

Д.А. Усанов, А.А. Протопопов, И.О. Бугаева, А.В. Скрипаль, А.П. Аверьянов,
А.Ю. Вагарин, А.А. Сагайдачный, Е.О. Кащавцев

УСТРОЙСТВО ОЦЕНКИ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ СЕРДЕЧНО-СОСУДИСТОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ ПРИ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКЕ

Аннотация

Представлены результаты исследования риска возникновения сердечно-сосудистой недостаточности юных спортсменов и подростков при стрессовой физической нагрузке. Описан метод скрининг-диагностики риска развития коллапсоидных осложнений. Показано, что наличие аномалий в форме пульсовой волны в сочетании с ваготоническим типом нервной регуляции сердечно-сосудистой системы пациента является признаком возникновения опасности коллапсоидной реакции при физической нагрузке. Приводятся результаты сравнения показателей, полученных с помощью прибора «Устройство оценки риска возникновения сердечно-сосудистой недостаточности при физической нагрузке» с данными детального медицинского обследования юных спортсменов.

Исследования сердечно-сосудистой системы юных спортсменов и подростков занимают центральное место в педиатрии, потому что функциональное состояние этой системы играет важную роль в адаптации организма к физическим нагрузкам и является одним из основных показателей предельных возможностей организма [1], причем наиболее актуальным является оценка риска возникновения сердечно-сосудистой недостаточности при стрессовой физической нагрузке.

В настоящее время для диагностики состояния сердечно-сосудистой системы используют методы электрокардиографии, доплер-эхокардиографии, ритмокардиографии, велоэргометрии и др., требующие продолжительного времени для обследования и наличия высококвалифицированного медицинского персонала [2], [3]. Информацию о состоянии сердечно-сосудистой системы несет также пульсовая волна, на анализе которой основаны методы сфигмографии, эластометрии и др. [4]. Однако эти методы применяются только для выявления явной патологии организма и не позволяют выявлять опасность коллапсоидных осложнений при резких физических нагрузках.

Как было показано ранее [5], [6], наибольшая опасность развития сердечно-сосудистой недостаточности при стрессовых нагрузках имеется при наличии дисплазии соединительной ткани и нарушенной регуляции вегетативной нервной системы. К развитию коллапсоидной реакции у детей и подростков может приводить сочетание этих двух факторов даже при отсутствии явно выраженной патологии по каждому из них. Указанные факторы могут быть определены по параметрам пульсовой волны. В частности, по крутизне систолического подъема и скорости изменения пульсовой волны на катакроте можно оценить величину эластичности артериальных сосудов и периферического сопротивления, а по повторяемости пульсовых волн – вариабельность кардиоинтервалов и активность регуляторных систем организма.

Для экспресс-диагностики состояния сердечно-сосудистой системы предприятием ООО «Волга-Мет-Экспо», имеющим специализацию в области разработки и создания медицинской техники, совместно с Саратовским государственным университетом им. Н.Г. Чернышевского и Саратовским государственным медицинским университетом

