

Streszczenie popularnonaukowe

Obecnie prawie 1000 milionów ludzi cierpi na problemy neurologiczne, takie jak padaczka, choroby Alzheimera i Parkinsona, migreny, miażdżyca czy infekcje nerwowe. W większości przypadków odbudowę ścieżki nerwowej można wykonać poprzez wprowadzenie elektrody w tkankę nerwową. Umieszczenie elektrody w środowisku nerwowym powoduje samoistne tworzenie się granicy między tkanką nerwową a powierzchnią elektrody, nazywaną interfejsem. Ponieważ transmisja sygnałów w układzie nerwowym zależy od nośnika elektrycznego (jony) i nośnika chemicznego (neuroprzekaźniki), monitorowanie/stymulowanie układu nerwowego przez elektrodę można uzyskać poprzez interfejs elektryczny i chemiczny. Aby zapewnić skuteczną stymulację tkanki nerwowej i/lub rejestrację aktywności neuronów, materiał elektrody interfejsu elektrycznego powinien charakteryzować się niską impedancją międzyfazową, wysoką stabilnością elektryczną, wysoką zdolnością wstrzykiwania ładunku i wysoką elektroaktywnością, natomiast interfejs chemiczny powinien być dodatkowo wzbogacony o rezerwuar leku przeciwzapalnego, który wydzielany podczas stymulacji elektrody zmniejszy możliwy stan zapalny po procesie implantacji. Obecnie rynek elektrod neuronowych opiera się głównie na czystych metalach, takich jak złoto czy platyna. Metale te wykazują niską porowatość i mało rozwiniętą strukturę, co powoduje słabą integrację elektrody ze środowiskiem tkankowym, powodując wysoki stan zapalny wokół implantu. To z kolei prowadzi do degeneracji transmisji sygnału i ogranicza efektywną żywotność elektrody. Modułacja elektrody interfejsu za pomocą materiału nanostrukturalnego, takiego jak przewodząca powłoka polimerowa, stała się ostatnio obiecującym sposobem zapewnienia wydajnej transmisji sygnału w zastosowaniach neuronowych. Ostatnio obserwuje się tendencję do miniaturyzacji i uelastycznienia podłoży i materiałów dla systemów/urządzeń elektronicznych. Ten sam trend można zaobserwować w przypadku elektrod do zastosowań neuronowych, tj.: w literaturze zaproponowano nową, bardziej elastyczną formę przewodzącego polimeru poli(3,4-etylenodioksytiofenu) (PEDOT) tj. hydrożel oraz niezależnie zaproponowano elastyczne podłoża elektrodowe. Rzeczywiście, elastyczna postać elektrody wykazuje właściwości mechaniczne podobne do tkanki nerwowej, jednak nie wiadomo, czy hydrożelowa postać polimeru lub elastyczne podłoże elektrody, nadal zapewniają skuteczne parametry interfejsu elektrycznego w kierunku stymulacji nerwowej. Co więcej, proponowane w literaturze elektrody stymulują/monitorują układ nerwowy tylko poprzez interfejs elektryczny, co nie jest wystarczające, jeśli celem jest uzyskanie elektrody nerwowej o długiej żywotności.

Z tego powodu głównym celem wniosku jest opracowanie wielofunkcyjnej neuronowej elektrody z wykorzystaniem polimeru przewodzącego PEDOT. Badania obejmą przygotowanie i zbadanie elektrod na bazie PEDOT względem elektronicznego i chemicznego interfejsu neuronowego. Zbadany zostanie wpływ trzech głównych warunków podczas przygotowania elektrod: rodzaj syntezy polimeru (elektroosadzanie, odlewanie kroplowe), forma zsyntetyzowanej powłoki polimerowej (stały film, hydrożel) oraz rodzaj podłoża elektrody (sztywne, elastyczne). Interfejs chemiczny polimerowych elektrod zostanie zmodyfikowany poprzez wprowadzenie zbiornika leku przeciwzapalnego. Zbadany zostanie profil uwalniania leku z każdej elektrody podczas jej stymulacji. Zbadany zostanie profil stabilności elektrod PEDOT bez i podczas ich stymulacji. Zaproponowany i omówiony zostanie mechanizm stabilności. Biologiczna charakterystyka in-vitro elektrod zostanie oceniona w obecności ludzkich linii komórek nerwowych.

Badania w ramach projektu pozwolą na przygotowanie wielofunkcyjnej elektrody bazującej na polimerze PEDOT, zawierającej zarówno elektryczne, jak i chemiczne funkcje interfejsu neuronowego, których funkcjonalne parametry elektryczne (impedancja międzyfazowa, pojemność wstrzykiwania ładunku) będą co najmniej tak samo wydajne, jak obecnie stosowane elektrody metaliczne. Zoptymalizowana wielofunkcyjna elektroda na bazie PEDOT do interfejsu neuronowego będzie charakteryzowała się następującymi parametrami:

(a) Interfejs elektryczny: co najmniej taka sama lub niższa impedancja międzyfazowa, wyższa zdolność wstrzykiwania ładunku, wyższa elektroaktywność, większa powierzchnia aktywna – w porównaniu z dostępnymi na rynku metalowymi elektrodami platynowymi,

(b) Interfejs chemiczny: wprowadzenie zbiornika leku przeciwzapalnego w strukturę polimeru; modułacja interfejsu chemicznego elektrody nie wpłynie na już zoptymalizowane parametry interfejsu elektrycznego; lek będzie stopniowo uwalniany z polimeru podczas stymulacji elektrodą ze skutecznością min. 90%,

(c) Stabilność: elektrody ze zoptymalizowanym interfejsem elektrycznym i chemicznym będą wykazywać minimum 3-4 razy dłuższą żywotność elektrody w porównaniu z obecnie stosowanymi elektrodami platynowymi,

(d) Biokompatybilność: zoptymalizowane elektrody będą charakteryzować się wysoką biokompatybilnością (niską cytotoksycznością) w obecności ludzkich komórek nerwowych; Zaobserwowana zostanie skuteczna stymulacja ludzkiej komórki nerwowej za pomocą zoptymalizowanej elektrody PEDOT.