

І.В.Твердохліб

Дніпропетровська державна
медична академія

ПРОСТОРОВА РЕКОНСТРУКЦІЯ БІОЛОГІЧНИХ ОБ'ЄКТІВ ЗА ДОПОМОГОЮ КОМП'ЮТЕРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Ключові слова: біологічні
об'єкти, тривимірна реконст-
рукція, комп'ютерне моделю-
вання.

Надійшла: 22.10.2006

Прийнята: 04.11.2006

Резюме. У роботі представлена процедура просторового моделювання анізотропних біологічних об'єктів на органному, тканинному, клітинному і субклітинному рівнях. Дана загальна характеристика основних етапів процедури: підготовка серії зрізів, мікрофотографування, попереднє створення контурів, конвертація зображень, обробка і вирівнювання серійних контурних зображень, створення тривимірного каркаса (первинної моделі), кольорова і (або) фактурна обробка файлів тривимірного каркаса, створення кінцевої моделі. Описано основні задачі, що вирішуються при здійсненні комп'ютерного моделювання.

Tverdokhle I.V. The spatial reconstruction of biological objects by computer modelling.

Summary. The procedure the three dimensional reconstruction of anisotropic biological objects on organ, tissue, cellular and subcellular levels has been submitted in work. The general characteristic of the basic stages of procedure is given: preparation of a series of slides, microphotographing, preliminary creation of contours, converting of images, processing and alignment of serial planimetric plottings, creation of a three-dimensional skeleton (initial model), color and (or) invoice processing of files of a three-dimensional skeleton, creation of final model. Basic problems described which were solved at realization of computer modelling.

Key words: biological objects, three dimensional reconstruction, computer modelling.

Ще донедавна уявлення морфологів про просторову організацію біологічних об'єктів (структурних одиниць органів, клітинних ансамблів, комплексів позаклітинних мікроструктур і внутрішньоклітинних компонентів) ґрунтувалися на здійсненні двох принципово різних підходів.

Перший принцип припускав створення тривимірної моделі об'єкта або декількох об'єктів на основі різних процедур графічної реконструкції великої кількості серійних зрізів. Протягом багатьох десятиліть такий підхід був єдиним способом прямої реконструкції, однак його надзвичайна трудомісткість істотно обмежувала фізичні можливості морфолога і не дозволяла опрацювати значний обсяг первинної інформації. В історичному аспекті перший принцип виявився досить непопулярним серед дослідників, хоча і знайшов втілення у прекрасних схемах-моделях у різних відомих атласах і книгах.

Другий принцип реконструкції об'ємних співвідношень структур, обґрунтований і розвинутий у рамках стереології, ґрунтувався на статистичних методах і вимагав виконання двох умов, що різко обмежували можливості самої реконструкції. По-перше, досліджувана структура повинна бути суттєвою в об'ємі, тобто її характеристики повинні бути однаковими у всьому об'ємі тканини або клітини. По-друге, була потрібна однозначна відповідність характеристик площинних (двовимірних) зразків і об'ємних (тривимірних) структур. Зрозуміло, проведення дослідження на одному зрізі або електронній мікрофотографії за допомогою стандартних тест-систем привернуло увагу морфологів своєю „економністю” і можливістю

екстраполяції площинних характеристик на об'ємні. Наприклад, виходячи зі стереологічного принципу, „вимір площ двох порівнюваних фігур можна замінити виміром відповідних їм відрізків прямих ліній, а вимір обсягів двох порівнюваних тіл – виміром площ відповідних їм перетинів”.

При аналізі цих і багатьох інших положень другого (стереологічного) принципу реконструкції стає більш ніж відчутним зміщення уявлень про просторову організацію біологічних об'єктів від їх реальних об'ємних характеристик до абстрактних, у більшому ступені математичних. Не применшуючи цінності стереологічного підходу до оцінки визначених параметрів об'єктів у повсякденній дослідницькій практиці, слід все-таки звернути увагу на актуальність первісної задачі реконструкції – визначення просторової організації об'єктів як таких. Суто кажучи, другий принцип реконструкції не зміг замінити першого. Звідси інтерес морфологів звернувся до пошуку нових, більш ощадних можливостей у реалізації графічного принципу реконструкції, що призвело до розробки принципів просторового моделювання об'єктів за допомогою комп'ютерних технологій.

