

УДК 796.01:612; 796.022:53.08

## КОЛИЧЕСТВЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ВИБРОЭНЕРГИИ В ПРИПОВЕРХНОСТНЫХ ЗОНАХ ТЕЛА ПРИ ПОЛИВЕКТОРНОМ ВИБРОВОЗДЕЙСТВИИ

Д.И. САГАЙДАК, В.А. ЦИКУНОВ

*Научно-методическое учреждение Белорусского государственного университета  
«Республиканский центр проблем человека»  
Ленинградская 16, Минск, 220050, Беларусь*

*Поступила в редакцию 15 ноября 2016*

Разработана и апробируется аппаратура, реализующая адресную пространственную вибростимуляцию физиологически активных поверхностных зон тела. Изготовлены эргономичные беспроводные датчики и программные средства, количественно измеряющие энергетические и векторные виброхарактеристики в приповерхностных зонах тела. Количественно измерено взаимодействие виброчастот, синхронно вкачиваемых в различные зоны. Выявлены факторы взаимодействия и суммирования всех энергетических вибропараметров. Новые закономерности трансформации механической виброэнергии в теле пациента создают основу для управляемых результативных физиотерапевтических и медикореабилитационных методов.

*Ключевые слова:* физиотерапия, вибростимуляция, гашение и суммирование виброэнергии в теле, персонификация вибротерапии.

### Введение

Задачи повышения результативности физиотерапевтических и спортивно-тренировочных методов, основанных на вибромеханических воздействиях являются актуальными во всех видах медико-реабилитационных и медико-спортивных исследований [1, 2]. Результативное медико-реабилитационное применение вибростимуляции может быть достигнуто только при корреляционном управлении амплитудно-частотными параметрами вынуждающих колебаний по динамике физиологических реакций во всех функционально ответственных областях и органах тела. Для измерения амплитудно-частотных характеристик на вибротеле и в зонах тела пациента необходимо разработать эргономичные беспроводные датчики и программные средства, способные измерять индивидуально-векторные и обобщающие параметры механических частот, амплитуд и амплитуд ускорений.

Целью исследования являлось измерение динамики виброэнергетических характеристик поверхностных зон тела при многовекторном вибростимулировании пациента.

### Методика эксперимента

Многолетняя практика применения вибромеханического стимулирования в реабилитационных и развивающих методиках не имела реальных данных об энергетических характеристиках вибровоздействий. Стандартными параметрами вибростимулирования, приводимыми в методических материалах является частота и амплитуда, устанавливаемые на блоке управления виброаппаратуры [3–6]. Никаких данных о фактическом частотно-амплитудном состоянии тела пациента (спортсмена) не рассматривается.

Важнейшей проблемой в технологии вибростимулирования является оперативное в реальном времени измерение виброэнергетических процессов в физиологически активных зонах тела. Синхронизовано должно контролироваться состояние и реагирование систем жизнеобеспечения на вибровоздействие.

В данном исследовании использовалась новейшая вибростимуляционная аппаратура,

обеспечивающая общекорпоральное воздействие на тазобедренную зону или зону промежности синхронизовано с воздействием на верхний плечевой пояс. Для повышения информативности процедур измерения приведем протоколы исследования частот и амплитуд, полученные на пациентах, занимающих позы, аналогичные положению пациента на рис. 1.



Рис. 1. Положение пациента на вибростимуляторе, обеспечивающее взаимно перпендикулярное воздействие седла по вертикальной оси  $Y$  и горизонтального, через руки по оси  $X$

Для формирования протоколов системного исследования явлений распространения виброэнергии в теле пациента использовались следующие параметры:

- частота колебаний зоны тела, по осям  $X, Y, Z$ , Гц;
- амплитуда ускорения фронта волны по осям  $X, Y, Z$ ,  $m/c^2$ ;
- амплитуда суммарного ускорения,  $m/c^2$ .

В демонстрационном варианте приводимых далее таблиц, использовалось три точки, в которых размещались датчики: область между лопатками (Л); область поясницы (П); область на затылке (Ш).

Именно в такой последовательности приведены таблицы в протоколах отчетов. Вибростимулирование в каждой фазе проводилось пять раз по одной минуте с интервалом отдыха 30 с. Базовая информация протокола проведения вибростимуляции представлена в табл. 1.

