

УДК 004.352.22

О. Н. РОМАНЮК, М. Д. ЗАХАРЧУК, А. В. СНИГУР, Л.В. КОВАЛЬ Л. Г.

Вінницький національний технічний університет

П. І. МИХАЙЛОВ

CEO 3D GENERATION GmbH

Р. Ю. ЧЕХМЕЙСТРУК

3D GENERATION UA

ВИКОРИСТАННЯ ТРИВИМІРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МАСО-ВАГОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЮДИНИ ПО ЇЇ АНТРОПОМЕТРИЧНИМ ПАРАМЕТРАМ

Тривимірні моделі людини є найреалістичнішими, відображають анатомічну структуру, точно передають рельєфні та кольорові особливості об'єкта, підлягають модифікації для зміни зовнішності. 3D-модель є багатофакторним джерелом інформації про пацієнта, дозволяє істотно знизити необхідний обсяг взаємодії з користувачем порівняно з існуючими методами.

У роботі запропоновано використовувати тривимірне моделювання для визначення масо-вагових характеристик людини по її антропометричних параметрах. Для цього використовують 3D-сканери (боді-сканери для оцифрування тіла), що дає можливість створювати в 3D просторі модель тіла людини на повний зріст, а також окремих частин тіла.

Використання тривимірного моделювання для діагностики має такі переваги: висока оперативність проведення обстеження; висока достовірність діагностики; можливість проведення обстежень пацієнтів у різних позиціях; висока точність вимірювання, можливість архівування, безконтактний метод вимірювання.

Проведено аналіз предметної галузі. Наведено формули для розрахунку індексу маси тіла, об'єму тіла, відсотку жиру в організмі, площі тіла, відсоток підшкірного жиру в тілі на основі вимірян параметрів по тривимірній моделі.

Запропоновано метод визначення площі тіла з використанням полігональної моделі людини шляхом знаходження суми площ складових трикутників.

Запропоновано метод визначення об'єму тіла з використанням тривимірної моделі людини шляхом виконання зрізів горизонтальними площинами. В результаті отримують сегмент тіла. Отриманий верхній зріз триангулюють з метою заміщення сегменту трикутними призмами. Для цього використовують вертикальні площини, які перпендикулярні до основи сегменту. У подальшому знаходять об'єми складових трикутних призм, якими заміщують сегменти. Сума їх об'ємів визначає об'єм сегменту. Для знаходження об'єму тіла людини підсумовують об'єми складових сегментів з урахуванням масштабу.

Проведені дослідження можуть бути використанні в медичній практиці.

Ключові слова: тривимірне моделювання, площа тіла людини, тривимірний сканер, полігональна модель, об'єм тіла людини, ожиріння.

А. Н. РОМАНЮК, М. Д. ЗАХАРЧУК, А. В. СНИГУР, КОВАЛЬ Л. Г.

Вінницький національний технічний університет

П. И. МИХАЙЛОВ

CEO 3D GENERATION GmbH

Р. Ю. ЧЕХМЕЙСТРУК

3D GENERATION UA

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРЕХМЕРНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАСО-ВЕСОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧЕЛОВЕКА ПО ЕГО АНТРОПОМЕТРИЧЕСКИМ ПАРАМЕТРАМ

Трехмерные модели человека являются наиболее реалистическими, отражают анатомическую структуру, точно передают рельефные и цветовые особенности объекта, подлежат модификации для изменения внешности. 3D-модель является многофакторным источником информации о пациенте,

позволяет существенно снизить необходимый объем взаимодействия с пользователем по сравнению с существующими методами.

В работе предложено использовать трехмерное моделирование для определения массо-весовых характеристик человека по его антропометрическим параметрам. Для этого используют 3D-сканеры (боди-сканеры для оцифровки тела), что дает возможность создавать в 3D пространстве модель тела человека в полный рост, а также отдельных частей тела.

Использование трехмерного моделирования для диагностики имеет следующие преимущества: высокая оперативность проведения обследования; высокая достоверность диагностики; возможность проведения обследования пациентов в разных позициях; высокая точность измерения; возможность архивирования; бесконтактный метод измерения.

Проведен анализ предметной области. Приведены формулы для расчета индекса массы тела, объема тела, процента жира в организме, площади тела, процента подкожного жира в теле на основе измеренных параметров по трехмерной модели.

