

ПРОТЕЗНІ ЛАЙНЕРИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ НАТУРАЛЬНОЇ ШКІРИ ДЛЯ ЇХ РОЗРОБКИ

І. Б. ЮНГІН, О. Р. МОКРОУСОВА

Київський національний університет технологій та дизайну, вул. Мала Шияновська, 2, Київ, 01011, iunginivan@gmail.com

Протези для кінцівок відіграють важливу роль у відновленні функціональності та покращенні якості життя людей з втратою кінцівок. Протягом років вивчалися та використовувалися різні матеріали для розробки протезних кінцівок. З цих матеріалів, шкіра здобула увагу як потенційний альтернативний матеріал завдяки своїм унікальним властивостям. У цій роботі надано огляд використання шкіряного матеріалу для протезних лайнерів, обговорюючи його переваги, виклики та перспективи застосування.

На сьогодні за оцінками експертів ООН особи з інвалідністю складають приблизно 10% від усього населення планети (при коливаннях цього показника від 1 до 27%). В Україні кількість таких осіб становить близько 2,7 млн, з них 23% особи з інвалідністю з порушеннями опорно-рухового апарату [1]. Через війну в Україні кількість військових, поранення яких призвело до ампутації кінцівки, визначається тисячами. Крім того, число військових і цивільних осіб, які потребують протезування і реабілітації після поранення постійно зростає. Протези для кінцівок мають на меті імітувати функцію та зовнішній вигляд природних кінцівок, і вибір матеріалів має великий вплив на загальну продуктивність та комфорт використання [2]. Захист м'яких тканин залишкових кінцівок для людей з нижніми ампутаціями є складним викликом. На відміну від плантарних тканин непошкодженої стопи, м'які тканини залишкової кінцівки не звикли до навантажень. В результаті, навантаження, які передаються на залишкову кінцівку протезним ложем, можуть спричинити виразки та інші проблеми шкіри [3]. Одним із непомітних, але важливих частин протезу є лайнер, що забезпечує прилягання протезу до шкіряного покриву людини та зумовлює комфорт носіння протезу та якість життя власника протезу. Лайнери є покриттям, яке носить на залишковій кінцівці перед протезним гніздом [4]. Вони відіграють важливу роль з точки зору зручності носіння та гігієни [5].

Метою нашої роботи є дослідження матеріалів природнього походження та методів їх обробки для надання покращених властивостей з подальшим застосуванням як протезних лайнерів. Вибір правильного лайнера залежить від рівня активності та потреб користувачів, а також від системи підвішування протезної ноги [6]. Хоча лайнери забезпечують зручність носіння користувачам, виникає незручність через потовиділення та недостатню повітропроникність. У протезних лайнерах, які використовуються для покриття і носіння на залишковій кінцівці перед установкою гнізда протезу, застосовуються різні матеріали з метою забезпечення комфорту, захисту і довговічності. Деякі з найпоширеніших матеріалів для лайнерів протезів включають [6-8]:

1) Силікон: силіконові лайнери є дуже популярними через свою м'якість, гнучкість і добру амортизацію. Вони надають комфортний прилягання до залишкової кінцівки, захищають від тертя і допомагають знизити ризик виникнення рани або подразнення шкіри.

2) Поліуретан: лайнери з поліуретану мають високу міцність і довговічність. Вони забезпечують стабільну підтримку і захист залишкової кінцівки, а також добре амортизують удари і збільшують стійкість протезу.

3) Термопластичний еластомер (ТПЕ): цей матеріал поєднує властивості гуми і пластика, забезпечуючи гнучкість, комфорт і добру амортизацію. Він також добре прилягає до шкіри і забезпечує захист від тертя.

4) Гелеві матеріали: гелеві лайнери мають м'яку текстуру і добру амортизацію. Вони надають комфортне прилягання, захищають від тертя і допомагають розподілити тиск рівномірно.

