



УДК 531/534:[57+61]

© 2008 г. **А.В. Бушманов**, канд. техн. наук
(Амурский государственный университет, Благовещенск)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ФИКСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ В ТРАВМАТОЛОГИИ НА ОСНОВЕ CAD/CAE/CAM-ТЕХНОЛОГИЙ. III

В качестве составной части CAD/CAE/CAM технологий процесса проектирования медицинских фиксирующих устройств рассматривается взаимодействие пакетов прикладных программ имитационного моделирования для разработки моделей и определения деформации стержневых конструкций.

Введение

Имитационные системы становятся все более проблемно-ориентированными. Известны системы моделирования производственных систем различного назначения (ТОМАС, SIRE и др.), медицинского обслуживания (MEDMODEL), в области телекоммуникаций (COMNET) и др. В проблемно-ориентированные системы моделирования включаются абстрактные элементы, языковые конструкции и наборы понятий, взятые непосредственно из предметной области исследований. Определенные преимущества имеют системы моделирования, декларирующие свою проблемную ориентацию, например, пакет Rethink, ориентирующийся на реинжиниринг. Все это влияет на доступность и привлекательность имитационного моделирования.

Методология научного исследования в компьютерном моделировании, предполагающая организацию и проведение вычислительного эксперимента на имитационной модели, требует серьезной математической и информационной поддержки процесса системного моделирования, особенно в части вычислительных процедур, связанных с планированием эксперимента, оптимизацией, организацией работы с большим объемом данных в процедурах принятия решений. Многие системы моделирования обеспечены средствами для интеграции с другими программными средами, осуществляют доступ к процедурным языкам, связанным с кодом имитационной модели, для реализации специальных вычислений, доступа к базам данных [1].

Правильный выбор программного обеспечения является определяющим фактором при внедрении комплексной информационной системы, поскольку САПР (системы автоматизации проектирования) и PDM (Product Data Management, системы управления инженерными данными) составляют основу любого PLM-решения (Product Life cycle Management, управление жизненным циклом изделия).

Проектирование фиксирующих устройств

За счет применения различных плоскостных конструкций из стержневых элементов можно создавать разнообразные по виду формы, вплоть до сложных пространственных конструкций. Проектирование пространственных конструкций – довольно трудоемкая техническая задача. Ее решение требует значительных усилий и профессиональных навыков от конструктора, поскольку задача проектирования при этом переходит в разряд объемных и за кажущейся простотой конструкций кроется немало подводных камней. Основная сложность фиксирующих конструкций, проектируемых для травматологии, – разнообразное сочетание геометрических размеров и форм стержней, большой диапазон вектора действующих на конструкцию сил, наличие регулировочных узлов и др. Если ко всему этому добавить вновь разрабатываемые каждый раз элементы крепления, узлы примыкания и сложность монтажа изделия, то вполне можно считать, что пространственные конструкции действительно отличает высокая степень сложности. Перечисленных причин достаточно для перехода с плоского черчения на 3D-проектирование и анализ.

Схема взаимодействия программ имитационного моделирования показана на рис. 1.