У даному повідомленні представлена орієнтована процедура просторового моделювання анізотропних об'єктів різних рівнів. Така процедура передбачає кілька етапів.

Етап 1. Підготовка серії зрізів.

Даний етап реалізується за допомогою стандартних гістологічних методик на основі одержання серій парафінових, напівтонких або ультратонких зрізів. Кількість зрізів визначається їхньою товщиною й абсолютними розмірами мікрострук-

тур, що підлягають реконструкції. Важливим питанням при проведенні даного етапу є зіставлення зрізів один з одним, що на мікроскопічному рівні може бути вирішено за рахунок розміщення у парафіновому блоці додаткових штучних координатних осей, наприклад, нервових волокон (більш докладно дана методика викладена в матеріалах патенту України №68592А).

Етап 2. Мікрофотографування.

Здійснюється за допомогою будь-якої професійної цифрової фотокамери при дотриманні єди-

ного для всієї серії зрізів кінцевого збільшення.

Етап 3. Попереднє створення контурів.

Полягає у створенні контрастного робочого контуру підданих реконструкції мікроструктур завтовшки в 1 піксель на цифрових зображеннях. Здійснюється за допомогою будь-якого стандартного графічного редактора (наприклад, Adobe Photoshop) після імпорту серії цифрових мікрофотографій (рис.1).

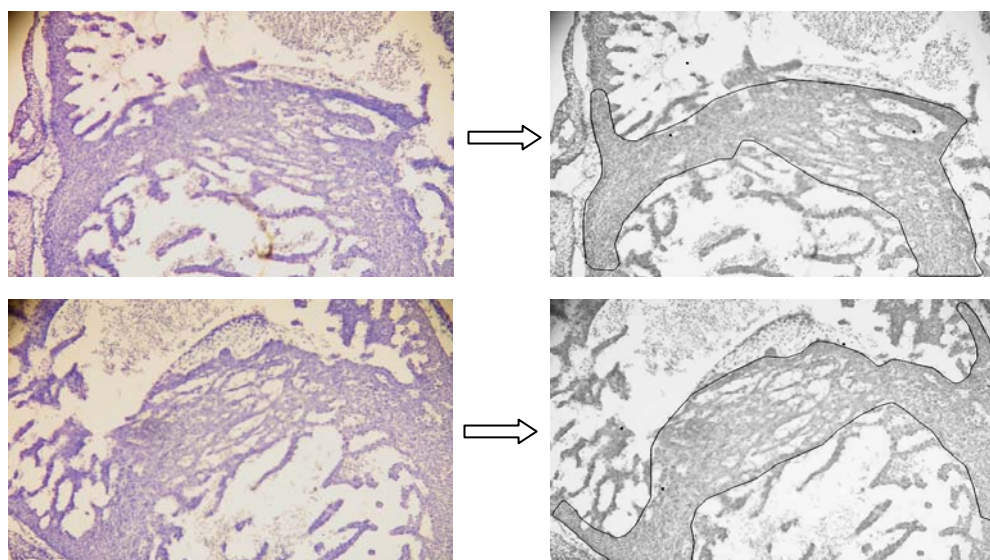


Рис.1. Вибір структур для реконструкції і створення робочого контуру (по матеріалах Н.І.Горелової)

Етап 4. Конвертація зображень.

Проводиться за допомогою програми Convert – програми перетворення серії файлів зображень – для підготовки відповідних наборів зображень для подальшого використання в програмних пакетах sEM Align і IGL Trace.

Етап 5. Обробка і вирівнювання серійних контурних зображень.

Реалізується за допомогою програми sEM Align для упорядкування контурів зрізів по порядкових номерах (від першого до останнього) і вирівнювання контурів по контрольних крапках, що належать рівнобіжним прямим, зорієтова-

ним у просторі перпендикулярно площинам зрізів.

Етап 6. Створення тривимірного каркаса (первинної моделі).

