

УДК 616.-8-009.3-07:616.74-073.97:618.31

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОВЕРХНОСТНЫХ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ НА ТЕЛЕ ЧЕЛОВЕКА

© 1995 г. Е. В. Бухман, С. Г. Гершман, В. Д. Свет, Г. Н. Яковенко

Акустический институт им. Н.Н. Андреева РАН
117036 Москва, ул. Шверника, 4

Поступила в редакцию 20.01.94 г.

Исследованы низкочастотные спектры колебаний, возбуждаемых внутренними органами на поверхности тела человека. Выявлен ряд характерных особенностей пространственного распределения этих спектров в диапазоне 0.1 - 100 Гц.

Акустические колебания в организме человека являются частью разнообразных биологических процессов и в основном непосредственно порождаются деятельностью внутренних органов с ритмической подвижностью: сердечно-сосудистой системой, системой органов дыхания, пищеварительной и мышечной системами. Каждая система внутренних органов обладает собственными ритмами, на которые при непрерывном взаимодействии органов между собой налагаются суточные ритмы и воздействия внешней среды.

Предмет данной работы – исследование спектральных и топографических особенностей колебаний, формирующихся на поверхности тела человека в состоянии покоя. Объективные количественные оценки параметров ритмов отдельных систем, одновременно наблюдаемые в различных точках на теле человека, могут быть полезными как в биоритмологии, так и в медицине для распознавания нарушений ритмики внутренних органов, которые могут являться признаками патологии.

Распространенные в медицинской практике диагностические акустические методы (фонокардиография [1], фонопупмонография [2], фоноангиография [3], фоноэнтерография [4] и др.) основаны на регистрации сигналов и анализе их временной структуры. Эти методы являются по существу техническим дополнением аускультации – прослушивания организма пациента врачом. Детальный спектральный анализ использовался лишь в некоторых исследовательских работах и проводился, как правило, в звуковом диапазоне частот. Однако инфразвуковая часть спектра поверхностных колебаний также несет информацию о состоянии отдельных органов и всего организма в целом. Например, пульсовая диагностика, которая применяется в течении нескольких тысячелетий и является основой многих восточных медицинских школ [5]. В современной же медицине запись и анализ временной структуры пульсовых кривых служит лишь дополнением других диагностических методов.

Представленные в данной работе исследования проводились в диапазоне частот от десятых долей герца до сотен герц. Изучалась топография спектров на различных участках поверхности тела. В большинстве своем эти акустические широкополосные колебания являются непрерывными квазипериодическими процессами со сложной временной и спектральной структурами.

В наших экспериментах использовались датчики от кардиографической аппаратуры а также пьезоэлектрические сейсмоприемники изгибного типа (акселерометры) [6]. По данным проведенной нами контрольной калибровки, собственные резонансные частоты сейсмодатчиков составляют 650 - 800 Гц, их чувствительность не ниже 600 мВ/г. Важной особенностью использования таких датчиков в данном случае является зависимость метрологических характеристик измерительного тракта от вязкоупругих свойств мягких тканей и анатомической структуры организма. Известно [6], что при измерении кинематических характеристик поршневых колебаний поверхности тела величина погрешности измерений оценивается соотношением $\delta = |Z_d/Z_t|$ (Z_d – механический импеданс датчика, Z_t – механический импеданс ткани), и в диапазоне частот ниже $f_0 = 3/2\pi(K_t/M_d)^{1/2}$ не превышает 10% (здесь M_d – масса датчика, K_t – жесткость ткани под датчиком). Эти вопросы рассмотрены в ряде исследований, в частности в работе [6], где проведена оценка частотных искажений при размещении датчиков на различных участках поверхности тела. Используемые нами приемники позволяют производить измерение ускорений с ошибкой, не превышающей 10%, от нулевых частот вплоть до частоты 240 Гц [7]. Надежный акустический контакт датчика с телом осуществлялся путем приклейки его двусторонней липкой лентой непосредственно к коже. На преимущества использования акселерометров при исследовании акустических процессов на поверхности тела человека указано

также в работе [8]. Авторы этой работы провели исследование дыхательных шумов на поверхности тела акселерометрами, реагирующими на колебательную скорость.

Для записи и анализа акустических сигналов был создан экспериментальный стенд, включающий комплект НЧ датчиков и усилительной аппаратуры, многоканальный магнитофон, анализатор спектра, самописец и специализированную ЭВМ "Plurimat". Регистрировались сигналы одновременно с различных точек поверхности грудной клетки, брюшной полости и конечностей. Число каналов одновременной регистрации сигналов варьировалось от 4 до 12.

Были сделаны серии записей колебаний на поверхности тела человека, находящегося в состоянии покоя в положении лежа, в точках, расположенных вдоль тела человека, начиная от сонной артерии и кончая сосудами конечностей. Эксперименты проводились на нескольких людях разного пола и возраста.

На рис. 1 приводятся спектры колебаний $S(f)$ в этих точках. Спектры приводятся в линейном масштабе в диапазоне 0 - 100 Гц. (Время интегрирования 20 с.) Схема расположения датчиков изображена на этом же рисунке. Спектральный анализ показал наличие индивидуальных особенностей наряду с топографическими. Исследование индивидуальных различий не проводилось, так как оно требует длительного мониторинга и большого количества экспериментов в клинических условиях под медицинским наблюдением. Поэтому в дальнейшем речь пойдет только о топографических спектральных различиях поверхностных колебаний на теле человека, оказавшихся общими для всех испытуемых. Время одной записи 15 - 30 мин.

Колебания в точках, расположенных на конечностях, характеризуются наибольшей изменчивостью спектров, что, вероятно, обусловлено влиянием мышечного тремора.

