

© Олійник І.Ю., Корнійчук О.В., Лаврів Л.П., Бернік Н.В., 2011

УДК 611:004.9

СПОСІБ ТРИВИМІРНОГО РЕКОНСТРУЮВАННЯ ОРГАНІВ ТА СТРУКТУР

І.Ю.Олійник, О.В.Корнійчук, Л.П.Лаврів, Н.В.Бернік

Буковинський державний медичний університет, м. Чернівці

Резюме. Запропоновано спосіб побудови тривимірного зображення органів та структур (комп'ютерне 3-D реконструювання) шляхом використання серії цифрових макрофотографій послідовних анатомічних зрізів.

Ключові слова: біологічні (анатомічні) об'єкти, тривимірне реконструювання, комп'ютерне моделювання.

Ще донедавна уявлення морфологів про просторову організацію біологічних макрооб'єктів ґрунтувалися на здійсненні двох принципово різних підходів. Перший з них допускав створення тривимірної моделі об'єкта або декількох об'єктів на основі графічного та пластичного реконструювання (Н.Г.Туркевич, 1967). Реконструювання мікроскопічних об'єктів сукупно базується на проекції та замальовуванні збільшеного гістологічного зображення анатомічних структур на папір або воскові пластини із застосуванням всієї серії гістологічних зрізів. У зв'язку зі збільшенням розмірів органів та структур у пренатальному періоді ці методики мають певні вікові обмеження, оскільки зі збільшенням пренатального віку об'єкта дослідження гістологічні зрізи за площею починають значно переважати можливості площі предметного скельця. Останнє обмежує графічне та пластичне реконструювання органів та структур навіть наприкінці передплодового періоду.

Другий принцип реконструювання об'ємних взаємовідношень анатомічних структур, обґрунтований і розвинутий у рамках стереології, ґрунтується на статистичних методах і потребує виконання двох умов, що різко обмежують можливості самої реконструкції. По-перше, досліджувана структура має бути значного об'єму, тобто її характеристики повинні бути

однаковими у всьому об'ємі тканини або клітини. По-друге, потрібна однозначна відповідність характеристик площинних (двовимірних) зразків і об'ємних (тривимірних) структур. Тому 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'ємі. Наприклад, виходячи із 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" [1].

При аналізі цих і багатьох інших положень другого (стереологічного) принципу реконструювання стає відчутнішим 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 первинного завдання реконструювання – визначення просторової організації об'єктів як таких [1]. Отже, другий принцип реконструювання не зміг замінити першого.

З появою технічних можливостей комп'ютерного 3-D реконструювання анатомічних об'єктів (серця [2], печінки, нирки, надниркової залози [3], нижньої щелепи [4]) в ранньому періоді ембріогенезу виникла необхідність у цифровій мікрофотографії серії гістологічних зрізів [5]. Зі збільшенням віку об'єктів дослідження застосування цифрової мікрофотографії серії гістологічних зрізів для 3-D реконструювання втрачає свою актуальність, тому доцільно застосувати метод цифрової макрофотографії серії послідовних зрізів в одній із площин.

Аналогом нашого способу є дослідження В.Н.Круцяка и др. [6], які для дослідження особливостей і взаємовідношень анатомічних структур на ранніх стадіях розвитку зародка використовували метод пластичного реконструювання. Після вивчення гістологічної серії під контролем мікроскопа відбирають і підраховують кількість зрізів, необхідних для роботи. За допомогою мікропроекційного апарата при певному збільшенні олівцем переносять контури зрізів на воскові пластини. Контури зрізів вирізають, моделі зрізів послідовно накладають одну на другу. При цьому необхідно слідкувати за точністю їх зіставлення. Щоб зберегти міцність воскових моделей, їх закріплюють металевими шпильками, після чого проводять остаточне моделювання. Недоліком способу-аналогу є те, що для одержання об'ємного зображення анатомічних об'єктів необхідні велика затрата часу, тривалий контакт дослідника з випарами рідкої суміші воску з парафіном під час виготовлення воскових пластин, а також використання допоміжних матеріалів.