Проводиться в оболонці програми IGL Trace (особливо вдалою є версія 1.26b), призначеної для ідентифікації, обробки, виміру і просторової реконструкції об'єкта або комплексу декількох об'єктів за рахунок формування просторової моделі (рис.2), не доступної при звичайному розгляді площинних контурів, але відтворюється на підставі їхньої програмної обробки.

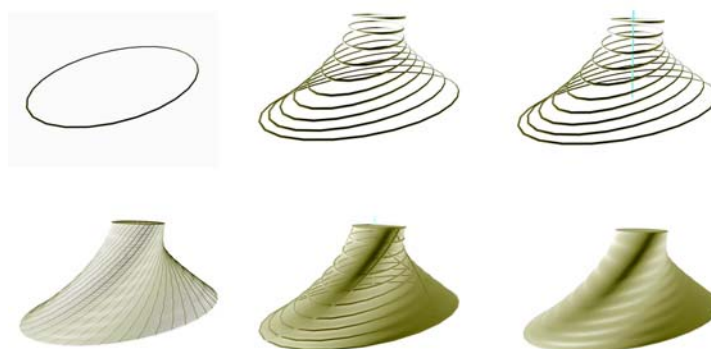


Рис.2. Принципова схема формування тривимірного каркаса.

Етап 7. Колірна і (або) фактурна обробка файлів тривимірного каркаса.

Реалізується за допомогою програмного пакета MergeWRL, що дозволяє додавати визначені візуалізаційні властивості поверхням каркасних

моделей (рис.3). Використовувана нами версія VRML 1.0 удадо працює з електронним матеріалом з IGL Trace (прийнятне виконання роботи на інших типах .wrl файлів сумнівно) для експорту в завершальний програмний пакет 3D Studio Max.

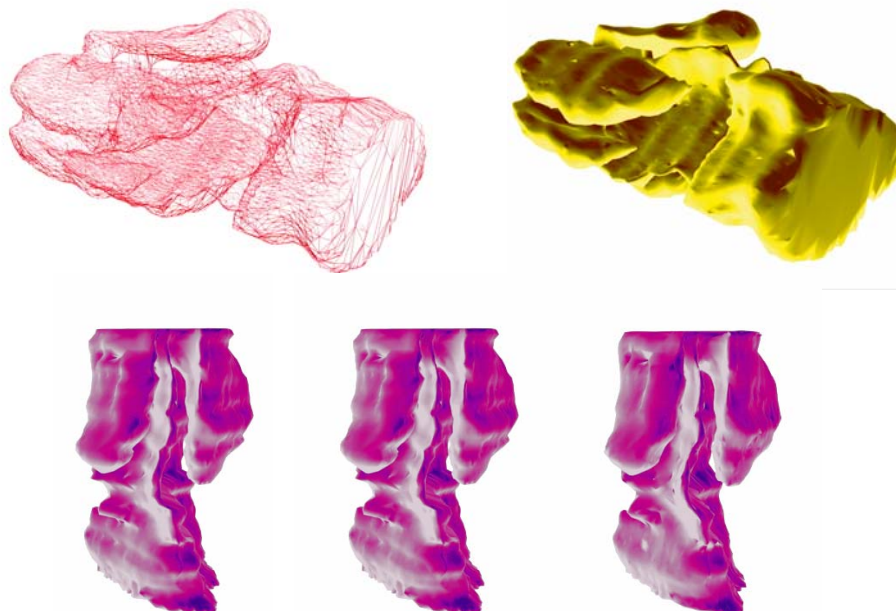


Рис.3. Обробка поверхні каркасної моделі (по матеріалах М.А.Машталір).

Етап 8. Створення кінцевої моделі.

Проводиться в оболонці 3D Studio Max (дуже зручна версія 3.0) для згладжування і корекції отриманого каркаса, створення кінцевої візуалізації моделі і подальшої роботи з нею.

Можливості цієї роботи в програмі 3D Studio Max дозволяють виконати ряд задач, не доступних для рішення без проведення описаної процедури. До таких задач відносяться:

- візуалізація об'єкта в будь-якому ракурсі (з будь-якого боку) (рис.4);

- візуалізація декількох взаємодіючих об'єктів у просторі (рис.5);

- візуалізація внутрішнього вмісту структур, тобто системи об'єктів у внутрішньому просторі даних структур (рис.6);

- вимір абсолютних і відносних параметрів об'єктів незалежно від їхньої площинної орієнтації;

- представлення хронологічних або циклічних змін об'єктів в об'ємі (просторі).