Предложен метод определения площади тела с использованием полигональной модели человека путем нахождения суммы площадей составляющих треугольников.

Предложен метод определения объема тела с использованием трехмерной модели человека путем выполнения срезов горизонтальными плоскостями. В результате получают сегмент тела. Полученный верхний срез триангулируют с целью замещения сегмента треугольными призмами. Для этого используют вертикальные плоскости, которые перпендикулярны к основанию сегмента. В дальнейшем находят объемы составляющих треугольных призм, которыми замещают сегменты. Сумма их объемов определяет объем сегмента. Для нахождения объема тела человека суммируют объемы составляющих сегментов с учетом масштаба.

Проведенные исследования могут быть использованы в медицинской практике.

Ключевые слова: трехмерное моделирование, площадь тела человека, трехмерный сканер, полигональная модель, объем тела человека, ожирение.

O.N. ROMANYUK, M.D. ZAKHARCHUK, A.V. SNIGUR, L.G. KOVAL
Vinnitsa National Technical University
P.I. MYKHAYLOV
CEO 3D Gneration GmbH
R.Y. CHEKHMESTRUK
3D Generation UA

USE OF THREE-DIMENSIONAL SIMULATION TO DETERMINE THE MASSES AND WEIGHT CHARACTERISTICS OF A PERSON WITH ANTHROPOMETRIC PARAMETERS

Three-dimensional human models are the most realistic, reflect an anatomical structure, precisely transmit the relief and color features of the object, are subject to modification to change appearance. The 3D model is a multifactorial source of patient information, it allows to significantly reduce the required volume of interaction with the user compared to existing methods.

The paper proposes to use three-dimensional simulation to determine the mass-weight characteristics of a person by its anthropometric parameters. To do this, use 3D scanners (body scanners for body digitization), which makes it possible to create a human body model in full height, as well as individual parts of the body.

The use of trivist modeling for diagnostics has the following benefits: high operations of the survey; high reliability of diagnosis; the possibility of examining patients in various posters; High accuracy of measurement, archiving capability, contactless measurement method

An analysis of the domain industry has been carried out. The formulas are given to calculate the body weight index, body volume, percentage of fat in the body, body area, percentage of subcutaneous fat in the body based on measuring parameters on a three-dimensional model.

The method of determining the area of the body using a human polygonal model by finding the sum of the areas of components of triangles is proposed.

The method of determining the volume of the body using a three-dimensional model of humans by performing slices by horizontal planes is proposed. As a result, a body segment is obtained. The resulting upper cut is trianged to replace the segment with triangular prisms. To do this, use vertical planes that are perpendicular to

the base of the segment. Subsequently, the volumes of components of the triangular prism are found, which are replaced by segments. The sum of their volumes determines the volume of the segment. To find the volume of human body, the volumes of the components of the segments are summarized.

The studies conducted can be used in medical practice.

Keywords: three-dimensional modeling, Square a person, a three-dimensional scanner, a polygonal model, a person's volume, obesity.

Постановка проблеми

Епідемія ожиріння захоплює світ [1-7]. Прогнози вчених невтішні – в 2025 році четверта частина населення землі може мати надмірну вагу. В Україні вже сьогодні кожен четвертий має ожиріння. Надлишкова вага супроводжується різними захворюваннями, а саме: серцево-судинними, цукровим діабетом II типу, синдромом обструктивного сну, деякими видами раку, остеоартритом, астмою та іншими. Для оцінки ожиріння необхідно визначити ряд параметрів. Тому актуальними є питання оперативного та точного визначення масо-вагових характеристик людини по її антропометричних характеристиках.

Аналіз попередніх досліджень і публікацій

Ожиріння [1-7] – це хронічне рецидивуюче захворювання, яке характеризується надлишковим накопиченням жирової тканини в організмі, обумовлене порушенням обміну речовин. В основі його лежить позитивний енергетичний баланс, тобто надходження енергії з калоріями їжі перевищує енерговитрати.

Основною ознакою ожиріння [1-7] є накопичення жирової тканини в організмі у чоловіків більше 10-15%, у жінок більше 20-25% від маси тіла.

