

ГОРБАЧЁВ В. И., ХМЕЛЬНИЦКИЙ И. В.,  
ГОРБАЧЁВА С. М.

## Взаимосвязь глубины седации с показателями гемодинамики и вариабельностью сердечного ритма

*Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования – филиал Российской медицинской академии непрерывного профессионального образования  
664049, Россия, г. Иркутск, м/р Юбилейный, д. 100  
e-mail: gorbachevvi@yandex.ru*

*Статья поступила в редакцию 27.11.16 и принята к печати 29.06.17.*

### Реферат

**Введение и цель работы.** «Биспектральный индекс» – BISPECTRAL INDEX (BIS) – и вариабельность ритма сердца (BPC) возможно мониторировать в режиме реального времени, наряду со стандартными гемодинамическими параметрами: артериальным давлением (АД) и частотой сердечных сокращений (ЧСС). Крайне интересной представляется оценка сопряженности указанных регистрируемых показателей при проведении наркоза.

В работе преследуется цель оценить изменения BPC в зависимости от уровня седации при амбулаторных эндоскопических вмешательствах и разработать математическую модель их взаимосвязи.

**Материал и методы.** На первом этапе исследования проведена сравнительная и этапная оценка гемодинамических параметров, BPC и BIS у 26 больных, из которых было 11 мужчин, 15 женщин в возрасте от 18 до 74 ( $46 \pm 14$ ) лет. На втором этапе для проверки работоспособности созданной модели исследование проводилось у 12 человек в возрасте от 20 до 72 ( $44 \pm 15$ ) лет. Все пациенты были подвергнуты поднаркозному эндоскопическому вмешательству (колоноскопии). Оценка BPC, гемодинамического профиля и BIS осуществлялась на трех этапах исследования. В зависимости от значения BIS у всех пациентов были выделены три уровня седации.

**Результаты исследования.** В результате были получены модели оценки BIS по BPC, дающие высокую степень объективности при определении состояния анестезии у пациентов на основе BIS по BPC.

**Выводы.** По результатам проведенного исследования выявлены параметры, которые в совокупности отражают уровень седации. Рассчитанная математическая модель на основе дискриминантного анализа позволяет оценивать уровень легкой седации с достоверностью 85,7 %, а уровень достаточной седации – 93,3 %. Достоверность матрицы классификации составила 89,1 %. Разработанное программное обеспечение позволяет визуально оценивать уровень седации.

**Ключевые слова:** биспектральный индекс, вариабельность ритма сердца, уровень анестезии, дискриминантная функция

**Для цитирования:** Горбачёв В. И., Хмельницкий И. В., Горбачёва С. М. Взаимосвязь глубины седации с показателями гемодинамики и вариабельностью сердечного ритма. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2017;16(3):49–55. doi: 10.24884/1682-6655-2017-16-3-49-55

### Введение

Традиционными критериями определения стадии наркоза (для ингаляционных анестетиков) являются клинические признаки, отражающие деятельность центральной нервной и сердечно-сосудистой систем, как то: наличие сознания, болевая и зрачковая реакции, изменения артериального давления (АД) и частоты сердечных сокращений (ЧСС). В современной анестезиологии используются различные комплексы технологий, позволяющих более качественно и количественно оценить проведение анестезии и глубину седации у пациента. В первую очередь, к этому необходимо отнести оригинальную методику оценки биоэлектрической активности мозга и, соответственно, интегративной обработки данных электроэнцефалограммы, так называемый «Биспектральный индекс» – BISPECTRAL INDEX (BIS). Данный показатель в спектральном и биспектральном режимах на основании сложного алгоритма в линейном числовом масштабе от 100 до 0 % отражает уровень седации больного [5, 6].

К одному из наиболее чувствительных методов, отражающих работу сердца в зависимости от изменений активности нервной системы (в первую очередь, вегетативной) в качественном и количественном диапазоне, относится вариабельность ритма сердца (BPC), являясь интегрированным показателем взаимодействия трех регулирующих факторов – рефлекторного симпатического, рефлекторного парасимпатического и гуморально-метаболически-медиаторного.

BPC является объективным методом диагностики вегетативной дисфункции при любом патологическом состоянии. На сегодняшний день изучены механизмы формирования компонентов вариабельности сердечного ритма, в том числе с участием нервной системы. Доказана диагностическая значимость анализа BPC для регистрации изменений вегетативной нервной системы и у пациентов во время внутривенного наркоза. Результаты исследований вегетативной регуляции могут быть использованы для ведения и изменения анестезиологического пособия, что приведет к улучшению ближайшего и

## ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ (КЛИНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ)

отдаленного постнаркозного прогноза состояния пациента [1].

Существует достаточно данных, которые позволяют утверждать о том, что ВРС является достоверным и чувствительным методом оценки функций вегетативной нервной системы. Регистрация и интерпретация ВРС достоверно отражает симпатовагусный баланс при таких нозологиях, как инсульт, травма, внутричерепная гипертензия и др. [1, 4].

