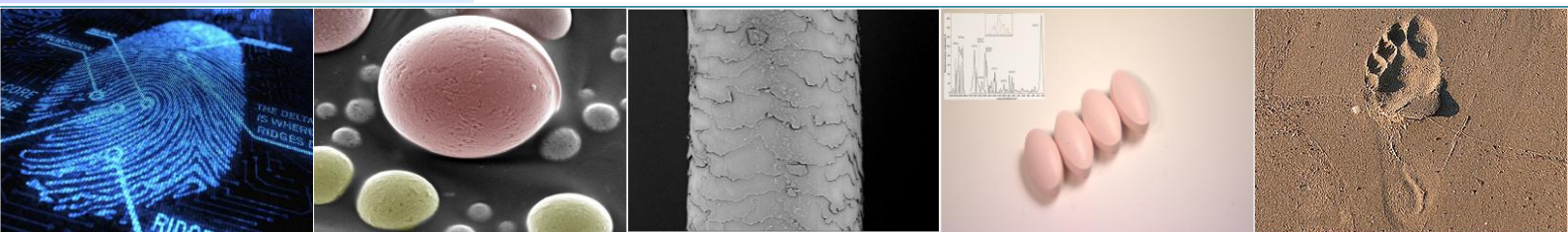


## Ćwiczenie 4

# Elektrokardiografia i sfigmografia w badaniu wariograficznym



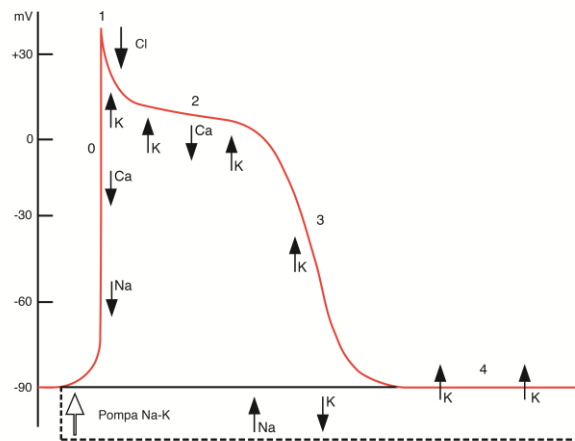
## I. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie elektrofizjologicznych parametrów pracy układu krwionośnego za pomocą pomiaru elektrokardiograficznego oraz sfigmograficznego w warunkach fizjologicznych oraz pod wpływem bodźców zewnętrznych, mających wpływ na emocje badanych osób.

**Pytanie organu procesowego:** Czy wynik badania wariograficznego przeprowadzonego na osobie podejrzanej może być dowodem w sprawie o oszustwo?

