

УДК 617.52

# МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ПРОГНОЗИРОВАНИИ СИНДРОМА БОЛЕВОЙ ДИСФУНКЦИИ ВНЧС

## MATHEMATICAL MODELING IN PREDICTION OF TMJ PAIN DYSFUNCTION SYNDROME

Пономарев А.В.

Ponomarev AV

ФГБОУ ВО «Самарский государственный  
медицинский университет» Минздрава РоссииSamara State  
Medical University

В исследовании представлена технология разработки формализованной модели прогнозирования группы риска синдрома болевой дисфункции височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС) на основе системного многофакторного анализа данных анкетного экспресс-скрининга распространенности этиоanamнестических предрасполагающих факторов и проявлений синдрома болевой дисфункции ВНЧС. Формализованная модель позволяет определить индивидуальный консультативно-диагностический маршрут обследуемого, своевременно диагностировать причину нарушения в биомеханической системе, провести своевременную коррекцию и начать лечение.

**Цель** — разработка доступного формализованного метода прогнозирования группы риска по развитию синдрома болевой дисфункции ВНЧС.

**Материал и методы.** Объектами исследования являлись 94 респондента, 34 мужчины и 60 женщин в возрасте от 18 до 57 лет, составившие случайную выборку. Методы исследования: социологический (анкетный экспресс-скрининг), системный многофакторный анализ, регрессионный анализ, математическое моделирование. Исследование проведено последовательной интеграцией данных анкетного экспресс-скрининга клинически здоровых объектов исследования и лиц, имеющих признаки дисфункции ВНЧС, но не предъявляющих жалоб и не обращавшихся за стоматологической помощью по поводу изменений в ВНЧС. Интеграция проведена путем системного многофакторного анализа анкетных данных и оценки изменений в зубочелюстной системе выборки в целом. В системе опроса учитывались два компонента, соответствующие двум блокам данных, — «причины» и «симптомы». Информация от объектов исследования получалась по дихотомическому принципу изложения, в ходе которого объекты исследования отмечали наличие или отсутствие конкретного признака (симптома) со стороны зубочелюстной системы.

**Результаты.** Рассчитаны граничные значения интегрального показателя состояния системы ( $\min X_{bi}=0,04 + 0,01$ ,  $\max 0,11+0,04$ ), при которых исследуемого можно отнести к группе риска по причинам и предрасполагающим факторам или по первым проявлениям признаков болевой дисфункции ВНЧС.

The study presents technology of the development of formalized forecasting model of the risk group for temporomandibular pain dysfunction syndrome on the basis of a systemic analysis of multivariate rapid screening questionnaire for prevalence rate of etiological and amnesic predisposing factors and manifestations of TMJ pain dysfunction syndrome. Formalized model allows us to identify an individual consulting and diagnostic itinerary of the subject, to diagnose the cause of abnormalities in the biomechanical system, to conduct timely correction, and to start the treatment.

**Aim** — development of affordable formal risk prediction method for predicting the development of TMJ pain dysfunction syndrome.

**Materials and methods.** The subjects of the study were 94 respondents, 34 men and 60 women aged from 18 to 57 years, chosen by accidental sampling. The following methods were used: sociological (rapid screening questionnaire), systemic multivariate analysis, regression analysis, mathematical modeling. The study was conducted with consistent integration of rapid screening questionnaire data of clinically healthy research subjects and those with signs of TMJ dysfunction, who did not complain and did not seek dental advice concerning the changes in the TMJ. Integration was carried out by multivariate systemic analysis of personal data and the assessment of changes in the dentition of all the subjects of the sampling. The two components were taken into account in the survey system corresponding to the two data blocks: "causes" and "effects". Information from the subjects of study was obtained by the principle of dichotomous presentation, during which the test subjects noticed the presence or absence of a specific sign (symptom) in the dentition.