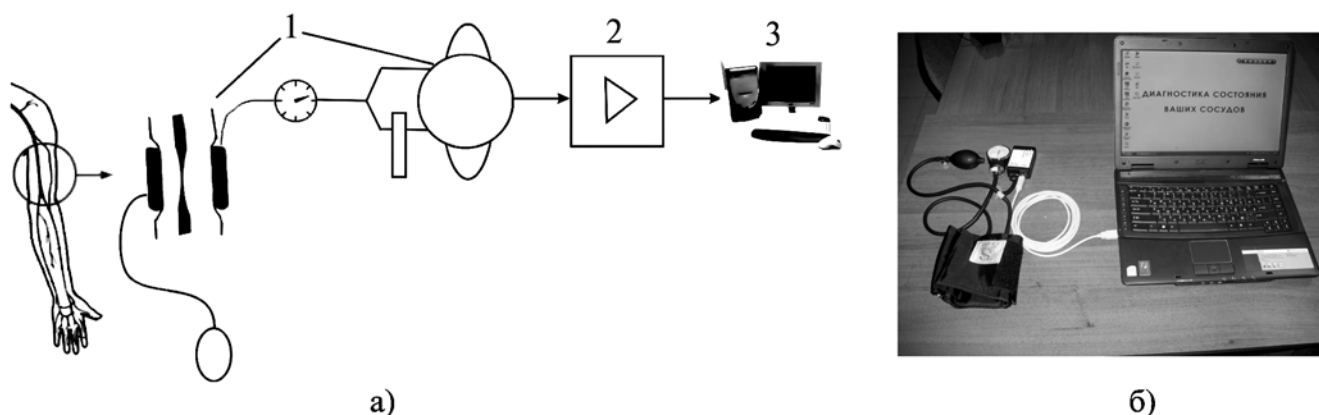


Рис. 1. Блок-схема (а) и общий вид (б) «Устройства оценки риска возникновения сердечно-сосудистой недостаточности при физической нагрузке»: 1 – датчик давления с манжетой для измерения артериального давления; 2 – АЦП; 3 – компьютер

им. В.И. Разумовского разработано «Устройство оценки риска возникновения сердечно-сосудистой недостаточности при физической нагрузке» [7]-[9].

Целью работы явились апробация «Устройства оценки риска возникновения сердечно-сосудистой недостаточности при физической нагрузке» и анализ результатов его применения для оценки риска развития коллапсоидной реакции у юных спортсменов.

Измерительное устройство

Блок-схема и общий вид «Устройства оценки риска возникновения сердечно-сосудистой недостаточности при физической нагрузке» приведены на рис. 1. На предплечье обследуемого надевается манжета, давление в манжете измеряется по встроенному манометру. Переменное давление в манжете регистрируется пневматическим датчиком давления 1 фирмы «Motorola» MPX 2050 DP, работающим на основе тензоэффекта и имеющим два дифференцированных входа. Аналого-цифровым преобразователем 2 сигнал оцифровывается и сохраняется в базе данных персонального компьютера 3. В течение 15...30 с (15...30 кардиоциклов) фиксируются амплитудные значения пульсовой волны. Для анализа данных запускается программа обработки амплитудных значений пульсовой волны. Программа автоматически, по окончании регистрации нескольких кардиоциклов, формирует заключение о возможности или нежелательности физических нагрузок. Общее время диагностики составляет ~1 мин (без учета времени на подготовку пациента к обследованию и времени наложения окклюзионной манжеты).

Алгоритм обработки сигнала

В качестве анализируемых параметров пульсовой волны были выбраны следующие показатели: крутизна систолического подъема на участке быстрого и медленного фаз, скорость изменения пульсовой волны на катакроте, вариабельность кардиоинтервалов, определяемая по временным интервалам между максимумами (систолическими значениями) пульсовых волн.

Форма пульсовой волны анализировалась по ее первой и второй производным по времени. Систолический подъем пульсовой волны (рис. 2) можно разделить на две фазы, соответствующие времени быстрого и медленного увеличения. Время быстрого увеличения давления в систолу – $VH_{быстр.}$ и время медленного увеличения давления – $VH_{медл.}$ характеризуют величину ударного объема сердца и эластичность сосудистой стенки [2].

Нули первой производной пульсовой волны позволяют выделить время систолического подъема (анакроты) – VH (рис. 2). Минимум второй производной соответствует окончанию фазы быстрого и началу фазы медленного нарастания давления в систолу. Использование первой и второй производных пульсовой волны дает возможность раздельно анализировать форму пульсовой волны в фазе быстрого и в фазе медленного роста давления во время систолического подъема.

Для анализа крутизны восходящего участка пульсовой волны использованы временные параметры $VH_{быстр.}$, $VH_{медл.}$ и параметр $VH_{макс.}$ – время от начала систолического подъема до максимума первой производной пульсовой волны. Амплитуда первой производной в момент времени $VH_{макс.}$ характеризует угол максимального наклона пульсовой волны в фазе быстрого наполнения.