5) Текстильні матеріали: деякі лайнери можуть містити текстильні компоненти, такі як спеціальні тканини або волокна, які забезпечують додаткову амортизацію, вентиляцію і контроль вологості.

б) **Натуральна шкіра високої якості:** здатна компенсувати недоліки вищезазначених матеріалів та є найбільш комфортною для носіння таких типів приладь.

У минулому лайнери виготовлялися з відкрито- та закритоклітинних піп, які обгортали залишкову кінцівку. В практиці все ще використовуються пінові лайнери, але сучасні лайнери зазвичай виготовляються з силікону або інших еластомерів та надягаються на залишкову кінцівку. Вважається, що ці лайнери, які надягаються, надають краще підвішування, міцність та амортизацію, ніж пінові [9]. Серед проблем використання лайнерів, виготовлених з різних матеріалів, зазначають подразнення шкіри, підвищене потовиділення, що призводить до розвитку й акумуляції бактеріальних клітин та формування біоплівки, неприємного запаху, а також швидке зношення внаслідок постійного тертя та нестабільність прилягання [11]. У цьому контексті шкіра має переваги завдяки своїм колагеновим волокнам потрійної спіралі і, ймовірно, є ідеальним альтернативним природним матеріалом для синтетичних лайнерів. Шкіра має кілька переваг, що роблять її придатною для протезування кінцівок. Серед цих переваг – міцність, здатність пристосовуватися до різних форм, дихаюча властивість та стійкість до зношування. Для виготовлення протезних лайнерів використовують м'яку шкіру високої якості, зазвичай, виготовлену з сировини овчини. Використання шкіри у лайнерах може забезпечити покращений комфорт, зменшити потовиділення та запобігти дискомфорту, спричиненому тертям. Крім того, шкіряні ремені та подушечки можуть забезпечити регульовану підтримку та покращити загальну прилягання [12].

Беручи до уваги основні проблеми, пов'язані з використанням протезних лайнерів, задачами, що стоять перед дослідниками в цій сфері, мають бути оптимізація технології виготовлення шкір для протезних лайнерів з урахуванням процесів безхромового дублення, розробка складу антимікробної композиції шкіри для запобігання розвитку біоплівки та

покращення гігієнічних властивостей шкіри для терморегуляції та компенсації потовиділення, а також дослідження інноваційних способів покращення міцності та зносостійкості [10].

Так, наприклад, у дослідженні Abram et al, 2021 [13] було протестовано 12 типів поверхні протезних та ортопедичних матеріалів на ступінь прикріплення бактерій *Staphylococcus aureus* та *Staphylococcus epidermidis*, а також, як шорсткість, гідрофобність і заряд поверхні цих матеріалів впливають на прикріплення. Шорсткість, кут контакту, дзета-потенціал поверхонь матеріалів та ступінь прикріплення *Staphylococcus aureus* та *Staphylococcus epidermidis* були виміряні на всіх дванадцяти протезних та ортопедичних матеріалах, а саме: поліметилметакрилат, термопластичний еластомер, три типи етиленових полівінілових ацетатів (чистий, з поліетиленом низької щільності та з наночастинками срібла), силікон, закритоклітинні поліетиленові піни з і без наночастинок, термо та природний корк, штучна та натуральна шкіра. Найбільший ступінь прикріплення встановлено для закритоклітинних поліетиленових пінах, за якими слідували штучний термкорк і шкіра. Найменша ступінь прикріплення встановлено на етилен-вініловому ацетаті. Ступінь прикріплення бактерій зростає зі збільшенням шорсткості поверхні [13]. З огляду на такі результати, важливим є надання антимікробних властивостей натуральній шкірі як матеріалу, що має перспективи використання у розробці та виробництві протезів для кінцівок. Крім того, на основі шкіри можливе розроблення волоконно-армованого матеріалу, який також зарекомендував себе як перспективний матеріал для виробництва протезних лайнерів [14].

