

Список литературы:

1. Пахарьков Г.Н. Биомедицинская инженерия: проблемы и перспективы. Уч. пособие. – СПб.: Политехника, 2011. 232 с.
2. Корневский Н.А., Губанов В.В. Автоматический анализ электрофизиологических сигналов // Медицинская техника. 1995. № 1. С. 36-39.
3. Мишина Л.М., Индюхин А.А., Индюхин А.Ф. и др. Подсистема электроэнцефалографической диагностики эпилепсии // Медицинская техника. 2012. № 1 (271). С. 22-25.
4. Кулаичев А.П. Об информативности когерентного анализа // Журнал ВНД. 2009. Т. 59. № 6. С. 766-775.
5. Коржук Н.Л., Индюхин А.А., Индюхин А.Ф. и др. Способ электроэнцефалографической диагностики неврологических нарушений // Известия ЮФУ. Технические науки. Тематический выпуск «Медицинские информационные системы». 2010. № 8 (109). С. 121-127.
6. Жеребцова В.А., Индюхин А.Ф., Соколов Э.М. и др. Способ диагностики длиннолатентного вызванного потенциала мозга и устройство для его осуществления / Патент РФ № 2240036 от 20.11.2004 г.

Николай Львович Коржук,
канд. техн. наук, доцент,
Алексей Федорович Индюхин,
канд. биолог. наук, доцент,
Алексей Алексеевич Индюхин,
аспирант,
Анна Валерьевна Томашвили,
аспирант,
ФГБОУ ВПО «Тульский государственный университет»,
г. Тула,
e-mail: nikolaikorzjuk@mail.ru

В.Б. Носков, Д.В. Николаев, А.В. Смирнов, С.А. Туйкин, Ю.И. Смирнов

Прибор для неинвазивного определения состава тела человека в условиях космического полета

Аннотация

Для оценки состава тела и отдельных жидкостных пространств организма человека в условиях космического полета разработан портативный полисегментный биоимпедансометр. Прибор позволяет неинвазивно и безопасно изучать динамику состава тела человека в реальном масштабе времени непосредственно в условиях длительного орбитального полета на борту международной космической станции.

Введение

Для определения объемов жидкостных пространств организма обычно используют специфические маркеры, такие как радиоактивные вещества (дейтерий, тритий или изотоп кислорода); бромиды или органические красители, которые вводятся чаще всего внутривенно. Эти препараты имеют свойство распределяться в том или ином жидкостном секторе организма и тем самым позволяют рассчитать его объем. Однако подобные инвазивные методы имеют не только медицинские ограничения, но и требуют применения специальной аппаратуры и аксессуаров и поэтому не могут быть использованы в условиях космического полета.

Биоимпедансный анализ (БИА) является относительно новым методом оценки состава тела, в том числе и гидратационного статуса организма. Этот метод позволяет также оценить характер распределения жидких сред организма как между вне- и внутриклеточными пространствами, так и между различными регионами или сегментами тела. Ключевым преимуществом БИА по сравнению с другими методами оценки состава тела является его неинвазивность, а следовательно, безопасность и атравматичность [1]-[3]. Биоимпедансометрия основана на измерении электрической проводимости различных тканей тела, причем импеданс тела при сравнительно низкой частоте тока больше коррелирует с объемом внеклеточной жидкости, а импеданс на высокой частоте – с объемом общей жидкости организма [1], [4], [5].

Изучение характера распределения жидкости в организме в условиях космических полетов представляет не только научный интерес, но и помогает решить проблему послеполетной ортостатической неустойчивости. Можно улучшить работоспособность и самочувствие космонавтов путем осознанной коррекции гидратационного статуса с учетом индивидуального состояния водных секторов [2], [6].

Материалы и методы

Для получения данных о составе тела и, в частности, о состоянии жидкостных пространств организма человека в условиях космического полета был создан малогабаритный бортовой биоимпедансометр, использующий полисегментный принцип БИА и заменивший на борту международной космической станции (МКС) работавший там ранее импедансометр [7], [8].