У світі приблизно 640 мільйонів чоловіків та жінок мають надмірну вагу, із них 266 мільйонів – це чоловіки та 375 мільйонів – жінки. Найповнішими виявилися громадяни Китаю та США. Однак, саме Сполучені Штати потрапили на перше місце за кількістю людей, котрі мають високий ступінь ожиріння. В Україні на ожиріння страждає 22,1% населення. Загалом показник ожиріння у країнах Західної Європи коливається від 20 до 24% [3, 6].

Ступінь ожиріння визначається індексом маси тіла (ІМТ) [2]. ІМТ визначається шляхом ділення маси тіла людини (в кг) на зріст (в м²). У таблиці 1 наведено класифікацію ступенів ожиріння.

Таблиця 1

Класифікація ступенів ожиріння

ІМТ	Класифікація
< 18,5	недостатня
18,5–24,9	нормальна
25,0–29,9	надлишкова
30,0–34,9	ожиріння I
35,0–39,9	ожиріння II
≥40,0	ожиріння

Маса органів людини визначається загальною масою людини. Середні показники вказані [6] для людини віком 20 — 30 років, з довжиною тіла 170 см, масою 70 кг і площею тіла 1,8 кв.м. Маса тіла: 70 кг = 100 % маси тіла. М'язи: 30 кг = 43 % маси тіла, скелет без кісткового мозку: 7 кг = 10 % маси тіла, шкіра та підшкірна клітковина: 6,1 кг = 8,7 % маси тіла, кров: 5,4 кг = 7,7 % маси тіла, травний тракт: 2,0 кг = 2,9 % маси тіла, печінка: 1,7 кг = 2,4 % маси тіла, червоний кістковий мозок: 1,5 кг = 2,1 % маси тіла,

обидві легені: 1,0 кг = 1,4 % маси тіла, серце: 0,3 кг = 0,43 % маси тіла, обидві нирки: 0,3 кг = 0,43 % маси тіла, щитоподібна залоза: 0,02 кг = 0,03 % маси тіла, головний мозок: 1,3 кг = 1,8 % маси тіла, селезінка: 0,18 кг = 0,26 % маси тіла.

Площа поверхні тіла людини [9] - ППТ (body surface area - BSA) - морфологічний показник, який використовується у медицині для стандартизації даних різних фізіологічних вимірювань, а також для розрахунків доз фармакологічних впливів. У медицині при діагностуванні хвороб та дозуванні ліків часто використовують об'єм тіла людини.

Тому важливим питанням є оперативне та точне визначення площі та об'єму тіла людини.

У роботі запропоновано використовувати тривимірне моделювання [9-12] для визначення масо-вагових характеристик людини по її антропометричних параметрах. Для цього використовують 3D-сканери (боді-сканери) для оцифровки тіла. Це дає можливість створювати в 3D просторі модель тіла людини на повний зріст, а також окремих частин тіла: рук, ніг, голови, тощо. Для цього вони роблять множину кадрів і потім збирають їх разом в одне зображення, на основі якого створюється 3D-модель.



Рис. 1. Вигляд 3D-сканера тіла людини

Тривимірна модель [9] людини при діагностуванні забезпечує отримання об'єктивних параметрів про стан кістково-м'язової системи. Таку детальну інформацію поки не можуть надати існуючі сьогодні технології по виявленню проблем опорно-рухового апарату.

Використання тривимірного моделювання для діагностики має такі переваги: висока оперативність проведення обстеження; висока достовірність діагностики; можливість проведення обстежень пацієнтів у різних позиціях; висока точність вимірювання, можливість архівування, безконтактний метод вимірювання.

Викладення основного матеріалу дослідження

Для визначення масо-вагових характеристик людини з використанням тривимірного моделювання необхідно виконати безконтактні виміри деяких параметрів по тривимірній моделі. Тому проведено систематизацію методів і формул для подальших розрахунків.