**Results.** Boundary values of the integral system status indicator ( $\min X_{bi} = 0,04 + 0,01$ ,  $\max 0,11 + 0,04$ ) were calculated, whereby the test subject can be attributed to the risk group for the causes and predisposing factors or the first manifestation of symptoms of TMJ pain dysfunction syndrome.

**Conclusion.** The subjects of the research with the values of the integral index falling within the confidence interval boundary values of the modified system (from  $X_{bi} = 0,04 \pm$

**Заключение.** Объекты исследования, имеющие значения интегрального показателя, попадающие в доверительный интервал граничных значений измененной системы (от  $X_{bi}=0,04 \pm 0,01$  до  $X_{bi}=0,11 \pm 0,04$ ), нуждаются в определении индивидуальной траектории коррекции системы.

**Ключевые слова:** синдром болевой дисфункции ВНЧС, экспресс-скрининг, системный многофакторный анализ, прогнозирование, группа риска.

0,01 to  $X_{bi} = 0,11 \pm 0,04$ ) require determination of an individual trajectory of system correction.

**Keywords:** TMJ pain dysfunction syndrome, rapid screening, systemic multivariate analysis, forecasting, risk group.

## ■ ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования в данном направлении продиктована большой распространенностью — от 50 до 80% [1, 2] и ростом заболеваний ВНЧС. По данным В.А. Хватовой [3], число больных с патологией ВНЧС за период с 2000 по 2008 г. возросло в 3,6 раза.

Дисфункциональные нарушения (синдром) ВНЧС преобладают среди пациентов с патологией сустава и варьируют от 78,3% до 95,3% [4]. Поскольку современная стоматологическая наука рассматривает разнообразные концептуальные подходы к анализу этиологических и патогенетических механизмов развития дисфункции ВНЧС [3, 4,], поиск методов ранней диагностики, направленных на предотвращение развития заболевания, приобретает особую актуальность [5].

В современной стоматологической практике диагностика дисфункции ВНЧС основывается главным образом на применении высокотехнологичных методов исследования: функциографии, аксиографии, электромиографии и компьютерной томографии [9]. Данный подход обеспечивает точно выстроенную диагностическую систему, но методологически он может быть реализован только у пациента — объекта исследования с выраженной клинической картиной заболевания, обратившегося за помощью к специалисту. Дисфункция ВНЧС может иметь клиническую картину с различной интенсивностью проявления симптомов и их сочетания, что формирует некий социальный стереотип «завтра пройдет» и «терпеть до конца». При внушительном арсенале специальных методов исследования врачи XXI века не имеют формализованных методов прогнозирования заболеваний ВНЧС.

## ■ ЦЕЛЬ

Разработка доступного формализованного метода прогнозирования группы риска по развитию синдрома болевой дисфункции ВНЧС.

## ■ МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проведено на кафедре ортопедической стоматологии СамГМУ (заведующая кафедрой профессор В.П. Глушенко). Использованы следующие методы: социологический (анкетный экспресс-скрининг),

системный многофакторный анализ, регрессионный анализ, математическое моделирование.

Объектами исследования являлись 94 респондента, 34 мужчины и 60 женщин в возрасте от 18 до 57 лет, составившие случайную выборку.

Исследование проведено последовательной интеграцией данных анкетного экспресс-скрининга клинически здоровых объектов исследования и лиц, имеющих признаки дисфункции ВНЧС, но не предъявляющих жалоб и не обращавшихся за стоматологической помощью по поводу изменений в ВНЧС. Интеграция проведена путем системного многофакторного анализа анкетных данных и оценки изменений в зубочелюстной системе выборки в целом. В системе опроса учитывались два компонента, соответствующие двум блокам данных, — «причины» и «симптомы». Информация от объектов исследования получалась по дихотомическому принципу изложения, в ходе которого объекты исследования отмечали наличие или отсутствие конкретного признака (симптома) со стороны зубочелюстной системы. Затем проводилась индексация признаков с использованием трехбалльной шкалы: отсутствие признака — индекс «1», наличие признака — индекс «2». Качественные признаки индексировались следующим образом: отсутствие характеристики признака — индекс «1», наличие характеристики признака — индекс «3».

