

## Оценка морфометрических параметров поверхности тела человека по данным биофотограмметрии

Скрыпицына Т.Н., Спиридонова Е.Е.

Московский государственный университет геодезии и картографии (МИИГАиК)

[mola\\_mola@rambler.ru](mailto:mola_mola@rambler.ru)

Представлены результаты применения методов трехмерного биофотограмметрического моделирования в медицине, позволивших наблюдать и количественно оценивать эффективность процессов коррекции нарушения формы тела человека. В основе подхода лежит использование данных колорированной карты, построенной по цифровой модели рельефа человеческого тела, прежде всего его спины, включая сравнительный анализ его сечений по заданному направлению. Приведена классификация систем, позволяющих строить трехмерные фотограмметрические модели тела. Рассмотрены вопросы, связанные с задачами визуализации моделей и проблемами получения метрических параметров. Представлены и обсуждаются варианты оценки изменений формы лица (на примере выявления незначительных изменений в процессе ношения аппарата Гербста) с учетом повышенной нестатичности лицевых мышц. Оценено влияние избыточности данных на результат исследований. В заключении обсуждаются вопросы, связанные с разработкой медико-ориентированного программного продукта по визуализации и оценке морфологических параметров тела человека по трехмерным биофотограмметрическим моделям.

*Ключевые слова:* медицина, трехмерные модели, рельеф спины, рельеф лица, визуализация моделей.

## Evaluation of Morphometric Parameters of the Human Body Surface by Biophotogrammetric Data

Skrypitsyna T.N., Spiridonova E.E.

Moscow State University of Geodesy and Cartography (MIIGAiK)

We present the results of the application of three-dimensional biophotogrammetric modeling methods in medicine, which allows to observe and quantify the effectiveness of the processes of correction of the human body shape. The approach is based on data of the color map derived from a digital model of the human body, especially its back, including a comparative analysis of its sections in some direction. We present a classification of the systems allowing to build three-dimensional biophotogrammetric models of a body. The issues related to the problems of visualization of models and problems of obtaining metric parameters are considered. We present and discuss options assessment of changes in the shape of a face (for example, detection of minor changes in the process of wearing the Herbst device) because of the high variability of facial muscles. The influence of data redundancy on the research results is estimated. In conclusion, we discuss issues related to the development of medical-oriented software for visualization and evaluation of morphometric parameters of the human body in three-dimensional biophotogrammetric models.

*Key words:* medicine, three-dimensional models, back topography, face topography, visualization models.

### 1. Введение

В последнее десятилетие очевиден всплеск интереса к работам по трехмерному моделированию биологических объектов, который связан с общим технологическим подъемом в области цифрового

фотографирования и возможностями обработки результатов этого процесса с целью получения измерительных моделей.

Попытки внедрения методов стереофотограмметрии в медицину известны и в России, и за рубежом [1–9]. Проблема количественной оценки, как развития болезни, так и

лечения разнообразных нарушений формы тела человека является одной из ведущих в современной ортопедии, неврологии и косметологии. Сохраняется явный недостаток общедоступных, безопасных и относительно недорогих методов отслеживания упомянутых нарушений с количественной оценкой показателей.

В основном это связано с несколькими причинами: с отсутствием нормативно-технической документации, разрешающей использовать методы, основанные на цифровой фотосъемке в общедоступной медицине; отсутствие программ визуализации трехмерных моделей, ориентированных на конкретные медицинские цели.

Более 10 лет на кафедре фотограмметрии МИИГАиК ведутся исследования применения методов фотограмметрии в медицине. Накоплен богатый опыт как по получению моделей поверхности тела разными методами, так и по способам визуализации и анализу результатов [10–13].

Метод стереофотосъемки апробировался в интернате для детей больных сколиозом РОЦ 76. На основе исследований получен патент на изобретение [14].