Таблица 1. Базовая информация протокола

Название	V1474 V1476 1	V1477 V1479
Ф.И.О. клиента	1 – У. Виктор	2 – М. Дмитрий
Дата проведения	14.07.2015 11:19:46	14.07.2015 12:16:34
Количество фаз	3	3
Заданные частоты, Гц	7, 9, 11	7, 9, 11

### Результаты и их обсуждения

На рис. 2 демонстрируется личностная антропометрическая динамика частот и амплитуд ускорений возникающих в теле пациента при базовых вибровоздействиях, с точно заданной амплитудой и частотой. Протоколы динамики частот и амплитуд ускорения в зонах между лопатками и поясницы пациентов представлены в табл. 2–5.

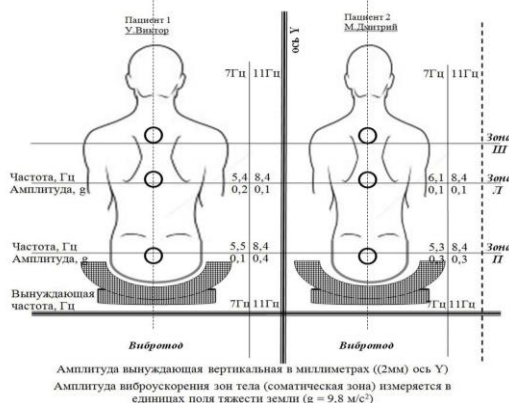


Рис. 2. Личностная антропометрическая динамика частот и амплитуд ускорений, возникающих в теле пациента при базовых вибровоздействиях, с точно заданной амплитудой и частотой

В протоколах (табл. 2–5) рассматриваются данные распространения колебаний в зонах вдоль позвоночного столба, что соответствует оси *Y* в общепринятой системе координат.

Таблица 2. Протокол динамики амплитуд ускорения и частот в зоне между лопатками (У. Виктор)

Фаза	Минимум	Среднее значение	Максимум
Таблица статистики параметра «Амплитуда ускорения <i>Y</i> » (у.е.)			
	0,0	0,1	0,1
Фаза 1 : 7 Гц	0,0	0,2	0,2
Фаза 2 : 9 Гц	0,0	0,1	0,2
Фаза 3 : 11 Гц	0,0	0,1	0,2
Интегральная статистика	0,0	0,1	0,2
Таблица статистики параметра «Частота <i>Y</i> » (у.е.)			
	0,0	4,0	15,6
Фаза 1 : 7 Гц	1,6	5,4	5,5
Фаза 2 : 9 Гц	1,6	7,9	21,1
Фаза 3 : 11 Гц	0,8	8,4	8,6
Интегральная статистика	0,0	6,4	21,1

Таблица 3. Протокол динамики амплитуд ускорения и частот в зоне между лопатками (М. Дмитрий.)

Фаза	Минимум	Среднее значение	Максимум
Таблица статистики параметра «Амплитуда ускорения <i>Y</i> » (у.е.)			
	0,0	0,0	0,1
Фаза 1 : 7 Гц	0,0	0,1	0,1
Фаза 2 : 9 Гц	0,0	0,1	0,2
Фаза 3 : 11 Гц	0,0	0,2	0,4
Интегральная статистика	0,0	0,1	0,4
Таблица статистики параметра «Частота <i>Y</i> » (у.е.)			
	0,0	6,5	11,7
Фаза 1 : 7 Гц	0,8	6,1	11,7
Фаза 2 : 9 Гц	0,8	12,0	14,1
Фаза 3 : 11 Гц	1,6	9,4	17,2
Интегральная статистика	0,0	8,5	17,2

Таблица 4. Протокол динамики амплитуд ускорения и частот в зоне поясницы (У. Виктор)

Фаза	Минимум	Среднее значение	Максимум
Таблица статистики параметра «Амплитуда ускорения <i>Y</i> » (у.е.)			
	0,0	0,1	0,1
Фаза 1 : 7 Гц	0,1	0,1	0,2
Фаза 2 : 9 Гц	0,1	0,4	0,5
Фаза 3 : 11 Гц	0,0	0,4	0,5
Интегральная статистика	0,0	0,3	0,5
Таблица статистики параметра «Частота <i>Y</i> » (у.е.)			
	0,0	6,9	7,8
Фаза 1 : 7 Гц	1,6	5,5	10,9
Фаза 2 : 9 Гц	1,6	6,9	7,8
Фаза 3 : 11 Гц	1,6	8,4	8,6
Интегральная статистика	0,0	6,9	10,9

