

Виртуална антропология

Изучаване на човешкото тяло във виртуалното пространство

Силвия Николова

Физическата антропология е науката, чрез която хората изучават своята еволюция, анатомия и физиология. „Самоопознаването“ е непрекъснат процес на търсене на основните принципи в строежа и функционирането на човешкото тяло на различни нива на организация – молекулно,

клетъчно, тъканно, органно и т.н. Независимо дали изследванията се извършват на микро- или макроскопско ниво, обикновено те включват снемане на множество разнообразни параметри, които по своя характер могат да бъдат описателни, морфометрични и функционални, върху статистически представителни извадки от индивиди, групирани по даден признак. Това позволява да се наложи т.нар. „канон“ за човешкото

Съвременните технологии за дигитализация и негеструктивна тримерна визуализация позволяват прецизно пренасяне на реални физически обекти във виртуална компютърна среда. Това дава възможност за бърза обработка на големи масиви от данни чрез множество изчисления, анализиране на различни параметри и извеждане на закономерности. Възможността за изучаване на човешкото тяло чрез виртуалната антропология отваря нови перспективи отвъд ограниченията на физическия свят и възможностите на човешкия мозък.

тяло и неговата физиология, и съответно да се разграничат и систематизират отклоненията от така приетите норми.

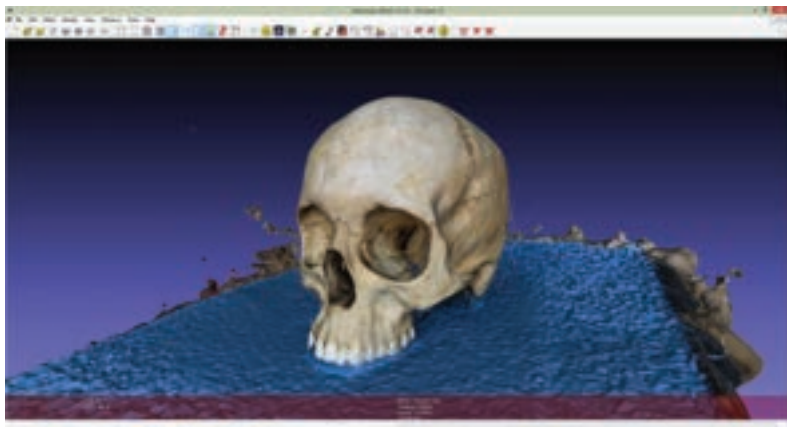
До неотдавна морфологичното изследването на даден обект е било неизменно обвързано с физическата наличност на реалния обект. Бързото развитие на

технологиите за негеструктивни изследвания обаче отваря нова епоха в областта на физическата антропология с изцяло нови перспективи и позволява изследването на човешкото тяло, във всичките му аспекти, да бъде пренесено от физическата реалност във виртуалния свят и това носи забележителни резултати.

