

**ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

---

© Гудлетт Т., Твердохлеб И.В., 2014  
УДК: 611.12:611.013:611.061.1

**ТРЕХМЕРНЫЙ КОМПЬЮТЕРНЫЙ АНАЛИЗ КАМЕР СЕРДЦА  
У ПЛОДОВ ЧЕЛОВЕКА**

Т. ГУДЛЕТТ, И.В. ТВЕРДОХЛЕБ

Днепропетровская медицинская академия Министерства здравоохранения  
Украины, г. Днепропетровск

---

**COMPUTERIZED THREE-DIMENTIONAL ANALYSIS  
OF CARDIAC CHAMBERS IN EARLY HUMAN FETUSES**

T. GOODLETT, I.V. TVERDOKHLEB

Dnepropetrovsk medical Academy of the Ministry of health of Ukraine, Dnepropetrovsk

**В статье описано создание трехмерных компьютерных моделей сердца ранних плодов человека с последующей сопоставительной оценкой параметров камер сердца. Проведены реконструкция и анализ сердца плодов человека при помощи компьютерного моделирования, выделены структуры для дальнейшего изучения. Показано, что компьютерная реконструкция является мощным и полезным инструментом для трехмерного анализа плодов. Созданы и изучены пространственные компьютерные модели различных отделов сердца человека с 9-й по 13-ю неделю внутриутробного развития.**

*Ключевые слова:* сердце человека, ранний плодный период, трехмерное компьютерное моделирование.

---

**Aim of this work was to create three-dimensional computer models of early human fetuses heart followed by a comparative assessment of cardiac chambers parame-**

ters. In the present study, we reconstructed and analyzed the heart staged human embryos with the aid of computer software and compared their structures for the further assay. We show that computer assisted reconstruction is a useful and powerful tool for analyzing detailed 3D in embryos. In our work, 3D models of different cardiac compartments have been created at 10-13 weeks old human embryo heart.

*Keywords:* human heart, early fetal period, three-dimensional computer modeling.

### Введение

Успешное развитие методов ранней пренатальной диагностики пороков сердца и разработка новейших технологий микромагниторезонансного исследования, микрокомпьютерной томографии позволяют сегодня осуществлять надежную трехмерную визуализацию развивающегося сердца человека начиная с 14-й недели гестации [8, 9]. Применение указанных методов становится невозможным при изучении раннего плодного и эмбрионального сердца с размерами менее 8 мм. На протяжении последних лет в реконструкции эмбрионального сердца ведущее место заняли методы пространственного моделирования, основанные на ином принципе – компьютерной обработке серий гистологических срезов с последующим трехмерным восстановлением структур [4]. К настоящему времени созданы многочисленные компьютерные модели сердца, основанные на анализе широко известных эмбриональных коллекций Carnegie, Walmsley, Boyd и других [2, 6, 7]. В этих моделях проведено тщательное морфомет-

рическое изучение эмбриональных преобразований органа с 11-й по 23-ю стадию развития по Карнеги (до конца 8-й недели гестации), однако существуют лишь единичные исследования подобного рода в раннем плодном периоде развития – с 9-й по 13-ю неделю [5, 9]. Следует отметить, что именно данный период внутриутробного развития является чрезвычайно важным с точки зрения окончательного формирования морфологического профиля многих сердечных пороков. Кроме того, для раннего плодного сердца характерен наибольший дефицит сведений о количественных параметрах многочисленных развивающихся структур разных отделов сердца.

В связи с этим цель работы заключалась в создании трехмерных компьютерных моделей сердца ранних плодов человека с последующей сопоставительной оценкой параметров камер сердца.

### Цель исследования

Создание трехмерных компьютерных моделей сердца ранних пло-

дов человека с последующей сопоставительной оценкой параметров камер сердца.

