания физиологических параметров от 0,04 до 0,003 Гц получили название очень низкочастотных составляющих (Very Low Frequency – VLF). Их основная частота – 0,01 Гц. Далее следуют низкочастотные (Low Frequency – LF) составляющие, связанные с медленными колебаниями периодичностью от 0,15 до 0,04 Гц. В зарубежной и современной отечественной литературе их называют среднечастотными [2; 10; 11]. И, наконец, высокочастотные (High Frequency – HF) составляющие, формирующиеся дыхательными волнами в диапазоне 0,15–0,45 Гц.

В последние годы пристальному изучению подвергалась вариабельность ритма сердца и значительно меньше появлялось публикаций по оценке вариабельности других показателей гемодинамики (артериального давления, показателей микрокровообращения и др.). Очень мало работ по анализу вариабельности комплекса параметров гемодинамики, позволяющих дать интегральную оценку механизмов регуляции кровообращения. В доступной литературе мы не обнаружили сведений, характеризующих одновременные медленноволновые колебания нескольких функциональных показателей кровообращения с учетом фонового тонуса периферических кровеносных сосудов, что и явилось целью данной работы.

Объект и методика исследований

Регистрация показателей кровообращения у девушек-студенток производилась с помощью неинвазивной биоимпедансной методики по А.А. Астахову [14] на полифункциональном мониторе кровенаполнения «Кентавр». Электроды накладывались на спину, грудь, плечевые и бедренные отделы конечностей, на голень и большой палец правой ноги. Электрическое сопротивление, или импеданс, тканей между электродами измерялось с помощью реографа Р4-02. С четырех каналов реографа сигналы поступали в монитор кровенаполнения «Кентавр», где производилась их компьютерная обработка. С каждым ударом пульса монитор измерял гемодинамические показатели сердечно-сосудистой системы, в том числе амплитуду реоволны большого пальца ноги (АРП), амплитуду реоволны голени (АРГ), частоту сердечных сокращений (ЧСС) и систолическое артериальное давление (САД). САД измерялось монитором «Кентавр» реографически по скорости распространения пульсовой волны. После окончания измерений проводился спектральный анализ variability комплекса указанных выше параметров гемодинамики посредством быстрого преобразования Фурье по методике Р.М. Баевского [15]. Оценивались относительные (в % к общей спектральной плотности мощности) значения мощности колебаний параметров гемодинамики в трех частотных диапазонах: очень низкочастотном (VLF) – 0,015–0,04 Гц, низкочастотном (LF) – 0,04–0,15 Гц и высокочастотном (HF) – 0,15–0,4 Гц.

В обследуемую группу (14 человек) были отобраны девушки в возрасте 19–22 лет без значимой хронической патологии, имевшие на момент обследования нормальный тонус крупных магистральных сосудов и низкий тонус мелких кровеносных сосудов нижних конечностей. Регистрация данных мониторинга производилась в режиме реального времени в течение 5 минут в горизонтальном положении обследуемой девушки. Определение исходного тонуса мелких кровеносных сосудов (микрососудов) нижних конечностей для отбора в исследуемую группу осуществляли по показателям АРП, а крупных кровеносных сосудов (макрососудов) ног по значениям АРГ. При нормальном тонусе и, соответственно, диаметре кровеносных сосудов у взрослого человека АРП составляет примерно 80–150 мОм, а АРГ – 80–130 мОм. В случае вазодилатации и гипотонии АРП равняется 160 мОм и более, АРГ – 140–300 мОм. При высоком тонусе и сужении кровеносных сосудов величины АРП и АРГ падают ниже 30 мОм [14; 16].

Результаты исследований и их обсуждение

В течение пяти минут при нахождении обследуемой девушки в горизонтальном положении с каждым сердечным сокращением импедансометрически регистрировались АРП, АРГ, САД, а также длительность межсистолических интервалов, по которым рассчитывалась ЧСС в одну минуту. В таблице 1 представлены результаты измерений у одной из девушек указанных параметров гемодинамики, изменяющихся при систолах сердца. Выявленные изменения были типичны для всей группы обследованных.

