

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Одеська національна академія харчових технологій

НА ШЛЯХУ ДО ІНДУСТРІЇ 4.0: ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, МОДЕЛЮВАННЯ, ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ, АВТОМАТИЗАЦІЯ

Монографія

За загальною редакцією
С. В. Котлика

Одеса
«Астропринт»
2021

7. Jingwei Li, Hua Yang, Lin Chen, Cheng Zhi Image semantic segmentation optimization by Conditional Random Field integrated with object clique potential. *Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB), 2017 IEEE International Symposium on.* — 2017. — P. 1–6, 2017.
8. Data Structures for Image Analysis c Bryan S. Morse, Brigham Young University, 1998–2000. Last modified on Monday, January 10, 2000 at 9:30 PM [Electronic resource]. — Access mode: http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/CVonline/LOCAL_COPIES/MORSE/data-structures.pdf
9. Gruzman I. S., Kirichuk V. S. etc. Digital image processing in information systems. Novosibirsk: NGTU Publishing House, 2002. — 352 p.

ВИКОРИСТАННЯ 3D-СКАНЕРІВ НІГ

*Романюк О. Н., Бажан В. М., Вяткін С. І.,
Михайлов П. І., Чехмestрук Р. Ю., Перун І. В.*

Наведено аналіз використання тривимірного моделювання ніг з застосуванням 3D-сканерів. Показано, що такі технології ефективно можуть бути задіяні в медицині для діагностики захворювань, для проектування та виготовлення устілок, у галузі протезування, для підбору та виготовлення взуття.

Розглянуто особливості використання 3D-сканерів для зазначених застосувань. Сформовано вимоги для 3D-сканування. Наведено характеристики 3D-сканерів для ніг. Проаналізовано ринок продажу.

An analysis of the use of three-dimensional modeling of the legs with the use of 3D-scanners. It is shown that such effective technologies can be used in medicine for disease diagnosis, for the design and manufacture of insoles, in the field of prosthetics., For the selection and manufacture of footwear.

Features of use of 3D-scanners for the specified applications are considered. Generate requirements for 3D scanning. The characteristics of 3D foot scanners are given. The sales market is analyzed.

Стопа — це найнижча точка людської ноги. Форма стопи поряд з природними системами балансу тіла робить людей здатними не тільки ходити, але і бігати, підніматися і здійснювати інші види діяльності. Комплексна структура стопи містить понад 100 сухожиль, зв'язок і м'язів, які переміщують багато суглобів, в той час як кістки забезпечують структуру.

Зараз більше 90 % міських жителів нашої країни мають проблеми зі стопами, і не просто слабкі порушення, а больові деформації, за-

пальні процеси в суглобах, швидку стомлюваність від ходьби, варикоз, судоми і спазми, травми.

Важливим питанням є розробка устілок з використанням тривимірного сканування [1–7]. Такий підхід є значно ефективнішим порівняно з іншими.

На рис. 1 наведено основні області використання устілок.

Існує шість показників просторових характеристик стопи [6], наприклад, довжина стопи, довжина поздовжньо-серединного зводу стопи, довжина поздовжньо-бокового склепіння стопи, ширина в діагональній площині, ширина в горизонтальній площині і ширина п'яти.

В таблиці 1 наведено просторові характеристики стопи.

Комп'ютерна діагностика стоп — це сучасний метод виявлення патологій стопи і оцінки правильності розподілу навантаження.

На рис. 2 наведено зображення 3D сканера ніг та отриману тривимірну модель.

Отримана тривимірна модель може використовуватися для медичних досліджень, зокрема виявити плоскостопість та інші деформації; побачити наявність різниці в довжині стоп; оцінити правильність навантаження в положенні стоячи і під час ходьби; діагностувати наявність захворювань суглобів і хребта; правильно підібрати коригувальні вироби для різного типу взуття; провести тривалий моніторинг, перевірити ефективність лікування.

Найбільше поширення тривимірне моделювання ніг (стопи) отримало для медичної діагностики та лікування, підбору взуття, протезування, виготовлення устілок.

3D сканер [1–3] — спеціальний безконтактний пристрій для отримання високоточних тривимірних моделей ніг.

Пристрої для 3D-сканування [4] дозволяють зняти багато обмежень, які є у традиційного вимірювального обладнання. Такі звичні для метролога інструменти, як шаблони, мікрометри, штангенциркулі коштують недорого, але відрізняються суб'єктивністю показань і не підходять для складних вимірювань. Координатно-вимірювальні машини мають більшу точність, ніж 3D-сканери, але вони дорожче, більш габаритні і вимагають спеціальної підготовки оператора.