Спектры колебаний на торсе человека оказались гораздо стабильнее. О топографических особенностях этих спектров, являющихся общими для всех испытуемых, можно сказать следующее. Самыми широкополосными и разнообразными по структуре оказались спектры колебаний на грудной клетке. Нижняя граница их диапазона составляет 0.1 Гц, а верхняя изменяется в зависимости от точки регистрации от 50 до 90 Гц (рис. 1б, 1в). Спектры колебаний в области сонной артерии уже и сосредоточены в основном в диапазоне 0.1 - 40 Гц (рис. 1а). Спектры колебаний на животе (рис. 1г) и в области бедренной артерии (рис. 1д) еще более узкие и низкочастотные. Они занимают диапазон 0.1 - 25 Гц. В самой низкочастотной области спектры имеют линейчатый характер, заметны характерные пики, чередую-

щиеся с частотой пульса (1.0 - 1.2 Гц). Особенно отчетливо они проявляются на рис. 1г, 1д, 1е. Эта линейчатость характерна для спектров колебаний всех крупных сосудов. На большинстве полученных спектров колебаний на грудной клетке и на животе, а иногда и на бедренной артерии присутствует низкочастотная составляющая на частоте около 0.3 Гц, что соответствует основной частоте дыхания.

Анализ проявляет для колебаний в области грудной клетки, а также некоторых других точек модуляцию спектров с шагом модуляции около 3 Гц (рис. 1а, 1б, 1в). Это, по-видимому, обусловлено временной структурой сердечного цикла, в котором длительность систолы составляет 1/3 от длительности всего сердечного цикла.

Спектры колебаний на грудной клетке имеют и другие характерные особенности. Мы провели подробное изучение спектров в двух физиологически характерных точках: в районе аортального клапана (рис. 1б) и в районе митрального клапана (рис. 1в). В первой области спектры сравнительно узкие, верхняя частотная граница их около 50 Гц, а максимум расположен на частоте 20 - 30 Гц. Во второй области спектры значительно шире, верхняя частотная граница достигает 80 - 90 Гц. Эти спектры имеют два максимума: первый на частоте 20 - 30 Гц, как в области аортального клапана, а второй - на частоте 50 - 55 Гц. Спектры в районе митрального клапана состоят из 2-х частей: первая сходна с аналогичным участком спектров в районе аортального клапана, а вторая, по нашему мнению, обусловлена работой органов дыхания. На рис. 2 представлены участки этого спектра в диапазонах 0 - 10 Гц (рис. 2а) и 0 - 25 Гц (рис. 2б). На рис. 2 отчетливо видна низкочастотная компонента дыхания 0.295 Гц, ее вторая и третья гармоники, а также компоненты, соответствующие гармоникам пульсовой частоты, чередующимся с шагом около 1 Гц. Аналогичную картину можно наблюдать и на спектре в диапазоне 0 - 25 Гц. Кроме того, на этом рисунке видно, что на частотах от 15 Гц и выше начинает проявляться 3-х герцовая модуляция спектра. Одновременно проявляется и модуляция спектра с шагом порядка 0.3 Гц, т.е. частоты дыхания. Интересны также четко выраженные максимумы на частотах 9 - 11 Гц. По литературным данным [3], эти частоты характерны для вибраций расслабленных мышц. Возможно, наблюдаемые максимумы в нашем случае обусловлены вибрациями грудных мышц.

Детальное рассмотрение участков спектров грудной клетки в диапазоне 40 - 80 Гц (например, рис. 1в) показало, что спектры представляют собой набор дискретных компонент, расстояние между которыми около 0.3 Гц. Это соответствует

