

**dr n. med. Małgorzata Anna CZAJKOWSKA**

Spółdzielnia Pracy Lekarzy Specjalistów MEDICUS w Szczecinie

Medical Labour Cooperative MEDICUS of Medical Specialists in Szczecin

Przychodnia Medyczna PRAMED w Szczecinie / Dispensary PRAMED in Szczecin

Pomorski Uniwersytet Medyczny, Zakład Higieny, Epidemiologii i Zdrowia Publicznego (*studia doktoranckie 2000-2014*)

Pomeranian Medical University, Department of Hygiene, Epidemiology and Public Health (*PhD studies 2000-2014*)

## **PORÓWNANIE SATURACJI, TĘTNA, AMPLITUDY I POLA POD FAŁĄ TĘTNA W PULSOKSYMETRII U NOWORODKÓW Z ZABURZENIAMI MIKROKRAŻENIA**

### **Streszczenie**

**Wstęp i cele:** W pracy przedstawiono analizę saturacji, tętna, amplitudy fali tętna i pola pod falą tętna w pulsoksymetrii noworodków. Głównym celem pracy jest opracowanie porównania wartości saturacji i amplitudy, wartości tętna i amplitudy oraz wartości saturacji i tętna badanych noworodków.

**Materiał i metody:** Materiał stanowiło odpowiednio 180 zdarzeń z grupy badanej oraz 90 zdarzeń z grupy kontrolnej (obrazy z monitora *Infinity Vista XL*). Zastosowano metodę analityczną, graficzną i statystyczną. W opracowaniu materiału wykorzystano programy *Gateway Suite* firmy *Dräger Medical*, *Corel Photo-Paint* oraz *MS-Excel*.

**Wyniki:** W grupach badanej i kontrolnej spadkowi wartości saturacji obserwowano istotny wzrost pola zawartego między falą tętna a osią odciętych. Pole zawarte między falą tętna a osią odciętych może być interpretowane z objętością przepływającej krwi w mikrokrażeniu. W obu grupach obserwowano wysoce statystyczną korelację pomiędzy wartościami amplitudy i pola pod falą tętna. Znajomość metody wyznaczania pola pod falą tętna, umożliwia przejście do obliczeń objętości przepływającej krwi w naczyniach obwodowych.

**Wniosek:** Spadkowi saturacji krwi (zwłaszcza poniżej 85%) towarzyszy wzrost amplitudy fali tętna. Zjawisko wzrostu amplitudy fali tętna wyprzedza o kilka sekund desaturację.

**Słowa kluczowe:** Neonatologia, noworodki, pulsoksymetria, saturacja, puls, amplituda fali pulsu, pole pod falą pulsu, charakterystyka, porównania.

(Otrzymano: 15.02.2019; Zrecenzowano: 25.02.2019; Zaakceptowano: 31.02.2019)

## **COMPARISON OF SATURATION, PULSE RATE, AMPLITUDE AND AREA UNDER PULSE WAVE IN PULSE OXIMETRY OF NEWBORNS WITH MICROCIRCULATION DISTURBANCES**

### **Abstract**

**Introduction and aims:** The paper presents some analysis of saturation, pulse rate, pulse wave amplitude and area under pulse wave in neonates pulse oximetry. The main aim of the study is to elaborate a comparison of saturation and amplitude values, pulse rate and amplitude values and of saturation and pulse rate values of the neonates.

**Material and methods:** The material constitutes 180 events in the study group and 90 events in the control group (images from the monitor *Infinity Vista XL*). The analysis, graphical and statistical methods have been used in the paper. In the study material have been used *Gateway Suite* of *Dräger Medical Company*, *Corel Photo-Paint* and *MS-Excel* programs.

**Results:** In the examined and control groups a decrease in saturation value was observed a significant increase in the field contained between the pulse wave and the abscissa axis. The area between the pulse wave and the abscissa axis can be interpreted as the volume of blood flowing in the microcirculation. In both groups a highly statistical correlation between the values of amplitude and field under the pulse wave was observed. Knowledge of the method of determining the area under the pulse wave allows you to go to calculations of the volume of blood flowing in peripheral vessels.

**Conclusion:** The decrease in blood oxygen saturation (especially less than 85%) is accompanied by an increase in the amplitude of the pulse wave. The phenomenon of pulse wave amplitude increase precedes desaturation by a few seconds.

**Keywords:** Neonatology, newborns, pulse oximetry, saturation, pulse rate, amplitude of pulse wave, area under pulse wave, characteristics, comparisons.

(Received: 15.02.2019; Reviewed: 25.02.2019; Accepted: 31.02.2019)

## 1. Wstęp

Pulsoksymetria to bezpieczna i nieinwazyjna metoda, ogólnie stosowana do monitorowania stanu noworodka w oddziałach intensywnej terapii [93]. Pulsoksymetria używana jest do rozpoznawania i oceny objawów fizjologicznych i patologicznych u noworodka. U noworodków często występują okoliczności kliniczne, gdzie wskazana jest ocena utlenowania krwi tętniczej. Ze względu na niedojrzałość układu oddechowego dochodzi często u noworodków do zaburzeń oddychania, czego konsekwencją może być spadek ciśnienia parcjalnego tlenu w krwi tętniczej (hipoksemia).

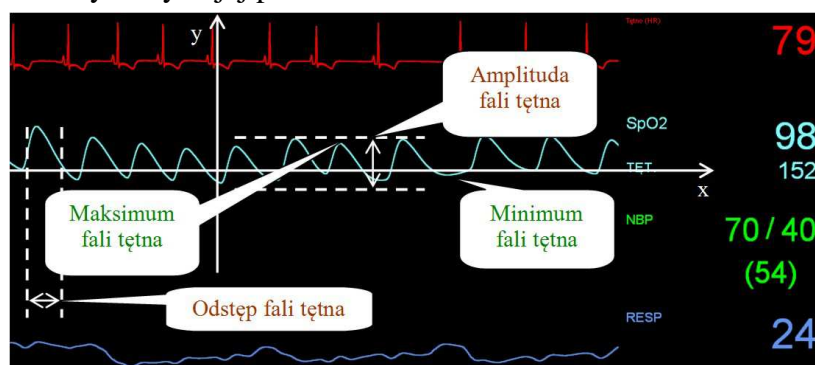
Hemoglobina, która jest związana z tlenem nazywa się oksyhemoglobina ( $O_2Hb$ ), natomiast wolną od tlenu określa się hemoglobina zredukowaną, deoksyhemoglobina ( $Hb$ ). Stopień nasycenia hemoglobiny tlenem nazywamy saturacją, którą można obliczyć z następującego wzoru [23]:

$$SpO_2 = \frac{O_2Hb}{O_2Hb + Hb} \cdot 100,$$

gdzie  $SpO_2$  oznacza saturację [%],  $O_2Hb$  – oksyhemoglobina [g%],  $Hb$  – deoksyhemoglobina [g%], a suma  $O_2Hb + Hb$  to całkowita hemoglobina [g%].

