

## 1. EFEKTY NIEHARMONICZNYCH WIELOWYMIAROWYCH WIBRACJI CAŁEGO CIAŁA U PACJENTÓW ZE STWARDNIENIEM ROZSIANYM

Losowa vibracja całego ciała oparta jest na zastosowaniu wielowymiarowych wibracji całego ciała (oscylacja mechaniczna). Przeniesienie wibracji i oscylacji na układ biologiczny prowadzić może do zmian fizjologicznych na wielu poziomach. Opisano przypadki stymulacji receptorów skóry, wrzecion mięśniowych, układu przedsionkowego, zmian w aktywności mózgowej, np. we wzgórzu i korze somatosensorycznej, zmian stężenia neuroprzekaźników, np. dopaminy i serotoniny oraz zmian stężenia hormonów.

Dowiedziano, że losowe wibracje są skutecznym sposobem polepszania kontroli postawy u osób starszych. Wibracje całego ciała skutkowały polepszeniem parametrów chodu i koordynacji u pacjentów z chorobą Parkinsona. U tych pacjentów, poprawa kontroli chodu i postawy, jak również koordynacji manualnej osiągnięta została za pomocą wielowymiarowych wibracji całego ciała, zastosowanych w pięciu seriach trwających po 1 minutę, z 1-minutowymi przerwami. Korzystny efekt był widoczny po około 10 minutach od zabiegu i utrzymywał się do 48 godzin.

Zastosowanie powyższej metody u pacjentów z innymi postępującymi chorobami neurologicznymi wydaje się uzasadnione. Dlatego celem niniejszego badania było sprawdzenie skuteczności wibracji całego ciała pod kątem polepszania kontroli postawy, równowagi i mobilności u pacjentów ze stwardnieniem rozsiały.

**Wyniki:** W grupie poddawanej (losowym) wibracjom całego ciała, we wszystkich punktach pomiaru, występowała tendencja do wyższych wartości w ocenie posturografii. W przypadku testu „wstań i idź”, wszystkie pomiary po zabiegu miały tendencję do lepszych (niższych) wartości w grupie otrzymującej (losowe) wibracje całego ciała, w porównaniu z grupą placebo. W badaniu przeprowadzonym po tygodniu od zabiegu, wykazana znacząca różnica w wartości różnic, przemawiająca na korzyść wielowymiarowych wibracji całego ciała.

**Po dwóch tygodniach od zabiegu wartości posturografii i testu „wstań i idź”, w grupie otrzymującej (losowe) wibracje całego ciała, były nadal wyższe niż w grupie placebo.**

## 2. Nerwowe i biochemiczne aspekty treningu rehabilitacyjnego

Wielu pacjentów neurologicznych nie jest w stanie samodzielnie wykonywać ćwiczeń (np. biegać) i dlatego brakuje bodźców czuciowych o charakterze balistycznym i potencjalna **ekspresja czynników neurotroficznych jest niewystarczająca, aby zapobiec dalszemu postępowi choroby lub wspomóc wzrost aksonów i regenerację układu nerwowego.**

W kontroli ruchowej niezbędna jest informacja o otoczeniu oraz przestrzennej pozycji kończyn, aby móc podejmować właściwe decyzje. Przetwarzanie informacji jest ściśle związane ze zdolnością odbierania bodźców. Zdolność ta jest jednak często upośledzona u pacjentów neurologicznych (np. z chorobą Parkinsona, neuropatiami lub po udarze) i dlatego mechanizmy umożliwiające czułe i wczesne odbieranie bodźców zewnętrznych jest najważniejsze. Jeżeli brakuje informacji dotyczących otoczenia, zdolność doboru ruchów dopasowanych do panującej sytuacji jest ograniczona. **Z kilku badań wynika, że dodanie na odpowiednim poziomie składowych stochastycznych do bodźców może zwiększyć ich skuteczność ich odbierania.** Zwiększenie zakłóceń (zwiększenie zaburzenia) dopływających bodźców może spowodować większe uporządkowanie poleceń eferentnych. Ta niesamowita cecha nieliniowych układów stochastycznych jest określana jako rezonans stochastyczny.