Дуже важливе значення 3D-сканування полягає в тому, що воно абсолютно нешкідливе. Рентген і МРТ використовують випромінювання для створення зображень тіла. Але це завжди несе в собі ризик. З 3D-сканером не існує такого ризику. Положення об'єкта фіксується

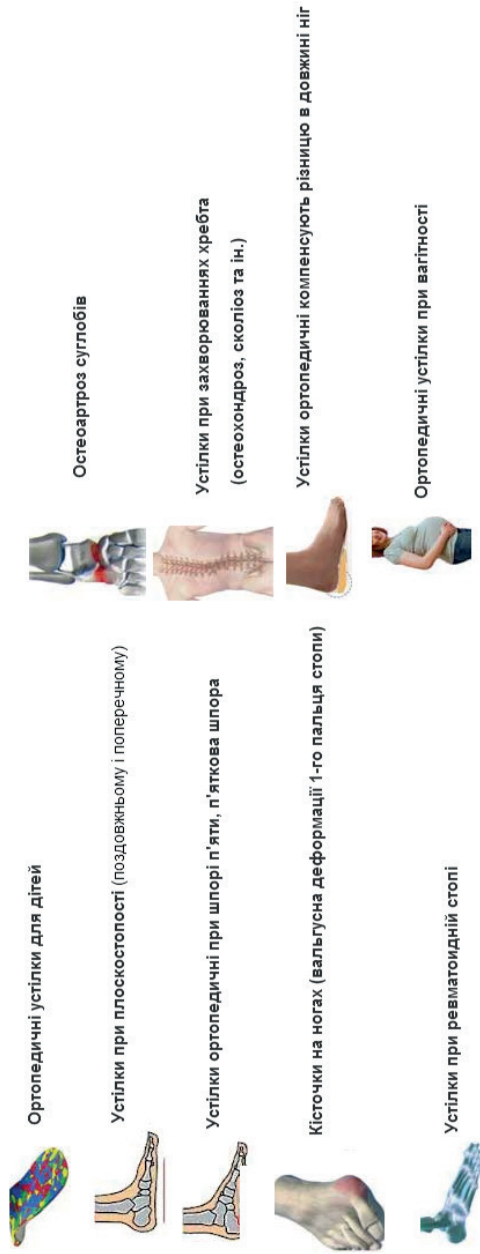


Рис. 1. Основні області використання устілок

Таблиця 1

Визначення просторових характеристик стопи

Просторова характеристика	Визначення
Довжина стопи	Пряма від крайньої точки п'ятки до найвищої точки найдовшого пальця. Вимірювання виконується паралельно осі п'ятки
Довжина поздовжньо-серединного зводу стопи	Пряма від крайньої точки п'ятки до плюснової великоберцової точки стопи. Вимірювання виконується паралельно осі п'ятки
Довжина поздовжньо-бокового склепіння стопи	Відстань від кінцевої точки п'ятки до плюснової малоберцової точки стопи. Вимірювання виконується паралельно осі п'ятки
Ширина в діагональній площині	Відстань від плюснової великоберцової точки стопи і плюснової малоберцової точки стопи. Проектування виконується на стоячу поверхню
Ширина в горизонтальній площині	Горизонтальна відстань між плюсновою великоберцовою точкою стопи і плюсновою малоберцовою точкою стопи
Ширина п'яти	Ширина 16 % від усієї довжини стопи прямо від крайньої точки п'ятки до пальців

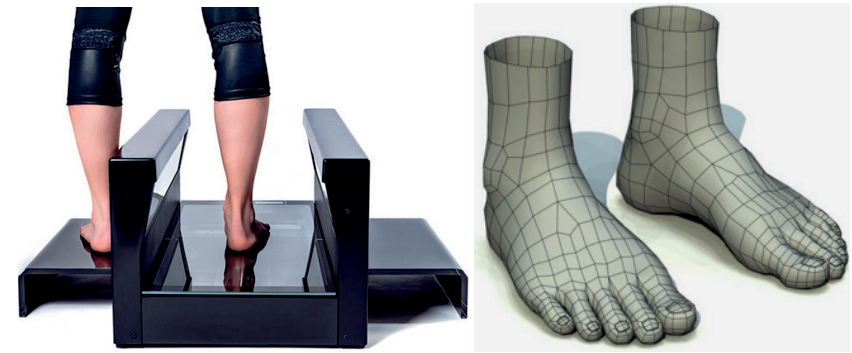


Рис. 2. Зображення 3D-сканера ніг та отримана тривимірна модель

в просторі. Дані реєструються у віртуальній реальності за допомогою фотографій, світла або лазерного променя.

У найближчі роки світовий ринок [9] 3D-сканерів буде мати швидкий розвиток. Так, у період з 2019 по 2023 рік середньорічний темп зростання в складних відсотках (показник CAGR) про-

гнозується на рівні 21,2 %. У результаті, до 2023-го обсяг перевищить 635 млн одиниць. У 2023 році видатки в області 3D-сканерів досягнуть практично \$ 3,0 млрд. Аналітики IDC стверджують, що швидкому розвитку галузі сприяють кілька чинників. Це розширення функціональності пристроїв і покращення супроводжувального програмного забезпечення. Крім того, поступово знижується вартість обладнання. Нарешті, йдеться про розширення сфери застосування 3D-сканерів.

Щоб отримати уявлення про динаміку змін в будові стопи, рекомендується проходити комп'ютерну діагностику стоп регулярно: — дітям — кожні 4 місяці, дорослим — кожні 4–6 місяців. Основними показаннями для комп'ютерної діагностики є: ризик виникнення плоскостопості в зв'язку з вагітністю, фізичними перевантаженнями і спадковою схильністю; наявність захворювань суглобів, таких як артроз, артрит, остеохондроз; цукровий діабет; наявність зайвої ваги; реабілітація після серйозних травм гомілковостопного суглоба; регулярна ходьба на каблуках; професійне заняття спортом; скарги на біль, тяжкість і високу стомлюваність ніг; розвиток стоп в дитячому віці.

