

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 I AMPLITUDY FALI TĘTNA W PULSOKSYMETRII U NOWORODKÓW Z ZABURZENIAMI MIKROKRAŻENIA

Streszczenie

Wstęp i cele: W pracy przedstawiono analizę saturacji, tętna i amplitudy fali 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 grupie badanej dla saturacji 40 - 100% jak i kontrolnej dla saturacji 88 - 100% spadkowi jej wartości towarzyszył istotny wzrost wartości amplitudy fali tętna oraz niewielki spadek wartości tętna. W grupie badanej dla tętna 84 - 196 bpm jak i kontrolnej dla tętna 104 - 182 bpm spadkowi jego wartości towarzyszył niewielki wzrost wartości amplitudy fali tętna.

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, fala pulsu, charakterystyka, porównania.

(Otrzymano: 15.03.2019; Zrecenzowano: 25.03.2019; Zaakceptowano: 31.03.2019)

COMPARISON OF SATURATION, PULSE RATE AND PULSE WAVE IN PULSE OXIMETRY OF NEWBORNS WITH MICROCIRCULATION DISTURBANCES

Abstract

Introduction and aims: The paper presents some analysis of saturation, pulse rate and pulse wave amplitude 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 study group for the saturation 40 - 100% and control group for saturation 88 - 100% its decrease values was accompanied by a significant amplitude values increase of the pulse wave and a slight decrease in heart pulse rate. In the study group for heart rate 84 - 196 bpm and control group pulse for 104 - 182 bpm its decrease value accompanied with a slight increase the amplitude values of the pulse wave.

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, pulse wave, characteristics, comparisons.

(Received: 15.03.2019; Reviewed: 25.03.2019; Accepted: 31.03.2019)

1. Wstęp

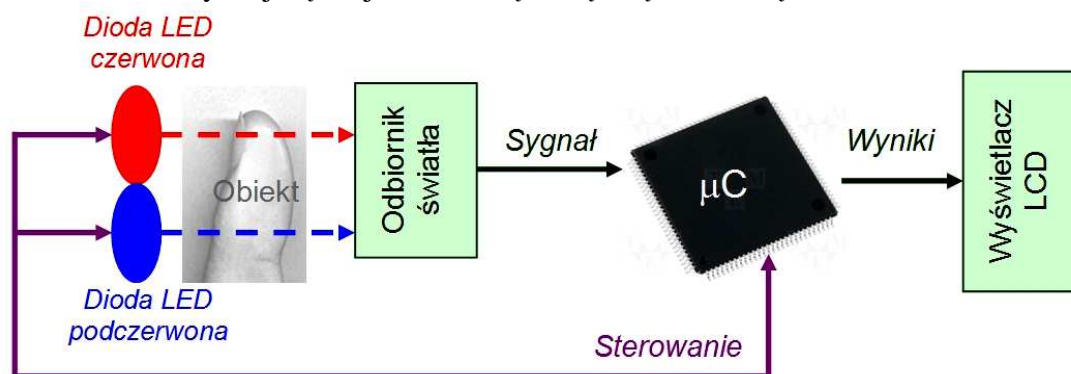
Pulsoksymetria jest nieinwazyjną i bezpieczną metodą, powszechnie stosowaną do monitorowania stanu noworodka w oddziałach intensywnej terapii. Pozwala ona na rozpoznawanie i ocenę fizjologicznych i patologicznych objawów u noworodka, a także ciągłą obserwację trendów ważnych parametrów zdrowia, oraz ocenę sytuacji zagrożenia życia. Ze względu na swoją niedojrzałość noworodki zwłaszcza przedwcześnie urodzone wymagają specjalnego nadzoru medycznego. Część z nich wymaga leczenia przez wiele miesięcy, więc monitorowanie powinno być pewne, wygodne i proste w użyciu, nieinwazyjne oraz bezpieczne dla dziecka. W oddziałach neonatologii spotykamy często sytuacje kliniczne, w których niezbędna jest ocena natlenienia krwi tętniczej.

Zaburzenia oddychania u noworodków prowadzą często do niedostatecznej podaży tlenu, co w konsekwencji może prowadzić do obniżenia ciśnienia parcjalnego tlenu we krwi tętniczej, czyli hipoksemii prowadzącej do hipoksji czyli niedotlenienia tkanek.

Pulsoksymetria zapewnia ciągłą rejestrację saturacji, czyli wysycenia hemoglobiny tlenem (SaO_2) w naczyniach kapilarnych, a tym samym pozwala pośrednio określić PaO_2 krwi tętniczej [6].

Pulsoksymetria opiera się na dwóch zasadach: obecności pulsującego przepływu krwi w naczyniach, różnych spektrach absorpcyjnych oksyhemoglobiny i deoksyhemoglobiny.