Так, за 5 минут у испытуемой произошло 324 сердечных сокращения с разными межсистолическими интервалами, измеряемыми монитором «Кентавр» с пересчетом каждого интервала на ЧСС в одну минуту.

В результате средняя ЧСС составила $64,3 \pm 0,2$ уд./мин с диапазоном колебаний от 55 до 78 уд./мин. Средняя величина АРП оказалась равной $344,9 \pm 2,9$ мОм с изменениями от 234 до 469 мОм. В течение эксперимента менялся, хотя и в меньшей степени, тонус магистральных сосудов голени, о чем судили по АРГ. Средняя АРГ равнялась $89,6 \pm 0,4$ мОм с колебаниями от 71 до 106 мОм. САД также изменялось практически при каждом сокращении сердца. При средней величине САД $110,6 \pm 0,3$ мм рт. ст. диапазон колебаний составил 26 мм рт. ст. (от 97 до 123 мм рт. ст.).

Таблица 1. – Значения амплитуды револны пальца ноги (АРП), голени (АРГ), систолического артериального давления (САД) и частоты сердечных сокращений (ЧСС) у девушки с низким тонусом микрососудов и нормальным тонусом макрососудов

АРП	267	327	307	309	325	309	346	342	339	360	346	363	368	358	373	395	361	367	362	325	379	364	341	304
АРГ	83	91	95	89	93	78	99	93	93	93	93	95	93	93	95	95	85	97	95	71	95	89	83	75
САД	106	117	106	106	111	102	107	106	105	108	97	106	105	100	104	112	106	112	109	104	116	112	109	101
ЧСС	58	58	62	57	62	61	55	61	57	57	60	57	60	65	61	62	64	61	65	64	65	70	73	70

Продолжение таблицы 1

АРП	368	364	380	368	397	378	357	332	291	322	312	281	327	303	280	323	312	319	347	340	355	379	341	382
АРГ	91	93	95	87	93	83	87	89	69	95	89	73	95	95	81	87	87	89	89	83	93	93	79	87
САД	119	121	117	114	110	103	106	117	104	111	109	106	113	107	106	114	107	109	116	106	113	117	101	111
ЧСС	65	61	65	61	63	67	63	67	67	64	67	65	63	69	64	64	62	64	63	67	67	65	65	64

Продолжение таблицы 1

АРП	367	351	371	355	327	392	358	335	386	372	386	398	362	415	410	381	423	418	405	405	370	428	434	410
АРГ	91	87	91	89	83	95	95	79	95	91	95	95	79	95	97	83	97	95	93	89	73	97	95	85
САД	105	110	113	109	107	118	109	108	117	106	112	113	100	111	111	103	112	118	114	113	108	118	118	105
ЧСС	70	67	65	70	63	61	67	61	61	64	60	66	63	62	65	64	63	68	69	70	69	66	66	69

Продолжение таблицы 1

АРП	422	421	396	387	422	408	401	445	430	412	458	436	431	455	445	423	469	438	441	447	422	390	404	385
АРГ	91	93	91	87	97	97	85	97	102	87	100	100	89	100	100	85	100	97	89	95	91	71	91	95
САД	114	111	108	111	113	104	106	110	108	106	112	103	106	112	105	108	111	105	104	114	104	111	121	119
ЧСС	64	64	68	62	62	69	62	61	65	61	61	67	63	60	65	61	60	67	64	67	70	65	59	63

Продолжение таблицы 1

АРП	347	362	415	402	417	438	410	400	426	415	390	444	421	392	450	434	416	457	437	419	450	430	416	451
АРГ	83	91	106	91	95	95	95	85	91	95	79	93	93	79	95	91	79	87	91	79	69	83	81	89
САД	105	111	118	108	109	112	105	106	116	107	110	114	114	111	121	118	112	122	114	117	118	113	118	118
ЧСС	66	60	60	65	60	60	67	64	64	68	63	61	67	63	63	67	63	63	67	62	63	66	63	63