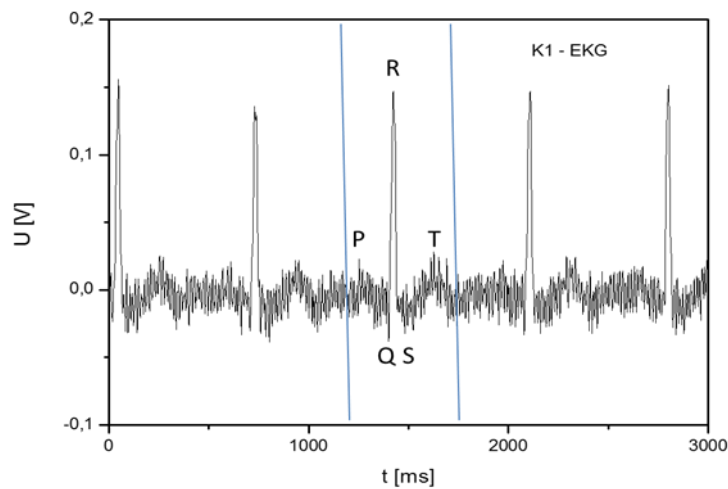
## II. Wstęp teoretyczny

Elektrokardiografia pozwala ocenić mechaniczną czynność serca na podstawie analizy jego czynności elektrycznej. Elektryczna czynność mięśnia sercowego związana jest ze zmianą właściwości elektrycznych błony komórkowej komórek serca. W stanie niepobudzonym każda taka komórka posiada stały potencjał spoczynkowy błony komórkowej, który wynosi  $-90$  mV. Potencjał ten jest konsekwencją występowania procesów biernego i czynnego transportu jonów przez błonę komórkową. W wyniku pobudzenia komórek bodźcem zewnętrznym, powstaje potencjał czynnościowy błony, który rozprzestrzenia się wzdłuż błony komórkowej. Przebieg potencjału czynnościowego błony komórkowej serca został przedstawiony na Rys. 1. W przebiegu potencjału czynnościowego wyróżnia się 5 faz. W fazie „0”, nazywanej fazą szybkiej depolaryzacji, obserwuje się szybki napływ jonów sodowych do wnętrza komórki. Jest on wywołany wzrostem przewodności kanałów sodowych w błonie komórkowej. Otwarcie kanałów sodowych występuje, gdy potencjał spoczynkowy błony komórkowej osiąga wartość progową około  $-65$  mV. Jest to wartość wystarczająca, by aktywować proces depolaryzacji błony komórkowej. Przy potencjale około  $+30$  mV, kanały sodowe zamykają się. Przy potencjale około  $-40$  mV następuje aktywacja kanałów wapniowych. W fazie „1”, wstępnej szybkiej repolaryzacji, następuje dezaktywacja kanałów sodowych, aktywacji odśrodkowego prądu potasowego przy  $-40$  mV oraz napływu do komórki jonów chloru. Faza „2” – *plateau* potencjału czynnościowego, jest fazą powolnej repolaryzacji błony. Potencjał błony w tej fazie pozostaje stały przez około 100 ms. Jest to wynikiem równowagi między stałą pracą pompy sodowo-potasowej, słabnącym prądem wapniowym, a odśrodkowymi prądami potasowymi. W fazie tej obserwuje się również bierną wymianę jonów wapniowych na jony sodowe w stosunku 1:3. W fazie „3”, szybkiej repolaryzacji, dominuje odkomórkowy prąd potasowy, a wygasa dokomórkowy prąd wapniowy. Prowadzi to do odwrócenia polaryzacji błony komórkowej. W fazie „4” – spoczynku, błona komórkowa wraca do stanu, w którym posiada potencjał spoczynkowy.



Rys. 1. Potencjał czynnościowy mięśnia sercowego.

Zewnątrzkomórkowy zapis elektrycznej czynności mięśni sercowego nazywa się elektrokardiogramem. Przykładowy zapis czynności elektrycznej serca przedstawiono na Rys. 2. Zapis ten jest sumą czynności elektrycznej wszystkich komórek serca. Analiza kształtu, czasu trwania oraz amplitudy obecnych w zapisie EKG załamek, odcinków, odstępów oraz zespołu QRS pozwala ocenić pracę serca oraz wskazać zaburzenia w jego funkcjonowaniu. Charakterystykę poszczególnych elementów krzywej EKG przedstawiono w Tabeli 1.



Rys. 2. Przykładowa krzywa EKG zarejestrowane w odprowadzeniu II kończynowym, z zaznaczonym jednym przebiegiem EKG i charakterystycznymi dla niego załamekami.

Tabela 1 Średni czas trwania poszczególnych załameków, odcinków i odstępów

ZAŁAMEK	P	czas przewodzenia depolaryzacji w mięśniu przedsionków	100 ms
ODCINEK	PQ	czas przejścia depolaryzacji przez węzeł przedsionkowo-komorowy i pęczek przedsionkowo-komorowy	50 ms
ODSTĘP	PQ	czas przewodzenia depolaryzacji od węzła zatokowo-predsionkowego do mięśnia komór	150 ms
ZESPÓŁ	QRS	czas szerzenia się depolaryzacji w mięśniu komór	90 ms
ODCINEK	ST	okres depolaryzacji mięśnia komór	120 ms
ZAŁAMEK	T	czas szybkiej repolaryzacji mięśnia komór	120 ms
ODSTĘP	ST	czas wolnej i szybkiej repolaryzacji mięśnia komór	280 ms
ODSTĘP	QT	potencjał czynnościowy mięśnia komór (depolaryzacja i repolaryzacja)	370 ms
ODSTĘP	RR	czas trwania jednego cyklu pracy serca	800 ms

