

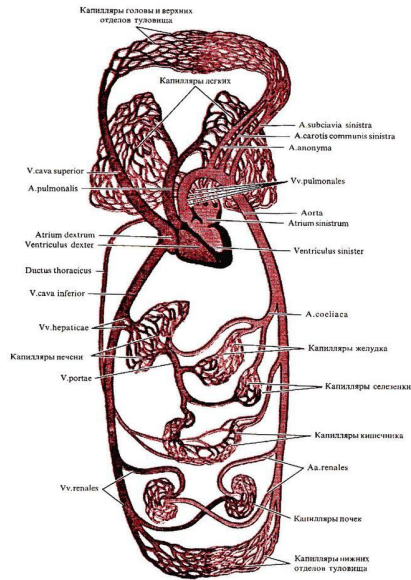


Программный комплекс для моделирования гемодинамики на пространственном графе сердечно-сосудистой системы

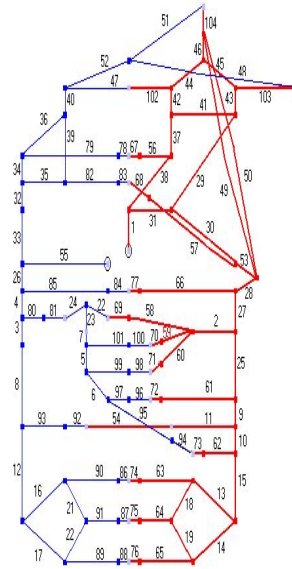
М.В.Абакумов¹, В.Б.Кошелев², С.И.Мухин¹, Н.В.Соснин¹, А.П.Фаворский¹

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова,
¹факультет вычислительной математики и кибернетики,
²факультет фундаментальной медицины,
Москва, Россия*

Предыдущая версия комплекса CVSS (Cardio Vascular Simulation System)



Система
кровообращения



Возможности:

- расчет гидродинамической картины течения крови на произвольном планарном графе сосудов;
- использование различных математических моделей элементов системы кровообращения.

Программное обеспечение в научно-исследовательской версии комплекса предоставляет широкие возможности изменение топологии, моделей и данных рассматриваемого графа, однако представление графа является схематичным, и работа с комплексом предполагает определенные навыки в области математического моделирования и вычислительных методов.