Тривимірне сканування може бути статичним, коли пацієнт стоїть, і динамічним, коли він крокує на місці. Плянтограма з розшифровкою видається лікарю для діагностики та пацієнту, результати зберігаються в базі, що дозволяє при повторному зверненні провести порівняльний аналіз стану стопи;

Використовуючи дані 3D-сканування й аналізу тиску стоп можна прогнозувати розвиток захворювання. Це дозволяє лікарям вибирати правильний метод лікування і в подальшому його контролювати.

Вимоги для 3D-сканування:

1. При скануванні стопи повинні враховуватися індивідуальні фактори рухливості і больові пороги чутливості стопи. Завжди потрібно пам'ятати, що стопа — це не жорсткий об'єкт!

2. Загальний час сканування має бути вкрай мінімальним, так щоб звести до мінімуму всі тремтіння і погойдування людини.

3. Фактична точність сканування повинна бути в районі 0,15–0,2 мм з урахуванням тремтіння людини. Цієї точності цілком достатньо.

Використовуючи дані 3D-сканування й аналізу тиску стоп, можна прогнозувати розвиток захворювання. Це дозволяє лікарям вибирати правильний метод лікування і в подальшому його контролювати.

При тривимірному скануванні важливо записувати та відображати розподіл тиску (рис. 3) по стопі пацієнта в стані стоячи або при ходьбі, знаходити аномалії й асиметрії стоп, визначати ділянки з високим навантаженням, що призводить, в кінцевому підсумку, до хворобливих відчуттів в колінних і тазостегнових суглобах.



Рис. 3. Розподіл тиску

На підставі комп'ютерної діагностики стоп лікар ортопед-травматолог допомагає підібрати пацієнтові ортопедичне взуття, а також приймає замовлення на виготовлення індивідуальних устілок або тутора.

Динамічна діагностика дозволяє точно визначити розподіл навантаження на стопу клієнта під час руху. Навантаження, що динамічно перетікає від п'яткової відділу до переднього відділу стопи, показує можливі відхилення не тільки в стопах, але і в колінах, стегнах і навіть хребті.

Останнім часом виробники взуття, ортопедичні салони і медичні центри все частіше впроваджують в свій робочий процес 3D-сканери для ніг для створення тривимірних моделей, які, на відміну від двомірних зображень, дають повне уявлення про проблеми та потреби клієнта або пацієнта і надають більш широкий інструментарій для розробки взуття.

З'явився ефективний інструмент для зменшення кількості повернень з 40 % до 15–20 %. Це середній показник, в якому гарантовано переконалися на власному досвіді магазини в багатьох країнах, де використовується технологія. Магазин може запропонувати клієнтам безпрецедентну можливість купувати з упевненістю, що розмір обов'язково підійде. Тепер покупці зможуть заощадити завдяки безпомилковому вибору до 15 % від вартості замовлення.

Переваги використання тривимірного моделювання для підбору взуття: клієнту достатньо безконтактно просканувати свою ногу, щоб отримати високоточну індивідуальну тривимірну модель; легкість і висока швидкість визначення правильного розміру; гарантія зручності навіть для маленьких дітей, які ще не вміють розмовляти; точне визначення ширини халяви в процесі замовлення жіночих чобіт; економія часу, оскільки взуття не доведеться відправляти назад в магазин; можливість користуватися сервісом online і offline.

Результат сканування може використовувати в подальшому базу даних для зіставлення з існуючими параметрами, що допомагає скласти точні рекомендації у підборі взуття. Дані сканування відправляються клієнту електронною поштою і стають основою для майбутніх маркетингових і торговельних можливостей

Отримане сканування дозволяє створити точну цифрову модель стопи, на основі якої можуть бути виготовлені індивідуальні ортопедичні устілки.

Після сканування на екрані комп'ютера стопи відображаються у всіх трьох проекціях (рис. 4). У тому числі зони підвищеного навантаження всіх відділів стоп, поздовжнє і поперечне сплюснення, ступінь стиснення переднього відділу, деформацію пальців і т. д. Виходячи з цього, можна поставити діагноз і порекомендувати пацієнту, які йому потрібні устілки.

Виробники взуття намагаються знайти оптимальний варіант форми устілки і колодки для виготовлення взуття, але стопа кожної людини унікальна. Стандартне взуття добре підходить людям без відхилень у будові стоп, але і їм може знадобитися коригування положення стопи в черевіку.

Для зниження рівня дискомфорту та компенсації положення стопи в черевіку розробляють ортопедичні устілки. Одні з них продаються готовими, розрахованими на середньостатистичну стопу з тим чи іншим відхиленням, інші ж можуть виготовлятися індивідуально.