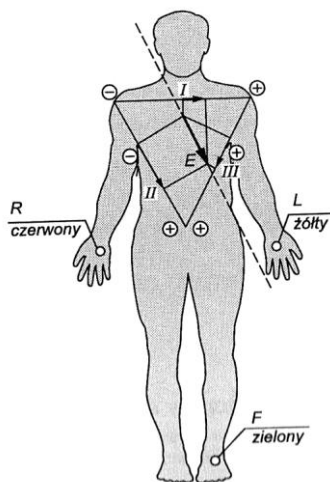
Rejestracja sygnału EKG odbywa się za pomocą elektrod, umieszczonych w odpowiednich miejscach ciała pacjenta i połączonych ze sobą w odpowiedni sposób. Elektrody rejestrują różnicę potencjałów elektrycznych V występujących między wybranymi punktami ciała pacjenta: lewą (L), prawą (P) kończyną górną w okolicy nadgarstka a lewą kończyną dolną (F) w okolicy kostki. Oznacza się je następująco:

$$I = V_{LR} = V_L - V_R$$

$$II = V_{FR} = V_F - V_R$$

$$III = V_{FL} = V_F - V_L$$

Sposób umieszczania elektrod oraz ich oznaczenia przedstawiono na Rys. 3.

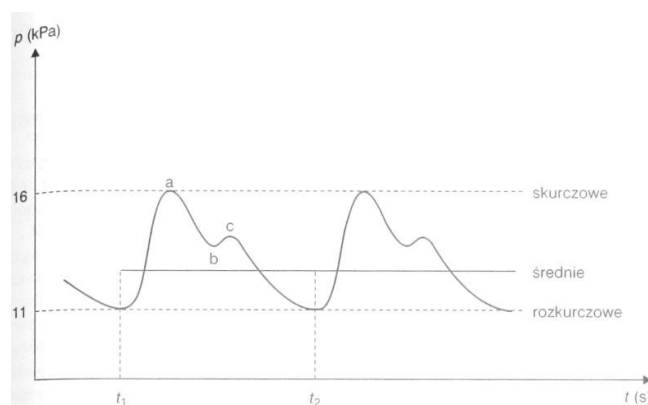


Rys. 3. Odprowadzenia kończynowe dwubiegunowe, rozmieszczenie elektrod<sup>1</sup>.

Serce jako źródło sygnałów elektrycznych, znajduje się w środku równoramiennego trójkąta, którego wierzchołki znajdują się w okolicach stawów ramiennych i wzgórka łonowego. Potencjały występujące w miejscach odprowadzeń są potencjałami wierzchołków tego trójkąta (Rys. 3.).

<sup>1</sup> G. Pawlicki – „Podstawy inżynierii medycznej”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1997.

Podczas rytmicznej pracy serca, co około 0,8 s do obiegu wprowadzane są jednakowe objętości krwi (około  $70 \text{ cm}^3$ ). Opór obwodowy uniemożliwia natychmiastowe włączenie się krwi w obieg, czego skutkiem jest powstanie wybrzuszenia ścian tętnicy głównej, które rozchodzi się w kierunku obwodowym w postaci tzw. fali tętna. Z powstawaniem fali tętna związana jest zmiana ciśnienia w danym miejscu tętnicy (Rys. 4.). Krzywa zmiany ciśnienia w funkcji czasu złożona jest z cyklicznie powtarzających się elementów, których czas trwania odpowiada czasowej ewolucji serca, czyli skurczowi i rozkurczowi. Ciśnienie podczas skurczu szybko rośnie proporcjonalnie do czasu (część narastająca krzywej), a następnie wolno maleje podczas rozkurczu (część opadająca krzywej). W części rozkurczowej krzywej znajduje się załamek, zwany dykrotycznym. Jest on wynikiem chwilowego obniżenia ciśnienia krwi na skutek odbicia się krwi o zamykające się zastawki półksiężycowate. Prędkość rozchodzenia się fali tętna zależy od elastyczności ścian tętnic i ich przebiegu i wynosi 5-9 m/s. Zapis fali tętna nazywa się sfigmogramem.



Rys. 4. Przebieg fali tętna (zależność ciśnienia tętniczego od czasu) dla tętnicy głównej<sup>2</sup>.

Według Postanowienia Sądu Najwyższego z dnia 29 stycznia 2015 roku (I KZP 25/14) „wariograf to urządzenie, które rejestruje zmiany fizjologiczne w organizmie człowieka, które występują wraz ze zmianami emocjonalnymi wywołanymi przez zadawane w trakcie badania tzw. pytania krytyczne, a także przez okazanie badanemu różnych przedmiotów, fotografii itd.”