Прототипом нашого способу є пристрій Г.Г.Фішера [7] для фотографування анатомічних структур з метою виготовлення стереопар. Фотоапарат закріплений на штативі, який розміщується вздовж певного відрізка периметра кола, в центрі якого знаходиться анатомічний об'єкт, що наближає процес фотографування до умов акомодатції очей при розгляданні об'єктів на близькій відстані. Точність вимірювання становить 0,10. Недоліком прототипу є те, що за допомогою пристрою при фотографуванні анатомічних структур не можна точно відобразити архітектоніку поверхні макропрепарату та отримати його тривимірне зображення.

В основу нашого способу поставлено зада-

чу забезпечення точності відображення архітектоніки поверхні зрізів макропрепарату при фотографуванні з подальшим його комп'ютерним 3-D реконструюванням. Для цього використовуємо авторський (посвід. на рац. пропоз. № 85/10, БДМУ) пристрій для фотографування макроскопічних зрізів анатомічних об'єктів (рис. 1) з метою їх 3-D реконструювання. З його допомогою досягається зближення об'єктива цифрової камери (фотоапарату) з площиною анатомічного зрізу макропрепарату (з метою отримання його макрофотографії) на крок, рівноцінний наступній товщині анатомічного зрізу макропрепарату (рис 2). Фотографування здійснюємо при дотриманні єдиного для всієї серії зрізів кінцевого збільшення. Надалі серію знімків сегментуємо і створюємо контрастний робочий контур підданих реконструкції макроструктур завтовшки до 1 пікселя на всіх цифрових зображеннях (за допомогою стандартного графічного редактора, наприклад, Adobe Photoshop). Конвертуємо всі зображення за допомогою програми Convert – програми перетворення серії файлів зображень – для підготовки відповідних наборів зображень з метою подальшого використання в програмних пакетах sEM Align і IGL Trace. Проводимо оброблення та вирівнювання серійних контурних зображень за допомогою програми sEM Align для впорядкування контурів зрізів за порядковими номерами (від першого до останнього) і вирівнювання контурів за контрольними мітками, що належать рівнобіжним прямим, зорієнтованим у просторі перпендикулярно площинам зрізів. Створюємо первинну модель тривимірного каркасу в оболонці програми IGL Trace (версія 1.26b), призначеної для ідентифікації, оброблення, вимірювання і просторового реконструювання об'єкта або декількох об'єктів за рахунок формування просторової моделі (рис. 3), не доступної при звичайному розгляді площинних контурів, але відтвореної на підставі їхнього програмного оброблення.

Наступним етапом є фактурне та колірне оброблення файла тривимірного каркасу за допомогою програмного пакета MergeWRL, що дозволяє додавати визначені візуалізаційні властивості поверхням каркасних моделей (рис. 4). Використовувана нами версія VRML 1.0 вдало працює з електронним матеріалом з IGL

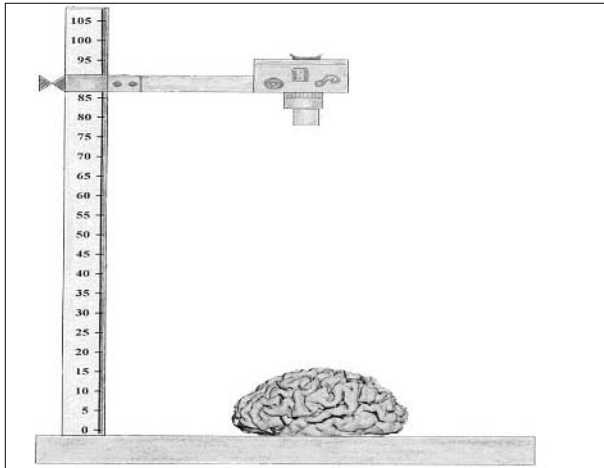


Рис. 1. Пристрій для фотографування анатомічних зрізів для 3-D реконструювання.



Рис. 2. Серія анатомічних зрізів головного мозку.