Schemat budowy i działania pulsoksymetru przedstawia rysunek 1. Czujnik pulsoksymetru składa się z fotoemitera zbudowanego z 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]-[30].



Rys. 1. Schemat działania pulsoksymetru

Źródło: Opracowanie własne

Fig. 1. Functional diagram of the pulse-oximeter

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 i amplituda fali tętna) uzyskano zarówno dla zdarzeń grupy badanej jak i dla zdarzeń grupy kontrolnej.

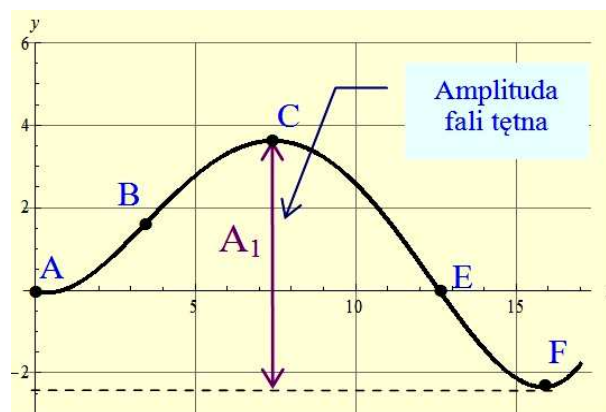
W celu uzyskania rzeczywistych wartości analizowanych parametrów należy otrzymane wielkości wymiarowe pomnożyć przez bezwymiarowe charakterystyczne wartości korygujące. Wartości saturacji S w [%], amplitudy A w [mm] i tętna T w [bpm] są określone następującymi wzorami:

$$S = S_0 \cdot S_1,$$

$$A = A_0 \cdot A_1,$$

$$T = T_0 \cdot T_1,$$

gdzie S_0 , A_0 , T_0 to charakterystyczne bezwymiarowe wartości saturacji amplitudy i tętna, a S_1 , A_1 , T_1 to wartości wymiarowe saturacji amplitudy i tętna [bpm] otrzymane z badań numerycznych (Rys. 2).



Rys. 2. Punkty A,B,C,D,E,F fali tętna i amplituda A_1

Źródło: Opracowanie własne

Fig. 2. Points A, B, C, D, E, F pulse wave and amplitude A_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 (kwartyl Q_2), moda (wartość występująca najczęściej), przedział kwartylowy $Q_1 - Q_3$ 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. arytm.	Odch. stand.	Mediana	Moda	Wsp. kor.	Test-KS
Saturacja [%]	40 - 100	77 - 91	82,50	11,82	84	84	×	×
Tętno ¹ [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

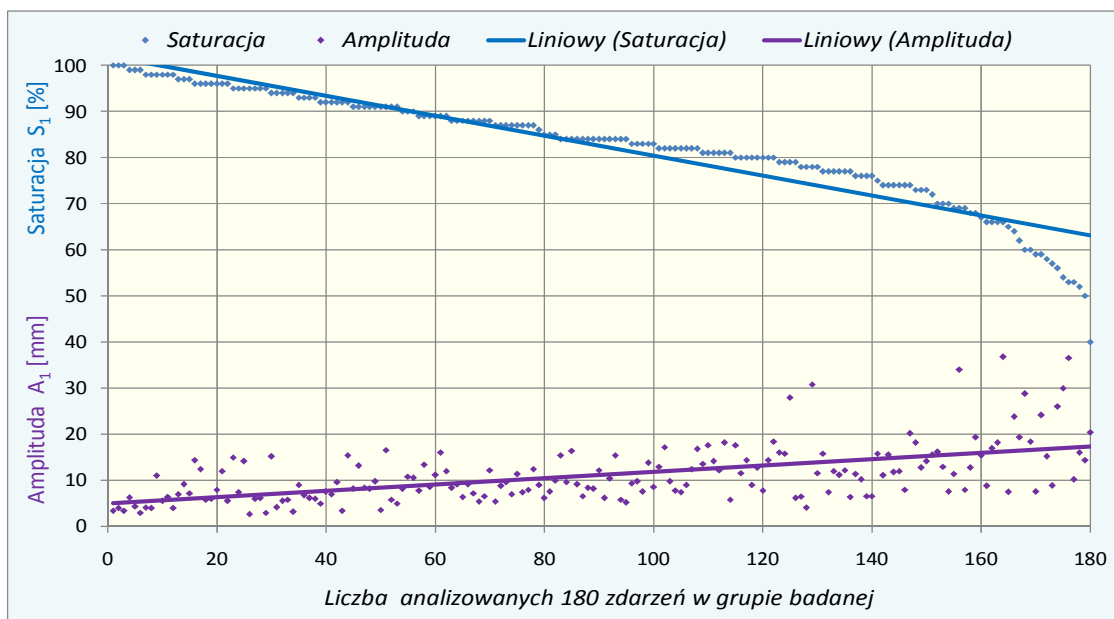
Table 1b. Statistical elaboration of saturation, pulse rate and amplitude for 90 events in the control group

Statystyka	min.-max.	$Q_1 - Q_3$	Śr. arytm.	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

¹ Liczbę uderzeń serca na minutę określa symbol bpm (ang. *beats per minute*).

