

**Aneta DANECKA¹, Bożena GZIK-ZROSKA², Robert MICHNIK³, Jacek JURKOJC³,
Zbigniew PILECKI⁴**

¹Studenckie Koło Naukowe Biomechatroniki „BIOKREATYWNI”, Katedra Biomechatroniki, Politechnika Śląska, Gliwice

²Katedra Biomateriałów i Inżynierii Wyrobów Medycznych, Politechnika Śląska, Gliwice

³Katedra Biomechatroniki, Politechnika Śląska, Gliwice

⁴Chorzowskie Centrum Pediatrii i Onkologii im. dr Edwarda Hankego, Chorzów

OCENA KINEMATYKI KLATKI PIERSIOWEJ U OSÓB Z WSZCZEPIONĄ PŁYTĄ DO KOREKCJI LEJKOWATOŚCI

Streszczenie: W niniejszej pracy dokonano oceny kinematyki klatki piersiowej podczas oddychania u pacjentów po korekcji lejkowatej deformacji klatki w odniesieniu do osób zdrowych. W badaniach wykorzystano system optoelektroniczny APAS. Grupę badawczą stanowiło sześć osób o średniej wieku $17,2 \pm 3,5$, gdzie 83% stanowili mężczyźni. Otrzymane wyniki umożliwiły dokonanie oceny przemieszczeń poszczególnych punktów anatomicznych oraz na wyznaczenie odpowiednich zakresów ruchu dla danych markerów. W pracy analizowane były przemieszczenia elementów klatki piersiowej w osi strzałkowej.

Słowa kluczowe: system optoelektroniczny, system do analizy ruchu APAS, kinematyka klatki piersiowej, lejkowata klatka piersiowa

1. WSTĘP

Lejkowata klatka piersiowa jest wrodzoną nieprawidłowością, która charakteryzuje się niewielkim wgłębieniem mostka i przednich odcinków żeber pomiędzy piersiami chorego. Zniekształcenie takie występuje średnio u jednego dziecka na 300 – 400 żywych urodzeń, z przewagą zachorowań u chłopców. Choroba jest zauważalna zaraz po urodzeniu lub może się ujawnić dopiero podczas gwałtownego wzrostu osoby chorej (co występuje nawet u 60% pacjentów) [2-5].

Schorzenie ma wpływ na mechanikę klatki piersiowej. Zagłębienie mostka, w znaczący sposób ogranicza ruch żeber (zwłaszcza tych niższych) zapobiegając, w ten sposób rozszerzaniu się dolnej części klatki piersiowej podczas wdechu. Często ze względu na asymetryczny typ zagłębienia mostka, żebra wywierają nacisk na kręgosłup, który ostatecznie może prowadzić do przemieszczenia się kręgów czy rozwinięcia się skoliozy. Nieprawidłowość klatki wpływa również na mechanikę działania mięśni z grupy mięśni oddechowych oraz może wpływać na funkcję układu krążenia. Zagłębienie mostka znacząco zmniejsza wymiary klatki piersiowej, a to utrudnia pracę serca [1].

Celem niniejszej pracy była ocena kinematyki klatki piersiowej podczas oddychania u osób z wszczepioną płytą implantacyjną do korekcji lejkowatego zniekształcenia metodą Nuss'a.