Wzór powyższy oznacza, że saturację określa się jako wartość procentową zawartości hemoglobiny utlenowanej do hemoglobiny całkowitej (sumy hemoglobiny utlenowanej i zredukowanej). Metoda pulsoksymetrii umożliwia pośrednio określić ciśnienie parcjalne tlenu ( $PaO_2$ ) w krwi tętniczej, ponieważ pozwala na ciągłą rejestrację saturacji (wysycenia hemoglobiny tlenem  $SpO_2$ ) w naczyniach kapilarnych. Pulsoksymetria opiera się na dwóch zasadach: obecności pulsującego przepływu krwi w naczyniach, różnych spektrach absorpcyjnych oksyhemoglobiny i deoksyhemoglobiny. Czujnik pulsoksymetru składa się z fotoemitera zbudowanego dwóch diod LED (*ang. Light Emitting Diodes*) skąd emitowane są fale światła czerwonego i podczerwonego, które przechodzą przez unaczynione tkanki i odbierane są przez fotodetektor (odbiornik światła). Czujnik optyczny umieszcza się na powierzchni skóry, najczęściej zakłada się na rączkę lub nóżkę noworodka [1]-[27].

Na rysunku 1 przedstawiono przykład fragmentu zapisu fali tętna z monitora *Infinity Vista XL* z wyjaśnieniem wybranych jej parametrów.



Rys. 1. Zapis z monitora *Infinity Vista XL* z wyjaśnieniem wybranych parametrów fali tętna

Źródło: Opracowanie własne

Fig. 1. Record from *Infinity Vista XL* monitor with explanation of selected pulse wave parameters

Source: Elaboration of the Authors

## 2. Materiał i metody

Wartości parametrów klinicznych takich jak saturacja i tętno zostały odczytane z odpowiednio przechwyconych wybranych obrazów z monitora *Infinity Vista XL* za pomocą programu *Gateway Suite* firmy *Dräger Medical*. Dla każdego zdarzenia odczytano z ekranu w programie *Corel Photo-Paint* współrzędne odpowiednio wybranych punktów A, B, C, D, E, F fali tętna (Rys. 2).

Dało to możliwość wykonania dalszych obliczeń. Wartości amplitudy zostały obliczone w programie *MS-Excel*. Wyniki obliczeń numerycznych (saturacja, tętno, amplituda fali tętna i pole pod falą tętna) uzyskano zarówno dla zdarzeń grupy badanej jak i dla zdarzeń grupy kontrolnej.

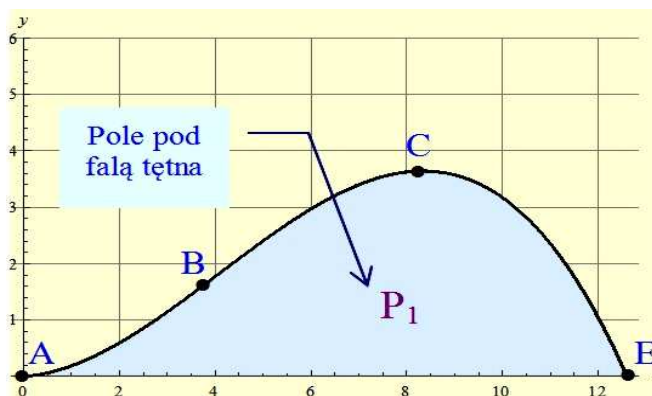
W celu uzyskania rzeczywistych wartości analizowanych parametrów należy otrzymane wielkości wymiarowe pomnożyć przez bezwymiarowe charakterystyczne wartości korygujące. Wartości saturacji  $S$  w [%], amplitudy  $A$  w [mm] i tętna  $T$  w [bpm] są określone następującymi wzorami:

$$S = S_0 \cdot S_1, \quad A = A_0 \cdot A_1,$$

$$T = T_0 \cdot T_1, \quad P = P_0 \cdot P_1,$$

gdzie  $S_0, A_0, T_0, P_1$  to charakterystyczne bezwymiarowe wartości saturacji, amplitudy, tętna i pola pod

falą tętna, a  $S_1, A_1, T_1, P_1$  to wartości wymiarowe saturacji w [%], amplitudy w [mm], tętna [bpm] i pola pod falą tętna [mm<sup>2</sup>] otrzymane z badań numerycznych (Rys. 2).



Rys. 2. Punkty A,B,C,D,E,F fali tętna i pole pod falą tętna  $P_1$   
 Źródło: Opracowanie własne

Fig. 2. Points A,B,C,D,E,F of pulse wave and area under pulse wave  $P_1$   
 Source: Elaboration of the Authors

### 3. Wyniki badań

#### 3.1. Opracowanie statystyczne

Z uzyskanych z ekranu monitora *Infinity Vista XL* danych oraz z przeprowadzonych obliczeń numerycznych uzyskano wyniki dla badanych parametrów dla 180 zdarzeń z grupy badanej oraz dla 90 zdarzeń z grupy kontrolnej. W programie *MS-Excel* obliczono wartości statystyczne takie jak przedział wartości min. – max., średnia arytmetyczna, odchylenie standardowe, mediana (kwartył  $Q_2$ ), moda (wartość występująca najczęściej), przedział kwartyłowy  $Q_1 - Q_3$  oraz współczynnik korelacji dla saturacji, tętna i amplitudy (Tab. 1a i Tab. 1b). Poziom istotności  $p < 0,05$  obliczono na podstawie testu *Kołmogorowa-Smirnowa (Test-KS)*.