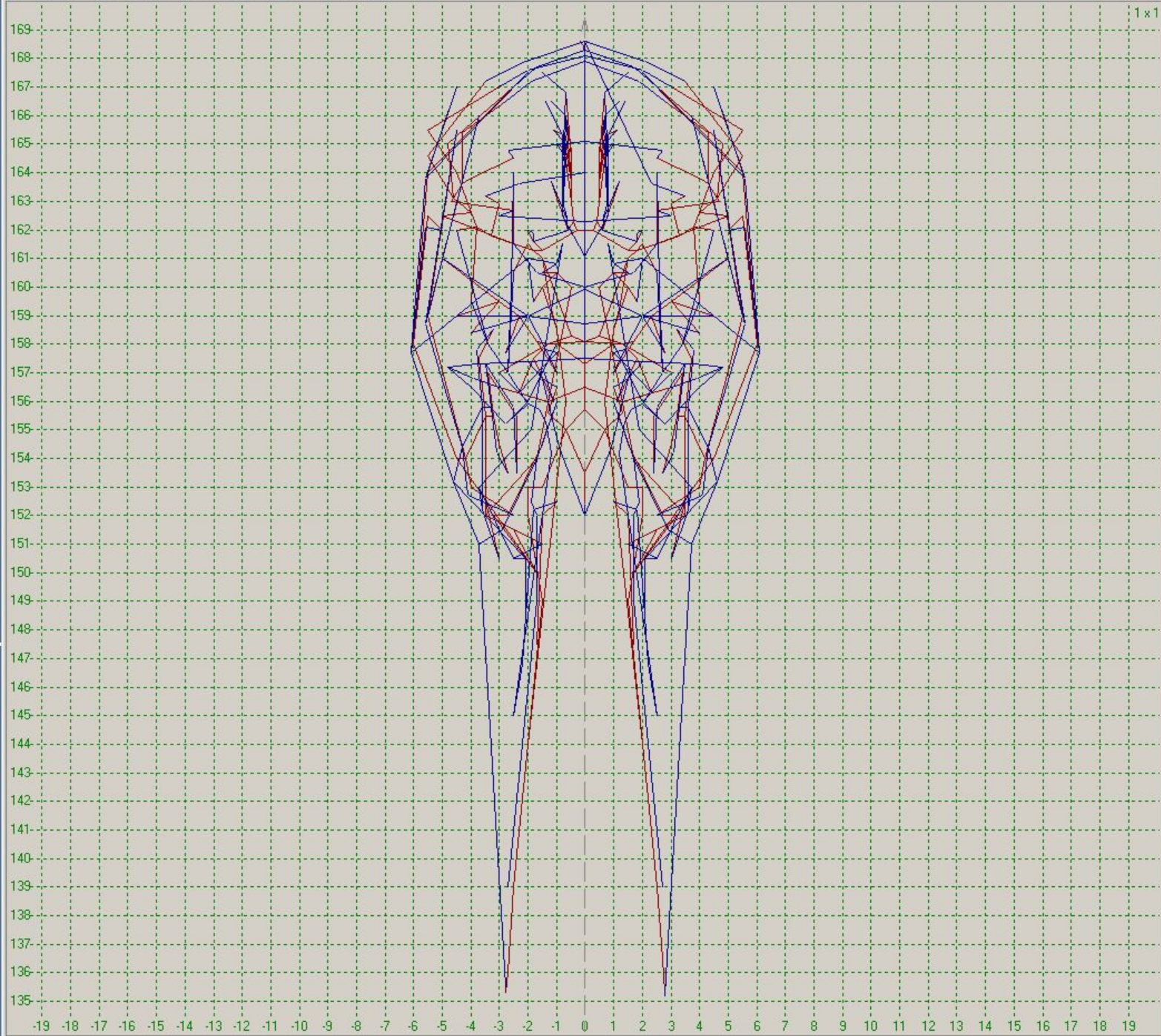
НОВЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ

- Представление **произвольного трехмерного графа** сердечно-сосудистой системы, в том числе в целом, с возможностью его наращивания, а также сужения.
- **Перемещение графа** в целом, а также **его частей в пространстве** для учета влияния гравитации при изменении положения тела.
- Использование **реалистичных объемных 3D моделей** для визуализации системы сосудов и результатов расчета в привычной наглядной форме.
- И, как следствие, разработка развитых **средств редактирования, хранения и контроля** существенно возросшего объема вводимых данных.
- **Многопоточная (multithread) реализация** комплекса для распараллеливания процесса вычислений и визуализации его результатов.

Создание трехмерного графа CVSS

- Первичные данные для создания графа получены на основе **«оцифровки» данных медицинских атласов** кровеносной системы.
- Разработан **специализированный редактор**, позволяющий вводить данные трехмерного графа **с визуальным контролем** их корректности.
- Редактор рассчитан на **создание графа по фрагментам**, в том числе независимыми пользователями, с их последующей сборкой в одну большую расчетную модель.
- Реализована возможность **выделения** из модели ее **подсистем**, редактирования подсистем, как независимых фрагментов, с последующей **вставкой** подсистемы **с замещением устаревших данных**.

(см. иллюстрацию на следующем слайде)



1 x 1

Сосуды (Links)

Бег	End	Type	AV
1	3	0	1
2	4	0	1
3	51	0	1
4	103	0	1
5	43	0	1
6	41	0	1
7	8	0	1
7	32	0	1
7	36	0	1
8	9	0	1

1 + - [icon] ←

Узлы (Nodes)

№	X	Y	Z
1	-2.8	135.3	14.52
2	2.8	135.3	13.75
3	-2.7	136	11.93
4	2.7	136.5	11.93
5	-2	144	14.2
6	-1.7	147.5	14.6
7	-1.7	150	14
8	-4.5	154	12
9	-6	158	11
10	-5.5	162.5	8