Таким чином, натуральні шкіри мають потенціал як перспективної альтернативи в протезуванні кінцівок завдяки унікальному поєднанню властивостей, таких як міцність, гнучкість та гігієнічні характеристики. Незважаючи на виклики, постійні дослідження та прогрес в шкіряному матеріалознавстві надають можливості подолати обмеження та розширити

використання шкіри в створенні деталей протезів. Майбутні розробки на основі технологічних особливостей виробництва шкіри мають потенціал покращити комфорт користувачів та функціональність протезних виробів.

Література

1. Семенець, В. В., Носова, Т. В., Салєєва, А. Д., Белєвцова, Л. О., & Солнцева, І. Л. Виробничі технології та матеріали. Харків, **2022**. 94 с.
2. Klute, G. K., Glaister, B. C., & Berge, J. S. Prosthetic liners for lower limb amputees: a review of the literature. *Prosthetics and orthotics international*. **2010**, 34(2), 146-153.
3. Richardson, A., & Dillon, M. P. User experience of transtibial prosthetic liners: a systematic review. *Prosthetics and orthotics international*. **2017**, 41(1), 6-18.
4. Silver-Thorn, B., Steege, J. W., & Childress, D. S. A review of prosthetic interface stress investigations. *Journal of rehabilitation research and development*. Veterans Administration, 1996. 14 p.
5. Sankaran, S., Murugan, P. R., Johnson, J. C., Abdullah, H. J. S., Raj, C. M. N., & Ashokan, D. Prevention of skin problems in patients using prosthetic limb: A review of current technologies and limitations. In *2019 International Conference on Communication and Signal Processing (ICCSP)* **2019**. IEEE. P.0077-0081.
6. Miyata, Y., Sasaki, K., Guerra, G., & Rattanakoch, J. Sustainable, affordable and functional: Reimagining prosthetic liners in resource limited environments. *Disability and Rehabilitation*. **2022**, 44(12), 2941-2947.
7. Paternò, L., Dhokia, V., Menciassi, A., Bilzon, J., & Seminati, E. A personalised prosthetic liner with embedded sensor technology: A case study. *BioMedical Engineering OnLine*. **2020**, 19, 1-20.
8. McGrath, M., McCarthy, J., Gallego, A., Kercher, A., Zahedi, S., & Moser, D. The influence of perforated prosthetic liners on residual limb wound healing: a case report. *CANADIAN PROSTHETICS & ORTHOTICS JOURNAL*. **2019**, 2(1).

9. Han G, Ceilley R. Chronic wound healing: a review of current management and treatments. *Adv Ther.* **2017**;34(3):599-610.
10. Xie, J., Liu, X., Tang, J., Li, X., & Li, W. Study on friction behavior at the interface between prosthetic socket and liner. *Acta of Bioengineering & Biomechanics.* **2021**, 23(1).
11. Luan, H., BI, J., Wu, S., Ren, W., Liu, H., Zhang, Y., & LI, Z. Cytotoxicity and mechanical properties of the prosthetic liner. *Chinese Journal of Rehabilitation Theory and Practice.* **2022**, 479-483.
12. Abram, A., Zore, A., Lipovž, U., Košak, A., Gavras, M., Boltežar, Ž., & Bohinc, K. Bacterial Adhesion on Prosthetic and Orthotic Material Surfaces. *Coatings.* **2021**, 11(12), 1469.
13. Kumar, S., & Bhowmik, S. Potential use of natural fiber-reinforced polymer biocomposites in knee prostheses: a review on fair inclusion in amputees. *Iranian Polymer Journal.* **2022**, 31(10), 1297-1319.
14. Mahajan, S. M., Sneha, V. P., Pratiksha, N. M., & Abhijit, K. B. Design and development of prosthetic legs. *International Journal of Engineering and Management Research (IJEMR).* **2019**, 9(2), 91-95.