### **Материалы и методы**

В работе исследовали абортивный материал 4 ранних плодов человека (гестационный возраст – начало 9-й недели, начало 10-й недели, 11 полных недель, середина 13-й недели) после согласования с комиссией по биоэтике Днепропетровской медицинской академии. Данные детального внешнего осмотра, взвешивания и измерения теменно-копчиковой длины плодов сопоставляли со стандартными величинами. После препарирования сердце целиком фиксировали в 4% формальдегиде, обезвоживали этанолом и заключали в парапласт. Срезы толщиной 10 мкм окрашивали гематоксилином и эозином.

Для создания пространственных моделей использовали 30–35 срезов с предварительным расчетом равномерного шага в зависимости от величины органа. После изготовления и обработки цифровых фотографий срезов в Photoshop CS2 изображения импортировались в программу AMIRA 5.0, подвергались трансляции и интерполированию кубическими сплайнами между каждой парой срезов. Пространственную реконструкцию проводили в соответствии с рекомендациями [1] с помощью Autodesk 3ds Max 8.0. В моделях анализировали внешнюю поверхность сердца,

внутренний рельеф правого и левого желудочков, предсердий, определяли высоту и ширину органа в целом и изученных компонентов, объем желудочкового миокарда, объем полостей сердца.

### **Результаты и их обсуждение**

Моделирование сердца плода человека в начале 9-й недели гестации позволило визуализировать более развитый внутренний рельеф левого желудочка по сравнению с правым и значительное преобладание его по объему (рис. 1). Рельеф предсердий был намного более гладким, однако их объем лишь незначительно уступал суммарному объему желудочков (табл. 1).

К началу 10-й недели развития в сердце плода человека наблюдалось существенное усложнение геометрии полости предсердий (рис. 2). Более чем 2-кратно нарастали их объем и площадь поверхности по сравнению с предыдущим сроком, а ширина преобладала над высотой (табл. 2). Так же активно нарастали объем и внутренняя поверхность правого желудочка, менее интенсивно – левого желудочка. Нарастание объема желудочкового миокарда составляло 74,3%.

К концу 11-й недели внутриутробного развития происходило опережающее усложнение внутреннего рельефа предсердий и правого желудочка (рис. 3), а также умеренное нарастание объема левого и правого желудочков по сравнению с преды-

дущей моделью – на 34,9% и 54,2%, соответственно. Увеличение объема желудочкового миокарда составило всего 18,7%, тогда как объем полости предсердий в указанный период увеличивался почти 2-кратно, превосходя

суммарный объем желудочков на 49,8%. Кроме того, на фоне стабильной высоты предсердий обнаруживалось их резкое расширение при неизменных пропорциях желудочкового миокарда (табл. 3).

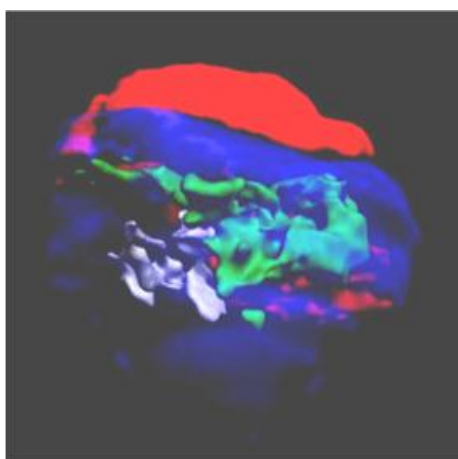


Рис. 1. Пространственная компьютерная модель сердца плода человека на 9-й неделе гестации. Проекция снизу. Зеленый цвет – полость левого желудочка; белый – полость правого желудочка; красный – полость предсердий; 50-проц. синий – желудочковый миокард

Таблица 1

*Параметры модели сердца плода человека на 9-й неделе гестации*

Показатель	Объем, мм <sup>3</sup>	Площадь поверхности, мм <sup>2</sup>	Высота, мм	Ширина, мм
Полость левого желудочка	7,35	89,3	2,07	1,42
Полость правого желудочка	2,63	44,5	1,79	1,86
Полость предсердий	7,67	20,8	1,54	1,15
Желудочковый миокард	18,13	73,7	2,83	3,04