Началото е поставено през 1991 г. с откритието на естествено мумифицирано-

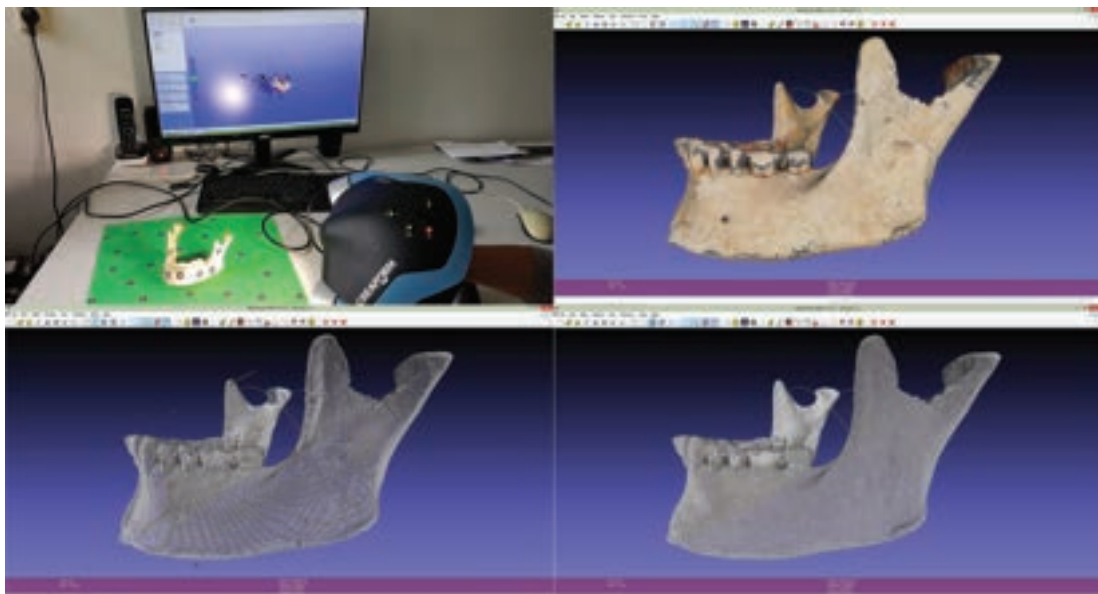
мо тяло на Тиролския
леген човек, наречен
Йотци (Ötzi) и дати-
ран от преди 5300 г. В
Късния Неолит. Учени-
те, участвали в изслед-
ването на Йотци, въ-
веждат термина „вир-
туална антропология“
като мултидисципли-
нарен подход, комби-
ниращ знания от свър-
зани научни области
като антропология,
палеонтология, при-
матология, медицина,

математика, статистика, информационни
технологии, визуализация и индустриален
дизайн. Виртуалната антропология се за-
ражда едновременно с революцията в раз-
витието на персоналните компютри, тъй
като се основава на математически и ста-
тистически методи и подходи, които не
биха били възможни без бързата електронна
обработка на огромно количество данни.

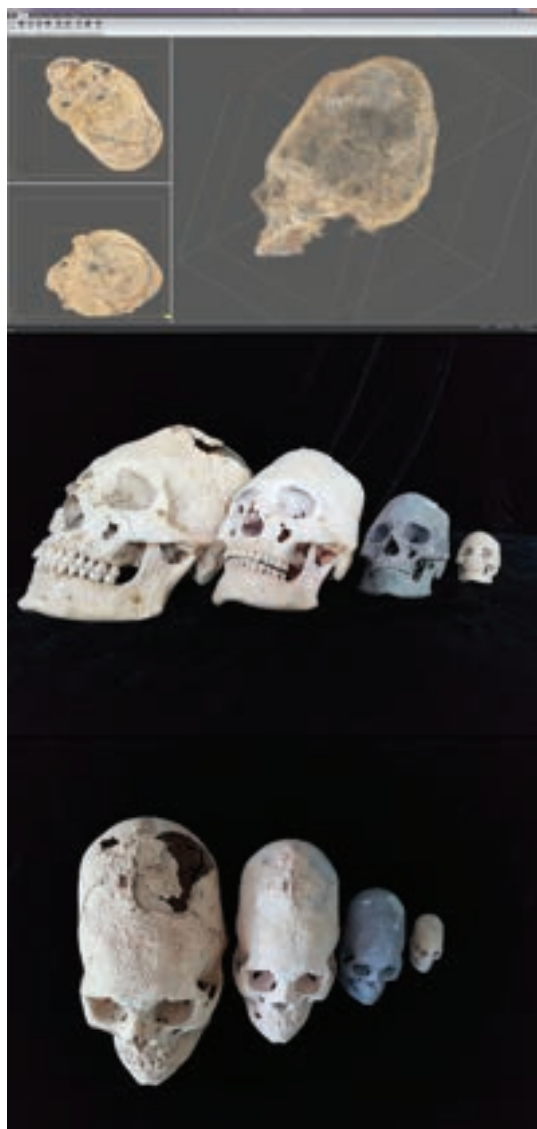


Повърхностен тримерен модел на череп, изграден чрез фотограметрия

Основен и най-важен елемент обаче е ново-
то ниво на абстракция, което се въвежда в
антропологията. Така виртуалната антро-
пология изучава анатомични особености
при съвременните хора, техните предше-
ственици и близкородствени видове в три
или четири измерения (пространство или
пространство-време). По такъв начин ста-
ва възможно негеструктивното изследване