Планирование и статистическое обоснование количества наблюдений для решения поставленных задач с заданной надежностью  $P=0,95$  и допустимой ошибкой  $\varepsilon=0,05$  было проведено по авторской методике [6].

Выборка сочетала следующие объекты исследования: не предъявляющие жалоб со стороны зубочелюстной системы и имеющие интактные зубные ряды, с дефектами зубных рядов, с замещенными дефектами зубных рядов и с симптомами дисфункции ВНЧС. На каждый объект исследования заполнялась карта обследования, где фиксировались наличие жалоб, данные анамнеза, проводился осмотр, определялся стоматологический статус, проводилась постановка предварительного диагноза после заполнения анкеты. За систему была принята совокупность параметров анкетного скрининга по двум компонентам («причины» и «симптомы») и 24 факторам-критериям оценки.

Для проведения оценки данных экспресс-скрининга распространенности этиоanamнестических предрасполагающих факторов дисфункции ВНЧС и наличия симптомов у лиц, считающих себя здоровыми и не обращавшихся к врачу по поводу признаков дисфункции

ВНЧС, нами проведен системный многофакторный анализ данных анкетного экспресс-скрининга по группам, дифференциация которых произошла в ходе обработки результатов опроса.

Анализ полученных данных анкетного экспресс-скрининга был проведен по авторской методике системного многофакторного анализа [6].

Результатом системного многофакторного анализа стала исследовательская (теоретическая) математическая модель, полученная путем расчета интегрального показателя состояния ВНЧС как биомеханической системы. Для оценки процессов и признаков, характеризующих изменения в системе, проведен анализ коэффициентов влияния факторов ( $P_i$ ) на систему в целом. Определены наиболее значимые факторы и компоненты, изменяющие баланс биомеханической системы ВНЧС, которые позволили разработать рабочую (тарировочную) математическую модель. Тарировочная математическая модель с граничными значениями интегральных показателей испытана в программной среде с возможностью определения индивидуального интегрального показателя каждого объекта исследования. Данный вид математической модели относится к «модели прогнозирования» на основе интегрального показателя состояния системы [7].

Структурный алгоритм математического моделирования, составляющий основу математической модели прогнозирования дисфункции ВНЧС, на основе системного многофакторного анализа представлен на рисунке 1.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ результатов анкетного скрининга позволил выявить три группы респондентов.

Первая группа представлена респондентами с отсутствием причин и симптомов и интактными зубными рядами, составившая 9,6%, и долей респондентов (17%), у которых менее 20% положительных ответов по компоненту «причины». Всего данная группа составила 26,6% и была принята за норму для математического моделирования.

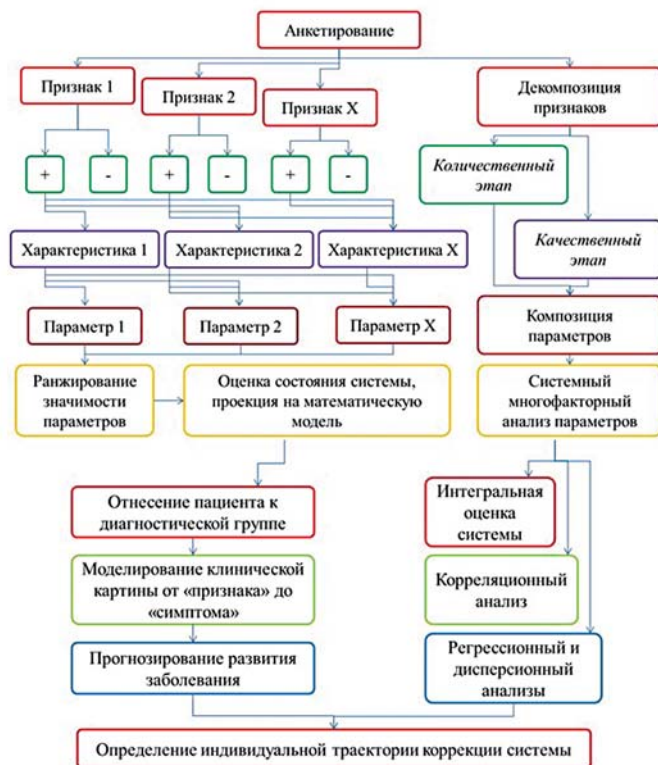
Ко второй группе были отнесены объекты исследования, давшие 21-50% положительных ответов по компоненту «причины» и менее 50% по компоненту «симптомы»; она составила 43,6% от всех объектов исследования.