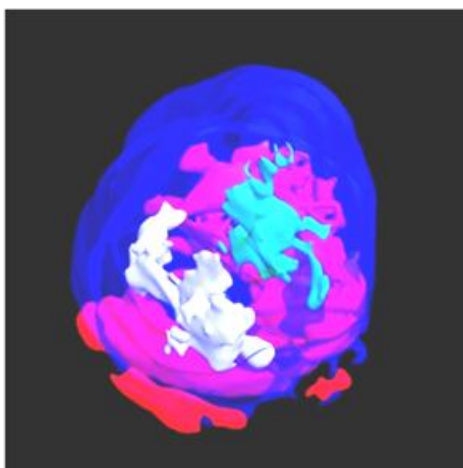


Рис. 2. Пространственная компьютерная модель сердца плода человека на 10-й неделе гестации. Проекция снизу. Зеленый цвет – полость левого желудочка; белый – полость правого желудочка; красный – полость предсердий; 50-проц. синий – желудочковый миокард

Таблица 2

*Параметры модели сердца плода человека на 10-й неделе гестации*

Показатель	Объем, мм <sup>3</sup>	Площадь поверхности, мм <sup>2</sup>	Высота, мм	Ширина, мм
Полость левого желудочка	12,9	155,3	2,31	1,96
Полость правого желудочка	5,9	77,1	2,15	2,25
Полость предсердий	21,5	43,4	1,71	2,30
Желудочковый миокард	31,6	102,7	3,33	3,45

Таблица 3

*Параметры модели сердца плода человека на 11-й неделе гестации*

Показатель	Объем, мм <sup>3</sup>	Площадь поверхности, мм <sup>2</sup>	Высота, мм	Ширина, мм
Полость левого желудочка	17,4	181,5	3,89	3,16
Полость правого желудочка	9,1	91,4	2,23	2,54
Полость предсердий	39,7	60,7	1,83	4,68
Желудочковый миокард	37,5	124,1	4,46	4,31

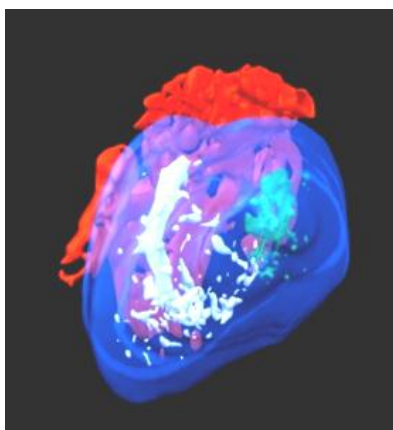


Рис. 3. Пространственная компьютерная модель сердца плода человека на 11-й неделе гестации. Проекция снизу. Зеленый цвет – полость левого желудочка; белый – полость правого желудочка; красный – полость предсердий; 50-проц. синий – желудочковый миокард

В модели сердца 13-недельного плода человека отчетливо прослеживались существенные геометрические перестройки желудочков (рис. 4). Объем полости левого желудочка возрастал в 3,6 раза по сравнению с предыдущим сроком, правого – в 3,2

раза, тогда как увеличение объема миокарда было 2,5-кратным, а объем полостей предсердий увеличивался всего на 33,8%. В отличие от сердца на 11-й неделе развития у 13-недельного плода объем предсердий уступал левому желудочку, однако продолжал активно расширяться (табл. 4).

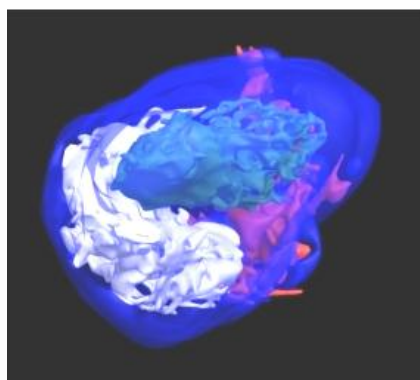


Рис. 4. Пространственная компьютерная модель сердца плода человека на 13-й неделе гестации. Проекция снизу. Зеленый цвет – полость левого желудочка; белый – полость правого желудочка; красный – полость предсердий; 50-проц. синий – желудочковый миокард

