

Streszczenie

Mimo intensywnego rozwoju inżynierii tkankowej oraz licznych rozwiązań konstrukcyjnych i materiałowych, wciąż istnieją istotne ograniczenia w zakresie skutecznej rekonstrukcji krytycznego ubytku kostnego (CSBD – z ang. *critical-size bone defect*) w kościach długich, których organizm nie jest w stanie odbudować bez interwencji medycznej. Stwarza to konieczność opracowywania nowych rozwiązań w zakresie rekonstrukcji kości, które obejmują właściwe projektowanie i optymalizację geometrii implantów, dobór odpowiednich materiałów oraz wspieranie procesów przebudowy tkanki.

Jednym z takich rozwiązań są skaffoldy, tj. porowate, trójwymiarowe rusztowania, wykorzystywane w rekonstrukcji krytycznych ubytków kostnych jako struktury wspomagające regenerację tkanki. Ich szczególną cechą jest możliwość kształtowania architektury przestrzennej, co otwiera perspektywy indywidualnego dopasowania do warunków danego ubytku. Jednakże, obecnie stosowane do ich optymalizacji algorytmy często nie są dedykowane zastosowaniom ortopedycznym, lecz zostały zaadaptowane z innych obszarów. Nie pozwalają one na pełne dostosowanie geometrii do lokalnych wymagań, zarówno biologicznych, jak i mechanicznych. Nierzadko pomijają istotne parametry niezbędne do optymalizacji lub przedwcześnie sugerują osiągnięcie optimum, ignorując potencjalnie lepsze rozwiązania. Ze względu na wskazane ograniczenia w niniejszej rozprawie doktorskiej podjęto próbę opracowania i zastosowania autorskiego podejścia numeryczno-eksperymentalnej optymalizacji architektury skaffoldów poprzez zaproponowanie metody postępowania prowadzącej do uzyskania ich optymalnej geometrii, indywidualnie dostosowanej do danego ubytku kostnego.

Na podstawie przeprowadzonych badań numerycznych z zastosowaniem metody elementów skończonych określono wpływ parametrów geometrycznych na właściwości mechaniczne skaffoldów. Badania te miały charakter podstawowy i pozwoliły zidentyfikować kluczowe zależności opisujące wpływ geometrii na biomechaniczną funkcjonalność tego typu struktur. Oceniono również ich skuteczność w odbudowie ciągłości kości długich oraz przeanalizowano metody kotwiczenia w tkance kostnej.

W oparciu o uzyskane wyniki opracowano własny algorytm optymalizacyjny w środowisku parametrycznego języka programowania ANSYS (APDL – z ang. *ANSYS Parametric Design Language*). Jego zadaniem była adaptacja geometrii skaffoldu do specyficznych warunków danego ubytku, z uwzględnieniem porowatości, kształtu i geometrii porów. Zastosowanie algorytmu w praktyce pozwoliło uzyskać skaffold o optymalnej architekturze, indywidualnie dopasowany do konkretnego przypadku klinicznego.

Otrzymaną optymalną strukturę skaffoldu dla wybranego ubytku kostnego poddano walidacji numeryczno-eksperymentalnej, co umożliwiło ocenę zarówno opracowanego algorytmu, jak i samego rozwiązania. W analizach numerycznych badano wpływ parametrów

geometrycznych na wytrzymałość rusztowania oraz przebudowę kości w miejscu implantacji. Struktura optymalna została dodatkowo porównana z innymi skaffoldami o architekturze homogenicznej oraz o kontrolowanej architekturze heterogenicznej. W warunkach eksperymentalnych skaffoldy wytworzone metodą druku przestrzennego przeanalizowano pod kątem wpływu geometrii na ich wytrzymałość. Dane eksperymentalne wykazały zbieżność z rezultatami analiz numerycznych, potwierdzając jednocześnie możliwość modyfikacji parametrów w celu dostosowania skaffoldu do określonych obciążeń i warunków biologicznych.

Kompleksowe badania numeryczno-eksperymentalne dostarczyły nowych danych dotyczących zależności pomiędzy geometrią skaffoldu a jego funkcjonalnością ortopedyczną. Wyniki wskazują, że zastosowanie autorskiego podejścia optymalizacyjnego może stanowić istotny krok w kierunku zwiększenia efektywności skaffoldów stosowanych w praktyce klinicznej, zarówno w aspekcie mechanicznym, jak i osteointegracyjnym.

Anita Grylko