Третья группа представлена респондентами, показавшими наличие более 51% причин и более 50% проявлений (симптомов) болевой дисфункции ВНЧС. Эта группа составила 29,78%.

Во второй группе с преобладанием причин и предрасполагающих факторов болевой дисфункции ВНЧС превалировали объекты с дефектами зубных рядов (89%) и замещенными дефектами зубных рядов (11%).

В третьей группе преобладали объекты с замещенными дефектами зубных рядов и проявлениями синдрома болевой дисфункции ВНЧС.

Среднее значение интегрального показателя данных экспресс-скрининга у клинически здоровых объектов



**Рисунок 1.** Структурный алгоритм математического моделирования данных экспресс-скрининга биомеханической системы.

исследования было принято за номинальное значение сбалансированной системы  $X_{bi} = 0 \pm 2\sigma$ , т.е.  $X_{bi} = 0 \pm 0,04$ . У объектов исследования, относящихся ко второй группе, данный показатель изменялся от  $X_{bi} = 0,04 \pm 0,01$  до  $X_{bi} = 0,11 \pm 0,04$ . Значения интегрального показателя объектов исследования с признаками (симптомами) дисфункции ВНЧС составил  $X_{bi} =$  более 0,11. Среднее значение интегрального показателя данных экспресс-скрининга всей совокупности объектов исследования составило  $X_{bi} = 0,06 \pm 0,02$ .

Предельно допустимая зона нормы составила от  $X_{bi} = 0$  до  $X_{bi} = 0,04$ . Анализ коэффициентов влияния (весовых коэффициентов —  $P_i$ ) на разбалансированность системы во второй группе показал, что среди причин и предрасполагающих факторов возникновения синдрома болевой дисфункции ВНЧС наиболее значимыми являются:

- 1) амплитуда открывания рта (в комплексной характеристике динамики открывания рта) ( $P_i = 67,6$ );
- 2) неудачные результаты протезирования и лечения зубов ( $P_i = 32,5$ );
- 3) травмы челюстно-лицевой области ( $P_i = 24,49$ );
- 4) наличие съемного протеза ( $P_i = 21,9$ );
- 5) односторонний тип жевания пищи ( $P_i = 16,6$ );
- 6) стресс ( $P_i = 11,7$ ).

Анализ коэффициентов влияния по блоку «симптомы» позволил также ранжировать значимость появления первых симптомов дисфункционального болевого синдрома:

- 1) жжение кончика языка ( $P_i = 35,2$ );
- 2) лицевые боли ( $P_i = 32,5$ );
- 3) боль в мышцах ( $P_i = 24,5$ );

- 4) боль в суставе ( $P_i=16,1$ );
- 5) боль в шее ( $P_i=11,05$ );
- 6) головная боль ( $P_i=10,24$ ).

Очевидно, что лицевые боли и боли в мышцах потенциальный пациент с дисфункцией ВНЧС самостоятельно дифференцировать не может. Нужна четкая информационно-диагностическая траектория для исследуемого. Для этого информационный блок экспресс-скрининга сопровождается разделом «примечание» с методическими указаниями, содержащими характеристики каждого отдельного признака блоков «симптомы» и «причины».