Сканиране на долночелюстна кост с лазерен скенер и изграждане на повърхностен тримерен модел. Отляво надясно: сканиране; изграден тримерен модел с текстура; облак от точки; мрежа от триъгълници



Триммерно принтиране на череп с преднамерена изкуствена деформация; Отгоре надолу: подготовка на модела за триммерно принтиране; реалният череп заедно с модели, принтирани в различен мащаб и с различна текстура; запълнен липсващ фрагмент от реалния череп върху принтираните модели

и съхраняване на ценни и често крехки фосили, праисторически и мумифицирани човешки костни останки, както и на т.нар. „скрити структури“ като мозъчната кухня, синусите и др. Виртуалната лаборатория

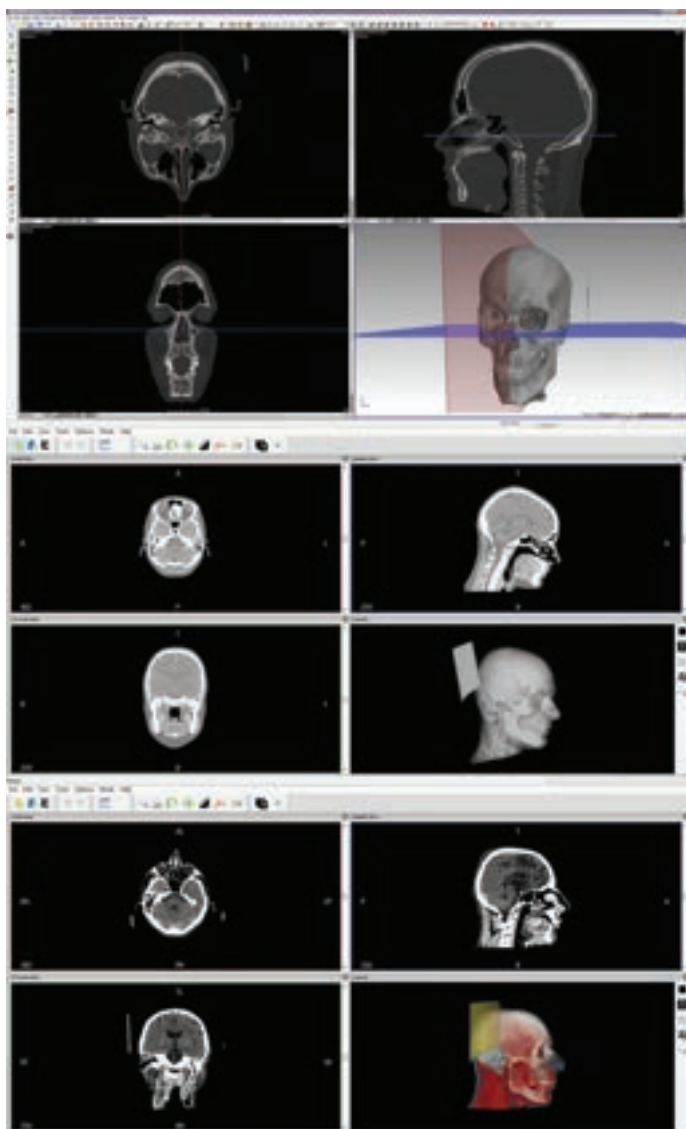
прави възможни напълно различни видове манипулации и анализи, отвъд ограничеността на физическия свят и възможностите на човешкия мозък. Това далеч не означава, че технологиите и машините могат сами да отговорят на нашите въпроси и научни търсения. Смислената интерпретация на получените резултати, очертаването на основни тенденции и формулирането на заключения остават територия на опитния експерт, но тяхната обосновка е подобрена, чрез повишената обективност и повтаряемост на използваните данни и методи.