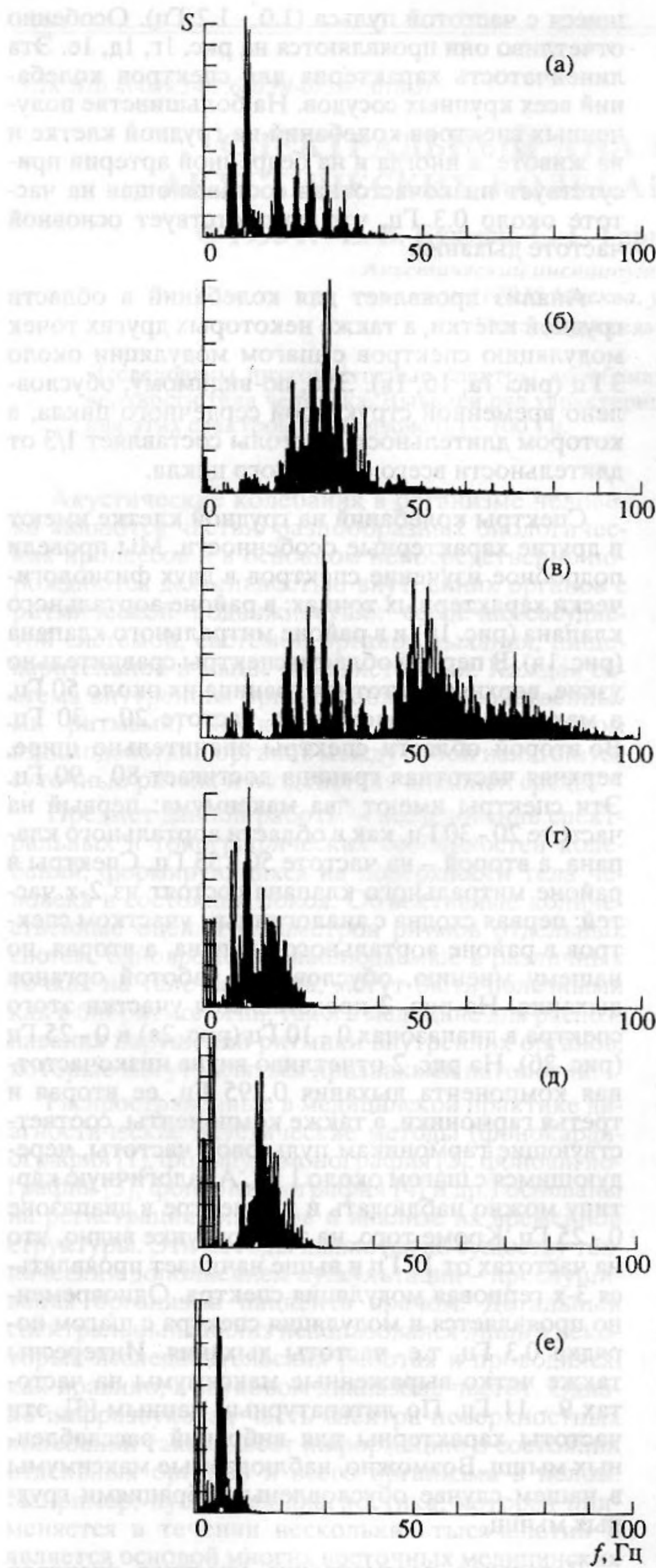


Рис. 1. Спектральные распределения в различных точках, соответствующих обозначенному расположению датчиков: а – в районе сонной артерии, б – на сердце в районе аортального клапана, в – на сердце в районе митрального клапана, г – в верхней части живота над пупком, д – в паху в районе бедренной артерии, е – под коленом. Линейный масштаб.

также в работе [1]. Авторы этой работы провели исследование выделенных шумов на выделенных в тела экспериментальных датчиков, работающих в диапазоне частот.

Для записи звуковых сигналов использовался компьютерный комплекс "ЭМ" (ЭМ - это компьютерный комплекс) с датчиком и усилителем сигнала. В качестве усилителя использовался усилитель с частотной характеристикой, близкой к идеальной. В качестве датчика использовался датчик с частотной характеристикой, близкой к идеальной.

Число каналов усилителя было равно числу датчиков. Выходные сигналы усилителя были записаны на магнитную ленту.

Были сделаны следующие выводы: в области частот от 0 до 100 Гц в спектре звуковых сигналов, полученных в различных точках, наблюдаются различия в амплитуде и частоте пиков.

В области частот от 0 до 100 Гц в спектре звуковых сигналов, полученных в различных точках, наблюдаются различия в амплитуде и частоте пиков.

В области частот от 0 до 100 Гц в спектре звуковых сигналов, полученных в различных точках, наблюдаются различия в амплитуде и частоте пиков.

В области частот от 0 до 100 Гц в спектре звуковых сигналов, полученных в различных точках, наблюдаются различия в амплитуде и частоте пиков.

В области частот от 0 до 100 Гц в спектре звуковых сигналов, полученных в различных точках, наблюдаются различия в амплитуде и частоте пиков.

В области частот от 0 до 100 Гц в спектре звуковых сигналов, полученных в различных точках, наблюдаются различия в амплитуде и частоте пиков.

В области частот от 0 до 100 Гц в спектре звуковых сигналов, полученных в различных точках, наблюдаются различия в амплитуде и частоте пиков.

В области частот от 0 до 100 Гц в спектре звуковых сигналов, полученных в различных точках, наблюдаются различия в амплитуде и частоте пиков.

В области частот от 0 до 100 Гц в спектре звуковых сигналов, полученных в различных точках, наблюдаются различия в амплитуде и частоте пиков.

В области частот от 0 до 100 Гц в спектре звуковых сигналов, полученных в различных точках, наблюдаются различия в амплитуде и частоте пиков.

В области частот от 0 до 100 Гц в спектре звуковых сигналов, полученных в различных точках, наблюдаются различия в амплитуде и частоте пиков.

В области частот от 0 до 100 Гц в спектре звуковых сигналов, полученных в различных точках, наблюдаются различия в амплитуде и частоте пиков.

В области частот от 0 до 100 Гц в спектре звуковых сигналов, полученных в различных точках, наблюдаются различия в амплитуде и частоте пиков.

В области частот от 0 до 100 Гц в спектре звуковых сигналов, полученных в различных точках, наблюдаются различия в амплитуде и частоте пиков.

В области частот от 0 до 100 Гц в спектре звуковых сигналов, полученных в различных точках, наблюдаются различия в амплитуде и частоте пиков.

В области частот от 0 до 100 Гц в спектре звуковых сигналов, полученных в различных точках, наблюдаются различия в амплитуде и частоте пиков.

В области частот от 0 до 100 Гц в спектре звуковых сигналов, полученных в различных точках, наблюдаются различия в амплитуде и частоте пиков.

В области частот от 0 до 100 Гц в спектре звуковых сигналов, полученных в различных точках, наблюдаются различия в амплитуде и частоте пиков.

В области частот от 0 до 100 Гц в спектре звуковых сигналов, полученных в различных точках, наблюдаются различия в амплитуде и частоте пиков.

В области частот от 0 до 100 Гц в спектре звуковых сигналов, полученных в различных точках, наблюдаются различия в амплитуде и частоте пиков.

В области частот от 0 до 100 Гц в спектре звуковых сигналов, полученных в различных точках, наблюдаются различия в амплитуде и частоте пиков.

