

DIPOLOWY MODEL SERCA

Uwaga! Jest to tylko zarys teorii wymaganej w celu przeprowadzenia ćwiczenia. Materiał teoretyczny można odnaleźć w przytoczonej bibliografii.

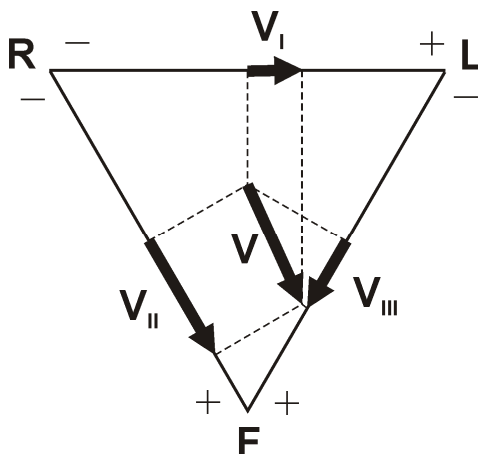
Bijące serce można z dobrym przybliżeniem traktować jako dipol elektryczny, dla którego położenie osi oraz wartość **momentu dipolowego** podlegają okresowym zmianom. Moment dipolowy serca powstaje w wyniku sumowania wielu momentów dipolowych małych dipoli, powstających lokalnie w mięśniu sercowym podczas rozprzestrzeniania się zarówno fali depolaryzacji jak i fali repolaryzacji. Każdy dipol elektryczny wytwarza w przestrzeni pole elektryczne, które można określić przez pomiar natężenia pola w poszczególnych punktach. Możliwa jest także procedura odwrotna, polegająca na wnioskowaniu o rozkładzie ładunków na podstawie przebiegu linii sił pola elektrycznego.

Serce stanowiące zmieniający się w czasie dipol elektryczny powoduje powstanie ciągu zmiennych potencjałów elektrycznych. Zmiany te rozprzestrzeniają się w całym ciele i docierają do powierzchni ciała, gdzie mogą być rejestrowane za pomocą odpowiedniej aparatury. Po wzmocnieniu sygnały te są zapisywane – w ten sposób powstaje elektrokardiogram.

Podczas akcji serca modelujący je moment dipolowy zmienia zarówno wartość jak i kierunek. Położenie elektrod pomiarowych dobiera się zawsze tak, by na podstawie pomiaru potencjału można było określić chwilową wielkość rzutu wektora elektrycznego serca na płaszczyznę (zwykle czołową lub prostopadłą do niej w przypadku odprowadzeń przedsercowych). Przy rekonstrukcji momentu dipolowego z mierzonych różnic potencjałów podstawowym założeniem jest to, że ciało człowieka stanowi dla pola elektrycznego jednorodny ośrodek.

Ćwiczenie pozwala zapoznać się z własnościami dipola elektrycznego umieszczonego w jednorodnym ośrodku. W części pierwszej ćwiczenia poszukamy linii ekwipotencjalnych pola elektrycznego wytwarzanego przez dipol. W części drugiej sprawdzimy natomiast doświadczalnie twierdzenie, stanowiące fizyczną podstawę ważnego związku między (formalną) elektrograficzną procedurą Einthovena a dipolowym modelem aktywności elektrycznej serca. W metodzie Einthovena, którą możemy traktować całkowicie abstrakcyjnie, elektrody pomiarowe umieszcza się w wierzchołkach trójkąta równobocznego (oznaczanych w terminologii medycznej L, R i F) i mierzy trzy napięcia (różnice potencjałów) między tymi elektrodami: $V_I = V_L - V_R$, $V_{II} = V_F - V_R$ oraz $V_{III} = V_F - V_L$. Napięcia te (V_I , V_{II} oraz V_{III}) odkłada się następnie na bokach trójkąta Einthovena - a właściwie przeskalowanego trójkąta, nazywanym czasami trójkątem napięć - jako „umowne wektory” w ten sposób, że każdy z tych wektorów:

- i) jest zaczepiony w środku odpowiedniego boku trójkąta napięć (termin „odpowiedni” znaczy tutaj, że napięcie $V_I = V_L - V_R$ odkładamy na boku łączącym wierzchołki L i R, itd.)
- ii) ma długość równą bezwzględnej wartości napięcia, jakie reprezentuje
- iii) jest skierowany ku wierzchołkowi „dodatniemu” (tzn. wierzchołkowi L w przypadku napięcia V_I , natomiast wierzchołkowi F w przypadku napięć V_{II} oraz V_{III}), gdy odpowiadające mu napięcie > 0 . W przypadku ujemnej wartości napięcia zwrot umownego wektora jest przeciwny.



W końcu, definiuje się „wektor elektryczny” (w elektrokardiografii: „wektor elektryczny serca”) jako taki wektor zaczepiony w środku trójkąta napięć, którego rzuty na boki tego trójkąta równe są umownym wektorom reprezentującym napięcia w odpowiednich odprowadzeniach (p. rysunek poniżej).

Twierdzenie, o którym była przed chwilą mowa, brzmi:

Jeśli w środku trójkąta Einthovena znajduje się (posiadający pewien moment dipolowy) dipol elektryczny leżący w płaszczyźnie tego trójkąta, to wektor jego momentu dipolowego jest zawsze wprost proporcjonalny do wektora elektrycznego wyznaczonego w trójkącie napięć (w szczególności oba wektory mają zawsze taki sam kierunek i zwrot).

Konstrukcja Einthovena: zmierzone napięcia V_I , V_{II} oraz V_{III} odkładamy w postaci umownych wektorów na odpowiednich bokach trójkąta napięć, następnie *wykreślamy* – zaczepiony w środku trójkąta - wektor elektryczny. Jeśli źródłem pola elektrycznego wywołującego różnice potencjałów między wierzchołkami trójkąta jest dipol elektryczny leżący w płaszczyźnie trójkąta i zaczepiony w jego środku, to moment dipolowy tego dipola („niewidocznego” w badaniu EKG!) ma taki sam kierunek i zwrot jak wyznaczony doświadczalnie wektor elektryczny (wartości obu wektorów są do siebie proporcjonalne). Tak więc, na podstawie pomiaru różnic potencjałów (napięć) pochodzących od dipola o znanym punkcie zaczepienia można jednoznacznie określić wektor momentu dipolowego tego dipola -wykorzystujemy to w elektrokardiografii, wnioskując o orientacji, jak i wartości, składowej momentu dipolowego serca na podstawie pomiaru napięć Einthovena!. Symulację takiej procedury elektrokardiograficznej przeprowadzimy w drugiej części ćwiczenia.

Wymagane wiadomości teoretyczne

1. Znajomość podstawowych pojęć dotyczących elektrostatyki i elektryczności: potencjału, natężenia pola elektrycznego, momentu dipolowego, siły elektromotorycznej.
2. Model dipolowy jako fizyczny model elektrycznej aktywności serca
3. Idea elektrokardiografii, trójkąt Einthovena, dwubiegunowe odprowadzenia Einthovena (V_L , V_R i V_F) oraz geometryczne wyznaczanie rzutu wektora elektrycznego serca na płaszczyznę czołową.

Zalecana literatura

1. S. Miękiś, A. Hendrich, „Wybrane zagadnienia z biofizyki”, Volumed, Wrocław 1998.
2. Ćwiczenia laboratoryjne z biofizyki medycznej (Gdańsk, 1996).
3. Ćwiczenia laboratoryjne z biofizyki, Wydawnictwo AM Wrocław, 2002