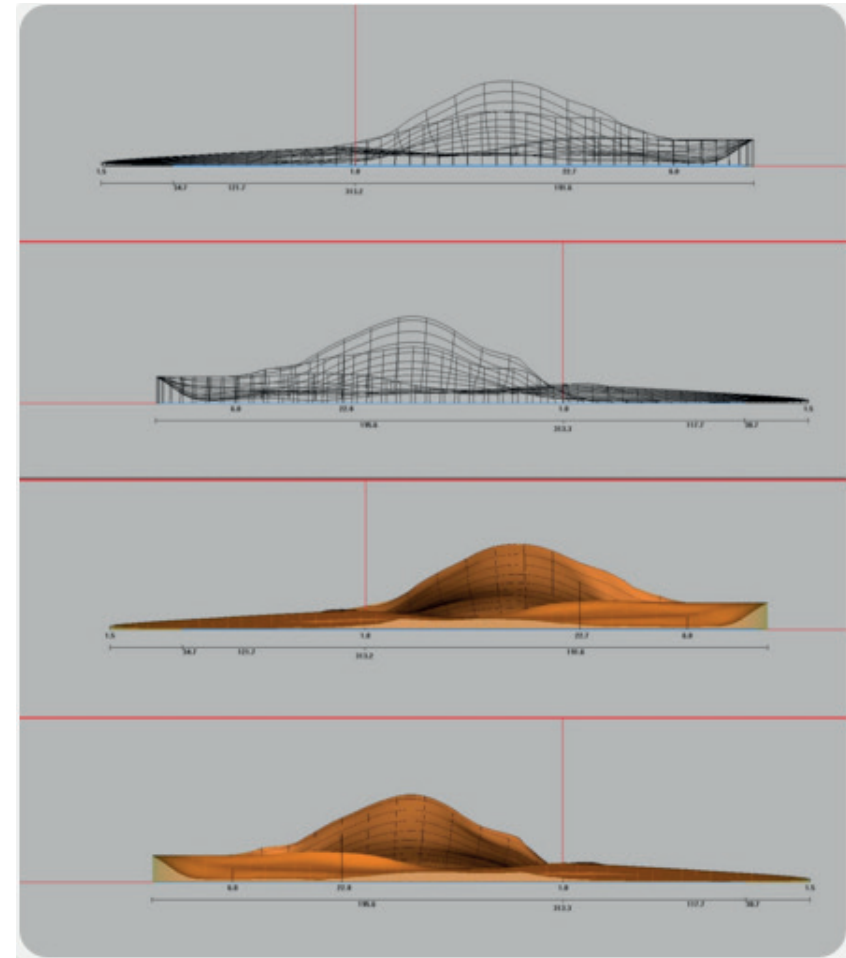


Рис. 4. Розробка устілок

Незаперечною перевагою 3D-технологій для розробки устілок є те, що вони виготовляються індивідуально під ногу пацієнта, і комфорт від носіння буде помітний відразу ж після установки устілки в черевік.

Ця технологія, крім створення зручних і комфортних устілок, дозволяє проводити лікування та робити устілки, в яких закладено коригувальний ефект для компенсації дефекту стопи.

Пацієнт приходить до клініки або ортопедичного салону, де і відбувається 3D-сканування ноги.

Участь лікаря в цей момент не потрібна. Сканування може здійснюватися силами співробітників ортопедичного салону відповідно до інструкції. Нічого складного в цій процедурі немає — пацієнт розміщує спершу одну ногу на сканер, оператор контролює правильність розміщення, а після пацієнт змінює ногу і процес повторюється для другої ноги.

Отримані на першому етапі файли потрапляють до лікаря, і він, відповідно до плану лікування, приступає до моделювання майбутньої устілки.

При моделюванні необхідно задати такі базові параметри, як товщина і ширина устілки, її висота. В основному це залежить від типу взуття, під який проектуємо устілку. Універсального рішення тут немає, під спортивне взуття повинна бути одна устілка, а під класичні туфлі — інша.

Відбувається оцінка прилягання устілки до ноги в поперечному перерізі.

Багато функцій програми автоматизовані, але водночас залишається можливість ручного коригування параметрів устілки по баченню лікуючого лікаря. При створенні устілки лікар в будь-який момент може оцінити стан ноги на устілці та її прилягання до неї, а також внести коригування та редагування.

Наведемо найвідоміші фірми [7; 9; 10], які спеціалізуються на виготовлення сканерів.

Компанія Willaston Physio and Rehab представила інноваційний інструмент [10], який дозволить більш точно і поглиблено проводити аналіз ортопедичних захворювань. Новий сканер, який отримав назву Dynamic 3D Scanner Foot (рис. 5), призначений для сканування ніг, що дозволить полегшити діагностику різних хвороб опорно-рухового апарату, в тому числі стоп ніг.

Виходячи з даних, отриманих за допомогою цього пристрою, лікар зможе визначити оптимальні методи лікування, а також підібрати спеціальні устілки, які зможуть боротися з різним спектром недуг.