Продолжение таблицы 1

АРП	430	419	416	390	328	352	328	284	319	293	297	278	286	278	273	289	273	302	301	302	277	305	306	297
АРГ	85	87	89	89	73	89	102	81	93	78	89	79	81	81	83	89	75	87	91	91	75	91	89	87
САД	105	110	119	112	110	121	117	116	122	111	116	107	108	106	107	111	98	112	114	105	104	110	111	104
ЧСС	67	64	65	69	66	64	67	63	63	65	62	65	61	66	60	65	67	62	61	63	65	62	64	71

Продолжение таблицы 1

АРП	282	265	291	331	325	294	357	355	330	367	345	323	368	332	317	325	310	284	312	267	306	311	291	332
АРГ	87	69	87	91	93	79	91	95	81	91	93	81	95	91	87	93	87	87	97	81	95	95	85	93
САД	112	104	117	121	114	112	114	111	107	114	109	110	118	107	107	112	103	116	120	106	116	113	105	107
ЧСС	73	72	64	65	68	64	65	68	66	65	70	63	64	69	66	67	72	65	67	65	60	63	63	60

Продолжение таблицы 1

АРП	329	310	351	321	272	306	294	276	321	322	315	362	355	333	371	366	346	363	348	314	322	336	326	345
АРГ	91	75	85	97	85	97	97	79	93	87	83	95	95	81	97	93	77	95	95	77	91	97	85	97
САД	108	97	110	107	108	117	108	103	114	107	102	108	105	104	116	117	106	111	118	106	114	118	106	117
ЧСС	65	64	64	69	65	61	66	62	60	64	62	63	67	65	65	67	68	66	67	69	63	63	66	61

Продолжение таблицы 1

АРП	352	334	378	379	354	418	416	387	430	412	382	393	340	309	338	319	311	359	335	316	382	378	380	405
АРГ	97	83	100	97	77	95	100	83	95	97	87	102	102	83	97	95	85	93	91	83	93	91	91	95
САД	112	107	113	111	105	114	114	107	112	109	113	118	111	111	117	109	109	120	109	110	117	108	106	117
ЧСС	64	64	61	66	63	61	63	63	64	69	64	62	68	64	64	68	63	61	67	62	63	67	62	64

Продолжение таблицы 1

АРП	381	402	398	378	341	383	363	353	390	357	337	342	314	307	313	294	255	287	270	269	322	309	282	297
АРГ	85	97	93	87	87	97	91	89	95	89	93	97	95	83	91	93	75	91	81	79	87	100	87	89
САД	106	113	118	108	114	118	111	111	116	107	111	114	104	110	118	116	112	116	107	106	110	110	97	108
ЧСС	66	63	64	69	62	63	66	62	63	66	62	64	70	68	66	68	63	63	67	61	59	66	70	68

Продолжение таблицы 1

АРП	284	257	234	277	268	279	310	305	327	330	330	366	350	344	366	323	263	313	288	292	326	325	354	370
АРГ	93	87	79	104	89	85	91	87	93	95	87	100	95	89	100	91	81	100	89	93	102	89	97	100
САД	119	117	113	122	108	110	117	105	111	109	102	110	105	107	111	109	112	117	117	113	116	107	114	113
ЧСС	67	70	61	59	64	61	60	61	57	60	59	60	67	64	65	69	63	62	65	60	61	62	59	62

Продолжение таблицы 1

АРП	360	397	388	381	413	389	389	411	384	352	395	346	300	328	312
АРГ	81	91	95	91	97	87	85	89	89	75	97	95	79	93	95
САД	108	112	113	113	113	111	116	118	116	105	120	112	106	113	112
ЧСС	61	62	66	62	62	68	64	65	67	68	65	67	67	66	67