Wariograf może rejestrować typowe reakcje naszego organizmu: tętno, ciśnienie krwi, szybkość oddechu, oporność skóry, które trudno kontrolować. Badanie to jest więc dobrym narzędziem wykrywającym najbardziej subtelne zmiany tych parametrów, skuteczność tego badania określa się nawet na 95-98%.

Kodeks postępowania karnego daje możliwość wykorzystania badań wariograficznych w następujących przypadkach:

- **Art. 192a. § 1.** W celu ograniczenia kręgu osób podejrzanych lub ustalenia wartości dowodowej ujawnionych śladów można pobrać odciski daktyloskopijne, wymaz ze śluzówki policzków, włosy, ślinę, próby pisma, zapach, wykonać fotografię osoby lub dokonać

<sup>2</sup> red. F. Jaroszyk – „Biofizyka”, Wydawnictwo Lekarskie PZWL, Warszawa 2011.

utrwalenia głosu. Po wykorzystaniu w sprawie, w której dokonano pobrania lub utrwalenia, pobrany lub utrwalony materiał zbędny dla postępowania należy niezwłocznie usunąć z akt i zniszczyć.

- **Art. 192a. § 2.** W wypadkach, o których mowa w § 1, za zgodą osoby badanej biegły może również zastosować środki techniczne mające na celu kontrolę nieświadomych reakcji organizmu tej osoby.
- **Art. 199a.** Stosowanie w czasie badania przez biegłego środków technicznych mających na celu kontrolę nieświadomych reakcji organizmu badanej osoby możliwe jest wyłącznie za jej zgodą.

### III. Literatura

1. W. Z. Traczyk – „Fizjologia człowieka w zarysie”, PZWL, Warszawa 1989.
2. G. Pawlicki – „Podstawy inżynierii medycznej”, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa 1997.
3. red. A. Hryniewicz, E. Rokita – „Fizyczne metody diagnostyki medycznej i terapii”, PWN, Warszawa 2000.
4. M. Kulicki, V. Kwiatkowska-Wójcikiewicz, L. Stępka, „Kryminalistyka”. Wybrane zagadnienia teorii i praktyki śledczo-sądowej, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika, Toruń 2009.
5. B. Hołyst, Kryminalistyka, PWN Warszawa 1966.

### IV. Zagadnienia do opracowania

1. Budowa oraz mechanizm działania serca.
2. Elektryczna czynność mięśnia sercowego:
  - potencjał spoczynkowy i czynnościowy;
  - układ przewodzący serca;
  - model dipolowy elektrycznej czynności serca – fala depolaryzacji.
3. Elektrokardiografia:
  - zapis elektrycznej czynności serca (EKG) – interpretacja załamków, odcinków, odstępów, zespołu QRS;
  - rodzaje odprowadzeń w EKG.
4. Przebieg badania EKG.
5. Sfigmografia:
  - powstawanie fali tętna;
  - zapis fali tętna.
6. Zasada działania wariografu.
7. Psychofizjologiczne podstawy badań wariograficznych.