*Параметры модели сердца плода человека на 13-й неделе гестации*

Показатель	Объем, мм <sup>3</sup>	Площадь поверхности, мм <sup>2</sup>	Высота, мм	Ширина, мм
Полость левого желудочка	62,0	206,3	6,05	5,32
Полость правого желудочка	29,1	131,9	5,12	4,25
Полость предсердий	53,1	80,7	2,66	6,37
Желудочковый миокард	95,6	159,6	8,03	7,15

Проведенные в данной работе компьютерная реконструкция и количественная оценка изученных параметров сердца ранних плодов человека (с 9-й по 13-ю неделю внутриутробного развития) показали перспективность использованного подхода для детального анализа архитектуры развивающихся структур и их сопоставления на тех этапах онтогенеза, которые в настоящее время остаются недоступными для применения иных диагностических методов. Особое значение в данной ситуации приобретает возможность параллельного использования и сопоставления данных трехмерной компьютерной реконструкции с результатами морфологического анализа гистологических срезов, включая возможности иммуногистохимии и других стандартных процедур в исследовании клеток и тканей.

**Выводы**

По результатам проведенного исследования, с 9-й по 11-ю неделю гестации в сердце плодов человека про-

исходит опережающее усложнение внутреннего рельефа предсердий и правого желудочка с активным нарастанием и преобладанием объема полостей предсердий. С 11-й по 13-ю неделю развития происходит более чем 3-кратное возрастание объема полостей желудочков на фоне значительных преобразований их геометрии и рельефа при относительно замедлении перестройки предсердного миокарда.

**Литература**

1. Твердохліб І.В. Просторова реконструкція біологічних об'єктів за допомогою комп'ютерного моделювання / І.В. Твердохліб // Морфологія. – 2007. – Т. 1. – № 1. – С. 135-139.
2. Abdulla R. Cardiovascular embryology / R. Abdulla, G.A. Blew, M.J. Holterman // *PediatrCardiol.* – 2004. – Vol. 25. – P. 191-200.
3. Blausen R.E. Computer-based reconstructions of the cardiac ventricles of human embryos / R.E. Blausen, R.S. Johannes, G.M. Hutchins // *Am. J. Cardiovasc. Pathol.* – 1990. – Vol. 3. – P. 37-43.

4. Computer-aided interactive three-dimensional reconstruction of the embryonic human heart / Susan Whiten [et al.] // *J. Anat.* – 1998. – Vol. 193. – P. 337-45.

5. Computerized Three-Dimensional Analysis of the Heart and Great Vessels in Normal and Holoprosencephalic Human Embryos / Shigehito Yamada [et al.] // *Anat. Rec.* – 2007. – Vol. 290. – P. 259-67.

6. Flow in the early embryonic human heart: a numerical study / C.G. DeGroff [et al.] // *Pediatr. Cardiol.* – 2003. – Vol. 24. – P. 375-80.

7. Mandarim-de-Lacerda C.A. Growth allometry of the myocardium in human embryos (from stages 15 to 23) / C.A. Mandarim-de-Lacerda // *Acta Anat.* – 1991. – Vol. 141. – P. 251-6.

8. Smith B.R. Magnetic resonance microscopy in cardiac development / B.R. Smith // *Microsc. Res. Tech.* – 2001. – Vol. 52. – № 3. – P. 323-30.

9. Three-dimensional reconstruction and morphologic measurements of human embryonic hearts: a new diagnostic and quantitative method applicable to fetuses younger than 13 weeks of gestation / Jean-Marc Schleich [et al.] // *Pediatr Dev Pathol.* – 2005. – Vol. 8. – № 4. – P. 463-73.

---

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Гудлетт Т. – очный аспирант кафедры гистологии Днепропетровской медицинской академии, г. Днепропетровск.

Твердохлеб И.В. – д-р мед. наук., проф., зав. кафедрой гистологии Днепропетровской медицинской академии, г. Днепропетровск.

E-mail: ivt@dsma.dp.ua.