3.2. Interpretacja graficzna rozkładu wartości saturacji i amplitudy



Rys. 3. Wartości saturacji 40 – 100 % i amplitudy fali tętna 2,7 – 36,8 mm w grupie badanej.

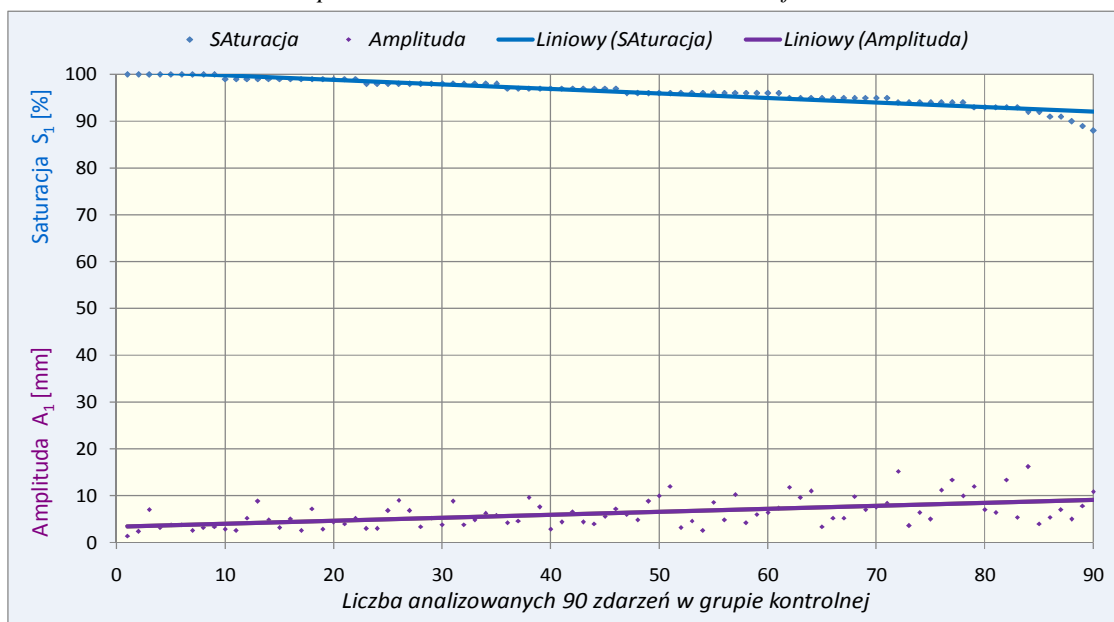
Fig. 3. Values of saturation 40 – 100 % and amplitude of pulse wave 2,7 – 36,8 mm in the study group

Tab. 3. Statystyka dla saturacji 40 – 100 % i amplitudy fali tętna 2,7 – 36,8 mm w grupie badanej

Tab. 3. Statistics of saturation 40 – 100 % and amplitude of pulse wave 2,7 – 36,8 mm in the study group

Grupa badana	min. – max.		Śr. arytm.	Odch. stand.	Mediana	Moda	Q ₁ – Q ₃		Wsp. kor.	Test-KS
Saturacja:	40	100	82,500	11,824	84	84	77	91	– 0,5945	0,001
Amplituda:	2,7	36,8	11,199	6,238	9,6	6,2	6,75	14,40		

Źródło: Opracowanie własne / Source: Elaboration of the Authors



Rys. 4. Wartości saturacji 88 – 100 % i amplitudy fali tętna 1,4 – 16,2 mm w grupie kontrolnej

Fig. 4. Values of saturation 88 – 100 % and amplitude of pulse wave 1,4 – 16,2 mm in the control group