Таблица 5. Протокол динамики амплитуд ускорения и частот в зоне поясницы (М. Дмитрий)

Фаза	Минимум	Среднее значение	Максимум
Таблица статистики параметра «Амплитуда ускорения <i>Y</i> » (у.е.)			
	0,0	0,1	0,1
Фаза 1 : 7 Гц	0,0	0,3	0,5
Фаза 2 : 9 Гц	0,0	0,4	0,5
Фаза 3 : 11 Гц	0,1	0,3	0,5
Интегральная статистика	0,0	0,3	0,5
Таблица статистики параметра «Частота <i>Y</i> » (у.е.)			
	0,0	5,0	7,8
Фаза 1 : 7 Гц	0,8	5,3	7,8
Фаза 2 : 9 Гц	0,8	6,8	7,80
Фаза 3 : 11 Гц	1,6	8,4	8,6
Интегральная статистика	0,0	6,4	8,6

Проведем сравнение амплитуд ускорения, измеряемых в  $g = 9,8 \text{ м/с}^2$  (вектор поля тяжести земли) и частоты, измеряемой в Гц. Как видно из табл. 2, 3 в области первого датчика (между лопатками) у клиента 1 наблюдается максимум амплитуды колебаний во время фазы 1 (7 Гц), в то время как у второго клиента максимум выражен во время фазы 3 (11 Гц).

В области датчика 2 (поясница) (табл. 4, 5) у первого и второго клиента есть отличия изменения динамики амплитуд в фазах 1 и 3, при этом максимум наблюдается во время фазы 2 у обоих пациентов. Целенаправленные исследования динамики распространения вибровоздействий по телу были выполнены на 63 обследуемых. Для зрительной наглядности изменений численных характеристик виброэнергии поверхностных зон тела приводятся схемы тел двух оптантов с большой разницей антропометрических и морфологических параметров (рис. 2). Точно задаваемыми параметрами вибропроцессов, представленных на демонстрационных эскизах тел, являются вертикальная (по оси Y) механическая амплитуда, равная 2 мм и частоты вибротода-седла в последовательности 5, 7, 9, 11, 14 Гц. Сеанс вибровоздействия на каждой частоте составлял 7 мин.: 5 воздействий по одной минуте с интервалом отдыха 30 с.

Данные о вибросостояниях рассматриваются в трех зонах: зона между лопатками (Л), зона поясницы (П), зона на затылке (Ш). На рис. 2 показаны распространения виброчастот 7 и 11 Гц, задаваемых вибротодом-седлом и динамика трансформации этих частот последовательно в зонах П, Л, Ш. Хорошо видно, что на участке от зоны промежность-ягодицы, взаимодействующей с вибротодом с полной весовой нагрузкой, до зоны талии происходит затухание входящей частоты от 7 Гц до 5,5 Гц (пациент 1), что составляет 21,6 %, и от 7 Гц до 5,3 Гц (пациент 2), что составляет 24,3 %. На пациенте 1 от зоны талии до зоны между лопаток затухание составило всего 0,1 Гц от 5,5 Гц до 5,4 Гц, тогда как на пациенте 2 частота от 5,3 Гц увеличилась до 6,1 Гц. Локальное увеличение частоты формируется суммированием вертикальных и горизонтальных колебаний подаваемых через руки от кольцевых вибротодов. Процесс трансформации вибропараметров – суммирования или гашения частот, зависит от антропометрических и морфологических характеристик испытуемого и силовых взаимодействий рук с кольцевым вибротодом. Естественно, рассчитываемый вклад в трансформацию частот дают геометрические и упруго-пластичные параметры кольцевых вибротодов. При вынуждающей частоте 11 Гц у обоих пациентов наблюдается одинаковое затухание от 11 Гц до 8,4 Гц и сохранение сформированной частоты на зоне от талии до лопаток. Обращаем внимание на то, что затухание у обоих пациентов происходит на участке тела с большой пластичностью от ягодиц, взаимодействующих с вибротодом до верхней поверхности тазобедренной области. При распространении виброволны вдоль позвоночного столба частота практически не меняется.