Tabela 1a. Opracowanie statystyczne saturacji, tętna i amplitudy dla 180 zdarzeń w grupie badanej  
 Table 1a. Statistical elaboration of saturation, pulse rate and amplitude for 180 events in the study group

Statystyka	min.-max.	$Q_1 - Q_3$	Śr. aryt.	Odch. stand.	Mediana	Moda	Wsp. kor.	Test-KS
Saturacja [%]	40 - 100	77 - 91	82,50	11,82	84	84	×	×
Tętno <sup>1</sup> [bpm]	84 - 196	137 - 164	149,35	20,23	150	146	0,327	0,001
Amplituda [mm]	2,7 - 36,8	6,75 - 14,4	11,2	6,28	9,60	14,4	-0,595	0,001

Źródło: Opracowanie własne / Source: Elaboration of the Authors

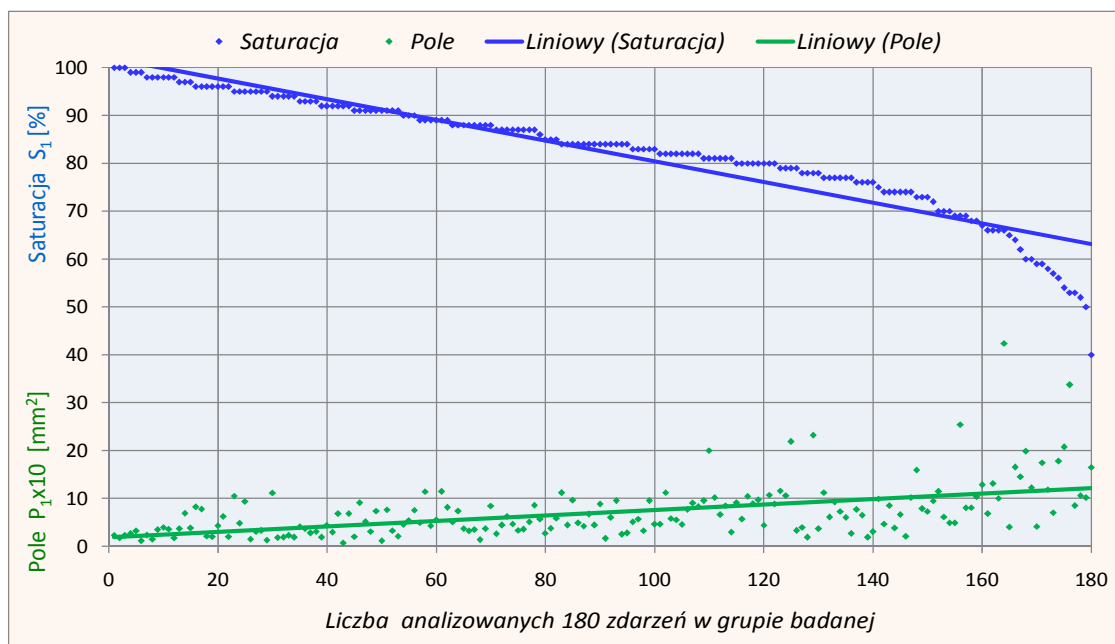
Tabela 1b. Opracowanie statystyczne saturacji, tętna i amplitudy dla 90 zdarzeń w grupie kontrolnej  
 Table 1b. Statistical elaboration of saturation, pulse rate and amplitude for 90 events in the control group

Statystyka	min.-max.	$Q_1 - Q_3$	Śr. aryt.	Odch. stand.	Mediana	Moda	Wsp. kor.	Test-KS
Saturacja [%]	88 - 100	95 - 98	96,38	2,65	97	96	×	×
Tętno [bpm]	104 - 182	131 - 152	140,18	15,83	142	152	0,125	0,001
Amplituda [mm]	1,4 - 16,2	3,85 - 7,75	6,27	3,14	5,3	5,2	-0,497	0,001

Źródło: Opracowanie własne / Source: Elaboration of the Authors

<sup>1</sup> Liczbę uderzeń serca na minutę określa symbol bpm (ang. beats per minute).

### 3.2. Interpretacja graficzna rozkładu wartości saturacji i pola pod falą tętna

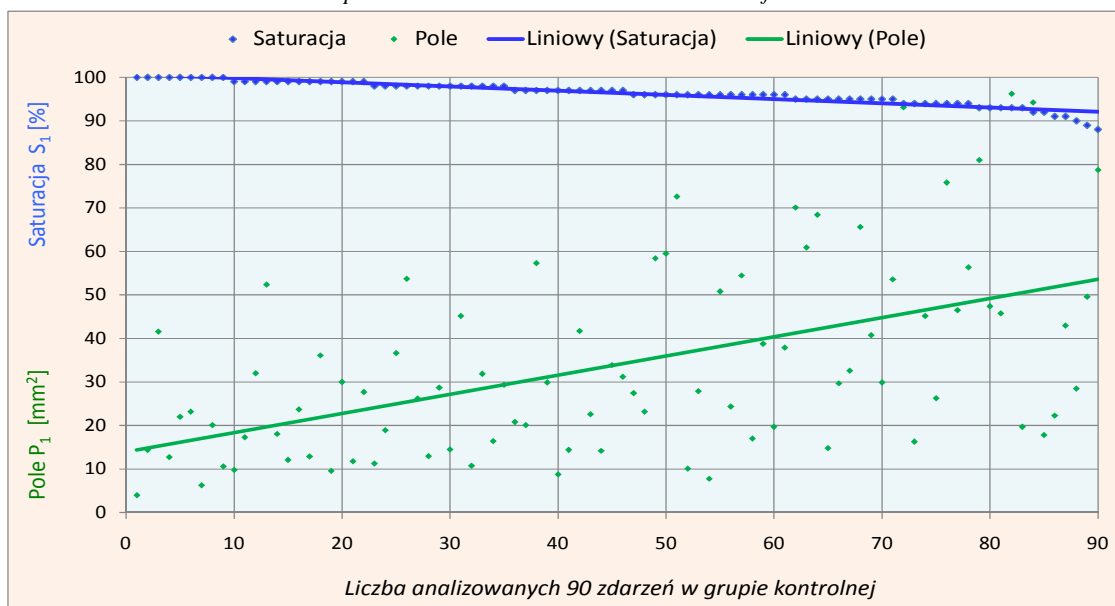


Rys. 3. Wartości saturacji  $S_1$  (40% – 100%) i pola pod falą tętna  $P_1$  ( $3,34 \text{ mm}^2$  –  $42,4 \text{ mm}^2$ ) w grupie badanej  
 Fig. 3. Values of saturation  $S_1$  (40 – 100%) and area under pulse wave  $P_1$  ( $3,34$  –  $42,4 \text{ mm}^2$ ) in the study group