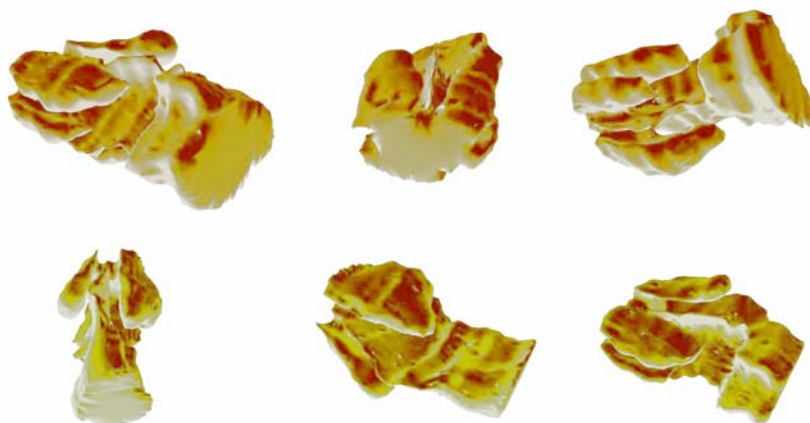


Рис.4. Візуалізація об'єкта в різних ракурсах (по матеріалах М.А.Машталір).

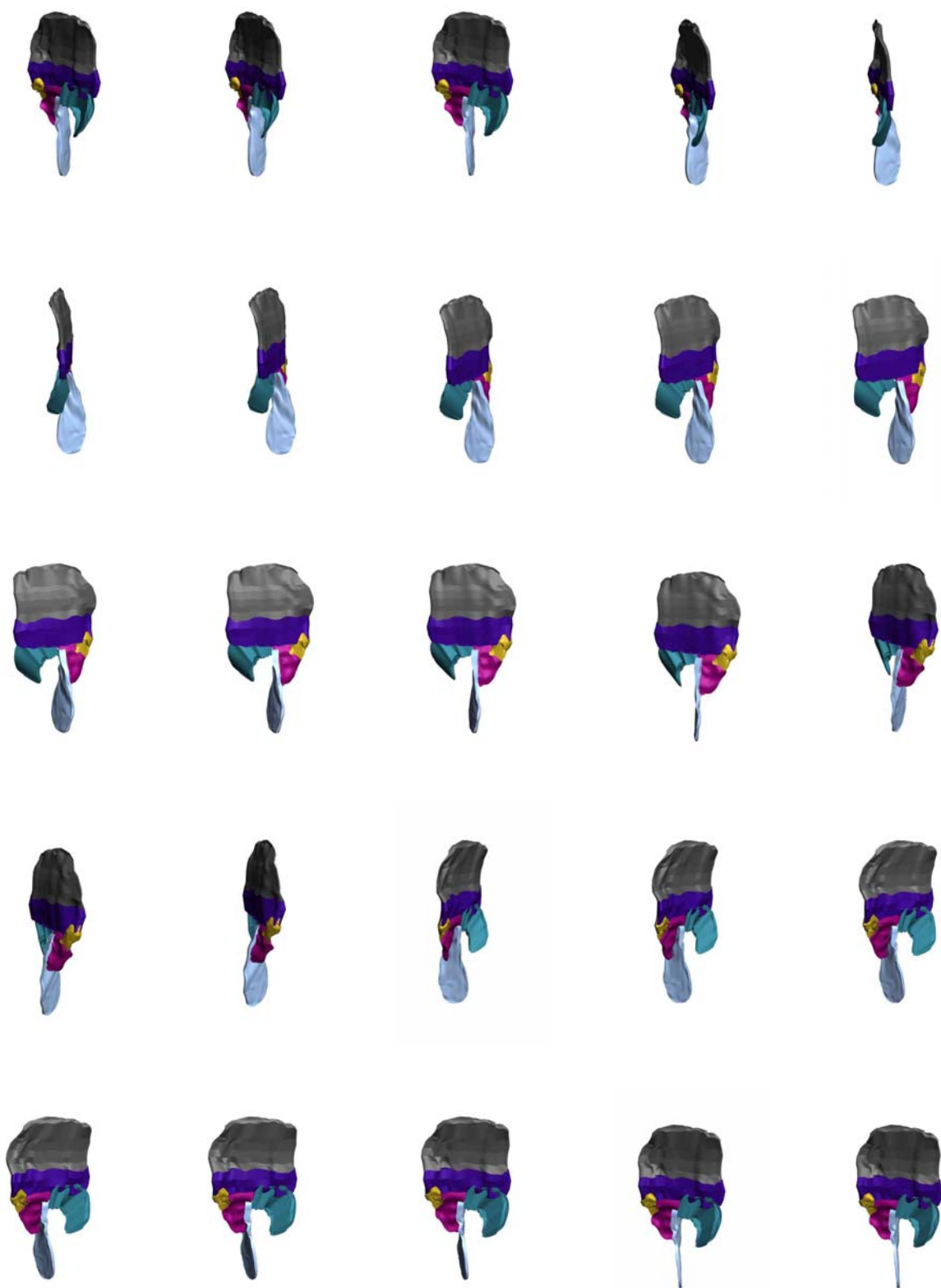


Рис.5. Візуалізація декількох компонентів об'єктів у просторі в різних ракурсах (реконструкція частин міжпередсердної перегородки на ранніх етапах кардіогенезу – по матеріалах Н.І.Горелової).

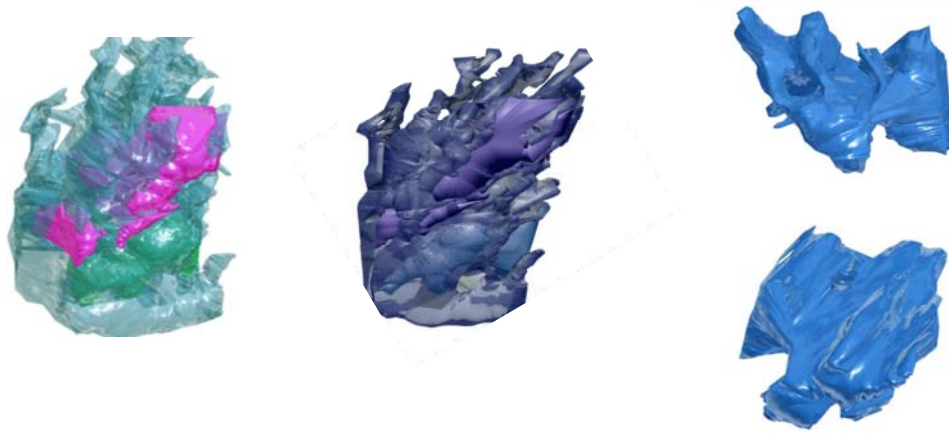


Рис.6. Візуалізація і диференційоване опрацювання внутрішніх структур об'єктів (по матеріалах Ю.В.Сілкиної).

Таким чином, опрацювання серій площинних зображень, отриманих за допомогою різних видів світлової й електронної мікроскопії, дозволяє реа-

лізувати описану процедуру для просторової реконструкції біологічних об'єктів на органному, тканинному, клітинному і субклітинному рівнях.

Твердохлеб И.В. Пространственная реконструкция биологических объектов с помощью компьютерного моделирования.

Резюме. В работе представлена процедура пространственного моделирования анизотропных биологических объектов на органном, тканевом, клеточном и субклеточном уровнях. Дана общая характеристика основных этапов процедуры: подготовка серии срезов, микрофотосъемка, предварительное создание контуров, конвертация изображений, обработка и выравнивание серийных контурных изображений, создание трехмерного каркаса (первичной модели), цветовая и (или) фактурная обработка файлов трехмерного каркаса, создание окончательной модели. Описаны основные задачи, которые решаются при осуществлении компьютерного моделирования.

Ключевые слова: биологические объекты, трехмерная реконструкция, компьютерное моделирование.