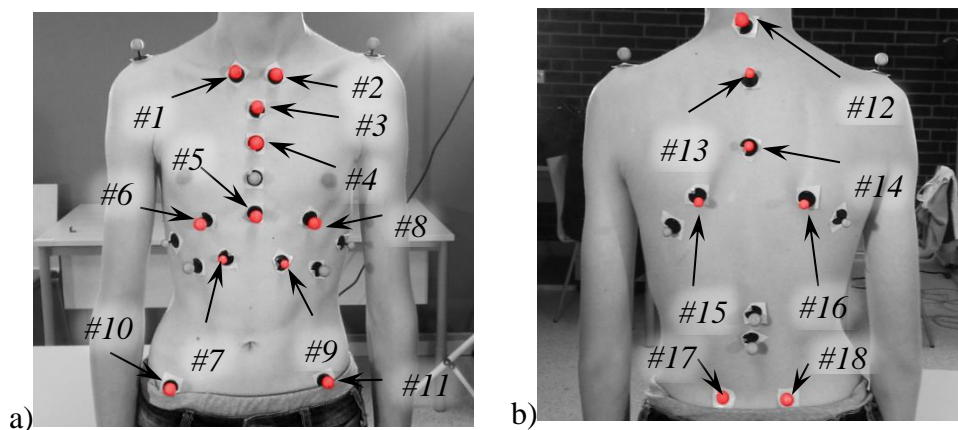
2. METODYKA BADAŃ

Badaniu z wykorzystaniem systemu optoelektronicznego APAS została poddana grupa badawcza licząca 6 osób (83 % badanych stanowili mężczyźni) o średniej wieku $17,2 \pm 3,5$ lata. W grupie tej wyróżnia się osoby zdrowe (trzy osoby), które stanowiły grupę kontrolną oraz osoby z wszczepioną płytą do korekcji lejkowatości metodą Nuss'a (trzy osoby), które były właściwą grupą badawczą. Grupę kontrolną stanowili w 100 % mężczyźni o średniej wieku $18,7 \pm 4,6$ lata, natomiast pozostałą część badanych osób, w 67 % płci męskiej, stanowiła grupa właściwa o średniej wieku $15,7 \pm 1,5$ lata.

Przed przystąpieniem do rejestracji danych klatkę piersiową jak i plecy badanej osoby oklejono markerami pasywnymi. Znaczniki te odbijają światło z reflektorów umieszczonych koło kamer oraz umożliwiają rejestrację ruchu badanej osoby. Stanowisko pomiarowe składało się z czterech kamer oraz reflektorów, kostki kalibracyjnej i stanowiska komputerowego wraz z oprogramowaniem APAS. Markery naklejane były na ciało pacjenta w odpowiednich punktach anatomicznych: na wyrostkach barkowych, rękojeści oraz trzonie mostka, wyrostku mieczykowatym, żebrach rzekomych, kolcach biodrowych jak również odcinku piersiowym i lędźwiowym kręgosłupa oraz grzebieniu łopatek. Liczba markerów wahała się od 25 – 32 i głównie była uzależniona od budowy klatki piersiowej badanej osoby. Przykładowy sposób umieszczenia markerów przedstawiono na rys. 1.

Każda osoba badana wykonywała dwa ćwiczenia oddechowe – spokojne oraz głębokie wdechy i wydechy. Każde ćwiczenie nagrywane było średnio 45 sekund. Badania zostały przeprowadzone w zaciemnionym pomieszczeniu, aby odbicie światła od znaczników było jak najlepiej widoczne w nagrywanych filmach. Wysoki kontrast, średnia rozdzielczość filmu (640×480) oraz wysoka częstotliwość nagrywania (99 – 101 klatek na sekundę) pozwoliło na otrzymanie wyników w postaci przemieszczeń markerów względem trzech osi układu współrzędnych. Otrzymane nagrania poddano ujednoczeniu częstotliwości próbkowania na 100 Hz oraz wycięcia odpowiedniej ilości klatek (najczęściej po 1000). W module APAS ustawiono układ odniesienia oraz oznaczono markery na klatce piersiowej na pierwszej klatce filmów. Program automatycznie wyszukiwał położenia markerów w pozostałych klatkach odnotowując ich współrzędne w osiach X, Y, Z.

Otrzymane dane po procesie digitalizacji obrazu wideo, zostały eksportowane do arkusza kalkulacyjnego, gdzie przedstawiono je w postaci przemieszczeń w danej chwili czasowej dla danego markera w trzech różnych osiach. W ramach analizy wzięto pod uwagę 18 położań markerów, którym nadano odpowiednie numery, w celu ułatwienia ich identyfikacji – numerację przedstawiono na rys. 1.