Tab. 3. Statystyka saturacji  $S_1$  (40% – 100%) i pola pod falą tętna  $P_1$  ( $3,34 \text{ mm}^2$  –  $42,4 \text{ mm}^2$ ) w grupie badanej  
 Tab. 3. Statistics of saturation  $S_1$  (40 – 100%) and area under pulse wave  $P_1$  ( $3,34$  –  $42,4 \text{ mm}^2$ ) in the study group

Grupa badana	min.– max.		Śr. arytm.	Odch. stand.	Mediana	Moda	$Q_1 - Q_3$		Wsp. kor.	Test-KS
Saturacja $S_1$ :	40	100	82,500	11,824	84	84	77	91	– 0,5653	0,001
Area $P_1 \times 10$ :	0,7	42,4	7,047	5,649	5,7	1,1	3,34	9,12		

Źródło: Opracowanie własne / Source: Elaboration of the Authors



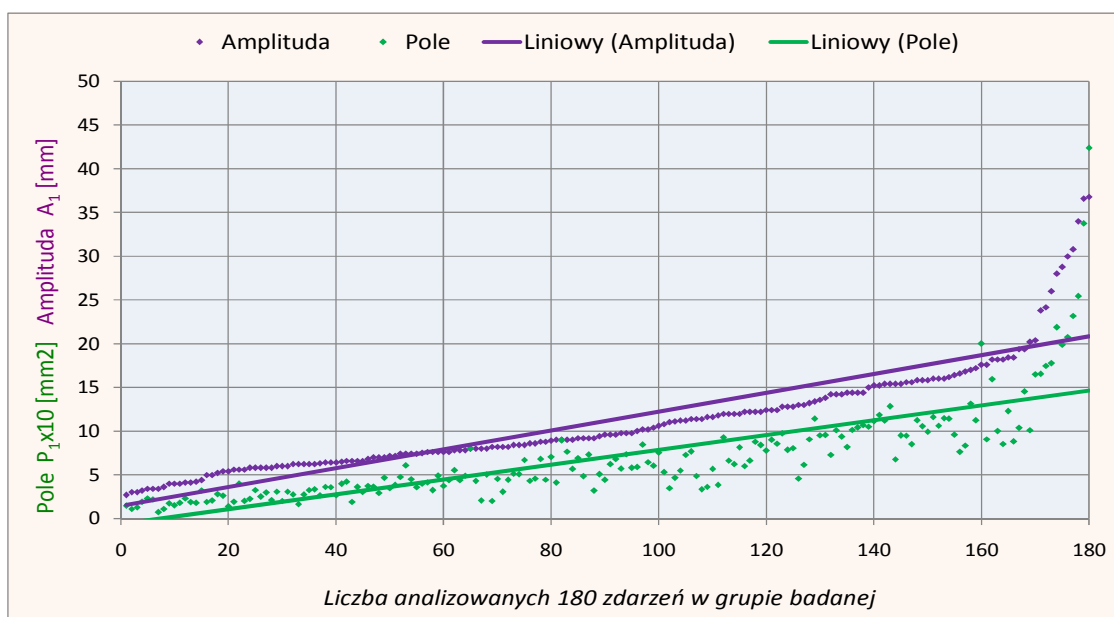
Rys. 4. Wartości saturacji  $S_1$  (88 – 100 %) i pola pod falą tętna  $P_1$  ( $4$  –  $96,2 \text{ mm}^2$ ) w grupie kontrolnej  
 Fig. 4. Values of saturation  $S_1$  (88 – 100 %) and area under pulse wave  $P_1$  ( $4$  –  $96,2 \text{ mm}^2$ ) in the control group

Tab. 4. Statystyka dla saturacji  $S_1$  (88 – 100 %) i pola pod falą tętna  $P_1$  ( $4$  –  $96,2 \text{ mm}^2$ ) w grupie kontrolnej  
 Tab. 4. Statistics of saturation  $S_1$  (88 – 100 %) and area under pulse wave  $P_1$  ( $4$  –  $96,2 \text{ mm}^2$ ) in the control group

Grupa kontrolna	min. – max.		Śr. arytm.	Odch. stand.	Mediana	Moda	$Q_1 - Q_3$		Wsp. kor.	Test-KS
Saturacja $S_1$ :	88	100	96,378	2,650	97	96	95	98	– 0,5158	0,001
Area $P_1 \times 10$ :	4,0	96,2	34,004	21,908	28,6	14,1	17,08	46,33		

Źródło: Opracowanie własne / Source: Elaboration of the Authors

### 3.3. Interpretacja graficzna rozkładu wartości amplitudy i pola pod falą tętna

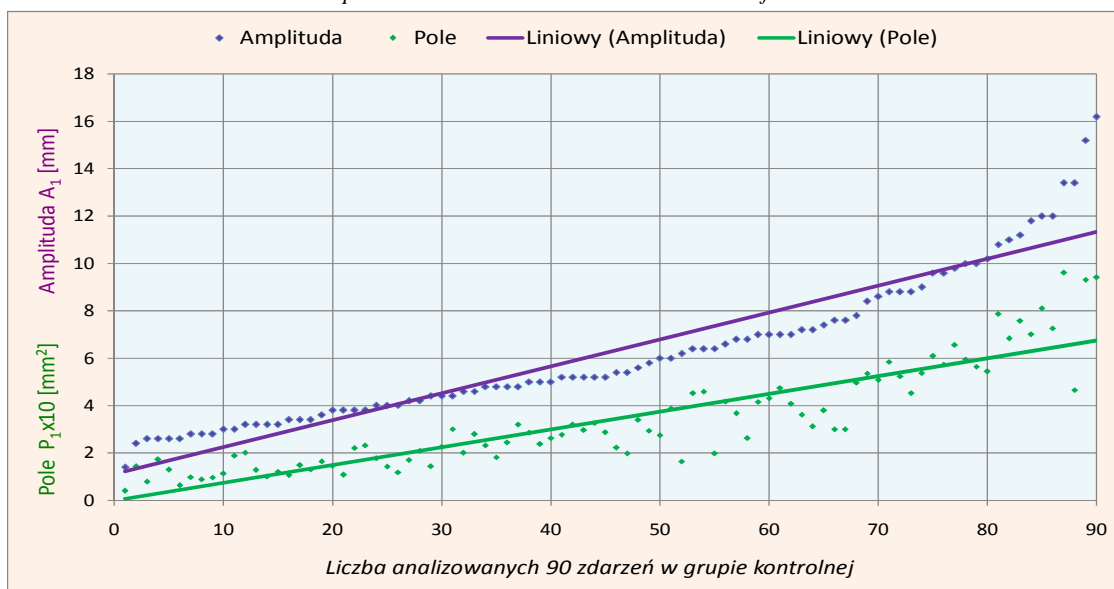


Rys. 5. Wartości amplitudy  $A_1$  (2,7 – 36,8 mm) i pola pod falą tętna  $P_1$  (7,2 – 423,9 mm<sup>2</sup>) w grupie kontrolnej  
 Fig. 5. Values of amplitude  $A_1$  (2,7 – 36,8 mm) and area under pulse wave  $P_1$  (7,2 – 423,9 mm<sup>2</sup>) in the study group