В настоящее время и BIS, и ВРС возможно мониторировать в режиме реального времени, наряду со стандартными гемодинамическими параметрами – артериальным давлением (АД) и частотой сердечных сокращений (ЧСС) [2, 3]. Крайне интересной представляется оценка сопряженности указанных регистрируемых показателей при проведении наркоза.

**Цель работы** – оценить изменения ВРС в зависимости от уровня седации при амбулаторных эндоскопических вмешательствах и разработать математическую модель их взаимосвязи.

### Материал и методы исследования

На первом этапе исследования проведена сравнительная и этапная оценка гемодинамических параметров, ВРС и BIS у 26 больных, из которых было 11 мужчин, 15 женщин в возрасте от 18 до 74 ( $46 \pm 14$ ) лет. На втором этапе для проверки работоспособности созданной модели исследование проводилось у 12 человек в возрасте от 20 до 72 ( $44 \pm 15$ ) лет. Все пациенты были подвергнуты поднаркозному эндоскопическому вмешательству (колоноскопии).

Оценка ВРС, гемодинамического профиля и BIS осуществлялась на трех этапах исследования: 1-й этап – до введения препаратов для наркоза (исходный); 2-й этап – после введения препаратов для наркоза; 3-й этап – окончание процедуры, восстановление сознания (постнаркозный).

В зависимости от значения BIS у всех пациентов были выделены три уровня седации.

Первому уровню соответствовало состояние больного в сознании или легкой седации. Значения BIS регистрировались на уровне 60–100 %.

Ко второму относились пациенты со значением BIS 40–60 %, что можно расценивать как начало умеренной гипнотической седации, при этом риск пробуждения отсутствует.

Третий уровень характеризовался глубокой гипнотической седацией, на границе с крайней степенью подавления ЭЭГ, с диапазоном BIS ниже 40 % [5, 6]. Следует отметить, что анестезиологическое пособие проводилось при амбулаторных эндоскопических вмешательствах, не требующих глубокой анестезии, и данный уровень седации достигался лишь в исключительных случаях.

У всех пациентов вводимая доза препаратов для наркоза была следующей: премедикация – атропин 0,1 % – 0,1 мг/10 кг, димедрол 10 мг, пропופол вводится в дозе 0,5–0,6 мг/кг в/в болюсно, 100 мкг фентанила, при необходимости углубления наркоза доза препаратов увеличивалась. У каждого пациента показатели ВРС,  $AD_{\text{сист}}$ ,  $AD_{\text{диаст}}$ ,  $AD_{\text{ср}}$ , BIS регистрировались ежесекундно.

Для оценки уровня седации использовался BIS монитор А-2000 ХР фирмы *Aspect*. Вариационная кардиоинтервалометрия проводилась на кардиомониторе для записи сердечного ритма HeartSense производства НПП «Живые системы». Для математической обработки сердечного ритма использовалось программное обеспечение «ORTO Science». Комплекс «ORTO Science» соответствует требованиям стандартов Европейского общества кардиологов и Северо-Американской ассоциации электрофизиологии в отношении измерения, физиологической интерпретации и клинического использования показателей сердечного ритма.

Список параметров, которые рассчитывались при анализе ритмограммы в программах «ORTO Science» и «MATLAB 6.1».

Таблица 1

### Коэффициенты показателей, используемые в расчетных формулах

Коэффициент (значение)	Параметр	Реагирует на раздражитель ( $F_1$ )	Достаточная седация ( $F_2$ )	Глубокая анестезия ( $F_3$ )
$a_1(x_1)$	ЧСС	2,70	–0,74	–1,55
$a_2(x_2)$	Амо	–0,78	0,39	1,02
$a_3(x_3)$	$AD_{\text{сист}}$	1,52	1,51	1,94
$a_4(x_4)$	CV	3,41	–1,15	–0,91
$a_5(x_5)$	$\Delta X$	–3,60	1,22	1,13
$a_6(x_6)$	Мо	1,56	–0,67	–0,65
$a_7(x_7)$	$AD_{\text{диаст}}$	–0,69	–0,11	–1,02
$a_8(x_8)$	As	1,04	–0,21	–0,75
$a_9(x_9)$	Мин	–1,07	0,29	0,26
$a_{10}(x_{10})$	Ех	0,23	–0,14	–0,87
$a_{11}(x_{11})$	Ин	0,09	–0,02	–0,36
$a_0$	Константа	–3,21	–0,75	–5,22

Примечание: остальные переменные в связи с недостоверностью полученных данных в расчет модели не вошли ( $p=1,0$ ).

