

DOI: 10.18481/2077-7566-2017-13-4-50-55  
УДК: 616.724.07:528.7

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ФОТОГРАММЕТРИИ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЗАБОЛЕВАНИЙ ВИСОЧНО-НИЖНЕЧЕЛЮСТНОГО СУСТАВА

Пятанова Е.А.<sup>1</sup>, Конов С.Г.<sup>2</sup>, Потапов В.П.<sup>1</sup>, Каменева Л.А.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет», г. Самара, Россия

<sup>2</sup> ФГБОУ ВО «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН», г. Москва, Россия

### Аннотация

**Предмет.** Возрастающая необходимость в поиске новых методов диагностики заболеваний височно-нижнечелюстного сустава обусловлена высокой степенью их распространения. Ведущие специалисты, изучающие патологию височно-нижнечелюстного сустава, признают необходимость изучения движения нижней челюсти.

**Цель.** Изучение графической записи движений нижней челюсти.

**Методология.** Нами была проведена регистрация движений нижней челюсти в трех взаимно перпендикулярных плоскостях у 122 обследуемых в возрасте от 18 до 25 лет (100 женщин и 22 мужчины). В рамках совместной исследовательской работы СамГМУ и МГТУ (Московский государственный технический университет), на базе МГТУ «СТАНКИН» был реализован проект по созданию системы регистрации движения нижней челюсти для диагностики заболеваний височно-нижнечелюстного сустава. Прибор имеет две веб-камеры, которые регистрируют и записывают движения нижней челюсти посредством слежения за маркером, прикрепленным на наиболее выступающей точке подбородка.

**Результаты.** При регистрации движений нижней челюсти нами анализировался период в течение пяти последовательных актов открывания рта. Полученные данные программа преобразовывала в графики (рис. 4, приложения А, В, С), на которых отображены вертикальные и сагиттальные отклонения в течение времени исследования. Система имеет возможность с высокой точностью отражать траектории движений и определять, в какой момент открывания или закрытия рта происходит момент «срыва» (резкое отклонение от срединной линии).

**Выводы.** Достоинством предложенного метода является реализация бесконтактной технологии регистрации движений нижней челюсти. В отличие от аналоговых систем регистрации движений нами наносится только измерительный маркер на подбородок, который не препятствует естественному движению нижней челюсти и не позволяет врачу влиять на достоверность полученной информации.

**Ключевые слова:** фотограмметрия, пространственные измерения, височно-нижнечелюстной сустав, диагностирование.

**Признательность.** Авторы выражают благодарность и глубокую признательность за поддержку в проведении исследования заведующей кафедрой ортопедической стоматологии СамГМУ, доктору медицинских наук, профессору Тлустенко Валентине Петровне.

---

### Адрес для переписки:

**Елена Анатольевна ПЯТАНОВА**  
стоматолог-ортопед, ассистент кафедры  
ортопедической стоматологии  
ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский университет», г. Самара, Российская Федерация  
dentsamara@yandex.ru  
443074, Российская Федерация, г. Самара,  
ул. Аэродромная, 72а, кв. 69  
Тел. +7(917)1030785

### Correspondence address:

**Elena Anatolyevna Pyatanova**  
Federal state-funded educational institution of the  
higher education «Samara state medical university» of  
the Ministry of Health of the Russian Federation  
Stomatologist-orthopedist, assistant to  
department of orthopedic stomatology  
443099, Russian Federation, Samara, Chapayevskaya St., 89  
dentsamara@yandex.ru

---

### Образец цитирования:

Пятанова Е.А., Конов С.Г., Потапов В.П., Каменева Л.А.  
ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ФОТОГРАММЕТРИИ  
ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ЗАБОЛЕВАНИЙ  
ВИСОЧНО-НИЖНЕЧЕЛЮСТНОГО СУСТАВА  
Проблемы стоматологии, 2017, т. 13, № 4, стр. 50-55  
© Пятанова Е.А. и др. 2017

### For citation:

E.A. Pyatanova, S.G. Konov, V.P. Potapov, L.A. Kameneva  
APPLYING METHODS OF PHOTOGRAMMETRY TO  
DIAGNOSE DISEAS OF TEMPOROMANDIBULAR JOINT  
The problems of dentistry,  
2017. Vol. 13, № 4, pp. 50-55