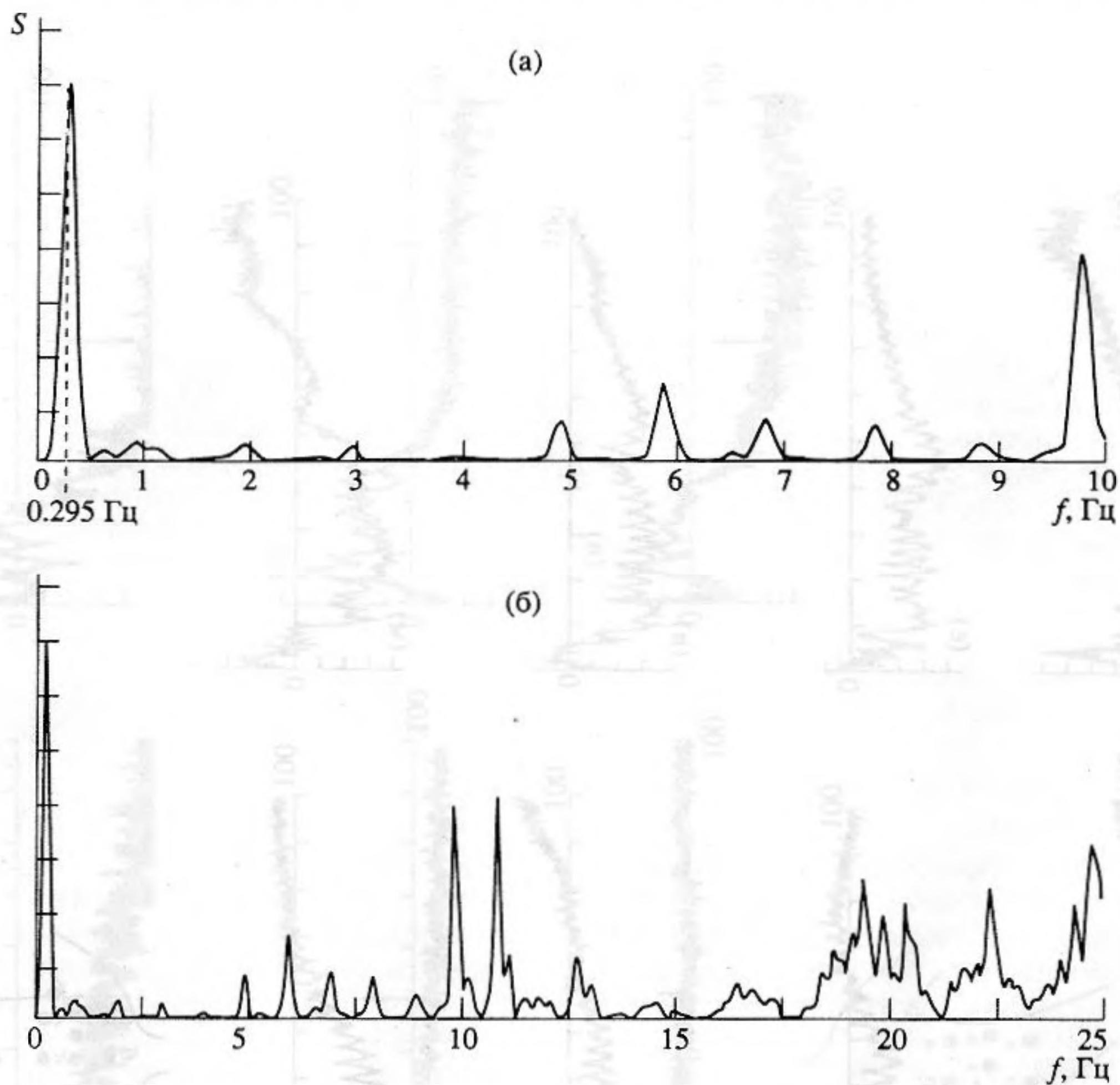


Рис. 2. Спектры колебаний в области митрального клапана. Линейный масштаб. Частотный диапазон: а - 0 - 10 Гц, б - 0 - 25 Гц.

основной частоте дыхания, выделенной на спектре, изображенном на рис. 2а.

Спектральный анализ позволил произвести количественную оценку амплитуд колебаний на поверхности тела. Наибольший интерес представляло измерение амплитуд колебаний различных участков поверхности тела на частотах дыхания и пульса.

Во всех указанных выше точках были выделены спектральные составляющие дыхания и пульса и проведены оценки амплитуд колебаний, вызванных этими двумя процессами на поверхности тела. Можно отметить следующие общие закономерности распределения амплитуд. Средний уровень амплитуд дыхательной компоненты на торсе значительно выше, чем на конечностях. Диапазон отличий оказался достаточно велик и составил несколько порядков: от долей мкм на конечностях до сотен мкм на торсе (в полосе $\Delta f = 0.1$ Гц). Индивидуальные отличия существенно меньше топографических: в идентичных точках (для разных людей) вариации амплитуды $a_{\text{дых}}$ не превышают одного порядка. Максимальные амплитуды колебаний $a_{\text{дых}}$ наблюдаются в области

аортального клапана (рис. 1б) и в верхней части живота (рис. 1г). Превышение амплитуды колебаний в одной из этих точек можно объяснить индивидуальными особенностями дыхания: преобладание верхнего (грудного) или нижнего дыхания.

Амплитуды колебаний на частоте пульса во всех случаях меньше амплитуд дыхания в тех же точках. Амплитуды на частоте пульса (в полосе 0.1 Гц) изменялись в пределах от $\sim 10^{-2}$ мкм под коленом до ~ 10 мкм в области локтевого сгиба. Для обоих рассматриваемых процессов на различных участках поверхности тела амплитуды второй гармоники, как правило, на порядок меньше амплитуды основной компоненты.

