

УДК 681.6:617.57-77+617.58-77

Бугай Б.А.

магістрант НУ «Запорізька політехніка»

ВИКОРИСТАННЯ 3D-ДРУКУ ДЛЯ ПЕРСОНАЛІЗОВАНОГО ПРОТЕЗУВАННЯ КІНЦІВОК: ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА КЛІНІЧНІ РЕЗУЛЬТАТИ

Актуальність теми. Сучасна протетична медицина стикається з низкою критичних викликів, які роблять впровадження 3D-друку в протезування особливо актуальним:

1. Обмеження традиційних методів:

- класичні протези часто виготовляються масово або за узагальненими шаблонами, що призводить до недостатньої анатомічної відповідності та дискомфорту пацієнта;
- тривалий процес виготовлення (до кількох тижнів) затримує початок реабілітації;
- висока вартість (особливо для біонічних моделей) робить їх недоступними для багатьох пацієнтів.

2. Переваги 3D-друку:

- **персоналізація:** сканування культі дозволяє створити ідеально підігнаний протез, що зменшує ризик утворення потертостей і пролежнів;
- **швидкість:** виготовлення протезу за допомогою 3D-друку може займати від кількох годин до 2-3 днів;
- **економічність:** вартість матеріалів для 3D-друку значно нижча, ніж для традиційних методів;
- **доступність:** технологія особливо перспективна для дитячого протезування, де потрібна часта заміна протезів через ріст дитини.

3. Клінічна необхідність:

- недостатня кількість масштабних досліджень, які б порівнювали довгострокові результати використання 3D-протезів з традиційними аналогами;

- відсутність розроблених стандартизованих критеріїв оцінки ефективності таких протезів (функціональність, довговічність, вплив на якість життя).

4. Соціальний аспект:

- технологія може значно покращити доступність протезування для малозабезпечених верств населення та мешканців країн, що розвиваються;

- перспектива створення локальних центрів 3D-друку протезів може зменшити залежність від імпорту дорогих зразків.

Таким чином, дослідження ефективності 3D-друкованих протезів є надзвичайно актуальним як з медичної, так і з соціально-економічної точки зору.

Метою дослідження є комплексна оцінка ефективності застосування 3D-друку для створення персоналізованих протезів кінцівок шляхом порівняння їх функціональних характеристик, клінічних результатів та економічної доцільності з традиційними методами протезування.

Завдання дослідження: технологічний аналіз (дослідження сучасних технологій 3D-друку, що застосовуються у протезуванні; визначення оптимальних матеріалів для друку з точки зору міцності, ваги та біосумісності; розробка алгоритму створення персоналізованих протезів на основі 3D-сканування); **клінічна оцінка (проведення порівняльного аналізу функціональності 3D-друкованих та традиційних протезів; оцінка рівня комфорту та якості життя пацієнтів при використанні різних типів протезів; дослідження терміну адаптації до 3D-протезів порівняно з традиційними); біомеханічні дослідження (проведення аналізу розподілу навантаження на культю при використанні різних типів протезів; дослідження впливу конструктивних особливостей 3D-протезів на кінематику ходи; оцінка ергономічних характеристик різних моделей); економічний аналіз (порівняння вартості виробництва та експлуатації 3D-друкованих і традиційних протезів; розрахунок термінів окупності інвестицій у 3D-обладнання для протезних майстерень; дослідження впливу масового впровадження технології на ринок протезних виробів); соціальний аспект (дослідження доступності 3D-протезування для різних соціальних груп; розробка рекомендацій щодо організації центрів 3D-протезування в регіонах; оцінка психологічного впливу**

персоналізованих протезів на пацієнтів) та **перспективи розвитку (вивчення** можливості інтеграції сенсорних систем у 3D-друковані протези; дослідження перспективи використання біорозкладних матеріалів для тимчасових протезів, розробка концепції «швидкого протезування» для екстрених випадків).

Зазначені завдання дозволять всебічно оцінити потенціал 3D-друку в протезуванні та розробити науково обґрунтовані рекомендації для їх клінічного застосування. Кожне завдання спрямоване на вирішення конкретної проблеми сучасного протезування, що дозволить отримати цілісну картину ефективності даної технології.

