

Abstract in Polish

Rozwój metod obrazowania ludzkiego ciała ma duże znaczenie w badaniach medycznych i naukowych, oferując wgląd w strukturę i funkcję tkanek i prowadząc do wielu odkryć i zastosowań praktycznych. Niniejsza praca skupia się na użyciu światła do obrazowania tkanek. W szczególności na spektroskopii w bliskiej podczerwieni (NIRS), która jest ugruntowaną techniką monitorowania *in vivo* hemodynamiki tkanek, tj. lokalnych stężeń hemoglobiny utlenowanej i zredukowanej, a co za tym idzie, nasycenia tkanek tlenem (StO₂). Informację o utlenowaniu tkanek, równowadze pomiędzy tlenem dostarczanym a zużywanym, można zastosować do diagnozowania patologii mózgu lub monitorowania aktywności mózgowej.

W technice NIRS identyfikuje się dwa wyzwania, które utrudniają jej wprowadzenie do powszechnego użytku klinicznego. Niniejsza praca skupia się na ocenie utlenowania (StO₂) kory mózgowej, ale opracowane koncepcje mogą być stosowane w innych obszarach, takich jak badania mięśni czy nerek. Pierwszym wyzwaniem jest rozdzielenie informacji z sygnałów optycznych pochodzących z różnych warstw głowy, dla bardziej dokładnej i niezawodnej oceny utlenowania mózgu. Światło mierzone na powierzchni głowy niesie informacje o tkankach mózgu oraz pozamózgowych (skóra i czaszka). Problem ten jest istotny, ponieważ mierzone światło jest zazwyczaj bardziej wrażliwe na hemodynamikę tkanek pozamózgowych, co może znacznie zakłócać wyznaczaną aktywność mózgu. Drugim wyzwaniem jest brak metod oceny wydajności oksymetrii NIRS. Brakuje wzorcowego pomiaru odniesienia dla rzeczywistych wartości parametrów ustalanych *in vivo*, takich jak StO₂. Ważność tego wyzwania podkreślają trwające międzynarodowe starania w kierunku standaryzacji i testów wydajności systemów NIRS.

W ramach tej pracy doktorskiej wykorzystałem zaawansowany kod Monte Carlo (MC), który został opracowany w IBIB PAN do modelowania propagacji światła w tkankach. Do pomiarów na fantomach i zdrowych ochotnikach użyłem unikatowego w skali światowej systemu zbudowanego w IBIB PAN do czasowo-rozdzielczych, spektralnych pomiarów NIRS, które stanowią najbardziej zaawansowaną odmianę tej techniki.

Łącząc symulacje MC i metodę propagacji błędu, oceniłem niepewności ustalanych zmian stężeń hemoglobiny, co pozwoliło na wybór odpowiednich długości fali świetlnej w systemach NIRS [Publikacja I]. We współpracy z Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) opracowałem metodę ilościowego porównywania i klasyfikacji wydajności różnych mierzonych wielkości, co można również zastosować w analizie sygnałów NIRS z dyskryminacją głębokości [Publikacja II]. Następnie, we współpracy z University College London (UCL), University Hospital Zurich (UHZ) i Politecnico di Milano (Polimi), przetestowałem możliwości i dokładnie zweryfikowałem system zbudowany w IBIB PAN do pomiarów utlenowania

tkanek. Obejmowało to również porównanie z komercyjnym systemem NIRS i analizatorem stężenia gazów we krwi [Publikacja III].

Aby zbadać postawione hipotezy i osiągnąć główne cele badawcze, tj. zniwelować wpływ zidentyfikowanych dwóch wyzwań stawianych przed techniką NIRS, zaproponowałem metody analizy danych zapewniające wysoką dokładność i niezawodność w ustalaniu zmian absorpcji w wielu warstwach tkanek i tym samym utlenowania (StO_2) w tych warstwach. Metoda wykorzystuje zmierzone zmiany momentów statystycznych rozkładów czasu przelotu fotonów (DTOFs) oraz algorytm Levenberga-Marquardta (LMA) do ustalenia zmian właściwościach optycznych w wielu warstwach. Opracowałem dwuwarstwowy fantom z krwi i tłuszczu, umożliwiający symulację kontrolowanych zmian utlenowania (StO_2), niezależnie w dwóch warstwach, imitując pomiar w mózgu i warstwach zewnątrzmoźgowych. Po raz pierwszy fantom ten umożliwił eksperymentalną weryfikację wyznaczania wartości StO_2 w medium o dwóch warstwach [Publikacja IV].

Podsumowując, osiągnąłem główny cel prowadzonych badań proponując nową metodę wyznaczania utlenowania tkanek (StO_2) z dyskryminacją głębokości oraz testując ją na najbardziej zaawansowanym systemie NIRS. Zmierzyłem dane na fantomach oraz zdrowych ochotnikach, opracowałem metody analizy danych w postaci skryptów MATLABA i zamieściłem je w publicznej domenie dla wolnego dostępu w przyszłych badaniach, umożliwiając innym kontynuowanie postępów w wielowarstwowych pomiarach utlenowania głowy. Rozprawa ta czyni postępy w technice NIRS poprzez dostarczenie rozwiązań w obszarze jej kluczowych wyzwań, przybliżając ją do zastosowań klinicznych. Ocena utlenowania tkanek (StO_2) z dyskryminacją głębokości jest opracowana by dostarczać informację z warstwy mózgowej, i tylko tej warstwy.