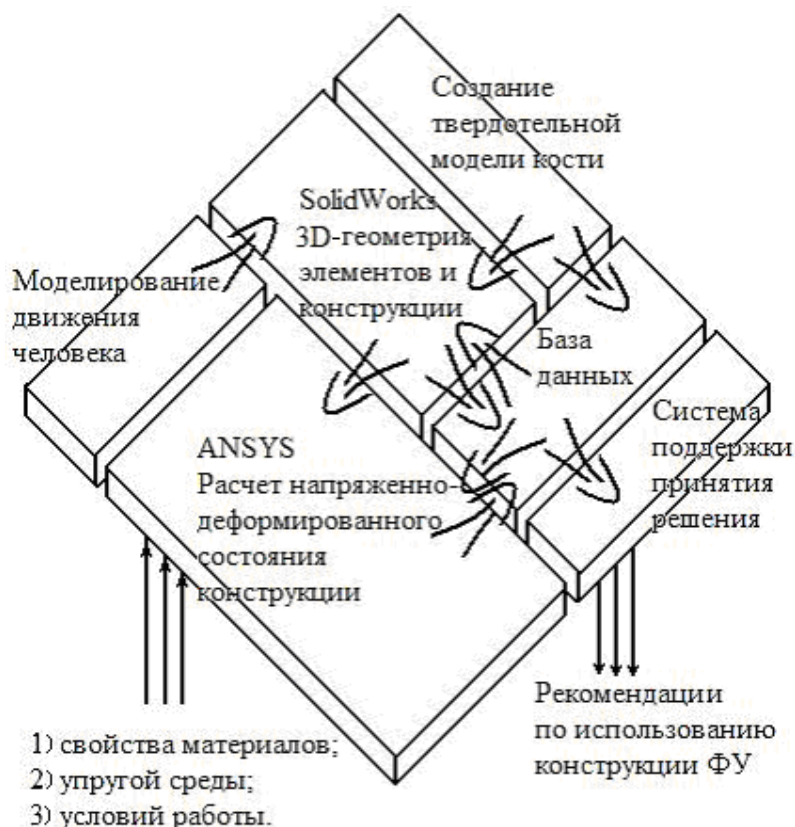


Рис. 1. Схема взаимодействия пакетов прикладных программ.

Для проектирования конструкции фиксирующего устройства на этапе моделирования, необходимо иметь твердотельную модель кости, для которой будет использоваться фиксирующее устройство, схема взаимодействия модулей для разработки твердотельной модели кости показана на рис. 2.

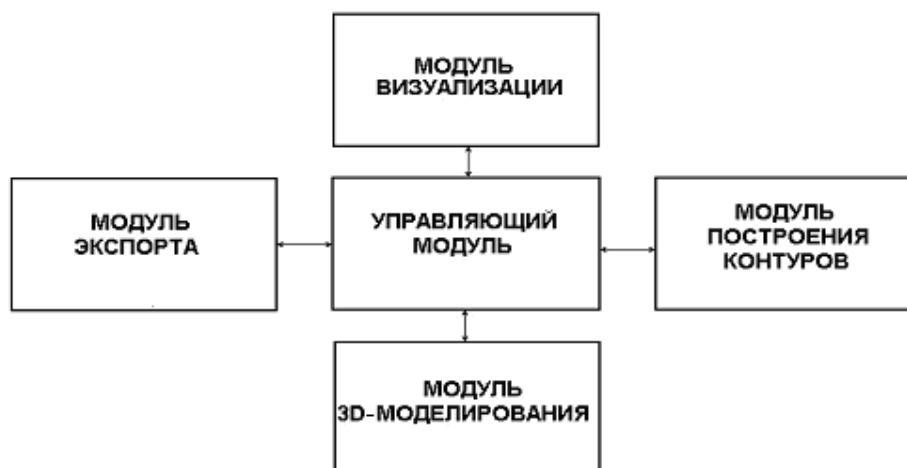


Рис. 2. Структура программы подготовки твердотельной модели.

Алгоритм разработанной программы выглядит следующим образом:
 задается количество подготовленных изображений сечений – рентген снимков, хранящихся в графическом формате BitMaP;
 задается шаг между сечениями – расстояние (в миллиметрах) между двумя плоскостями сечений;
 задается шаг аппроксимации – определяется, через какое количество точек будет производиться фиксирование узловой точки;
 выбирается режим функционирования, который предполагает два варианта: автоматический и пошаговый, выполняемый, вручную с просмотром каждой итерации аппроксимации.

После успешно введенных данных программа информирует:
 о форме подготовленного и введенного изображения сечения;
 о контуре введенного изображения;
 об аппроксимированном контуре сечения;
 о корректировке действий пользователя.

Во время работы программа может выдать сообщение об ошибке, если один из указанных файлов рентген-снимка не будет найден, в противном случае появится сообщение об успешном завершении работы.

