

ELEKTROMIOGRAFLA POWIERZCHNIOWA: DETEKCJA I ZAPIS

Przy zbieraniu i zapisie sygnału EMG występują dwa czynniki mające istotny wpływ na wierność odwzorowania sygnału.

I - stosunek sygnału do szumu (SNR - signal to noise ratio).

(szum określamy jako takie sygnały elektryczne, które nie są częścią pożądanego sygnału EMG)

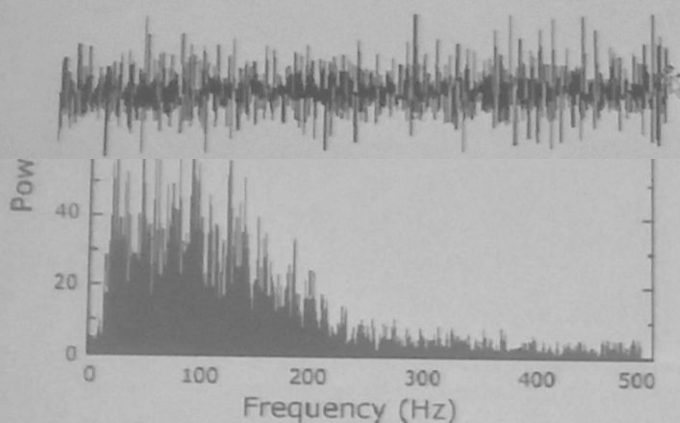
II - zniekształcenia sygnału.

(względny udział poszczególnych składników częstotliwości w sygnale EMG nie powinien być zmienny)

Charakterystyki sygnału EMG

- amplituda sygnału EMG ma charakter stochastyczny (może być dobrze przybliżona rozkładem Gaussa)
- amplituda sygnału może zmieniać się od 0 do 10mV (peak-to-peak) lub 0 do 1,5mV (rms), (*root-mean-squared value* – wartość skuteczna; wartość średnio-kwadratowa, reprezentująca moc sygnału EMG).
- użyteczna energia sygnału zawiera się w przedziale częstotliwości 0 do 500Hz, dominując w przedziale 50 – 150Hz.

Sygnał użyteczny, to ten, którego energia przekracza poziom szumu.



Rys. 1. Rozkład częstotliwościowy sygnału EMG z mięśnia Tibialis Anterior podczas napięcia zamierzonego, izometrycznego z stałą siłą, 50% napięcia maksymalnego.

Charakterystyki szumu elektrycznego

Szum wewnętrzny (elementów elektronicznych układu detekcji i zapisu)

- składowe częstotliwości w przedziale od 0Hz do wielu MHz.
- tego szumu nie można wyeliminować, można go tylko zredukować używając elementów wysokiej jakości, właściwie projektując obwody i stosując właściwe techniki konstrukcyjne.

I

Szum otoczenia

- źródłem tego szumu jest zewnętrzne promieniowanie elektromagnetyczne (sygnały radiowe i telewizyjne, elektryczne obwody mocy, żarówki, świetlówki itp.)
- dominuje szum sieci energetycznej 50Hz (lub 60Hz).
- może mieć amplitudę o wartości bezwzględnej o trzy rzędy większej od sygnału EMG.

I

Artefakty od ruchu

- są dwa źródła:
 - jedno wynika z połączenia pomiędzy powierzchnią czynną elektrody a skórą,
 - drugie z ruchu przewodów łączących elektrody ze wzmacniaczem.
- można je istotnie zredukować przez właściwe zaprojektowanie obwodów elektronicznych.
- energia sygnału elektrycznego obydwu rodzajów szumów zawiera się w większości w przedziale częstotliwości 0 do 20Hz.