Наибольший интерес представляют колебания на поверхности грудной клетки и брюшной полости, так как их спектры обладают большей временной стабильностью по сравнению со спектрами на конечностях. Поэтому более подробно было проведено изучение этих колебаний и их спектров. Были сделаны две серии многоканальных записей:

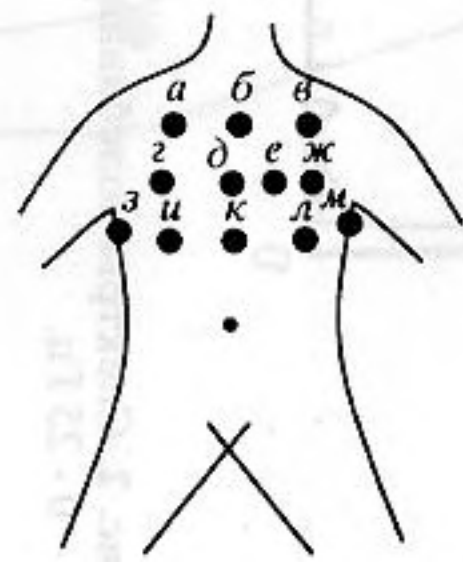
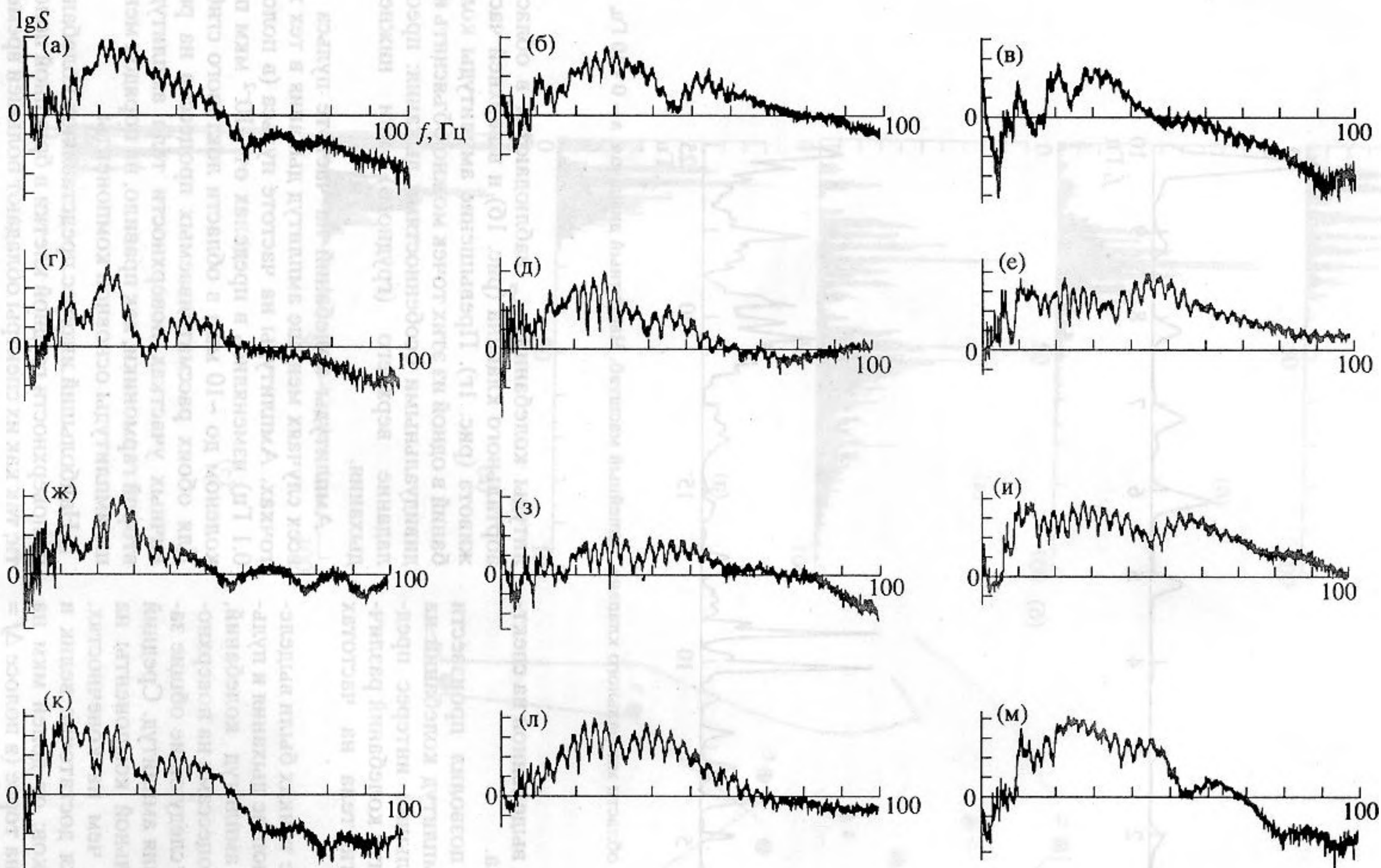


Рис. 3. Спектральные распределения в различных точках грудной клетки, соответствующих обозначенному расположению датчиков. Логарифмический масштаб.