1 + - [icon] ×

Сохранена 25.01.2012 15:05:39

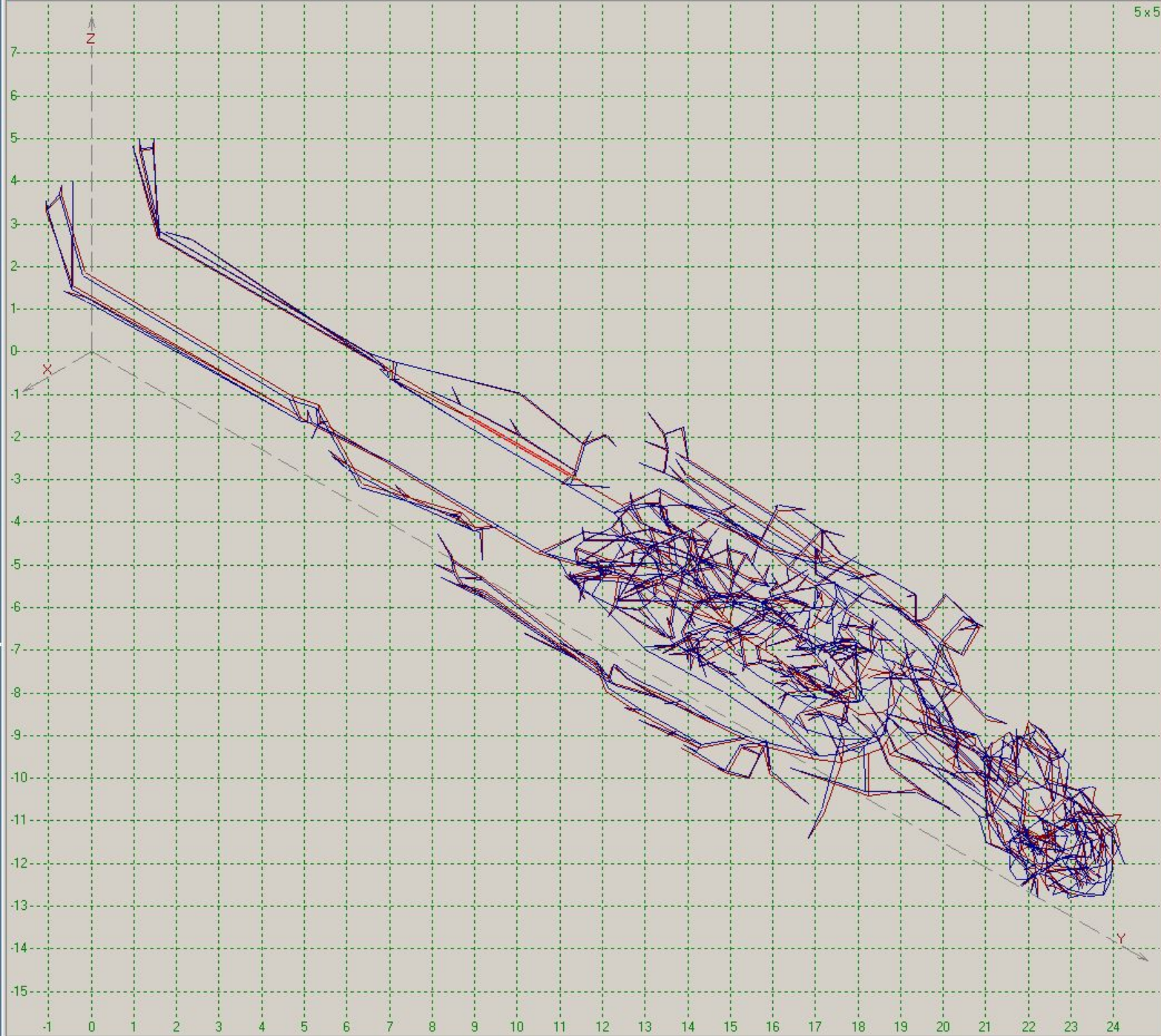
[icon] Вычисления ЛГД

[icon] Вычисления CVSS

Расчетные данные CVSS

- Помимо самой топологии графа на каждом его узле и сосуде должны быть заданы **данные**, необходимые для **проведения расчетов**.
Например, для сосудов это начальное сечение, давление, скорость и ряд других параметров.
- Комплекс дополнен удобной **системой ввода и хранения** этих данных, допускающей **групповые операции** изменения параметров узлов и сосудов.
- Возможность групповых операций имеет принципиальное значение, поскольку **общее количество параметров**, описывающих расчетную модель, **исчисляется десятками тысяч**.