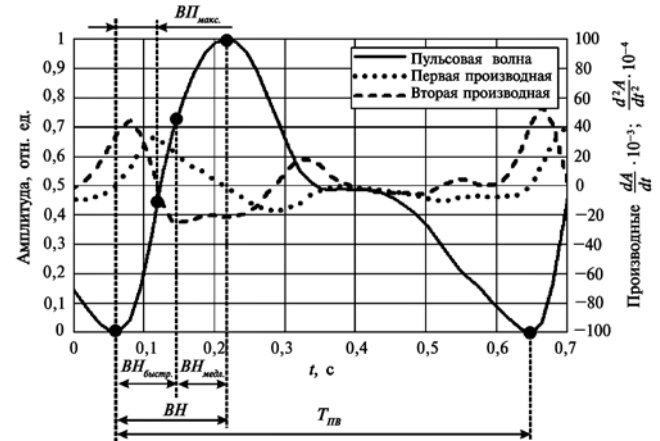


Рис. 2. Анализируемые параметры пульсовой волны (обследуемый № 1)

Крутизна систолического подъема определялась по временным параметрам: отношению времени быстрого наполнения $VH_{быстр.}$ к периоду пульсовой волны – $T_{пв}$ (параметр Π_1), отношению времени анакроты к периоду пульсовой волны (параметр Π_2):

$$\Pi_1 = VH_{быстр.} / T_{пв}; \Pi_2 = VH / T_{пв}.$$

Для анализа формы пульсовой волны использовали амплитудный параметр Π_3 , вычисляемый на ее нисходящем участке (катакроте) по модулю второй производной от времени d^2A / dt^2 :

$$\Pi_3 = \frac{10^3}{N} \sum_N \left| \frac{d^2A}{dt^2} \right|,$$

где N – количество точек пульсовой волны, в которых вычислялась вторая производная по времени. Параметры Π_1 , Π_2 и Π_3 вычислялись как усредненные значения по всем периодам пульсовых волн.

На рис. 3 приведены примеры формы пульсовой волны при наличии отклонений в деятельности сердечно-сосудистой системы, а также зависимости от времени ее первой и второй производных. Отклонения в деятельности сердечно-сосудистой системы наблюдалось при значениях параметров $\Pi_1 < 0,1$ (рис. 3а), $\Pi_2 < 0,12$ (рис. 3б), $\Pi_3 < 55$ (рис. 3в). Как видно из примеров, представленных на рис. 3, параметры формы пульсовой волны Π_1 , Π_2 и Π_3 в норме и при наличии отклонений имеют существенные различия, что обусловлено изменением эластичности и периферического сопротивления артериальных сосудов. При уменьшении тонуса артериальных сосудов форма пульсовой волны искажается – увеличивается крутизна систолического подъема, уменьшается длительность систолического подъема. При нормальной форме пульсовой вол-

ны у условно здорового пациента (рис. 2) вторая производная на участке катакроты плавно изменяется относительно нуля, характеризуя изменения кривизны и различие фаз пульсового кровенаполнения. На участке катакроты уменьшение среднего значения второй производной пульсовой волны (параметр P_3) характеризует уменьшение кривизны формы пульсовой волны и свидетельствует о приближении формы на этом участке к линейному виду.