## 3. O efektach ćwiczeń i rezonansu stochastycznego na neuroplastyczność i neuroprotekcję

Mimo, że aktywność fizyczna przynosi wiele korzyści, wiele osób starszych, a tym bardziej pacjentów, nie może samodzielnie wykonywać ćwiczeń w związku z zaburzeniami kontroli postawy i niepewnością motoryczną, bólem neuropatycznym, niedowładem itp.

Aby przerwać ten zakłęty krąg, dana osoba musi przezwyciężyć upośledzenia motoryczne i **wygenerować wymuszoną aktywność nerwowomięśniową, w celu przeciwdziałania procesom degeneracji nerwów.** W przypadku takiego podejścia, rezonans stochastyczny może odegrać kluczową rolę.

Zmniejszona aktywność fizyczna, charakterystyczna w przypadku wymienionych chorób oraz społeczeństw uprzemysłowionych, może nasilać procesy degeneracji nerwów nawet w większym stopniu.

W skutek powyższego, względna ilość motoneuronów alfa, z niskim progiem pobudliwości, ulega zmniejszeniu, przez co samowolne wygenerowanie bodźca ponadprogowego staje się coraz trudniejsze. Powstaje zakłęty krąg postępującego braku aktywności i problemów z wygenerowaniem bodźca aktywującego mięśnie i nie jest zaskoczeniem, że **przeżywalność nerwów i aktywność motoryczna są ze sobą ściśle powiązane** oraz, że zależą od, i są wynikiem procesów neuroplastycznych. Po uszkodzenie nerwów obwodowych lub centralnych, nienaruszone komórki nerwowe szybko zaczynają reagować na okoliczne bodźce. Jeżeli te komórki będą nieprzerwanie otrzymywać bodźce z nowych źródeł, powstaną silne połączenia nerwowe.

Istnieją mocne dowody, że aktywność nerwowa jest niezbędną dla przeżycia neuronów zarówno w mózgu, jak i w układzie obwodowym.

Wiele dowodów wskazuje, że **liczba i siła synaps w sieciach neuronów i obszarach korowych są zależne od ćwiczeń.** Mimo, że nie rozumiemy w pełni etiologii wiemy, że kluczową rolę odgrywają uszkodzenia nerwów obwodowych i związane z tym błędy kodowania bodźców sensorycznych oraz zaburzenia w schematach aktywności.

Dowiedziano, że ćwiczenia, jako rozwiązanie alternatywne, mogą pobudzać wydzielanie czynników neurotropowych (Vaynman i Gomez-Pinilla 2005 r.). Kilka doświadczeń przeprowadzonych na zwierzętach dowiodło, że zwiększona aktywność fizyczna spowalnia postęp wielu rodzajów chorób neurodegeneracyjnych.

Döbrössy i Dunnett (2003 r.) przeprowadzili ciekawe badania dowodzące, że **trening motoryczny prowadzi do poprawy kontroli motorycznej w stopniu zbliżonym do efektu przeszczepu komórek** oraz, że trening może także wzmocnić efekty przywracania czynności po przeszczepach nerwów.

Mimo, że ekspresja czynników neurotropowych jest regulowana przez aktywność neuroelektryczną, to funkcje uwalniania są skomplikowane i nie są skorelowane liniowo z ruchem samym w sobie. Ponieważ niedawno odkryto, że ekspresja BDNF wpływa na proces uczenia się i zapamiętywania, prawdopodobne jest, że warunki treningu (zmiennosc, stopnie trudności) są skorelowane z ekspresją czynników neurotropowych (Lu 2003 r., Gomez-Pinilla i wsp. 2001 r., Kesslak i wsp. 1998 r.).