Группа респондентов, у которых по компоненту «причины» более 50% положительных ответов и более 70% по компоненту «симптомы», составила 29,78% из всей обследуемой группы. Интегральный показатель этой группы составляет  $0,11 + 0,04$ , что в 1,8 раза превышает среднее значение ( $X_{bi}=0,06 + 0,04$ ) интегрального показателя всей исследуемой группы.

Полученная математическая модель демонстрирует изменение в системе при начальных проявлениях синдрома болевой дисфункции ВНЧС: жжения кончика языка, лицевых болей, болей в мышцах, болей в суставе.

Нами рассчитаны граничные значения интегрального показателя состояния системы ( $\min X_{bi}=0,04 + 0,01$ ,  $\max 0,11+0,04$ ), при которых исследуемого можно отнести к группе риска по причинам и предрасполагающим факторам ранних признаков болевой дисфункции ВНЧС.

Для обработки и многофакторного анализа данных нами разработана программа, выполненная в среде программирования Delphi 7, с помощью которой был произведен анализ анкетных данных, определяющий состояние системы ВНЧС объекта исследования (рис. 2).

Таким образом, проводится программная оценка состояния системы ВНЧС обследуемого на основе системного многофакторного анализа и математического моделирования, то есть разработана формализованная модель прогнозирования группы риска по развитию синдрома болевой дисфункции ВНЧС на основе анализа ранних признаков заболевания.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Значителен спектр научных трудов, в которых математическое моделирование применено как метод оценки состояния биосистем (Шляпников В.Н., Углова М.В., Германов В.А., Котельников Г.П., Крюков Н.Н., Суздальцева Т.В. и др.), позволяющий объективно оценивать по интегральным показателям характер и направленность изучаемых процессов в различных биологических системах организма — нервной, эндокринной, иммунной и крови, сердечно-сосудистой, опорно-двигательной и пищеварительной [8].

Реализованный в настоящем исследовании системный подход к оценке состояния ВНЧС как биомеханической системы у объектов исследования с наличием этиоanamнестических и предрасполагающих факторов развития синдрома болевой дисфункции ВНЧС на основе системного многофакторного анализа имеет

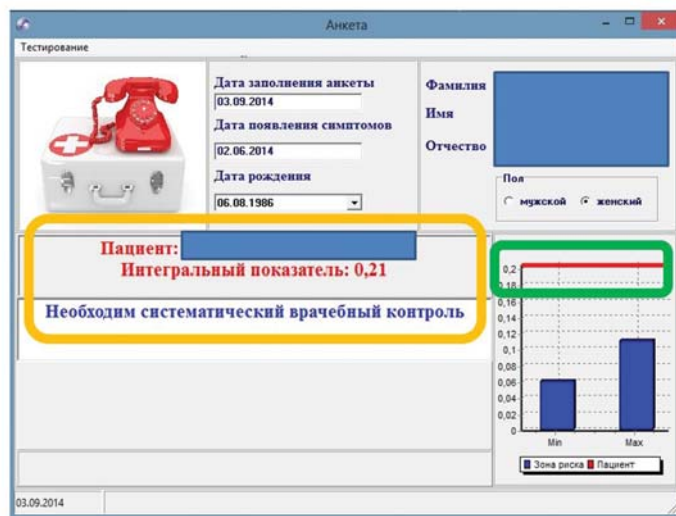


Рисунок 2. Программный интерфейс оценки состояния биомеханической системы, определение состояния и индивидуальной траектории коррекции системы.

значительную прогностическую ценность и доступен в применении.

Используя тарифовочную математическую модель, врач-стоматолог получает возможность отнесения конкретного объекта исследования к выделенным диагностическим группам: клинической нормы, группы риска по дисфункции ВНЧС или группы с дисфункцией ВНЧС и реализации практического алгоритма коррекции биомеханической системы ВНЧС.