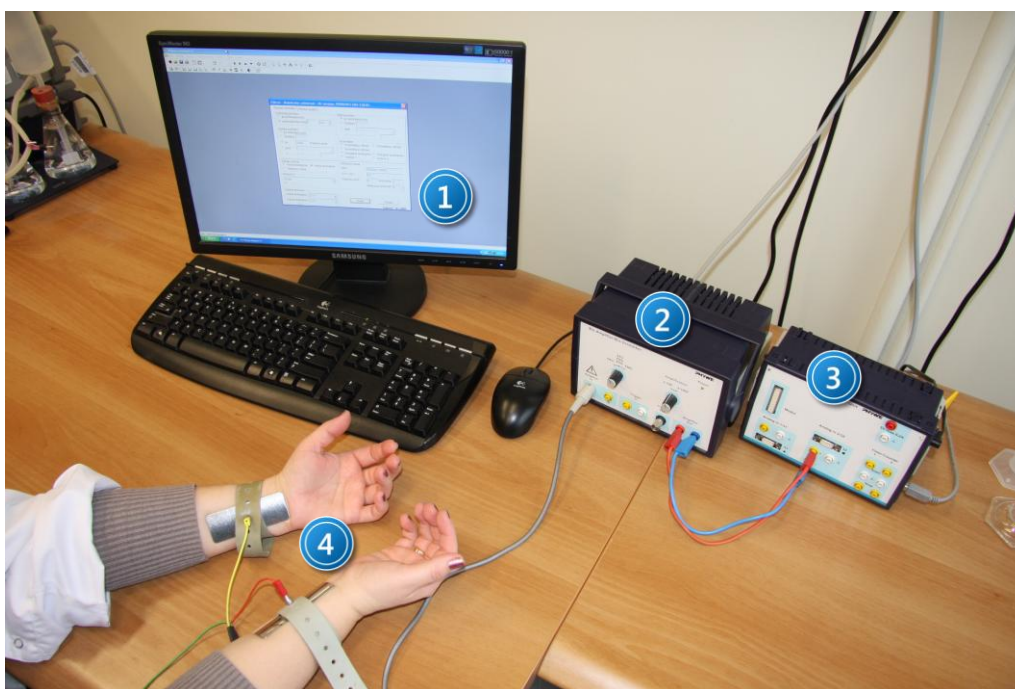
### V. Zestaw przyrządów.

1. Wzmacniacz sygnałów bioelektrycznych.
2. Podstawowa jednostka pomiarowa: Cobra3 BASIC-UNIT.

3. Elektrody EKG (3 sztuki).
4. Mikrofon pomiarowy.
5. Zestaw komputerowy.
6. Dodatkowo: KCl, woda demineralizowana, szpatułka, cylinder, waga, kompresy, środek odkażający, rękawiczki jednorazowe.

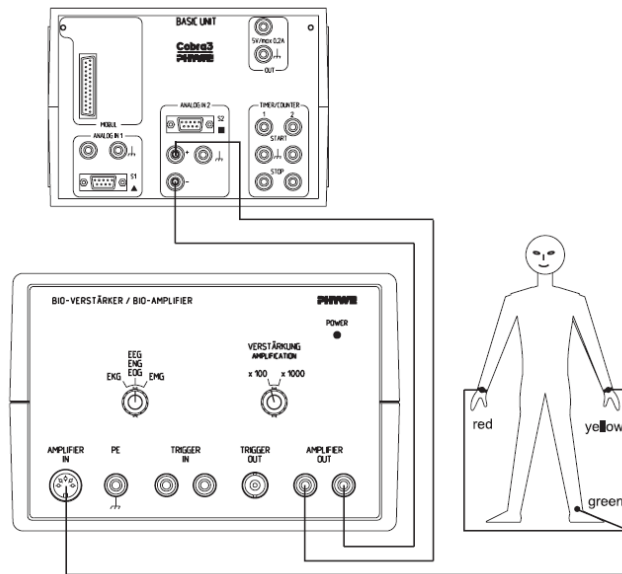
### VI. Wykonanie doświadczenia i opracowanie wyników

1. Zapoznać się z układem pomiarowym przedstawionym na *Zdjęciu 1*.



*Zdjęcie 1. Stanowisko do rejestracji sygnałów EKG i FKG: 1 – zestaw komputerowy; 2 – wzmacniacz; 3 – moduł pomiarowy Cobra 3; 4 – elektrody EKG*

2. Przygotować 1% roztwór wodny KCl (masa cząsteczkowa - 74,55 g/mol).
3. Przygotować osoby do badania EKG:
  - przygotować kompresy wielkości elektrod i nasączyć je w roztworze KCl, a następnie przyłożyć do skóry w miejscu, gdzie zostaną założone elektrody.
  - osoba badana powinna siedzieć zrelaksowana, z rękoma ułożonymi na kolanach.
  - elektrody przymocować zgodnie ze schematem przedstawionym na *Zdjęciu 2* – czerwone podłączenie do elektrody umieszczonej na prawej kończynie górnej w okolicach wewnętrznej strony nadgarstka, żółte podłączenie do elektrody na lewej kończynie górnej w okolicach wewnętrznej strony nadgarstka, zielone podłączenie do elektrody umieszczonej na lewej kończynie dolnej w okolicach kostki.



Zdjęcie 2. Schemat podłączenia elektrod (za Phywe).