Результатом работы программы является создание файла, содержащего множество упорядоченных точек аппроксимированных контуров сечений кости, разбитых на слои. Для создания трехмерной модели полученные координаты конечного числа точек вводятся в среду SolidWorks и с помощью *b*-сплайнов представляются в виде замкнутых контуров. Для этого необходимо внести изменения в файл модели с целью преобразовать синтаксис данных в формат понятных для пакета визуализации. В результате этих действий получается твердотельная модель кости.

Для определения характера перемещения кости, его траектории во время движения, а также величины и направления действия сил используем разработанную программу кинематики движения человека.

Программный продукт разделен на модули, выполняющие определенные функции. Принцип разбиения на модули основывается на функциональных под-

системах. Но для упрощения программной реализации некоторые модули берут на себя задачи нескольких функциональных подсистем. При реализации прикладной части информационной системы используются дополнительные модули, отвечающие за выполнение вспомогательной работы. Таким образом, программный продукт состоит из четырех модулей:

- расчета модели двуногого устройства;
- управления камерой;
- реализации интерфейса программы;
- управления представлением данных конечному пользователю.

Модуль расчета модели двуногого устройства предназначен для объединения задач двух функциональных подсистем: создание трехмерной модели человека и расчет кинематических, энергетических и динамических характеристик. Его работа основывается на объекте класса CHuman, который описывает модель человека и включает в свою структуру следующие атрибуты:

масса и рост человека, дисплейный список для всех костей, вычисляемый коэффициент перевода из геометрических единиц OpenGL в метры, массив объектов класса CBone (описывает отдельное звено);

массив, задающий иерархическую последовательность звеньев модели (индекс массива – текущая кость, значение ячейки – предыдущая (проксимальная) кость);

линейная скорость движения человека, половина длины шага и другие служебные атрибуты.

Модуль управления камерой предназначен для вычисления проекций трехмерной сцены на плоскость окна. Входными данными являются:

тройка координат позиции камеры относительно инерционной системы координат, связанной со стойкой;

тройка координат вектора направления вверх;

тройка координат точки, в которую «смотрит» камера;

радиус сферы вокруг камеры, не допускающий коллизии с объектами сцены;

скорость движения камеры.

На выходе получаем изображение проекции трехмерной сцены на область окна.

Модуль реализации интерфейса программы связывает все модули программы воедино, служит им оберткой и организует обмен данными между ними, это его основная функция. В этом логическом модуле главным является объект класса приложения, унаследованного от класса CWinApp.

Модуль управления представлением данных конечному пользователю предназначен для того, чтобы пользователь мог выбрать интересующий его параметр (например, силу, линейную скорость) и тип величины (например, проекция на ось OX, модуль вектора) в нужном суставе для отображения числовых значений и графика изменения этого параметра во времени.

Блок-схема алгоритма программы показана на рис. 3. Помимо того, в состав программы входят основная и дополнительная библиотеки для работы с трехмер-

ной графикой OpenGL. Это динамические библиотеки, включенные при сборке в исполняемый файл программы [2].