Формули для визначення масо-вагових характеристик людини по її антропометричних параметрах

Індекс маси тіла (ІМТ) є загальновизнаним методом для розрахунку оптимальної маси тіла. Він враховує тільки вагу, зріст, стать, і розраховується за формулою Кьютла [5]:

$$IMT = \frac{\text{вага(кг)}}{\text{зріст(м)}^2}.$$

Ця формула не враховує вагу кісток і не дає точні результати людям, які мають велику м'язову масу. Тому для отримання більш точних вимірів використовуються, відповідно, формула Ю.Р. Шейх-Заде (IMT2), індекс статури (IC) і формула Ніка Трефетена (IMT3) [2, 3].

$$IMT2 = \frac{\text{вага(кг)}}{\text{зріст(м)}^3}; \quad IC = \sqrt{IMT2}; \quad ICT = \frac{\text{вага(кг)}}{\text{зріст(дм)} \times \text{діаметр_зап'ястя(дм)}};$$

$$IMT3 = \frac{\text{вага(кг)}}{\text{зріст(м)}^2 \times \sqrt{\text{зріст(м)}}}.$$

Сканери [9-12] оцифрування тіла дозволяють вимірювали об'єм тіла та більш точно та швидше оцінювали IMT за допомогою тривимірних комп'ютерних моделей. Для цього використовується рівняння Siri [2, 6].

Об'єм тіла розраховується як середнє значення двох сканувань. Обсяги сегментів тіла визначаються таким чином: верхня частина тулуба – шия до пупка; нижня частина тулуба – пупок до промежини; стегно – промежина до верху коліна. Щільність розраховується як маса, поділена на об'єм тіла. Відсоток жиру в організмі розраховується за щільністю, використовуючи рівняння, розроблене Siri [6]:

$$IMT(\%) = \left(\frac{4,95}{\text{Щільність}(г/см^3)} - 4,50 \right) \times 100\% .$$

У фізіології і медицині площа поверхні тіла (ППТ) [8] – це розрахована поверхня людського тіла. Для багатьох клінічних цілей ППТ є кращим показником метаболічного обміну, ніж маса тіла, оскільки вона менш залежить від зайвої кількості жирової тканини.

Згідно методу Дюбуа [8], площа поверхні тіла визначається за формулою:

$$ППТ = \frac{\text{вага(кг)}^{0,425} \times \text{зріст(см)}^{0,725}}{139,2}.$$

Згідно методу Мостеллера [8], $ППТ = 0,0167 \times \text{вага(кг)}^{0,5} \times \text{зріст(см)}^{0,5}$. Для розрахунку ППТ за методами Хейкока, Бойда, Маттара використовують відповідно формули [2, 3]:

$$ППТ = \frac{\text{зріст(см)}^{0,3964} \times \text{вага(кг)}^{0,5378}}{41,2}; \quad ППТ = \frac{\text{вага(г)}^{(0,7285-0,0188 \ln \text{вага(г)})} \times \text{зріст(см)}^{0,3}}{3118,18};$$

$$ППТ = \frac{\text{зріст(см)} + \text{вага(кг)} - 60}{100}.$$

Відсоток підшкірного жиру в тілі (ВПЖ) – це відношення жирової тканини до маси тіла, яку складають м'язи, кістки, внутрішні органи та рідини. Для його обчислення використовуємо дані, які отримують із тривимірної моделі тіла.

У таблиці 2 [2] наведено відношення IMT і відсотку підшкірного жиру для чоловіків і

жінок, але варто зауважити, що цей метод не можна вважати точним для людей, які мають досить велику м'язову масу. Зразки усіх потрібних вимірів зображено на рис. 2.

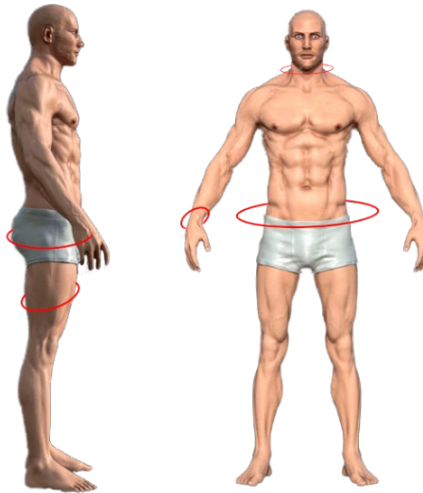


Рис. 2. Зразки вимірів

Таблиця 2

Відношення ІМТ і відсотку підшкірного жиру

ІМТ/ ІМТ2	% підшкірного жиру у жінок	% підшкірного жиру у чоловіків	ІМТ/ ІМТ2	% підшкірного жиру у жінок	% підшкірного жиру у чоловіків
13	13,5	-	27	34,5	21,5
14	15	-	28	36	23
15	16,5	-	29	37,5	24,5
16	18	5	30	39	26
17	19,5	6,5	31	40,5	27,5
18	21	8	32	42	29
19	22,5	9,5	33	43,5	30,5
20	24	11	34	45	32
21	25,5	12,5	35	46,5	33,5
22	27	14	36	48	35
23	28,5	15,5	37	49,5	36,5
24	30	17	38	51	38
25	31,5	18,5	39	52,5	39,5
26	33	20	40	54	41