Успешната реализация на разнородните проекти в областта на виртуалната антропология почива на интензивното сътрудничество между много различни научни дисциплини. Научно-изследователските въпроси най-често възникват в областта на медицината, анатомията и свързани биологични дисциплини като палеонтология, зоология и сравнителна анатомия. За да отговорим на въпросите и да решим проблемите, произтичащи от геометрията на „органичния свят“, е необходим голям принос от „техническия свят“. Сканирането пренася реалния обект в компютърна среда. Математиката и статистиката осигуряват алгоритмите и средствата за анализ на органичната форма, а тяхната реализация в научни софтуери в областта на приложните компютърни науки е от съществено значение. Физиката участва в получаването на данните като управлява машините, които използват. Биомеханичното моделиране и проследяване на движението, и двете с нарастващо значение в биологичните науки, зависят от прецизната примерна геометрия. Накрая, бързото прототипиране, или индустриалният подход за получаване на реални модели от цифрови данни силно подобрява визуализацията в биологията и медицината, а по такъв начин и цялостното обучение и научна работа.

Във виртуалната антропология са обобщени шест операционни области: гизтализация, разкриване, сравнение, реконструиране, материализиране и споделяне.

Дигитализацията представлява съвкупност от методи, с помощта на които реалният обект преминава към виртуален такъв. Следваща стъпка е *разкриването*, което включва методите, които ни позволяват да погледнем вътре в обектите и да отделим различни структури. *Сравнението* се основава главно на методи от геометричната морфометрия, която позволява количествени сравнения на очертанията и формите. *Реконструирането* се занимава с възможността за възпроизводимо представяне на формата на деформирани или липсващи части от обекта. *Материализирането* е процес, противоположен на дигитализацията, т.е. връщане на обекта обратно към реалността и включва различни технологии за примерно принтиране. Последната стъпка, *споделянето* е възможността за сътрудничество чрез електронен трансфер на информация.

В зависимост от използваната технология за дигитализация, генерираните изображения имат различни предимства и недостатъци, които все още е трудно да бъдат ясно дефинирани. Дигиталните изображения могат да бъдат двумерни, например цифрова рентгенографска снимка, и тримерни. Двумерното изображение представлява проекция на обекта в двумерното пространство, докато тримерното изображение съдържа информация за разположението му едновременно по x, y и z осите на координатната система. Тримерните модели сами по себе си са различни в зависимост от технологията, използвана за тях-



Обемни тримерни изображения на глава, получени чрез сканиране с компютърна томография. Едновременно визуализация на двумерни сечения в трите взаимноперпендикулярни равнини (трансверзална, сагитална и коронална) и тримерна реконструкция на главата. В примерите е избрано тримерната реконструкция да визуализира само костната тъкан т.е. черепа, или черепа едновременно с кожата, т.нар. „прозрачен“ режим

ното генериране. При сканиране с устройства, улавящи повърхността на обекта, се запазва информация за разположението му в тримерното пространство и евентуално за текстурата му. Такива модели услов-



Тримерна реконструкция на глава и визуализация на избрани структури в различни режими. Отляво надясно: костна тъкан (череп); въздухоносни пътища; меки тъкани и кожа I; меки тъкани и кожа II

но са означени като „повърхностни“, тъй като отразяват повърхността на обекта. Сканирането с устройства, използващи различни видове проникващи вълни, позволява генерирането на примерни изображения, съдържащи информация и за вътрешната структура на обекта и са условно означени като „обемни“.

Повърхностните примерни изображения се изграждат чрез използване на разнообразни технологии и методи. Фотограмметрията например позволява изграждането на примерен модел на базата на серия от последователни двумерни изображения на обекта, заснети под различен ъгъл. Повърхностното примерно сканиране се основава на излъчването, отразяването и регистрирането на светлина от сканиращото устройство, при което се улавя геометрията на физическия обект чрез стотици хиляди

измервания. В зависимост от светлинния източник скенерите могат да бъдат лазерни и такива, използващи структурирана светлина, а според принципа на работа - на работещи чрез тригонометрична триангулация, импулсни (пулсови) и фазови. Освен това скенерите могат да бъдат подвижни или стационарни, с различна разделителна способност и съответно подходящи за сканиране на различни по големина обекти. В процеса на сканиране се снимат координати на множество точки от повърхността на обекта. Координати могат да се снимат и от устройства чрез директен допир до обекта. По такъв начин се изгражда облак от точки. Чрез свързване на точките с

триъгълници се изгражда мрежа от триъгълници, които описват повърхността на обекта (т.нар. полигонален модел). Повърхностните примерни изображения намират широко приложение за документация на палеоантропологични находки, за сравнителни анализи и експертизи, дигитализация на културно наследство и изграждане на модели за примерно принтиране.

