

Streszczenie w języku polskim

Zastosowanie dynamiki nieliniowej do oceny stabilności posturalnej

Wstęp: Matematyczne spojrzenie na ciało człowieka i procesy biologiczne, które w nim występują, przynosi szereg korzyści dla rozwoju nauk medycznych i diagnostyki. Umożliwia opisywanie i rozumienie wybranych procesów oraz poznanie mechanizmów, które są za nie odpowiedzialne. Jednym z założeń jest potraktowanie ciała człowieka jako układu dynamicznego, złożonego z wielowymiarowych, współpracujących ze sobą komponentów. Takie podejście pozwala na zastosowanie zaawansowanych narzędzi do oceny mechanizmu kontroli posturalnej człowieka. Powszechnym sposobem oceny kontroli posturalnej człowieka jest analiza przemieszczeń punktu przyłożenia wypadkowej siły nacisku stóp na podłoże (CoP), przy użyciu platform stabilograficznych. Odkrycie chaotycznego zachowania sygnału CoP umożliwiło wykorzystywanie do oceny kontroli posturalnej nie tylko miar liniowych takich jak: długość drogi CoP, prędkość wychwiał, czy pole powierzchni elipsy, ale również wybranych współczynników nieliniowych. Entropia próbkowa, wymiar fraktalny i wykładnik Lapunowa są parametrami, które opisują nieregularność i złożoność analizowanego sygnału. Oceniają one szybkość reakcji na bodźce destabilizujące i określają jaką strategię posługuje się badany, w celu odzyskania stabilności. Celem niniejszej pracy było przedstawienie możliwości zastosowania wybranych współczynników dynamiki nieliniowej do oceny:

1) wpływu różnego ustawienia stóp na podłożu na stabilność posturalną; 2) złożoności kontroli posturalnej zdrowych osób dorosłych w warunkach niestabilnego podłoża i manipulacji kontrolą wzrokową; 3) wpływu pola powierzchni postawy na stabilność posturalną i symetrię obciążania stóp podczas wykonywania przysiadu; 4) związku pomiędzy stabilnością posturalną a cechami osobowości.

Materiał i metody: Badania zostały przeprowadzone w grupach osób młodych i zdrowych. W zależności od celu pracy wykorzystywano różną aparaturę oraz protokoły badań. W badaniu oceny wpływu różnego ustawienia stóp na podłożu wzięły udział 33 osoby ($21,88 \pm 1,65$ lat). Do pomiarów wykorzystano platformę AMTI AccuSway (Advanced Mechanical Technology Inc., USA). Wykonano 3 pomiary – wszystkie w warunkach oczu otwartych: stanie obunóż, stanie jednonóż i stanie w tandemie. Czas trwania każdej próby wynosił 30 sekund. W przypadku utraty równowagi lub przemieszczenia się kończyny, próba była powtarzana. W badaniu oceniającym stabilność posturalną na niestabilnym podłożu wzięło udział 14 osób ($24,07 \pm 7,32$ lata). Do przeprowadzenia pomiarów wykorzystano platformę Biodex Balance System SD (BBS, Biodex, USA) i system do trójwymiarowej analizy ruchu (Vicon Motion Systems Ltd, UK). Wykorzystano 34-markerowy model całego ciała PlugInGait (SACR) do rejestracji przemieszczeń środka masy ciała (CoM). Badani wykonywali 3 próby: stanie obunóż z oczami otwartymi, stanie obunóż z oczami zamkniętymi i test ryzyka upadku. Każdy pomiar trwał 20 sekund, z 5 minutową przerwą pomiędzy próbami. Podczas prób z oczami otwartymi i zamkniętymi platforma była ustawiona na poziom 1 (najmniej stabilny). Dla testu oceny ryzyka upadku platforma zmieniała swój poziom stabilności z 6 do 2 (z bardzo do nieznacznie niestabilny). Każda osoba powtarzała próbę jednorazowo, by wykluczyć efekt uczenia się. W badaniach kontroli posturalnej podczas wykonywania trzech, różnych przysiadów udział wzięło 30 osób ($22,96 \pm$