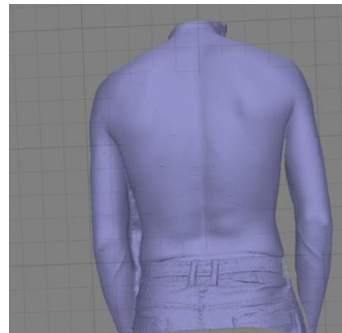
В докладе представлены результаты ряда исследований, направленных на решение вопросов визуализации трехмерных моделей поверхности тела и получения по ним метрических величин.

## 2. Оценка формы тела человека по его рельефам

### 2.1. Классификация систем

Системы, которые используются в медицине для получения метрической информации по поверхности тела можно условно классифицировать следующим образом:

- по способу получения:
  - фотограмметрический (в основе обработки множества снимков с перекрытиями, например, Artec Eva Lite, 3DMD, статические стереоустановки);
  - муаровых полос (Diers, KOMOT);
  - системы, использующие оптические дальнометры (Kinect, Structure Sensor Developer Occipital Raíses).
- по способу реализации:
  - системы, использующие одну фото/видеокамеру (Diers, KOMOT, Kinect, Structure Sensor Developer Occipital Raíses);
  - стерео фото/видео системы (Artec Eva Lite, статические стереоустановки);
  - муляжикамерные (более двух) системы (3DMD).
- по условию съемки:
  - статические: человек и система неподвижны (Diers, KOMOT, 3DMD, статические стереоустановки);



**Рис. 1.** TIN модель поверхности спины, полученная оптическим сканером Artec Eva Lite.

— мобильные (оптические сканеры): система перемещается относительно поверхности тела (Artec Eva Lite, Structure Sensor Developer Occipital Raíses, Kinect).

- по области съемки:
  - только определенная часть тела;
  - тело человека в целом;
  - тело человека в целом с возможностью съемки отдельных частей.

При этом съемка может быть замкнутой (круговой) и незамкнутой (на какую либо плоскость)

Трехмерную модель поверхности человека строят фотограмметрические системы и системы типа Kinect.

Как показывают многочисленные исследования, проведенные на кафедре фотограмметрии [10–14], все эти методы дают одинаковую точность получения моделей порядка 0.5 мм.

Трехмерные модели, получаемые этими системами, представляют собой полигональные поверхности в большинстве случаев (кроме стереофотограмметрического), не имеющие внешнего ориентирования. Поэтому их достаточно проблематично использовать для мониторинговых исследований.

Тем не менее, по цифровым моделям поверхности тела в медицине можно решить две задачи:

1. Использование моделей для корсетирования и протезирования. Это самая распространенная задача и самая простая в реализации. Модели, предназначенные для дальнейшего корсетирования (протезирования), не нуждаются во внешнем ориентировании, текстурировании, но должны достоверно описывать поверхность тела (см. рис. 1). Точность такой модели определяется точностью способа получения. Выходными форматами являются стандартные форматы цифровых поверхностей \*.obj, \*.ply и т.д. Как правило, их получают оптическими сканерами или системами типа Kinect [15].

2. Использование моделей для расчета по ним морфометрических характеристик. Сама по себе, модель не несет полезной информативной нагрузки для врача, занимающегося лечебной практикой, это не более чем объемная визуализация пациента.

Поэтому модели, которые строятся для диагностических целей и служат материалом для пролонгированного изучения (например, мониторинг лечения сколиоза у детей), должны обладать метрическими свойствами и быть устойчивыми к вариабельности.

## 2.2. Способы визуализации

Степень востребованности метода зависит от способов подачи результатов. Существует субъективная проблема – вопрос понимания врачами информации, полученной непривычным для них методом.

В настоящее время не существует в медицине четких и единообразных индексов оценки асимметрии с использованием трехмерных цифровых технологий [16].

Предложены следующие способы, позволяющие сразу, наглядно, без особого труда получить необходимую информацию [11, 14]:

- колорирование с заданным шагом по высоте цифровой модели рельефа с регулярной точечной сеткой;
- построение профилей;
- построение круговых сечений;
- построение матрицы разности цифровых моделей.

## 2.3. Результаты

Первые два эксперимента, рассмотренные ниже, были выполнены статическими стереосистемами, третий мобильной цифровой фотосъемкой (аналог оптического сканирования).