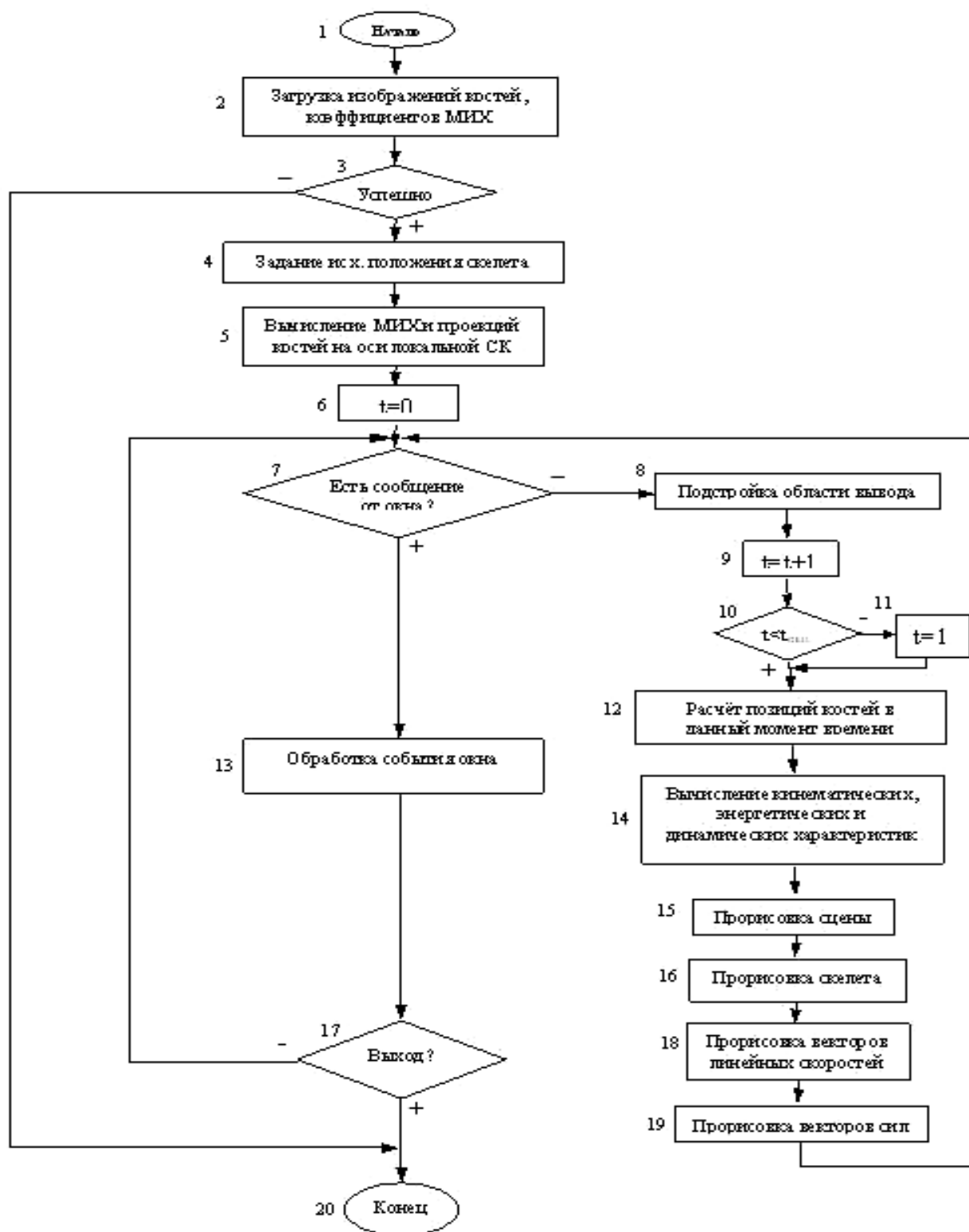


Рис. 3. Блок-схема алгоритма программы по кинематике и динамике.

Имея в качестве исходных данных модель кости с известным видом перелома, а также величину и вектор действующей на нее во время движения макси-

мальной силы с целью фиксации отломков кости, можно проектировать твердотельную модель фиксирующего устройства.

Модель конструкции фиксирующего устройства можно проектировать в любом графическом пакете трехмерного моделирования, – например, в графическом пакете SolidWorks. Алгоритм создания модели зависит от сложности сборки и количества элементов, составляющих сборку, и может быть представлен следующим образом:

разрабатываются эскизы для новых или уже применяемых элементов, составляющих проектируемую конструкцию;

разрабатываются твердотельные модели элементов конструкции;

на модели кости, в рекомендованные специалистами-травматологами точки, крепятся фиксирующие (врезные) стержни;

используя расположение на кости врезных стержней в качестве базового, а также их геометрические характеристики, строят сборочную модель конструкции фиксирующего устройства.