Dynamic 3D Scanner Foot дозволить:

знайти аномалії й асиметрію ніг;

визначити області високого тиску на поверхні стоп, що призводить до болевих відчуттів в колінах і тазостегновому суглобі;

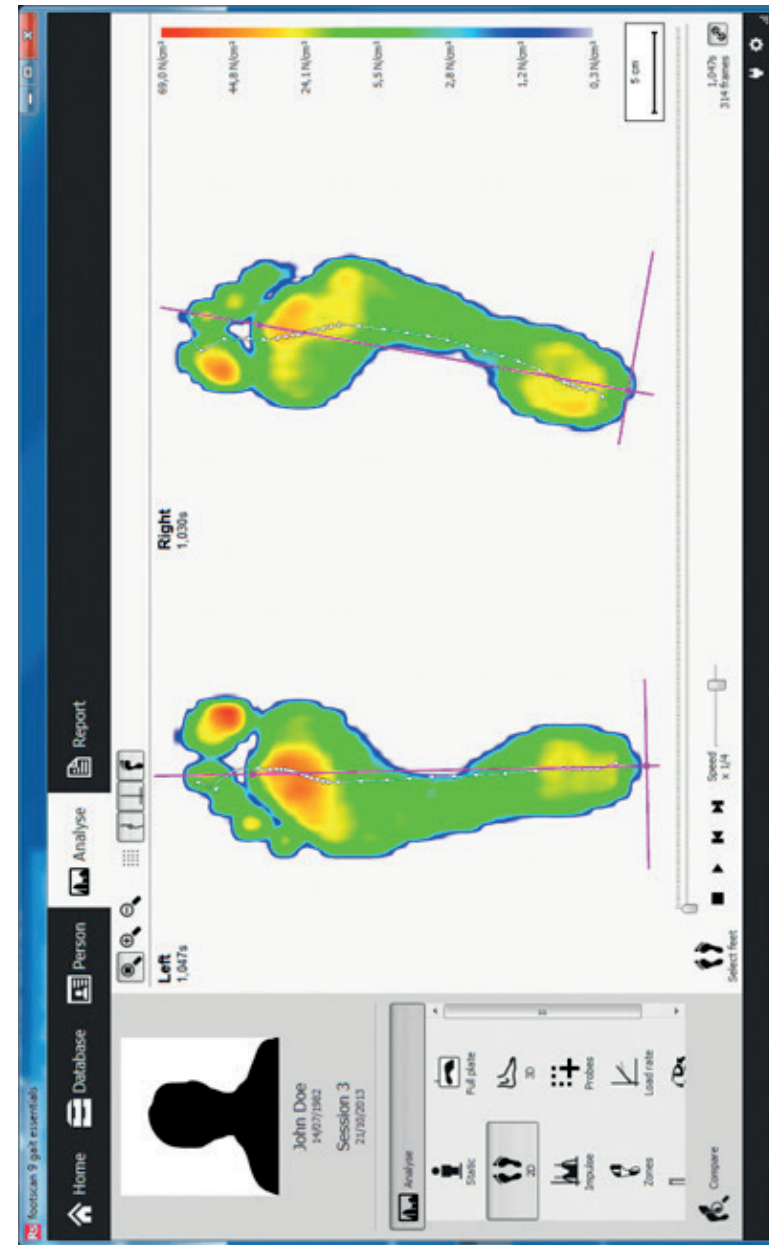


Рис. 5. Приклад роботи Dynamic 3D Scanner Foot

зафіксувати особливості будови стопи, які неможливо визначити при первинному огляді.

Використовуючи новий пристрій від організації Willaston Physio and Rehab, лікарі зможуть відстежувати безпосередньо сам процес лікування у всіх подробицях. Лікарі та фізіологи отримають можливість підібрати правильний метод для коригування тазостегнових суглобів, колін, поперекових відділів хребта, зниження болю, нормалізації ходи своїх пацієнтів. За допомогою 3D-сканера для стоп лікарі зможуть: оцінити стан хворого протягом 60 хвилин; виконати замовлення ортопедичних засобів для лікування захворювань; отримати результати вимірювань, проведених протягом останніх 6 тижнів; переглянути поточні звіти.

UPOD-S від ScanPod3D [7] — це зручний лазерний 3D-сканер ніг, вагою всього 10 кг, що підтримує як кольорову текстуру знімків, так і монохромну. Вигідно вирізняється високою швидкістю повного сканування, простими системними вимогами, великою глибиною сканування. UPOD-S дає точне 3D-зображення всієї стопи, яке можна повертати, масштабувати і вимірювати (43 можливих вимірювань). Передбачена можливість порівняння даних правої і лівої стопи (рис. 6). Переваги:

- автокалібровка;
- діагностика стоп без навантаження, з неповним навантаженням і з повним навантаженням;
- компактний розмір, всього 520 мм * 270 мм * 220 мм;
- повне 3D сканування виконується за 3,2 сек в одну сторону;
- висота сканування 115 мм;
- обсяг сканування 330 мм * 130 мм * 115 мм;
- зручна й інформативна кольорова текстура знімків;
- можливість вибору: кольоровий знімок або монохромний;
- дозволяє сканувати стопу, зліпок і колодку, що зручно для виготовлення індивідуального ортопедичного взуття та устілок;
- зручна автоматична діагностика;
- запуск сканування через інтерфейс або за допомогою ногого перемикача, що поставляється в комплекті;
- експорт результатів в форматах stl / wrl, jpg / png;
- формування звітів pdf, файли даних у csv форматі;
- автоматична підготовка відправки завдання на виготовлення взуття / устілки в ftp форматі;
- багатомовний інтерфейс програмного забезпечення;

- налаштування форми гх для виготовлення індивідуального взуття та устілки;
- виклик сканера за cmd / tcp протоколом для інтеграції з власним по і базою даних;
- шифрування даних сканерів для забезпечення безпеки файлів;
- міжнародна сертифікація ce / fda / pse;
- розробка замовленого ПЗ.