Tab. 5. Statystyka amplitudy  $A_1$  (2,7 – 36,8 mm) i pola pod falą tętna  $P_1$  (7,2 – 423,9 mm<sup>2</sup>) w grupie kontrolnej  
 Tab. 5. Statistics of amplitude  $A_1$  (2,7 – 36,8 mm) and area under pulse wave  $P_1$  (7,2 – 423,9 mm<sup>2</sup>) in the study group

Grupa badana	min. – max.	Śr. arytm.	Odch. stand.	Mediana	Moda	Q <sub>1</sub> – Q <sub>3</sub>		Wsp. kor.	Test-KS	
Amplituda $A_1$ :	2,7	36,8	11,199	6,283	9,60	5,8	6,75	14,40	0,93523	0,001
Pole $P_1 \times 10$ :	0,72	42,39	7,047	5,649	5,67	1,12	3,34	9,12		

Źródło: Opracowanie własne / Source: Elaboration of the Authors



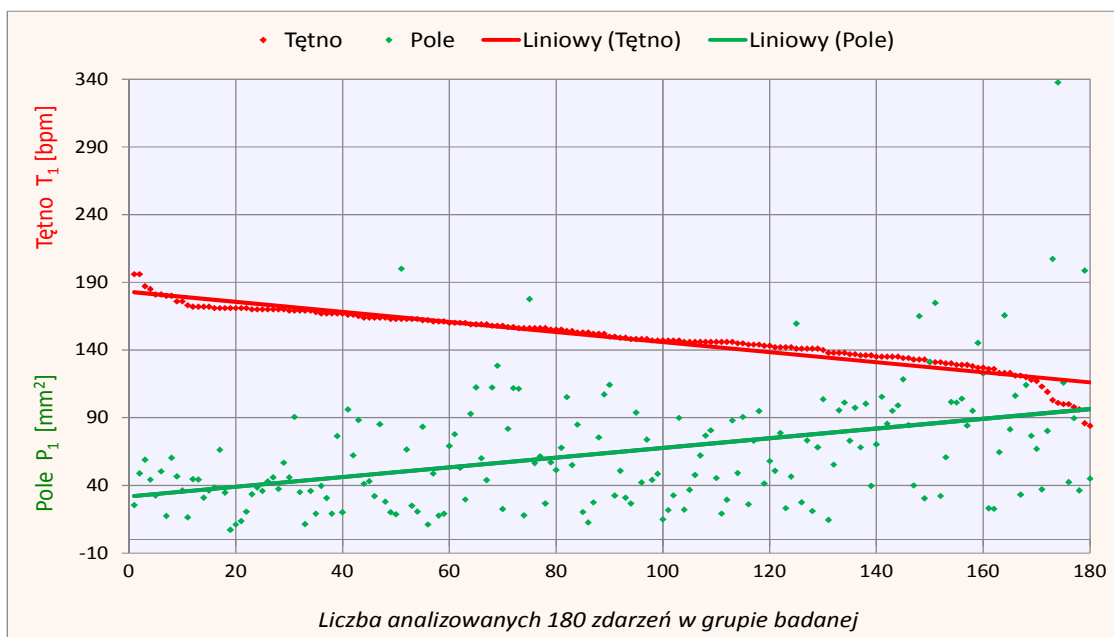
Rys. 6. Wartości amplitudy  $A_1$  (1,4 – 16,2 mm) i pola pod falą tętna  $P_1$  (4 – 96 mm<sup>2</sup>) w grupie kontrolnej  
 Fig. 6. Values of pulse rate (1,4 – 16,2 mm and amplitude of pulse wave (4 – 96 mm<sup>2</sup>) in the control group

Tab. 6. Statystyka dla amplitudy  $A_1$  (1,4 – 16,2 mm) i pola pod falą tętna  $P_1$  (4 – 96 mm<sup>2</sup>) w grupie kontrolnej  
 Tab. 6. Statistics of amplitude (1,4 – 16,2 mm) and amplitude of pulse wave (4 – 96 mm<sup>2</sup>) in the control group

Grupa kontrolna	min.- max.	Śr.arytm.	Odch. St.	Mediana	Moda	Q <sub>1</sub> - Q <sub>3</sub>		Wsp.kor.	Test-KS	
Amplituda $A_1$ :	1,4	16,2	6,27	3,14	5,3	5,2	3,85	7,75	0,94495	0,001
Pole $P_1 \times 10$ :	0,4	9,6	3,40	2,19	2,9	1,4	1,71	4,63		

Źródło: Opracowanie własne / Source: Elaboration of the Authors

### 3.4. Interpretacja graficzna rozkładu wartości tętna i pola pod falą tętna



Rys. 7. Wartości tętna  $T_1$  (84 – 196 bpm) i pola pod falą tętna  $P_1$  (7,2 – 337,6 mm<sup>2</sup>) w grupie badanej