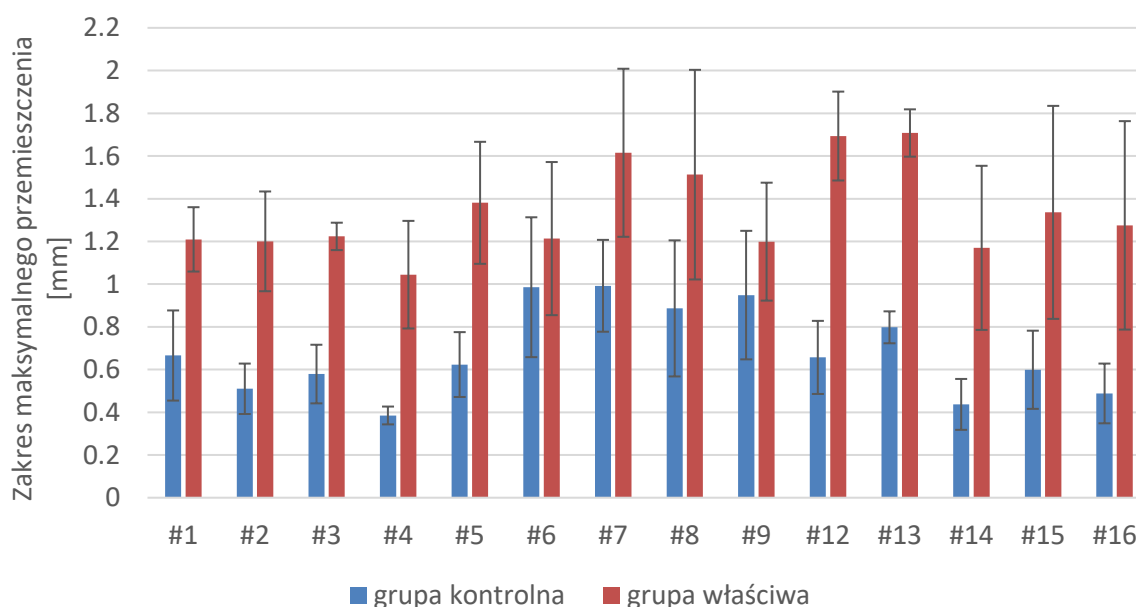
Rys. 1. Sposób umieszczenia markerów na klatce piersiowej badanej osoby: a) z przodu, b) z tyłu oraz numery analizowanych markerów

W ramach analizy otrzymanych danych dokonano oczyszczenia przebiegów z artefaktów związanych z mimowolnymi ruchami podczas stania w miejscu. W tym celu wybrano markery, na które nie mają wpływu ruchy klatki piersiowej podczas oddychania – dla przodu klatki były to znaczniki naklejone na kolce biodrowe (#10, #11), natomiast dla tyłu zostały obrane punkty przyklejone na kości krzyżowej (#17, #18). Ponieważ przebiegi te zawierają głównie ruchy, niezwiązane z oddychaniem, uznano je za wykresy zakłóceń pozostałych znaczników. Dla kolejnych 14 markerów wyznaczono przebiegi, zakresy przemieszczeń danych markerów w osi X (osi strzałkowej) dla odpowiednich grup badawczych – dla grupy kontrolnej oraz dla grupy właściwej. Analizę przeprowadzono dla osi strzałkowej ze względu na największą ruchomość klatki piersiowej właśnie w tym kierunku.

3. WYNIKI

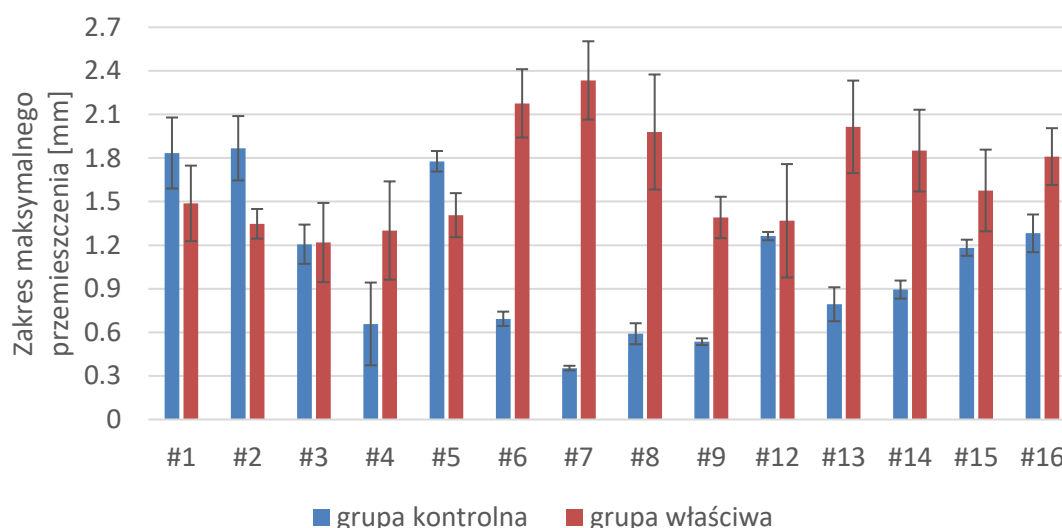
3.1. Analiza maksymalnych zakresów przemieszczeń klatki piersiowej dla obu grup badawczych