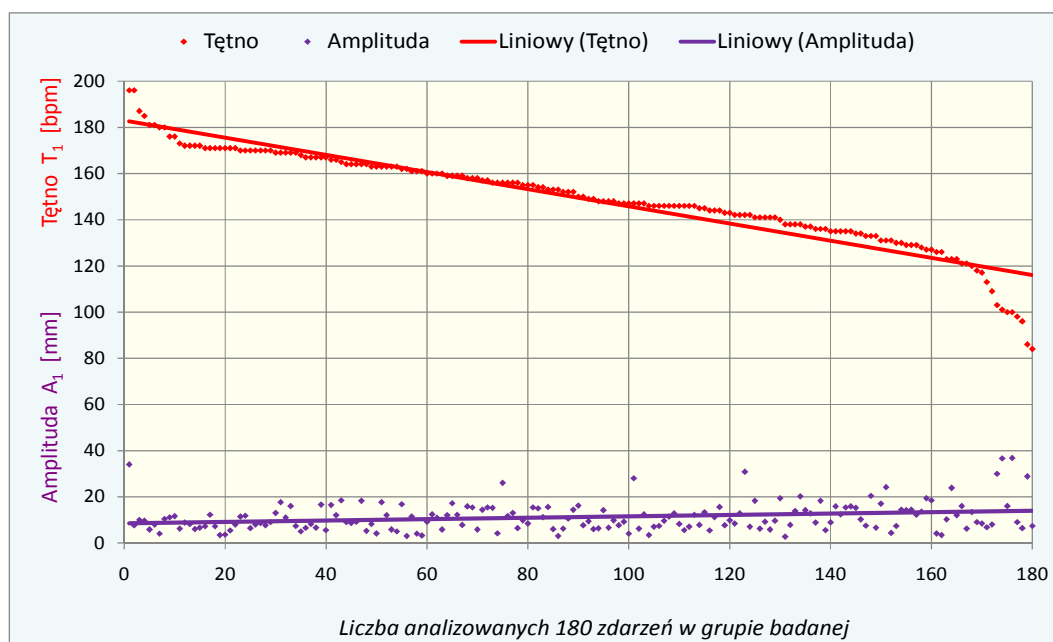
Tab. 4. Statystyka dla saturacji 88 – 100 % i amplitudy 1,4 – 16,2 mm w grupie kontrolnej

Tab. 4. Statistics of saturation 88 – 100 % and amplitude of pulse wave 1,4 – 16,2 mm in the control group

Grupa kontrolna	min. – max.		Śr. arytm.	Odch. stand.	Mediana	Moda	Q ₁ – Q ₃		Wsp. kor.	Test-KS
Saturacja:	88	100	96,378	2,650	97	96	95	98	– 0,4968	0,001
Amplituda:	1,4	16,2	6,273	3,136	5,3	7,0	3,85	7,75		

Źródło: Opracowanie własne / Source: Elaboration of the Authors

3.3. Interpretacja graficzna rozkładu wartości tętna i amplitudy



Rys. 5. Wartości tętna 84 – 196 bpm i amplitudy fali tętna 2,7 – 36,8 mm w grupie badanej

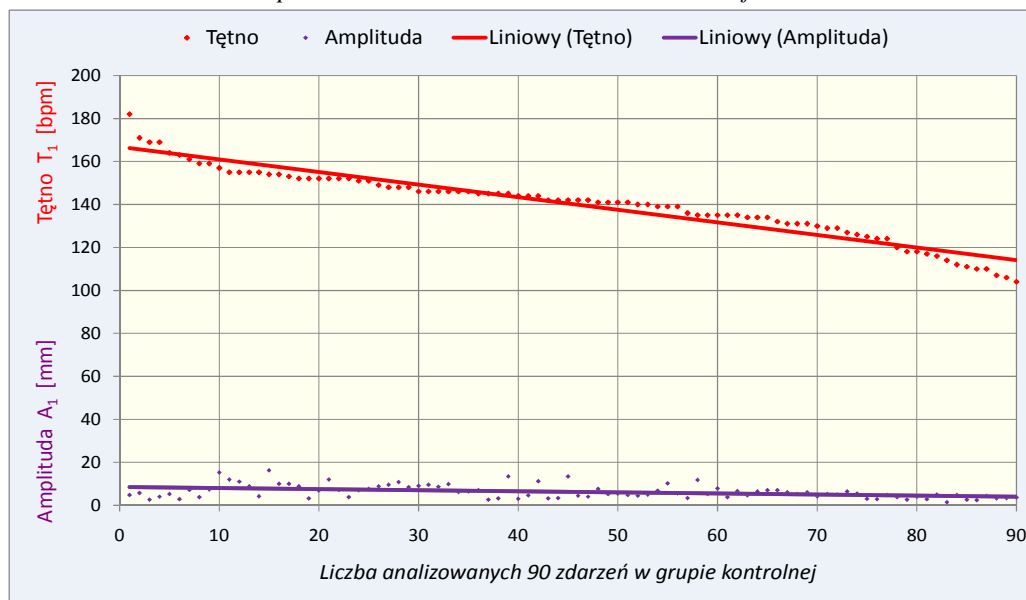
Fig. 5. Values of pulse rate 84 – 196 bpm and amplitude of pulse wave 2,7 – 36,8 mm in the study group