(см. иллюстрацию на следующем слайде)



5x5

Сосуды (Links)

Сосуд №27

16.06.2011 15:36:26

PBeg	15
PEnd	16
Type	<input type="checkbox"/> 0
Xcent	-6.85
Ycent	64.75
Zcent	15.2
TypeAV	<input type="checkbox"/> 1
Grid	<input type="checkbox"/> 5

2: Name A. femoralis dext

Plnit	<input checked="" type="checkbox"/> 100
Ulmit	<input checked="" type="checkbox"/> 7.9344
Qlmit	<input checked="" type="checkbox"/> 2.4343
Slmit	<input checked="" type="checkbox"/> 1.227
Leng	<input type="checkbox"/> 17.504
CosZ	<input type="checkbox"/> 0.011426
SMin	<input type="checkbox"/> 0.24544
SMax	<input type="checkbox"/> 0.36816
PMin	<input type="checkbox"/> 40
PMax	<input type="checkbox"/> 120
KapaMin	<input type="checkbox"/> 0.8
KapaMax	<input type="checkbox"/> 1.2
QDir	1
VisRad	<input type="checkbox"/> 0.3125
ID	<input type="checkbox"/> 521

Для всех сосудов

- С текущим Type
- С текущим ID

Изменить данные

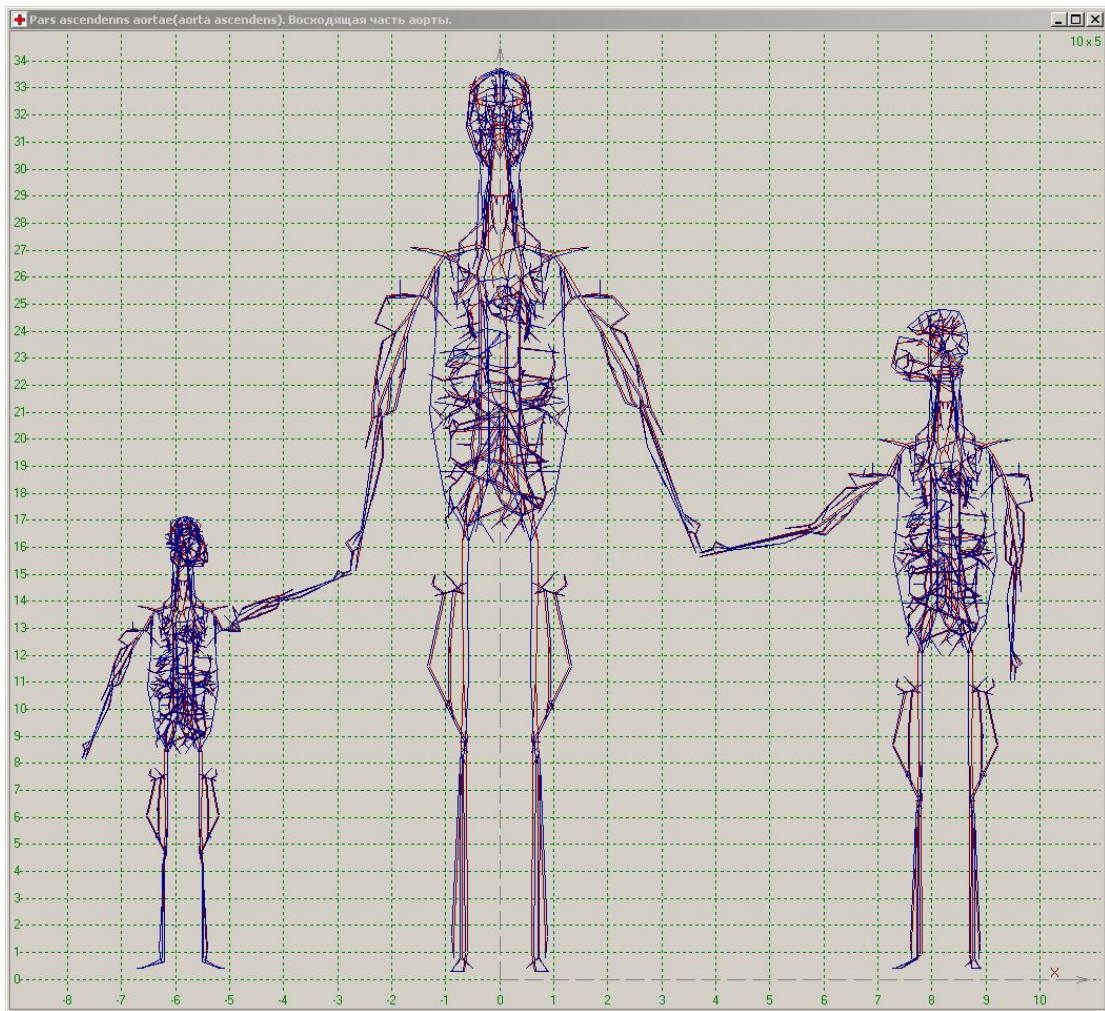
Использование 3D моделей

- Трехмерный граф CVSS представляет собой **каркасную модель** сосудистой системы, которая в ряде случаев **визуально трудно воспринимается**. Это еще одна причина, диктующая необходимость наличия **реалистичной объемной 3D модели**, дополняющей каркасную.

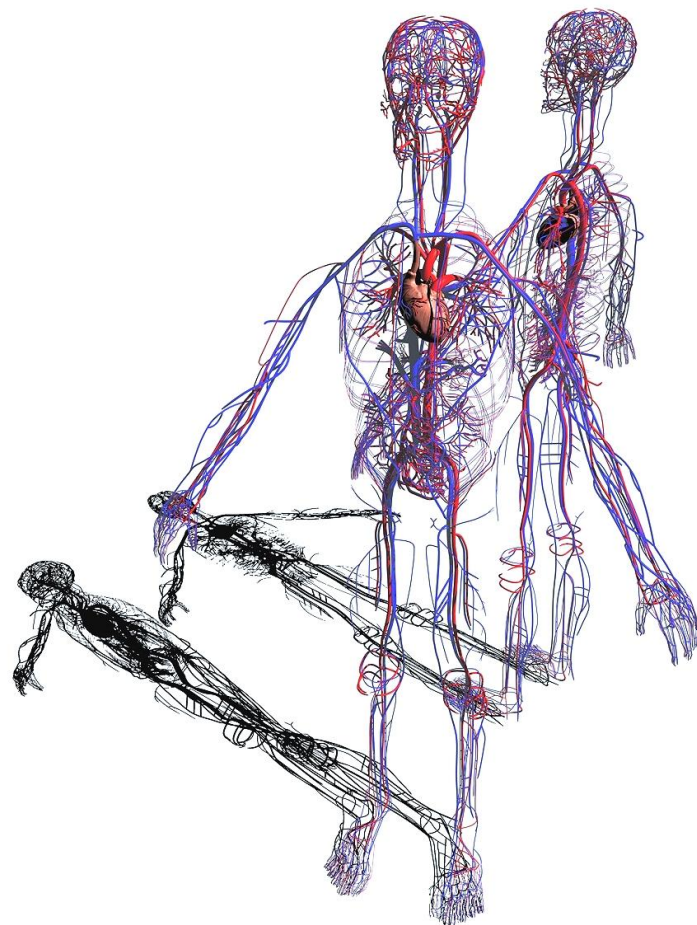
- Использование **готовых 3D моделей** в наших целях оказалось **неприемлемым** по ряду причин:
 - **проблематично связать данные** графа CVSS с данными 3D модели;
 - при изменении масштаба графа, соответствующего изменению роста, при удалении и добавлении сосудов, при изменении положения тела **необходимо отдельно редактировать** объемную 3D модель;
 - в качестве 3D модели хотелось бы видеть **именно то, что рассчитывается**, то есть топология, длины и сечения сосудов должны соответствовать расчетным.