Примером может служить клиническая ситуация объекта исследования М. 36 лет, симптомы со стороны ВНЧС и жевательных мышц: периодическое щелканье в суставе, в ходе экспресс-скрининга данных биомеханической системы был определен индивидуальный интегральный показатель со значением  $X_{bi} = 0,09$ , что позволяет отнести объект к группе риска по синдрому болевой дисфункции ВНЧС. Был определен наиболее значимый признак, влияющий на биомеханическую систему данной группы объектов исследования, характеризующийся чрезмерной амплитудой открывания рта ( $P_i=67,6$ ). Математическое моделирование развития полной клинической картины дисфункции ВНЧС показало вероятность возникновения патологии с достоверностью 95% через семь месяцев. Объекту исследования было рекомендовано ограничение амплитуды открывания рта до 2,4 см между резцами верхней и нижней челюсти по методу Ю.А. Петросова, жевание пищи в измельченном и нарезанном виде с двух сторон, массаж жевательных мышц. Через два месяца наблюдения индивидуальный интегральный показатель состояния биомеханической системы объекта исследования составил  $X_{bi} = 0,02$ , который попадает в доверительный интервал граничных значений интегрального показателя группы клинической нормы и характеризует функцию биомеханической системы как сбалансированную.

Определение индивидуальной траектории коррекции биомеханической системы объекта исследования зависит от значения интегрального показателя состояния системы, спроецированного на тарифовочную ма-

тематическую модель, и последующего отнесения пациента к соответствующей диагностической группе.

Объекты исследования группы клинической нормы, имеющие значения интегрального показателя, попадающие в доверительный интервал граничных значений сбалансированной системы ( $X_{bi} = 0 \pm 0,04$ ), не нуждаются в определении индивидуальной траектории коррекции системы. В данной группе рекомендовано проводить самостоятельное мониторинговое динамическое изменение интегрального показателя путем экспресс-скрининга данных не реже 1 раза в 6 месяцев для реализации регрессионного анализа и прогнозирования состояния биомеханической системы объекта исследования.

Объекты исследования группы риска развития дисфункции ВНЧС, имеющие значения интегрального показателя, попадающие в доверительный интервал граничных значений измененной системы (от  $X_{bi}=0,04 \pm 0,01$  до  $X_{bi}=0,11 \pm 0,04$ ), нуждаются в определении индивидуальной траектории коррекции системы. Для данной диагностической группы не характерны клинические проявления по блоку «симптомы», но определяются значимые признаки по блоку «причины». Врач в процессе математического моделирования по весовым коэффициентам данных признаков путем корреляционного анализа с блоком «симптомы» и последующего регрессионного анализа имеет возможность смоделировать клиническую картину развивающегося заболевания и определить сроки его возникновения. Рассчитываемые в ходе системного

многофакторного анализа весовые коэффициенты признаков служат для реализации этиопатогенетического подхода по коррекции биомеханической системы объекта исследования.

Объекты исследования группы с признаками синдрома болевой дисфункции ВНЧС, имеющие значения интегрального показателя ( $X_{bi} > 0,11 \pm 0,04$ ), попадающие в доверительный интервал граничных значений измененной системы, нуждаются в определении индивидуальной траектории комплексной коррекции системы с использованием специальных методов исследования и рациональных лечебных мероприятий, включающих избирательное шлифование зубов, реконструкцию прикуса и рациональное протезирование.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный метод прогнозирования группы риска синдрома болевой дисфункции ВНЧС, основанный на системном многофакторном анализе и математическом моделировании данных анкетного скрининга в программной среде с расчетом индивидуального интегрального показателя объекта исследования, является прогностически достоверным и доступным. Объекты исследования, имеющие значения интегрального показателя, попадающие в доверительный интервал граничных значений измененной системы (от  $X_{bi}=0,04 \pm 0,01$  до  $X_{bi}=0,11 \pm 0,04$ ), нуждаются в определении индивидуальной траектории коррекции системы. ■