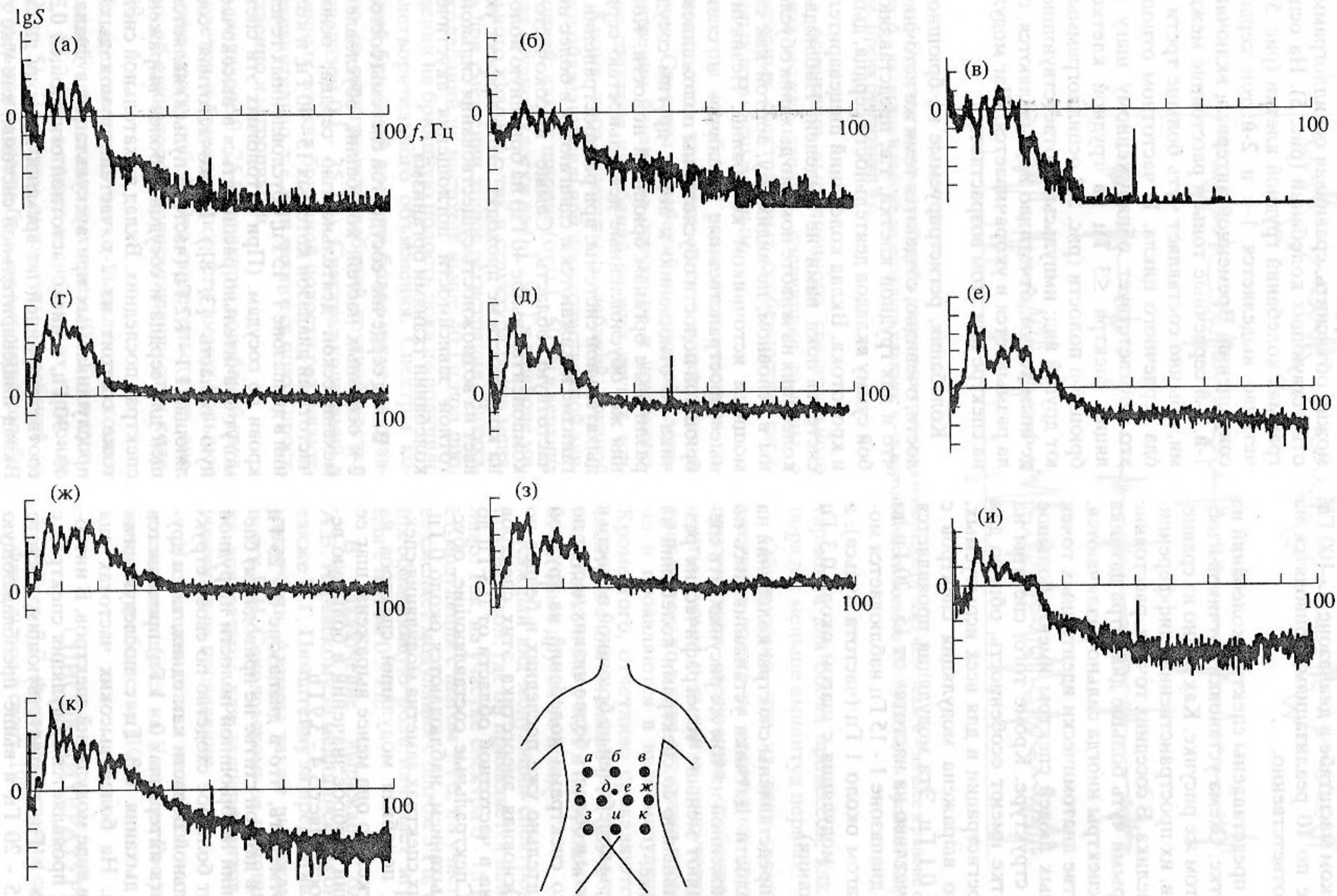


Рис. 4. Спектральные распределения в различных точках поверхности брюшной полости, соответствующих обозначенному расположению датчиков. Логарифмический масштаб.

на грудной клетке (12 каналов) и на брюшной области (10 каналов). Спектры этих серий в логарифмическом масштабе в диапазоне 0 - 100 Гц, усредненные по 10 реализациям, приводятся на рис. 3 и 4 соответственно.

На рис. 3 представлены спектры колебаний на грудной клетке. Схема установки датчиков изображена на этом же рисунке. Как видно из сравнения спектров, их пространственная дифференциация очень велика. В соседних точках, расстояние между которыми чуть больше диаметра датчика (т.е. ~5 см), спектры иногда сильно различаются. В большинстве анатомически идентичных точек для различных людей спектры имеют большое сходство по структуре. Кроме того, спектры на грудной клетке имеют особенность, общую для всех точек регистрации и для всех испытуемых. На них ярко выражена модуляция спектров с шагом 2.9 ± 0.1 Гц. Эта модуляция проявляется наиболее отчетливо на частотах от 15 - 20 Гц до 45 - 50 Гц. В диапазоне 1 - 15 Гц наблюдается модуляция с шагом около 1 Гц (частота пульса), а выше 50 Гц - модуляция с шагом около 0.3 Гц (частота дыхания).

На рис. 4 представлены спектры колебаний на брюшной полости. Датчики устанавливались по схеме, изображенной на том же рисунке. Эти спектры проявляют меньше топографических различий по сравнению со спектрами колебаний на грудной клетке.

Все спектры колебаний на брюшной полости в целом сдвинуты в область более низких частот по сравнению со спектрами колебаний на грудной клетке, значительно уже последних и беднее по структуре. Основная энергетика этих спектров сосредоточена в частотной области от 0.3 Гц до 25 - 35 Гц. Спектральные составляющие, обусловленные дыханием, наблюдаются около 0 Гц. На некоторых спектрах заметна модуляция спектров (3 Гц), подобная модуляции спектров на грудной клетке. Но она менее выражена, шаг ее имеет больший разброс значений и большую величину. Он составляет 3.4 - 3.9 Гц.

Следует отметить, что в диапазоне 0 - 25 Гц (эти рисунки в данной статье не приводятся) спектры колебаний на брюшной полости и грудной клетке имеют большое сходство по своей структуре. В начальной области как одних, так и других спектров (в интервалах 0 - 1 Гц) проявляется компонента дыхания 0.3 Гц с последующими гармониками. На более высоких частотах она проявляется в виде модуляций спектров. В интервале 1 - 7 Гц проявляется модуляция спектров с шагом около 1 Гц, соответствующим частоте пульса. От 15 - 20 Гц и выше преобладающую роль начинают играть модуляции спектров с шагом около 3 Гц.