1. Параметры статистического анализа:

HR – частота сердечных сокращений (ЧСС);

n – количество кардиоинтервалов (КИ) (собираемый параметр, в качестве коэффициента не используется);

$x_i$  – значение КИ (собираемый параметр, в качестве коэффициента не используется);

Макс – максимальный КИ в выборке;

Мин – минимальный КИ в выборке;

$\Sigma(\sigma)$  – стандартное отклонение RR-интервалов, отражает меру разброса или вариальности данных  $[\sum(x_i - \mu)^2/n]^{1/2}$  (сигма, RRNN);

CV – коэффициент вариации RR-интервалов;

Мо – мода (наиболее часто встречающийся RR-интервал);

АМо – амплитуда моды (доля КИ, соответствующая значению моды);

$M(\mu)$  – среднее значение RR-интервалов (математическое ожидание, SDNN, SDRR, mean);

$\Delta X$  – вариационный размах (разница между длительностью максимального и минимального RR-интервала);

As – асимметрия;

Ex – эксцесс;

ИН – индекс напряжения регуляторных систем (ИН=АМо/2 $\Delta X$ ·Мо).

Общее время записи сердечного ритма и BIS в эндоскопическом кабинете составило 1914±875 с. Сценарий анализа ритмограммы в режиме реального времени предусматривал набор 100 КИ, автоматическое определение параметров ВРС и гемодинамического профиля, BIS регистрировался синхронно на флеш-память.

Выборка интервалов записи проводилась методом «скользящего окна» со сдвигом по динамическому ряду кардиоинтервалов (КИ) на один интервал, при этом в каждый последующий интервал включалось 50 КИ предыдущей выборки. Значения BIS регистрировались одновременно с ритмом и впоследствии переносились на синхронные значения ВРС. Данная тактика позволила добиться достоверного математического анализа на небольшом количестве КИ.

Статистический анализ результатов исследования проведен с использованием программы «Statistica 6.0». Проверку нормальности распределения полученных данных проводили с использованием тестов Колмогорова–Смирнова. Определение значимости различий при нормальном распределении выполнялось с помощью

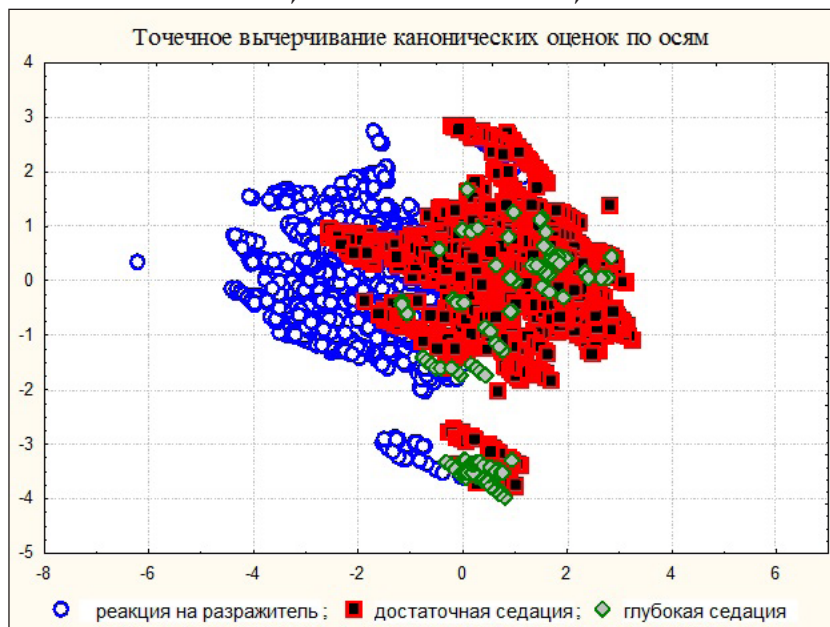


Рис. 1. Точечное вычерчивание канонических оценок для КЛДФ в зависимости от состояния седации

t-критерия Стьюдента, данные приводились как среднее арифметическое и среднеквадратичное отклонение ( $M \pm \sigma$ ). За уровень статистической значимости принят  $p < 0,05$ . Для создания модели оценки BIS по ВРС использован дискриминантный и канонический дискриминантный анализ.

### Результаты исследования и их обсуждение

Для построения интегративной модели использовали все случаи синхронной записи ВРС и BIS. ВРС и BIS были определены на 1914±875 посекундных интервалах по 14 показателям. Исследовалось 13 параметров статистического анализа ВРС, 3 гемодинамических показателя и BIS. Для сопоставительного анализа использованы все случаи синхронной записи периметров