Широкого поширення дістав метод флоту США [7]. Для жінок і чоловік використовуються такі формули:

$$ВПЖ_{ж} = \frac{495}{1,0324 - 0,19077 \times \frac{\ln(\text{обхват}(\text{мілі} + \text{стегон} - \text{шиї}))}{\ln(10) + 0,22100 + \frac{\ln(\text{ріст})}{\ln(10)}}} - 450;$$

$$ВПЖ_q = \frac{495}{1,9579 - 0,35004 \times \frac{\ln(\text{обхват(тілії} + \text{стегон} - \text{шиї}))}{\ln(10) + 0,15150 + \frac{\ln(\text{ріст})}{\ln(10)}}} - 450.$$

Згідно методу YMCA [3, 7] розрахунки виконують за формулами:

$$ВПЖ_{жс} = \frac{(-76,76 + (4,15 \times \frac{\text{талія}}{2,54}) - (0,082 \times \frac{\text{вага}}{0,454}))}{\frac{\text{вага}}{0,532}} \times 100;$$

$$ВПЖ_q = \frac{(-98,42 + (4,15 \times \frac{\text{талія}}{2,54}) - (0,082 \times \frac{\text{вага}}{0,454}))}{\frac{\text{вага}}{0,532}} \times 100.$$

Більш точним є модифікований метод YMCA [2, 7], згідно з яким

$$ВПЖ_{жс} = \frac{0,268 \times \text{вага} - 0,318 \times \text{зап'ястя} + 0,157 \times \text{талія} + 0,245 \times \text{стегна} - 0,436 \times \text{шия} - 8,983}{\text{вага}} \times 100;$$

$$ВПЖ_q = \frac{100 \times (4,15 \times \text{талія} - 0,082 \times \text{вага} + 0,34 \times \text{стегна} - 94,42)}{\text{вага}}.$$

У методі Коверта Бейлі [2, 3] використовують формули залежно від віку. До 30-ти років:

$$ВПЖ_q = \text{талія} + 0,5 \times \text{стегна} - 3 \times \text{передпліччя} - \text{зап'ястя};$$

$$ВПЖ_{жс} = \text{талія} + 0,8 \times \text{стегна} - 2 \times \text{гомилки} - \text{зап'ястя}.$$

Після 30-ти років:

$$ВПЖ_q = \text{талія} + 0,5 \times \text{стегна} - 2,7 \times \text{передпліччя} - \text{зап'ястя};$$

$$ВПЖ_{жс} = \text{талія} + \text{стегна} - 2 \times \text{гомилки} - \text{зап'ястя} + 0,4.$$

У прикладних медичних програмах використовують формула Пенроза [3]:

$$ВПЖ = \frac{100 \times (\text{вага} - 38,14 + 0,9 \times \text{вага} - 0,61 \times \text{вік}^3 + 0,99 \times \text{ріст} - 3,807 \times (\text{талія} - \text{зап'ястя}))}{\text{вага}}.$$

Медичні працівники широко використовують розмір і форму людського тіла для оцінки харчового стану, оцінки норми розвитку організму людини, а також для розрахунку дозування лікарських препаратів тощо.

Дозування ліків – термін, який означає дозу, частоту та тривалість введення лікарського препарату. Вибір оптимальної дози є необхідною умовою ефективного та максимально безпечного застосування лікарських препаратів.

Для правильного визначення дози препарату (ДП) необхідно враховувати індивідуальні особливості організму хворого. Індивідуальна чутливість до лікарського препарату залежить від віку, статі, маси тіла, швидкості метаболізму тощо.

Саме для цього застосовуються тривимірні сканери, які дозволяють із високою точністю розрахувати усі необхідні виміри.