Tym samym dowiedziano, że **zróżnicowane warunki środowiskowe** zapobiegają degeneracji nerwów u zwierząt poddawanych działaniu neurotoksyn (Bezard i wsp. 2003 r., Fahert i wsp. 2005 r.) oraz, że **zarówno warunki treningu, jak i stymulacji powinny ulegać zmianie.** Na przykład, stanie nie wpływa na uwalnianie czynników neurotropowych, a pływanie wpływa w bardzo umiarkowanym stopniu. W przeciwieństwie do tego, **bieganie okazało się wysoce skuteczne w kwestii ekspresji czynników neurotropowych.** Jednak wielu pacjentów neurologicznych nie jest w stanie wykonywać ćwiczeń samowolnie (np. biegać) i **brakuje im silnej stymulacji sensorycznej, przez co ekspresja czynników neurotropowych nie jest wystarczająca, aby pobudzić rozrost neurytów, regenerację nerwów i zapobiec dalszemu postępowi choroby.** W takim przypadku pacjent może zrezygnować z samowolnych cykli aktywacyjnych na rzecz symulacji bodźców sensorycznych, szczególnie aktywujących neurony aferentne wrzeczona nerwowo-mięśniowego. Jednak wadą takiego podejścia jest fakt, że wiele pacjentów ma upośledzoną zdolność do samodzielnego wykonywania ćwiczeń. Możliwym wyjściem z tej sytuacji jest pominięcie metod samodzielnej aktywności. **W takim przypadku rezonans stochastyczny może odegrać kluczową rolę.**

#### 4. Rezonans stochastyczny w reakcji tworzenia kości na obciążanie mechaniczne.

Podejrzewaliśmy, że tworzenie kości w odpowiedzi na mechaniczne obciążanie może zostać zwiększone poprzez dodanie szumów (wibracji) to standardowego zestawu ćwiczeń. Aby zbadać tę hipotezę, zastosowano trzy różne schematy obciążania kości łokciowej myszy: (1) obciążanie sinusoidalne o wysokiej amplitudzie, niskiej częstotliwości (częstotliwość 2 Hz, amplituda 3N) jako symulacja ćwiczenia; (2) drgania o niskiej amplitudzie i dużym zakresie częstotliwości w przedziale 0-50 Hz (średnia amplituda o wartości 0,3 N); (3) drgania sinusoidalne z nałożonymi drganiami (S+D), co wywołuje rezonans stochastyczny.

Zjawisko nazywane rezonansem stochastycznym, polegające na wzmożeniu odpowiedzi systemu nieliniowego na słaby sygnał przez szumy o charakterze drgań, może wpływać na czułość osteoblastów na bodźce mechaniczne.

Tworzenie nowej kości na powierzchni podokostnowej kości łokciowej było zwiększone przez obciążanie sinusoidalne oraz S+D, jednak nie wykryto takiego wpływu w przypadku samych drgań (Rys. 5). Stymulacja S+D silniej powiększała wartości parametrów tworzenia nowej kości niż obciążenia sinusoidalne (Rys. 6). W przypadku S+D parametry tworzenia kości, tj. rMS/BS, rMAR i rBFR/BS, były 1,6 razy ( $P < 0,05$ ), 3,3 razy ( $P < 0,001$ ) oraz 3,9 razy ( $P < 0,001$ ) większe niż dla stymulacji sinusoidalnej.

Zarówno obciążanie sinusoidalne, jak i S+D pobudzało tworzenie nowej tkanki kostnej w kości łokciowej myszy. Dotyczy to zwłaszcza S+D, które **wywoływało 3,9 razy intensywniejsze tworzenie kości na powierzchni okostnowej w porównaniu z pobudzeniem sinusoidalnym.**

**Wyniki te świadczą o tym, że tworzenie nowej kości w odpowiedzi na symulację ćwiczeń (pobudzenie sinusoidalne) może być zwiększone przez nałożenie drgań o niskiej amplitudzie i szerokim zakresie częstotliwości, co sugeruje wpływ rezonansu stochastycznego.**

Rezonans stochastyczny może zmieniać czułość mechaniczną i/lub mechanizmy przekazywania sygnałów w komórkach tkanki kostnej. Kanały wapniowe i inne kanały jonowe pełnią podstawową rolę w odpowiedzi osteoblastów na działanie zewnętrznych sił mechanicznych (10). Wysunięto przypuszczenie, że pewne kanały jonowe wykazują rezonans stochastyczny (11). W naszym badaniu nie udało się wykazać pobudzającego wpływu samych drgań o niskiej amplitudzie i szerokim zakresie częstotliwości na tworzenie kości na obu powierzchniach kości łokciowej.