1,8 lat). Próby zawierały: przysiad na wąskiej podstawie (stopy złączone), przysiad z stopami na szerokość obręczy miednicznej i przysiad na szerokiej podstawie – stopy ustawione szerzej niż stawy biodrowe. Każdy przysiad był wykonany jeden raz w czasie 15 sekund (5 sekund pozycja wyjściowa, 5 sekund zejście w dół, 5 sekund powrót do pozycji wyjściowej). Do oceny przemieszczeń CoP w trakcie wykonywania ruchu wykorzystano platformę Zebris FDM (Zebris Medical GmbH, Germany). W badaniach związku pomiędzy stabilnością posturalną a cechami osobowości wzięło udział 33 osoby ($21,94 \pm 1,64$ lata). Do ewaluacji cech osobowości wykorzystano polską adaptację kwestionariusza IPIP-NEO-FFI-50, która zawierała 50 pytań. Do oceny przemieszczeń CoP wykorzystano platformę AMTI AccuSway (Advanced Mechanical Technology Inc., USA). Badani przechodzili cztery próby: stanie obunóż z oczami otwartymi i zamkniętymi, stanie jednoonóż z oczami otwartymi i zamkniętymi. Czas trwania każdej próby wynosił 30 sekund. Czas przerwy pomiędzy próbami wynosił 1 minutę. W niniejszych pracach do oceny stabilności posturalnej zastosowano parametry liniowe (długość drogi CoP, prędkość przemieszczeń CoP, pole elipsy), nieliniowe (entropię próbkową, wykładnik Lapunowa, wymiar fraktalny), indeksy z platformy Biodex Balance System: OSI (Overall Stability Indeks – całkowity indeks stabilności), APSI (Anterior-Posterior Stability Index – przednio-tylny indeks stabilności), MLSI (Medio-Lateral Stability Index – przyśrodkowo-boczny indeks stabilności), FRT (Fall Risk Test – indeks ryzyka upadku), wartości przemieszczeń CoM z systemu Vicon w kierunku ML (przyśrodkowo-bocznym), AP (przednio-tylnym), PD (proksymalno-dystalnym). We wszystkich pracach pomiary były rejestrowane z częstotliwością 100 Hz.

Wyniki: Wykazano, że współczynniki dynamiki nieliniowej wykazują więcej istotnych różnic w porównaniu do parametrów liniowych, w badaniach uwzględniających manipulację kontrolą wzrokową, rodzajem podłoża i polem powierzchni w trakcie aktywności dynamicznej jaką jest przysiad. Entropia próbkowa jako jedyny współczynnik pokazała różnicę w stabilności posturalnej pomiędzy ustawieniem stóp w tandemie (stopa za stopą) a obunóż, czego nie wykazała miara liniowa – długości ścieżki CoP.

W badaniach o wpływie kontroli wzrokowej i niestabilnego podłoża na stabilność – istotną rolę odgrywa oś pionowa, w kierunku której przemieszczenia środka masy istotnie różniły się od przemieszczeń wzdłuż pozostałych kierunków. Warunki wyłączonej kontroli wzrokowej powodowały znaczący wzrost wartości parametrów nieliniowych i liniowych. W badaniach porównujących przysiady na wąskiej (stopy złączone), neutralnej (szerokość stawów biodrowych) i szerokiej podstawie wykazano największą złożoność kontroli posturalnej, dla przysiadu na szerokiej podstawie, co potwierdziły najwyższe wartości entropii próbkowej i wymiaru fraktalnego. Potwierdzone zostało to również dla parametru obciążenia stóp, w którym przysiad na szerokiej podstawie cechował się największą asymetrią. W badaniach związku pomiędzy stabilnością posturalną a cechami osobowości wykazano niską, dodatnią korelację pomiędzy wartością wykładnika Lapunowa w próbie stania na jednej kończynie dolnej z wyłączoną kontrolą wzrokową a cechą Otwartości.

Wnioski: Entropia próbkowa jest jedynym współczynnikiem wykazującym różnicę pomiędzy stanem obunóż i w tandemie. Analiza przemieszczeń CoM w kierunku pionowym wydaje się nowym i interesującym kierunkiem badań kontroli posturalnej. Wykorzystanie miar nieliniowych do oceny stabilności posturalnej w przysiadach, pozwala na ocenę złożoności danego ruchu. Związki pomiędzy cechami osobowości a stabilnością posturalną nie są jeszcze

do końca poznane i wymagają większej ilości badań naukowych. Niskie, dodatnie korelacje wykazane w badaniach nie wykluczają potencjalnych zależności pomiędzy cechami osobowości a stabilnością. Wykorzystanie miar nieliniowych łącznie z liniowymi może pozwolić na udoskonalenie metod diagnostyki zaburzeń równowagi. Aktualnym deficytem naukowym jest brak wartości normatywnych dla parametrów nieliniowych w wybranych przedziałach wiekowych.

Słowa kluczowe: stabilność, kontrola posturalna, entropia próbkowa, wymiar fraktalny, wykładnik Lapunowa, dynamika nieliniowa, środek parcia stóp na podłoże (CoP)