Эскизы новых или применяемых, но не внесенных в базу данных элементов представляют собой двумерные чертежи с нанесенными на них размерами. Известными элементами, которые составляют конструкцию, может быть, например, стандартный набор Илизарова. Для конструкций фиксирующих устройств могут использоваться нестандартные, новые элементы, которые разрабатываются для лечения перелома кости.

По созданным эскизам строятся твердотельные модели элементов, из которых будет собираться конструкция. Построение модели происходит по тем правилам, которые соответствуют работе с конкретным пакетом проектирования.

Твердотельные модели элементов, как и модели конструкций устройств, хранятся в хранилище данных в виде файлов графического формата с возможностью чтения любыми известными графическими пакетами, поддерживающими САМ-технологии [3].

Модель кости, для которой проектируется фиксирующее устройство, выбирается из хранилища данных. Для каждой из костей человека заранее известны точки, в которые можно вводить металлические стержни, без вреда для его здоровья и не разрушая при этом целостность кости. В модель кости в точки, рекомендованные врачом-травматологом, вводятся и жестко крепятся фиксирующие стержни. Таким образом, получаем базовую конструктивную модель, на основе которой проводится сборка конструкции фиксирующего устройства.

Сборочная модель конструкции фиксирующего устройства собирается по технологии «снизу – вверх». К фиксирующим стержням крепится рама, состоящая из набора стержневых элементов разной формы и размеров. На раме находится устройство или механизм, регулирующий величину компрессии.

Готовая твердотельная модель конструкции фиксирующего устройства передается в пакет расчета и анализа деформаций и напряжений, возникающих в конструкции под действием внешних сил. В качестве пакета для расчета деформации и напряжения конструкции обычно используются пакеты конечно-элементного анализа.

Можно выделить пять основных этапов решения задач по методу конечных элементов:

расчленение системы на конечные элементы и выбор координатных функций;

построение матриц жесткости и приведение местной нагрузки к узловой для каждого конечного элемента;

построение канонических уравнений;

решение канонических уравнений и определение значений степеней свободы;

определение компонентов напряженно-деформированного состояния по области элемента.

Расчленение системы на конечные элементы или создание сетки должно удовлетворить двум противоречивым требованиям: во-первых, требованию точности расчета, а следовательно, необходимости увеличивать количество расчетных узлов; во-вторых, практическому решению задачи, которое накладывает ограничения на число решаемых уравнений, а следовательно, и на число расчетных узлов.

Построение компонентов матрицы жесткости дается в местной системе координат, которая выбирается таким образом, чтобы максимально упростить эту процедуру. Обычно начало местной системы координат располагается в одном из узлов, а направление осей по возможности совмещают с гранями конечного элемента. Матрица жесткости, как и узловые усилия и перемещения, переводится из местной системы координат в общую при помощи матрицы направляющих косинусов.

Канонические уравнения решаются известными методами линейных алгебраических уравнений высоких порядков, так как число степеней свободы при решении сложных задач может достигать нескольких десятков тысяч. Обычно используют методы Гаусса, Холецкого, Зейделя и другие прямые или итерационные методы. В результате решения определяются значения степеней свободы. По найденному вектору степеней свободы и системе координат функций, которая была назначена заранее, определяется функция перемещений по всей области системы, а по ней – напряжения и деформации в интересующих конструктора местах.

Описанная процедура – традиционная и инвариантная к классу рассчитываемых конструкций. Исключением является процедура составления матрицы жесткости, которая обусловлена типом выбранных координатных функций, дающих физические и геометрические характеристики элементов системы [4].

Информационная система в виде базы данных и блока поддержки принятия решения содержит следующие компоненты:

информационный модуль содержит базу данных по международной классификации видов перелома, базу данных фиксирующих устройств, используемых для лечения определенных видов перелома, базу по элементам конструкций для сборки фиксирующих устройств, а также информацию о пациенте;

модуль ввода/вывода данных, содержит большее количество тематически и

удобно разделенных по группам полей ввода и вывода информации;

модуль редактирования данных представляет собой форму, предназначенную для внесения и корректировки данных в БД;

модуль хранения данных – это база данных в форме таблиц, хранящая необходимую информацию;

модуль поиска данных представляет окно с вводимыми параметрами и полями для вывода необходимой информации;

модуль печати данных позволяет выводить необходимую информацию;

модуль коммуникации данных.