Продолжение таблицы 1

АРП	262	309	290	277	305	300	286	269	287	278	310	289	263	272	239
АРГ	73	91	91	77	83	89	89	73	91	87	95	91	85	87	65
САД	103	112	110	101	112	110	103	95	112	120	121	114	108	110	110
ЧСС	65	64	67	65	62	65	69	70	72	66	66	74	73	77	74

Продолжение таблицы 1

АРП	260	326	313	300	279	296	304	304	303	311	303	269	292	293	295
АРГ	85	100	91	93	79	93	91	91	89	93	93	79	95	100	100
САД	122	122	119	110	103	105	105	103	98	105	105	103	114	112	108
ЧСС	55	60	60	61	61	60	59	63	63	64	67	66	62	61	64

Продолжение таблицы 1

АРП	281	271	245	235	229	234	285	255	313	312	308	306	298	329	370
АРГ	89	89	87	91	75	87	97	81	89	97	91	97	91	102	102
САД	106	102	109	108	111	123	120	104	114	111	100	112	102	114	113
ЧСС	71	78	78	61	76	55	67	63	57	63	60	58	62	58	60

Колебания исследуемых показателей представлены графически на рисунках 1 и 2.

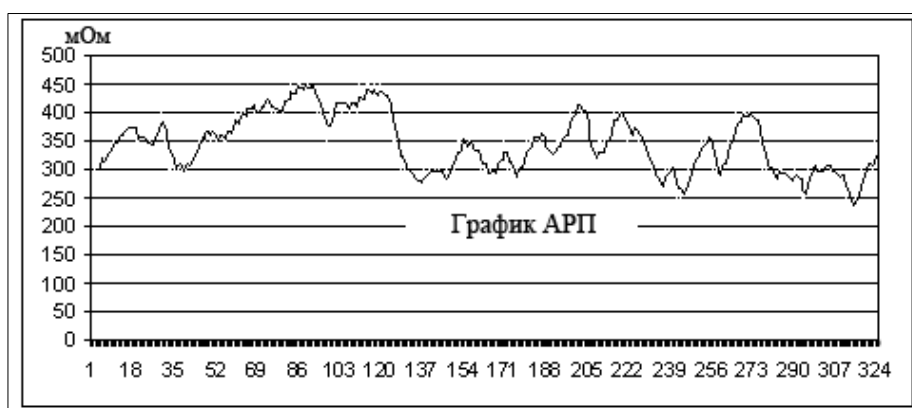


Рисунок 1. – Изменения АРП при каждом сокращении сердца



Рисунок 2. – Изменения АРГ при каждой систоле желудочков сердца

На графике изменений АРП (рисунок 1) отчетливо заметны несколько типов колебаний, различающихся своей частотой и амплитудой. Близки к ним по структуре, но со значительно меньшей амплитудой оказались колебания АРГ (рисунок 2), что, вероятно, объясняется схожим механизмом регуляции тонуса мелких и крупных кровеносных сосудов нижних конечностей.

На рисунке 3 представлены графики колебаний систолического артериального давления и частоты сердечных сокращений во время 5-минутного нахождения обследуемой студентки в горизонтальном положении. Как видно на графиках, волновой спектр САД и ЧСС был несколько иным, чем АРП и АРГ.