## APPLYING METHODS OF PHOTOGRAMMETRY TO DIAGNOSE DISEASES OF TEMPOROMANDIBULAR JOINT

E.A. Pyatanova<sup>1</sup>, S.G. Konov<sup>2</sup>, V.P. Potapov<sup>1</sup>, L.A. Kameneva<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Samara State Medical University, Samara, Russia

<sup>2</sup> Moscow State Technological University «STANKIN», Moscow, Russia

### Abstract

**Subject.** The increasing need for searching of new methods of diagnosis of diseases of a temporal and mandibular joint, is caused by high extent of distribution. The leading experts studying pathology of a juicy and mandibular joint, recognize need of studying of driving of a mandible.

**Purpose.** Studying of graphic record of movements of a mandible.

**Methodology.** We carried out registration of the movements of the lower jaw in three mutually perpendicular planes at 122 surveyed aged from 18 up to 25 years, 100 women and 22 men. Within collateral research work of SAMGMU and MSTU (The Moscow State technical university), on the basis of MSTU of «STANKIN» the project on creation of system of registration of the movement of a mandible for diagnosis of diseases of a juicy and mandibular joint was realized. The device has two webcams which record and write down the movements of a mandible, by means of keeping track of by the marker attached on the most acting chin point.

**Results** At registration of the movements of a mandible we analyzed the period during 5 serial acts of an unclosing of a mouth. The program transformed the obtained data to schedules (Fig. 4-A, B, C of the application) on which vertical and sagittal deflections during research time are displayed. The possibility of system with a high precision to reflect trajectories of movements and to define at what moment of an unclosing or shutting of a mouth occurs the moment of «failure» — a sharp deviation from the median line.

**Conclusions.** The advantage of the offered method is realization of non-contact technology of registration of the movements of a mandible. In difference from the analog systems of registration of the movements we apply only a measuring marker on a chin which does not obstruct natural traffic of a mandible and does not allow the doctor to influence reliability of received information.

**Keywords:** photogrammetry, three-dimensional measuring, temporomandibular joint, diagnose.

### Введение

Изучая источники научной литературы по проблеме заболеваний височно-нижнечелюстного сустава (ВНЧС), можно сказать, что в диагностике этих нозологий есть несколько направлений. Компьютерная томография помогает выявить взаимное расположение элементов сустава: костных, хрящевых, связочного аппарата и суставного диска. Электромиография позволяет изучить биоэлектрическую активность мышц, приводящих в движение нижнюю челюсть. Методы аксиографии и мастикациографии позволяют выявить функциональную составляющую в различные фазы движения нижней челюсти.

Возрастающая необходимость в поиске новых методов диагностики заболеваний височно-нижнечелюстного сустава обусловлена высокой степенью распространения. Частота заболевания ВНЧС у взрослого трудоспособного населения достигает 89 % [1, 2]. Тенденцию к увеличению данного процента врачи-стоматологи ожидают из-за возрастающего количества пациентов с нарушением артикуляционных взаимоотношений, связанных с высоким поражением кариесом и его осложнениями, деформацией зубных рядов, аномалией развития зубочелюстной системы и предпочтением употребления пищи, прошедшей переработку [3].

Учитывая функциональную значимость ВНЧС и определенные трудности в диагностике, возникает

необходимость в таком методе исследования, при котором на массовом приеме у врача-стоматолога просто и доступно провести диагностику.

Ведущие специалисты, изучающие патологию височно-нижнечелюстного сустава, признают необходимость изучения движения нижней челюсти [4]. Графическая запись движений дает возможность детально изучить синхронность работы данного анатомического образования [5, 6]. Именно при функциональных нарушениях возникают дискоординация жевательных мышц, асинхронность движений и изменение внутрисуставных взаимоотношений.