3D-сканер STT Podia (рис. 6) призначений для отримання точної 3D-моделі всієї стопи. Цей швидкий, точний, компактний та простий в експлуатації пристрій широко застосовують не тільки в конструюванні взуття, але в наукових дослідженнях, педіатрії тощо. Сканер оснащено найсучаснішими камерами та лазерами. Сканування виконується повністю автоматично. Загальні відомості:

Висота сканування — до 250 мм.

Програмний пакет включає призначену для користувача базу даних і програму для зняття основних розмірів стопи. У стандартну ліцензію також входять функції зняття антропометричних параметрів.

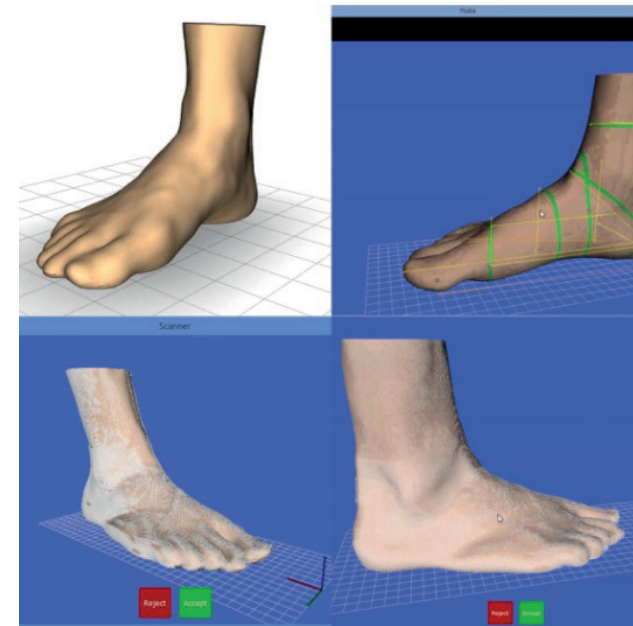


Рис. 6. Результат роботи 3D-сканера STT Podia

Використовується як автономний пристрій для вимірювання стоп і оцінки розмірів або в комплексі з ПО Insole Studio для проектування устілок.

Пристрій підходить для сканування відбитків і колодок.

Простота у використанні.

Для друку устілок найчастіше використовують термопластичний поліуретан ТПУ (TPU). Це матеріал, що відноситься до класу еластомерів — речовин з підвищеною еластичністю. Він в два рази еластичніший гуми, одночасно здатний зберігати свої властивості і геометрію протягом тривалого терміну експлуатації.

Цей матеріал виробляють багато компаній, але практики рекомендують матеріал eTPU від ESUN, оскільки він має максимальну стабільність від партії до партії і не створює додаткових проблем власникам 3D-принтерів.

Провідні фірми часто використовують нитки, які забезпечують високу гнучкість і високу пружність, що значно знижує постійну деформацію матеріалу, в той же час устілка отримує вологонепроникність і стійкість до гідролізу. Устілки можна прати. Вони витримують холодні та теплі умови. Будучи екологічно чистим матеріалом, він друкується плавно, без запаху і не вимагає нагріву нижньої пластини при друку. Поверхня виробу також легко забарвлюється.

3D-принтер для друку устілок повинен відповідати таким характеристикам: технологія друку FDM, володіти екструдером типу Direct і мати ділянку друку, відповідну максимальному розміру ноги. Якщо розглядати бюджетне рішення, то одним з таких принтерів є Raise3d E2.

Залежно від бажання та необхідного фінішного покриття устілки ви можете задавати заповнення, а також вибрати заливку першого і останнього шару. Це впливає на швидкість друку, а також покращує адгезійні властивості поверхні при використанні деяких важких матеріалів обробки верху устілки.

3D-друк має важливе значення для хірургічної підготовки. Друк використовується для копіювання специфічних для пацієнта органів, які згодом використовуються для вправ, для підготовки до складних операцій. Це дає виразно кращі ефекти і точність, ніж при використанні рентгеновського випромінювання, комп'ютерної томографії та магнітного резонансу. 3D-метод прискорює процедури і зводить до мінімуму травми пацієнтів. Здатність моделювати пружні властивості тканини, тестувати імплантацію та фізичний контакт з моделлю є до-

датовим позитивним аспектом. Операційні моделі найчастіше використовуються при корекції стопи, операціях, пов'язаних із заміною кісток на штучні, а також при скануванні і відновленні переломів і тріщин. Іншою перевагою є здатність хірурга фізично маніпулювати і візуалізувати анатомічну модель конкретного пацієнта. Відбиток в 3D дозволяє дізнатися про точну анатомію пацієнта з багатьох точок зору і, таким чином, передбачити, чого очікувати під час операції, що збільшує ймовірність успіху лікування. Крім того, хірургічне моделювання операцій і підготовки з використанням 3D-друку може призвести до величезної економії коштів і часу.