4. Układ pomiarowy do badania EKG zestawić zgodnie ze Zdjęciem 2.
5. Posługując się opisem procedury pomiarowej przedstawionej w Dodatku zarejestrować elektrokardiogramy używając odprowadzeń kończynowych dwubiegunowych II Einthovena dla grupy kontrolnej (osoby, u których nie stwierdzono wad serca oraz chorób układu krwionośnego).
6. Zarejestrować elektrokardiogramy dla grupy kontrolnej po zadziaaniu bodźców zewnętrznych (wysiłek, spożycie napojów energetyzujących, kawy).
7. Podłączyć układ pomiarowy do rejestracji sfigmogramu (fali tętna) zgodnie ze Zdjęciem 3.
8. Przyłożyć mikrofon do tętnicy szyjnej lub do tętnicy promieniowej i zarejestrować sfigmogramy dla grupy kontrolnej przed i po zadziaaniu bodźców zewnętrznych zgodnie z opisem procedury pomiarowej znajdującej się w Dodatku.



Zdjęcie 3. Układ pomiarowy do rejestracji sfigmogramu.



9. Opracować otrzymane wyniki:

- zinterpretować przebieg linii izoelektrycznej;
- wykonać analizę załamków, odcinków i zespołów: określić czas ich trwania i amplitudę oraz kształt;
- porównać otrzymane wyniki między grupą kontrolną i grupą kontrolną po zadziałaniu bodźca;
- obliczyć częstotliwość rytmu serca (liczba uderzeń/minutę) na podstawie analizy krzywej EKG (dla każdej zarejestrowanej krzywej EKG odczytać 3 czasy trwania odstępów RR i je uśrednić, następnie uśredniony czas trwania odstępu RR użyć do obliczenia rytmu serca, pamiętać o zamianie jednostek);
- zinterpretować krzywe sfigmograficzne: obecność ramienia wstępującego i zstępującego, fali dykrotycznej;
- obliczyć tętno (liczba tętnień na minutę), przy obliczeniach pamiętać o stosowaniu tych samych jednostek;
- porównać sfigmogramy zarejestrowane dla grupy kontrolnej i grupy kontrolnej po zadziałaniu bodźca.

10. Wykonać badanie wariograficzne przy użyciu modułu EKG lub sfigmogramu, posługując się testem Reida. Wykonać analizę porównawczą zapisów EKG/sfigmogramów zarejestrowanych w badaniu wariograficznym i dla grupy kontrolnej na podstawie obliczonych wartości częstotliwości pracy serca/tętna.

11. Sporządzić opinię dla organu procesowego.

Sprawozdanie ma mieć charakter przykładowej opinii biegłego tzn.: zawierać takie elementy jak:


- imię, nazwisko, stopień i tytuł naukowy, specjalność i stanowisko zawodowe biegłego;
- imiona i nazwiska oraz pozostałe dane innych osób, które uczestniczyły w przeprowadzeniu ekspertyzy, ze wskazaniem czynności dokonanych przez każdą z nich, w przypadku opinii instytucji - także pełną nazwę i siedzibę instytucji;
- czas przeprowadzonych badań oraz datę wydania opinii;
- szczegółowy opis nadanego materiału dowodowego, porównawczego (sposób zabezpieczenia podczas transportu, opis opakowania, jego cechy ogólne i indywidualne)  
i cytowane pytania organu procesowego;
- informację o zastosowanych technikach i metodach;
- sprawozdanie z przeprowadzonych badań i obserwacji;
- interpretację wyników i wnioski;
- podpisy wszystkich biegłych, którzy uczestniczyli w wydaniu opinii.

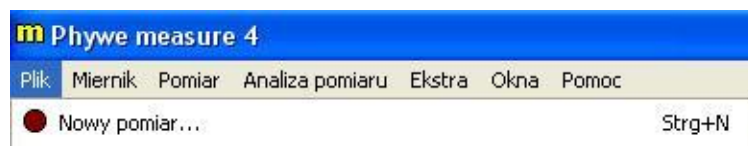
Opinia powinna być napisana zrozumiałym językiem, a wnioski powinny być bardzo czytelne, zwłaszcza dla organów procesowych (dla prokuratury i sądziego).