Обемните примерни изображения позволяват да се извлече максимална информация за обекта и неговата вътрешна структура. Те дават възможност за едновременно визуализация на примерния обект и множество двумерни сечения през него във всяка една от трите взаимноперпендикулярни равнини. Освен това различията в плътността на тъканите на човешкото тяло позволяват сегментация и визуализация на избрани тъкани и системи. По такъв начин можем

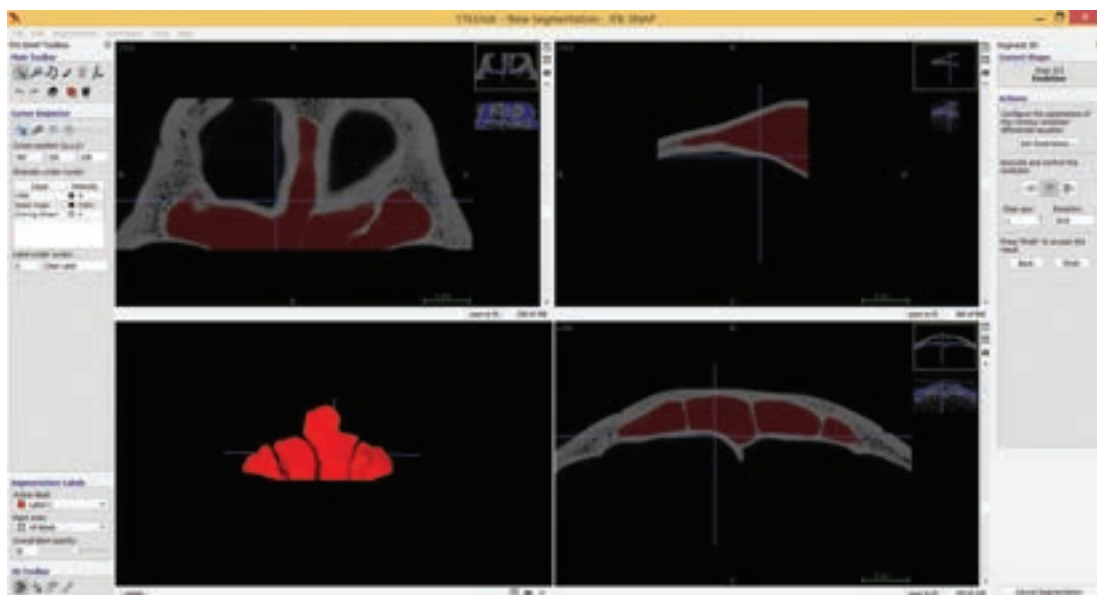
да разгледаме вътрешната структура на тялото в избрани от нас области и сечения. Основен принцип за генериране на обемни примерни изображения е томографията – набор от срезове (изображения), получени чрез използването на различни видове проникващи вълни. Така например при компютърната томография се използват рентгенови лъчи, ядрено-магнитният резонанс използва магнитни полета, а позитрон-емисионната томография – позитрон-електронна емисия. В последствие чрез прилагане на разработени математически алгоритми и при избрани параметри се изгражда обемна реконструкция на обекта. Изборът на дадена технология за визуализация зависи изцяло от целта на изследването. Компютърната томография е подходяща за визуализация на по-плътни структури, като костите в човешкото тяло. Ядрено-магнитният резонанс се използва за изследване на меките тъкани, а позитрон-емисионна томография за онагледяване на метаболитните процеси в тялото. Използването на радиоактивни вещества също подобрява визуализацията на избрани структури, например кръвоносните съдове, и улеснява тяхната сегментация. Обемните примерни изображения дават възможност за визуализация и сегментация и на „скрити структури“, например околоносните синуси.