На кафедре ортопедической стоматологии было проведено анкетирование 894 студентов Самарского государственного медицинского университета с 2005 по 2009 год, при котором не обнаружены симптомы нарушения функции ВНЧС лишь у 28% обследованных, признаки дисфункции ВНЧС имели 72%, среди них девиацию — 39%, дефлексию — 14%, шумовые явления в суставе — 22%, боль — 14%, спазм мышц — 11% [7].

Среди многообразия областей деятельности, в которых могут быть применены технологии слежения за перемещениями объектов в пространстве, следует отметить медицинские технологии, применяемые для диагностирования заболеваний, которые связаны с перемещением нижней челюсти и функцией ВНЧС [8, 9].

Деятельность ВНЧС координируется взаимоотношениями внутрисуставных элементов, тонусом и функцией мышц, приводящих в движение нижнюю челюсть. Нарушение мышечного тонуса или амплитуды движений челюсти приводит к изменению положения суставных элементов. В результате асинхронности учеными отмечено зигзагообразное открывание рта со смещением нижней челюсти в сторону относительно срединно-сагиттальной линии. У больных с односторонним привычным вывихом сустава происходит дефлексия при максимальном открывании рта в здоровую сторону; при двустороннем — девиация [10, 11].

Регистрацию движений нижней челюсти проводили различными методами и исследовали вертикальные, сагиттальные и трансверзальные движения. По данным авторов [2, 5, 7], при открывании рта расстояние между режущими краями верхних и нижних

резцов в норме составляет 40—50 мм, при расстоянии менее 38 мм диагностируется гипомобильность, более 50 мм — гипермобильность. Амплитуда свободных боковых движений и выдвижения нижней челюсти в норме составляет от 7 до 9,8 мм.

**Цель** — изучение движений нижней челюсти предложенным нами методом бесконтактной технологии оптической системой слежения СТ-Treack для выявления дисфункции ВНЧС.

### Материалы и методы исследования

Нами была проведена регистрация движений нижней челюсти в трех взаимно перпендикулярных плоскостях у 122 обследуемых в возрасте от 18 до 25 лет (100 женщин и 22 мужчины). Для проведения исследования были выделены следующие группы:

I — не предъявляющие жалобы со стороны ВНЧС (для определения контрольных величин при движениях нижней челюсти) — 27 человек;

II — с жалобами на ограниченное открывание рта (гипомобильность) — 36 человек;

III — с жалобами на чрезмерное открывание рта (гипермобильность) — 59 человек.

В рамках совместной исследовательской работы СамГМУ и МГТУ (Московский государственный технический университет), на базе МГТУ «СТАНКИН» был реализован проект по созданию системы регистрации движений нижней челюсти для диагностики заболеваний ВНЧС. Экспериментальный образец прибора СТ-Treack № 000001 для слежения за пространственными перемещениями измерительного маркера представлен на рис. 1. Прибор имеет две веб-камеры, которые регистрируют и записывают движения нижней челюсти посредством слежения за маркером, прикрепленным на наиболее выступающей точке подбородка.

Регистрация движений производилась по специально разработанной программе (Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015610500 от 13 января 2015 г.). Полученные данные перемещения преобразовывались в графические схемы. Каждую траекторию движения измеряли в миллиметрах и регистрировали 5 раз. Методика регистрации движений нижней челюсти оптической системой СТ-Treack заключалась в следующем: во время исследования пациент находился в стоматологическом кресле, на расстоянии 20 см от лица располагался прибор. На наиболее выступающей части подбородка (точка gnation) устанавливали маркер контрастного цвета (рис. 2). Оптические камеры прибора улавливали перемещения маркера во время движения нижней челюсти.

При исследовании пациента просили максимально открывать и закрывать рот, повторяя движения 5 раз. Данные перемещения маркера регистрировались в

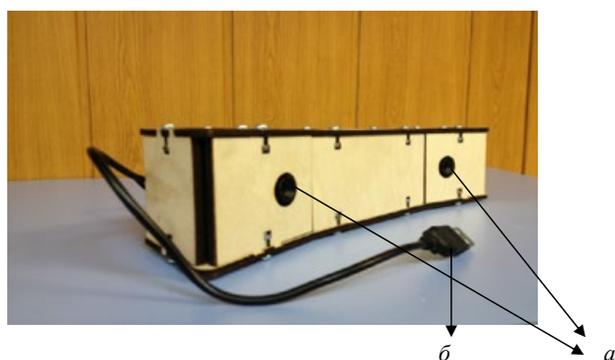


Рис. 1. Фотография оптической системы слежения:  
а — объектив веб-камер; б — разъем для подключения к компьютеру.