W trakcie spokojnego oddychania analiza maksymalnych zakresów przemieszczeń znaczników wykazała tendencję wzrostową dla grupy właściwej – rys. 2. Dla wszystkich markerów wartości ich maksymalnych zakresów przemieszczeń, zarówno naklejonych na przodzie klatki piersiowej, jak i na jej tyle, są wyższe średnio o 49% w porównaniu do grupy kontrolnej. W celu dokonania oceny symetryczności wartości pomiędzy markerami #1 i #2, #6 i #8, #7 i #9 oraz #15 i #16 wyliczono wartość asymetrii. W przypadku grupy kontrolnej dla markerów #1 i #2 oraz #15 i #16 wyznacza się różnicę na poziomie 23%, natomiast dla grupy właściwej wynosi ona zaledwie 3%. Odwrotną sytuację zauważa się przy wyznaczeniu asymetryczności zakresów dla markerów położonych w okolicy mostka i żeber, gdzie (#6 i #8 oraz #7 i #9) – tam dla grupy kontrolnej różnice wynoszą ok. 7%, natomiast dla grupy właściwej 26%. Przemieszczenia grupy kontrolnej zawierają się w przedziale $0,4 \div 1$ mm, natomiast grupy właściwej $1 \div 1,8$ mm.



Rys. 2. Maksymalne zakresy przemieszczeń dla obu grup badawczych w osi strzałkowej przy spokojnym oddychaniu

Podczas wykonywania drugiego ćwiczenia z głębokim wdechem i wydechem, analiza maksymalnych zakresów przemieszczeń znaczników nie wykazała jednolitej tendencji zachowywania się zakresów przemieszczeń dla grupy z lejkowatą klatką piersiową względem grupy kontrolnej – rys. 3. Dla większości markerów wartości ich maksymalnych zakresów przemieszczeń uległy wzrostowi – głównie w miejscach, gdzie na ruchy klatki wpływają mięśnie (okolice żeber) – tendencja wzrostowa dla tych znaczników jest równa ok. 46% względem grupy kontrolnej. W miejscach, gdzie na przemieszczenie ściany klatki wpływają ruchy płuc i żeber występuje tendencja spadkowa wynosząca ok. 30% w porównaniu do grupy kontrolnej. W ramach oceny symetryczności pomiędzy punktami #1 i #2, #6 i #8, #7 i #9 oraz #15 i #16, można zauważyć asymetrię, która jest bardziej zauważalna w przypadku analizy markerów w obrębie żeber klatki piersiowej. W przypadku grupy kontrolnej dla markerów #1 i #2 oraz #15 i #16 wyznacza się różnicę na poziomie 5%, a dla grupy właściwej wynosi ona 12%. Z zachowaną tendencją wzrostową różnicy pomiędzy grupami, wartość asymetrii dla markerów położonych w okolicy mostka i żeber dla grupy kontrolnej wynosi 28%, natomiast dla właściwej 36%. Przemieszczenia grupy kontrolnej zawierają się w przedziale 0,3 ÷ 1,8 mm, natomiast grupy właściwej 1,2 ÷ 2,3 mm.