Различие модуляционных картин на спектрах колебаний грудной клетки и брюшной полости можно объяснить, сравнивая осциллограммы соответствующих колебаний (рис. 5). На осциллограммах колебаний грудной клетки (рис. 5б) отчетливо выделяется 1-й и 2-й тон сердечных сокращений. Временной интервал, включающий 1-й, 2-й сердечные тоны и расстояние между ними, обычно составляет чуть больше трети периода сердечного цикла. В частотном отношении это соответствует обнаруженному шагу модуляции спектра ≤ 3 Гц на грудной клетке. На брюшной полости (рис. 5в) осциллограммы имеют другой вид: импульсы, соответствующие сердечным тонам, отчетливо не выделяются, систола размывается и укорачивается. Шаг модуляции на спектре при этом возрастает.

Колебания, регистрируемые на брюшной полости, очевидно, создаются теми же источниками, что и для грудной клетки, т.е. представляют собой сумму вкладов деятельности сердца, дыхания и кровотока. Вклад колебаний пищеварительной системы пока нами не выделен. Наблюдаемые колебания на животе помимо дыхания обусловлены в основном, по-видимому, аортой как самым мощным источником колебаний. Незначительные пространственные различия в спектрах брюшной полости обусловлены положением датчика по отношению к аорте, другим сосудам и различным органам брюшной полости. Колебания же, обусловленные деятельностью сердца и дыхательной системы, при распространении в организме искажаются и сдвигаются в более низкочастотную область. Самые высокочастотные компоненты (выше 40 Гц) на брюшную полость и на конечности не проходят. Этот эффект указывает на возможность существования сильной частотной зависимости поглощения акустических колебаний тканями организма.

Вклад сердечно-сосудистой системы состоит из 2-х основных частей: колебаний, обусловленных механической деятельностью сердца, основной частотный диапазон которых 15 - 40 Гц, и колебаний в диапазоне 1 - 15 Гц, обусловленных течением крови по сосудам. (При патологиях эти спектры могут значительно расширяться в высокочастотную область [3, 8].) Низкочастотная составляющая 1.1 - 1.2 Гц (частота пульса) является общей для сердца и сосудов и более выражена на спектрах последних. Вклад дыхательной системы тоже состоит из 2-х частей: шумов дыхания, прослушиваемых при аускультации в диапазоне 40 - 90 Гц, и низкочастотной огибающей 0.3 Гц, соответствующей по времени периоду дыхания. Вклад пищеварительной системы, как уже говорилось выше, нами пока не выделен ввиду отсутствия достаточно длительных наблюдений.

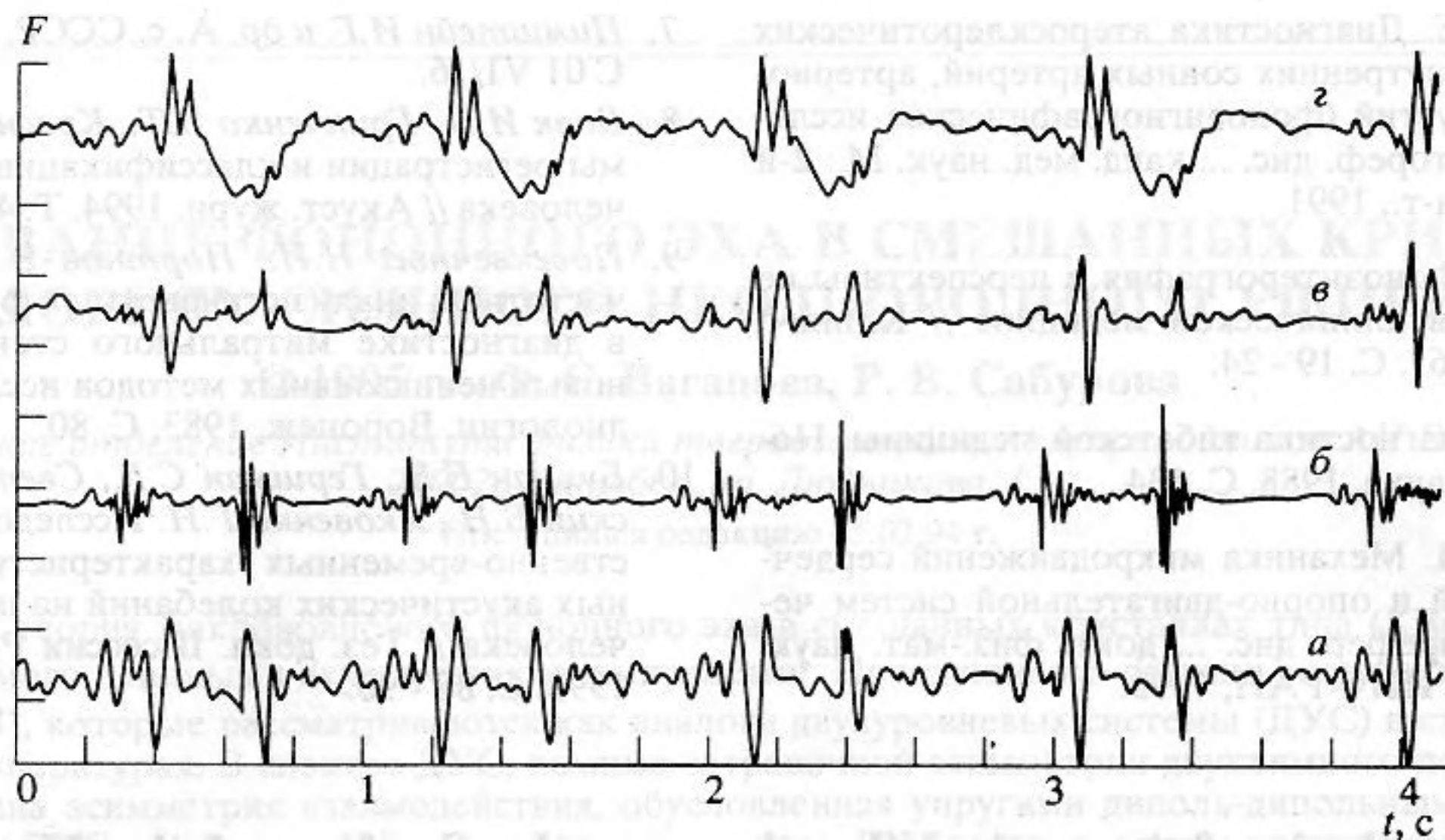


Рис. 5. Осциллограммы колебаний в различных точках на поверхности тела человека: а – на шее в районе сонной артерии; б – на сердце в районе аортального клапана; в – в верхней части живота над пупком; г – в районе бедренной артерии. Время реализации 4 с.