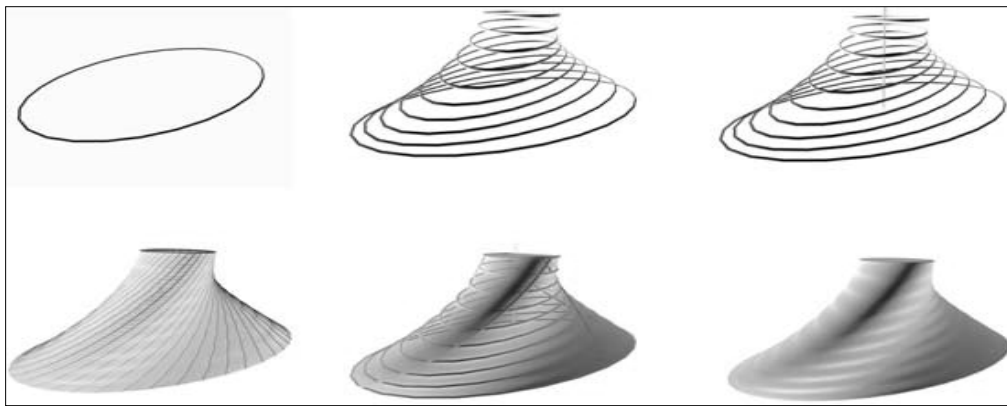


Рис. 3. Схема формування тривимірного каркасу [1].

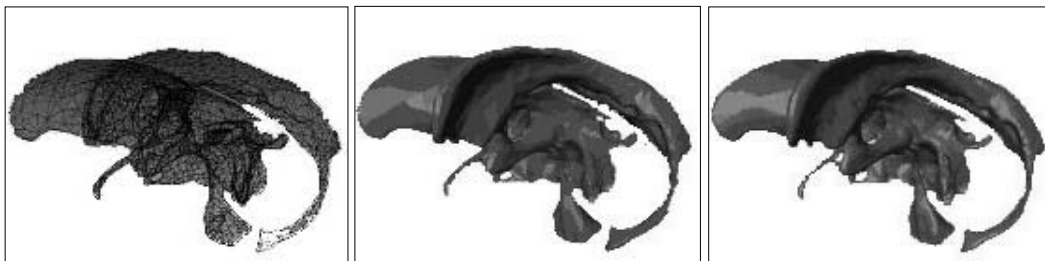


Рис. 4. Оброблення поверхні каркасної моделі.

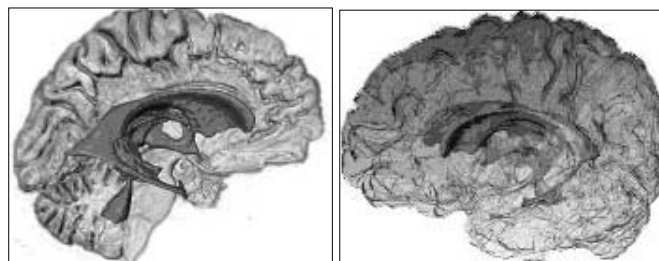


Рис. 5. Візуалізація декількох взаємодіючих об'єктів.

Trase (прийнятне виконання роботи на інших типах .wrl файлів сумнівно) для експорту в завершальний програмний пакет 3D Max. Створюємо кінцеву модель у програмному пакеті 3D

Max (для згладжування і корекції отриманого каркаса, створення кінцевої візуалізації моделі і подальшої роботи з нею). Можливості цієї роботи в програмі 3D Max дозволяють виконати

низку задач, не доступних для вирішення без проведення описаної процедури. До таких задач відносяться: візуалізація об'єкта в будь-якому ракурсі (з будь-якого боку); візуалізація декількох взаємодіючих об'єктів у просторі (рис. 5); візуалізація внутрішнього вмісту структур, тобто системи об'єктів у внутрішньому просторі даних структур; вимірювання абсолютних і відносних параметрів незалежно від площинної орієнтації об'єкта; представлення хронологічних або циклічних змін об'єктів у просторі.