Fig. 1. Photo of an optical system of tracking:  
а — lens of web cameras; б — the socket for connection to the computer.

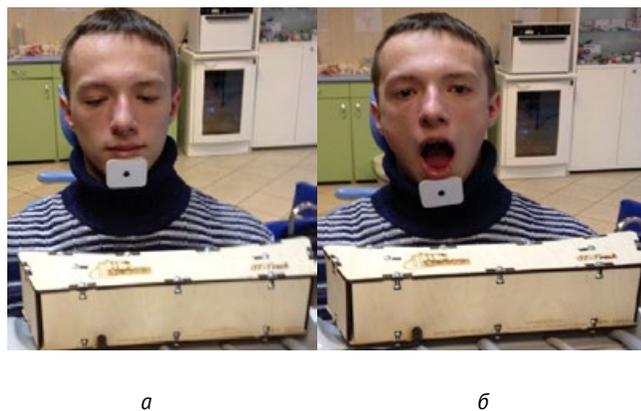


Рис. 2. Фотография пациента во время обследования:  
а — рот закрыт, маркер фиксирован на подбородке;

б — рот открыт, корпус прибора оптической системы слежения.

Fig. 2. The photo of the patient during inspection:  
а — the mouth is closed, marker, fixed on a chin;  
б — a mouth from is covered, a housing of the device of an optical system of tracking.

трех взаимно перпендикулярных плоскостях. По координатной оси X регистрировали движения нижней челюсти в трансверзальном направлении; по оси Y — амплитуду в вертикальном направлении и степень отклонения от срединно-сагиттальной линии; по оси Z — в сагиттальном направлении. Компьютерная программа выдавала числовой ряд, который в дальнейшем преобразовывался в графический вариант.

Для наглядности приводим схему пациента и регистрационную систему (рис. 3).

Фотограмметрическая система получает на входе пары изображений (стереопары), полученные с левой и правой камер одновременно. Далее при помощи программного обеспечения производилось распознавание координат центров проекций измерительного маркера в двумерных системах координат каждого из снимков. После этого осуществлялся подбор трехмерных координат маркера с учетом выполнения условия минимизации отклонения координат проекций центра маркера, распознанных на изображениях от вычисленных по результатам решения системы уравнений. Запись перемещений маркера применяемыми камерами проводилась порядка 20 кадров в секунду и получаемые данные по каждой координатной оси преобразовывали в графический документ.

Полученные данные нуждаются в детальной проработке, дальнейшем глубоком анализе по нозологическим формам патологии ВНЧС, что позволит определить причины, вызывающие дисфункциональные состояния (артрогенные, миогенные или окклюзионные).

### Результаты исследований

При регистрации движений нижней челюсти нами анализировался период в течение пяти последовательных актов открывания рта. Полученные данные программа преобразовывала в графики (рис. 4, приложения А, В, С), на которых отображены вертикальные и сагиттальные отклонения. Система имеет возможность с высокой точностью отражать траектории движений и определять, в какой момент открывания или закрывания рта происходит момент «срыва» — резкое отклонение от срединной линии.

При исследовании трех групп больных нами получены следующие результаты:

I контрольная группа (27 человек) — обследованные не имели жалоб и клинических признаков дисфункции ВНЧС: вертикальные показатели движений составляли  $31\text{--}37 \pm 0,9$  мм; отклонение от срединной линии —  $1\text{--}2 \pm 0,3$  мм (рис. 4А). Результаты этой группы были приняты нами как норма;

II группа (36 человек) обследованных имела жалобы и клинические признаки дисфункции ВНЧС в сочетании с ограничением открывания рта. Амплитуда вертикальных значений не превышала  $28 \pm 0,4$  мм, одиночные сагиттальные отклонения составили  $2,2\text{--}3,5 \pm 0,7$  мм (рис. 4В);