При призначенні ліків дітям, пацієнтам похилого віку їх дози знижують. Дози для дітей визначають різними способом: на 1 кг маси тіла, на одиницю поверхні тіла або на рік життя або розраховують дозу залежно від шляху введення. Дозу для дітей можна розрахувати за допомогою формул Кларка і Юнга відповідно [5]:

$$ДП = \frac{дoзa \text{ _дорослого} \times вaгa}{70 \times IMT}, \quad ДП = \frac{дoзa \text{ _дорослого} \times вiк}{вiк \times IMT}.$$

При призначенні ліків дорослим розрахунок необхідної дози препаратів обрховується за формулою $ДП = (вага(кг) \times IMT) / 100$.

Більш сучасним і точним методом розрахунку як для дітей, так і для дорослих є визначення необхідної дози лікарської речовини на одиницю площі поверхні тіла, яке здійснюється за допомогою спеціальних номограм.

$$ДП = \frac{ППТ \times 100}{вага(кг) \times \%пж}.$$

Медичний персонал може порівнювати неодноразові сканування суб'єкта, щоб показати зміни форми тіла з часом, починаючи від лікування клінічного ожиріння або для поліпшення зовнішнього вигляду. Тому фітнес-центри та дієтичні центри є ринком для 3D-сканерів тіла. 3D-сканування може бути використано для оцінки симетрії тіла та м'язового дисбалансу або для аналізу постави, наприклад, вигину попереку та округлості плечей. Програмне забезпечення також забезпечує вимірювання обхвату в ділянці грудей, талії та стегон. Для визначення змін накладаються відскановані зображення, які проводилися через визначені періоди часу.

Лікування ожиріння спрямоване на зменшення шкідливого внутрішньочеревного жиру, а не на масу тіла за один прийом. Збільшення м'язової маси або підтримка ваги у дітей, що ростуть, розглядаються як прийнятні наслідки лікування, особливо там, де професіонали виступають за фізичні вправи. Медичні працівники можуть застосувати 3D-сканування, щоб виділити ті ділянки форми поверхні, які з часом змінювались у людей, дозволяючи лікареві контролювати ефективність лікування (наприклад, форму живота).

Визначення площі та об'єму людини з використання тривимірних моделей

Наведені вище формули дозволяють наближено визначити параметри людини, оскільки не враховують її індивідуальні особливості. Більш точні оцінки можна отримати з використанням тривимірного моделювання.

Для визначення площі тіла людини пропонується розробити, з використанням боді-сканерів [10-12], тривимірну модель людини [9]. У подальшому виконують теселяцію (рис. 3), яка полягає в заміщенні поверхні багатокутниками, які прилягають один до одного без проміжків і не перекривають один одного.

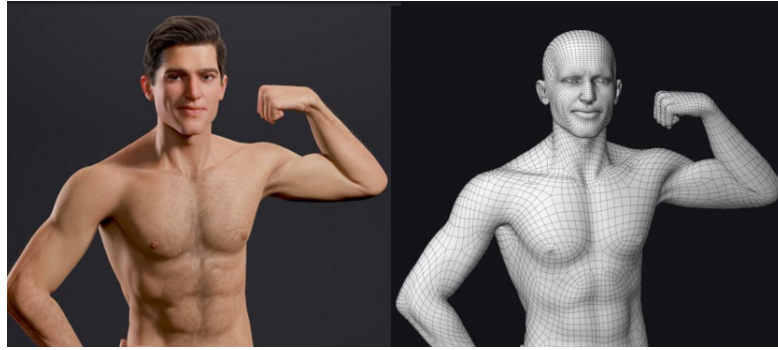


Рис. 3. Приклад полігональної моделі

У графічних пакетах виконується триангуляція, кінцевим результатом якої є отримання полігональної моделі, комірками якої є трикутники. При цьому теселяція є підготовчим етапом. Точність визначення площі визначається щільністю полігональної мережі. Можлива розгортка полігональної мережі на площину (рис. 4).

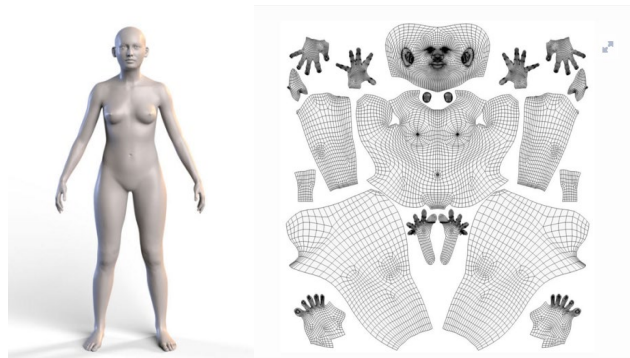


Рис. 4. Розгортка полігональної мережі на площину

Для визначення площі поверхні необхідно визначити площі складових трикутників і знайти їх суму. При цьому буде враховано особливості побудови людини та відпаде необхідність поділу на жіночу та чоловічу стать.