Tab. 5. Statystyka dla tętna 84 – 196 bpm i amplitudy 2,7 – 36,8 mm w grupie badanej

Tab. 5. Statistics of pulse rate 84 – 196 bpm and amplitude of pulse wave 2,7 – 36,8 mm in the study group

Grupa badana	min. – max.		Śr. aryt.	Odch. stand.	Mediana	Moda	Q ₁ – Q ₃		Wsp. kor.	Test-KS
Tętno:	84	196	149,350	20,233	150	146	137	164	- 0,2727	0,001
Amplituda	2,7	36,8	11,199	6,283	9,6	7,6	6,75	14,40		

Źródło: Opracowanie własne / Source: Elaboration of the Authors



Rys. 6. Wartości tętna 104 – 182 bpm i amplitudy fali tętna 1,4 – 16,2 mm w grupie kontrolnej

Fig. 6. Values of pulse rate 104 – 182 bpm and amplitude of pulse wave 1,4 – 16,2 mm in the control group

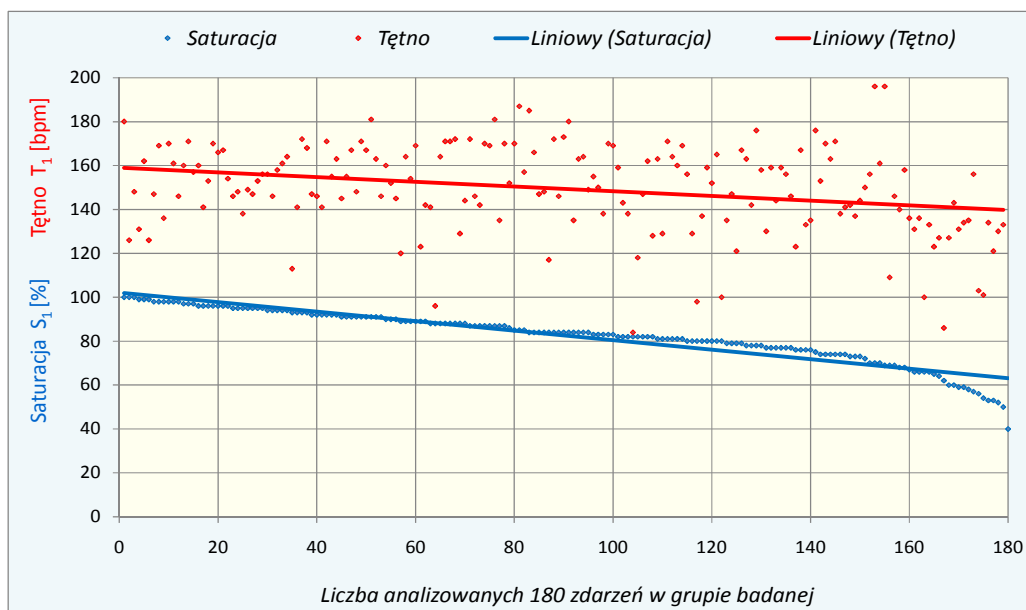
Tab. 6. Statystyka dla tętna 104 – 182 bpm i amplitudy 1,4 – 16,2 mm w grupie kontrolnej

Tab. 6. Statistics of pulse rate 104 – 196 bpm and amplitude of pulse wave 2,7 – 36,8 mm in the control group

Grupa kontrolna	min.- max.		Śr. aryt.	Odch. St.	Mediana	Moda	Q ₁ - Q ₃		Wsp.kor.	Test-KS
Tętno:	104	182	140,178	15,832	142	152	131	152	0,37543	0,001
Amplituda:	1,4	16,2	6,273	3,136	5,3	7,0	3,85	7,75		