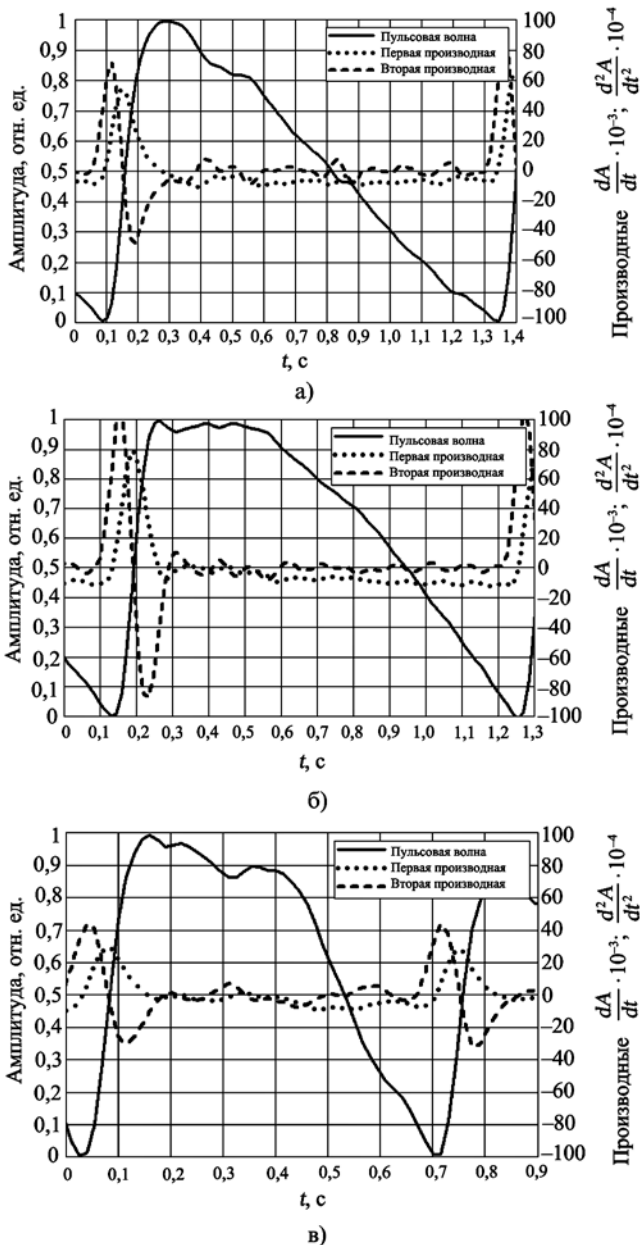


Рис. 3. Примеры пульсовых волн с отклонениями формы: а) обследуемый № 44 $P_1 = 0,09$; б) обследуемый № 16 $P_2 = 0,11$; в) обследуемый № 10 $P_3 = 41,6$

Активность вегетативной регуляции каждого обследуемого определялась по изменению длительности интервалов пульсовой волны и рассчитанным показателям хронотропной структуры сердечного ритма – индексам Баевского [10], [11]:

- Mo – мода: наиболее часто встречающееся значение R-R интервалов, указывающее на доминирующий уровень функционирования синусового узла;
- $Амо$ – амплитуда моды: число кардиоинтервалов (в процентах), соответствующих диапазону моды, отражающее меру мобилизирующего влияния симпатического отдела;
- Dx – вариационный размах: разность между максимальным и минимальным значением длительности КИ в выборке (в секундах);
- $ИНБ$ – индекс напряжения регуляторных систем, отражающий степень централизации управления сердечным ритмом;
- $ВПР$ – вегетативный показатель ритма, позволяющий судить о парасимпатических сдвигах вегетативного баланса. Чем меньше ВПР, тем больше вегетативный баланс смещен в парасимпатическую сторону.

Индексы Баевского определялись с помощью вычисления временных интервалов между максимумами (систолическими значениями) пульсовых волн. На рис. 4 приведены гистограммы кардиоинтервалов при нормотоническом типе (рис. 4а) и ваготоническом типе (рис. 4б) вегетативной регуляции.