Тривимірне моделювання може ефективно використовуватися для точного визначення об'єму тіла.

Пропонується виконувати зрізи тривимірної моделі людини горизонтальними площинами (рис.5). У результаті отримуємо сегмент тіла. Отриманий верхній зріз триангулюють з метою заміщення сегменту трикутними призмами. Для цього використовують вертикальні площини, які перпендикулярні до основи сегменту. У подальшому знаходять об'єми складових трикутних призм, якими заміщують сегменти. Сума їх об'ємів визначає об'єм сегменту.

Перераховані дії виконують для всього тіла. Важливо зазначити, що в результаті перетину можливо отримання не одного, а відразу кількох складових сегментів.

Висновки

Проведено аналіз предметної галузі. Наведено формули для розрахунку індексу маси тіла, об'єму тіла, відсотку жиру в організмі, площі тіла, відсоток підшкірного жиру в тілі на основі вимірянь параметрів по тривимірній моделі.

Запропоновано метод визначення площі тіла з використанням полігональної моделі людини шляхом знаходження суми площ складових трикутників.

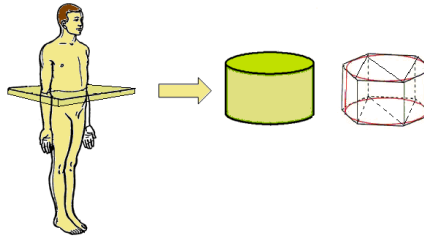


Рис. 5. Етапи визначення об'єму сегмента

Запропоновано метод визначення об'єму тіла з використанням тривимірної моделі людини шляхом виконання зрізів горизонтальними площинами. В результаті отримують сегмент тіла. Отриманий верхній зріз триангулюють з метою заміщення сегменту трикутними призмами. Для цього використовують вертикальні площини, які перпендикулярні до основи сегменту. У подальшому знаходять об'єми складових трикутних призм, якими заміщують сегменти. Сума їх об'ємів визначає об'єм сегменту.

Проведені дослідження можуть бути використанні в медичній практиці

Список використаної літератури

1. Відсоток жиру в організмі. URL : https://uk.jejakjabar.com/wiki/Body_fat_percentage (дата звернення: 10.08.2021).
2. Бессесен Д.Г., Кушнер Р. О. Избыточный вес и ожирение: профилактика, диагностика и лечение. Москва: Бином, 2004. 240 с.
3. Чариков А.Г. Анализ показателей телосложения человека : Выпускная квалификационная работа : 010400. Санкт-Петербург, 2016. 40 с.
4. Хомуцкий В. А. 10 способов измерить процент жира в теле. URL:<https://changeyourbody.ru/kak-opredelit-procent-zhira-v-organizme> (дата звернення: 10.08.2021).
5. Мартиросов Э. Г. Николаев Д. В., Руднев С.Г. Технологии и методы определения состава тела человека : монография. Москва : Наука, 2006. 248 с.
6. Вага тіла людини. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/ Вага_тіла_людини](https://uk.wikipedia.org/wiki/Вага_тіла_людини) (дата звернення: 10.08.2021).
7. Хомуцкий В. А. 10 способов измерить процент жира в теле. URL: <https://changeyourbody.ru/kak-opredelit-procent-zhira-v-organizme> (дата звернення: 10.08.2021).
8. Площа тіла людини: формула обчислення і приклади розрахунку. URL : <http://yrok.pp.ua/nauka/15321-ploscha-tla-lyudini-formula-obchislennya-prikladi-rozrahunku.html>
9. Романюк О. Н. Комп'ютерна графіка. ВДТУ, 2001. 29 с.
10. Романюк О. Н., Марущак А. В., Шмалюх В. А., Михайлов П. І., Чехмestрук Р .Ю ., Перун І. В. Аналіз 3D-body сканерів / На шляху до індустрії 4.0: інформаційні технології, моделювання, штучний інтелект, автоматизація: монографія. Одеса, 2021. С.65-82.
11. Treleven P. and Wells J. 3D Body Scanning and Healthcare Applications. *Computer*, 2007. vol. 40, no. 7, pp. 28-34.
12. Романюк О. Н., Бажан В. М., Михайлов П. І., Чехмestрук Р. Ю. Галузі використання боді-сканерів: *Тези доп. XII Міжнародної наук.-техн. конф. «Інформаційно-комп'ютерні технології – 2021»*, (м. Житомир, 01 - 03 квітня 2021 р.). Житомир, 2021. С. 80-82.