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Тимофеева М.И., Мальцев С.Н., Зубарев В.А. Оценка функционального состояния жевательных и височных мышц при дисфункции ВНЧС. *Очерки медико-социальной реабилитации детей с проблемами здоровья*. Екатеринбург, 1995:41-44.
2. Timofeev MI, Maltsev SN, Zubarev VA. Evaluation of the functional state of masseter and temporalis muscles in TMJ. *Ocherki mediko-sotsial'noi reabilitatsii detei s problemami zdorov'ya*. Ekaterinburg, 1995:41-44. (In Russ.).
3. Dym H., Israel H. Diagnosis and treatment of temporomandibular disorders. *Dent Clin N Am* 2012; 56: 149-61.
4. Хватова В.А. Клиническая гнатология. М.: «Медицина», 2008.
5. Khvatova VA. Klinicheskaya gnatologiya. M.: «Medicina», 2008. (in Russ.).
6. Петросов Ю.А., Ермошенко Р.Б., Сеферян Н.Ю., Калпакьянц О.Ю. Факторы риска в возникновении дисфункции в височно-нижнечелюстном суставе. *Современная ортопедическая стоматология*. 2007(8):100-101.
7. Petrosov YA, Ermoshenko RB, Seferyan NY, Kalpakyants OJ. Risk factors in the occurrence of dysfunction in the temporomandibular joint. *Sovremennaya ortopedicheskaya stomatologiya*. 2007(8):100-101. (in Russ.).
8. Силантьева Е.Н. Возрастные особенности синдрома болевой дисфункции ВНЧС. *Казанский медицинский журнал*. 2010(5):669-675.
9. Silanteva EN. Age features of pain syndrome TMJ. *Kazanski meditsinskii zhurnal*. 2010(5):669-675. (in Russ.).
10. Углов Б.А., Котельников Г.П., Углова М.В. Основы статистического анализа и математического моделирования в медико-биологических исследованиях. Самара, 1994:25-45.
11. Uglov BA, Kotelnikov GP, Uglova MV Osnovy statisticheskogo analiza i matematicheskogo modelirovaniya v mediko-biologicheskikh issledovaniyakh. Samara, 1994:25-45. (in Russ.)
12. Кирьянов Б.Ф., Токмачев М.С. Математические модели в здравоохранении. Великий Новгород, 2009:21-22.
13. Kiryanov BF, Tokmachev MS. Matematicheskie modeli v zdravookhranении. Velikii Novgorod, 2009:21-22. (in Russ.).
14. Углова М.В., Котельников Г.П. Математическое моделирование в теоретической и практической медицине. *Сборник научных работ*. Самара, СГМУ, 1994:2-3.

Uglova MV, Kotelnikov GP. Mathematical modeling in theoretical and practical medicine. *Sbornik nauchnykh rabot*. Samara, SSMU, 1994:2-3. (in Russ.).

9. Тлустенко В.П., Потапов В.П., Каменева Л.А., Пятанова Е.А., Симонов А.С. Диагностика и комплексное лечение синдрома болевой дисфункции височно-

нижнечелюстного сустава. *Саратовский научно-медицинский журнал*. 2013(3):480-484.

Tlustenko VP, Potapov VP, Kamenev LA Pyatanova EA Simonov AS Diagnosis and comprehensive treatment of pain dysfunction syndrome temporomandibular joint. *Saratovskii nauchno-meditsinskii zhurnal*. 2013(3):480-484. (in Russ.).

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

**Пономарев Андрей Викторович** —

доцент кафедры ортопедической  
стоматологии СамГМУ, к.м.н.

Адрес: кв. 205, ул. Академика Платонова, 10,  
г. Самара, Россия, 443031.

E-mail: Andrey1-SUN@yandex.ru

Тел. + 7 (927) 028 63 87.

## INFORMATION ABOUT AUTHOR

**Ponomarev Andrey Viktorovich** —

PhD, associate professor of the Department  
of Prosthetic Dentistry, Samara State Medical University.

Address: ap. 205, 10 Academician Platonov st.,  
Samara, Russia, 443031.

E-mail: Andrey1-SUN@yandex.ru

Tel. + 7 (927) 028 63 87.