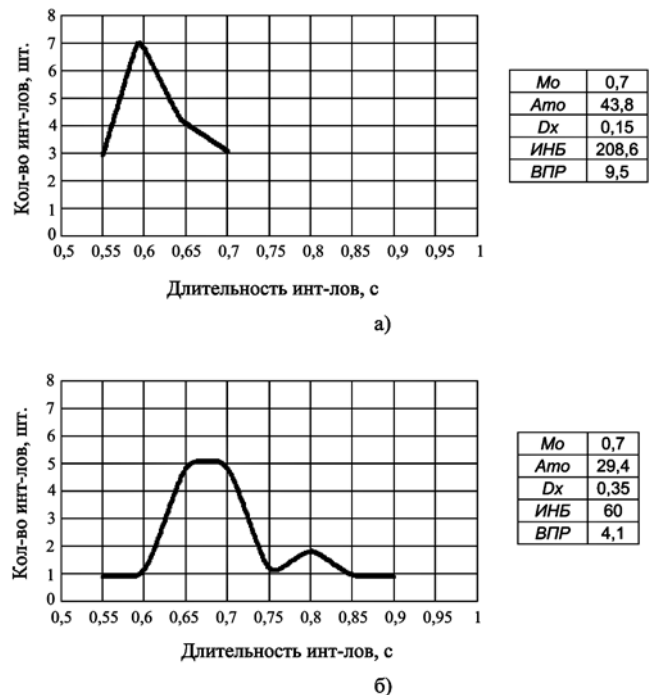


Рис. 4. Гистограммы кардиоинтервалов и соответствующие индексы Баевского: а) нормотонический тип вегетативной регуляции; б) ваготонический тип вегетативной регуляции

Избыточно высокая эластичность сосудов, наличие кардиальной патологии совместно с парасимпатотоническим типом вегетативной регуляции являются признаками опасности возникновения сердечно-сосудистой недостаточности при стрессовой физической нагрузке [5], [6].

Результаты измерений

Группа обследуемых включала в себя 49 подростков 14-16 лет (средний возраст – 14,8 лет) – футболистов юношеской школы 1995-1997 гг. рождения. Перед началом диагностической процедуры каждый обследуемый проходил процедуру измерения артериального давления на автоматическом тонометре, а также измерение антропометрических показателей (роста, массы тела).

Измерение параметров пульсовой волны проводилось с помощью «Устройства оценки риска возникновения сердечно-сосудистой недостаточности при физической нагрузке».

В результате обследования по форме пульсовой волны было выявлено 12 подростков – спортсменов с отклонениями различного вида. При этом ваготонический тип вегетативной регуляции наблюдался у 9 подростков. Одновременное сочетание двух указанных факторов наблюдалось у 6 подростков.

На комплексное обследование была направлена группа из 15 подростков, у 6 из которых наблюдалось одновременное сочетание двух указанных факторов; у 5 подростков были отклонения в форме пульсовой волны, выявленные по факту изменения второй производной d^2A / dt^2 (параметр P_3); три подростка имели ваготонический тип вегетативной регуляции и не имели отклонений в форме пульсовой волны. Обследование проводилось на базе клинической больницы им. С.Р. Миротворцева (г. Саратов) и включало в себя консультацию специалистов высшей квалификационной категории – врача-педиатра, врача-специалиста по ЛФК и спортивной медицине, а также проведение электрокардиографии, доплер-эхокардиографии (ЭХО-КГ), ритмографии с клиноортостатической пробой (КОП), велоэргометрии (ВЭМ).

По данным комплексного обследования, большинство подростков (9) имели проявления вегетативной дисфункции, в 7 случаях отмечалась аномальная реакция на клиноортостатическую пробу, у 6 подростков была нарушена реакция на физическую нагрузку при проведении велоэргометрии. По результатам ЭКГ чаще всего (5) регистрировались нарушения фазы реполяризации (ускорение), у 5 обследованных было отмечено нарушение ритма в виде выраженной синусовой аритмии, в одном случае – в сочетании с суправентрикулярной экстрасистолией, у 3 подростков было отмечено нарушение проводимости в виде блокады правой ножки пучка Гиса (2) и передней ветви левой ножки пучка Гиса (1). Допплер-эхокардиография выявила нарушения клапанного аппарата в виде пролапса митрального клапана 1 степени с незначительной регургитацией у 4 подростков, у 3 обследованных были обнаружены дополнительные хорды левого желудочка.