## Dodatek

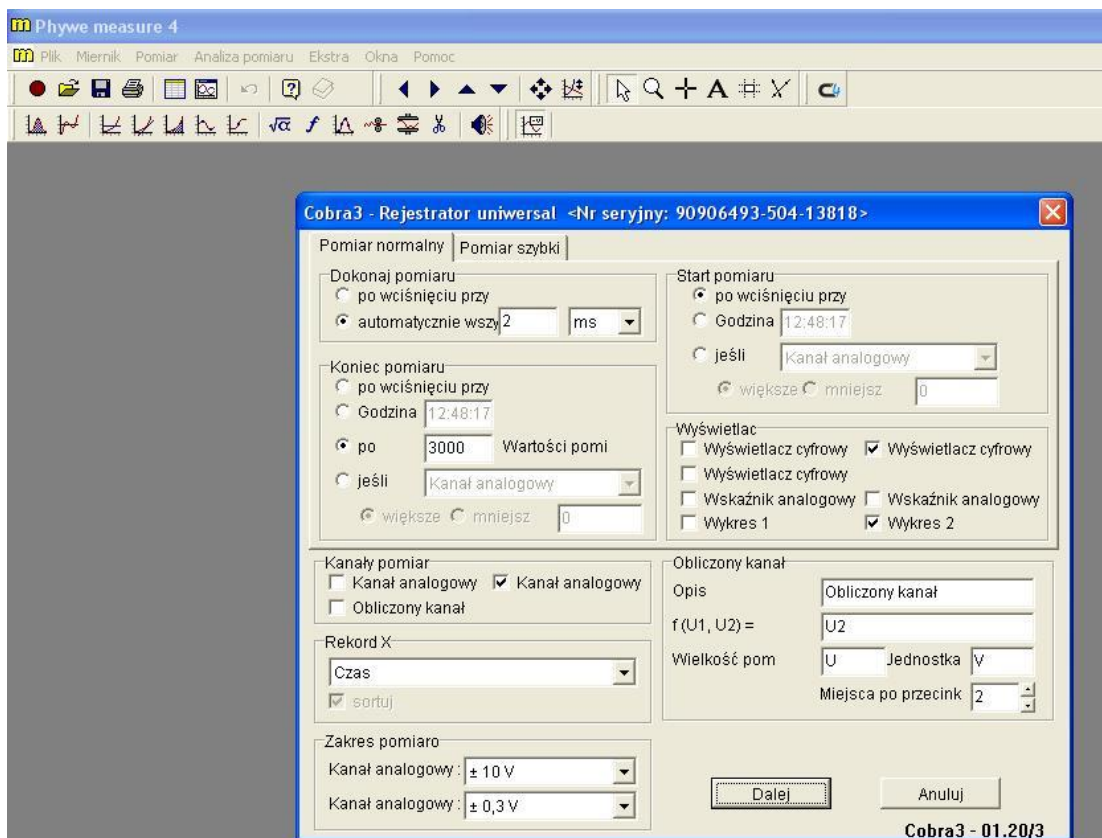
Opis procedury pomiarowej przy użyciu wzmacniacza sygnałów biomedycznych z Cobrą 3 BASIC-UNIT

### I. Rejestracja elektrokardiogramów (EKG).

1. Włączyć program służący do zapisu EKG: 
2. Zainicjować zapis: Plik → Nowy pomiar



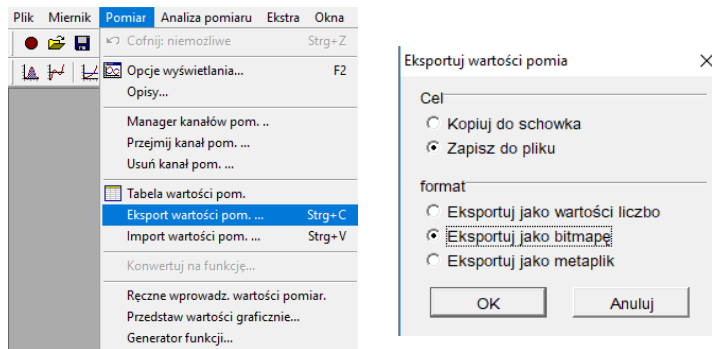
### 3. Ustawić parametry pomiaru:



Dalej → Rozpocznij pomiar

### 4. Zapisać pomiary:

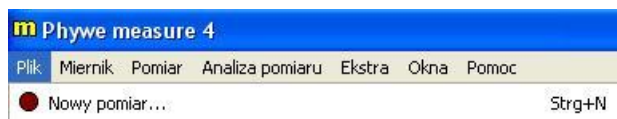
- a) Pomiar → Eksport wartości pom. → eksportuj jako bitmapę (zapis do pliku z rozszerzeniem .jpg).