Źródło: Opracowanie własne / Source: Elaboration of the Authors

3.4. Interpretacja graficzna rozkładu wartości saturacji i tętna



Rys. 7. Wartości saturacji 40 – 100 % i tętna 84 – 196 bpm w grupie badanej

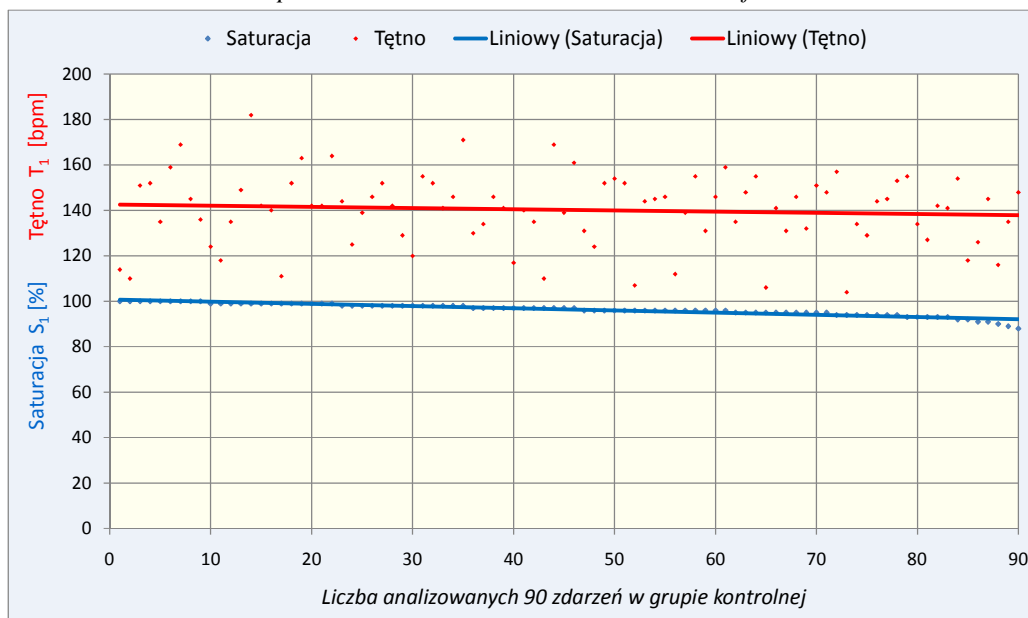
Fig. 7. Values of saturation 40 – 100 % and pulse rate 84 – 196 bpm in study group

Tab. 7. Statystyka dla saturacji 40 – 100 % i tętna 84 – 196 bpm w grupie badanej

Tab. 7. Statistics of saturation 40 – 100 % and pulse rate 84 – 196 bpm in the study group

Grupa badana	min. – max.	Śr. arytm.	Odch. stand.	Mediana	Moda	Q ₁ – Q ₃		Wsp. kor.	Test-KS
Saturacja:	40 100	82,517	11,768	84	84	77	91	0,3264	0,001
Tętno:	84 196	149,350	20,233	150	146	137	164		

Źródło: Opracowanie własne / Source: Elaboration of the Authors



Rys. 8. Wartości saturacji 88 – 100 % i tętna 104 – 182 bpm w grupie kontrolnej

Fig. 8. Values of saturation 88 – 100 % and pulse rate 104 – 182 bpm in control group

Tab. 8. Statystyka dla saturacji 88 – 100 % i tętna 104– 182 bpm w grupie kontrolnej

Tab. 8. Statistics of saturation 88 – 100 % and pulse rate 104 – 182 bpm in the control group

Grupa kontrolna	min. – max.	Śr. arytm.	Odch. stand.	Mediana	Moda	Q ₁ – Q ₃		Wsp. kor.	Test-KS
Saturacja:	88 100	96,378	2,650	97	96	95	98	0,12478	0,001
Tętno:	104 182	140,178	15,832	142	152	131	152		

Źródło: Opracowanie własne / Source: Elaboration of the Authors

4. Dyskusja

◆ W grupie badanej spadkowi saturacji towarzyszył istotny wzrost amplitudy fali tętna (Rys. 23). W grupie badanej dla saturacji w przedziale 40 - 100 % współczynnik korelacji wynosił (-0,59). Również w grupie kontrolnej spadkowi saturacji towarzyszył istotny wzrost amplitudy fali tętna (Rys. 4).

W tej grupie dla saturacji w przedziale 88 - 100% współczynnik korelacji wynosił (-0,49). Jak wynika z badań wraz ze spadkiem wartości saturacji obserwuje się wzrost amplitudy fali tętna, zjawisko to nasila się przy wartości saturacji poniżej 85%.

W obserwowanym przedziale zmian wartości saturacji od 40 do 100% obserwowano odwrotnie proporcjonalne zmiany wartości amplitudy wartości od 2,7 do 38 mm (względne zależne od konstrukcji softwaru).

Stwierdza się istotną statystycznie korelację ujemną między badanymi wartościami saturacji i odpowiadającym im wartościom amplitudy. Zależność ta wzrasta wraz ze spadkiem saturacji (Rys. 3).

Z obserwacji wynika, że zjawisko to występuje w czasie nie większym niż 20 sekund i wyprzedza pojawienie się na ekranie rzeczywistych wartości wysycenia hemoglobiny tlenem. Daje to możliwość skonstruowania algorytmu uprzedzającego pojawienie się średniej wartości saturacji na ekranie w konsekwencji zastosowanie wcześniejszej interwencji medycznej z potencjalną korzyścią dla dziecka.