Модуль хранения данных обеспечивает:

сохранение данных в базе;

целостность хранимой информации;

возможность передачи в модуль ввода/вывода для просмотра или редактирования данных.

Модуль ввода/вывода данных включает следующие функции:

предоставление удобной формы ввода данных;

наглядное отображение выходных данных (результатов запросов);

визуальное отображение данных о переломе, сегменте кости, фиксирующем устройстве и т. п.;

передачу данных в модуль хранения.

С помощью *модуля редактирования данных* можно вносить изменения в базу данных, что осуществляет администратор базы данных.

Модуль коммуникации данных представляет пользователям возможности информационного обмена, а также производить удаленный доступ к системе по протоколу TCP/IP.

Заключение

Современные тенденции в области имитационного моделирования связаны с развитием проблемно-ориентированных систем, созданием встроенных средств для интеграции моделей в единый модельный комплекс. Технологический уровень современных систем моделирования характеризуется большим выбором базовых концепций формализации и структуризации моделируемых систем, развитыми графическими интерфейсами и анимационным выводом результатов. Имитационные системы имеют средства для передачи информации из баз данных и других систем или доступ к процедурным языкам, что позволяет легко выполнять сложные вычисления.

Рассмотренное взаимодействие пакетов прикладных программ дает возможность качественно спроектировать и исследовать стержневые конструкции фиксирующих устройств в рамках имитационного моделирования.

Изложенные подходы к технологии проектирования стержневых фиксирующих устройств, с применением имитационных моделей, позволяют существенно сократить сроки и затраты на разработку нового поколения фиксирующих устройств с уникальными возможностями рационального использования.



ЛИТЕРАТУРА

1. *Советов Б.Я., Яковлев С.А.* Моделирование систем. – М.: Высшая школа, 1998.
2. *Барабаш С.А., Бушманов А.В.* Информационно-аналитическая система для исследования динамики двуногой ходьбы // Системы управления и информационные технологии. – 2008. – № 1.3 (31). – С. 332-337.
3. *Ли К.* Основы САПР (CAD/CAM/CAE). – СПб.: Питер, 2004.
4. *Городецкий А.С., Заворицкий В.И., Рассказов А.О., Лентух-Лященко А.И.* Метод конечных элементов в проектировании транспортных сооружений. – М.: Транспорт, 1981.

УДК 618.3: 618.36: 161.921.5

© 2008 г. **И.Н. Гориков**, канд. мед. наук,
В.П. Колосов, д-р мед.наук,
Л.Г. Нахамчен, канд.мед. наук

(Дальневосточный научный центр физиологии и патологии дыхания СО РАМН,
Благовещенск)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАЦЕНТАРНОЙ НЕДОСТАТОЧНОСТИ

С помощью методов математического моделирования разработан способ доклинического прогнозирования плацентарной недостаточности у женщин во втором триместре гестации при гриппе А(Н3N2), развившемся в первом триместре беременности.

Развитие профилактического направления в перинатальной медицине с использованием системного подхода является одной из актуальных проблем современного здравоохранения. Один из аспектов этой проблемы – доклиническое прогнозирование плацентарной недостаточности во втором триместре беременности, осложненной на ранних сроках гестации острой РНК-вирусной инфекцией.

Целью исследования стало совершенствование методов клинко-сериологической диагностики для доклинического прогноза развития симптомов плацентарной недостаточности во втором триместре беременности при гриппе А(Н3N2), диагностированном в первом триместре гестационного периода, на основе детального анализа клинических признаков интоксикационного синдрома, изучения динамики роста титров противовирусных антител в парных сыворотках крови, полученных в период разгара инфекционного заболевания и в период ранней реконвалесценции, и использования методов математического моделирования.

Анализ проведен с использованием программ медико-биологической статистики [1] и “автоматизированной программы диспансеризации” [2].