В биоимпедансных исследованиях состава тела в целом чаще всего используется отведение «правое запястье – правый голеностоп». При регистрации перераспределений жидкости между регионами (сегментами) тела применяют полисегментные биоимпедансные методы, включающие в себя измерения сопротивлений отдельных регионов тела [1], [4], [5], [9]. Для получения всех комбинаций биоимпедансных измерений в приборе используется 5 пар электродов (токовых и потенциальных), которые размещаются на наружных и внутренних поверхностях запястий и голеностопов, а также над глазами. Такой набор отведений обеспечивает регистрацию

импедансов семи регионов тела: двух рук, двух ног, абдоминальной (живот) и торакальной (грудь) частей туловища, а также головы с шеей – без необходимости установки дополнительных электродов на туловище (табл. 1).

Таблица 1

Обозначение импедансов исследуемых регионов и расположение электродов в используемых для этого отведениях

Обозначение импеданса	Исследуемый регион тела	Используемые электроды	
		токовые	потенциальные
Z ₁	Живот	Левая рука – правая нога	Правая рука – левая нога
Z ₂	Левая рука и живот	Левая рука – правая нога	Левая рука – левая нога
Z ₃	Правая рука и живот	Правая рука – левая нога	Правая рука – правая нога
Z ₄	Левая нога и живот	Левая нога – правая рука	Левая нога – левая рука
Z ₅	Правая нога и живот	Правая нога – левая рука	Правая нога – правая рука
Z ₆	Голова и шея	Правый голова – левая рука	Левый голова – правая рука
Z ₇	Голова, шея, туловище	Правый голова – левая нога	Левый голова – правая нога

Импеданс торакальной части туловища рассчитывается как разность $Z_{тор.} = Z_7 - Z_6 - Z_1$. Импедансы конечностей вычисляются по формулам $Z_{лр} = Z_2 - Z_1$; $Z_{пр} = Z_3 - Z_1$; $Z_{лн} = Z_4 - Z_1$ и $Z_{пн} = Z_5 - Z_1$, где $Z_{лр}$ – значение импеданса левой руки; $Z_{пр}$ – значение импеданса правой руки; $Z_{лн}$ – значение импеданса левой ноги; $Z_{пн}$ – значение импеданса правой ноги. Математическое моделирование зон чувствительности, получающихся при описанном варианте измерений, подтвердило, что регистрируемые значения импедансов соответствуют перечисленным сегментам тела [9].

Оценка жидкостных секторов организма выполняется на частотах 20 (НЧ) и 500 кГц (ВЧ). На частоте 20 кГц измеренный импеданс зависит в основном от внеклеточ-

ной жидкости, а на частоте 500 кГц импеданс определяется как внеклеточной, так и внутриклеточной жидкостью. Регистрируются импедансы тела в интегральном отведении «запястье-голеностоп», а также импедансы различных сегментов тела. Затем по найденным значениям импедансов этих сегментов и измеренным антропометрическим параметрам обследуемого человека определяется состав тела и вычисляются объемы общей, внеклеточной и внутриклеточной жидкостей в каждом из регионов.

Основные технические характеристики прибора

Диапазон измеряемых импедансов, Ом: от 10 до 900.

Амплитуда зондирующего тока, мА, не более: 2,0.

Погрешность измерения импеданса, %, не более: ±6.

Прибор обеспечивает определение общего объема жидкости тела (в диапазоне от 10 до 100 л), объема клеточной жидкости (в диапазоне от 5 до 60 л) и объема внеклеточной жидкости (в диапазоне от 3 до 40 л), тощей массы тела (в диапазоне от 10 до 120 кг) и жировой массы тела (в диапазоне от 10 до 100 кг) с погрешностью не более 7...8 %.

Учитывая необычные условия эксплуатации, к прибору были предъявлены повышенные требования по стойкости к внешним воздействиям. Так, прибор сохраняет механическую целостность и остается работоспособным при воздействии температуры от +18 до +28 °С, при давлении в диапазоне от 700 до 770 мм рт. ст. и относительной влажности до 90 %, а также выдерживает воздействия вибрации и ударных перегрузок величиной до 40 ед.