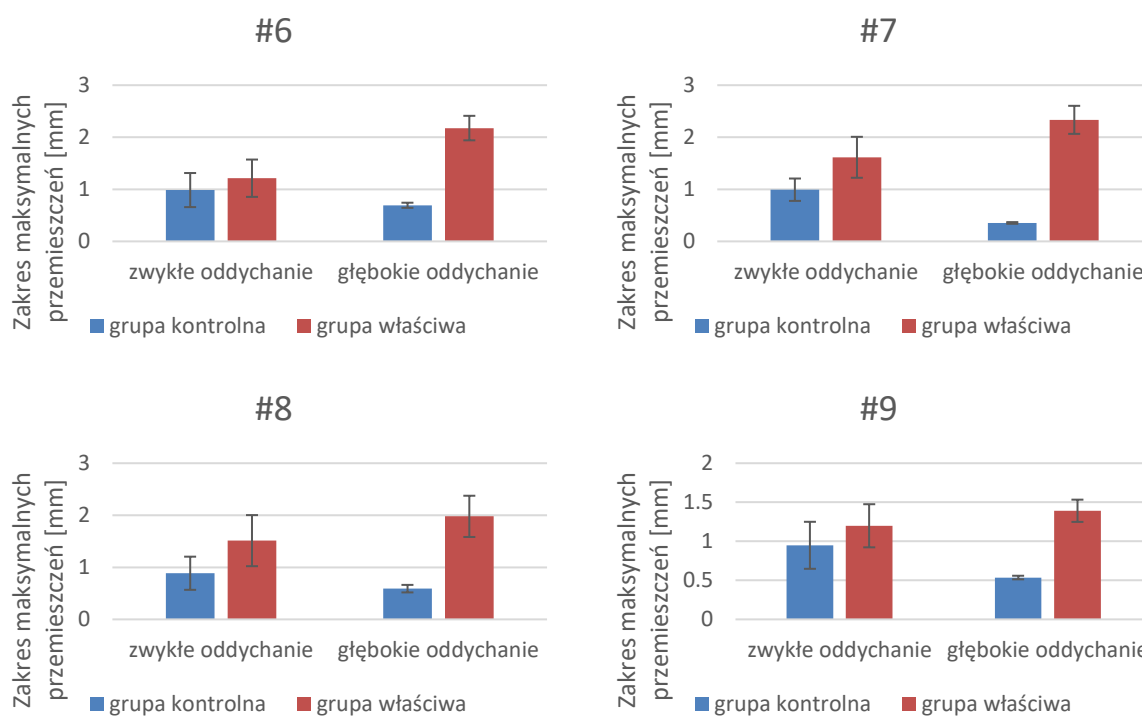


Rys. 3. Maksymalne zakresy przemieszczeń dla obu grup badawczych w osi strzałkowej przy głębokim oddychaniu

3.2. Analiza porównawcza maksymalnych zakresów przemieszczenia dla wybranych markerów dla obu grup badawczych

Dokonując analizy otrzymanych zakresów przemieszczenia poszczególnych markerów dla obu grup badawczych, można zauważyć, iż w większości przypadków (w 82 %) wartości uzyskane przy wykonywaniu głębokich wdechów i wydechów, są wyższe (średnio o 57 % dla grupy kontrolnej i 22 % dla grupy właściwej) niż otrzymane przy normalnym oddychaniu.

Interesującą tendencję zanotowano dla grupy kontrolnej przy ocenie zmiany wartości zakresów przemieszczenia dla markerów #6 – #9 gdzie, wyniki uzyskane w drugiej próbie (podczas głębokiego oddychania) otrzymały niższe (średnio o 43%) parametry (rys. 4). Takiej tendencji nie zauważa się w grupie właściwej, gdzie wartości zakresów uzyskanych dla analizowanych markerów, zachowują podobny 28% stopień wzrostu względem średniej podwyżki parametrów, otrzymanych dla tej grupy.



Rys. 4. Porównanie zakresów przemieszczeń poszczególnych markerów podczas obydwu prób dla grupy kontrolnej i właściwej

Dla grupy kontrolnej zakres przemieszczenia markerów na przodzie klatki piersiowej średnio osiąga wartość $0,73 \pm 0,41$ mm dla zwykłego oddychania oraz ok. $1,06 \pm 0,25$ mm dla głębokiego oddychania, natomiast na tyle klatki piersiowej wynosi odpowiednio dla danej próby: $0,59 \pm 0,28$ mm oraz $1,08 \pm 0,16$ mm. Różnica pomiędzy próbami dla zakresów wyznaczonych dla markerów #1 – #9 wynosi 0,33 mm natomiast dla znaczników #12 – #16 jest równa 0,49 mm. Dla grupy właściwej wartości uzyskane dla zakresów przemieszczeń względem zwykłego oddychania z przodu klatki wynoszą $1,29 \pm 0,56$ mm, natomiast dla części tylnej klatki $1,44 \pm 0,68$ mm. Dla głębokiego oddychania wartości te kształtują się odpowiednio: $1,63 \pm 0,48$ mm oraz $1,72 \pm 0,59$ mm. Różnica pomiędzy próbami dla zakresów wyznaczonych do odpowiednich markerów #1 – #9 wynosi 0,34 mm natomiast dla znaczników #12 – #16 jest równa 0,28 mm. Dla markerów znajdujących się na przodzie klatki piersiowej różnice względem obu grup badawczych są porównywalne (różnica wynosi zaledwie 3%), natomiast wyznaczone różnice pomiędzy markerami naklejonymi na tyle klatki piersiowej dla obu grup badawczych wynoszą ok. 41%. Ocenia się więc, iż dla markerów znajdujących się na przodzie klatki piersiowej następuje tendencyjny wzrost, natomiast dla znaczników naklejonych na tyle nie występuje spójna tendencja.