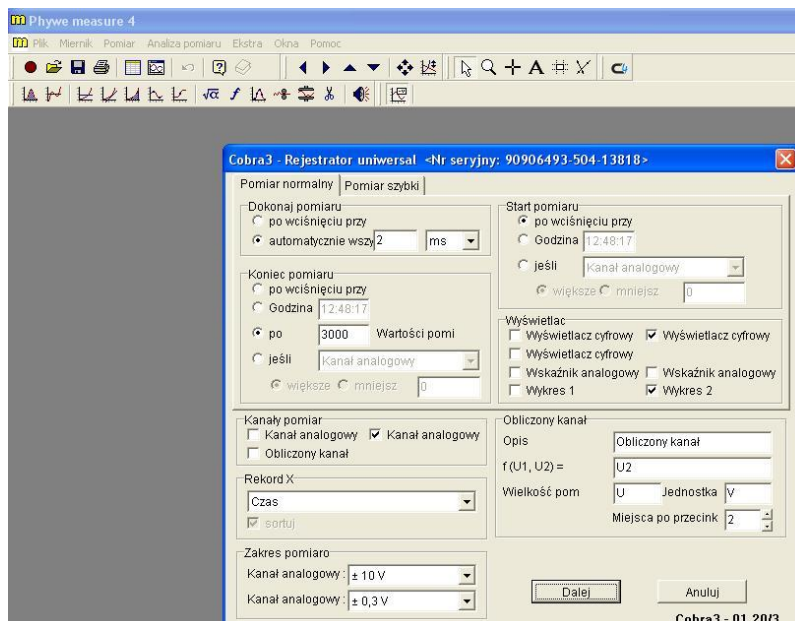
### II. Rejestracja sfigmogramów.

1. Podłączyć układ pomiarowy zgodnie ze schematem przedstawionym na *Zdjęciu 3*.
2. Przyłożyć mikrofon do tętnicy szyjnej/promieniowej osoby badanej,
3. Zainicjować zapis:

Plik → Nowy pomiar



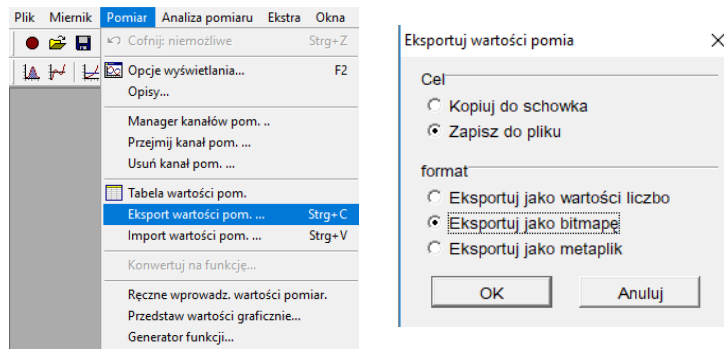
### 4. Ustawić parametry pomiaru:



Dalej → Rozpocznij pomiar

5. Zapisać pomiary:

- a) Pomiar → Eksport wartości pom. → eksportuj jako bitmapę (zapis do pliku z rozszerzeniem .jpg).



### UWAGA!

Podczas ćwiczenia należy pamiętać o przestrzeganiu zasad bezpieczeństwa i higieny pracy używając podczas pomiarów jednorazowych środków ochrony osobistej oraz substancji dezynfekujących.



### UWAGA!

Wykonywane pomiary przebiegów EKG podczas trwania ćwiczenia nie są badaniami diagnostycznymi, gdyż nie są wykonywane przez przeszkolony personel. Uzyskane wyniki nie mogą być zatem podstawą do stawiania diagnozy oraz określania stanu zdrowia badanych osób.



### UWAGA!

Dane personalne osób badanych oraz uzyskane wyniki badań są prawnie chronione i nie mogą być rozpowszechniane. Należy zatem wprowadzić system kodowania osób badanych, aby zapewnić im anonimowość.