Одновременно с импедансными параметрами регионов тела измеряются подэлектродные сопротивления, используемые для контроля качества наложения электродов, что обеспечивает достоверность измерений.

Математический аппарат для расчета параметров состава тела из измеренных величин импеданса основан на общепринятых и многократно верифицированных формулах [1]. По окончании сеанса импедансометрии в одном из окон программы отображаются основные интегральные параметры состава тела, такие как: масса тела; тощая (ТМ) и жировая (ЖМ) составляющие массы тела;

Регионы	Импеданс Z (Ом)		Объем региона (л)	Объемы жидкостей (л)			Доля суммарного объема (%)		
	НЧ	ВЧ		ВКЖ	ОВТ	КЖ	ВКЖ	ОВТ	КЖ
Голова	54,9	45,4	3,95	0,63	1,46	0,82	3,8	3,6	3,5
Грудь	5,4	3,1	19,87	5,78	14,09	8,31	34,5	34,8	35,1
Живот	32,7	25,1	17,25	2,90	6,68	3,78	17,3	16,5	16,0
Туловище	38,1	28,2	37,12	8,68	20,77	12,09	51,8	51,4	51,0
Руки	210,7	156,3	5,04	2,20	4,83	3,14	13,1	13,2	13,2
Правая	191,0	141,4	2,52	1,20	2,92	1,72	7,2	7,2	7,3
Левая	230,4	171,2	2,52	1,00	2,41	1,42	6,0	6,0	6,0
Ноги	215,5	157,5	21,93	5,23	12,89	7,65	31,3	31,9	32,3
Левая	220,9	162,1	10,96	2,55	6,25	3,70	15,2	15,5	15,6
Правая	210,1	152,9	10,96	2,68	6,63	3,95	16,0	16,4	16,7
Сумма			77,0	16,7	40,4	23,7			
Состав тела	Масса тела (кг)		78,0		ВКЖ (л)		19,5		
	ТМ (кг)		70,9		ОВТ (л)		51,9		
	ЖМ (кг)		7,1		КЖ (л)		32,4		
	Фаз. угол (град)		8,84		Осн. обмен (ккал)		2080		

Курсор

<< < > >>

1

Рис. 1. Окно программы с табличным представлением результатов обследования с помощью бортового биоимпедансометра

объем общей жидкости тела (ОЖТ); объем внеклеточной жидкости (ВКЖ) и объем клеточной жидкости (КЖ) (рис. 1). Кроме этого, в таблице приведены значения импедансов для всех исследованных регионов, а также количество жидкости в этих регионах (в литрах) и их доля (в процентах) от общего объема того или иного жидкостного сектора организма. Все эти параметры сохраняются в файле для каждого обследования.

Результаты

Импедансометрическое обследование космонавтов проводится в утренние часы суток, натощак. Во время каждого сеанса обследования, после наложения 5 пар электродов на лоб, запястья и голени, производится запись данных в течение 1 мин, при этом космонавт находится в стандартной позе «свободного парения» (рис. 2).



Рис. 2. Космонавт во время обследования с помощью биоимпедансометра на борту космической станции

Таблица 2

Показатели состава тела и гидратационного статуса у космонавта в разные периоды обследования с помощью бортового биоимпедансометра

Сроки обследования	Тощая масса, кг	Жировая масса, кг	ОЖТ, л	ВКЖ, л	КЖ, л
До полета	76,4	12,6	55,9	22,8	33,1
130-е сутки полета	73,6	14,4	53,9	21,0	32,9
После полета	70,9	17,1	51,1	19,9	31,3

Примечание: ОЖТ – общая жидкость тела, л; ВКЖ – объем внеклеточной жидкости, л; КЖ – объем клеточной жидкости, л.

В качестве иллюстрации приводим данные обследования одного из космонавтов до, во время и после длительного космического полета (табл. 2). Как видно из таблицы, в период предстартовой подготовки (до полета) основные параметры состава тела и гидратационного статуса у космонавта соответствовали норме, свойственной здоровому человеку. Все исследуемые парамет-

ры находились в пределах так называемой физиологической нормы, выведенной при обследовании репрезентативной выборки среди здоровых мужчин среднего возраста [10].