Образната диагностика е широко използван метод в медицината, чрез която се натрупват огромни масиви от информация, организирани в бази данни към съответните медицински лечебни заведения и университети. Бързо се развива и визуално-навигираната виртуална аутопсия (virtopsy), която представлява посмъртна документация чрез сканиране на жертви на престъпления, инциденти и природни бедствия от различен характер в съдебно-медицински и съдебно-антропологичен контекст. Тя е неинвазивна, недеструктивна и е единствената опция, когато реалната аутопсия е невъзможна по дадени причини, например религиозни. Виртуалната аутопсия има всички предимства на работата с пример-

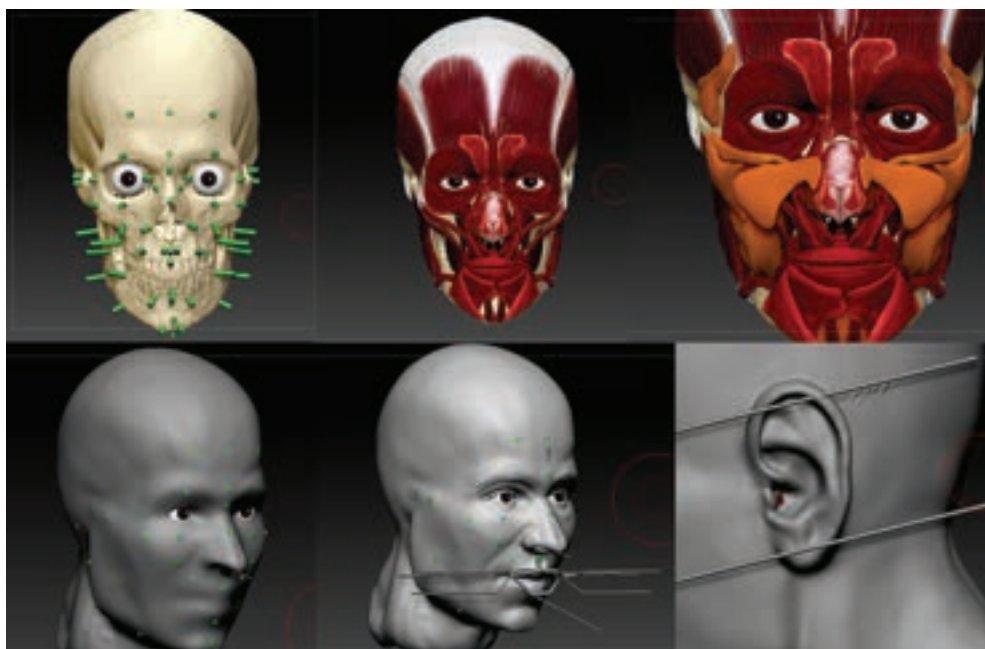
ни изображения - трайност, повторимост, възможност за споделяне на данните между специалисти от различни области. Тя дава възможност за по-обективни изследвания и води до качествени подобрения в съдебната медицина. Допринася за максимално точна експертиза при конкретни казуси за идентификация на самоличност, но дава и възможност за провеждане на емпирични