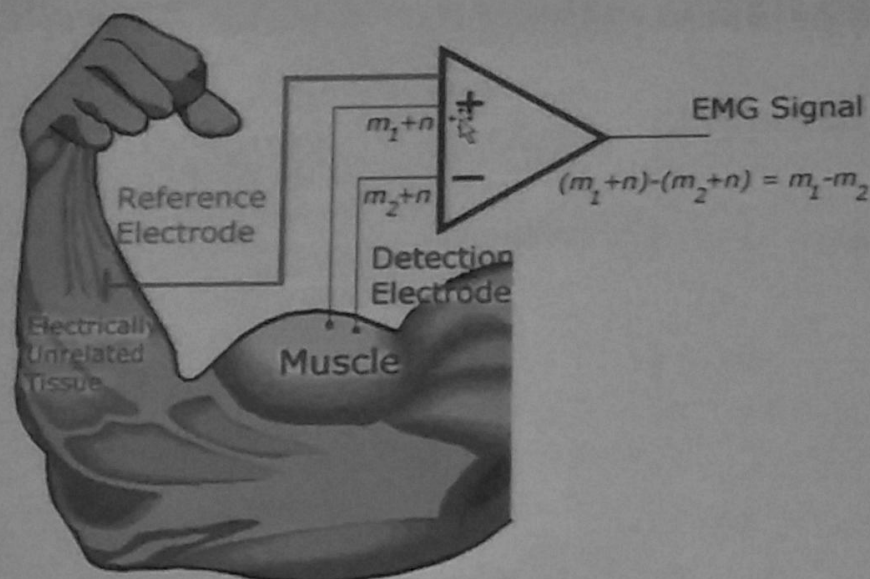
Wewnętrzna niestabilność sygnału

- składniki częstotliwości w przedziale 0 do 20Hz są szczególnie niestabilne ponieważ ich źródłem jest prędkość zapłonu jednostek motorycznych mięśnia, o naturze quasi-losowej.
- maksymalizacja współczynnika sygnał-szum
- urządzenia zbierające i zapisujące powinny przetwarzać sygnał liniowo.
- sygnał nie może być obcinany, zwłaszcza piki sygnału nie powinny być zniekształcone;
- nie należy też przeprowadzać niepotrzebnego filtrowania.

Charakterystyki elektryczne elektrod i wzmacniaczy

Wierność sygnału zbieranego przez elektrodę rzutuje na efekty całej dalszej jego obróbki. Poniższe charakterystyki są istotne dla realizacji tego zadania.

Różnicowe wzmocnienie sygnału



Rys. 2.

- Miara dokładności z jaką wzmacniacz różnicowy może to robić jest współczynnik *CMRR* (*Common Mode Rejection Ratio*) tłumienia składowych wspólnych.
- Idealny subtraktor $CMRR = \text{nieskończoność}$.
- Współczynnik rzędu 32000 lub 90dB jest wystarczający dla stłumienia obcych szumów elektrycznych.
- można uzyskać *CMRR* rzędu 120dB, jednak są powody, dla których nie należy dochodzić do tej granicy: (1) takie układy są drogie, (2) trudno jest uzyskać stabilność, (3) obce sygnały nie muszą pojawiać się w punktach detekcji w fazie, a wtedy nie dają wspólnych składowych w sensie bezwzględnym.

Impedancja wejściowa

- Impedancja źródła, na połączeniu skóry i obszarów detekcji elektrody może zmieniać się od kilku $k\Omega$ do kilkudziesięciu $M\Omega$ (dla skóry suchej).
- aby nie dopuścić do osłabienia i zniekształcenia mierzonego sygnału, ze względu na efekt obciążenia wejścia, impedancja wejściowa wzmacniacza różnicowego powinna być tak duża jak to możliwe, bez komplikowania pracy wzmacniacza.
- współczesna technologia umożliwia uzyskanie impedancji wejściowej rzędu teraomów ($10^{12}\Omega$) przy pojemności rzędu 5pF.
- poza wielkością impedancji wejściowej istotna jest równowaga obydwu obszarów detekcji. To wymaga ostrożnego projektowania układu elektronicznego.

Aktywne elektrody

- problem sprzężenia pojemnościowego na wejściu wzmacniacza różnicowego.
- Rozwiązanie sprowadza się do umieszczania wzmacniacza tak blisko powierzchni czynnej elektrod jak to tylko możliwe. To rozwiązanie nosi nazwę „aktywnej elektrody”

I

Filtrowanie

- współczynnik SNR można zwiększyć przez rozsądne filtrowanie w paśmie 20 – 500Hz ze spadkiem 12dB/oct.