Таким образом, результаты обследования показали, что у 5 спортсменов имелось сочетание отклонений электрофизиологических характеристик сердечной деятельности с малыми аномалиями раз-

вития сердца, 2 подростка имели патологические изменения седечно-сосудистой системы и 6 – нарушения работы вегетативной регуляции седечно-сосудистой системы в целом. Последней группе из 8 юных спортсменов было рекомендовано изменить характер физических нагрузок с введением аэробных и динамических упражнений, применять комплекс витаминов, антиоксидантов, адаптогенов, провести повторный медицинский контроль для исключения в дальнейшем возможности возникновения сердечно-сосудистых осложнений. Для 6 юных спортсменов, которые имели либо нарушения в вариабельности кардиоинтервалов (3), либо отклонения в форме пульсовой волны (4), ограничений по физическим нагрузкам рекомендовано не было.

Выводы

Для скрининг-диагностики физического состояния юных спортсменов и подростков целесообразно применять разработанный ООО «ВолгаМетЭкспо» совместно с Саратовским государственным университетом им. Н.Г. Чернышевского и Саратовским государственным медицинским университетом им. В.И. Разумовского прибор «Устройство оценки риска возникновения сердечно-сосудистой недостаточности при физической нагрузке». При наличии аномалий формы пульсовой волны в сочетании с ваготоническим типом нервной регуляции сердечно-сосудистой системы пациента делается вывод об опасности коллапсоидной реакции при физической нагрузке.

Список литературы:

1. Детская спортивная медицина / Под ред. С.Б. Тихвинского, С.В. Хрущева. – М.: Медицина, 1991.
2. Смирнов И.В., Старшов А.М. Функциональная диагностика. ЭКГ, реография, спирография. – М.: Эксмо, 2008. 224 с.
3. Михайлов В.М. Нагрузочное тестирование под контролем ЭКГ: велоэргометрия, тредмилл-тест, степ-тест, ходьба. – Иваново: ООО «А-Гриф», 2005. 440 с.
4. Валтнерис А.Д. Сфигмография при гемодинамических измерениях в организме. – Рига: Зинатне, Риж. мед. ин-т, 1976. 166 с.
5. Шиляев Р.Р., Шальнова С.Н. Дисплазия соединительной ткани и ее связь с патологией внутренних органов у детей и взрослых // Вопросы современной педиатрии. 2003. Т. 2. № 5. С. 61-67.
6. Усанов Д.А., Протопопов А.А., Скрипаль А.В., Аверьянов А.П., Ретин В.Ф., Рытик А.П., Вагарин А.Ю., Кузнецов М.А. Диагностика риска развития коллапсоидных осложнений в группе студентов с аномальной сердечно-сосудистой реакцией // Саратовский научно-медицинский журнал. 2010. Т. 6. № 3. С. 615-619.
7. Усанов Д.А., Протопопов А.А., Скрипаль А.В., Рытик А.П. Способ оценки потенциальной опасности коллапсоидных осложнений при резких физических нагрузках / Патент на изобретение № 2306851. Оpubл. 27.09.2007. Бюл. № 27. Заявка № 2006117944. МПК А61В 5/0452. Патентообладатель ГОУ ВПО «Саратовский государственный университет».