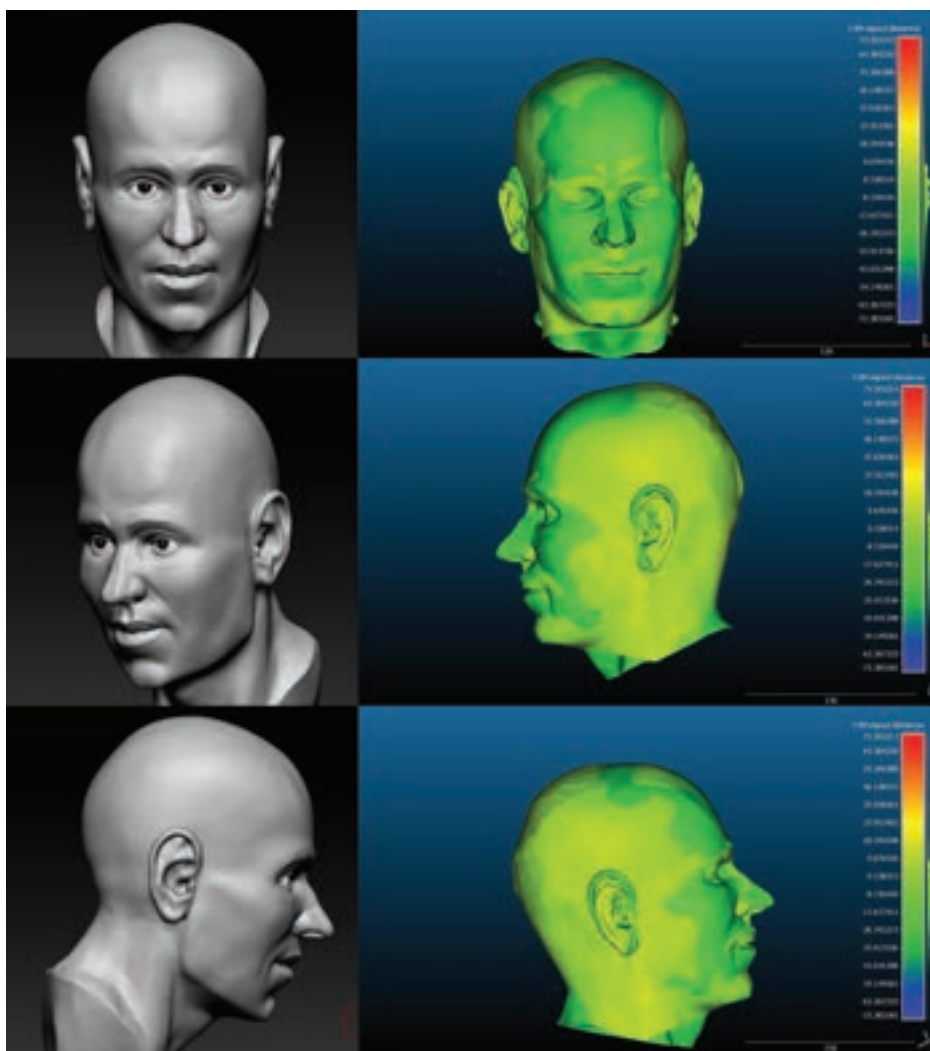
Използване на радиоактивно вещество за по-добра визуализация при изследване на кръвоносната система



Сегментация на челния синус и генериране на виртуална отливка на кухината



Етапи от виртуална реконструкция на меките тъкани по черепа. Отляво надясно: череп с позиционирани в дефинирани анатомични точки репери с необходима височина и очни ябълки; моделирани мускули на лицето; поставяне на мастните депа; покриване с кожа; моделиране на устните; оформяне на ушната мида



Сравняване на реконструкцията (в тъмно зелено) с реалния индивид (в жълто) чрез наслагване на двата тримерни модела. Отляво надясно: фронтален изглед; ляв профил; десен профил

изследвания за валидиране и/или подобряване на съществуващите методи и въвеждане на нови методик. Виртуалната аутопсия води до натрупването на огромни бази данни от посмъртни изображения, които са съпоставими с потенциално налични приживе записи от образна диагностика, а това дава възможност за сравнение на изображения, получени чрез различни методи за дву- и тримерна визуализация, например рентгенография и компютърна томогра-

фия, компютърна томография и ядрено-магнитен резонанс и др. Използването за научноизследователски цели на масивите от данни, натрупани чрез образна диагностика и виртуална аутопсия, отваря ново поле за изследвания в областта на биомедицината поради възможността анализите да се извършват върху статистически представителни извадки от съвременно население, с известни пол, възраст и клиничен статус.

Основен недостатък на изображенията от образна диагностика на пациенти е ниската разделителна способност, която е следствие на занижените дози на радиация и късите експозиции. Възможността за използване на генерираните бази от данни стимулира разработването и прилагането на математически подходи и алгоритми за обработка на изображенията с цел подобряване на качеството, увеличаване на резолюцията и последваща прецизна сегментация на избрани структури. Освен това организацията им посредством адекватни онтологии позволява прилагането на подходи от биоинформатиката, машинното обучение, извличане на закономерности от данни и използването на изкуствени невронни мрежи за решаване на различно поставени задачи от областта.

Възстановяването на меките тъкани по черепа е особено атрактивен подход в палеоантропологията, който позволява визуализация на лица на хора от миналото и на исторически личности. Реконструкцията е пресечна точка на науката с изкуството и е все още спорно до каква степен на „реалистичност“ може да се достигне, следвайки научно установени общи закономерности.