Висновки. 1. Запропонований спосіб дозволяє моделювати тривимірне зображення органів та структур шляхом макрофотографування серії послідовних зрізів з подальшим 3-D комп'ютерним реконструюванням. 2. Авторський спосіб знімає певні вікові обмеження щодо можливості реконструювання органів та струк-

тур у пренатальному періоді онтогенезу, оскільки не потребує серії гістологічних зрізів, які зі збільшенням пренатального віку об'єкта дослідження за площею починають значно переважати можливості площі предметного скельця, яке застосовується при виготовленні серійних гістологічних зрізів. 3. Даний спосіб придатний для анатоמו-ембріологічних досліджень органів і структур з метою отримання їх тривимірних комп'ютерних моделей наприкінці передплодового та в плодovому періодах, а також у постнатальному періоді онтогенезу. 4. Використання сучасних інформаційних технологій дозволяє отримувати нову інформацію про об'єкт дослідження, здійснювати моделювання анатомічних об'єктів зі збереженням істинних розмірів і форм, проводити комп'ютерну діагностику в 3-D режимі і нагромаджувати інформацію про їх біорозмаїття.

Література

1. Твердохліб І.В. Просторова реконструкція біологічних об'єктів за допомогою комп'ютерного моделювання [Електронний ресурс] / І.В.Твердохліб // Морфологія. – 2007. – Т. 1, № 1. – С. 135-139. – Режим доступу до ж.: <http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/Morphology/>.
2. Потоцкая О.Ю. Трёхмерное компьютерное моделирование проэктикарда птиц на этапах эмбриогенеза [Електронний ресурс] / О.Ю.Потоцкая // Морфологія. – 2007. – Т. III, № 2. – С. 47-54. – Режим доступу до ж.: <http://www.nbuv.gov.ua/e-journals/Morphology/>.
3. Овчаренко В.В. Трёхмерная реконструкция надпочечников по серийным срезам / В.В.Овчаренко, А.А.Алиева, А.В.Мелещенко // Морфологія. – 2009. – Т. 136, № 4. – С. 108.
4. Михтафутдинова Г.Р. Моделирование формы нижней челюсти по данным анатомического и компьютерно-томографического исследования / Г.Р.Михтафутдинова, А.Е.Стрижков // Морфологія. – 2008. – Т. 133, № 2. – С. 89.
5. Сілкіна Ю.В. Використання методу тривимірної реконструкції в морфології / Ю.В.Сілкіна, Н.І.Горелова // Карповські читання: матер. І наук. конф. – Дніпропетровськ: Пороги, 2004. – С. 43-44.
6. Круцяк В.Н. Графические и пластические реконструкции в изучении развития и становления топографии органов в пренатальном периоде онтогенеза человека / В.Н.Круцяк, Ю.Т.Ахтемийчук, В.Н.Ватаман [и др.] // Эмбриогенез и сравн. анат. орг. и систем. – Минск, 1986. – С. 18-23.
7. Фишер Г.Г. Роль стереофотографии и стереорентгенографии при изучении, документировании исследований центральной и периферической нервной системы / Г.Г.Фишер // I-я Белорус. конф. анат., гистол., эмбриол. и топографoанатомов: матер. конф. – Минск, 1957. – С. 17-18.

СПОСОБ ТРЕХМЕРНОГО РЕКОНСТРУИРОВАНИЯ ОРГАНОВ И СТРУКТУР

Резюме. Предложен способ построения трёхмерного изображения органов и структур (компьютерное 3-D реконструирование) путём использования серии цифровых макрофотографий последовательных анатомических срезов.

Ключевые слова: биологические (анатомические) объекты, трёхмерное реконструирование, компьютерное моделирование.

A METHOD OF THREE-DIMENSIONAL RECONSTRUCTION OF ORGANS AND STRUCTURES

Abstract. The authors have proposed a method of constructing a three-dimensional image of organs and structures (computer 3D reconstruction) by way of using a series digital macrophotographies of sequenced anatomical sections.

Key words: biological (anatomical) objects, three-dimensional reconstruction, computer modeling.

Bukovinian State Medical University (Chernivtsi)

Надійшла 16.12.2010 р.