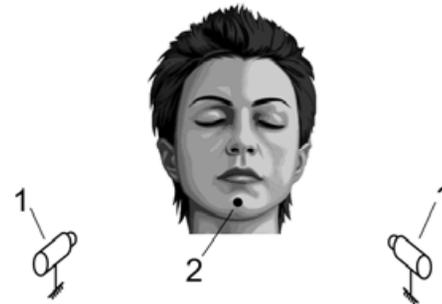


Рис. 3. Схема предложенной системы контроля:  
1 — камеры фотограмметрической системы;  
2 — точка gnation, на которой фиксировали измерительный маркер.

Fig. 3. The scheme of the offered control system:  
1 — cameras of photogrammetric system;  
2 — a point of gnation on which fixed a measuring marker.

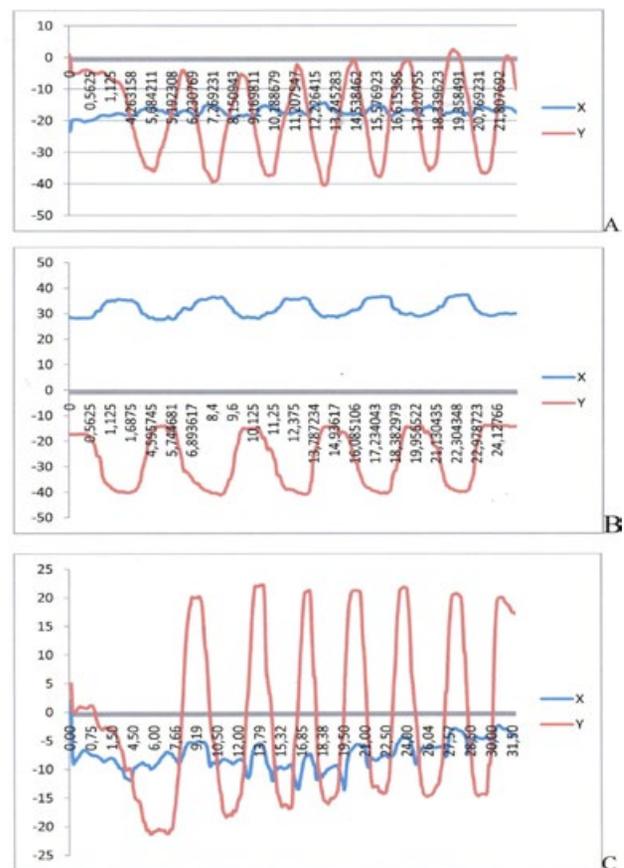


Рис. 4. График движений нижней челюсти:  
А — контрольной группы;  
В — с гипомобильностью;  
С — с гипермобильностью.

Fig. 4. Schedule of the movements of a mandible:  
А — control group;  
В — with hypomobility;  
С — with hyper mobility.

III группа (59 человек) обследованных имела жалобы и клинические признаки гипермобильности височно-нижнечелюстного сустава, сопровождающиеся односторонним либо поочередным щелчком. На графиках вертикальные показатели варьировались в пределах  $32-47 \pm 0,5$  мм, имелись множественные мелкие сагиттальные отклонения, которые достигали  $2,9 - 4,5 \pm 0,2$  мм (рис. 4С).

При сравнении графиков трех групп обследованных видно, что полученные данные отличаются от ранее выявленных, так как пациент проводил движения самостоятельно, участие врача при обследовании минимально.

Оптическая система слежения СТ-Трек имеет возможность с высокой точностью определить девиацию и дефлекцию в момент открывания и закрывания рта. Графическая запись дает возможность записи цифрового значения амплитуды открывания рта и степени смещения нижней челюсти от срединно-сагиттальной линии. Выявление критического скачка и временной момент его появления указывают на степень выраженности дисфункции и в будущем позволят дифференцировать нозологические формы заболеваний ВНЧС.

### Заключение

Достоинством предложенного метода является реализация бесконтактной технологии регистрации движений нижней челюсти. В отличие от аналоговых систем регистрации движений нами наносится только измерительный маркер на подбородок, который не препятствует естественному движению нижней челюсти и не позволяет врачу влиять на достоверность полученной информации.