4. WNIOSKI

Ocena maksymalnych zakresów przemieszczeń dla obu grup badawczych wykazała, że pacjenci po korekcji lejkowatej deformacji charakteryzują się większą ruchomością klatki piersiowej. Wniosek ten jest jednak sprzeczny z oczekiwanymi wynikami. Wcześniejsze badania (wg. dr. A. Koumbourlis) wykazywały, iż płyta korekcyjna powodowała usztywnienie układu i zmniejszenie aktywności mięśni oddechowych w obrębie klatki, co prawdopodobnie powinno przyczynić się do zmniejszenia ruchomości [1]. Obecne badania zostały jednak wykonane na małej grupie badawczej, tak więc aby potwierdzić otrzymany wniosek, należałoby powtórzyć badanie na większej liczbie badanych. Przy wykonywaniu drugiego

ćwiczenia (głębokiego oddychania) zaobserwowano, iż dla pacjentów z PE dla markerów w obrębie jamy brzusznej klatki piersiowej następuje wzrost wartości zakresu przemieszczenia, natomiast dla grupy kontrolnej spadek względem oddychania normalnego. Różnice te mogą być spowodowane faktem, iż prawdopodobnie lejkowata klatka piersiowa wpływa na zmianę jej mechaniki, co zostało wykazane w badaniach z 2009 roku [1]. Podczas głębokiego i szybszego oddychania u zdrowej osoby zaobserwowano pracę górnej części klatki piersiowej, natomiast u badanych z płytą korygującą deformację klatki zauważono pracę dolnej jej części. Obserwacje takie, mogą być częściowo uzasadnione – w przypadku obniżonej aktywności mięśni oddechowych u osób z PE, zwiększa się aktywność mięśni jamy brzusznej, powodując większe przemieszczenia. Analizując markery znajdujące się na plecach badanej osoby dla grupy właściwej również można odnotować wzrost wartości przemieszczeń tych znaczników względem grupy kontrolnej – co jest zbieżne z wskazaniami w dostępnych badaniach. Jedne z nich wykazują, iż lejkowata klatka piersiowa sprzyja rozwojowi skoliozy odcinka piersiowego, poprzez zaburzoną mechanikę żeber, które wywierają nacisk na kręgosłup – stąd prawdopodobnie zostały odnotowane wyższe wartości zakresów przemieszczeń [1].

LITERATURA

- [1] Koumbourlis A.C.: Pectus excavatum: Pathophysiology and clinical characteristic. Paediatric Respiratory Reviews, vol. 10(1), 2009, p. 3-6.
- [2] Molik K., Engum S., Rescorla F., West K., Scherer L.R., Grofeld J.: Pectus Excavatum Repair: Experience with Standard and Minimal Invasive Techniques. Journal of Pediatric Surgery, vol. 36(2), 2001, p. 324 – 328.
- [3] <http://wcpit.pl/> (5.11.2016).
- [4] <http://www.torako chirurgia.gda.pl> (19.09.2016)
- [5] Nowakowska K., Jochymczyk-Woźniak K.: Ocena chodu dzieci z mózgowym porażeniem na podstawie wskaźnika GDI. Aktualne Problemy Biomechaniki, nr 8/2014, s. 127.

EVALUATION OF THORAX KINEMATICS IN PATIENT WITH PECTUS EXCAVATUM, AFTER IMPLANTATION OF CORRECTIVE PLATE

Abstract: The article presents a research the kinematics of the chest when breathing investigation in patients with PE. In this study were used an optoelectronic system APAS. The analysis was performed with two exercises: normal and deep breathing.