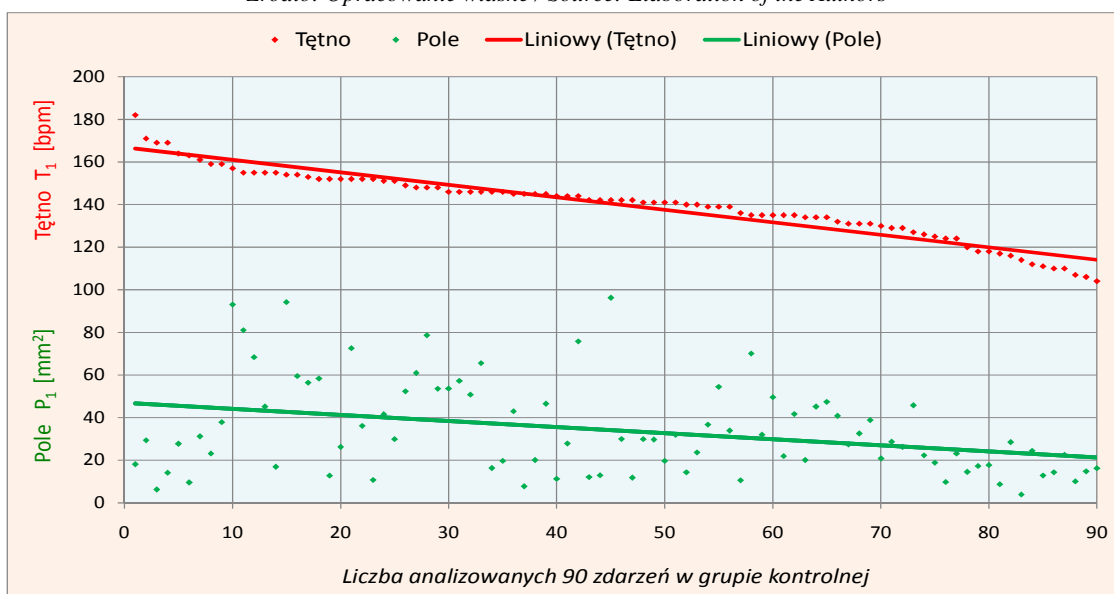
Fig. 7. Values of pulse rate (84 – 196 bpm) and area under pulse wave (7,2 – 337,6 mm<sup>2</sup>) in study group

Tab. 7. Statystyka dla tętna  $T_1$  (84 – 196 bpm) i pola pod falą tętna  $P_1$  (7,2 – 337,6 mm<sup>2</sup>) w grupie badanej

Tab. 7. Statistics of pulse rate (84 – 196 bpm) and area under pulse wave (7,2 – 337,6 mm<sup>2</sup>) in the study group

Grupa badana	min. – max.		Śr. arytm.	Odch. stand.	Mediana	Moda	Q <sub>1</sub> – Q <sub>3</sub>		Wsp. kor.	Test-KS
<i>Tętno <math>T_1</math>:</i>	84	196	149,350	20,233	150	146	137	164	– 0,4309	0,001
<i>Pole <math>P_1</math>:</i>	7,2	337,6	64,254	45,239	51,0	36,3	32,43	88,08		

Źródło: Opracowanie własne / Source: Elaboration of the Authors



Rys. 8. Wartości tętna  $T_1$  (104 – 182 bpm) i pola pod falą tętna  $P_1$  (4,0 – 96,2 mm<sup>2</sup>) w grupie kontrolnej

Fig. 8. Statistics of pulse rate  $T_1$  (104 – 182 bpm) and area under pulse wave  $P_1$  (4,0 – 96,2 mm<sup>2</sup>) in the control group

Tab. 8. Statystyka dla tętna  $T_1$  (104 – 182 bpm) i pola pod falą tętna (4,0 – 96,2 mm<sup>2</sup>) bpm w grupie kontrolnej

Tab. 8. Statistics of saturation (104 – 182 bpm) and area under pulse wave (4,0 – 96,2 mm<sup>2</sup>) in the control group

Grupa kontrolna	min. – max.		Śr. arytm.	Odch. stand.	Mediana	Moda	Q <sub>1</sub> – Q <sub>3</sub>		Wsp. kor.	Test-KS
<i>Tętno <math>T_1</math>:</i>	104	182	140,18	15,83	142	152	131	151,75	0,29884	0,001
<i>Pole <math>P_1</math>:</i>	4	96,2	34	21,91	28,6	23,2	17,08	46,33		

Źródło: Opracowanie własne / Source: Elaboration of the Authors

## 4. Dyskusja

### • Porównanie wartości saturacji i pola pod falą tętna

W grupie badanej spadkowi wartości saturacji towarzyszył istotny wzrost pola zawartego między falą tętna a osią odciętych. (Ryc. 3). W grupie badanej dla wartości saturacji od 40% do 100% współczynnik korelacji wynosił  $(-0,56)$ , a dla wartości saturacji od 40% do 85% był równy  $(-0,44)$ . Również w grupie kontrolnej spadkowi wartości saturacji towarzyszył istotny wzrost pola zawartego między falą tętna a osią odciętych. (Ryc. 4). W tej grupie dla wartości saturacji od 88% do 100% współczynnik korelacji odpowiednio równał się  $(-0,51)$ . Istotny statystyczny wzrost pola zawartego między falą tętna a osią odciętych koreluje ze wzrostem wartości amplitudy fali tętna wraz, z omówionym wcześniej, spadkiem wartości saturacji. Problem analizy pola zawartego między falą tętna a osią odciętych może być interpretowany z objętością przepływającej krwi w mikrokrążeniu. Wzrost objętości przepływającej krwi w mikronaczyniach, wraz ze spadkiem saturacji, można tłumaczyć „grą naczyniową”, czyli rozszerzaniem się światła naczyń prekapilarnych.

Związek pomiędzy ciśnieniem parcjalnym tlenu we krwi tętniczej a objętością krwi i wartością saturacji m.in. omawiają autorzy pracy [18]. Podają ciśnieniu parcjalnym tlenu we krwi tętniczej ( $\text{PaO}_2$ ) wynoszącym od 60 mmHg do 90 mmHg objętość 100 ml krwi przenosi 5,4 ml  $\text{O}_2$  i oddaje do tkanek ok. 3,4 ml. Przy ciśnieniu parcjalnym ( $\text{PaO}_2$ ) wynoszącym 60 mmHg saturacja mierzona pulsoksymetrem wynosi 90%. Przy dalszym wzroście wartości ciśnienia parcjalnego krwi wartość wysycenia hemoglobiny tlenem nie zachowuje się liniowo.

### • Porównanie wartości amplitudy i pola pod falą tętna

W grupie badanej wzrostowi wartości amplitudy fali tętna towarzyszył prawie równoległy wzrost pola zawartego między falą tętna a osią odciętych. (Ryc. 5). W grupie badanej dla wartości amplitudy od 2,7 mm do 36,8 mm współczynnik korelacji wynosił  $(+0,93)$ . Również w grupie kontrolnej wzrostowi wartości amplitudy towarzyszył istotny wzrost pola pod falą tętna (Ryc. 6). W grupie kontrolnej dla amplitudy od 1,4 mm do 16,2 mm współczynnik korelacji wynosił  $(+0,94)$ . Jak widać zarówno w grupie badanej jak i kontrolnej obserwuje się wysoce statystyczną korelację pomiędzy wartościami amplitudy i pola pod falą tętna.