Применение фотограмметрической технологии получения измерительной информации в сочетании с недорогими аппаратными средствами позволяет отслеживать текущие координаты контролируемой точки поверхности с погрешностью порядка 0,1 мм и частотой опроса, ограниченной техническими возможностями применяемых камер (при серийном применении — порядка 20 выборок в секунду).

Оптическая система СТ-Трек позволяет получить результаты с высокой степенью точности, обработку которых проводят при помощи компьютерной программы. По данным графического изображения проверяется функция жевательного аппарата с целью диагностики патологии височно-нижнечелюстного сустава. В зависимости от требований к погрешности измерения возможна реализация с использованием видеокамер с различной разрешающей способностью, которые могут позволить значительно удешевить систему по сравнению с существующими серийно выпускаемыми аналогами. Погрешность метода составляет порядка 0,01-0,03 мм, что является приемлемым для решения предложенной задачи. Регистрация движений нижней челюсти в различных направлениях дает большой объем информации, детальная обработка которой помогает в ранней диагностике, а также в дальнейшем использовании при контроле эффективности проводимого лечения.

Очевидным достоинством является простота получения результатов исследования, при котором нет необходимости иметь узкоспециализированного работника. Раннее выявление пациентов с заболеваниями височно-нижнечелюстного сустава на стоматологическом приеме особо актуально до появления клинически выраженных симптомов.

### Литература

1. Петросов, Ю. А. Диагностика и ортопедическое лечение заболеваний височно-нижнечелюстного сустава / Ю. А. Петросов. — Краснодар : Совет. Кубань, 2007. — 304 с.
2. Хватова, В. А. Клиническая гнатология / В. А. Хватова. — Москва : Медицина, 2005. — 407 с.
3. Вертерсунд, К. Нехирургическое лечение дисфункций ВНЧС. Обзор методов лечения / К. Вертерсунд // Маэстро. — 2013. — № 1 (49). — С. 16–18.
4. Бесконтактный способ компьютерной оценки состояния движения нижней челюсти / Э. С. Каливрадзинян [и др.] // Стоматология. — 1995. — Т. 74, № 6. — С. 65–68.
5. Регистрация и воспроизведение движений нижней челюсти для правильного конструирования зубных протезов пациентов / А. М. Айзенберг, И. Ю. Лебеденко [и др.]. // «МЕДИЭкспо». — 2004. — С. 8–10.
6. Понарин, Я. П. Аффинная проективная геометрия / Я. П. Понарин. — Москва : МЦНМО, 2009. — 288 с.
7. Потапов, В. П. Распространенность симптомов дисфункции височно-нижнечелюстного сустава среди студентов стоматологического факультета СамГМУ / В. П. Потапов, Е. С. Головина, Т. Н. Старостина // Медицинские науки. — 2009. — № 3. — С. 19–20.
8. Назаров, А. С. Фотограмметрия / А. С. Назаров. — Минск : ТетраСистемс, 2006. — 368 с.
9. Фотограмметрия и дистанционное зондирование / А. И. Обиралов [и др.]. — Москва : КолосС, 2006. — 335 с.
10. Марков, Б. Н. Калибровка камер фотограмметрических измерительных систем с использованием генетического алгоритма поиска решения / Б. Н. Марков, С. Г. Конов, А. А. Логинов // Измерительная техника. — 2012. — № 5. — С. 44–46.
11. Конов, С. Г. Система слежения за пространственными перемещениями подвижных узлов станков и робототехники / С. Г. Конов, А. А. Логинов, А. В. Крутов // Метрология. — 2012. — № 2. — С. 10–12.