Тривимірне моделювання широко використовується в галузі протезування [5].

Процес налаштування традиційних протезів під кожну конкретну людину вимагає часу, численних вимірів і внесення змін у вже готову конструкцію. Пацієнтам доводиться миритися з протезом, який виглядає громіздко та постійно привертає увагу оточуючих

Сучасний протез (рис. 7) створюється за допомогою 3D-сканера і принтера, що зробило його наближений за будовою до здорової ноги, а також значно зменшити у вазі порівняно з ранніми моделями.



Рис. 7. Вигляд протеза

Для розробки та виготовлення протезу виконується тривимірне сканування здорової ноги, за 3D-моделлю реалізуються подальші етапні дії.

Одним із найбільш перспективних напрямків сучасної медицини слід вважати виробництво протезів за допомогою 3D-друку. Однак поки що технологія виготовлення протезів далека від готовності до масового застосування. Проте це може забезпечити високу точність виготовлення протезу за короткий період часу порівняно з традиційним способом. Ціна нового виробу не є вищою за звичайні способи виготовлення з різних металів та полімерів. Такий підхід до виробництва суттєво зменшує час, витрачений на виготовлення нового протезу. Досягнення у сфері використання 3D-принтерів дають змогу друкувати об'єкти великих розмірів. 3D-друк пластиків у наш час має досить широке застосування та є досить доступним. За допомогою 3D-принтингу є можливість виготовляти деталі, які можуть бути використані як для міцного каркасу, так і для виконання зовнішнього вигляду, наприклад, для цієї ж моделі друкується й поверхневий шар силікону, що імітує шкіру. Така технологія має значні переваги перед існуючими методами виготовлення протезів. Особливо широке застосування має в медицині, де важливу роль відіграє точність, а розмір деталей відносно невеликий.

Використовуючи властивість симетрії людського тіла, можливо отримати максимально схожу копію протеза не лише візуально, а й врахувати усі важливі аспекти при створенні протеза, серед яких важливими є вага та її розподіл, підхід конструктивного розташування механічного забезпечення руху (за необхідністю).

На рис. 8 наведено приклади сучасних протезів.

Серед переваг використання 3D-сканера та метода симетричного отримання даних про заміри та форму кінцівок для людини [11]:

- заміна тривалих і непростих ручних вимірювань, які не завжди достатньо точні;
- автоматичне тривимірне безконтактне вимірювання тіла людини з подальшою обробкою даних;
- моделювання на екрані індивідуальних протезів;
- висока точність отриманих цифрових даних, необхідних для якісного налаштування;
- можливість віртуально приміряти протез і проаналізувати, чи подобається те чи інакше рішення як з точки зору естетики, так і з боку практичного застосування.

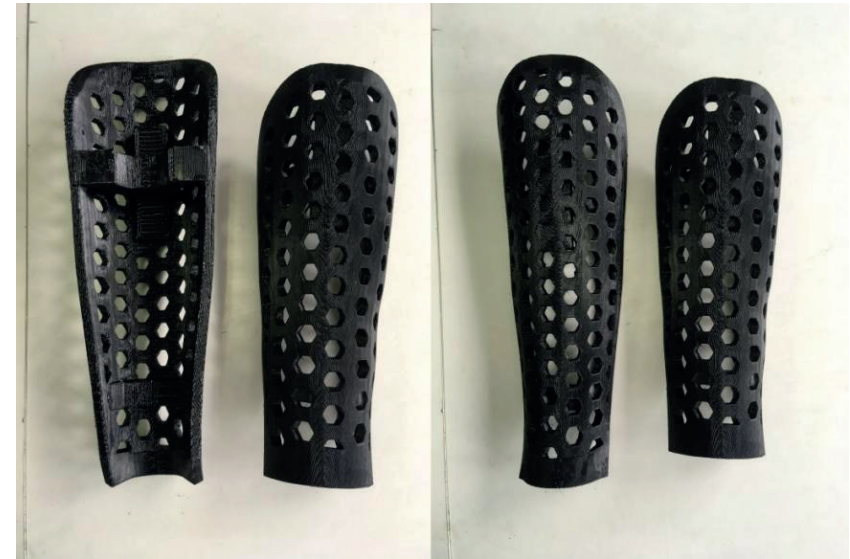


Рис. 8. Приклади протезів

АВС-пластик є найбільш популярним матеріалом для 3D-друку. Він досить еластичний, не має запаху, витримує температуру до 100 °С. Температура плавлення пластику — 220–260 °С. Однак єдиний істотний недолік — вразливість до прямих сонячних променів.

PLA-пластик — головний конкурент ABS-пластику з температурою плавлення від 190 °С. Екологічно чистий. До того ж PLA-пластик з часом розкладається, що є як плюсом, так і мінусом. Менш міцний, ніж ABS, втрачає свої властивості вже при температурі 80 °С. Найчастіше використовується для друку найменш вразливих місць.