Z naszych badań wynika, że współczynnik korelacji porównujący wartości saturacji i amplitudy oraz saturacji i pola pod krzywą fali tętna jest większy w przypadku amplitudy fali pulsoksymetrycznej. Stanowi to pewne udogodnienie techniczne w opracowaniu algorytmu alarmu. Jednak aby zagadnienie to w pełni zrozumieć należy przeprowadzić obserwacje kliniczne i badawcze porównując amplitudę fali pulsoksymetrycznej i pole pod krzywą z pomiarami dopplerowskimi w naczyniu z uwzględnieniem głównie indeksu pulsacji PI (*ang. pulsatility index*), współczynnika oporu RI (*ang. resistance index*) oraz prędkości skurczowej SV (*ang. systolic velocity*) a także prędkości rozkurczowej DV (*ang. diastolic velocity*).

Znajomość w prezentowanej w niniejszej dysertacji metody wyznaczenia pola pod falą tętna, umożliwi przejście do obliczeń objętości przepływającej krwi w naczyniach obwodowych. Analizę parametrów przepływu krwi w naczyniach obwodowych można znaleźć w odpowiedniej literaturze. Na przykład autorzy w pracy [2] opisali zmiany objętości i przepływu krwi stosując metodę pletyzmografii. Analizując parametry fali pletyzmograficznej i pulsoksymetrycznej wyznaczyli oni m.in. wskaźnik zmienności fali [%] (*ang. variability index*), indeks perfuzji [%] (*ang. perfusion index*) oraz amplitudę fali pletyzmograficznej.

Z kolei autorzy w pracy [24] podają charakterystykę pulsoksymetrycznej fali pletyzmograficznej w zależności od zmian objętości przepływającej krwi. Autorzy ci wiążą charakterystykę tej fali z ciśnieniem tętniczym krwi, bezdechem i hypowolemią.

#### • Porównanie wartości tętna i pola pod falą tętna

W grupie badanej spadkowi wartości tętna towarzyszył istotny wzrost pola zawartego między falą tętna a osią odciętych. (Ryc. 7). W grupie badanej dla wartości tętna od 84 bpm do 196 bpm współczynnik korelacji wynosił  $(-0,43)$ . Natomiast w grupie kontrolnej spadkowi wartości tętna towarzyszył prawie równoległy spadek pola pod falą tętna (Ryc. 8). W grupie kontrolnej dla tętna od 104 bpm do 182 bpm współczynnik korelacji wynosił  $(+0,29)$ . W grupie kontrolnej, gdzie nie ma spadku saturacji poniżej 85%, prawdopodobnie na tym poziomie nie włączają się mechanizmy kompensacyjne „gry naczyniowej” i współczynnik korelacji między wartościami tętna i pola pod falą tętna jest dodatni. Natomiast w grupie badanej, gdzie występuje spadek saturacji poniżej 85%, współczynnik korelacji między wartościami tętna i pola pod falą tętna ma wartość ujemną.

W grupie badanej (gdzie występują przypadki zmniejszenia saturacji poniżej 85%) spadek tętna prawdopodobnie powoduje zaburzenia mikrokrążenia u noworodka. W związku z tym kompensacyjnie następuje rozszerzenie naczyń prekapilarnych i zwiększenie objętości przepływającej krwi, co objawia się wzrostem analizowanego pola. Natomiast w grupie kontrolnej spadek tętna (gdzie saturacja wynosiła powyżej 85%) prawdopodobnie nie włączał się mechanizm kompensacyjny, co objawiło się spadkiem pola pod falą tętna, czyli tym samym spadkiem objętości krwi przepływającej w mikrokapilarach.

Omawiany mechanizm ma ścisły związek z autoregulacją krążenia i mikrokrążenia, który szczególnie silnie występuje w takich narządach jak mózg, nadnercza i naczynia wieńcowe serca. Ponieważ w niniejszej pracy badania pulsoksymetryczne wykonano na kończynie górnej (prawej), badane zależności w narządach centralnych mogły być zupełnie inne i inne mogą być granice mechanizmów kompensacyjnych. Nie można zatem wniosków z prezentowanej pracy przenosić na krążenie mózgowie krwi, krążenie krwi w nadnerczach oraz w naczyniach wieńcowych.

#### 5. Wnioski

- W grupach badanej i kontrolnej spadkowi wartości saturacji towarzyszył istotny wzrost pola zawartego między falą tętna a osią odciętych. Pole zawartego między falą tętna a osią odciętych może być interpretowane z objętością przepływającej krwi w mikrokrążeniu.
- W grupach badanej jak i kontrolnej obserwowano wysoce statystyczną korelację pomiędzy wartościami amplitudy i pola pod falą tętna. Znajomość metody wyznaczania pola pod falą tętna, umożliwia przejście do obliczeń objętości przepływającej krwi w naczyniach obwodowych.
- W grupie badanej spadkowi wartości tętna towarzyszył istotny wzrost pola zawartego między falą tętna a osią odciętych. Natomiast w grupie kontrolnej spadkowi wartości tętna towarzyszył prawie równoległy spadek pola pod falą tętna. W grupie kontrolnej, gdzie nie ma spadku saturacji poniżej 85%, prawdopodobnie na tym poziomie nie włączają się mechanizmy kompensacyjne „gry naczyniowej”.

*Podziękowanie:* Autorka dziękuje Panu Prof. dr hab. n. med. Jackowi Rudnickiemu i Zespołowi Lekarzy i Pielęgniarek z Kliniki Patologii Noworodka Katedry Położnictwa Ginekologii i Neonatologii Pomorskiego Uniwersytetu Medycznego za możliwość przeprowadzenia odpowiednich badań w okresie studiów doktoranckich 2000-2014.