## References

1. Petrosov Yu.A. *Diagnostika i ortopedicheskoye lecheniye zabolevaniy visochno-nizhnechelyustnogo sustava* [Diagnostics and orthopedic treatment of diseases of a visoch-but-mandibular joint]. Krasnodar, Council. Kuban, 2007, 304 p.
2. Hvatova V.A. *Klinicheskaya gnatologiya* [Clinical gnatology]. Moscow, Medicine, 2005, 407 p.
3. Vertersund C. [Nonsurgical treatment of dysfunctions of VNChS. Review of methods of treatment]. *Maestro = Maestro*, 2013, no. 1 (49), pp. 16–18. (In Russ.)
4. Kalivradzhinyan E. S. et al. [Non-contact way of computer assessment of a condition of driving of a mandible]. *Stomatologiya = Stomatology*, 1995, vol. 74, no. 6, pp. 65–68. (In Russ.)
5. Ayzenberg M, Lebedenko I. Yu. et al. [Filing and procreation of movements of a mandible for the exact constructioning of dentures of patients]. «MEDIEKSPO» = «MEDIEKSPO», 2004, pp. 8–10. (In Russ.)
6. Ponarin Ya. P. *Affinnaya proyektivnaya geometriya* [Affine projective geometry]. Moscow, MTsNMO, 2009, 288 p.
7. Potapov V. P., Golovina E. S., Starostina T. N. [Abundance of symptoms of dysfunction of a temporal and mandibular joint among students of stomatologic faculty of SAMGMU]. *Meditinskiye nauki = Medical sciences*, 2009, no. 3, pp. 19–20. (In Russ.)
8. Nazarov A. S. *Fotogrammetriya* [Photogrammetry]. Minsk, TetraSistems, 2006, 368 p.
9. Obiralov A. I. et al. *Fotogrammetriya i distantsionnoye zondirovaniye* [Photogrammetry and remote sensing]. Moscow, Colossus, 2006, 335 p.
10. Markov B. N., Konov S. G., Loginov A. A. [Calibration of cameras of photogrammetric measuring systems with use of a genetic algorithm of searching of the decision]. *Izmeritel'naya tekhnika = Measuring technique*, 2012, no. 5, pp. 44–46. (In Russ.)
11. Konov S. G., Loginov A. A., Krutov A. V. [Sistem of keeping track of by space movements of the relative frame clusters of machines and robotics]. *Metrologiya = Metrology*, 2012, no. 2, pp. 10–12. (In Russ.)

---

### Авторы:

**Елена Анатольевна ПЯТАНОВА**

стоматолог-ортопед, ассистент кафедры  
ортопедической стоматологии  
ФГБОУ ВО «Самарский государственный медицинский  
университет», г. Самара, Российская Федерация  
dentsamara@yandex.ru

**Станислав Геннадьевич КОНОВ**

к. т. н., доцент кафедры измерительных  
информационных систем и технологий  
ФГБОУ ВО «Московский государственный  
технологический университет «СТАНКИН»  
public32@gmail.com

**Владимир Петрович ПОТАПОВ**

д. м. н., доцент, профессор кафедры ортопедической  
стоматологии ФГБОУ ВО «Самарский государственный  
медицинский университет», г. Самара, Российская Федерация  
Pvlp00@mail.ru

**Людмила Алексеевна КАМЕНЕВА**

к. м. н., ассистент кафедры ортопедической  
стоматологии ФГБОУ ВО  
«Самарский государственный медицинский  
университет», г. Самара, Российская Федерация  
Lu\_m@list.ru

---

### Authors:

**Elena Anatolyevna Pyatanova**

Federal state-funded educational institution of the  
higher education «Samara state medical university» of  
the Ministry of Health of the Russian Federation  
Stomatologist-orthopedist, assistant to  
department of orthopedic stomatology  
dentsamara@yandex.ru

**Stanislav Gennadyevich Konov**

Federal state-funded educational institution  
of the higher education  
«Moscow state technological university «STANKIN»  
Candidate of technological sciences, associate professor  
of measuring information systems and technologies  
public32@gmail.com

**Vladimir P. Potapov**

Samara state medical university  
Doctor of medical sciences, associate professor, professor  
of department of an orthopedic odontology  
Pvlp00@mail.ru

**Lyudmila Alekseevna Kameneva**

Samara state medical university  
Candidate of medical sciences, assistant to  
department of an orthopedic odontology  
Lu\_m@list.ru

---

Поступила 01.10.2017 Received  
Принята к печати 02.11.2017 Accepted

---