Металевий порошок використовується в професійних моделях принтерів, оскільки для створення якісних деталей вимагає специфічних умов. Плавлення порошку забезпечується оптоволоконним лазером потужністю від 200 Вт і відбувається в герметичній камері, заповненій інертним газом. Найбільш популярним металом є титан, що не викликає алергії. Проте можливе використання міді, золота, срібла, алюмінію. Використання такого матеріалу є досить дорогим порівняно з іншими матеріалами, але забезпечує максимальну міцність та оптимальну вагу протеза.

Тривимірні сканери ніг широко використовуються в різних галузях для діагностики та лікування, підбору взуття, протезування, виготовлення устілок.

Використання тривимірного сканування ніг дає можливість підвищити діагностику захворювань, зменшує час дослідження, підвищує точність виготовлення устілок та взуття.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. 3D-сканер [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/3D-%D1%81%D0%BA%D0%B0%D0%BD%D0%B5%D1%80>.
2. Чан А. Л. В., та Романюк О. Н. Аналіз пристроїв 3D-сканування. *Матеріал XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ*. — Вінниця, 2020. — С. 143–147.
3. Романюк О. Н., Марущак А. В., Шмалюх В. А. Аналіз боді 3D-сканерів людини. *Матеріал XLIX науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ*. — Вінниця, 2020. — С. 181–184.
4. Профессиональные решения для 3D-сканирования | Artec3D. 2020. *3D-Сканеры*. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.artec3d.com/ru/portable-3d-scanners>. Доступ 23 листопада 2020.
5. Романюк О. Н., Кательников Д. І., Шмалюх В. А. Комп'ютерне моделювання протезів Використання інформаційних та комунікаційних технологій в сучасному цифровому суспільстві : колективна монографія / За загальною редакцією Райко Г. О. — Херсон: ФОП Вишемирський В. С., 2020. — С. 19–32.

6. Сравнительный анализ 3D-сканирования стопы с традиционными методами исследования. Информационно-обучающий портал травматологов-ортопедов [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.w3.org/TR/xhtml1/DTD/xhtml1-strict.dtd>. Доступ 23 листопада 2020.
7. Представляем ортопедические 3D-сканеры ScanPod3D [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: <https://3dtoday.ru/blogs/cvetmir3d/orthopedic-3d-scanners-scanpod3d/>. Доступ 23 листопада 2020.
8. Этапы 3D-производства ортопедических стелек в Москве [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: <https://cvetmir3d.ru/blog/primenenie/ortopedicheskie-stelki/>. Доступ 23 листопада 2020.
9. На мировом рынке 3D-сканеров ожидается быстрый рост [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: <https://3dnews.ru/1002491/>. Доступ 23 листопада 2020.
10. Willaston Physio & Rehab представили 3d сканер стоп [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: <https://3d-daily.ru/medicine/foot-3dscanner.htm/>. Доступ 23 листопада 2020.
11. Composites: going bone-deep into medical applications [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: <http://www.healthcareasia.org/2016/materials-news-composites-going-bone-deep-into-medical-applications/>. Доступ 23 листопада 2020.

АНАЛІЗ 3D-BODY СКАНЕРІВ

Романюк О. Н., Марущак А. В., Шмалюх В. А., Михайлов П. І., Чехместрук Р. Ю., Перун І. В.

Сьогодні широко застосовуються 3D-сканери у науці, медицині, комерції. Вони стають все більш доступними й інтегруються у повсякденне життя людей. 3D-сканери застосовуються не лише для сканування статичних об'єктів неживої природи, а й для формування моделі людини. Цифрова копія людини може надати багато корисної інформації, наприклад, відобразити точні розміри будь-якої частини тіла, дати можливість сформуванню цифровий 3D-аватар чи спроектувати ідеальний протез для пацієнта. Зокрема поєднання передових технологій та 3D-сканерів можуть формувати багатозадачність пристроїв, такі як 3D-рентген. Ринок 3D-сканерів постійно розвивається, поширюючи асортимент доступних товарів для застосування в різних галузях. Популяризація використання призводить до появи принципово нових технологій сканування та створення програмного забезпечення для формування більш якісних моделей сканованого тіла.

Наукове видання

АРТЕМЕНКО В_____ Б_____ ,
АРТЕМЕНКО Л_____ В_____ ,
АРТЕМЕНКО О_____ В_____
та інші

**НА ШЛЯХУ ДО ІНДУСТРІЇ 4.0:
ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ,
МОДЕЛЮВАННЯ, ШТУЧНИЙ
ІНТЕЛЕКТ, АВТОМАТИЗАЦІЯ**

Монографія

Завідувачка редакції *Т. М. Забанова*
Технічний редактор *М. М. Бушин*

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 31,62.
Тираж 300 прим. Зам. № 798 (12).

Видавництво і друкарня «Астропринт»
65091, м. Одеса, вул. Разумовська, 21
Тел.: (0482) 37-14-25, 37-07-17, (048) 7-855-855
e-mail: astro_print@ukr.net; www.astroprint.ua; www.stranichka.in.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 1373 від 28.05.2003 р.