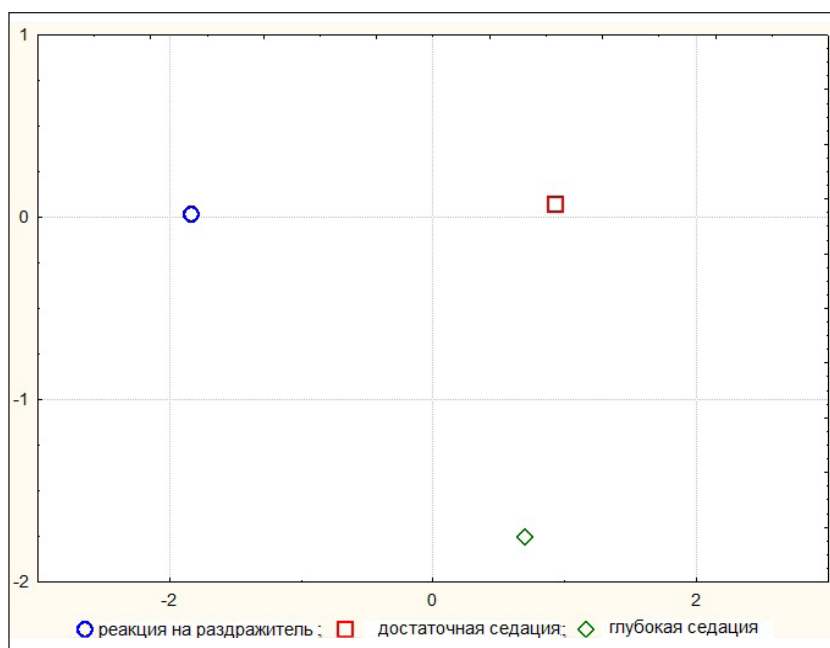


Рис. 2. Расположение «центроидов» для определяемого уровня седации



Таблица 2

Классификация КЛДФ в подготовительном периоде			
Коэффициент	Параметр	КЛДФ для оси X ( $K_X$ )	КЛДФ для оси Y ( $K_Y$ )
$b_1(x_1)$	ЧСС	-1,26	0,60
$b_2(x_2)$	$A_{mo}$	0,43	-0,40
$b_3(x_3)$	$AD_{сист}$	-0,71	1,25
$b_4(x_4)$	CV	-1,65	0,07
$b_5(x_5)$	$\Delta X$	1,75	-0,16
$b_6(x_6)$	Mo	-0,81	0,09
$b_7(x_7)$	$AD_{диаст}$	0,20	0,47
$b_8(x_8)$	As	-0,46	0,35
$b_9(x_9)$	Мин	0,50	-0,04
$b_{10}(x_{10})$	Ех	-0,14	0,42
$b_{11}(x_{11})$	Ин	-0,05	0,19
$b_0$	Константа	0,21	-0,04

ВРС, гемодинамики и BIS. Полученные таким образом ряды данных после нормализации были использованы для создания модели ВРС по BIS посредством уравнений: линейной дискриминантной функции (ЛДФ) F и дополнительно канонической линейной дискриминантной функции (КЛДФ) K.

Этапность работы по созданию ЛДФ:

- определение параметров, участвующих в модели;
- оценка эффективности работы уравнения при использовании предлагаемой формулы;
- для каждого уровня седации в отдельности определялась ЛДФ (F), обобщающая все включенные в модель показатели:  $F = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_kx_k$ , где F – линейная дискриминантная функция,  $a_0$  – константа;  $a_1, a_2, a_k$  – коэффициенты для показателей, полученные путем дискриминантного анализа;  $x_1, x_2, x_k$  – значения признаков, которые перед проведением дискриминантного анализа стандартизовали;
- по показателям, достоверно влияющим на BIS по ВРС, определяются градации и устанавливаются

их стандартизированные числовые значения, BIS по ВРС определяется по максимальному значению из трех ЛДФ: пациент реагирует на раздражитель (BIS 60–100 %) ( $F_1$ ), достаточная седация (BIS 40–60 %) ( $F_2$ ) и глубокая седация (BIS менее 40 %) ( $F_3$ ).

Этапы работы по созданию КЛДФ заключались в следующем:

- точечное вычерчивание канонических оценок;
- расчет координат «центроидов» (среднее значение канонических оценок для каждого тонуca);
- КЛДФ определяет величины координат точек  $K_X$  и  $K_Y$ . Координаты точки рассчитывается по формуле:  $K_X = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k$ ,  $K_Y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + \dots + b_kx_k$ , где  $K_X$  – КЛДФ для оси X;  $K_Y$  – КЛДФ для оси Y, где  $b_0$  – константа;  $b_1, b_2, b_k$  – коэффициенты для показателей, полученные путем канонического линейного дискриминантного анализа;  $x_1, x_2, x_k$  – значения признаков, которые перед проведением дискриминантного анализа стандартизовали;

– по положению найденной точки на осях в плоскости координат X и Y оценивалась удаленность от «центроидов» значений КЛДФ пациента с реакцией на раздражитель (BIS 60–100 %), достаточным уровнем седации (BIS 40–60 %) и глубокой седацией (BIS менее 40 %). Состояние седации устанавливается по «центроиду», от которого получено наименьшее удаление. Каждое новое значение, получаемое в результате непрерывной кардиоинтервалометрии и записи гемодинамики, позволяет увидеть картину смоделированных изменений BIS по ВРС.