Szczególnie istotne jest to w zakresie wartości saturacji pomiędzy 85 a 45% wysycenia hemoglobiny tlenem.

W grupie badanej noworodków spadki saturacji miały następujące przyczyny:

- skrajne wcześniactwo (*poród przed 32 tygodniem ciąży*),
- przetrwały przewód Botalla (*łac. ductus arteriosus persistens*),
- otwór owalny (*łac. foramen ovale*) przegrody międzyprzedsionkowej serca (*łac. septum interatriale*),
- ubytek przegrody międzykomorowej z przeciekiem lewo na prawo,
- napadowy częstoskurcz nadkomorowy,
- zespół Downa (*fenotyp trisomii 21*),
- rozwijająca się sepsa,
- rozwijająca się infekcja płuc,
- liczne wady wrodzone dziecka (w tym serce olbrzymie,
- artrogrypoza (*łac. arthrogryposis multiplex congenita*).

Interwencją zasadniczą w takich sytuacjach jest zwalczanie przyczyny desaturacji, natomiast obserwacja wzrastającej fali tętna daje możliwość wcześniejszej interwencji objawowej. Po podjęciu takiej interwencji dalsza obserwacja fali tętna pozwala stwierdzić czy jest ona skuteczna. W takim bowiem przypadku amplituda ulega zmniejszeniu, co z kolei pozwala na ograniczenie stosowanych stężeń tlenu i uniknięcie jego toksycznego działania.

Zjawisko to przypomina ręczny lub manualny *feed-back efekt* w respiratorze Avea. Zjawisko to polega na automatycznej regulacji stężenia tlenu w mieszance oddechowej. W przyszłości zjawisko to można wykorzystać do automatycznej regulacji stężenia tlenu w otoczeniu dziecka. W konsekwencji na przestrzeni dni i tygodni pobytu dziecka w intensywnej terapii pomoże to zmniejszyć ilość stosowanego tlenu i zapobiec skutkom stresowi oksydacyjnemu.

Organizm dziecka posiada liczne mechanizmy kompensacyjne. Przykładem tego jest płuca i serca jako płuco-serca. Chodzi tu o to, że w przypadku niewydolności oddechowej kompensacyjnie wzrasta krążenie płucne, tak aby dostarczyć pacjentowi należną ilość tlenu i wyeli-

minować dwutlenek węgla. Zjawiska te mają zastosowanie w wielu funkcjach ludzkiego organizmu w tym tętna, pulsu noworodka.

Można wnioskować, że zmiana amplitudy fali tętna w krążeniu peryferyjnym może mieć znaczenie diagnostyczne. W naszym przypadku oznacza to możliwość wcześniejszego antycypowania niedotlenienia organizmu noworodka przy wzroście amplitudy fali tętna.

◆ W grupie badanej spadkowi tętna towarzyszył niewielki wzrost amplitudy fali tętna. (Rys. 5). W grupie badanej dla tętna w przedziale 84 - 196 bpm współczynnik korelacji wynosił (-0,27). Również w grupie kontrolnej spadkowi tętna towarzyszył niewielki wzrost amplitudy fali tętna (Rys. 6). W grupie kontrolnej dla tętna w przedziale 104 - 182 bpm współczynnik korelacji wynosił (+0,37). Wraz ze wzrostem wartości amplitudy fali tętna obserwuje się różne wartości tętna, którym odpowiada trend malejący. Obserwuje się dynamiczne zmiany wartości fali tętna w przedziale od 63 do 96 bpm wartości.

Nie stwierdzono istotnej statystycznie korelacji między badanymi wartościami tętna i odpowiadającym im wartościom amplitudy. Powyższe rozważania wynikają z faktu, że w mikrokrążeniu główną rolę odgrywa „gra naczyńowa” tzn. hipoksja w tkankach powoduje hipoksemię prowadzącą do rozkurczu czyli zmniejszenia oporu naczyń przedwłosowatych (wzrost amplitudy fali tętna). Po wyrównaniu poziomu tlenu we krwi następuje kompensacyjny powrót do normalizacji oporu naczyniowego (skurczu naczyń, czyli zmniejszenia amplitudy fali tętna), następuje zmniejszony napływ krwi i tlenu do tkanek.

◆ W grupie badanej spadkowi saturacji towarzyszył spadek tętna. (Rys. 7). W grupie badanej dla saturacji w przedziale 40 - 100% współczynnik korelacji wynosił (+0,32). Również w grupie kontrolnej spadkowi saturacji towarzyszył niewielki spadek tętna (Rys. 8). W grupie kontrolnej dla saturacji w przedziale 88 - 100% współczynnik korelacji wynosił (+0,12). Wraz ze spadkiem wartości saturacji obserwuje się różne wartości tętna, którym odpowiada trend malejący.