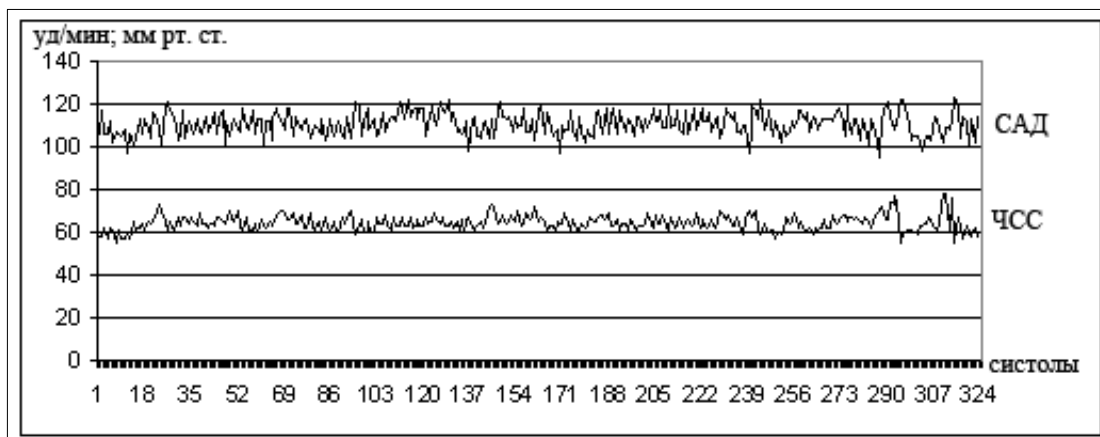


Рисунок 3. – Колебания САД при каждом сердечном сокращении и значений ЧСС (в минуту), рассчитанных по длительности межсистолических интервалов

Для более точного суждения о волновой природе исследуемых показателей был проведен спектральный анализ вариабельности АРП, АРГ, САД и ЧСС посредством быстрого преобразования Фурье. У представительницы экспериментальной группы с фоновым низким тонусом микрососудов и нормальным тонусом макрососудов нижних конечностей изучаемые показатели различались по спектральной структуре.

Так, при анализе спектральных составляющих АРП на периодограмме отчетливо заметен пик в области очень низких (VLF) частот (рисунок 4). Оценка спектральной плотности мощности (СПМ) по Р.М. Баевскому показала, что доля сверхнизких частот в структуре спектра АРП составляет 51,2%. Значительно меньшей выраженностью характеризуются низкочастотная (LF) и высокочастотная (HF) спектральные компоненты: их доли в общей мощности спектра составляют соответственно 28,9% и 19,9%.

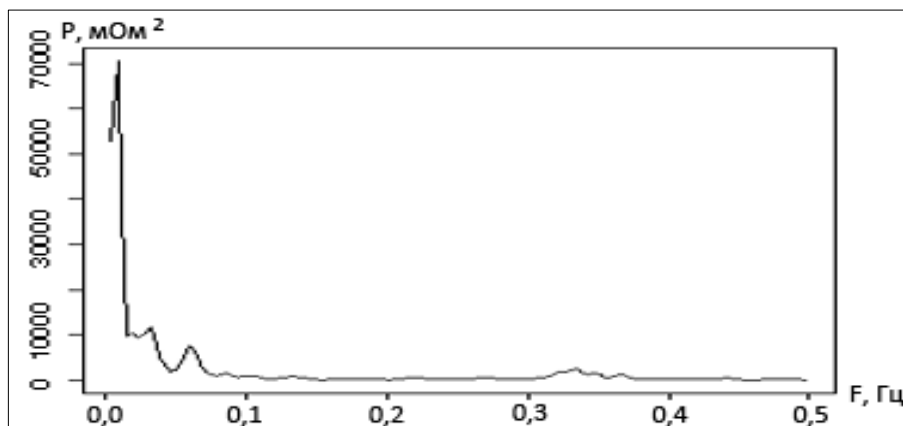


Рисунок 4. – Спектрограмма АРП

При анализе спектра АРГ у обследуемой девушки было обнаружено смещение СПМ в сторону высоких частот (рисунок 5). Мощность HF-волн АРГ у нее составила 80,3%. Доля медленноволновых колебаний достигала 14,4%, очень медленные волны внесли наименьший вклад в структуру ритма (5,3%).