Все съемки обрабатывались в профессиональных фотограмметрических системах (Photomod 5 Lite, Agisoft PhotoScan), позволяющих строить не только полигональные модели, но и цифровые матрицы высот, которые с точки зрения определения метрических параметров удобнее, чем поверхности. Способы визуализации были реализованы в ГИС MapInfo.

1. Колорирование с заданным шагом по высоте (таблица 1) дает не только наглядную, но и метрическую оценку. Шаг может меняться в зависимости от задач. В данной таблице каждого слоя составляет 1 см.

Результаты, приведенные в таблице 1, наглядно показывают значимость влияния исследуемых факторов (дыхание, мышечный корсет ребенка, распределение веса тела, наклон и поворот плеч и т.д.) на построение рельефов спины и необходимость учета их при проведении съемок.

2. Важным исследованием можно считать попытку построения круговых сечений торса в качестве одно из вариантов количественной оценки право- и левосторонней асимметрии.

Это позволило бы в перспективе оценить вклад коррекционных приспособлений, прежде всего, корсетов различных конструкций, в выправление патологической осанки (см. рис. 2).

**Таблица 1.** Оценка вклада дыхания и физических нагрузок в изменение рельефа спины

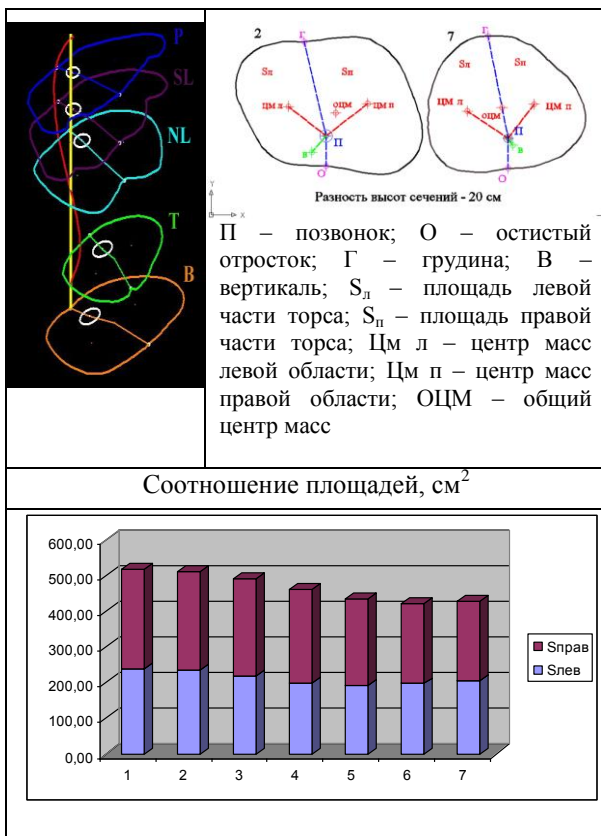
	Фотография спины	Матрица высот	Рельеф спины
основная стойка			
основная стойка (через 5 мин.)			
вдох			
выдох			
после 20 отжиманий			

Внутри каждого из полученных горизонтальных сечений требовалось показать положение позвонка. Размер позвонка и его отстояние от линии остистых отростков были получены путём прямых измерений на рентгенограмме с учётом масштабного коэффициента, позволяющего соотнести размер позвонка на рентгенограмме с его реальным размером.