Во время полета содержание общей жидкости тела (ОЖТ), а также объемы внеклеточной (ВКЖ) и клеточной жидкости (КЖ) снижались, но самые низкие величины этих параметров отмечены по окончании полета. Максимальное снижение разных водных секторов составило от 5,4 до 12,7 % по сравнению с исходными величинами. Количество тощей массы тела также уменьшилось (на 7,2 %), при этом количество жировой составляющей массы тела наоборот увеличивалось. Полученные результаты соответствуют приведенным ранее в работе [2] и позволяют сделать вывод о снижении объемов жидкостных пространств организма человека во время космического полета при одновременном уменьшении количества мышечной массы, что является важной информацией для системы медицинского сопровождения полетов.

Заключение

Таким образом, представленные данные свидетельствуют о том, что с помощью описываемого бортового биоимпедансометра можно быстро и неинвазивно оценить состав тела человека. Причем удается в реальном масштабе времени одновременно получить информацию о состоянии как мышечной массы, так и объемов основных жидкостных секторов организма человека. Результаты технических и физиологических испытаний прибора в лабораторных условиях и на борту орбитальной станции показали, что он полностью отвечает требованиям, предъявляемым к аппаратуре, предназначенной для работы в условиях длительного космического полета, и может быть использован как для оперативного медицинского контроля, так и для проведения специальных медицинских исследований.

Список литературы:

1. Николаев Д.В., Смирнов А.В., Бобринская И.Г., Руднев С.Г. Биоимпедансный анализ состава тела человека. – М.: Наука, 2009. 392 с.
2. Носков В.Б., Ничипорук И.А., Григорьев А.И. Динамика жидкостных сред и состава тела в условиях длительного космического полета (биоимпедансный анализ) // Авиакосмич. и экологич. медицина. 2007. Т. 41. № 3. С. 3-7.
3. Bartok C., Atkinson R.L., Schoeller D.A. Measurement of nutritional status in simulated microgravity by bioelectrical impedance spectroscopy // J. Appl. Physiol. 2003. Vol. 95. № 1. PP. 225-232.
4. Иванов Г.Г., Сыркин А.Л., Дворников В.Е. и др. Мультичастотный сегментарный биоэлектрический импедансный анализ в оценке изменений объема водных секторов организма // Российск. журнал анестезиологии и интенсивной терапии. 1999. № 2. С. 41-47.
5. Jaffrin M.Y., Morel H. Body fluid volumes measurements by impedance: A review of bioimpedance spectroscopy and bioimpedance analysis methods // Med. Eng. Phys. 2008. Vol. 30. № 10. PP. 1257-1269.
6. Носков В.Б. Оргостатическая толерантность после космических полетов и моделирующих воздействий: новые подходы к оценке и профилактике // Авиакосмич. и экологич. медицина. 2011. Т. 45. № 2. С. 16-25.
7. Большов В.М., Николаев Д.В., Туйкин С.А. Устройство для определения объемного содержания внеклеточной и внутриклеточной жидкости в тканях биообъекта / Патент SU № 1826864. 1991.

8. Носков В.Б., Николаев Д.В., Туйкин С.А., Кожаринов В.И., Грачев В.А. Портативный импедансометр для оценки жидкостных пространств организма в условиях космического полета // Медицинская техника. 2007. № 2. С. 45-47.
9. Danilov A.A., Kramarenko V.K., Nikolaev D.V., Rudnev S.G., Salamatova V.Yu., Smirnov A.V., Vassilevski Yu.V. Sensitivity field distributions for segmental bioelectrical impedance analysis based on real human anatomy // J. Phys.: Conf. Series. 2013. Vol. 434. P. 012001.
10. Человек: медико-биологические данные / Пер. с англ. – М: Медицина, 1977. 496 с.