8. Усанов Д.А., Вагарин А.Ю., Рытик А.П., Дарченко А.О., Склиманов А.Ю. Устройство для оценки потенциальной опасности коллапсоидных осложнений при физических нагрузках / Патент на полезную модель № 85084 от 27.07.2009. Патентообладатель ГОУ ВПО «Саратовский государственный университет».
9. Дарченко А.О., Усанов Д.А., Вагарин А.Ю., Рытик А.П., Протопопов А.А., Скрипаль А.В. Программа экспресс-диагностики реакции организма на стрессовые физические нагрузки (Антистресс-01) / Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2009613589 от 3.06.2009. Правообладатель ООО «Волгамет-Экспо».
10. Коркушко О.В., Писарук А.В., Шатило В.Б., Лишневская В.Ю., Чеботарев Н.Д., Погорецкий Ю.Н. Анализ variability ритма сердца в клинической практике. – Киев, 2002. 192 с.
11. Баевский Р.М., Кириллов О.И., Клецкин С.З. Математический анализ изменений сердечного ритма при стрессе. – М.: Наука, 1984. 221 с.

*Дмитрий Александрович Усанов,
профессор, д-р физ.-мат. наук,
зав. кафедрой физики твердого тела,
ГОУ ВПО «Саратовский государственный
университет им. Н.Г. Чернышевского»,
Алексей Алексеевич Протопопов,
профессор, д-р мед. наук,
кафедра факультетской педиатрии,
Ирина Олеговна Бугаева,
профессор, д-р мед. наук,
заведующая кафедрой гистологии,*

*ГОУ ВПО «Саратовский
ГМУ им. В.И. Разумовского»
Минздравсоцразвития России,
Анатолий Владимирович Скрипаль,
профессор, д-р физ.-мат. наук,
зав. кафедрой медицинской физики,
ГОУ ВПО «Саратовский государственный
университет им. Н.Г. Чернышевского»,
Андрей Петрович Аверьянов,
доцент, д-р мед. наук,
кафедра пропедевтики детских болезней,
детской эндокринологии и диабетологии,
ГОУ ВПО «Саратовский
ГМУ им. В.И. Разумовского»
Минздравсоцразвития России,
Анатолий Юрьевич Вагарин,
доцент, канд. физ.-мат. наук,
кафедра физики твердого тела,
Андрей Александрович Сагайдачный,
научн. сотрудник, НИЧ,
Евгений Олегович Кацавцев,
аспирант кафедры медицинской физики,
инженер,
ГОУ ВПО «Саратовский государственный
университет им. Н.Г. Чернышевского»,
г. Саратов,
e-mail: usanovda@info.sgu.ru*

В.А. Королев, В.Т. Потапов

БИМЕДИЦИНСКИЕ ОПТОВОЛОКОННЫЕ ДАТЧИКИ ТЕМПЕРАТУРЫ И ДАВЛЕНИЯ

Аннотация

Представлен обзор современных коммерческих волоконно-оптических датчиков температуры, давления для возможного применения в хирургии и онкологии. Показано существование реальных наукоемких продуктов биомедицинского назначения данного класса датчиков. Прогресс в новейших оптоволоконных технологиях приводит к внедрению волоконно-оптических датчиков наряду с промышленностью и в практику медицинского приборостроения.

Описана разработка катетера с датчиком температуры для эндоскопа с операционным каналом, имеющим диаметр поперечного сечения 6,0 мм.

В последнее годы растет интерес к новым разработкам лазерной техники для хирургии и онкологии [1]. Этому способствуют достижения в области полупроводниковых лазеров, волоконных лазеров и современных оптоволоконных технологий. Широкое внедрение новых разработок в клинику станет в полной мере оправданным с использованием средств, позволяющих осуществлять мониторинг изменения состояния биологической ткани, подвергаемой лазерному или иному воздействию. Одним из таких средств контроля могут быть волоконно-оптические датчики (ВОД). По принципу

действия ВОД разделяют на интерференционные (Фабри-Перо, Маха-Цандера и др.), распределенные (обратное и прямое рассеяние), люминесцентные, на внутриволоконных решетках и комбинированные.

Простой схемой реализации ВОД является использование одножильного оптического волокна как для посылки излучения на исследуемую биоткань, так и для обратной передачи излучения от биоткани, например, катетеры с оптическим волокном диагностического (или терапевтического) назначения. Излучение источника передается оптоволоконном через ка-