Поскольку физиологические воздействия формируются локальной динамикой ускорений виброволны, то для процессов оптимизации лимфодренажа, кровотока и работоспособности эндокринных органов необходимо обеспечить измерение динамики амплитуд ускорений в теле пациента в зависимости от индивидуальных параметров, зон и векторных характеристик воздействия вынуждающей частоты. На оптанте 2, при задающих частотах 7 и 11 Гц, выявлено устойчивое затухание амплитуды ускорения от 0,3 g до 0,1 g. Однако, на оптанте 1 со значительно большей массой тела наблюдается сложный противоречивый процесс гашения и возрастания амплитуды ускорения. Частота 7 Гц на участке от зоны П до зоны Л создает прирост амплитуды ускорения от 0,1 g до 0,2 g, однако, частота 11 Гц неожиданно создает угасание амплитуды ускорения от 0,4 g до 0,1 g.

### Заключение

Демонстрируемые на рис. 2 процессы затухания и возрастания (суммирования) виброчастот и амплитуд ускорений волнового фронта, являются принципиально новой информацией, на основе которой будут разрабатываться результативные реабилитационные и развивающие вибротренинги.

Выявленные физические процессы, принципиально влияющие на физиологические и психофизиологические реакции организма, требуют системных исследований механизмов их образования. Поскольку первичные физиологические реакции формируются амплитудой виброускорения в возвратно-поступательных зонах движения фронта частотной волны, то для разработки результативных реабилитационных и развивающих методик необходимо выявить взаимосвязи: вынуждающая частота → векторно-аппликационная зона → антропометрический, морфологический тип → физиологическая реакция.

Естественно, должна предусматриваться нормировка физиологических реакций по типу высшей нервной деятельности и типу вегетососудистой реакции организма.

## VIBROENERGY PROPAGATION QUANTATIVE RESEARCH IN THE SUBSURFACE BODY ZONES UNDER MULTIVECTOR VIBROINFLUENCE

D.I. SAGAJDAK, V.A. TSYKUNOV

### Abstract

It was worked out and approved the equipment actualizing target-focused space physiologically active body surface zones vibrostimulation. The ergonomic wireless detective means and software were produced making quantitative energetical vibrocharacteristics measurements in various body zones. It was measured the vibrofrequency impact synchronously rolled onto any body zones. The interaction and summarizing mechanisms of all energetical parameters were defined. New vibroenergy transformation principals in the patient's body make the basis for controlled effective physically therapeutical and medically rehabilitative methods.

*Keywords:* physiotherapy, vibrostimulation, vibroenergy blanking out and summarizing in the body, vibrotherapy personification.

### Список литературы

1. Мумин А.Н., Волотовская А.В. Вибротерапия. Минск, 2007.
2. Бегун П.И., Шукейло Ю.А. Биомеханика. СПб, 2000.
3. Михеев А.А. Теория и методика вибрационной тренировки в спорте (биологическое и педагогическое обоснование дозированного вибротренинга): монография. М., 2011.
9. Дилдыбек Д.С., Жайлаубаев Ж.Ж., Узенбеков Ш.Б. // Матер. 11-й междунар. научн.-практ. конф. «Настоящи исследования и развитие». Том 14. София., 2015. С. 3–9.
10. Вибрационный массаж в эксперименте и клинике / Под ред. А.Я. Креймера, Томск, 1980.
11. Современные проблемы биомеханики. 1989. Вып. 6.

УДК 615.849.19

## ЛАЗЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ТОЧКИ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ АКТИВНОСТИ ФЕРМЕНТОВ ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ САХАРНОМ ДИАБЕТЕ

Н.М. ОРЁЛ, А.М. ЛИСЕНКОВА, Т.А. ЖЕЛЕЗНЯКОВА, И.В. БЕЛЬСКАЯ

*Белорусский государственный университет  
пр. Независимости, 4, Минск, 220030, Беларусь*

*Поступила в редакцию 15 ноября 2016*

Приведены результаты исследования воздействия низкоинтенсивным лазерным излучением на биологически активные точки с одновременным введением лекарственных препаратов для коррекции нарушения метаболизма при экспериментальном аллоксановом диабете.