Виктор Борисович Носков,
д-р мед. наук, ведущий научный сотрудник,
ФГБУН ГНЦ РФ – Институт
медико-биологических проблем РАН,
Дмитрий Викторович Николаев,
генеральный директор,
Александр Витальевич Смирнов,
канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник,
Салават Анасович Туйкин,
гл. инженер,
Научно-технический центр «МЕДАСС»,
Юрий Игоревич Смирнов,
ведущий инженер,
ФГБУН ГНЦ РФ – Институт
медико-биологических проблем РАН,
г. Москва,
e-mail: noskovvb@mail.ru

В.Н. Зинкин, П.М. Шешегов

Технология исследования звукопоглощающей способности материалов на основе тональной аудиометрии

Аннотация

Экспериментально показано, что исследование костной проводимости по результатам тональной аудиометрии позволяет адекватно оценить звукопоглощающую способность материалов и разработать субъективный метод измерения поглощения звука для исследования акустической эффективности средств индивидуальной защиты от шума.

Неблагоприятное действие шума на персонал продолжает оставаться актуальной проблемой на производстве и транспорте, а доля рабочих мест, не соответствующих гигиеническим нормативам по шуму, занимает первое место среди физических факторов [1]-[3]. В соответствии с требованиями по технике безопасности, на рабочих местах, где не удастся добиться снижения шума до предельно допустимых уровней, следует применять средства индивидуальной защиты (СИЗ), выбор которых рекомендуется производить в зависимости от характера спектра и уровня шума на рабочих местах. ГОСТ 12.1.029–80 в зависимости от конструктивного исполнения подразделяет СИЗ на противозумные наушники (ПШН), вкладыши, шлемы (ПШШ) и др.

Наиболее широко используются ПШН, цель которых – обеспечить надежное перекрытие воздушного пути поступления акустических колебаний в наружный слуховой проход. Акустическая эффективность ПШН оценивается упрощенным методом – с помощью микрофонов (ГОСТ Р 12.4.213–99) и субъективным методом – по результатам пороговой аудиометрии (ГОСТ Р 12.4.211–99). Наряду с указанными способами целесообразно использовать медико-биологические методы, позволяющие дать оценку эффективности СИЗ (в том числе ПШН) в производственных условиях [1], [4], [5], так как часто заявленная эффективность СИЗ не соответствует реальности [6].

Как правило, ПШН обеспечивают ослабление звука до 30...40 дБ с максимальной эффективностью в средне- и высокочастотном звуковом диапазонах. Поэтому их целесообразно использовать на рабочих местах, где уровни звука не превышают 100...110 дБА [1], [7], [8]. При уровнях шума выше 100...110 дБА необходима защита не только органа слуха, но и головы, чтобы уменьшить влияние

шума на костный путь проведения звука, что достигается путем использования ПШШ [2], [4], [9]. Это обусловлено тем, что уровень звукового давления колебаний, передаваемых костно-тканевым путем, на 20...30 дБ выше уровня звукового давления, воспринимаемого ухом воздушным путем.

В отличие от ПШН, стандартизированной методики исследования акустической эффективности ПШШ нет. Как правило, для этого измеряют уровень звука с помощью микрофона, размещенного в подшлемном пространстве, с использованием манекена головы [10], [11]. С нашей точки зрения, использование микрофона в подобных условиях носит спорный характер, поскольку в формировании звукового поля имеется много неучтенных факторов.

Отсутствие стандартных методов оценки эффективности защиты костно-тканевого пути проведения высокоинтенсивного шума к органу слуха определяет актуальность проведения подобных исследований. Наличие таковых позволит получать реальные величины поглощения звука существующими ПШШ, что необходимо учитывать при их выборе в зависимости от условий труда и использовать для выбора материалов на этапе разработки СИЗ от шума.

Цель работы: обосновать способ субъективной оценки звукопоглощения СИЗ головы при воздействии высокоинтенсивного шума с использованием прибора для проведения тональной аудиометрии.

Материал и методы исследования

Исследования выполнялись на диагностическом аудиометре AD 229 в специально оборудованном помещении. Аудиологическое исследование проводили в со-