**Рис. 2.** Построение горизонтальных сечений. Шаг слоя 5 мм.



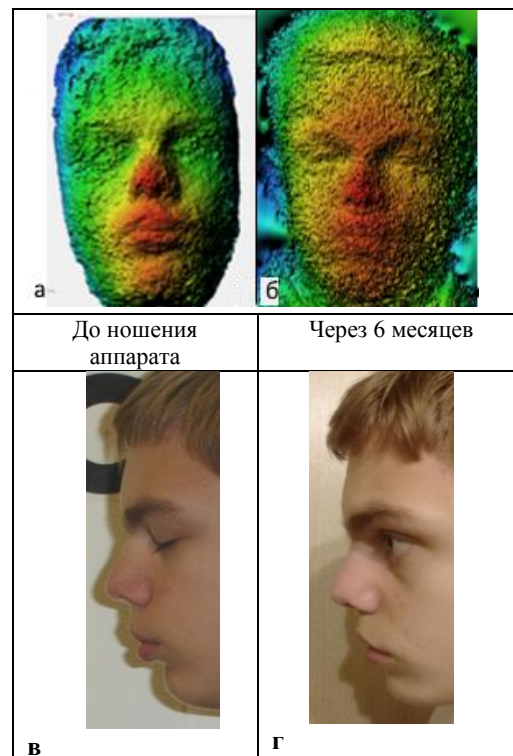


**Рис. 3.** Сечения торса, их параметры и соотношение площадей.

В данном случае о высокой точности расположения позвонка внутри сечения и выдерживании его достоверной формы говорить не приходится, так как в качестве исходного материала использовался только один снимок рентгенограммы. Также эта проблема может быть решена путем проведения стерео рентгеновской съёмки.

Таким образом, после восстановления горизонтальных сечений по профилям и нанесения положения позвонка по данным рентгенограммы важно проследить за смещением центров масс каждого из сечений друг относительно друга, центров масс позвонков внутри каждого сечения, а также отследить положения центров масс левой и правой части сечений торса пациента (рис. 3). Задачей было рассчитать положение общего центра масс каждого сечения и положение центра масс позвонка внутри каждого из сечений. Кроме того, были определены положения центров масс левой и правой части торса.

3. В том случае, когда для построения модели тела человека используется плотное облако точек (оптические сканеры или системы, строящие поверхность по множеству перекрывающихся снимков), возникает шум из-за избыточности измерений, который обычно убирается путем сглаживания моделей, и не исключены потери клинически значимой информации. Еще одним слабым местом таких методов является зависимость от внешних условий съемки – освещение,



**Рис. 4.** Исследования изменений формы нижней челюсти: а, б – цифровые модели рельефа лица; в, г – фото в профиль.

повторяемость позы, количество снимков, отстояние от объекта. Поэтому интересным экспериментом было выявление незначительных изменений в процессе ношения аппарата Гербста (рис. 4) и выяснение влияния шумов на определение этих изменений.

Как видно из рисунка 4, цифровые модели значительно зашумлены. Причиной служит принципиальная нестатичность лицевых мышц, разные условия освещения и неодномоментность съемки.

Такие шумы мешают восприятию, но не влияют на результат изменений формы рельефа в целом, потому что их размер гораздо меньше изменений формы – в пределах 1 мм, что в масштабе лица не имеет клинической значимости.

Использование колорированной карты для оценки такой матрицы скорее ухудшает восприятие, поэтому применялся прием вычитания матриц. Матрицы пересчитывались в единую систему координат по устойчивым анатомическим ориентирам (рис. 5).

Очевидно, что подбородок сместился вперед в среднем на 5 мм, максимальные области изменений – 7 мм, за 6 месяца ношения. Области с изменениями на остальной части лица не превышает 2 мм, что сопоставимо с точностью генерализацией шумов.

Таким образом, шумы, возникающие при построении моделей поверхности тела фотограмметрическими способами, мешают визуальному восприятию, но не влияют на результат изменений формы рельефа. При шумах не

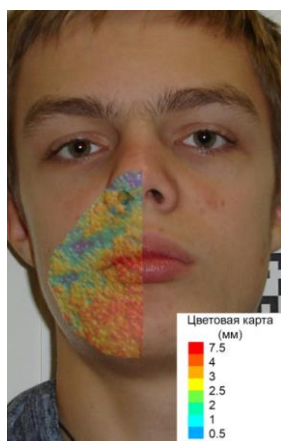


Рис. 5. Результат вычитания матриц.

более 1 мм их присутствием для оценки формы рельефа можно пренебречь. Сглаживание моделей улучшает визуальный эффект, но может привести к потере информации, особенно в местах резких перегибов.