В результате были получены модели оценки BIS по ВРС, дающие высокую степень объективности при определении состояния анестезии у пациентов на основе BIS по ВРС.

Коэффициенты для показателей, используемых в расчетных формулах, показавших достоверную разницу в результатах для определения BIS по ВРС, полученные путем дискриминантного анализа, приведены в табл. 1.

Коэффициенты для показателей, используемых

в расчетных формулах, показавших достоверную разницу в результатах для определения BIS по ВРС, полученные путем дискриминантного анализа, приведены в табл. 1.

Прогностические значения  $F_1$  (реагирует на раздражитель),  $F_2$  (достаточная седация) и  $F_3$  (глубокая седация) определялись по формулам:

$$F_1 = -3,21 + 2,7x_1 - 0,78x_2 + 1,52x_3 + 3,41x_4 - 3,6x_5 + 1,56x_6 - 0,69x_7 + 1,04x_8 - 1,07x_9 + 0,23x_{10} + 0,09x_{11};$$

$$F_2 = -0,75 - 0,74x_1 + 0,39x_2 + 1,51x_3 - 1,15x_4 + 1,22x_5 - 0,67x_6 - 0,11x_7 - 0,21x_8 + 0,29x_9 - 0,14x_{10} + 0,02x_{11};$$

$$F_3 = -5,22 - 1,55x_1 + 1,02x_2 + 1,94x_3 - 0,91x_4 + 1,13x_5 - 0,65x_6 - 1,02x_7 - 0,75x_8 + 0,26x_9 - 0,87x_{10} - 0,36x_{11}.$$

Установлено, что при абсолютной величине  $F_1$  больше абсолютной величины  $F_2$  и  $F_3$  прогнозируется высокая

Таблица 3  
Значения и стандартизованные значения параметров гемодинамики и статистического анализа больной А.

Параметр	Значение	Стандартизованное значение
$x_1$	ЧССс	94
$x_2$	$A_{mo}$	26
$x_3$	$AD_{сист}$	119
$x_4$	CV	8,06
$x_5$	$\Delta X$	0,25
$x_6$	Mo	0,62
$x_7$	$AD_{диаст}$	59
$x_8$	As	1,09
$x_9$	Мин	0,51
$x_{10}$	Ех	1,66
$x_{11}$	Ин	83,87

вероятность, что пациент реагирует на раздражитель, при  $F_2$  больше  $F_1$  и  $F_3$  – наступила достаточная седация, а при  $F_3$  больше  $F_2$  и  $F_1$  – наступила глубокая седация.

Оценка эффективности работы уравнения при использовании предлагаемой формулы при реакции на раздражитель, выполненная на контрольной группе пациентов (2-й этап исследования) составил: при легкой седации (пациент реагирует на раздражитель) – 85,7 %, при наступлении достаточной седации – 93,3 %, а для глубокой седации – 46,3 %. Всего процент достоверности матрицы классификации составил 89,1 %. Низкий результат достоверности для глубокой седации объясняется вышеуказанными причинами в виде малого числа наблюдений, связанного с нецелесообразностью достижения такой глубины седации при эндоскопических вмешательствах.

Решение диагностической задачи для оценки BIS по ВРС более эффективно при дополнительном использовании КЛДФ, которая позволяет демонстрировать изменение BIS по ВРС в системе координат, графически.

При выявлении распределения данных по уровню седации в среде канонической функции строится точечное вычерчивание канонических оценок (рис. 1).

При обобщении дисперсии всех показателей получены координаты «центроидов», средних значений канонических оценок для каждого из трех состояний седации. Для пациента с реакцией на раздражитель координаты «центроидов» по осям X и Y соответствовали  $(-1,83; 0,01)$ , для достаточной седации –  $(0,93; 0,07)$  и глубокой седации –  $(0,71; -1,75)$  (рис. 2).

Коэффициенты для показателей, полученные путем канонического линейного дискриминантного анализа приведены в табл. 2.

Выявленным показателям, достоверно влияющим на BIS по ВРС, были определены градации и установлены стандартизированные числовые значения для КЛДФ.

Координаты состояния седации в соответствии с полученными данными определялись по формулам:

$$K_x = 0,21 - 1,26x_1 + 0,43x_2 - 0,71x_3 - 1,65x_4 + 1,75x_5 - 0,81x_6 + 0,2x_7 - 0,46x_8 + 0,5x_9 - 0,14x_{10} - 0,05x_{11};$$

$$K_y = -0,04 + 0,6x_1 - 0,4x_2 + 1,25x_3 + 0,07x_4 - 0,16x_5 + 0,09x_6 + 0,47x_7 + 0,35x_8 - 0,04x_9 + 0,42x_{10} + 0,19x_{11}.$$

В качестве примера приводим клиническое наблюдение смоделированного определения BIS по ВРС состояния пациента до и после введения препаратов для наркоза (пациент из группы качественной оценки работоспособности модели).