(см. иллюстрацию на следующем слайде)

Существующие 3D модели



Трёхмерный граф CVSS



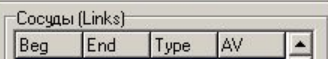
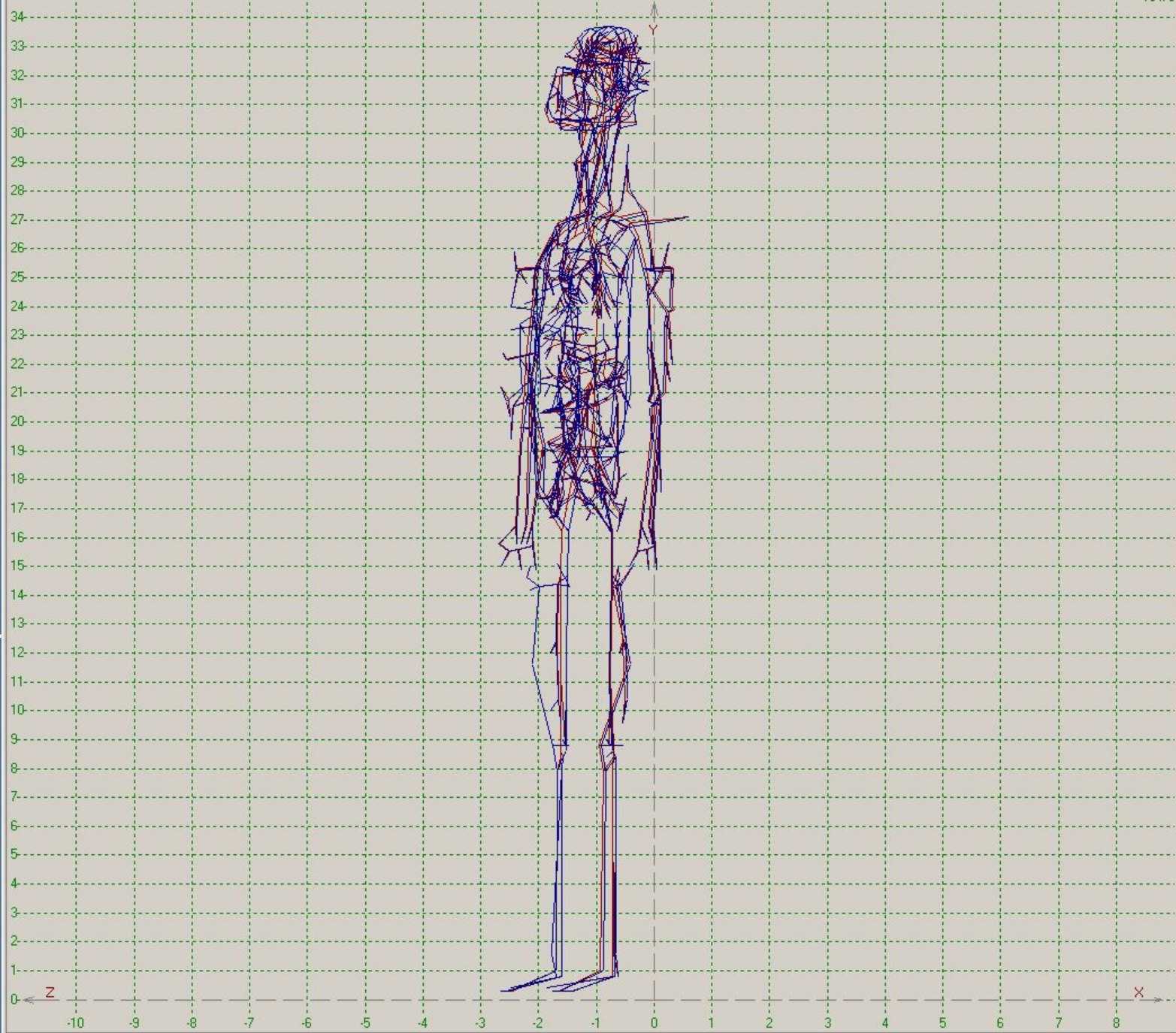
ANATOMIUM 3D

A high resolution cardiovascular system 3D model

Объемные 3D модели CVSS

- Разработан уникальной **метод построения** реалистичной объемной **3D модели** сосудистой системы **по данным трехмерного графа**.
- **При необходимости**, например, при изменении положения тела объемная **3D модель** всякий раз **строится заново**.
- Это **процесс не требует** никакого **участия** со стороны **пользователя**.
- Построение 3D модели **не предполагает ввода** каких-либо **данных** в дополнение к уже имеющимся данным трехмерного графа.
- Объемная и каркасная модели совместно являются **единым объектом**, представляющим сосудистую систему.