Wcześniej Rubin i wsp. (12, 13) donosili o pobudzającym anabolizmem kości wpływie obciążania o niskiej amplitudzie i wysokiej częstotliwości (30 Hz). Jednakże reakcja anaboliczna obserwowana była jedynie w kości gąbczastej, na końcach kości długich. Nie udało im się udowodnić występowanie tego zjawiska w kości korowej. Ponieważ nasze badanie ograniczało się do badania wyłącznie kości korowej, nasze wyniki okazują się być zgodne z rezultatami utrzymanymi w pracy Rubina i wsp., tj. same drgania o niskiej amplitudzie nie są w stanie pobudzić tworzenia kości korowej.

Profilaktyka Osteoporozy:

W pracy Rubina (13) przypuszczano, że brak drgań wywoływanych przez mięśnie przyczynia się do postępuju osteoporozy u pacjentów starszych. **Rezonans stochastyczny może być mechanizmem, za pośrednictwem którego naprężenia w kości, wywoływane zwykle przez mięśnie, zwiększają czułość osteoblastów na bodźce mechaniczne spowodowane aktywnością fizyczną, aby utrzymać masę tkanki kostnej. Stosowanie rezonansu stochastycznego stanowi nowy sposób pobudzania tworzenia kości tam, gdzie jest to najważniejsze z biomechanicznego punktu widzenia.**

## **5. Wpływ drgań całego ciała o charakterze losowym na objawy ruchowe w chorobie Parkinsona**

Średnio stwierdzono bardzo istotną ( $p < 0,01$ ) poprawę wyniku w skali UPDRS o 16,8% w grupie leczonej. W grupie kontrolnej stwierdzono zaledwie nieznaczne zmiany ( $p > 0,05$ ). W układzie naprzemiennym zanotowano porównywalne skutki leczenia (polepszenie o 14,7% po leczeniu).

Wszyscy pacjenci dobrze tolerowali zabieg i nie zgłoszono żadnych natychmiastowych i opóźnionych zdarzeń niepożądanych takich jak zawroty głowy, złudzenia kinestetyczne, złe samopoczucie, ból lub dyskineza.

Aby określić strukturę fizjologiczną leczenia WBV, analizowano różne zespoły objawów (Rys. 3). **Największą poprawę zauważono w drżeniu i sztywności (o 25% i 24%).** Wynik opisujący bradykinezę zmniejszył się **W chodzie i postawie wykazano średnią poprawę o 15%** przeciętnie o 12%.

## **5. Wpływ losowych wibracji całego ciała na kontrolę postawy w chorobie Parkinsona.**

Losowe wibracje całego ciała mogą poprawić kontrolę postawy u osób z chorobą Parkinsona (PD), a otrzymane (2) efekty zależą od warunku przeprowadzania testu. W oparciu o otrzymane wyniki można uznać, że losowe wibracje całego ciała mogą być stosowane jako dodatkowe urządzenie w fizykoterapii u osób z chorobą Parkinsona.

Oprócz kontroli nerwowo-mięśniowej oczywiste jest, że bodziec wibracyjny może zmieniać wiele różnych funkcji fizjologicznych, np. zmiany w stężeniu hormonów lub zmiany w uwalnianiu neuroprzekaźników (McCall 2000 r.; Nakumara 1994 r.; Bosco i wsp. 2000 r.).

Możliwe, że **kontrola postawy zależna jest od stężenia neuroprzekaźników, które wpływają na kontrolę postawy. Nasze niedawne badanie wykazało, że leczenie za pomocą losowych wibracji całego ciała zmniejsza usztywnienie u osób z chorobą Parkinsona (Haas i wsp. 2004 r., a). W konsekwencji powyższego, możemy przypuszczać, że spadek usztywnienia i sztywności mięśni są także odpowiedzialne za poprawę stabilności postawy.**