**Клинический пример 1.** Больная А., 46 лет, карта № 12132, поступила с диагнозом «Дивертикулярная болезнь толстой кишки».

Во время подготовительного периода были определены значения параметров гемодинамики и статистического анализа (табл. 3).

Для определения состояния седации используем подготовленные формулы дискриминантного анализа:

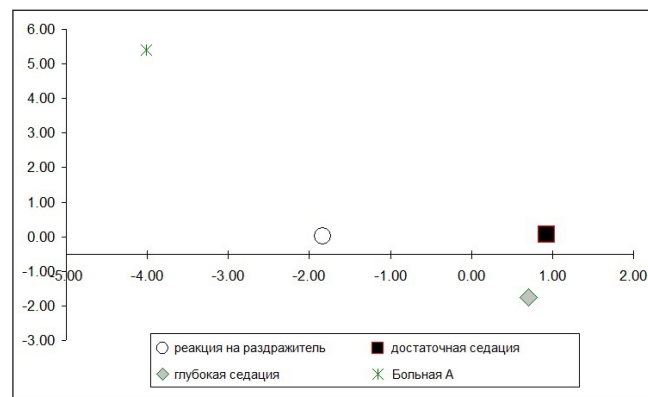
$$F_1 = -3,21 + 2,7 \cdot 1,66 - 0,78 \cdot 0,96 + 1,52 \cdot 4,22 - 3,41 \cdot 0,15 + 3,6 \cdot 0,45 - 1,56 \cdot 1,66 + 0,69 \cdot 0,48 + 1,04 \cdot 0,73 + 1,07 \cdot 0,16 - 0,23 \cdot 0,85 - 0,09 \cdot 0,23 = 6,5;$$

$$F_2 = -0,75 - 0,74 \cdot 1,66 + 0,39 \cdot 0,96 + 1,51 \cdot 4,22 + 1,15 \cdot 0,15 - 1,22 \cdot 0,45 + 0,67 \cdot 1,66 + 0,11 \cdot 0,48 - 0,21 \cdot 0,73 - 0,29 \cdot 0,16 + 0,14 \cdot 0,85 - 0,02 \cdot 0,23 = 5,47;$$

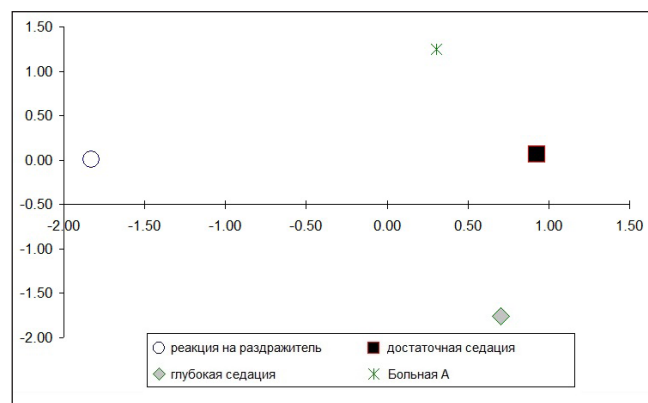
$$F_3 = -5,22 - 1,55 \cdot 1,66 + 1,02 \cdot 0,96 + 1,94 \cdot 4,22 + 0,91 \cdot 0,15 - 1,13 \cdot 0,45 + 0,65 \cdot 1,66 + 1,02 \cdot 0,48 - 0,75 \cdot 0,73 - 0,26 \cdot 0,16 + 0,87 \cdot 0,85 + 0,36 \cdot 0,23 = 2,8.$$

Абсолютная величина  $F_1$  больше абсолютной величины  $F_2$  и  $F_3$ , следовательно, прогнозируется высокая вероятность состояния пациента, которое соответствует легкой седации или уверенной реакции на раздражитель.

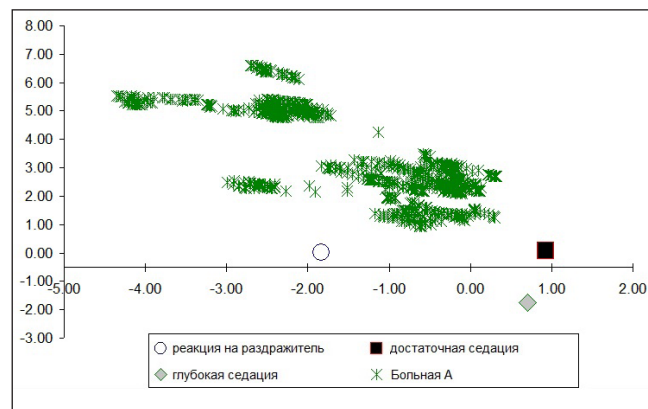
Демонстрация изменений типов тонуса в системе координат происходит при использовании КЛДФ:



а



б



в

Рис. 3. Состояние седации больной А. в системе координат при использовании КЛДФ: а – соответствующее реакции на раздражитель (BIS 60–100 %); б – соответствующее достаточной седации (BIS 40–60 %); в – в динамике