(см. иллюстрации на следующих слайдах)



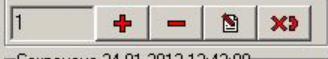
Сосуды (Links)

Бег	End	Type	AV
1	2	50	1
2	3	50	1
3	4	50	1
3	99	100	1
4	5	50	1
4	339	100	1
5	6	50	1
5	107	100	1
6	7	50	1
7	8	50	1



Узлы (Nodes)

№	X	Y	Z
1	-1	128	17.8
2	-1.5	131	18.5
3	-1	132	17.12
4	-0.2	133	15.75
5	0.5	132	14.38
6	1.5	129	13
7	1	113	13.9
8	1	111	13.91
9	1	109	13.92
10	1	101	14.5

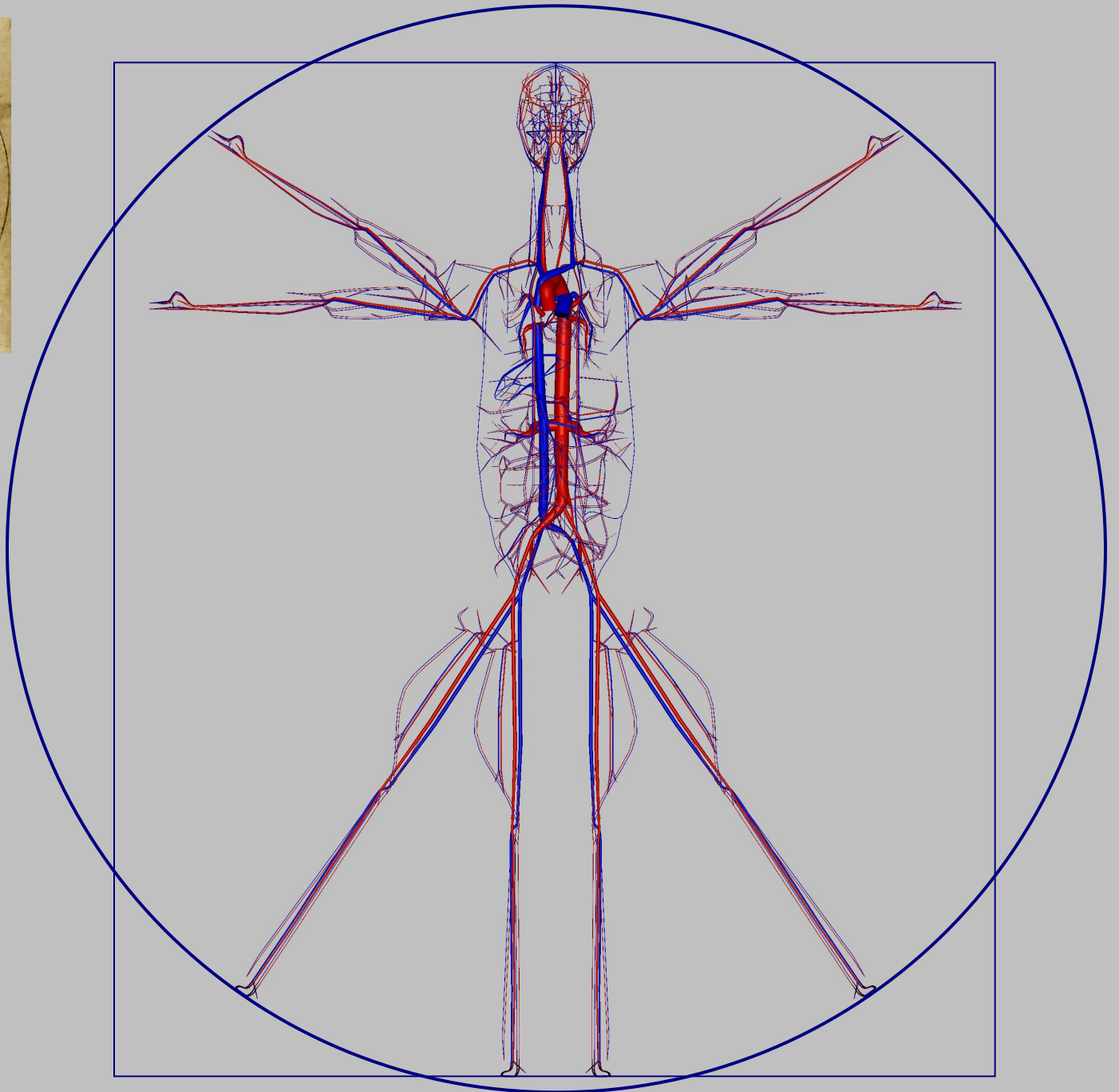
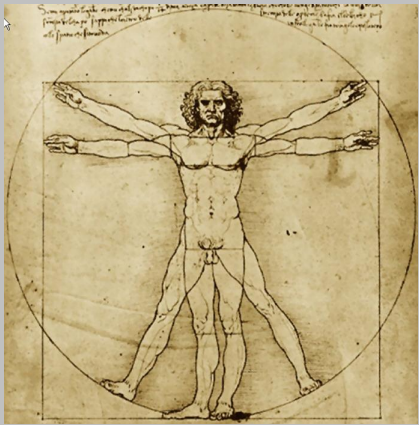