References

1. Vidsotok zhyru v orhanizmi. (2021). URL: https://uk.jejakjabar.com/wiki/Body_fat_percentage.
2. Bessesen, D.G., & Kushner, R. O. (2004). *Izbytochnyy ves i ozhirenie: profilaktika, diagnostika i lechenie*. Moskva: Binom.
3. Charikov, A.G. (2016). *Analiz pokazateley teloslozheniya cheloveka : Vyipusknaya kvalifikatsionnaya rabota : 010400*. Sankt-Peterburg.
4. Homutetskiy, V. A. (2021). 10 sposobov izmerit protsent zhira v tele. URL: <https://changeyourbody.ru/kak-opredelit-procent-zhira-v-organizme>.
5. Martirosov, E. G., Nikolaev, D. V., & Rudnev, S.G. (2006). *Tehnologii i metodyi opredeleniya sostava tela cheloveka : monograflya*. Moskva : Nauka.
6. Vaha tila liudyny. (2021). URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Vaha_tila_liudyny.
7. Homutetskiy, V. A. (2021). 10 sposobov izmerit protsent zhira v tele. URL: <https://changeyourbody.ru/kak-opredelit-procent-zhira-v-organizme>.
8. Ploshcha tila liudyny: formula obchyslennia i pryklady rozrahunku. URL: <http://yrok.pp.ua/nauka/15321-ploscha-tla-lyudini-formula-obchislennya-prikladi-rozrahunku.html>.
9. Romaniuk, O. N. (2001). *Kompiuterna hrafika : navch. posibnyk*. VDTU.
10. Romaniuk, O. N., Marushchak, A. V., Shmaliukh, V. A., Mykhailov, P. I., Chekhmestruk, R. Iu., Perun, I. V. (2021). *Analiz 3D-body skaneriv / Na shliakhu do industrii 4.0: informatsiini tekhnolohii, modeliuvannia, shtuchnyi intelekt, avtomatyzatsiia: monohrafiia*. Odesa, s.65-82.
11. Treleven, P., & Wells, J. (2007). 3D Body Scanning and Healthcare Applications. *Computer*, **40**, 7, 28-34.
12. Romaniuk, O. N., Bazhan, V. M., Mykhailov, P. I., & Chekhmestruk, R. Yu. (2021). Haluzi vykorystannia bodi-skaneriv: *Tezy dop. KhII Mizhnarodnoi nauk.-tekhn. konf. «Informatsiino-kompiuterni tekhnolohii – 2021»*, (m. Zhytomyr, 01 - 03 kvitnia 2021 r.). Zhytomyr, 80-82.

Романюк Олександр Никифорович, д.т.н., професор, завідувач кафедри програмного забезпечення Вінницького національного технічного університету. E-mail: rom8591@gmail.com, ORCID: 0000-0002-2245-3364.

Захарчук Максим Дмитрович, студент кафедри програмного забезпечення Вінницького національного технічного університету. E-mail: mz764233@gmail.com, ORCID: 0000-0002-4551-0026.

Снігур Анатолій Васильович – к.т.н., доцент кафедри обчислювальної техніки Вінницького національного технічного університету. E-mail: sanv12@i.ua, ORCID: 0000-0002-2193-1838.

Коваль Леонід Григорович– к.т.н., доцент, завідувач кафедри біометричної інженерії Вінницького національного технічного університету. E-mail: klg@ua.fm, ORCID: 0000-0001-9887-2605

Михайлов Павло Ігоревич, генеральний директор CEO 3D GNERATION GmbH (Germany), E-mail: pm@3dgeneration.com, ORCID: 0000-0001-5861-5970.

Чехмейструк Роман Юрійович, к.т.н., технічний директор 3D GENERATION UA, E-mail: Rc.ua@3dgeneration.com, ORCID: 0000-0002-5362-8796.