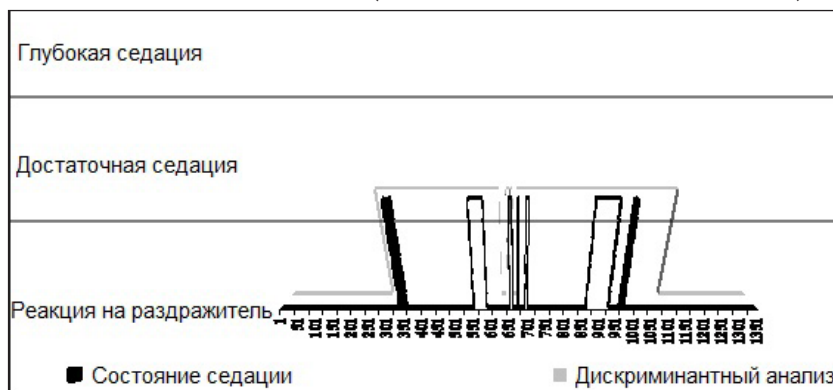


Рис. 4. Уровень седации у больной А. в системе координат при использовании ЛДФ в динамике с BIS-мониторингом

$$K_x = 0,21 - 1,26 \cdot 1,66 + 0,43 \cdot 0,96 - 0,71 \cdot 4,22 + 1,65 \times \\ \times 0,15 - 1,75 \cdot 0,45 + 0,81 \cdot 1,66 - 0,2 \cdot 0,48 - 0,46 \cdot 0,73 - \\ - 0,5 \cdot 0,16 + 0,14 \cdot 0,85 + 0,05 \cdot 0,23 = 4,02;$$

$$K_y = -0,04 + 0,6 \cdot 1,66 - 0,4 \cdot 0,96 + 1,25 \cdot 4,22 - 0,07 \times \\ \times 0,15 + 0,16 \cdot 0,45 - 0,09 \cdot 1,66 - 0,47 \cdot 0,48 + 0,35 \cdot 0,73 + \\ + 0,04 \cdot 0,16 - 0,42 \cdot 0,85 - 0,19 \cdot 0,23 = 5,41.$$

На рис. 3, а отображено состояние седации больного в системе координат при использовании КЛДФ относительно центроидов, определяющих уровни седации по BIS. Выявлено максимальное сближение с центроидом, соответствующим реакции на раздражитель, что говорит о BIS 60–100 %. Когда отмечено максимальное сближение с центроидом, соответствующим достаточной седации, это, в свою очередь, говорит о BIS 40–60 % (рис. 3, б). При дальнейшем наборе КИ происходит обсчет всех исследуемых параметров и построение КЛДФ (рис. 3, в).

Можно сделать заключение о совпадении уровня седации по BIS с реакцией на раздражитель в преднаркотическом периоде по ЛДФ и КДЛФ, с дальнейшим переходом после введения препаратов для наркоза на уровень достаточной седации (BIS 40–60 %), а далее отмечен возврат к состоянию реакции на раздражитель (BIS 60–100 %). Поинтервальное визуальное изображение BIS на основании расчетных формул и дополнительного программного обеспечения показано на рис. 4.

Таким образом, проведенный анализ позволил выявить высокую сопряженность большинства показателей ВРС и АД с уровнями легкой и достаточной седации при проведении краткосрочного наркоза при эндоскопических вмешательствах.

Применение разнообразных методик обезболивания у пациентов амбулаторного профиля пред-

полагает выявление уровня седации, что возможно при подготовке модели оценки уровня седации по показателям АД и ВРС на основе максимально достоверных критериев.

## Выводы

1. По результатам проведенного исследования к параметрам, которые в совокупности отражают уровень седации, относятся ЧСС, АД<sub>сист</sub>, АД<sub>диаст</sub>, A<sub>Мо</sub>, CV, ΔX, Mo, As, Мин, Ех, ИН.

2. Рассчитанная математическая модель на основе дискриминантного анализа позволяет оценивать уровень легкой седации с достоверностью 85,7 %, а уровень достаточной седации – 93,3 %. Достоверность матрицы классификации составила 89,1 %.

3. Разработанное программное обеспечение позволяет визуально оценивать уровень седации на основании расчетных параметров АД и ВРС у пациентов при проведении анестезиологического пособия при эндоскопических вмешательствах.