На основании выполненного спектрального анализа можно сделать следующие выводы о характерных спектральных особенностях, свойственных всем испытуемым.

Спектры колебаний различных участков поверхности тела человека имеют существенные отличия. Спектры колебаний на грудной клетке существенно богаче по структуре и широкополоснее спектров колебаний во всех других точках. Кроме того, спектры колебаний грудной клетки обладают сильной пространственной анизотропией: как их ширина (от 0.1 - 50 Гц в верхних точках грудной клетки до 0.1 - 90 Гц в районе митрального клапана), так и структура резко меняются при смещении точки регистрации. Затухание колебаний на частотах выше 40 Гц при прохождении на брюшную полость пока не получило удовлетворительного объяснения. Спектры колебаний брюшной полости более узкие по сравнению со спектрами колебаний грудной клетки (их диапазон 0.1 - 35 Гц). Спектры колебаний в различных точках брюшной полости различаются незначительно, т.е. они являются почти пространственно изотропными.

В диапазоне 0 - 25 Гц спектры колебаний грудной клетки и брюшной полости имеют большое сходство между собой. Это свидетельствует, очевидно, об одинаковом происхождении этих колебаний.

На всех спектрах четко выделяются компоненты, обусловленные дыханием (0.3 Гц) и пульсом (1 - 1.2 Гц), а также несколько их гармоник (от 2 до 5). При этом амплитуды колебаний на частоте дыхания всегда больше амплитуд колебаний на частоте пульса. Величина их различий зависит от точки регистрации. Амплитуды вторых

гармоник для обоих процессов, как правило, на порядок меньше амплитуд первых.

Обнаружено, что на всех спектрах грудной клетки, а также на некоторых других спектрах присутствует следующая особенность. Компоненты пульса и дыхания присутствуют на спектрах не только в виде аддитивных составляющих, но и проявляются в виде модуляций спектров. Кроме того, отчетливо проявляются модуляции спектров с шагом около 3 Гц (2.9 ± 0.1 Гц на грудной клетке и 3.6 ± 0.3 Гц на брюшной полости и в некоторых других точках).

Каждый вид модуляции спектров имеет свой поддиапазон, где он проявляется наиболее отчетливо. Так, на участке спектра 0 - 15 Гц доминирует модуляция с шагом 1 Гц, на участке 15 - 50 Гц ее сменяет модуляция с шагом 3 Гц, а выше 50 Гц преобладающую роль начинает играть модуляция с шагом 0.3 Гц.

В заключение выражаем благодарность А.В. Игневскому за медицинские консультации, а также И.Г. Пимштейну за предоставленные сейсмодатчики. Авторы также выражают благодарность Б.Н. Соколовскому за помощь в подготовке аппаратуры для экспериментов и активном участии в их проведении.

Настоящая статья является частью работы, докладывавшейся на II сессии Российского акустического общества [10].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дибнер Р.Д. Фонокардиограмма спортсмена. М.: Физкультура и спорт, 1983.
2. London R., Murphy R.L. Lung sounds. // Amer. Rev. Resp. Dis. 1984. V. 130. P. 663 - 672.

3. *Крупина Н.Е.* Диагностика атеросклеротических поражений внутренних сонных артерий, артериовенозных соустьев (фоноангиографическое исследование). Автореф. дис. ... канд. мед. наук. М.: 2-й Моск. мед. ин-т., 1991.
4. *Бачев И.И.* Фоноэнтерография и перспективы ее применения в клинической медицине // *Клинич. мед.* 1983. Т. 61. С. 19 - 24.
5. Пульсовая диагностика тибетской медицины. Новосибирск: Наука, 1988. С. 134.
6. *Антонец В.А.* Механика микродвижений сердечно-сосудистой и опорно-двигательной систем человека. Авторефер. дис. ... докт. физ.-мат. наук. Н. Новгород: ИПФ РАН, 1992.
7. *Пимштейн И.Г. и др.* А. с. СССР. № 1394954 МКИ С 01 V1/16.
8. *Вовк И.В., Гринченко В.Т., Красный Л.Г.* Проблемы регистрации и классификации шумов дыхания человека // *Акуст. журн.* 1994. Т. 40. № 1. С. 50 - 56.
9. *Повеквечных Н.И., Портнов В.П.* Амплитудно-частотный анализ стандартных фонокардиограмм в диагностике митрального стеноза // Развитие новых неинвазивных методов исследования в кардиологии. Воронеж, 1983. С. 80.
10. *Бухман Е.В., Гершман С.Г., Свет В.Д., Соколовский Б.Н., Яковенко Г.Н.* Исследование пространственно-временных характеристик низкочастотных акустических колебаний на поверхности тела человека // Тез. докл. II сессии РАО. М.: АКИН, 1993. С. 88 - 90.

Spectral Analysis of Acoustic Vibrations on the Surface of the Human Body

E. V. Bukhman, S. G. Gershman, V. D. Svet, and G. N. Yakovenko

Low-frequency spectra of the vibrations excited by the internal organs on the surface of the human body are investigated. Several specific features are found in the spatial distribution of the spectra in the frequency range 0.1 - 100 Hz.