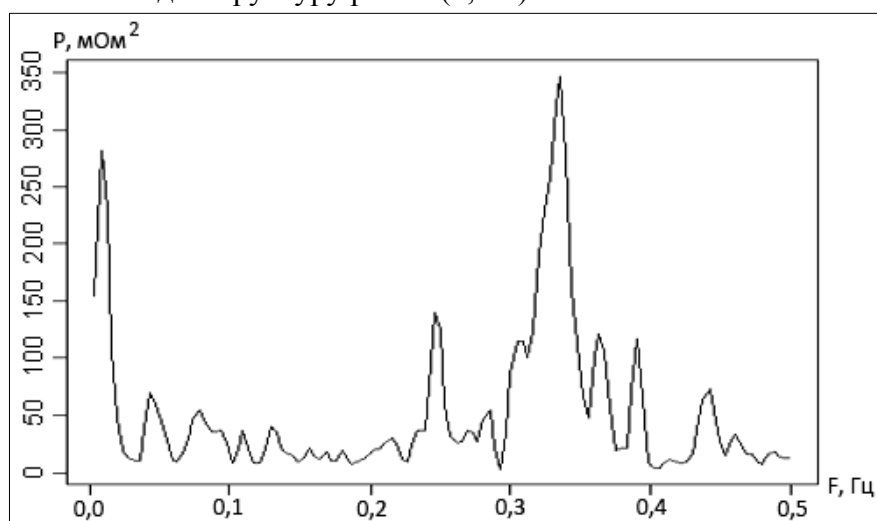


Рисунок 5. – Спектрограмма АРГ

Спектр систолического артериального давления также характеризовался наличием самого высокого пика в области высоких частот (рисунок 6). Доля HF-волн достигла 65,1%, медленные волны были выражены слабее, их вклад в СПМ составил 22,9%. Что же касается VLF-компоненты, то она составила 12% от общей мощности спектра.

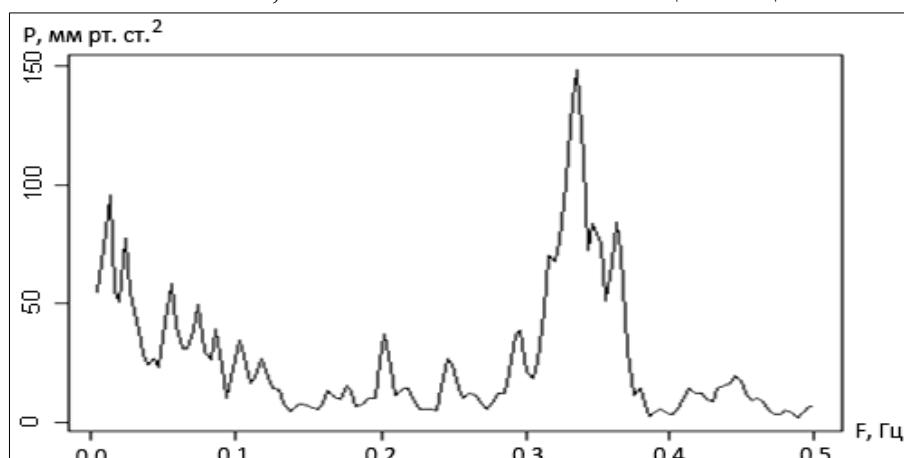


Рисунок 6. – Спектрограмма САД

При спектральном анализе кардиоинтервалов была выявлена тенденция, в целом сходная с таковой для САД. Тем не менее преобладание высоких частот было выражено слабее – их доля составила 49,1% (рисунок 7). Вклад медленных и сверхмедленных волн в мощность спектра кардиоритма составил соответственно 34,8% и 16,1%. Наличие большего вклада VLF- и LF-волн в СПМ сердечного ритма может свидетельствовать о более значительном влиянии на регуляцию работы сердца девушки с низким тонусом микро- и высоким тонусом макрососудов ног, находящейся в состоянии покоя в горизонтальном положении, гуморальной активности крови и барорегуляторных влияний, что согласуется с данными литературы [13]. Вместе с тем в СПМ обнаруживалась практически половина (49,1%) высокочастотной HF-компоненты, формирующейся в основном дыхательными волнами.