### 3. Заключение

Методы биофотограмметрии, которые являются неинвазивными методами исследования, позволяют с высокой точностью построить цифровую модель поверхности тела человека и наглядно, с медицинской точки зрения, визуализировать его трехмерную модель. Отечественные биофотограмметрические разработки конкурентоспособны и должны внедряться в общедоступную медицину.

### 4. Список литературы

1. Patias P. Medical imaging challenges photogrammetry. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*. 2002. V. 56. P. 295–310.
2. Mitchell H.L., Newton I. Medical photogrammetric measurement: overview and prospects. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*. 2002. V. 56. P. 286–294.
3. Блинов Н.Н. Биомедицинские изображения в современной медицине. *Медицинская техника*. 2010. № 5. С. 5–9.
4. Pesce M., Galantucci L.M., Lavecchia F. A 12-camera body scanning system based on close-range photogrammetry for precise applications. *Virtual and Physical Prototyping*. 2016. V. 11. № 1. P. 49–56.
5. Furlanetto T.S., Sedrez J.A., Candotti C.T., Loss J.F. Photogrammetry as a tool for the postural evaluation of the spine: a systematic review. *World Journal of Orthopedics*. 2016. V. 7. № 2. P. 136–148.
6. Porto A.B., Okazaki V.H.A. Procedures of assessment on the quantification of thoracic kyphosis and lumbar lordosis by radiography and photogrammetry: A literature review. *Journal of*

7. Ciobanu O., Ciobanu G., Aiello A. An application of kinect depth sensor for scoliosis and kyphosis screening. In: *CMBEIИH 2017. IFMBE Proceedings*. Ed. Badnjevic A. Singapore: Springer, 2017. V. 62. P. 713–717.
8. Penha P.J., Penha N.L.J., De Carvalho B.K.G., Andrade R.M., Schmitt A.C.B., João S.M.A. Posture alignment of adolescent idiopathic scoliosis: photogrammetry in scoliosis school screening. *Journal of Manipulative and Physiological Therapeutics*. 2017. V. 40. № 6. P. 441–451.
9. Wilczynski J., Habik N., Bieniek K., Janecka S., Karolak P., Wilczynski I. Canonical correlations between body posture variables and postural stability in children with scoliosis and scoliotic posture. *Modern Applied Science*. 2018. V. 12. № 6. P. 58–69.
10. Абдульмунеам А.М. *Разработка и исследование фотограмметрических методов определения геометрических характеристик поверхности биологических объектов*: дис. ... канд. техн. наук. М.: МИИГАиК, 2010.
11. Кожевникова М.И., Скрыпицына Т.Н. Возможности и особенности современного этапа применения компьютерных технологий в медицине. *Патогенез*. 2012. Т. 10. № 1. С. 44–50.
12. Скрыпицына Т.Н., Кожевникова М.И. Стерефотограмметрические методы оценки биометрических параметров. *Известия Вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*. 2016. Т. 60. № 2. С. 102–108.
13. Кожевникова М.И., Михайлов А.П., Скрыпицына Т.Н., Иванова Е.Р. Визуализация рельефа тела человека методом стереофотограмметрии и количественная оценка его параметров. *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*. 2012. Т. 154. № 10. С. 525–528.
14. Кожевникова М.И., Михайлов А.П., Скрыпицына Т.Н. и др. *Способ оценки асимметрии формы тела человека по его рельефам*: патент РФ № 2552884. 2015.
15. Грибовский А.А., Пирогов А.В., Алешина Е.Е. Использование технологии оптического сканирования при подготовке производства новых изделий. *Известия вузов. Приборостроение*. 2010. Т. 53. № 8. С. 60–64.
16. Patias T., Grivas T.B., Kaspiris A., Aggouris C., Drakoutos E. A review of the trunk surface metrics used as scoliosis and other deformities evaluation indices. *Scoliosis*. 2010. V. 5. № 12. doi: [10.1186/1748-7161-5-12](https://doi.org/10.1186/1748-7161-5-12).