Възстановката се основава на взаимоотношението между меките тъкани и характеристиките на подлежащите кости на черепа и се базира на данните за дебелините на меките тъкани в определени стандартни точки и на анатомично определени правила за точно позициониране на очите, ушите, носа и устата. Стандартно реконструкцията се извършва чрез наслагване на глина или леплив восък върху черепа или негово копие и последващото ѝ „творческо“ моделиране. За сравнение се използват снимки на индивида приживе, ако са налични такива. Съвременните технологии позволяват реконструкцията да се извърши изцяло във виртуалното пространство, като с еднакъв успех може да се приложи както върху дигитализиран мацериран череп от разкопки, така и върху череп, сегментиран от образна диагностика на жив индивид. Въз-



Силвия Николова е главен асистент в секция „Антропология и анатомия“ на Института по експериментална морфология, патология и антропология с музей на БАН. Тя завършва Биологическия факултет на СУ „Св. Кл. Охридски“ през 2005 г., а през 2010 г. защитава дисертационен труд по антропология. Научно-изследователската ѝ дейност е насочена към палеоантропологията, остеологията, изследването на анатомични вариации, съдебната антропология, виртуалната антропология, включително методи за примерна дигитализация и работа с примерни изображения.

можността за реконструиране на лица на съвременни индивиди и тяхната последваща верификация дава възможност за реална оценка на точността на метода и приложимостта му в съдебно-медицинската практика за идентификация на декомпозирани човешки останки на съвременни индивиди.

Виртуалната антропология е ново интердисциплинарно направление с огромен потенциал за иновативни изследвания в областта на биомедицината чрез прилагането на комплексни методи и подходи от разнородни научни области. Работата в това направление иницира множество сътрудничества и води до формиране на интердисциплинарни екипи от специалисти в различни области и технологии, които търсят обективни отговори на все още многото отворени въпроси за човешкото тяло, неговото фило- и онтогенетично развитие, физиологията и морфологията му в норма и патология. ■

НОВИНИ ОТ НАУКАТА

Нов рекорд при прелетните насекоми



Доскоро се приемаше, че световен рекордър между насекомите, извършващ най-дълги ежегодни сезонни прелети (миграции) е американската пеперуда Монарх (*Danaus plexippus*). Тя обитава през летните месеци Северна Америка, главно района на Скалистите планини, но през есента мигрира на юг и прекарва зимата основно във Флорида и Северно Мексико. Разстоянието, което пеперудата Монарх изминава всяка есен само в едната посока, е от 5000 до около 10 000 км. А на следващата пролет нейното поколение, излюпено в южните и централни райони на Северна Америка, извършва обратния прелет до родните места на своите предшественици.

В последните години се появиха научни съобщения, че друг представител на пеперудите, известен в ентомологичната литература с научното име *Vanessa cardui*, извършва значително по-дълги ежегодни прелети от американския Монарх. Ванеса кардуи има много широко разпространение както на Американския, така и на Европейския и Африканския континенти и се счита за една от космополитно разпростране-

ните пеперуди в света. Тя е и една от най-красивите, разпространена и на цялата територия на България, добре позната у нас под името Дяволска пеперуда. Заради красивите ѝ, напръскани с разноцветни петна крила, на английски език тя е получила името *Painted lady butterfly*. Има предпочитания към цветовете на магарешките тръни и често може да се види върху тях.

Според научни съобщения на испански, полски и немски ентомолози, публикувани през последните 2 – 3 години в авторитетните научни списания „*Science News*” (2016, 2018), „*Biology Letters*” (2018) и др., Дяволската пеперуда от различни страни на Южна Европа също извършва есенни миграции на юг към Африканския континент и даже често прекосява и огромната пустиня Сахара. Според ентомолога д-р А. Витце (Dr A. Witze), новоизлюпените африкански поколения на вида се завръщат всяка пролет обратно в Европа, изминавайки разстояние от около 12 000 км. т.е. те ежегодно превишават рекорда на американските пеперуди Монарх с поне 2000 км.

По *Biology Letters* и *Science News*