Сохранена 24.01.2012 13:43:09

Модель с корректно расставленными направлениями потоков QDir и радиусами сосудов для визуализации VisRad

Вычисления ЛГД

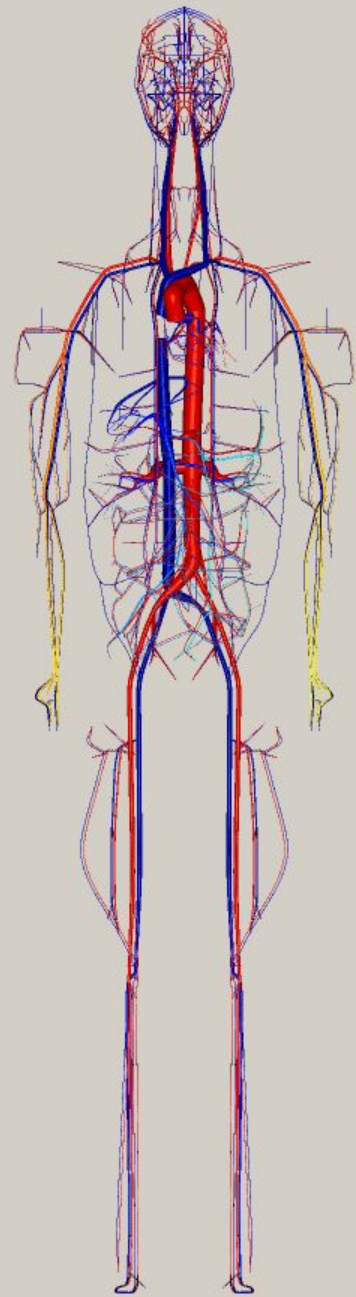
Вычисления CVSS



Процесс вычислений

- Процесс вычислений запускается в виде **двух независимых вычислительных потоков**.
- В первом потоке запускается **«солвер»**, осуществляющий расчет нестационарного течения по системе сосудов.
- В другом потоке осуществляется **управление расчетом и визуализация** его результатов. Значения расчетных характеристик отображаются цветом непосредственно на объемной модели. Также можно выводить графики параметров на произвольном количестве выбранных сосудов.
- Параллельно можно **масштабировать** изображение, **менять его ракурс** **применять фильтры**, скрывая не интересующие в данный момент подсистемы сосудов.
- Расчет может быть остановлен в любой момент. **После изменений параметров** графа, например, соответствующих изменению положения тела в пространстве, пережатию сосуда или добавлению шунта, **расчет может быть возобновлен**. Это позволяет отследить эффект от внесенных изменений.

(см. иллюстрацию на следующем слайде)



Вычисления

Графики

Отображение 3D

Отступы от Min и Max (%)

Min 0

Max 0

RAMin	0.889665
RAMax	0.997833
PVMin	0.0499
PVMax	0.198031

Зафиксировать Min и Max

Расчет

Продолжить вычисления

Начать заново

Остановить расчет

Параметры расчета

Время: 339.12

Отладка

Записать output.###

Считать output.###

Время < 1E+10

Дополнительно

Вычисления CVSS