## Literatura

- [1] Armitage P.: *Metody statystyczne w badaniach medycznych*, PZWL, Warszawa 1978, w. I.
- [2] Cannesson M., Besnard C., Durand P.G., Bohé J., Jacques D.: *Relation between respiratory variations in pulse oximetry plethysmographic waveform amplitude and arterial pulse pressure in ventilated patients*. *Critical Care* 2005, 9: 562-568.
- [3] Chandler J.R., Cooke E., Peterson C., Karlen W., Froese N., Lim J., Ansermino J.M.: *Pulse oximeter plethysmograph variation and its relationship to the arterial waveform in mechanically ventilate children*. *Journal of Clinical Monitoring and Computing* 2012, Springer Science + Business Media, LLC 2012.
- [4] Cichocka-Jarosz E., Kwinta P., Lankosz-Lauterbach J., Mazurek H.: *Podstawy monitorowania organizmu i puls oksymetria u dzieci*, *Medycyna Praktyczna PEDIATRIA* 2005, 5.
- [5] Czajkowska M.A., Rudnicki J., Czajkowski A.A.: *Analiza kształtu krzywej tętna w pulsoksymetrii noworodków*, Materiały XII Konferencji „Problemy Niekonwencjonalnych Układów Łożyskowych”, Łódź 16.05.2013: 49-54.
- [6] Czajkowska M.A., Rudnicki J., Czajkowski A.A., Pierzak J.: *Zastosowanie interpolacji liniowej do oceny kształtu krzywej pulsu występującej w pulsoksymetrii noworodków*, *Dydaktyka Nauk Stosowanych – Informatyka i Media, Elektrotechnika, Biomechanika i Neonatologia, Rozwój Nauki i Techniki*, (red. A.A. Czajkowski), Uniwersytet Szczeciński, Wydział Matematyczno-Fizyczny, Kat. Edukacji Informatycznej i Technicznej, Szczecin 2011, 7: 185-190.
- [7] Czajkowska M.A., Rudnicki J., Czajkowski A.A., Pierzak J.: *Wyznaczanie wzoru funkcji interpolującej opisującej krzywą pulsu występującej w pulsoksymetrii noworodków*, *Dydaktyka Nauk Stosowanych – Informatyka i Media, Elektrotechnika, Biomechanika i Neonatologia, Rozwój Nauki i Techniki*, (red. A.A. Czajkowski), Uniwersytet Szczeciński, Wydział Matematyczno-Fizyczny, Kat. Edukacji Informatycznej i Technicznej, Szczecin 2011, 7: 191-196.
- [8] Czajkowska M.A., Rudnicki J., Pierzak-Sominka J., Czajkowski A.A.: *Algorytm w programie Mathematica do wyznaczania parametrów krzywej pulsoksymetrii u noworodków*, *Problemy Nauk Stosowanych*, (red. A.A. Czajkowski), Wyższa Szkoła Techniczno-Ekonomiczna w Szczecinie, Szczecin 2013, 1: 127-134.
- [9] De-Wahl Granelli A.: *Pulse oximetry. Evaluation of potential tool for early detection of critical congenital heart disease*. University of Gothenburg, Department of Paediatrics, Institute of Clinical Science at Sahlgrenska Academy Gothenburg, Sweden 2009, (*Doctoral thesis*).
- [10] Dubin A.M.: *Arrhythmias in the newborn*. *NeoReviews* 2000 August, 1, 8: e146-e151.
- [11] Duke T., Subhi R., Peel D., Frey B.: *Pulse oximetry: technology to reduce child mortality in developing countries*, *Annals of Tropical Paediatrics* 2009, 29: 165-175.
- [12] Durand M., Ramanathan R.: *Pulse oximetry for continuous oxygen monitoring in sick newborn infants*. *The Journal of Pediatrics* 1986, 109, 6: 1052-1056.
- [13] Gamponia M.J., Babaali H., Yugar F., Gilman R.H.: *Reference values for pulse oximetry at high altitude*. *Archives of Disease in Childhood* 1998, 78: 461-465.
- [14] Hanning C.D., Alexander-Williams J.M.: *Pulse oximetry: a practical review*. *British Journal of Anaesthesia* 1995, 311: 367-370.

- [15] Harigopal S., Satish H.P., Taktak A.F.G., Southern K.W., Shaw N.J.: *Oxygen saturation profile in healthy preterm infants*. Archives of Disease in Childhood – Fetal and Neonatal Edition 2011, 96: F339-F342.
- [16] Khattar R.S., Swales J.D.: *Pulse pressure and prognosis*. Heart 2001, 85: 484-486.
- [17] Kirpalani H., Moore A.M., Perlman M.: *Podręcznik neonatologii*, Wyd. Medipage, 2009, (wyd. pol., red. M.K. Kornacka).
- [18] Lisowska B., Nowacka E.: *Tlenoterapia nieinwazyjna*. Anestezjologia i Ratownictwo 2008, 2: 290-296.
- [19] O'Rourke M.F., Pauca A., Jiang X.J.: *Pulse wave analysis*. British Journal of Clinical Pharmacology Jun 2001, 51, 6: 507–522.
- [20] Roberts T.E., Barton P.M., Auguste P.E., Middleton L.J., Furnston A.T., Ewer A.K.: *Pulse oximetry as a screening test for congenital heart defects in newborn infants: a cost-effectiveness analysis*, Archives of Disease in Childhood 2012, 97, 3: 221-226.
- [21] Røsvik A., Øymar K., Kvaløy J.T., Berget M.: *Oxygen saturation in healthy newborns; influence of birth weight and mode of delivery*. Journal of Perinatal Medicine 2009, 37: 403-406.
- [22] Rudnicki J., Czajkowska M.A.: *Fala gasnąca w pulsoksymetrii noworodków występująca w zaburzeniach mikrokrążenia*, Dydaktyka Nauk Stosowanych - Informatyka i Media, Elektrotechnika, Biomechanika, Bioinżynieria i Neonatologia, Rozwój Nauki i Techniki (red. A.A. Czajkowski), Wyd. PPH Dmochowski, Sobczyk Sp.j., Szczecin 2009, 5: 215-220.
- [23] Saylor J.W.: *Neonatal and pediatric pulse oximetry*, Respiratory Care 2003, 48 4: 386-398.
- [24] Sahni R., Gupta A., Ohira-Kist K., Rosen T.S.: *Motion resistant pulse oximetry in neonates*. Archives of Disease in Childhood – Fetal and Neonatal Edition 2003, 88: F505-F508.
- [25] Szczapa J.: *Neonatologia*, Wyd. Lekarskie PZWL, Warszawa 2000.
- [26] Szczapa J.: *Podstawy neonatologii*, Wyd. Lekarskie PZWL, Warszawa 2008, wyd. I.
- [27] Townsend N.: *Pulse oximetry*, Medical electronics, Michaelms Term 2001: 33-54.