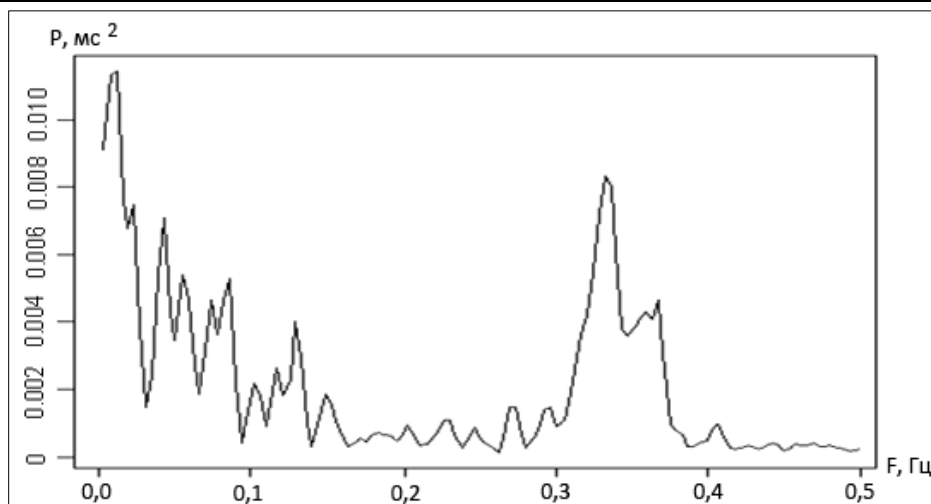


Рисунок 7. – Спектрограмма ЧСС

Наличие быстрых HF-волн свидетельствует о преобладании парасимпатической регуляции, а медленных LF-волн – симпатической. Спектральная составляющая сердечного ритма в области очень низких VLF-частот также характеризует активность симпатического отдела вегетативной нервной системы. Однако поскольку амплитуда VLF-волн тесно связана с психоэмоциональным напряжением и функциональным состоянием коры головного мозга, в данном случае, по-видимому, наблюдаются более сложные влияния со стороны надсегментарного уровня регуляции.

Заключение

1. Волновая активность четырех показателей кровообращения: тонуса мелких и крупных периферических кровеносных сосудов, систолического артериального давления и частоты сердечных сокращений имеет свои специфические особенности, зависящие от механизмов вегетативной регуляции и интеграции их с гуморальными, эрготропными и надсегментарными влияниями.

2. Спектры АРП и АРГ характеризуются противоположной тенденцией распределения основных пиков по частотным диапазонам. Если для спектра АРП характерен максимум в VLF-диапазоне, то в спектре реоволны голени наблюдается характерный пик в области высоких частот, что, вероятно, отражает более выраженное влияние дыхательных волн на тонус крупных кровеносных сосудов по сравнению с микрососудами.

3. Преобладание в СПМ реоволны пальца доли VLF-волн (51,2%) может свидетельствовать об активности симпатической регуляции в обеспечении тонуса микрососудов, а также, по мнению [2; 12], о церебральных эрготропных влияниях.

4. Для девушек с низким тонусом мелких и нормальным тонусом крупных кровеносных сосудов нижних конечностей характерна выраженность HF-волн в общей мощности спектров артериального давления и кардиоритма, что свидетельствует о преобладании у них в состоянии покоя в горизонтальном положении парасимпатической регуляции в обеспечении сердечной деятельности [9].

5. Установленные различия спектральной плотности мощности волновых колебаний исследуемых нами параметров кровообращения могут оказаться полезными для уточнения механизмов координированных актов регуляции деятельности сердечно-сосудистой системы.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вацилло, Е. Г. Исследование резонансных характеристик сердечно-сосудистой системы / Е. Г. Вацилло, А. М. Зингерман, М. А. Константинов // Физиология человека. – 1983. – № 2. – С. 257–265.