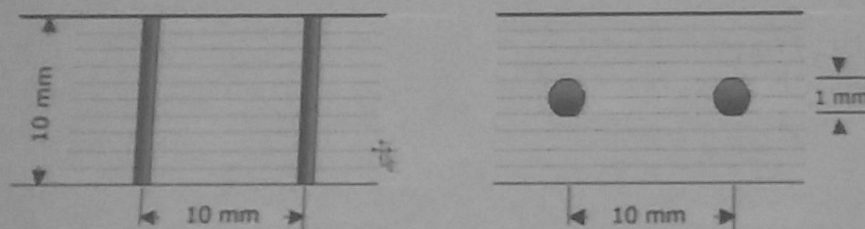
Stabilność elektrody –

- dla ustabilizowania reakcji chemicznej na skórze jest potrzebny czas rzędu kilku sekund.
- reakcja chemiczna (elektrod ze skórą) powinna być stabilna w czasie eksperymentu i nie zmieniać się zbyt szybko wraz z poceniem się czy ze zmianami wilgotności.

Geometria elektrod

I

- we wcześniejszych badaniach elektromiografii nie zwracano szczególnej uwagi na kształt i układ elektrod. Głównie ze względu na zainteresowanie jedynie jakościowymi aspektami sygnału EMG.
- nowe techniki ekstrakcji informacji ilościowej z sygnału EMG wymagają zwrócenia większej uwagi na to zagadnienie. Rozważane są dwie konfiguracje: paskowa i punktowa.



Rys. 3. Schematyczna reprezentacja konfiguracji elektrod. Dla ekwiwalentnych obszarów powierzchni detekcji konfiguracja paskowa obejmuje więcej włókien.

Dystans pomiędzy powierzchniami detekcji

- dystans wpływa na szerokość pasma i amplitudę sygnału EMG
- mniejszy dystans przesuwa pasmo w kierunku wyższych częstotliwości i zmniejsza amplitudę sygnału.
- dystans rzędu 1cm zapewnia reprezentatywną detekcję aktywności elektrycznej mięśnia podczas skurczu..

I

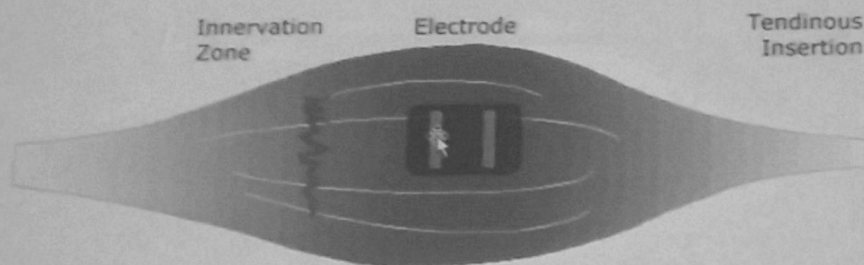
Rozmiar i kształt powierzchni czynnych

- im większa powierzchnia detekcji tym większa amplituda wykrywanego sygnału i mniejszy szum elektryczny generowany na połączeniu ze skórą

Gdzie na powierzchni mięśnia należy umieszczać elektrodę?

Położenie i orientacja elektrody –

- elektrodę należy lokować pomiędzy punktem motorycznym a wejściem ścięgna lub pomiędzy dwoma punktami motorycznymi, wzdłuż podłużnej osi mięśnia.
- podłużna oś elektrody powinna być równoległa do włókien mięśnia.



Rys. 4. Preferowane ułożenie elektrody pomiędzy punktem motorycznym (strefa unerwienia) a połączeniem ścięgnowo-mięśniowym.

Gdzie nie należy umieszczać elektrody?

- *Nie na lub w pobliżu ścięgna* - W tej okolicy włókna są cieńsze i w mniejszej liczbie, co zmniejsza amplitudę sygnału EMG. Mięsień ma mniejszą szerokość, co utrudnia właściwe ułożenie elektrody, a mniejsza odległość do antagonisty powoduje, że detekcja sygnału staje się wrażliwa na przesłuch.