## Литература

1. Горбачев В. И., Емельянов В. Е., Хмельницкий И. В. и др. Кардиоинтервалография в оптимизации анестезиологического обеспечения краткосрочных хирургических вмешательств // Вестник интенсивной терапии. 2006. № 5. С. 95–98.
2. Горбачев В. И. Определение типа вегетативного тонуса в режиме on-line / В. И. Горбачев, И. В. Хмельницкий, Ю. В. Добрынина, С. В. Горбачев // Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2009. № 3. С. 60–66.
3. Горбачев В. И., Хмельницкий И. В., Добрынина Ю. В. Оценка вегетативного тонуса с помощью комплексного исследования непрерывного вейвлет-преобразования и кардиоинтервалографии // Вестн. новых мед. технологий. 2011. Т. 18. № 3. С. 154–157.
4. Добрынина Ю. В., Ковалев В. В., Горбачев В. И. и др. Изменения вегетативного тонуса при внутричерепном гипертензионном синдроме // Патология кровообращения и кардиохирургия. 2010. № 3. С. 61–66.
5. Myles P. S., Symons J. A., Leslie K. Anaesthetists' attitudes towards awareness and depth-of-anaesthesia monitoring // Anaesthesia. 2003. Vol. 58. № 1. P. 11–16.
6. Myles P. S., Leslie K., McNeil J. et al. Bispectral index monitoring to prevent awareness during anaesthesia: the B-Aware randomised controlled trial // Lancet. 2004. № 363. P. 1757–1763.

**Relationship of sedation level with hemodynamics and heart rate variability**

*Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education – Branch Campus of the Federal State Budgetary Educational Institution of Further Professional Education «Russian Medical Academy of Continuing Professional Education» of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation*  
 664049, Russian Federation, Irkutsk, mkr. Yubileny, 100  
 e-mail: gorbachevvi@yandex.ru

Received 27.11.16; accepted 29.06.17.

**Abstract**

**Introduction and aim.** Bispectral index (BIS) and heart rate variability (HRV) can be monitored in real time, along with the standard hemodynamic parameters: blood pressure (BP) and heart rate (HR). It is interesting to assess the interrelationship between these parameters during anesthesia. In this work, the objective was to evaluate the changes of HRV, depending on the level of sedation for outpatient endoscopic procedures and to develop a mathematical model of their relationship.

**Materials and methods.** In the first phase of the study, comparative and staged assessment of hemodynamic parameters, BIS and HRV was performed in 26 patients, including 11 men and 15 women aged from 18 to 74 ( $46 \pm 14$ ) years. In the second stage, in order to test the operability of the model, the study was conducted in 12 patients aged from 20 to 72 ( $44 \pm 15$ ) years. All patients were subjected to endoscopic surgery (colonoscopy). The assessment of HRV, hemodynamic profile, and the BIS was carried out in three stages of the study. Depending on the BIS values, all patients were allocated to three levels of sedation.

**Results and discussion.** As a result, the models for HRV-based BIS determination were obtained, giving a high degree of objectivity in determining the status of anesthesia in patients based on HRV-derived BIS.

**Conclusions.** The results of the study revealed the parameters that together reflect the level of sedation. Suggested mathematical model based on discriminant analysis allows to assess the level of light sedation with accuracy of 85.7 %, and the level of adequate sedation with accuracy of 93.3 %. The accuracy of a classification matrix was 89.1 %. The developed software allows to visually assess the level of sedation.

**Key words:** *bispectral index, heart rate variability, the level of sedation, the discriminant function*

**For citation:** Gorbachev V. I., Khmelnytsky I. V., Gorbacheva S. M. Relationship of sedation level with hemodynamics and heart rate variability. *Regional hemodynamics and microcirculation*. 2017;16(3):49–55. doi: 10.24884/1682-6655-2017-16-3-49-55

**References**

1. Gorbachev V. I., Yemelyanov V. E., Khmelnytsky I. V., Mankov A. V., Gorbachev S. M. Kardiointervalografiya in optimization of anesteziologicheskoy ensuring short-term surgical interventions // *Messenger of intensive therapy*. - 2006. - № 55. - P.95-98.
2. Gorbachev V. I., Khmelnytsky I. V., Dobrynina Yu. V., Gorbachev S. V. Definition like a vegetative tone in the on-line mode // *Ultrasonic and functional diagnostics*. - 2009. - № 3. - P. 60-66.
3. Gorbachev V. I., Khmelnytsky I. V., Dobrynina Yu. V. Otsenka of a vegetative tone by means of a complex research of continuous veyvlet-transformation and a kardiointervalometriya // *Messenger of new medical technologies*. - 2011. - T.18. - № 3. - P. 154-157.
4. Dobrynina Yu. V., Kovalyov V. V., Gorbachev V. I., Petrov S. I., Khmelnytsky I. V. Changes of a vegetative tone at an intracranial hypertension syndrome // *Pathology of blood circulation and a heart surgery*. - 2010. - № 3. - P. 61-66.
5. Myles P.S., Symons J.A., Leslie K. Anaesthetists' attitudes towards awareness and depth-of-anaesthesia monitoring // *Anaesthesia*. - 2003. - V.58. - № 1. - P.11-16.
6. Myles P.S., Leslie K., McNeil J., Forbes A., Chan M.T.V. Bispectral index monitoring to prevent awareness during anaesthesia: the B-Aware randomised controlled trial // *Lancet*. - 2004. - 363. - P.1757-1763.