

Czy można wyobrazić sobie materiał, który przez lata był wykorzystywany do produkcji trwałych implantów serca, a dziś ma szansę stać się podstawą nowoczesnych technologii leczenia chorób mózgu i układu nerwowego? Takim materiałem jest węgiel pirolityczny (PyC). Choć nie brzmi tak spektakularnie jak „grafen” czy „nanorurka węglowa”, PyC kryje w sobie ogromny potencjał naukowy, a jego teksturalne odmiany dzielą wiele wspólnych cech z nanomateriałami węglowymi ze względu na podobną budowę strukturalną. Ta wyjątkowa struktura i „nieidealne” ułożenie małych fragmentów (domen) grafenu tworzy sieć z licznymi defektami, które, dotychczas kojarzone z wadami materiału, tu stają się niezwykłym atutem. Dzięki takiej budowie modyfikowanie powierzchni PyC staje się stosunkowo mniej problematyczne i tańsze, co z kolei pozwala na wyeksponowanie jeszcze większej ilości defektów i centrów aktywnych, umożliwiając precyzyjnie dostosowanie jego właściwości do potrzeb medycyny i elektrochemii.

Dlaczego PyC jest tak obiecujący? Przez ostatnie lata naukowcy intensywnie skupiali się na nanomateriałach, które, choć mają świetne właściwości, są kłopotliwe w pracy z nimi i kosztowne w produkcji, także często niebezpieczne dla zdrowia. Pirowęgiel mimo pewnych różnic, łączy w sobie zalety tych nanomateriałów (duża liczba aktywnych miejsc na powierzchni, wysoka przewodność) z trwałością i bezpieczeństwem klasycznych litych materiałów. Co więcej, PyC jest już od dawna stosowany w implantologii, bo jest trwały i doskonale biogodny. Niestety, jego potencjał w nowoczesnych technologiach pozostaje w dużej mierze niewykorzystany.

Celem realizowanego projektu jest zbadanie wpływu różnych technik funkcjonalizacji i dopowania struktury PyC (chemicznych, elektrochemicznych, plazmowych/ozonowania) na możliwość uzyskania takich właściwości fizykochemicznych, elektrochemicznych i biologicznych, które pozwoliłyby na perspektywiczne stworzenie nowej generacji elektrod i zastosowania ich do neurostymulacji. Stymulacja neuronów to metoda celowego, kontrolowanego oddziaływania na układ nerwowy za pomocą impulsów elektrycznych, mająca na celu modulację aktywności neuronów w leczeniu różnych schorzeń neurologicznych. Zarówno głęboka stymulacja mózgu (DBS), jak i przezskórna stymulacja nerwów (PENS) są niezwykle ważnymi terapiami, ponieważ - mimo różnic w lokalizacji i mechanizmie działania - umożliwiają skuteczne leczenie chorób czasami opornych na farmakoterapię, jak choroba Parkinsona, przewlekły ból czy zaburzenia nastroju, znacząco poprawiając jakość życia pacjentów. Nowatorskim podejściem w projekcie, w perspektywie wytworzenia materiału elektrodowego nowej generacji, jest zarazem możliwość wykrywania ważnych neuroprzekaźników, jak dopamina (szczególnie ważny czynnik m.in. w chorobie Parkinsona). To właśnie możliwość stymulacji i monitorowania stanu chemicznego mózgu otwiera drogę do tzw. terapii zamkniętej pętli – inteligentnych systemów leczenia, które w przyszłości mogłyby automatycznie dostosować się do potrzeb pacjenta w czasie rzeczywistym.

W projekcie zostanie wykorzystana nowatorska metoda syntezy pirowęgla w oparciu o chemiczne osadzanie z fazy gazowej z bezpośrednim grzaniem elektrycznym wiązki włókien (DHF-CVD), która pozwala szybko i precyzyjnie wytwarzać kompozyty na bazie włókna węglowego (CF/PyC) o kontrolowanej mikrostrukturze. Materiały te będą poddane trzem różnym metodom funkcjonalizacji w celu poprawy właściwości elektrochemicznych i być może biologicznych. Wprowadzone, przede wszystkim, tlenowe i/lub tlenowo/azotowe grupy funkcyjne, będą decydujące w procesach magazynowania ładunku, reakcji z neuroprzekaźnikami i jak bezpieczeństwa dla komórek nerwowych.

Badania obejmą: zaawansowane analizy struktury, tekstury i składu chemicznego, pomiary właściwości elektrochemicznych, symulowane testy stymulacji impulsowej, detekcji dopaminy, aż po ocenę biogodności z wykorzystaniem ludzkich komórek nerwowych. Badany materiał elektrodowy zostanie sprawdzony w warunkach zbliżonych do tych panujących w organizmie człowieka także pod względem mechanicznym, co istotne w perspektywie terapii PENS.

Dlaczego to ważne? Projekt ten odpowiada na rosnące potrzeby współczesnej medycyny, zwłaszcza w obliczu starzejącego się społeczeństwa i wzrostu liczby chorób neurologicznych. Obecnie stosowane elektrody metalowe są drogie, mają ograniczoną żywotność i mogą powodować stres oksydacyjny, powstanie blizny glowej, co w konsekwencji prowadzi do stanu zapalnego tkanki. Nowe, funkcjonalizowane kompozyty CF/PyC-Ox mają szansę być nie tylko tańsze i trwalsze, ale również bardziej przyjazne dla organizmu i lepiej dopasowaną neuromodulację do indywidualnych potrzeb pacjentów, zapewniając dodatkowo detekcję neuroprzekaźników otwiera zupełnie nowe perspektywy dla terapii neurologicznych – od leczenia Parkinsona po nowoczesne metody walki z bólem.

Projekt stawia na nowoczesne, interdyscyplinarne podejście i wykorzystuje potencjał niedocenianego dotąd teksturalnego węgla pirolitycznego. Poznanie zależności między strukturą, funkcjonalizacją a właściwościami elektrochemicznymi i biologicznymi tych materiałów może przyczynić się nie tylko do rozwoju nowych terapii, ale także do rozwoju nauk o węglu i inżynierii defektów tych materiałów.