Obserwuje się dynamiczne zmiany wartości fali tętna w przedziale 63 - 196 bpm. Nie stwierdzono istotnej statystycznie korelacji między badanymi wartościami tętna i odpowiadającym im wartościom saturacji.

Spadek wartości hemoglobiny utlenowanej nie jest bezpośrednio związany ze wzrostem (spadkiem) wartości tętna, bo ma on charakter dynamiczny. Możliwe są cztery sytuacje:

- spadek wartości saturacji i kompensacyjny wzrost wartości tętna,
- spadek wartości saturacji i spadek wartości tętna,
- wzrost wartości saturacji i wzrost wartości tętna,
- wzrost wartości saturacji i spadek wartości tętna.

W przeprowadzonych badaniach zaobserwowano przypadek, gdzie spadek wartości saturacji związany jest z malejącym trendem opisującym wartości tętna.

5. Wnioski

- W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że spadkowi saturacji krwi (zwłaszcza poniżej 85%) towarzyszy wzrost amplitudy fali tętna.
- Zjawisko wzrostu amplitudy fali tętna wyprzedza do ok. 30 sekund desaturację.

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] Brązert K., Gadzinowski J.: *Oksymetria pulsacyjna - zasada działania i zastosowanie kliniczne*, Kliniczna Perinatologia i Ginekologia Tom IV (red. Zb. Słomko), Pol. Tow. Medycyny Perinatalnej, Poznań 1992: 161-174.
- [3] Brązert K., Gadzinowski J.: *Pulsacyjna oksymetria u przedwczesnie urodzonych noworodków z zaburzeniami oddychania*. Postępy Neonatologii 1995, 6: 352-357.
- [4] Brązert K., Gadzinowski J., Szymankiewicz M., Bręborowicz G., *Zmiany saturacji hemoglobiny u przedwczesnie urodzonych noworodków z zaburzeniami oddychania*. Kliniczna Perinatologia i Ginekologia Tom VII Niedotlenienie płodu i noworodka (red. Zb. Słomko, G. Bręborowicz G., J. Gadzinowski), Pol. Tow. Medycyny Perinatalnej, Poznań 1993: 163-169.
- [5] 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.
- [6] Cichocka-Jarosz E., Kwinta P., Lankosz-Lauterbach J., Mazurek H.: *Podstawy monitorowania organizmu i puls oksymetria u dzieci*, Medycyna Praktyczna Pediatria 2005, 5.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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, (Doctor thesis).
- [12] Dubin A.M.: *Arrhythmias in the newborn*. NeoReviews 2000 August, 1, 8: e146-e151.
- [13] 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.

- [14] Durand M., Ramanathan R.: *Pulse oximetry for continuous oxygen monitoring in sick newborn infants*. The Journal of Pediatrics 1986, 109, 6: 1052-1056.
- [15] 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.
- [16] Hanning C.D., Alexander-Williams J.M.: *Pulse oximetry: a practical review*. British Journal of Anaesthesia 1995, 311: 367-370.
- [17] Hanson M.A., Nijhuis J.G.: *Pulse oximetry – physiological considerations*, European Journal of Obstetrics & Gynecology and Reproductive Biology 1997, 72, (Suppl. 1): S3-S8.
- [18] 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.
- [19] Jubran A.: *Pulse oximetry*, Critical Care 1999, 3, 2: R11-R17.
- [20] Khattar R.S., Swales J.D.: *Pulse pressure and prognosis*. Heart 2001, 85: 484-486.
- [21] Kirpalani H., Moore A.M., Perlman M.: *Podręcznik neonatologii*, Wyd. Medipage, 2009, (wyd. pol., red. M.K. Kornacka).
- [22] Łozińska D., Twardowska I. (red.): *Neonatologia*, Wyd. Lekarskie PZWL, Warszawa 1993.
- [23] O'Rourke M.F., Pauca A., Jiang X.J.: *Pulse wave analysis*. British Journal of Clinical Pharmacology Jun 2001, 51, 6: 507–522.
- [24] 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.
- [25] 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.
- [26] 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.
- [27] Sayler J.W.: *Neonatal and pediatric pulse oximetry*, Respiratory Care 2003, 48 4: 386-398.
- [28] Szczapa J.: *Neonatologia*, Wyd. Lekarskie PZWL, Warszawa 2000.
- [29] Szczapa J.: *Podstawy neonatologii*, Wyd. Lekarskie PZWL, Warszawa 2008, wyd. I.
- [30] Townsend N.: *Pulse oximetry*, Medical electronics, Michaelms Term 2001: 33-54.