2. Наумова, В. В. Медленные колебания гемодинамики у юношей и девушек в условиях покоя / В. В. Наумова, Е. С. Земцова // Бюл. РАМН. – 2008. – № 6. – С. 23–29.
3. Вариабельность параметров кровообращения в зрелом возрасте / В. В. Наумова [и др.] // Вестн. СПбГУ. Сер. 11, Медицина. – 2008. – Вып. 3. – С. 154–163.
4. Астахов, А. А. Увеличение объема регуляторных и вазомоторных влияний как механизм адаптации гемодинамики к увеличению преднагрузки у здоровых / А. А. Астахов, Н. С. Давыдова // Вестн. Урал. мед. акад. науки. – 2011. – № 3. – С. 61–71.
5. Парандей, О. Р. Вариабельность импедансометрических маркеров ударного объема крови после инфаркта миокарда / О. Р. Парандей, М. А. Зубарев // Рос. журн. биомеханики. – 2007. – № 2. – С. 88–92.
6. Типологические особенности функционального состояния регуляторных систем у школьников и юных спортсменов / Н. И. Шлык [и др.] // Физиология человека. – 2008. – № 6. – С. 1–9.
7. Баевский, Р. М. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения / Р. М. Баевский, Г. Г. Иванов // Ультразвуковая и функциональная диагностика. – 2001. – № 3. – С. 110–111.
8. Крупаткин, А. И. Клиническая нейроангиофизиология конечностей (периваскулярная иннервация и нервная трофика) / А. И. Крупаткин. – М. : Науч. мир, 2003. – 328 с.
9. Флейшман, А. Н. Вариабельность ритма сердца и медленные колебания гемодинамики. Нелинейные феномены / А. Н. Флейшман. – Новокузнецк, 2005. – 121 с.
10. Астахов, А. А. Механизм адаптации гемодинамики у молодых здоровых людей к пассивной ангиостатической пробе / А. А. Астахов, А. А. Астахов // Медленные колебательные процессы в организме человека / VI Всерос. симпозиум, Новокузнецк, 24–27 мая 2011 г. : тез. докл. – Новокузнецк, 2011. – С. 105–112.
11. Wajima, Z. Assessment of the effect of rapid crystalloid infusion on stroke volume variation and pleth variability index after a preoperative fast. / Z. Wajima, T. Shiga, K. Imanaga // J. Clin. Monit. Comput. – 2010. – Vol. 24, № 5. – P. 385–389.
12. Very Low Frequency вариабельности ритма сердца: новый взгляд на структуру и свойства / А. Н. Флейшман [и др.] // Медленные колебательные процессы в организме человека. Теоретические и прикладные аспекты нелинейной динамики в физиологии и медицине : сб. тр. VII Всерос. симпозиума, Новокузнецк, 26–28 мая 2015 г. – Новокузнецк, 2015. – С. 12–23.
13. Мавлиев, Ф. А. Типологические особенности вариабельности параметров кровообращения / Ф. А. Мавлиев, А. С. Назаренко, Н. В. Соснов // Учен. зап. ун-та им. П. Ф. Лесгафта. – 2012. – № 9 (91). – С. 97–101.
14. Астахов, А. А. Физиологические основы биоимпедансного мониторинга гемодинамики и анестезиологии (с помощью системы «Кентавр») : в 2 т. / А. А. Астахов. – Челябинск, 1996.
15. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) / Р. М. Баевский [и др.] // Вестн. аритмологии. – 2001. – № 24. – С. 65–87.
16. Виноградова, Т. С. Инструментальные методы исследования сердечно-сосудистой системы / Т. С. Виноградова. – М. : Медицина, 1986. – 416 с.

Рукапіс паступіў у рэдакцыю 04.01.2017

Panko S.V., Savaneuskaya A.N. Low-Frequency Oscillations of Blood Circulation Parameters in Women of Low Blood Vessel Tone in Lower Extremities

The article deals with the results of power spectrum analysis carried out on the time series of major and minor blood vessels resistance, heart rate and systolic arterial pressure measured in women of low tone of minor blood vessels in lower extremities.