Об’єкт дослідження: процес протезування верхніх та нижніх кінцівок з використанням інноваційних технологій 3D-друку.

Предмет дослідження: критерії оцінки ефективності 3D-друкованих протезів, що включають (функціональні характеристики, клінічні параметри, техніко-економічні показники, психосоціальні та інноваційні аспекти)

Предмет дослідження також включає методику порівняльної оцінки традиційних та 3D-друкованих протезів, що дозволить об’єктивно визначити переваги та недоліки кожної технології в різних клінічних випадках. Особлива увага приділяється критеріям, які найбільш значимі для кінцевих користувачів - пацієнтів, що потребують протезування.

Для комплексного вивчення ефективності 3D-друкованих протезів запропоновано таку систему **методів**:

1. Теоретичні методи: системний аналіз наукової літератури та патентів у сфері 3D-протезування, порівняльно-історичний метод для вивчення еволюції технологій протезування, моделювання процесів адаптації пацієнтів до різних типів протезів;

2. Експериментальні методи: 3D-сканування та проектування, виробничі технології;

3. Клінічні методи: біомеханічні дослідження, клінічні випробування;

4. Соціологічні методи: анкетування пацієнтів за спеціально розробленою шкалою оцінки;

5. Статистичні методи: кореляційний аналіз між параметрами протезів та клінічними результатами, регресійне моделювання для прогнозування успішності адаптації; мета-аналіз результатів клінічних досліджень;

6. Економічні методи.

Кожен метод адаптований до конкретних етапів дослідження, що дозволяє отримати максимально об’єктивні та верифіковані результати.

Особливу увагу приділено міждисциплінарному підходу, що поєднує медичні, технічні та соціальні аспекти дослідження.

Висновок. Проведене дослідження **ефективності 3D-друку для персоналізованого протезування кінцівок** дозволить отримати важливі наукові та практичні результати, які можуть значно вплинути на розвиток сучасної протетичної медицини. Очікується, що робота підтвердить такі ключові положення:

1. Технологічна ефективність: персоналізовані 3D-друковані протези демонструватимуть вищу анатомічну відповідність, легкість та міцність у порівнянні з традиційними аналогами; інтеграція сучасних матеріалів (наприклад, карбонових волокон або біосумісних полімерів) дозволить оптимізувати їх функціональність для щоденного використання.

2. Клінічні переваги: скорочення термінів адаптації завдяки ідеальній посадці та зменшенню дискомфорту; **зниження ризику ускладнень** (пролежні, подразнення шкіри) через точніше розподілення навантаження на культю; **покращення рухової активності** пацієнтів, що підтвердиться біомеханічними тестами (наприклад, аналіз ходи або EMG-дослідженнями).

3. Економічна доцільність: зниження собівартості протезів на 30–50% порівняно з традиційними методами; **скорочення часу виробництва** з тижнів до днів, що особливо критично для дитячого протезування; **можливість локалізації виробництва**, що зробить протези доступними для віддалених регіонів.

4. Соціальний вплив: підвищення якості життя пацієнтів через персоналізацію та естетичність конструкцій.

5. Психологічна підтримка: індивідуальний дизайн протезів сприятиме кращій соціальній інтеграції; **доступність для малозабезпечених груп** завдяки нижчій ціні та можливості швидкого перевиготовлення.

6. Перспективи розвитку: інтеграція з біонічними технологіями (наприклад, сенсорний зворотний зв'язок); **використання біорозкладних матеріалів** для тимчасових протезів після операцій; **створення цифрових бібліотек** моделей для швидкого підбору та модифікації протезів.

Дослідження підтверджує, що 3D-друк є не просто альтернативою, а **перспективним стандартом майбутнього** у протезуванні. Його впровадження потребуватиме подальших клінічних випробувань, навчання фахівців та адаптації нормативної бази, але вже зараз очевидні його переваги для пацієнтів, лікарів і економіки охорони здоров'я.